

# Resumen Principales Resultados del Estudio

## Opciones de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica: Análisis Sectorial, Potencial de Mitigación y Costos de Abatimiento 2015-2050<sup>1</sup>

Francisco Sancho

Luis Rivera

German Obando

Realizado para la Dirección de Cambio Climático (DCC) del  
Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) de Costa Rica

Con el Apoyo de:



PARTNERSHIP FOR  
MARKET READINESS



Noviembre 2015

---

<sup>1</sup> Informe final del proyecto “Upstream analytical work to support development of policy options for mid- and long-term mitigation objectives in Costa Rica” apoyado por el Banco Mundial a través del Partnership for Market Readiness (PMR) y ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program). Se agradece el apoyo y liderazgo del Banco Mundial, la coordinación de la Dirección de Cambio Climático del MINAE, los insumos del personal técnico de Ministerios y agencias de gobierno que acompañaron el proceso de análisis, la contribución de ERM con la herramienta MACTool, y el aporte de la GIZ en los talleres técnicos sectoriales. La responsabilidad final del contenido del documento es de los autores. Para consultas y comentarios puede dirigirse a [fsancho@sanchoconsulting.com](mailto:fsancho@sanchoconsulting.com) y [luis.rivera@ucr.ac.cr](mailto:luis.rivera@ucr.ac.cr)

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	8
Escenario de Referencia de las Emisiones de GEI	8
Emisiones por Producto y por Habitante	11
Opciones de Abatimiento de Emisiones	11
Medidas de Abatimiento y Barreras	11
Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas	15
Curva de Costos de Abatimiento	15
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 Alcances y Limitaciones del Estudio	20
1.2 Actores del Proceso del Análisis	21
2 CONTEXTO DE LA POLÍTICA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO	22
2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	23
3 ANÁLISIS DE <i>DRIVERS</i> DE EMISIONES	24
3.1 Estructura de la Economía Costarricense	24
3.2 Población	25
3.3 Producto Interno Bruto	26
3.4 Comercio Internacional, Crecimiento y Emisiones	27
4 ESCENARIO DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES SECTORIALES	28
4.1 Sector de Residuos Sólidos	28
4.1.1 Generación de Residuos Sólidos	28
4.1.1.1 Proyección de Línea de Referencia	29
4.1.1.2 Generación de Aguas Residuales	29
4.2 Sector Transporte	30
4.2.1 Proyecciones de la Flota Vehicular	31
4.2.2 Hidrocarburos	32
4.3 Sector Eléctrico	33
4.3.1 Proyección de la Demanda Eléctrica	34
4.3.2 Emisiones en el Escenario de Referencia	36
4.4 Sector Procesos Industriales	38

<b>4.5</b>	<b>Sector Agropecuario</b>	<b>38</b>
4.5.1.1	Área Sembrada de Cultivos Agrícolas	39
4.5.1.2	Área Sembrada de Pastos y Hato Ganadero	39
4.5.1.3	Línea de Referencia de Emisiones Agropecuarias	41
<b>4.6</b>	<b>Sector Forestal</b>	<b>42</b>
4.6.1.1	Proyección del Cambio en el Área Agropecuaria	42
4.6.1.2	Proyección del Cambio en la Cobertura Forestal	43
4.6.1.3	Existencias y Cambios de Existencia de Carbono en los Bosques	44
<b>4.7</b>	<b>Escenario de Referencia de Emisiones Nacionales</b>	<b>45</b>
4.7.1	La Meta Carbono Neutralidad	48
4.7.2	Intensidad de Emisiones por Producto y por Habitante	49
4.7.3	Escenarios Alternativos de Crecimiento Económico	49
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR SECTOR</b>	<b>52</b>
<b>5.1</b>	<b>Sector Residuos Sólidos</b>	<b>52</b>
<b>5.2</b>	<b>Sector Transporte</b>	<b>57</b>
5.2.1	Tren Eléctrico Metropolitano de Pasajeros	58
5.2.2	Modernización del Transporte Público Metropolitano de San José	59
5.2.3	Tecnologías para la Flota Vehicular	60
<b>5.3</b>	<b>Sector Eléctrico</b>	<b>65</b>
<b>5.4</b>	<b>Sector Agropecuario</b>	<b>68</b>
5.4.1	Producción Ganadera baja en Emisiones	68
5.4.2	Reducción de un 15% en el Uso de los Fertilizantes Nitrogenados	70
5.4.3	Escenarios de mitigación en el sector agropecuario	70
<b>5.5</b>	<b>Sector Forestal</b>	<b>71</b>
5.5.1	Incorporación de Área adicional de PSA en Nuevas Plantaciones Forestales	72
5.5.2	Incorporación de Área adicional de PSA para evitar la Deforestación en Bosques Maduros	73
5.5.3	Incorporación de Área adicional de PSA para la Captura de Carbono en Bosques Nuevos	74
5.5.4	Estimación del Cambio total de Emisiones con Medidas del Sector Forestal	74
5.5.5	Sistemas Silvopastoriles	74
<b>5.6</b>	<b>Potencial Nacional de Mitigación con las Medidas Identificadas</b>	<b>76</b>
5.6.1	Medidas de Abatimiento y Barreras	77
5.6.2	Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas	81
<b>5.7</b>	<b>Análisis Con MACTool</b>	<b>84</b>
5.7.1	Curva de Costos de Abatimiento	84
<b>6</b>	<b>FUTURO TRABAJO ANALÍTICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES</b>	<b>87</b>
<b>6.1</b>	<b>Análisis de Impacto de Medidas en el Tiempo</b>	<b>87</b>

<b>6.2</b>	<b>Estrategia de Financiamiento de las Medidas</b>	<b>87</b>
<b>6.3</b>	<b>Impacto Macroeconómico de las Medidas</b>	<b>87</b>
<b>6.4</b>	<b>Medidas Adicionales para la Mitigación del País</b>	<b>87</b>
6.4.1	Sector Energía	88
6.4.1.1	Fortalecimiento del Monitoreo de las Emisiones de CO <sub>2</sub>	88
6.4.1.2	Limitación de la Importación de Vehículos Usados	88
6.4.1.3	Uso de Filtros de Alta Generación	88
6.4.1.4	Impuestos a la Importación de Vehículos no Eficientes	88
6.4.1.5	Canon por Emisiones de CO <sub>2</sub>	88
6.4.1.6	Etiquetado de Vehículos	89
6.4.1.7	Educación para Conducción Eficiente	89
6.4.1.8	Administración de Vehículos de Carga	89
6.4.1.9	Programa de Adquisición de Vehículos Eficientes	89
6.4.1.10	Combustibles Alternativos	89
6.4.1.11	Ordenamiento Urbano	90
6.4.1.12	Descongestión Vial	90
6.4.1.13	Calidad de Combustibles	90
6.4.1.14	Eficiencia Energética en el Uso de Electricidad	90
6.4.2	Sector Uso de la Tierra	90
6.4.2.1	Agroforestación	90
6.4.2.2	Investigación e Innovación	90
6.4.2.3	Integración con la Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura y los Paisajes	91
6.4.2.4	Fortalecimiento de la Estrategia Nacional REDD+	91
6.4.2.5	Programas Sectoriales y NAMAS	92
6.4.2.6	Mercado de la Madera	92
6.4.2.7	Sistema de Trazabilidad y Verificación de la Madera	92
6.4.3	Manejo de Residuos	92
6.4.3.1	Programa de Educación para la Reducción y Separación de Residuos	92
6.4.3.2	Gestión de Residuos Agrícolas	92
6.4.3.3	Actividades de Compostaje	93
6.4.3.4	Promoción de Sistemas de Biodigestión	93
6.4.3.5	Sistema Municipal para la Recolección de Residuos Separados	93
6.4.3.6	NAMA en Gestión de Residuos	93
6.4.3.7	Mejoramiento en el Tratamiento de Aguas Residuales	93
6.4.4	Procesos Industriales	93
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Emisiones Totales de GEI 2010 (Gg de CO <sub>2</sub> ).....	24
Cuadro 2 Tasas de Crecimiento Promedio de la Economía.....	24
Cuadro 21 Tasa de Generación Per Cápita de Residuos Sólidos.....	29

Cuadro 4 Emisiones Totales de Referencia por Aguas Residuales (ton CO <sub>2</sub> e) .....	30
Cuadro 5 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Procesos Industriales (ton CO <sub>2</sub> e) .....	38
Cuadro 6 Proyección del Hato ganadero (N° de Cabezas).....	41
Cuadro 7 Intensidad de Emisiones por Habitante y Producto.....	49
Cuadro 8 Escenario de Referencia de Emisiones por Sector y Totales 2015-2050.....	52
Cuadro 9 Sistemas de Tratamiento de los Residuos Sólidos .....	53
Cuadro 10 Parámetros de Tratamiento de Residuos en Escenarios de Referencia y de Mitigación .....	54
Cuadro 11 Escenario 1: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030.....	55
Cuadro 12 Escenario 2: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030.....	56
Cuadro 13 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 1) .....	57
Cuadro 14 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 2) .....	57
Cuadro 15 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Unidades y Viajes (miles de toneladas de CO <sub>2</sub> ) .....	60
Cuadro 16 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Uso de Vehículos privados (miles de toneladas de CO <sub>2</sub> ) .....	60
Cuadro 17 Escenario 1: Composición esperada de la Flota vehicular .....	61
Cuadro 18 Escenario 2: Composición esperada de la Flota Vehicular.....	62
Cuadro 19 Sector Transporte: Impacto en Reducción de Emisiones en el 2030 .....	64
Cuadro 20 Contribución y Costos de Mitigación del Sector Eléctrico (2014-2035).....	68
Cuadro 21 Potencial de Contribución de Medidas del Sector Agropecuario en el 2030 .....	70
Cuadro 22 Distribución del Área adicional de PSA por Tipo de Bosque Maduro .....	73
Cuadro 23 Potencial de Contribución del Sector Forestal.....	76
Cuadro 25 Medidas de Abatimiento y Viabilidad para el País.....	78
Cuadro 26 Impacto de las Medidas de Mitigación en Años de Referencia .....	80
Cuadro 27 Medidas de Abatimiento: Costo Marginal, Potencial de Mitigación y Nivel de Barreras.....	82
Cuadro 28 Costos y Potencial de Mitigación de las Medidas .....	83
Cuadro 29 Mitigación de Medidas Por Sector y por Año (ton CO <sub>2</sub> ).....	83
Cuadro 30 Mitigación de Medidas Por Tipo y por Año (ton CO <sub>2</sub> ) .....	83

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Proyección de Población según Censo del 2012.....	25
Gráfico 2 Histórico y Proyección del Producto Interno Bruto real (1991=100) .....	27
Gráfico 29 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Residuos Sólidos .....	29
Gráfico 4 Evolución del Parque Vehicular .....	31
Gráfico 5 Proyección del Parque Vehicular al 2050 .....	32
Gráfico 6 Proyección de Consumo de Energía del Parque Vehicular .....	33
Gráfico 7 Escenarios de Expansión de la Demanda Eléctrica, 2014-2035 .....	35
Gráfico 8 Porcentaje de Generación Renovable en Escenario de Referencia .....	37
Gráfico 9 Emisiones del Sector Eléctrico en el Escenario de Referencia .....	37
Gráfico 10 Línea de Referencia de Área cultivada.....	40
Gráfico 11 Escenario de Referencia de Uso de Suelo en Pasturas .....	41
Gráfico 12 Línea de Referencia de Emisiones del Sector Agropecuario .....	42

Gráfico 13 Cambio Neto en el Área Agropecuaria Durante el Periodo 2014-2050 (ha) .....	43
Gráfico 64 Estimación del Cambio de Existencias de Carbono forestal en Costa Rica a partir de la Proyección de Cobertura boscosa.....	45
Gráfico 15 Escenario Nacional de Referencia: Emisiones Totales al 2050.....	46
Gráfico 16 Emisiones Totales según Tasas alternativas de Crecimiento del PIB .....	50
Gráfico 17 Emisiones totales en el 2021 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB .....	50
Gráfico 18 Emisiones totales en el 2030 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB .....	51
Gráfico 19 Emisiones Totales en el 2050 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB .....	51
Gráfico 20 Opciones de Mitigación en Residuos Sólidos bajo Escenario 1.....	55
Gráfico 21 Opciones de Mitigación de Residuos Sólidos bajo Escenario 2.....	56
Gráfico 22 Escenario 1: Proyección de Flota de Transporte.....	61
Gráfico 23 Escenario 2: Proyección de Flota de Transporte.....	62
Gráfico 24 Escenario 1: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables .....	63
Gráfico 25 Escenario 2: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables .....	64
Gráfico 26 Emisiones bajo Planes de Expansión y Escenario de Referencia (2014-2035) .....	66
Gráfico 27 Mitigación de Rutas alternativas en Comparación al Escenario de Referencia .....	66
Gráfico 28 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 1 .....	71
Gráfico 29 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 2 .....	71
Gráfico 30 Emisiones del Sector Forestal en Escenario de Referencia y con las Medidas.....	75
Gráfico 31 Secuestro de Carbono de Sistemas Pastoriles .....	76
Gráfico 32 Abatimiento de Emisiones Totales con Medidas de Mitigación al 2050 .....	77
Gráfico 33 Medidas de Abatimiento según Viabilidad al 2050.....	79
Gráfico 34 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2021 .....	79
Gráfico 35 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2030 .....	80
Gráfico 36 Curva de Costos de Abatimiento de Emisiones 2015-2050 .....	86

## LISTA DE ACRÓNIMOS

AFOLU	Agriculture, Forestry and Other Land Use (Agricultura, Silvicultura y otros usos del Suelo)
BUR	Biannual Update Report (Reporte de Actualización Bianual)
BCCR	Banco Central de Costa Rica
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CN	Carbono Neutralidad
DCC	Dirección de Cambio Climático
DSE	Dirección Sectorial de Energía
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
GEI	Gas de Efecto Invernadero
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INCOFER	Instituto Costarricense de Ferrocarriles
INDC	Intended Nationally Determined Contribution (Contribución Prevista Nacionalmente Determinada)
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
MDC	Mercado Doméstico de Carbono
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MINSALUD	Ministerio de Salud
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
PIB	Producto Interno Bruto
REDD	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation
SEPSA	Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria
TIR	Tasa Interna de Retorno
UCC	Unidades Costarricenses de Compensación
VAN	Valor Actual Neto

## Resumen Ejecutivo

Este trabajo presenta una estimación del potencial de reducción de emisiones en Costa Rica que se podría alcanzar mediante la implementación de diversas medidas durante el periodo 2015-2050. El estudio se realizó con el apoyo del Banco Mundial a través del Partnership for Market Readiness (PMR) y ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), en coordinación con la Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), con el apoyo técnico de representantes de ministerios, entidades públicas, y organizaciones privadas. Se basa en el análisis de tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del país en un escenario de referencia (*Business as Usual*, BAU), comparado con un grupo de medidas de mitigación que contribuirían con la reducción de emisiones hacia el futuro. Se presenta como un insumo técnico de trabajo para las discusiones sobre las Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas (INDC por sus siglas en inglés) de Costa Rica así como para las diversas iniciativas de mitigación del cambio climático que el país promueva hacia futuro.

En total se analizaron 24 medidas de mitigación en 5 sectores: eléctrico, transporte, agricultura y ganadería, forestal y manejo de residuos sólidos. Los resultados de este trabajo son un primer ejercicio de evaluación de posibles objetivos de reducción de emisiones. Entre otras consideraciones importantes, el estado de la métrica en los diversos sectores analizados tiene un nivel de desarrollo asimétrico para estimar las emisiones BAU proyectadas, y el potencial de las medidas de reducción o remoción de GEI. Para definir el potencial real de más medidas de abatimiento, se deben realizar estudios adicionales para aumentar la disposición y calidad de los datos, lo que permitiría configurar escenarios para definir el alcance e implicaciones de todas las posibles medidas de abatimiento a nivel sectorial y nacional para Costa Rica.

## Escenario de Referencia de las Emisiones de GEI

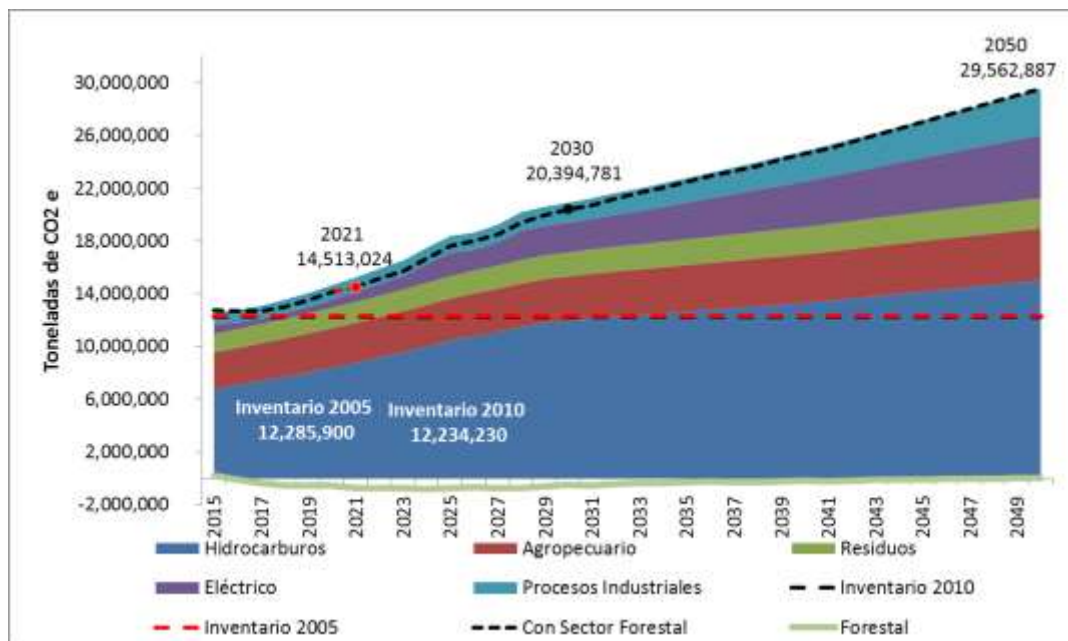
Para la proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero del país en el escenario de referencia “sin medidas de mitigación,” el escenario abarca el periodo del año 2015 al 2050. Se parte de una economía que registrará una tasa de crecimiento promedio del 4,0% real, que es la tasa de crecimiento promedio que el país ha mostrado desde inicio de los años noventa. Por otro lado, el crecimiento de la población es acorde con las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) con una tasa anual del 0,7% anual en promedio durante el periodo de análisis. El Gráfico A muestra el escenario de referencia de las emisiones proyectadas para el país. Las emisiones totales netas están representadas por la línea negra discontinua, que incluye el efecto de una pequeña reducción de emisiones netas que permite el sector forestal en el escenario de referencia.

Las emisiones en este escenario de referencia se prevén aumentando de 12,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2015 a unas 29,6 millones de toneladas para el año 2050, lo que implica un crecimiento en el periodo del 132% en las emisiones totales del país, con un promedio anual del 2,4%. Para el año 2030, las emisiones proyectadas son de alrededor 20,4 millones toneladas de CO<sub>2</sub>e, es decir un 60% por encima de lo registrado en el 2015. Para el simbólico año del 2021, en que Costa Rica planteó originalmente su Carbono Neutralidad como meta, las emisiones proyectadas alcanzan un nivel de 14,5 millones toneladas de CO<sub>2</sub>e (14% mayores del nivel del 2015). Respecto al nivel de emisiones del año 2010 (con base en el Inventario Nacional de GEI 2010, sin el sector forestal), las emisiones totales en el 2021 se encontrarían en el escenario de referencia base un 19% por encima, en el 2030 un 67% por arriba y un 142% más en el



2050. Esto no cambia si se utiliza como año de referencia el 2005, dado que el nivel de emisiones es similar. Estos resultados sugieren que alcanzar la meta Carbono Neutralidad implica un gran esfuerzo para el país, ya que con el pasar de los años se tiene una sociedad y economía que se alejan de dicha meta. Se requiere una transformación productiva y de consumo para lograr variar el patrón de “carbonización” que muestra el escenario de referencia.

**Gráfico A Escenario de Referencia de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**



Fuente: el estudio

En el escenario de referencia, el sector de hidrocarburos muestra la mayor proporción de emisiones durante todo el periodo, representando el 54% de las emisiones en el 2015 y 50% en el 2050. Si bien en el sector transporte se prevé una disminución de la intensidad energética en el uso del diésel y la gasolina por tipo de vehículo (gracias a la tendencia de tecnologías en vehículos menos emisores), la participación del sector transporte se proyectó muy similar por el alto crecimiento que se seguirá dando en la flota vehicular.

Por su parte, en este escenario el sector agropecuario experimentaría un proceso de “descarbonización” importante aun en ausencia de nuevas medidas de mitigación, lo cual hará que su participación del 22% en el 2015 baje a 13% en el 2050. Los factores detrás de esta disminución en la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub>e se deben especialmente a la contracción prevista del área ganadera, que además ha venido introduciendo -y prevé mayor incorporación- de pastos mejorados, que si bien están destinados a aumentar la productividad del sector, tienen un importante efecto en la fermentación entérica del ganado vacuno, principal fuente de emisiones del sector. Se une a ello, que la expansión del área de cultivos agrícolas es superada por la contracción del área de pasturas, lo que implica un decrecimiento del 9,5% resultante de las tierras dedicadas para la actividades agropecuarias como un todo.

Para determinar el impacto de medidas de mitigación en el sector eléctrico (el cual se ha caracterizado en Costa Rica por ser altamente renovable), para el periodo 2015 a 2050 se elaboró con apoyo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) un escenario de referencia de la ruta de expansión eléctrica que el país está evitando por haberse decidido por un parque eléctrico futuro altamente renovable. Este escenario de referencia del sector eléctrico ha permitido determinar que la política ambiental alrededor de la expansión eléctrica está evitando el impulso de un parque con alto contenido de uso de combustibles fósiles y carbón mineral, los cuales hubiesen sido fuentes costo-beneficio más factibles para el país, pero con una implicación de un alto costo ambiental por las emisiones. El ejercicio de este escenario de referencia le permite al país determinar la contribución implícita de la expansión altamente renovable que se plantea para el futuro. En este escenario las emisiones del sector eléctrico pasan de un 6% de las emisiones netas totales, a un 16% en el 2050, ya que con los años una virtual incorporación de un parque térmico mayor haría al sector más intensivo en emisiones de CO<sub>2</sub>e.

Los escenarios de referencia de los sectores de residuos sólidos y de procesos industriales no plantean transformaciones fundamentales en los escenarios futuros respecto a su estructura actual de generación de emisiones de GEI, pero su participación en las emisiones totales cambia como resultado del comportamiento de los otros sectores antes descritos. La participación del sector residuos sólidos varía de un 11% en el 2015 a 8% en el 2050 y el sector procesos industriales de un 7% a un 12% en el mismo periodo.

El sector forestal merece una atención especial ya que en la actualidad se realiza una profunda revisión metodológica principalmente por el desarrollo de la Estrategia REDD+ del país. Este es un proceso que no está concluido, ya que se viene revisando la generación de datos e información de imágenes satelitales que han ayudado a lo largo de los años a identificar los patrones de reforestación, deforestación y cobertura boscosa resultante, así como la composición de los tipos de bosque. El sector también se encuentra en el proceso de validación con el Inventario Nacional Forestal (INF) y el levantamiento de nuevos registros, por lo que los resultados esperados finales de esta revisión no se pudieron incorporar plenamente en este análisis. Por tanto, los resultados que se incorporan sobre el sector forestal deberán entenderse como preliminares.

En el escenario de referencia se estima que el nivel de secuestro neto del sector forestal no disminuye significativamente las emisiones totales del país. Para el final del periodo en análisis, las emisiones del sector forestal comienzan incluso a ser positivas. Hay dos factores fundamentales que producen preliminarmente estos resultados. Uno es la alta proporción de bosque maduro por medio de las acciones tempranas con el impulso de zonas de protección y el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Adicionalmente, el país sigue expuesto a la deforestación, produciendo emisiones en el sector que compensan el secuestro de carbono del bosque y las plantaciones forestales en crecimiento que mantiene el país. Pero es importante destacar que este último aspecto representa a su vez una gran oportunidad para que el país desarrolle acciones en el sector forestal focalizadas en contener los procesos de deforestación y promover la regeneración del bosque.

## Emisiones por Producto y por Habitante

En el escenario de referencia se prevé una economía menos carbono-intensiva pero a la vez una población más intensiva en emisiones de GEI. En el Cuadro A se muestra que las emisiones totales brutas por habitante aumentan y prácticamente se duplican durante el periodo. Por su parte, la intensidad de emisiones por producto disminuye. Si bien en el escenario referencial el patrón de “descarbonización” de la producción es un resultado positivo (en términos de lo que ha venido promoviendo el país), está lejos de ubicarse en los niveles deseados para metas más ambiciosas como la C-Neutralidad.

**Cuadro A Intensidad de Emisiones por Habitante y Producto en Escenario de Referencia**

Año	CO <sub>2</sub> e per cápita	CO <sub>2</sub> e / Millón de PIB
2015	2,6	4,8
2030	3,7	3,9
2050	4,9	2,4

Fuente: el estudio

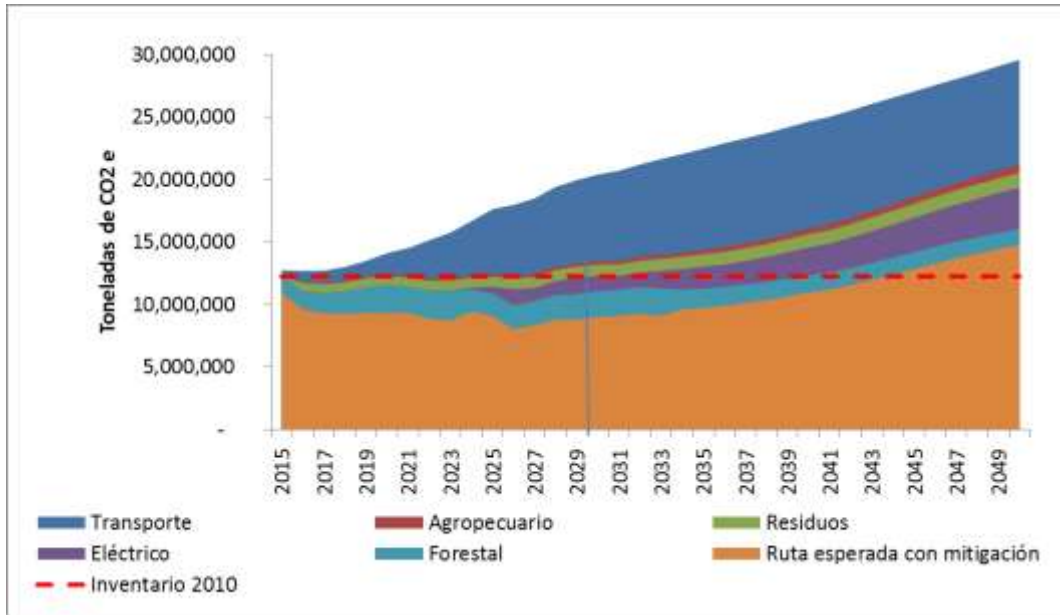
## Opciones de Abatimiento de Emisiones

En total se analizaron 24 medidas de mitigación en 5 sectores. Se estima que el país podría evitar emisiones por casi 340 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> con la implementación de las medidas evaluadas, para un promedio anual de 9,8 toneladas durante 2015-2050. En el Gráfico B se observa el impacto agregado por cada uno de los cinco sectores de las medidas que se han identificado y cuantificado y que han sido analizadas en diversos escenarios para la reducción de emisiones de GEI. El análisis ha permitido configurar un escenario en el cual el país puede observar las implicaciones de transitar hacia un escenario de menos emisiones en el mediano y largo plazo. En este escenario de mitigación, se observa que desde el año 2015 el país podría impulsar medidas en los sectores transporte, agropecuario, manejo de residuos sólidos, eléctrico y forestal, que permitirían reducir las emisiones de manera significativa. Sin embargo, más allá del 2045 el impacto de las medidas analizadas perdería fuerza.

## Medidas de Abatimiento y Barreras

La posibilidad de remover las barreras para su implementación, puede ser determinante para que una medida de mitigación se concrete. Adicionalmente al análisis de mitigación y sus costos, se analizó un grupo de barreras institucionales, tecnológicas, y financieras (entre otras), y se les asignó una puntuación con base en criterios cualitativos. En este caso a mayor puntuación obtenida, mayores las barreras que podrían impedir la implementación de la medida (Cuadro B). Esta evaluación se dio con el objetivo de hacer un primer dimensionamiento de factores que son clave para evaluar las posibilidades de consolidar dichas medidas.

**Gráfico B Abatimiento de Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero**



Fuente: el estudio

**Cuadro B Medidas de Abatimiento y Viabilidad para el País**

Opción de Mitigación	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Agropecuario: Mejora fermentación entérica y uso de estiércol	A	4
Sector Eléctrico: Expansión eléctrica del parque renovable	A	2
Sector Transporte: Puesto en operación de un sistema de Bus Tránsito Rápido (BRT)	A	3
Sector Transporte: Medidas de ahorro por menor uso de transporte	A	4
Sector Residuos: Aumento de actividades de reciclaje	A	4
Sector Forestal: PSA Plantaciones forestales	A	4
Sector Forestal: PSA Protección bosque maduro	A	3
Sector Forestal: PSA Regeneración bosque nuevo	A	3
Sector Forestal: Silvopasturas	A	4
Sector Agropecuario: Reducción uso de fertilizantes	B	6
Sector Transporte: Puesta en operación de un Tren eléctrico Metropolitano	B	5
Sector Transporte: Expansión de uso de auto de gas LPG	B	6
Sector Residuos: Cierre Vertederos	B	5
Sector Residuos: Aumento actividades de compostaje	B	6
Sector Residuos: Reducción de quema de residuos no recolectados	B	5
Sector Transporte: Expansión de uso de autos híbridos	C	8
Sector Transporte: Expansión de uso de autos híbridos con conexión eléctrica	C	8
Sector Transporte: Expansión de uso de autos eléctricos	C	7

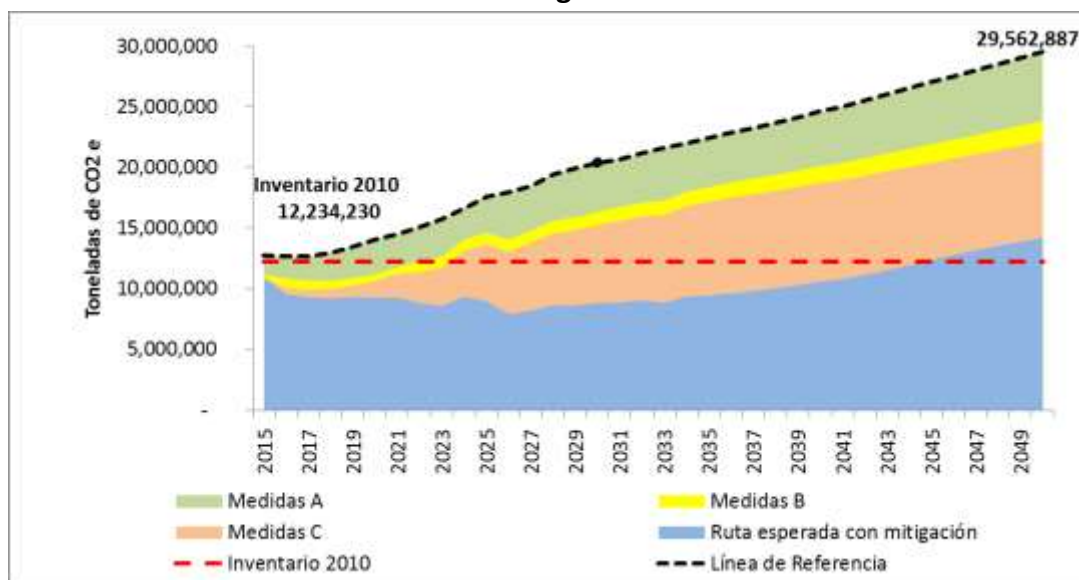
Opción de Mitigación	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Transporte: Expansión de uso de auto con motores eficientes	C	7
Sector Transporte: Uso del Biodiesel	C	7
Sector Transporte: Uso Bioetanol	C	7
Sector Residuos: Introducción de Rellenos con generación eléctrica	C	7
Sector Residuos: Introducción de plantas de incineración de residuos	C	7
Sector Residuos: Introducción de rellenos con estabilización biológica	C	8

\*\* Un número mayor implica más barreras enfrentadas.

Fuente: el estudio

Un primer grupo de medidas se han denominado Medidas A y se refieren a aquellas que el país podría impulsar primeramente. Esto no implica que estas medidas no enfrenten dificultades para ser implementadas, pero dadas las condiciones del país podrían tener viabilidad. Estas medidas se observan en el Gráfico C como el área de color verde. Las Medidas B (el área de color amarillo) enfrentan barreras mayores a las anteriores. Las Medidas C (área de color naranja) tienen condiciones de implementación con mayores dificultades. El país podría poner en el contexto de metas más ambiciosas de mitigación este tipo de medidas, lo que sería una señal de compromiso que la reducción de emisiones de GEI globales se buscaría con una transformación de los patrones de desarrollo actuales.

**Gráfico C Abatimiento de Emisiones según Viabilidad de Medidas Analizadas**



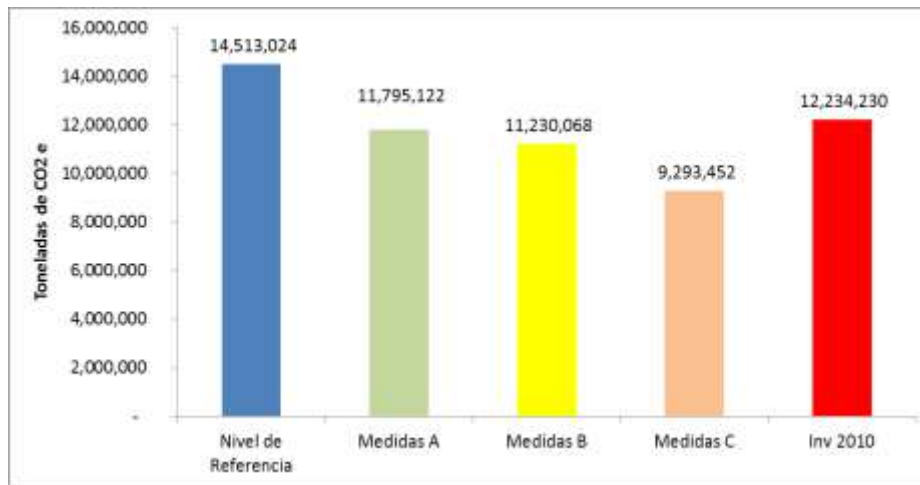
Fuente: el estudio

Las Medidas tipo A permitirían al país hacer una disminución del 20% de las emisiones del año 2030 con respecto al escenario de referencia utilizado para este análisis. Esto implicaría que las emisiones per cápita para ese año se ubicarían en 3 toneladas de CO<sub>2</sub>e por persona, produciendo una caída de las emisiones esperadas en el escenario de referencia que las estimaba originalmente en 3,7 toneladas per cápita. Este es un nivel de reducción de casi una quinta parte de las emisiones esperada para el año 2030, lo cual sería

un avance significativo del país. Por ejemplo, permitiría que Costa Rica alcance la C-neutralidad en el año 2021. Sin embargo, el país requiere mayores medidas para prevenir la inercia que tiene una sociedad con patrones intensivos en emisiones.

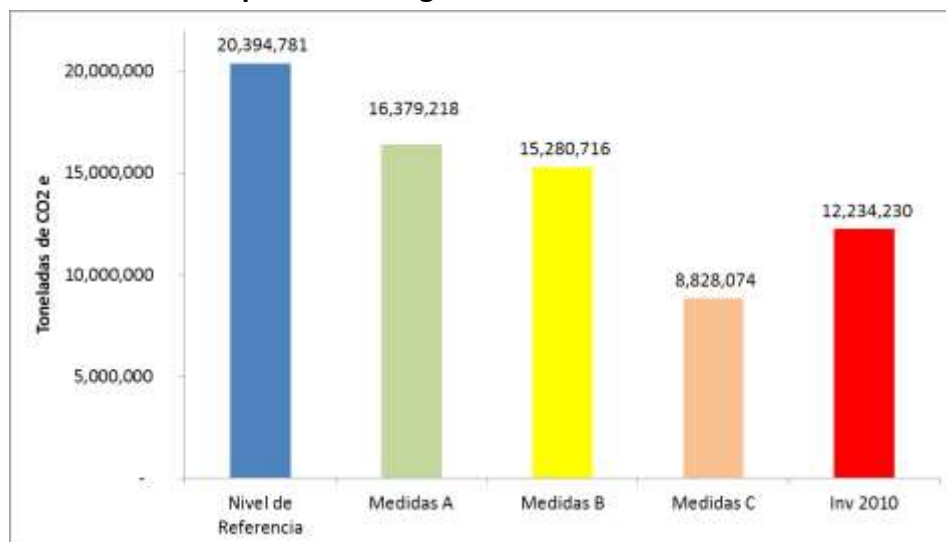
En los Gráficos D y E se observa que si bien las emisiones con las Medidas A (barra verde) permiten estar por debajo de las emisiones del Inventario de GEI 2010 (barra roja), ya en el 2030 las emisiones con las Medidas A están por encima del nivel del 2010, requiriéndose las Medidas B y C adicionales (barras amarillo y anaranjado). Costa Rica debería impulsar las Medidas B y C, ya que con este conjunto de medidas las emisiones en el año 2030 se ubicarían un 55% por debajo de las emisiones del escenario de referencia base, y las emisiones per cápita serían 1,6 toneladas para ese año.

**Gráfico D Impacto en Mitigación con Medidas en el Año 2021**



Fuente: el estudio

**Gráfico E Impacto en Mitigación con Medidas en el Año 2030**



Fuente: el estudio

## Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas

Con el potencial de mitigación de las diversas medidas y sus costos marginales se pueden configurar diversos escenarios para aumentar el potencial de reducción y remoción de emisiones. El costo marginal por tonelada de CO<sub>2</sub>e y el total de reducción o remoción esperado se muestran en el Cuadro C. Las medidas se han ordenado de menor a mayor costo. Como se puede observar, algunas medidas presentan un costo marginal negativo, implicando que para el periodo de análisis 2015-2050 sus costos son superados por los ingresos esperados con las medidas. Sin embargo, esta condición no es suficiente para hacer viable una medida, ya que en muchos casos va más allá del tema de costo-beneficio la factibilidad de impulsarla. Por tanto se incluyen en los resultados la clasificación que anteriormente se describió para poner en perspectiva las barreras que pueden enfrentarse.

En el caso de las Medidas A, incluso para las que presentan un costo marginal por tonelada positivo, este costo se encuentra a niveles que un reconocimiento de por ejemplo US\$5 por tonelada (factible en el mercado doméstico de carbono que el país impulsa), las haría viables. En el caso de las plantaciones forestales, no se han introducido aspectos relativos a los ingresos por venta de la madera, lo que hace prever que el costo de US\$6 disminuiría una vez que se consideren estos ingresos asociados.

Para las medidas B y C algunos costos son negativos, pero en este caso las barreras son mayores. En el Cuadro D se muestra el costo-beneficio de los tipos de medidas. Como se observa, en su conjunto para cada tipo de medidas hay un costo-beneficio negativo, lo que implica que los beneficios de impulsar las medidas son ampliamente mayores que los costos que revisten. Dentro del conjunto de barreras para el impulso de estas medidas, la inversión requerida para su implementación es uno de los retos por superar. Las medidas tipo A, si bien tiene un resultado costo beneficio mayor, con beneficios esperados ampliamente mayores durante el periodo de análisis, requieren una inversión cercana a los US\$3 mil millones.

Por su parte, las medidas B y C, si bien también muestran beneficios más altos que los costos que conllevan en el periodo 2015-2050, tienen mayores barreras por remover y las inversiones asociadas a su implementación suman entre ambas cerca de los US\$14 mil millones. Estos resultados muestran que los niveles de ambición en términos de incrementar las contribuciones del país a la mitigación del cambio climático tienen asociados costos que sobrepasan las posibilidades actuales de Costa Rica.

## Curva de Costos de Abatimiento

Utilizando la herramienta MACTool, con base en el análisis de opciones de mitigación para cada sector, se construyó una Curva de Costos de Abatimiento (MACC por sus siglas en inglés) para ilustrar los costos por tonelada y la posible contribución individual y agregada a la mitigación total para el periodo 2015-2050 (Gráfico F). Se observa que hay costos por tonelada muy distintos, que van desde -\$488 por tonelada para uso de compostaje en el sector de residuos sólidos (es decir, un beneficio neto por tonelada, o bien un costo negativo) hasta la medida más cara con \$789 por tonelada, si se avanza con la introducción de autos híbridos en el sector transporte (en este caso se omite de la gráfica para dimensionar mejor los costos de las otras medidas).

### Cuadro C Medidas de Abatimiento: Costo Marginal, Potencial de Mitigación y Nivel de Barreras

Opción de Mitigación	Costo de Mitigación (USD/tCO <sub>2</sub> )	Mitigación Total (TCO <sub>2</sub> )	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Residuos: Compostaje	-488	29,660	B	6
Sector Transporte: Autos de Gas LPG	-430	845,157	B	6
Sector Transporte: Bus de Tránsito Rápido (BTR)	-317	8,415,894	A	3
Sector Transporte: Medidas de Ahorro	-114	6,330,041	A	4
Sector Transporte: Tren Eléctrico	-92	9,150,994	B	5
Sector Agropecuario: Mejora con Fermentación Entérica y Uso de Estiércol	-51	8,567,237	A	4
Sector Transporte: Autos Eléctricos	-30	134,257,126	C	7
Sector Transporte: Autos Híbridos con Conexión Eléctrica	-28	28,898,523	C	8
Sector Residuos: Reciclaje	-28	4,249,016	A	4
Sector Residuos: Incineración	-10	9,908,671	C	7
Sector Residuos: Rellenos con Generación Eléctrica	-6	11,049,459	C	7
Sector Residuos: Cierre de Vertederos	-4	6,328,608	B	5
Sector Forestal: Silvopasturas	1	7,394,764	A	4
Sector Forestal: PSA con Protección en Bosque Maduro	4	24,809,725	A	3
Sector Forestal: PSA con Regeneración en Bosque Nuevo	5	18,216,966	A	3
Sector Forestal: PSA en Plantaciones Forestales	6	8,256,000	A	4
Sector Agropecuario: Baja en Uso de Fertilizantes	11	3,819,876	B	6
Sector Residuos: Rellenos con Estabilización Biológica	11	3,767,646	C	8
Sector Residuos: Reducción de Quema Basura no Recolectada	13	1,324,587	B	5
Sector Transporte: Biodiesel	24	5,123,190	C	7
Sector Transporte: Bioetanol	26	5,096,985	C	7
Sector Eléctrico: Expansión Eléctrica del Parque Renovable	60	15,621,562	A	2
Sector Transporte: Motores Eficientes	110	20,504,932	C	7
Sector Transporte: Autos Híbridos	789	2,531,834	C	8

\*\* Promedio ponderado de calificación (1=menores barreras a 10=mayores barreras) con base en criterios sobre capacidades institucionales, tecnológicas, económicas, financieras, sociales y ambientales.

Fuente: el estudio



### Cuadro D Costos y Potencial de Mitigación de las Medidas

Concepto	Medidas A	Medidas B	Medidas C
Costo-beneficio de la medidas (US\$)	-2,750,815,686	-1,235,527,022	-395,462,860
Inversión requerida total (US\$)	2,978,859,265	647,184,357	13,342,052,358
Mitigación total (tCO <sub>2</sub> )	99,037,108	32,518,682	210,118,568
Costo promedio (US\$/tCO <sub>2</sub> )	-27,8	-38,0	-1,9

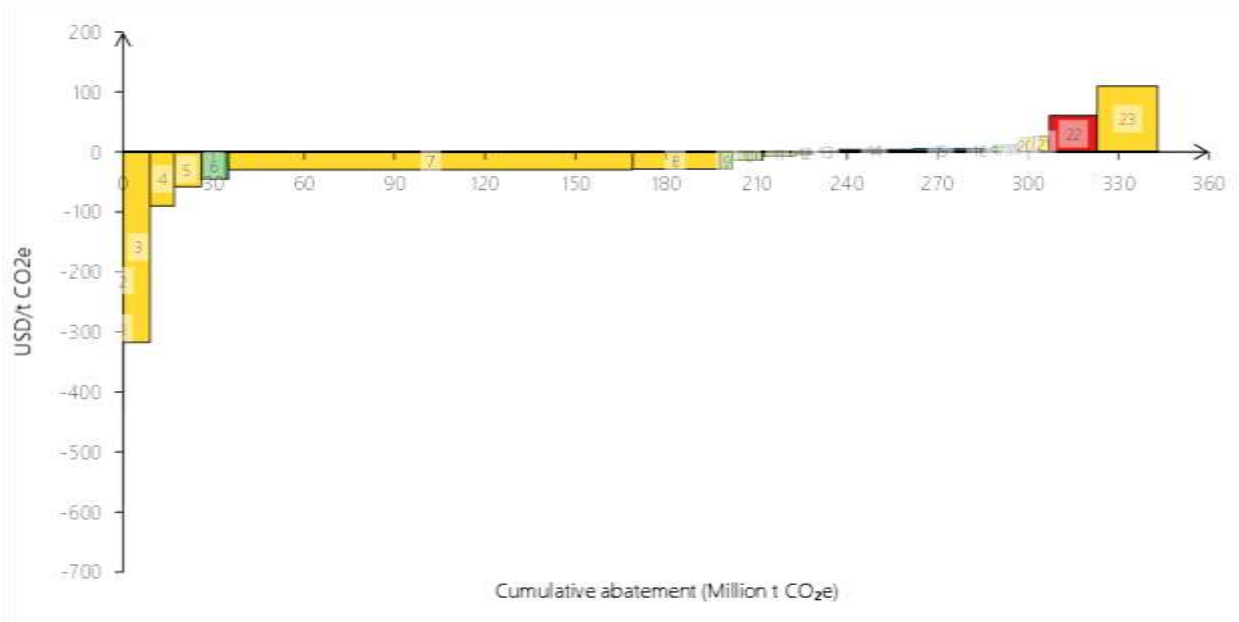
Fuente: el estudio

Destaca el hecho que las medidas con los costos “negativos” más notables están en el sector de transportes y en el de residuos sólidos. Es decir, impulsar estas medidas implicaría beneficios netos para el país, además de una contribución importante a la reducción de emisiones. El grupo de medidas con beneficios netos generaría el 67% de la mitigación total entre el 2015 y el 2050. Solamente la introducción de autos eléctricos podría contribuir con 134 millones de toneladas, lo que resalta la importancia del sector transporte para alcanzar metas ambiciosas de mitigación hacia el futuro. Asimismo, el hecho que exista un potencial tan alto en la mitigación con costos negativos resalta la importancia de las barreras de implementación, que hacen inversiones como estas (rentables y bajas en carbono), difícil de concretarse. Esto plantea la necesidad de abordar un análisis más profundo sobre los obstáculos para que estas “frutas bajas” puedan ser aprovechadas en el país.

Por otra parte, es también en el sector transporte donde se observan las medidas más caras con relación a la tonelada de CO<sub>2</sub>, particularmente por altos costos relacionados con su implementación. De ahí la relevancia de este sector dentro del análisis realizado, por un lado por su importante participación en las posibles reducciones totales, como por la particularidad de presentar opciones con costos negativos (beneficios) y positivos. La introducción de autos híbridos es la medida con los costos de mitigación más altos. Esto por las cuantiosas inversiones que requeriría, en contraste con una reducción potencial modesta. Comparativamente, las opciones analizadas en el sector forestal y agropecuario presentan costos por tonelada menores, y un potencial de mitigación significativo. En el caso del sector residuos, hay diversas medidas relacionadas con costos altos y bajos, y con una participación relativamente menor en el potencial de mitigación. Dentro de las medidas analizadas, el sector residuos podría aportar 10% de la mitigación total. Un tema central con la curva de costos de abatimiento es que muestra una “fotografía” más que una situación dinámica. La curva debe ser entonces el punto de partida para el análisis.

Las medidas de reducción o remoción de emisiones que se identificaron deben verse como medidas preliminares, ya que su análisis estuvo determinado (y limitado) por la falta de disponibilidad de datos e información cuantitativa actualizada y de calidad suficiente que permitiera estimar su potencial de mitigación y sus costos, y ser incorporados en los escenarios de referencia y mitigación. En este sentido no puede entenderse como un estudio exhaustivo en la identificación de opciones de mitigación, ya que existe una gran cantidad de medidas con aparente potencial y sobre las cuales debería en el futuro generarse mayor métrica y cuantificación para ser analizadas dentro de los escenarios de referencia y mitigación del país. Esto como parte de discusiones sobre temas relacionados con el futuro de las emisiones y la contribución de Costa Rica a la mitigación del cambio climático.

**Gráfico F Curva de Costos de Abatimiento de Emisiones 2015-2050**



1	Sector Residuos: Compostaje	13	Sector Forestal: Silvopasturas
2	Sector Transporte: Autos de Gas LPG	14	Sector Forestal: PSA con Protección en Bosque Maduro
3	Sector Transporte: Bus de Tránsito Rápido (BTR)	15	Sector Forestal: PSA con Regeneración en Bosque Nuevo
4	Sector Transporte: Medidas de Ahorro	16	Sector Forestal: PSA en Plantaciones Forestales
5	Sector Transporte: Tren Eléctrico	17	Sector Agropecuario: Baja en Uso de Fertilizantes
6	Sector Agropecuario: Mejora con Fermentación Entérica y Uso de Estiércol	18	Sector Residuos: Rellenos con Estabilización Biológica
7	Sector Transporte: Autos Eléctricos	19	Sector Residuos: Reducción de Quema Basura no Recolectada
8	Sector Transporte: Autos Híbridos con Conexión Eléctrica	20	Sector Transporte: Biodiesel
9	Sector Residuos: Reciclaje	21	Sector Transporte: Bioetanol
10	Sector Residuos: Incineración	22	Sector Eléctrico: Expansión Eléctrica del Parque Renovable
11	Sector Residuos: Rellenos con Generación Eléctrica	23	Sector Transporte: Motores Eficientes
12	Sector Residuos: Cierre de Vertederos	24	Sector Transporte: Autos Híbridos (no graficada)

Fuente: el estudio

Es importante señalar que este estudio no evalúa los co-beneficios ni los efectos cruzados de las medidas de mitigación. Esto sería importante para dimensionar de mejor manera su conveniencia social, ambiental y económica, para documentar el esfuerzo del país debe hacer para la consecución de un patrón de desarrollo bajo en emisiones (que requerirá altas inversiones y ajustes sectoriales importantes). Adicionalmente, no se hace un análisis exhaustivo de las barreras que enfrentan las diversas medidas, si bien se introduce y dimensiona la importancia del tema. Estas son tareas pendientes que se recomienda avanzar en el futuro.

## 1 Introducción

La Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) ha coordinado el proyecto “Upstream analytical work to support development of policy options for mid- and long-term mitigation objectives in Costa Rica” con apoyo del Banco Mundial.<sup>2</sup> En diciembre del 2015, se espera que todos los países signatarios de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) adopten un nuevo acuerdo climático que sustituirá al Protocolo de Kioto. Dicho acuerdo empezaría a regir a partir del 1 de enero del 2020 y tendría la particularidad de ser legalmente vinculante para todos los países signatarios, independientemente de su contribución histórica al problema del calentamiento global o de su nivel de desarrollo.

Como parte del proceso, se ha llevado a cabo la identificación y análisis de un grupo de medidas para la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) en los sectores eléctrico, transporte, agricultura y ganadería, forestal y manejo de residuos sólidos. Este reporte presenta los resultados de la cuantificación del potencial de mitigación sectorial y nacional hacia el año 2050. Se presenta como un insumo técnico de trabajo para las discusiones sobre las Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas (INDC por sus siglas en inglés) de Costa Rica así como para las diversas iniciativas que el país promueva hacia futuro. Las medidas identificadas son evaluadas para determinar su potencial mediante: i) una definición de los alcances que permitan establecer su impacto en mitigación; y ii) los costos asociados a la medida. Se parte del principio que las medidas deben estar integradas con la política sectorial nacional para ser consideradas en un “escenario final” de posibles acciones del sector.<sup>3</sup>

El análisis de medidas de mitigación se basa en dos ejercicios centrales. El primero relacionado con las estimaciones de emisiones de gases de efecto invernadero para un Escenario de Referencia y las emisiones bajo un Escenario de Mitigación. Esto con el objetivo de estimar el potencial de mitigación que diversas medidas puedan aportar. El segundo componente tiene que ver con el análisis financiero, con la estimación de los costos totales (inversiones, operaciones, mantenimiento, y demás relacionados) del Escenario de Referencia y del Escenario de Mitigación. Esto para estimar los costos incrementales de abatimiento de las medidas de intervención.<sup>4</sup> Una

---

<sup>2</sup> A través del Partnership for Market Readiness (PMR) y ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program).

<sup>3</sup> En este sentido no se abordan posibles medidas que si bien podrían impulsarse en el futuro, no cuentan actualmente con la documentación e información requeridas para ser analizadas, ni son parte de iniciativas, proyectos o políticas consolidadas. Ejercicios futuros deberían sin embargo evaluar medidas que podrían implementarse si se dan las condiciones de política y la disponibilidad de información para su análisis.

<sup>4</sup> Adicionalmente se abordan las barreras (institucionales, financieras, sociales, entre otras) y el entorno (condiciones habilitantes) que pueden condicionar la implementación de las medidas de mitigación más allá de los montos de costos e inversiones involucrados. Esto desde una perspectiva cualitativa y con base en criterio experto.

curva de costos de abatimiento nacional establece una relación entre la cantidad de GEI (en toneladas equivalentes de Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>e) que pueden mitigarse según las opciones de intervención, y su costo marginal de abatimiento unitario (en dólares por tonelada equivalente de CO<sub>2</sub>). La curva de costos de abatimiento indica el costo de cada tonelada de CO<sub>2</sub> mitigada para cada opción de mitigación.<sup>5</sup> La herramienta MACTool de ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program)<sup>6</sup> fue utilizada para procesar la información y generar la Curva MACC (por sus siglas en inglés).

El reporte se estructura de la siguiente manera. Siguiendo esta introducción, la segunda parte presenta un contexto de las políticas nacionales de cambio climático, como antesala del análisis de las emisiones de GEI que se reportan en la Tercera Comunicación de Cambio Climático y el Inventario de GEI del año 2010. Un tercer apartado aborda el tema de los motores (*drivers*) de las emisiones del país, con el objetivo de establecer patrones de comportamiento. La cuarta sección presenta el análisis de emisiones y su proyección al 2050 en un escenario de referencia (*Business as Usual*). El quinto capítulo presenta el análisis de las medidas de mitigación y sus impactos potenciales. La sexta sección brinda recomendaciones para el futuro trabajo de mejora continua del análisis del potencial de mitigación del país hacia el futuro. Finalmente se presentan las conclusiones del estudio.

## 1.1 Alcances y Limitaciones del Estudio

El objetivo general de este estudio es analizar el potencial de reducción de emisiones del país hacia el 2050 y aportar criterios técnicos para la toma de decisiones sobre compromisos y acciones nacionales, incluyendo las contribuciones nacionales de Costa Rica ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Sin embargo, es importante tener presente que la decisión sobre las contribuciones nacionales y los compromisos del país es un tema político, que considera e integra diversos aspectos que están fuera del alcance de este estudio.<sup>7</sup> Las medidas de reducción o remoción de emisiones que se identificaron deben verse como medidas preliminares, ya que su análisis estuvo determinado (y limitado) por la falta de disponibilidad de datos e información cuantitativa actualizada y de calidad suficiente que

---

<sup>5</sup> Dos objetivos clave con la construcción de la curva son: a) proveer a los decisores de política un análisis con las opciones potenciales, escenarios alternativos, y costos asociados de abatimiento de emisiones, consistentes con los objetivos de desarrollo sostenible del país; b) identificar las políticas y programas requeridos para la implementación de una estrategia nacional de mitigación, con base en el marco institucional vigente y las capacidades demandadas.

<sup>6</sup> ESMAP es un programa global de asistencia técnica y de conocimiento en desarrollo y energía administrado por el Banco Mundial.

<sup>7</sup> El Gobierno de Costa Rica presentó su INDC ante la UNFCCC en septiembre del 2015. Véase <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Costa%20Rica/1/INDC%20Costa%20Rica%20Version%202%200%20final%20ES.pdf>

permitiera estimar su potencial de mitigación y sus costos, y ser incorporados en los escenarios de referencia y mitigación. En este sentido no puede entenderse como un estudio exhaustivo en la identificación de opciones de mitigación, ya que existe una serie de medidas no incluidas con aparente potencial y sobre las cuales debería en el futuro generarse mayor métrica y cuantificación para ser analizadas dentro de los escenarios de referencia y mitigación del país. Esto como parte de discusiones sobre temas relacionados con el futuro de las emisiones y la contribución de Costa Rica a la mitigación del cambio climático.

Es importante reconocer que este estudio no evalúa los co-beneficios ni los efectos cruzados de las medidas de mitigación. Esto sería importante para dimensionar de mejor manera su conveniencia social, ambiental y económica, para documentar el esfuerzo del país debe hacer para la consecución de un patrón de desarrollo bajo en emisiones (que requerirá altas inversiones y ajustes sectoriales importantes). Adicionalmente, no se hace un análisis exhaustivo de las barreras que enfrentan las diversas medidas, si bien se introduce y dimensiona la importancia del tema. El estudio no desarrolla un análisis o estrategia para superar las barreras que sería necesario para entender cómo crear las condiciones habilitantes para facilitar la implementación de las opciones aquí identificadas, así como otras que sean evaluadas en el futuro.

## 1.2 Actores del Proceso del Análisis

El proceso para la determinación de las opciones de mitigación y remoción de GEI en Costa Rica ha sido liderado por un equipo técnico de la Dirección de Cambio Climático (DCC), conformado por William Alpízar y Ana Luis Leiva, y los consultores Francisco Sancho, Luis Rivera y German Obando. El equipo técnico del Banco Mundial estuvo conformado por Marcos Castro y Martina Bosi, con apoyo del consultor de ERM Braulio Pikman. Se contó además con el apoyo de Sergio Musmanni y Gustavo Jiménez de la cooperación alemana (GIZ), quienes colaboraron con la organización de las mesas de trabajo de los talleres técnicos sectoriales.

Las contrapartes sectoriales estuvieron constituidas por los equipos de trabajo técnico que definieron las autoridades políticas de los Ministerios y entidades públicas de gobierno responsables de los sectores analizados. Específicamente:<sup>8</sup>

- En el área de Electricidad se trabajó directamente con la institución encargada del diseño de los planes de generación de electricidad en el país. El Instituto Costarricense de Electricidad

---

<sup>8</sup> Los insumos técnicos y el proceso de discusión con las contrapartes de gobierno fueron clave para el análisis. A través de esta interacción se buscó contribuir con el proceso de institucionalización de las acciones de política abordadas. La responsabilidad final sobre los resultados presentados en el documento es de los autores.

(ICE), por medio de su Gerente General nombró a Miguel Víquez (Director del Proceso de Planificación Ambiental del Centro Nacional de Planificación y Desarrollo Eléctrico) como enlace técnico, apoyado por Jorge Mario Montero, y Fanny Solano y Marianella Ramírez de la División de Planificación y Desarrollo Eléctrico.

- Para el sector Transporte, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) nombró a Joyce Arguedas del Departamento de Planificación Sectorial, y como parte del diseño en preparación del VIII Plan Nacional de Energía del MINAE, la Dirección Sectorial de Energía (DSE) nombró a Arturo Molina y a Diana Leandro, para coordinación de los aspectos relacionados con transporte y en particular los temas relacionados con el sector eléctrico.
- En el sector Agropecuario, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) nombró como enlace técnico a Roberto Azofeifa (Departamento de Agricultura Conservacionista) y se contó con el apoyo de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA) por medio de Yeti Quirós y Marianela Borbón. Adicionalmente, se contó con el apoyo de Mauricio Chacón, Gerente de Ganadería del MAG, para el trabajo con el área pecuaria.
- En el sector de Residuos, el Ministerio de Salud nombró a Eugenio Androvetto, Olga Segura y Federico Paredes, de la Dirección de Protección al Ambiente Humano.
- En el sector Forestal se coordinó con el trabajo que realizan el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para la estimación de las líneas de referencia del sector forestal, y se tuvo como contraparte técnica a María Helena Herrera, más la colaboración del Lucio Pedroni (Carbon Decisions), y Ana Rita Chacón por parte del IMN.

## 2 Contexto de la Política Nacional de Cambio Climático

Costa Rica forma parte del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de Cambio Climático (CMNUCC) desde el año 2002. Como país firmante de la convención, Costa Rica ha elaborado inventarios nacionales de gases de efecto invernadero desde 1990. Más aún, ha promulgado una Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y su respectivo Plan de Acción en el 2009.

*El objetivo general de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) es “reducir los impactos sociales, ambientales y económicos del cambio climático y tomar ventaja de las oportunidades, promoviendo el desarrollo sostenible mediante el crecimiento económico, el progreso social y la protección ambiental por medio de iniciativas de mitigación y acciones de adaptación, para que Costa Rica mejore la calidad de vida de sus habitantes y de sus ecosistemas, al dirigirse hacia una economía carbono neutral competitiva para el 2021.”*

La Dirección de Cambio Climático (DCC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) coordina la ENCC, así como los planes ministeriales, organizacionales y sectoriales para el cambio climático. Por su parte, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) elabora las Comunicaciones Nacionales y

los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y coordina algunos de los estudios nacionales sobre mitigación, vulnerabilidad, y adaptación. Adicionalmente, el IMN se encarga de la preparación del Biannual Update Report (BUR) y es el punto focal técnico del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

La ENCC ha identificado como áreas prioritarias para la mitigación la energía eléctrica, el transporte, la agricultura, la industria, el manejo de desechos sólidos, el turismo y el cambio de uso del suelo.

Como se mencionó, la ENCC tiene como uno de sus objetivos lograr una economía Clima Neutral para el año 2021. La promulgación del Acuerdo 36-2012 MINAE denominado *Programa País Carbono Neutral*<sup>9</sup> establece que se ha definido como año base para el cálculo de Carbono Neutralidad país el año 2005, con lo que la meta de la C-Neutralidad debe entenderse como el compromiso del país de compensar las emisiones sobre la línea de emisiones registradas en el inventario nacional de GEI del 2005. Para lograr la meta de carbono neutralidad el país busca apoyarse en el desarrollo de un mercado doméstico de carbono (MDC), orientado a impactar los hábitos de consumo, la forma de producción y el estilo de vida en general del país.<sup>10</sup>

## 2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

El MINAE, por medio del Instituto Meteorológico Nacional (INM) presentó su Quinto Inventario Nacional de GEI en el año 2014 con datos para el 2010, así como la Tercera Comunicación Nacional de Costa Rica ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). De acuerdo con la metodología de Inventarios Nacionales basada en la metodología del IPCC, se analizan cuatro sectores: Energía, Procesos Industriales y Uso de productos, Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la tierra, y Residuos (IMN, 2014).

El inventario de GEI del 2010 muestra que el sector energía es el de mayores emisiones con un 81% de las emisiones totales, dentro de las cuales dos terceras partes provienen de las emisiones del sector transporte. La segunda actividad por emisiones es la agropecuaria, donde la mayor parte de sus emisiones están asociadas a la fermentación entérica del ganado. Sin embargo,

---

<sup>9</sup> ALCANCE 79- 19 Junio2012- Acuerdo Programa País.

<sup>10</sup> El cuerpo normativo para el impulso tanto de la C-Neutralidad, la creación de las Unidades Costarricenses de Compensación (UCC) y el mercado voluntario de carbono tiene como regulación el Decreto Ejecutivo N°37926-MINAE del 11 de noviembre de 2013, el cual constituye el Reglamento de Regulación y Operación del Mercado Doméstico de Carbono. Asimismo el marco normativo incluye el Programa País Carbono Neutralidad, el cual es un proceso voluntario que se oficializa con el fin de definir las reglas dentro del proceso de carbono neutralidad y establece los pasos que debe seguir una organización para llegar a ser carbono neutral, por medio de la Norma INTE 12-01-06:2011 para Demostrar la Carbono Neutralidad.

debido al secuestro de carbono por las actividades forestales, el sector Agricultura, Silvicultura y Forestal en su totalidad computan una remoción neta de emisiones del 5% de las emisiones totales (Cuadro 1). En el sector de desechos sólidos se registran 16% de las emisiones, las que se producen por el metano que se expelle a la atmósfera en rellenos sanitarios, vertederos y otros botaderos no controlados. El sector industrial es responsable por el 9% de las emisiones, la mayor parte asociadas a la industria de cemento.

**Cuadro 1 Emisiones Totales de GEI 2010 (Gg de CO<sub>2</sub>)**

Sector	2010	Porcentaje
Energía	7,081	81%
Transporte	4,727	54%
Electricidad	570	6%
Otros	1,784	20%
Procesos industriales	803	9%
AFOLU	-473	-5%
Agropecuario	2,972	34%
Forestal	-3,444	-39%
Desechos	1,378	16%
Total	8,789	100%

Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2014)

### 3 Análisis de *Drivers* de Emisiones

En esta sección se hace un repaso de los principales factores que explican el comportamiento de las emisiones de GEI en los diversos sectores estudiados. Estos factores, que generalmente se denominan *drivers* (por sus siglas en inglés), permiten identificar determinantes del comportamiento de las emisiones del pasado, que sirven como base para proyectarlas hacia el futuro.

#### 3.1 Estructura de la Economía Costarricense

En la década actual el ritmo de crecimiento económico del país ha sido en promedio menor al de décadas anteriores (Cuadro 2). Si bien se dio una recuperación de la economía luego de la crisis del 2008-2009, el crecimiento del PIB de los últimos dos años ha sido cercano al 3,5%. Si bien positivo, es menor a las tasa históricas recientes. En años recientes el sector construcción y el de servicios han tenido tasas de crecimiento relativamente altas. Buena parte del crecimiento ha sido impulsado por el sector de servicios principalmente.

**Cuadro 2 Tasas de Crecimiento Promedio de la Economía**

	1992-2000	2001-2010	2011-2014
Producto Interno Bruto (PIB)	5.4%	4.5%	4.1%



Agricultura, Silvicultura y Pesca	3.8%	2.9%	2.3%
Industria Manufacturera	5.3%	2.6%	2.9%
Construcción	5.3%	7.1%	2.3%
Servicios	5.0%	5.6%	4.4%

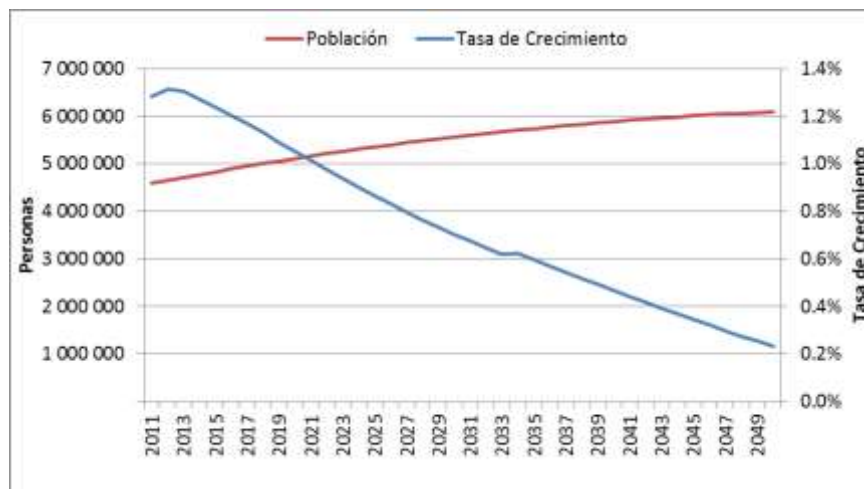
Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR

La economía costarricense ha dado una transición a un mayor peso relativo de los servicios (turismo, electricidad, comercio, financieros, de apoyo productivo, etc.) y una menor participación de la agricultura en los últimos años. Mientras tanto, la participación de la industria se ha mantenido relativamente estable. El crecimiento económico de años recientes ha estado impulsado en buena parte por el crecimiento del sector servicios. Tanto para la economía interna como la externa, y su vínculo con la inversión extranjera directa (IED), los servicios se han posicionado como un motor de crecimiento. Esto no implica que la relevancia de la industria y la agricultura no se mantengan. Sin embargo, plantea retos hacia futuro sobre el crecimiento económico y su interrelación con un patrón de desarrollo menos carbono intensivo.

### 3.2 Población

Uno de los principales drivers de las emisiones GEI es el crecimiento de la población. Con base en el Censo Nacional del 2012, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) ha hecho una nueva proyección de la población hasta el 2050. Los resultados sobre la cantidad de personas y la tasa anual de crecimiento proyectadas se muestran en el Gráfico 1.

**Gráfico 1 Proyección de Población según Censo del 2012**



Fuente: INEC, Censo Nacional 2012

### 3.3 Producto Interno Bruto

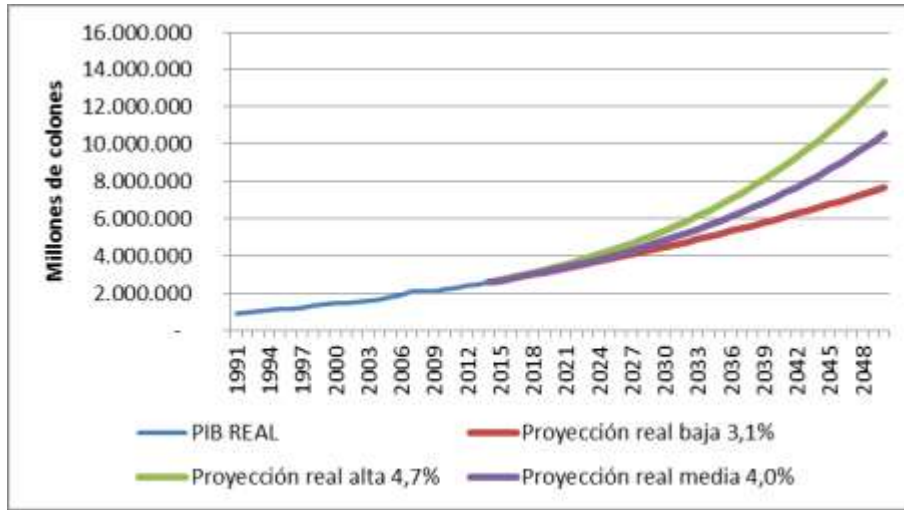
El otro driver fundamental de las emisiones es el crecimiento de la producción nacional. Para la estimación del Producto Interno Bruto se elaboran escenarios no solo basados en el comportamiento de la tendencia del producto en términos reales, sino en el nivel de crecimiento per cápita que se esperaría alcanzar para el 2050. El promedio de ingreso per cápita de los países de la OCDE se ubica actualmente en US\$43.884. Los escenarios futuros de emisiones parten del supuesto que el país alcanzará para el año 2050 niveles comparables con estos países de la OCDE, para poder fijar niveles de crecimiento del PIB y por consiguiente de las emisiones de GEI acorde con las aspiraciones de crecer para llegar a un nivel de país desarrollado.

Para los escenarios de crecimiento del PIB real en primer lugar se utilizó un modelo polinomial de grado dos sobre el comportamiento de la tendencial del PIB real que se registra desde 1991. El ajuste resultante se describe por la ecuación  $y = 1152,6x^2 + 43780x + 856472$  (con un R cuadrado de 0,9951). El resultado de proyectar para el año 2050 presenta una tasa promedio de crecimiento anual del 3.1%. Sin embargo, tomando un ingreso per cápita del Costa Rica para el 2014 de US\$10,120, considerando el crecimiento de la producción y de la población, para el 2050 el PIB per cápita se ubicaría en US\$23,224, por lo que se utiliza este escenario para la estimación del PIB como un escenario *bajo*, dado que describiría un crecimiento económico muy inferior a los países de la OCDE para el 2050.

Otro modelo evaluado está basado en la tendencia desde 1991 con un ajuste exponencial expresado por  $y = 886.558 \exp^{0,045x}$  (con un R cuadrado del 0,9932). Con este modelo las proyecciones del PIB real presentan una tasa de crecimiento anual promedio del 4,6%, lo cual es más cercano a la tasa de crecimiento del PIB real desde 1991, que presenta un promedio anual de 4,7%. Esta tasa es la que se usa en el escenario *alto* de referencia, ya que con ella Costa Rica para el 2050 alcanzaría un PIB per cápita de US\$40,402, lo que es coincidente con un crecimiento que ubique al país en el nivel de países desarrollados.

Por otra parte, un escenario *medio* se basa en una tasa de crecimiento de 4% anual, el cual se elige como tasa intermedia entre las tasa de los escenarios bajo y alto. El PIB per cápita estimado para el 2050 llegaría a US\$32,076 (cerca de 17 millones de colones al tipo de cambio actual; Gráfico 2).

Gráfico 2 Histórico y Proyección del Producto Interno Bruto real (1991=100)



Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR

### 3.4 Comercio Internacional, Crecimiento y Emisiones

Uno de los cambios estructurales más importantes de la economía costarricense durante las últimas décadas ha sido su creciente integración con los mercados internacionales a través del comercio internacional y la atracción de inversión extranjera directa. Así, el dinamismo de la economía internacional influye directamente en el ritmo de crecimiento económico del país. Diversos estudios resaltan la cercana relación que existe entre el dinamismo exportador y el potencial de crecimiento para Costa Rica.<sup>11</sup>

Un tema de interés es cómo el comercio internacional influye en las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional e internacional (Nakano et al, 2009). Esto debido a que los esfuerzos a nivel local y global deberían ser consistentes en tanto se busque el objetivo de reducir las emisiones a nivel de países (con compromisos locales) e internacionalmente, para lo que se requeriría un comercio internacional menos carbono intensivo.

Un reciente estudio<sup>12</sup> estima las intensidades del uso de factores de producción en el comercio internacional de Costa Rica y concluye que el país es un exportador neto de emisiones en tanto sus exportaciones generan más emisiones que sus importaciones. Si bien el nivel de emisiones totales del país es bajo relativamente a los niveles internacionales, sería deseable que el patrón de exportaciones avanzara hacia un cambio tecnológico que promueva la producción exportable menos intensiva en carbono.

<sup>11</sup> Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2010); Segura y Vásquez (2011).

<sup>12</sup> Adamson-Badilla et al (2014).

## 4 Escenario de Referencia de las Emisiones Sectoriales

En esta sección se describen los fundamentos utilizados para la elaboración de los escenarios de referencia de las emisiones por cada sector analizado. La estimación de un *Escenario de Referencia* con las emisiones totales para el país se hace con base en la agregación de los resultados sectoriales.

### 4.1 Sector de Residuos Sólidos

Para el sector de residuos sólidos se construyó un modelo para la simulación de la generación de residuos sólidos en el país, el cual es la referencia para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los supuestos del modelo se basan en el estudio realizado por el Ministerio de Salud con el apoyo de la agencia alemana de cooperación (GIZ).<sup>13</sup> Con este modelo se estima la generación de residuos sólidos hasta el año 2050, y mediante el uso de la Calculadora de Gases de efecto invernadero que desarrolló la GIZ (Calculadora MRS-GEI),<sup>14</sup> se estiman las emisiones para un escenario de referencia. Para la estimación de las emisiones del sector se hace una calibración con los resultados de la calculadora del IPCC Waste Model,<sup>15</sup> con los factores utilizados por el IMN en el Inventario Nacional de GEI del 2010.

#### 4.1.1 Generación de Residuos Sólidos

El modelo de generación de residuos sólidos parte de las suposiciones de generación per cápita y de la estimación de este factor por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para el Inventario Nacional de Gases de Efecto invernadero del 2010. A partir de la información sobre los residuos recolectados y que llegan a los rellenos y vertederos, y que se desprende del Censo Nacional del 2011, el IMN estima para el año 2010 una generación per cápita de residuos de 357,6 kilogramos por año. El porcentaje de residuos en el país no recolectados es del 16,7%.

La composición de los residuos sólidos por tipo de componente en el escenario de referencia se mantiene para los dos escenarios (medio y alto) que son analizados. Del material reciclable, el estudio de Janssen (2012) encuentra las tasas de reciclaje actuales. Del total de residuos sólidos, actualmente la tasa de reciclaje es del 9,18%. Respecto al material orgánico, compuesto por restos de comida y residuos de jardines y parques, las tasas de compostaje actuales son de 0%.

---

<sup>13</sup> Janssen (2012).

<sup>14</sup> GIZ (2009).

<sup>15</sup> Esta hoja de cálculo implementa el método de Nivel 1 (*Tier 1*) para estimar las emisiones de metano de los vertederos de desechos sólidos. Para más detalles véase IPCC (2006).

**Cuadro 3 Tasa de Generación Per Cápita de Residuos Sólidos**

Año	Kg/per/día	Kg/per/año	Año	Kg/per/día	Kg/per/año
2010	0,98	357,62	2040	1,34	489,57
2020	1,10	401,60	2050	1,45	530,00
2030	1,22	445,59			

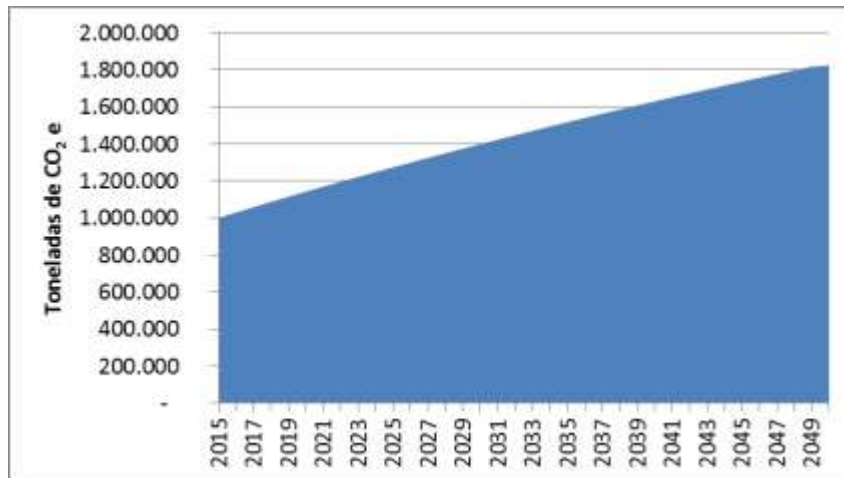
Fuente: elaboración propia con datos de OCDE e INEC

#### 4.1.1.1 Proyección de Línea de Referencia

La generación total de residuos y los lugares donde los residuos son dispuestos, son los indicadores base para calcular las emisiones de referencia del total de residuos proyectados al 2050. Se utiliza la hoja de cálculo desarrollada por el IPCC para la estimación de las emisiones de metano de los desechos sólidos utilizando el primer método para la descomposición. El factor de corrección de metano (MCF) es un indicativo del tipo de sitio de disposición final de desechos. Para el caso de Costa Rica, dado que los rellenos sanitarios gestionados son los que constituyen la principal fuente de información de este estudio, se utilizó una distribución particular. Se ha considerado la composición por sitio de disposición y la captación que se da del metano.

Los resultados de la estimación de las emisiones de acuerdo al modelo IPCC Waste Model se muestran en el Gráfico 29 y se usan para calibrar los resultados de los escenarios construidos con la Calculadora MRS-GEI. De esta manera se obtiene la línea de referencia de emisiones generadas por residuos sólidos.

**Gráfico 3 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Residuos Sólidos**



Fuente: elaboración propia con base en la Calculadora MRS-GEI

#### 4.1.1.2 Generación de Aguas Residuales

Para la estimación de las emisiones de las aguas residuales se usa como fuente los resultados del estudio de Salas (2012). Dicho trabajo presenta un modelo con la composición de los métodos

de disposición de aguas residuales domiciliarias. Los resultados en términos de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>e proyectadas para el escenario de referencia se muestran en el Cuadro 4. El mayor peso relativo lo tienen las aguas residuales domiciliarias, que se mantiene hasta el 2050.

**Cuadro 4 Emisiones Totales de Referencia por Aguas Residuales (ton CO<sub>2</sub>e)**

<b>Año</b>	<b>Domiciliario</b>	<b>Industrial</b>	<b>Total</b>
2010	333.361	41.823	375.184
2020	371.395	41.934	413.330
2030	388.090	42.500	430.589
2040	402.385	42.358	444.743
2050	416.680	41.545	458.225

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

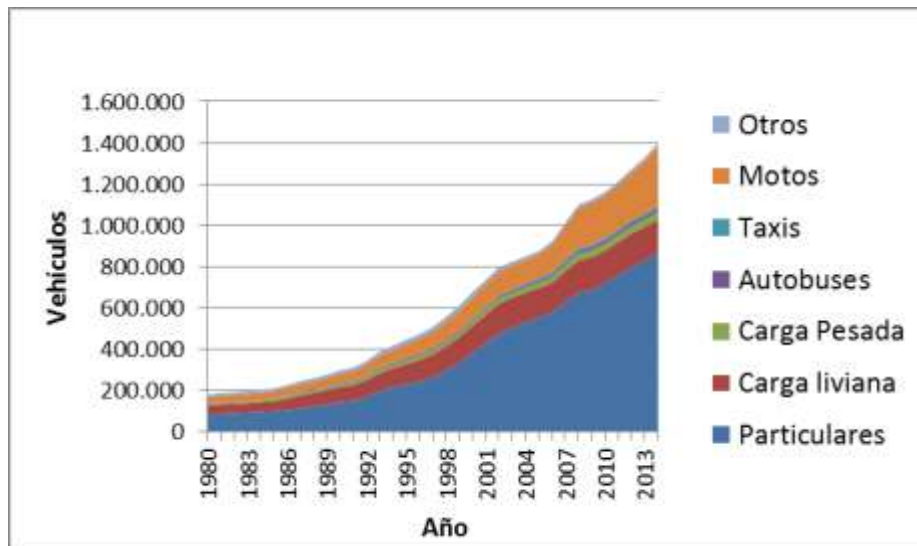
## 4.2 Sector Transporte

El sector transporte se caracteriza por ser el principal consumidor de energía de acuerdo a la matriz energética del país para el 2014, en donde los hidrocarburos representan el 66% del consumo total de la energía. Por su parte, las emisiones de GEI se explican especialmente por la flota vehicular privada (44% de las emisiones en el 2014). Le siguen las emisiones de la flota de transporte de carga, con un 22%, las motocicletas con el 16% y los autobuses, de transporte público regular y especial, en su conjunto representan un 14%.

La flota de vehículos particulares es del 64%, la de motocicletas del 16%, carga liviana 14% y carga pesada un 3%. La flota vehicular en el 2014 de cerca de 1,4 millones de vehículos, después de un crecimiento desde los años 90 que se ubica en una tasa promedio anual del 6%. Un 83% de los vehículos son gasolina y 17% diésel.

En el Gráfico 4 se observa la evolución del parque vehicular, en donde desde el año 1980 ha crecido a una tasa promedio anual de 6,2%, pero si se toma en cuenta que dicho promedio anual fue de 5.1% en la década de los ochenta, el principal empuje en el crecimiento de vehículos se da desde los años noventa, cuyo crecimiento anual hasta ahora registra un promedio de 6,7%. El crecimiento se centra en los vehículos particulares, los cuales desde 1990 han venido creciendo a una tasa anual del 7,8%.

Gráfico 4 Evolución del Parque Vehicular



Fuente: Dirección Nacional de Energía

#### 4.2.1 Proyecciones de la Flota Vehicular

Para la proyección de la flota vehicular y el consumo de energía relacionado con este rubro, se utilizan las estimaciones realizadas por la Dirección Sectorial de Energía (DSE) del MINAE para la Prospección del VI Plan Nacional de Energía.<sup>16</sup> A las estimaciones de las DSE se les hace un ajuste (debido a que son proyecciones hasta el 2030), y se usan las tendencias de crecimiento proyectadas hasta el 2050.

Para la proyección de la flota vehicular la DSE ha desarrollado una metodología que toma en cuenta el concepto de *saturación* que debe alcanzar el parque vehicular, especialmente el particular (privado), debido a que las personas pueden seguir comprando automóviles hasta un límite razonable. Esta condición está reflejada en la relación de personas por vehículo. Esta viene creciendo desde 1980, donde el parque vehicular ha crecido más rápido que la población, hasta que llegar a una relación en el 2014 de 4,6 personas por vehículo.

Para Costa Rica se asume que la tasa de saturación será de 1,8 vehículos por persona, ubicándose en niveles similares que Irlanda, Finlandia, Japón, Austria, Alemania, Nueva Zelanda, Canadá e Italia. De acuerdo a las tasas de crecimiento proyectadas de vehículos y de la población, el nivel de saturación de 1,8 vehículos por persona se alcanza en el año 2029, y se mantiene esa relación en los años posteriores.

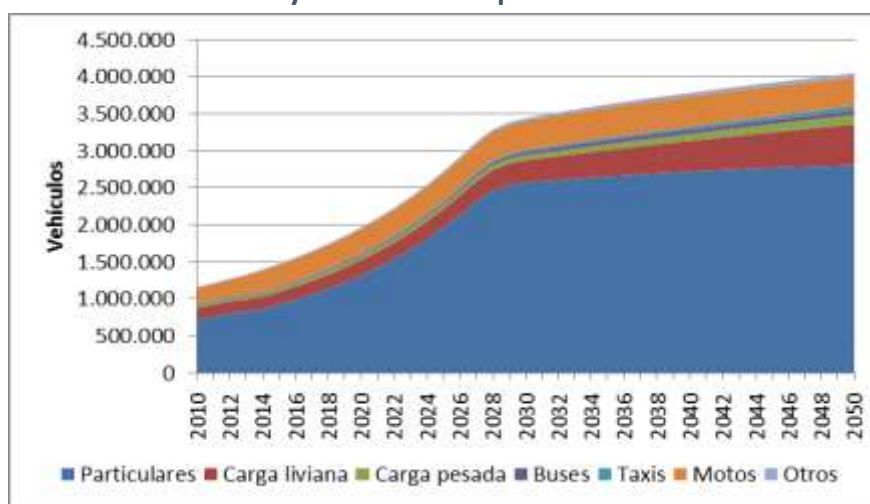
---

<sup>16</sup> DSE (2011).

La proyección del parque vehicular se ve en el Gráfico 5, con un parque estimado que supera los 4,5 millones de vehículos en el 2050. La estructura de la flota de vehículos en el país para el 2050 estaría compuesta por 72% de vehículos particulares, 15% de carga liviana, 5% para motocicletas, 3% para autobuses y carga pesada y 2% para taxis.

Uno de los aspectos más importantes de considerar con respecto al consumo esperado de combustibles en el futuro, es que la intensidad en el uso tanto del diésel como de la gasolina va disminuyendo por vehículo a través de los años. Este elemento es muy importante de destacar, ya que revela que para la construcción de un escenario base de emisiones para el transporte, ya se incorpora el hecho de que a través de los años la tecnología mejorará los rendimientos en el uso de los combustibles, independientemente de las políticas que al respecto impulse el país.

**Gráfico 5 Proyección del Parque Vehicular al 2050**



Fuente: elaboración propia con datos de DSE, Sancho Consulting S.A. (2012) y estimaciones de los autores

El consumo de energía resultante se observa, en el cual la mayor parte está explicada por los autos particulares, y le siguen el transporte de en el Gráfico 6 carga tanto liviana como pesada. Respecto al 2014 el consumo de combustibles fósiles debido al transporte crece un 88%. La proyección de la flota vehicular y el consumo de energía incorporan la saturación de vehículos por persona.

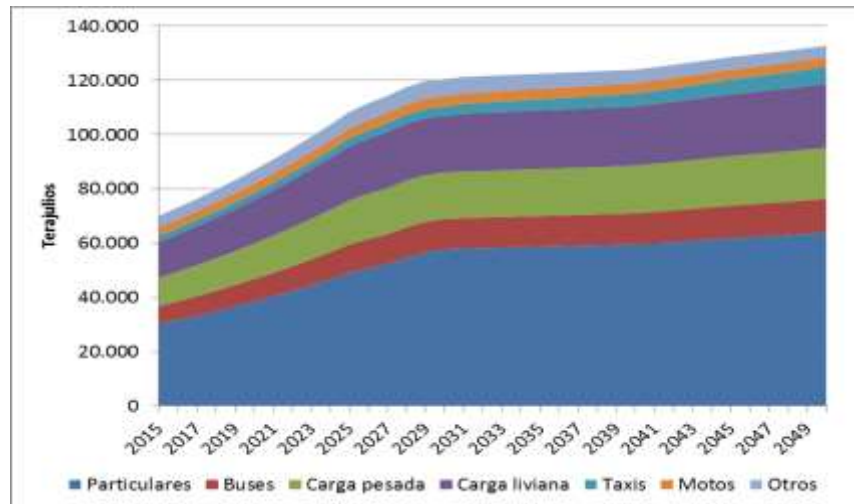
#### 4.2.2 Hidrocarburos

El sector de transporte terrestre es el principal consumidor de energía y generador de emisiones del sector hidrocarburos. Sin embargo, para tener un cuadro más adecuado del escenario de consumo de hidrocarburos es necesario considerar otros modos de transporte. Se usa una proyección de consumo energético de todos los modos de transporte. Adicionalmente, se



expandió la proyección de las diversas fuentes que habían sido consideradas en el VI Plan Nacional de Energía, con el fin de valorar el consumo de los otros hidrocarburos.<sup>17</sup>

**Gráfico 6 Proyección de Consumo de Energía del Parque Vehicular**



Fuente: elaboración propia con datos de DSE, Sancho Consulting S.A. (2012) y estimaciones de los autores

### 4.3 Sector Eléctrico

Dentro de Sector Energía, la Generación de Electricidad contribuye de manera importante con la mitigación de emisiones. El Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 señala que Costa Rica debería “*suplir la demanda de energía mediante una matriz energética que asegure el suministro óptimo y continuo de electricidad y combustible, promoviendo el uso eficiente de energía para mantener y mejorar la competitividad del país con predominio de fuentes renovables y al menor costo.*”<sup>18</sup> Esto implica continuar los esfuerzos del país por consolidar la generación eléctrica con base en fuentes renovables, las cuales representan actualmente un 80% de la capacidad instalada efectiva del país.

Para el año 2014, 90% de la generación eléctrica se produjo con base en fuentes renovables, destacando la hidroelectricidad (66% del total de la demanda eléctrica). En este sentido, y desde una perspectiva de largo plazo, se ha aprobado en el 2014 el Plan de Expansión de la Generación

---

<sup>17</sup> Debe señalarse que después de completado este análisis, se oficializó el VII Plan Nacional de Energía (octubre 2014). Para futuros ejercicios deberían entonces considerarse las nuevas proyecciones y detalles del VII Plan.

<sup>18</sup> MIDEPLAN (2014).

Eléctrica (PEG) 2014–2035, como instrumento de planeación dentro del marco de las políticas nacionales e institucionales en materia energética.<sup>19</sup>

Este Plan se presenta como un instrumento de mucha importancia por sus implicaciones para la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El PEG 2014-2015 comprende todo el Sistema Eléctrico Nacional (SEN)<sup>20</sup> y se basa en una política nacional e institucional que considera dos ejes principales. Desde la perspectiva ambiental, la protección del ambiente y el desarrollo sostenible así como la contribución con la carbono neutralidad. A la vez, desde una consideración energética, fomentar la independencia del petróleo y de fuentes importadas, la diversificación de fuentes renovables, la participación en el mercado regional, y el costo de la energía como un factor clave para la planeación futura.

El PEG 2014-2035 se fundamenta en el principio de dar prioridad nacional al desarrollo de fuentes renovables para la generación de electricidad. Por tanto señala que el uso del carbón es el menos deseable, que la adición y operación de plantas térmicas usando combustibles fósiles deben ser evitadas, que se debe privilegiar las fuentes renovables, y diversificar y desarrollar nuevas fuentes para satisfacer la demanda futura. Esto debido a la tendencia de años recientes con relación a fuentes térmicas. Si bien a principios del 2000 se revirtió la fuerte generación térmica que se produjo en los años 90, desde el 2004 la tendencia de generación térmica ha sido creciente, alcanzando 10,31% en el 2014. Si bien este porcentaje es relativamente bajo, el PEG tiene como objetivo reducirlo a menos del 5% en las próximas dos décadas.

#### 4.3.1 Proyección de la Demanda Eléctrica

Los escenarios de demanda de electricidad (ligados al crecimiento económico proyectado) son elaborados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).<sup>21</sup> En el Gráfico 7 se detallan los tres escenarios de demanda analizados. La estimación de la demanda de electricidad se basa en el ajuste de un modelo econométrico para cada sector de consumo, para determinar cuáles

---

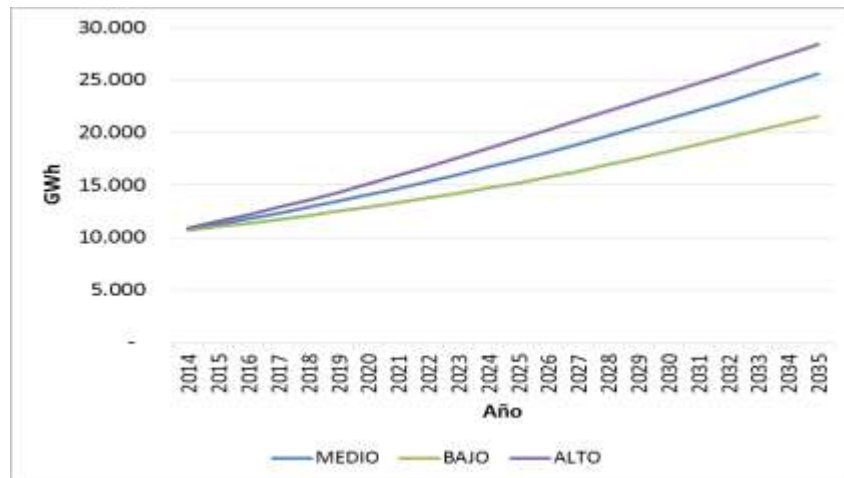
<sup>19</sup> ICE (2014). Elaborado por el Proceso de Expansión Integrada del Centro Nacional de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y aprobado por la Dirección del Centro de Planificación Eléctrica en abril del 2014.

<sup>20</sup> La generación de electricidad en Costa Rica la realizan siete empresas de servicio público y 30 generadores privados. Las empresas de servicio público son: el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE); la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL, subsidiaria del ICE); la Junta Administradora del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), la Cooperativa de Electrificación de San Carlos (COOPELESCA), la Cooperativa de Electrificación Rural de Guanacaste (COOPEGUANACASTE) y la Cooperativa de Electrificación Rural Los Santos (COOPESANTOS R.L.). Los generadores privados representan el 15% de la generación, mientras que el ICE aporta un 75% y las empresas distribuidoras un 10%.

<sup>21</sup> ICE (2013); ICE (2014).

variables explican estadísticamente el comportamiento de la demanda.<sup>22</sup> En los escenarios de demanda se establecen tres tasas promedio de crecimiento: Escenario Bajo (3.2%), Escenario Medio (4.3%), y Escenario Alto (5.2%). Las Rutas analizadas para el PEG 2014-2035 se basan en el *Escenario de Demanda Media*. Esto debido a que se considera que este escenario es el más probable y el que se puede atender de manera más equilibrada con los proyectos de expansión analizados.

**Gráfico 7 Escenarios de Expansión de la Demanda Eléctrica, 2014-2035**



Fuente: ICE (2014)

El PEG 2014-2035 para el escenario de demanda media incorpora tres etapas en su horizonte de planeamiento. Primeramente, un período de *obras en construcción* que abarca hasta el año 2019, donde destaca el proyecto hidroeléctrico Reventazón de 300 MW, que entrará en operación en el 2016, la ejecución del proyecto geotérmico Pailas 2 (55 MW) en el 2019, y la adición de nueva capacidad renovable del orden de 50 MW en el 2017-2018. Como segunda fase (*periodo intermedio*) entre el 2020 y 2025, se desarrollará un programa general de acciones para los años inmediatos. Como tercera etapa (*periodo de referencia*), a partir del 2025 y hasta el 2035 se establece la guía para conocer las necesidades futuras de recursos energéticos.

A partir del 2020 se establecen tres posibles rutas que han sido optimizadas dentro del PEG 2014-2035. Esto implica que las rutas son alternativas que se consideran como “viables” para el país, pero que tienen diferencias relevantes. La primera ruta de expansión tiene como eje central el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Diquís (se denomina RUTA 1). La segunda ruta se

<sup>22</sup> Los parámetros utilizados para la proyección de la demanda son: a) precio de la energía, b) Valor Agregado Comercial Ampliado (VACA), c) Valor Agregado Industrial (VAI), d) Valor Agregado Industrial Ampliado (VAIA), e) número de clientes.

fundamenta en la introducción de gas natural (GNL) en la matriz energética (llamada RUTA 2).<sup>23</sup> Una tercera ruta es no hacer ninguno de los dos proyectos anteriores (llamada RUTA 0). En este caso se depende del comportamiento futuro de la demanda para tomar medidas, especialmente con sistemas más atomizados en distintas fuentes renovables que requerirían respaldo térmico.<sup>24</sup> Adicionalmente a las tres rutas optimizadas en el PEG (que son Escenarios de Mitigación, como se detallará en una sección más adelante), se analiza un Escenario de Referencia (denominado PEG Teórico) a partir del 2021 con el fin de estimar cuál es la contribución que el país realiza al tomar la decisión de atender la demanda eléctrica futura considerando las fuentes renovables como prioridad, en contraposición a fuentes térmicas que podrían ser más atractivas desde un punto de vista financiero. Si bien destacan las fuentes térmicas en la lista de proyectos que se desarrollarían bajo este escenario, es de señalar que la base renovable que el país ha creado desde décadas atrás, permitiría mantener hacia futuro un porcentaje de electricidad con una participación menor de fuentes renovables, pero que nunca sería inferior al 85%.

#### 4.3.2 Emisiones en el Escenario de Referencia

Para establecer una línea de referencia de la generación eléctrica, con el apoyo del ICE se ha establecido una ruta de expansión de generación eléctrica *teórica*, la cual no se ha contemplado en el Plan de Expansión del ICE, pero se elaboró para determinar el escenario bajo el cual el país expandiría la generación eléctrica si optimizara el sistema por condición costo-beneficio, más que ambiental. Para el ICE la optimización mantiene la perspectiva de un parque eléctrico renovable, pero este ejercicio ha permitido establecer un escenario de referencia sobre la contribución implícita del sector eléctrico del país a la mitigación de emisiones al realizar la planificación eléctrica.

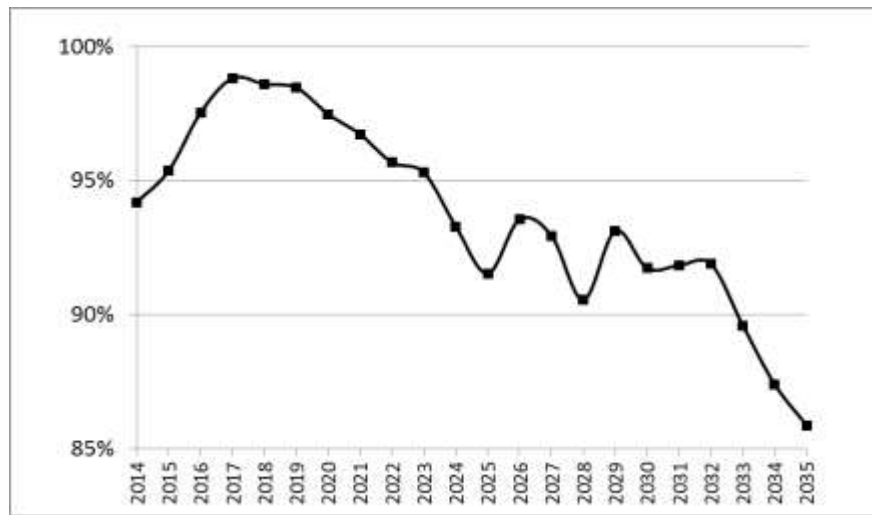
En el Gráfico 8 se muestra cómo la proporción de generación renovable en el escenario teórico de referencia disminuye a través del tiempo. Pese a esto, la proporción de fuentes renovables en la generación nunca es menor del 85%.

---

<sup>23</sup> Se le ha llamado el “combustible de transición” entre el petróleo y las fuentes renovables, dado que es el más limpio de los combustibles fósiles y a que recientes avances en las técnicas de extracción aumentaron significativamente las reservas explotables y bajaron los precios. La utilización del gas natural licuado (GNL) es una opción que se desarrollaría si no es posible aprovechar los recursos renovables del país.

<sup>24</sup> La variabilidad climática y la intermitencia de las fuentes renovables obliga a tener un complemento. El complemento debe ser capaz de generar cuando el sistema lo requiere, independientemente de las condiciones climáticas. La viabilidad de un sistema basado en renovables depende de estos complementos.

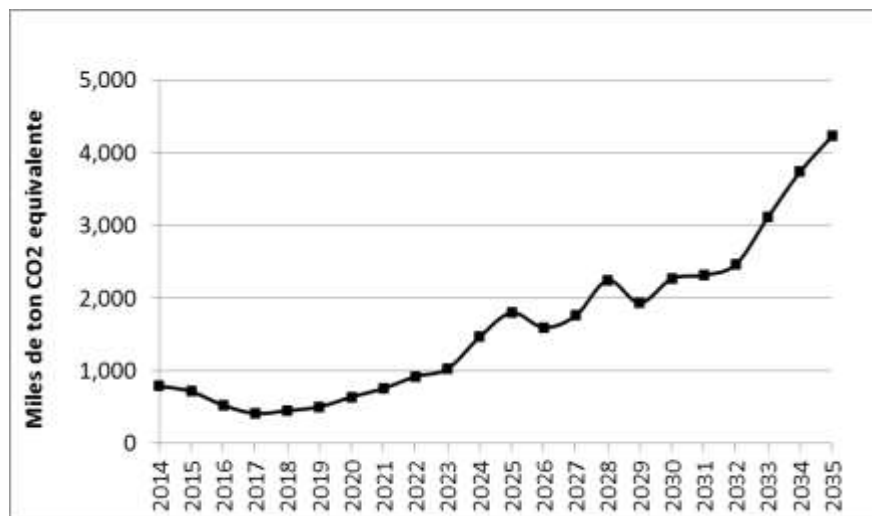
**Gráfico 8 Porcentaje de Generación Renovable en Escenario de Referencia**



Fuente: elaboración propia con datos del ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico elaboración propia con datos del ICE (2014)

El resultado es un escenario de referencia que se usa como escenario base para la estimación del efecto de las diversas opciones de ruta del Plan de expansión eléctrica (Gráfico 9). Se muestra cómo las emisiones hacia final del periodo más superan los cuatro millones de toneladas de CO<sub>2</sub>.<sup>25</sup>

**Gráfico 9 Emisiones del Sector Eléctrico en el Escenario de Referencia**



Fuente: elaboración propia con datos del ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico

<sup>25</sup> En el caso del sector eléctrico las estimaciones han sido realizadas por el ICE hasta el año 2035. Dado que los ejercicios para todos los sectores se proyectan hasta el 2050, se hacen ajustes sobre las tendencias hasta ese año.

#### 4.4 Sector Procesos Industriales

Para la estimación de las emisiones en el sector procesos industriales se usa como fuente el estudio de Salas (2012). Este estudio presenta una estimación de la producción de materiales de concreto, vidrio y cal. Las tasas de crecimiento de la producción de cemento, vidrio y cal resultante de estas estimaciones se usan para proyectar la producción de estos materiales desde los registros del Inventario Nacional de GEI del 2010. Con respecto a las emisiones de gases HCFC el análisis se basa en el Plan de Gestión para la eliminación de HCFC en Costa Rica 2013-2030 (DIGECA, 2013). En este estudio se hace una estimación del uso de refrigerantes hasta el año 2030, y la tendencia que muestran esas estimaciones se utilizó para proyectar hasta el 2050 Las emisiones estimadas para el sector de procesos industriales en el escenario de referencia se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Procesos Industriales (ton CO<sub>2</sub>e)**

<b>Año</b>	<b>Cemento</b>	<b>Vidrio y Cal</b>	<b>HCFC</b>
2010	592.350	29.180	181.000
2020	866.896	34.979	129.419
2030	1.283.218	42.640	45.125
2040	1.899.476	51.978	15.734
2050	2.811.688	63.360	5.486

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012) y DIGECA (2013)

#### 4.5 Sector Agropecuario

Para la estimación de la línea de referencia del sector agropecuario se contó con el apoyo de un equipo técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y con funcionarios de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). Se obtuvieron datos e información y se acompañó la revisión de un modelo de proyección de las actividades agrícolas para el periodo 2015-2050.

Para el sector agropecuario los análisis relativos a los cultivos agrícolas fueron tratados por aparte de las actividades pecuarias. Para el sub-sector agrícola un factor fundamental en el comportamiento de las emisiones es el área total de siembra, que tiene el uso de fertilizantes nitrogenados como una de las fuentes centrales de emisiones de GEI. Asimismo, en las actividades agrícolas una fuente importante de emisiones es la producción de arroz anegado.

Por su parte, para el sub-sector pecuario, el área de pasturas es uno de los factores de emisiones asociados a fertilizantes, por es el hato de los diversos tipos de ganado de donde proceden principalmente las emisiones, debido a la fermentación entérica y el manejo del estiércol. Para el análisis del sub-sector pecuario se tuvo el apoyo de la Gerencia de Ganadería del MAG, quien

ha elaborado una *Estrategia para la ganadería baja en carbono en Costa Rica*<sup>26</sup> (LEDS Ganadero) y un NAMA para ganadería.<sup>27</sup>

#### 4.5.1.1 Área Sembrada de Cultivos Agrícolas

Para este estudio se hizo un análisis del comportamiento del área sembrada de los cultivos agrícolas, de acuerdo a los registros estadísticos de SEPSA del MAG. Con estos datos se proyectaron las tendencias esperadas de los cultivos en cuanto al área utilizada. Dado que recientemente se publicaron los resultados del Censo Agropecuario 2014, se hicieron ajustes en las proyecciones a partir del año 2014 con los datos de área sembrada reportada según el Censo.

El ajuste de con base en la tendencia de estos cultivos desde 1990 solo se utilizó como punto de partida para ver la tendencia que describen en las últimas décadas. Se procedió a establecer un techo o un piso del aumento o caída proyectada del área sembrada, ya que las tendencias en los últimos años marcaban proyecciones, que de acuerdo con los expertos del MAG son difíciles de esperar por las expectativas que se manejan de los cultivos. Para las proyecciones se analizaron primero 6 cultivos que representan el 78% del área sembrada (café, arroz, caña de azúcar, banano, piña y palma de aceite). Los resultados se observan en el Cuadro 40.

Se han hecho adicionalmente proyecciones de las actividades agrícolas y demanda por suelos para 8 productos menores con que representan el 11% del área sembrada, con lo que se cubre cerca del 90% del suelo usado por un total de 14 productos, y los resultados se observan en el gráfico 10.

#### 4.5.1.2 Área Sembrada de Pastos y Hato Ganadero

Con respecto a las proyecciones del área utilizada por las actividades de ganado bovino y el hato nacional, las proyecciones se basan en la Estrategia de Desarrollo Ganadero Bajo en Carbono y el escenario de referencia que plantea, es decir, la situación del sector ganadero en los próximos años si se mantuviese la tendencia seguida hasta hoy en día.<sup>28</sup>

La línea de referencia establece que siguiendo el patrón sin ninguna variación (*BAU*) en los próximos veinte años el sector ganadero se caracterizaría por:

- Un hato ganadero con una ligera tendencia de crecimiento.

---

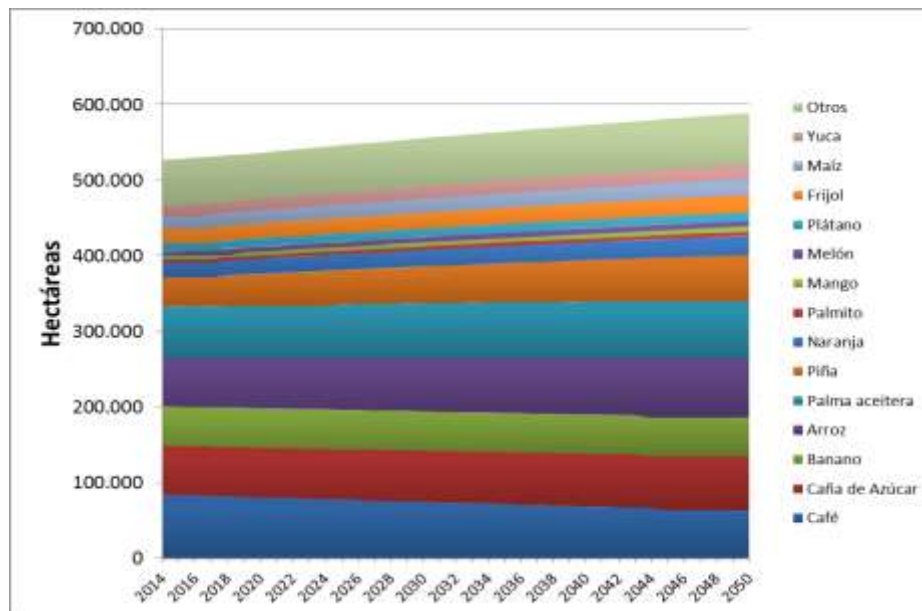
<sup>26</sup> SIDE (2015).

<sup>27</sup> MAG (2013).

<sup>28</sup> SIDE (2015).

- El uso del suelo con tendencia hacia menores áreas en pastoreo y algún desplazamiento hacia otros rubros y bosque secundario por abandono de pastizales.
- El aumento moderado de la producción de carne y algo más positiva en la producción de leche.
- Las emisiones de GEI por animal tendrían una ligera disminución, pero no el total de emisiones debido al crecimiento en el tamaño del hato.
- Mayor secuestro de carbono por ampliación de las áreas de bosque en crecimiento.

**Gráfico 10 Línea de Referencia de Área cultivada**



Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA-MAG y estimaciones de los autores

Para elaborar la línea de referencia se supone una reducción del área total de pastos a una tasa anual del 1 por ciento y del aumento del área de pastos con buen manejo (mejorados) a una tasa de 1 y 2 por ciento anual sobre la tendencia en el escenario de referencia. Se han considerado tres aspectos con relación a la ganadería y el cambio climático (estacionalidad, inestabilidad y contribución neta al cambio climático), y su influencia en la ganadería. Los tres tienen alta relevancia para la Estrategia. La estacionalidad marcada por los períodos de lluvias y ausencia de ellas es uno de los principales desafíos del sector. La situación adquiere particularidades respecto a la escasez de lluvias y agua para el ganado en la zona del Pacífico y lo opuesto por ocasional exceso de lluvias en la zona Atlántica.

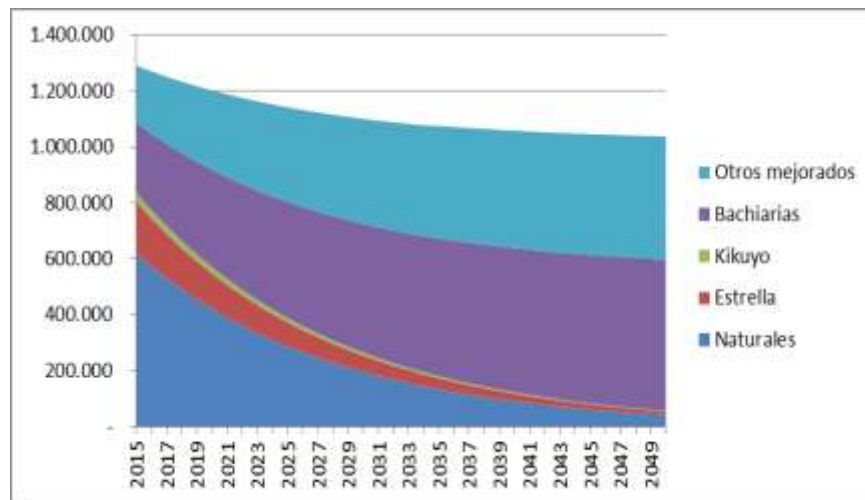
El impacto de la ganadería en el cambio climático proviene principalmente de las emisiones de metano por razón de la fisiología de los rumiantes (fermentación entérica), por las emisiones de dióxido de carbono por las quemaduras de pastos y charrales y por la emisión de dióxido nitroso por



la fertilización de pastos en algunas lecherías con manejo intensivo de pasturas. De las tres fuentes, las emisiones de metano tienen el mayor peso relativo.

Algunos de los supuestos más importantes se relacionan con la tendencia de los últimos años en cuanto a: crecimiento del sistema de ganadería de doble propósito; expansión de la ganadería en la Región Norte y no en otras; tasa de aumento en pastos mejorados; reducción de área de pasto naturalizado pero también una tasa positiva en degradación de pastos que habían sido mejorados (semillas de brachiarias y otras); y una tasa de aumento del área de bosque en crecimiento en las fincas ganaderas a partir de charrales y tacotales en suelos en los que se deja de pastorear ganado. La proyección de pastos se observa en el Gráfico 11. Las proyecciones del hato pecuario están contenidas en el Cuadro 6.

**Gráfico 11 Escenario de Referencia de Uso de Suelo en Pasturas**



Fuente: elaboración propia con datos del LEDS Ganadero y estimaciones de los autores

**Cuadro 6 Proyección del Hato ganadero (N° de Cabezas)**

Año	Vacuno	Caprino	Ovino	Porcino	Asnal	Bufalino	Caballar	Mular	Aves de Corral
2015	1.326.762	13.334	37.142	451.561	1.400	4.544	69.452	2.832	19.286.405
2020	1.537.298	15.450	43.036	523.217	1.622	5.265	80.473	3.282	22.346.850
2030	1.695.938	17.044	47.477	577.209	1.789	5.809	88.777	3.620	24.652.912
2040	1.796.419	18.054	50.290	611.408	1.895	6.153	94.037	3.835	26.113.555
2050	1.900.000	19.095	53.190	646.661	2.004	6.508	99.459	4.056	27.619.248

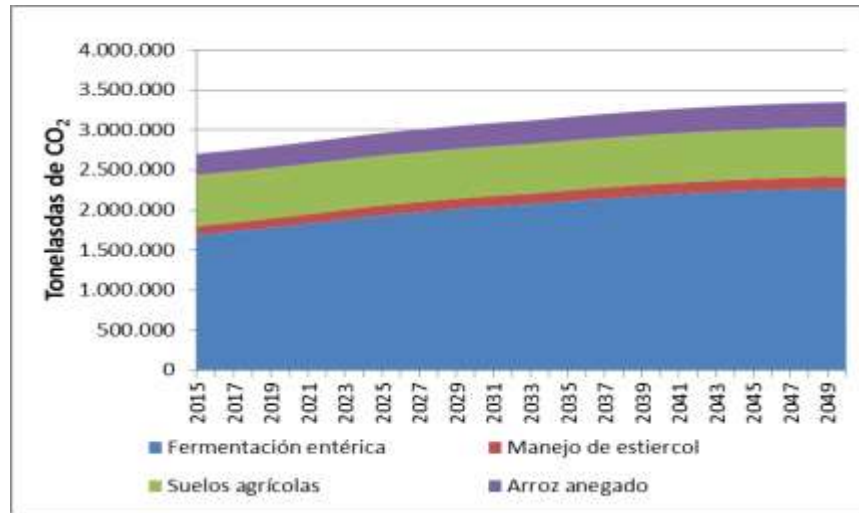
Fuente: elaboración propia con datos del LEDS Ganadero y estimaciones de los autores

#### 4.5.1.3 Línea de Referencia de Emisiones Agropecuarias

Para el cálculo de la línea de referencia de emisiones del sector agropecuario se utilizan los factores de emisión del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero del 2010. Las fuentes de emisiones consideradas son la fermentación

entérica, el manejo de estiércol, la fertilización en los suelos agrícolas, el cultivo de arroz anegado y el efecto sobre el bosque del aumento o disminución de en el área cultivada o con pasturas. Las emisiones resultantes se observan en el Gráfico 12 en donde todas las actividades fuentes de emisiones crecen en el tiempo, excepto en lo referente del efecto en el bosque, ya que paulatinamente el aumento neto del área en que crecen los cultivos va disminuyendo en el tiempo y por lo tanto se reduce el bosque removido por aumento de cultivos.

**Gráfico 12 Línea de Referencia de Emisiones del Sector Agropecuario**



Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA-MAG, IMN (2014) y estimaciones de los autores

## 4.6 Sector Forestal

Para el sector forestal se construyó la línea de referencia con base en la dinámica de uso del suelo observada en el periodo 2008-2013. La proyección del sector forestal se realizó en tres etapas: 1. Proyección del cambio en el área agropecuaria; 2. Proyección del cambio en la cobertura forestal asociado al cambio en área agropecuaria; y 3. Estimación de existencias y cambios de existencia de carbono en los bosques de Costa Rica.

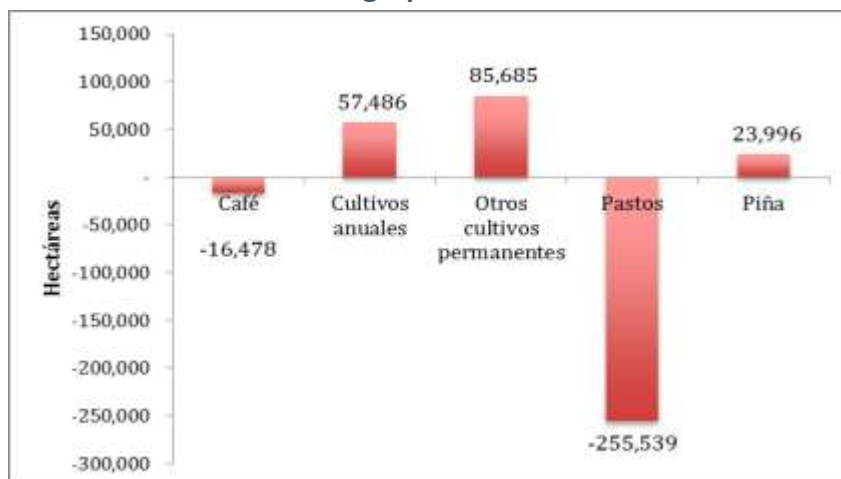
### 4.6.1.1 Proyección del Cambio en el Área Agropecuaria

La proyección del cambio de la cobertura forestal básicamente depende de la expansión o reducción del área agropecuaria que se produciría durante el periodo 2014-2050. Se usa los cambios en área agropecuaria del país considerados en la proyección de la pérdida y ganancia de la cobertura boscosa en Costa Rica, cambio estimado por los autores para todas las actividades con excepción de las pasturas, el cual está estimado a partir de la información consignada en la *Estrategia para la ganadería baja en carbono en Costa Rica* (LEDS Ganadero).

Se proyecta una reducción de 236.935 ha en las áreas dedicadas a la ganadería, principalmente en las tierras en sobreuso, seguida de una reducción en el área de cultivo de café de 20.000 ha.

Se estima que los cultivos anuales y otros cultivos permanentes se incrementarían en 25.000 y 50.000 ha. Se estima que las áreas agropecuarias tendrán un decrecimiento de 203.000 ha, cediendo estas tierras a urbanizaciones y nuevos bosques. En el Gráfico 13 se observa el cambio neto en el área agropecuaria durante el periodo en estudio.

**Gráfico 13 Cambio Neto en el Área Agropecuaria Durante el Periodo 2014-2050 (ha)**



Fuente: Fuente: elaboración propia con datos de INTA-MAG, MAG (2015) y estimaciones de los autores

#### 4.6.1.2 Proyección del Cambio en la Cobertura Forestal

La proyección del cambio en la cobertura forestal se realizó utilizando la “Herramienta para generar escenarios de existencias y cambios de existencia de carbono en los bosques de Costa Rica” (Herramienta CDI), desarrollada por Carbon Decisions International.<sup>29</sup> Esta herramienta requiere de la definición de tres parámetros para la proyección del cambio en la cobertura forestal: a) Tasa de deforestación de bosque maduro; b) Tasa de deforestación de bosques nuevos; y c) Cantidad de anual de bosques nuevos.

**Tasa de deforestación de bosque maduro:** la tasa de deforestación en bosque maduro se estima a partir de la pérdida de bosques asociada con la expansión proyectada del área agropecuaria y la proporción de expansión a costa de bosques maduros, observada en el periodo 2008-2013 según Agresta (2015).<sup>30</sup> Se asume que las tierras en parques nacionales y reservas biológicas (631.000 ha) no presentarán cambios importantes en ganancia o pérdida de cobertura boscosa. El 94.8% (598.000 ha) de las tierras en parques nacionales y reservas biológicas se encuentra bajo

<sup>29</sup> Segunda versión borrador de Junio 2015. Esta herramienta se desarrolló como parte del trabajo para desarrollar un nivel de referencia REDD+ para Costa Rica. Véase Pedroni et al (2015).

<sup>30</sup> La actividad agropecuaria mantiene una dinámica de intercambio de tierras, eliminando plantaciones, deforestando bosques primarios y secundarios y cediendo tierras para nuevos bosques y plantaciones.

cobertura natural (bosques primarios, secundarios, yolillales o manglares). El resto del área (31.000 ha) se encuentra en pasturas y cultivos.

En el escenario de referencia del sector forestal proyecta para el periodo 2014-2050 una pérdida de 131.000 ha de bosques maduros. Con estos datos se estiman las tasas de deforestación de bosque maduro. Se utiliza la tasa de deforestación de bosque maduro observada en el periodo 2008-2013 para los diferentes tipos de bosque, estimada a partir de los datos de Agresta (2015). En este caso se asume que la tasa sufre un decrecimiento del 10% para el periodo 2014-2020 y de un 5% para los periodos de tiempo sucesivos (2021-2030, 2031-2040, 2041-2050).

Se estimaron las tasas de deforestación de bosque maduro para los tipos de bosque identificados en la Herramienta CDI (BHT, BHP y BST), y las estimaciones son utilizadas en la proyección del cambio en la cobertura forestal de la línea de referencia. La proyección de la cobertura boscosa estima un decrecimiento de bosques maduros de 2.060.000 ha en el 2014 a 1.947.000 ha en el 2050.

**Tasa de deforestación de bosques nuevos:** Para el escenario de referencia se utilizan las tasas de deforestación de bosques nuevos ajustadas a partir de la serie histórica desarrollada por Agresta (2015).

**Cantidad anual de bosques nuevos y plantaciones forestales:** Se proyecta la ganancia de bosques nuevos a partir de la sesión de tierras agropecuarias proyectada para el periodo 2014-2050 y la proporción de pérdida de tierras agropecuarias observada en el periodo 2008-2013 en Agresta (2015). Para este escenario se proyecta una ganancia de bosques nuevos para el periodo 2014-2050 de aproximadamente 299.000 ha y de 53.000 ha de plantaciones forestales. Se asume una tasa anual de reclutamiento de bosques nuevos igual a la observada para en el periodo 2008-2013 de la serie histórica de Agresta (2015). Dicha tasa de regeneración decrece en un 5.5% anualmente. Para este escenario se asume que se cantidad de plantaciones forestales no se incrementa. Considerando las tasas de deforestación de bosques nuevos y las tasas anuales de reclutamiento de bosques, se proyecta con la Herramienta CDI la cobertura de bosques nuevos para el periodo 2014-2050. Se estima un crecimiento de la cobertura boscosa de 422.000 ha.

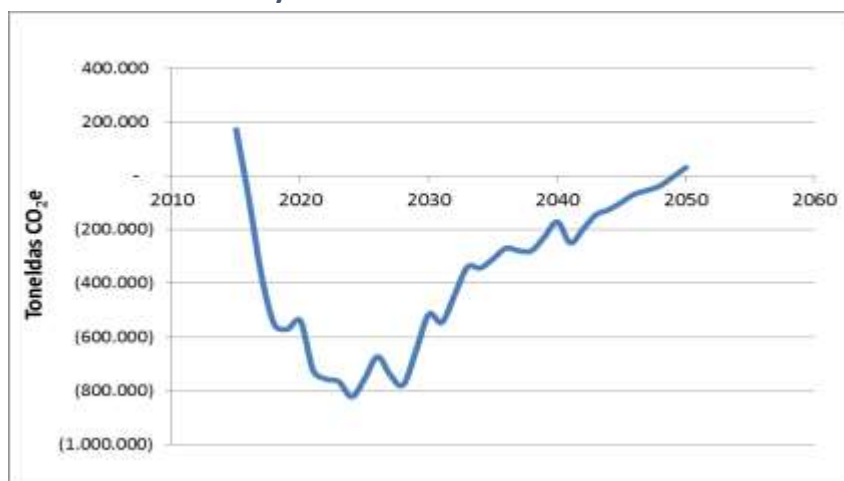
#### *4.6.1.3 Existencias y Cambios de Existencia de Carbono en los Bosques*

Para establecer la línea de referencia de emisiones, se estimaron las existencias de carbono forestal en Costa Rica a partir de la proyección de cobertura boscosa utilizando la Herramienta CDI. En el Gráfico 63 se presenta la proyección de emisiones para el sector forestal en Costa Rica, estimadas a partir de la evolución de bosques maduros y nuevos. Para el periodo 2014-2050, se

proyecta una emisión acumulada de -12,7 millones de Mg CO<sub>2</sub>-e. Asimismo, se observa que la tendencia de las emisiones presenta un comportamiento errático.

En el Gráfico 64 se presenta la estimación preliminar del cambio total de existencias de carbono forestal en Costa Rica, a partir de la proyección de cobertura boscosa modelada. La herramienta estima un importante incremento en las emisiones cerca del 2040, de manera que en el actual escenario, si no se toman acciones, el sector forestal sería emisor neto para el 2050.

**Gráfico 14 Estimación del Cambio de Existencias de Carbono forestal en Costa Rica a partir de la Proyección de Cobertura boscosa**



Fuente: elaboración propia con datos a partir de Agresta (2015) y Herramienta CDI

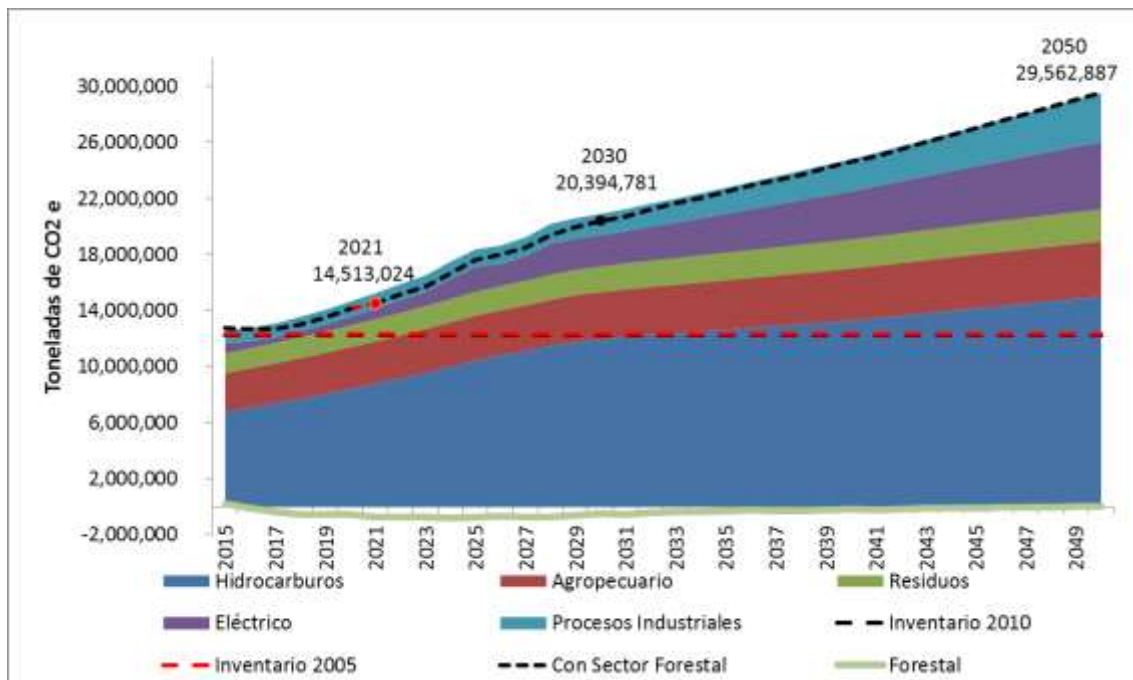
#### 4.7 Escenario de Referencia de Emisiones Nacionales

Para el escenario de referencia nacional de las emisiones se procede a hacer una agregación de los escenarios de referencia sectoriales. En el Gráfico 15 se muestran los resultados de la suma de las emisiones sectoriales proyectadas. Para la proyección de las emisiones de gases de efecto invernadero del país, el escenario contempla del año 2015 al 2050. Se parte de una economía que registrará una tasa de crecimiento promedio del 4,0% real. El crecimiento de la población es acorde con las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) con una tasa anual promedio del 0,7%. Las emisiones totales netas están representadas por la línea negra discontinua, que incluye el efecto de la ligera reducción que permite el sector forestal en el escenario de referencia.

Las emisiones en este escenario se prevén aumentando de 12,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2015 a 29,6 millones de toneladas para el año 2050, lo que implica un crecimiento en el periodo del 132% en las emisiones totales del país y una tasa de crecimiento promedio anual del 2,5%. Para el año 2030 las emisiones son de alrededor 20,4 millones toneladas de CO<sub>2</sub>e, es decir

un 60% por encima de lo registrado en el 2015. Para el año 2021, las emisiones alcanzan un nivel de 14,5 millones toneladas de CO<sub>2</sub>e, 14% por encima de los niveles estimados para el 2015.

**Gráfico 15 Escenario Nacional de Referencia: Emisiones Totales al 2050**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

El sector de hidrocarburos sigue mostrando la mayor proporción de emisiones durante todo el periodo, representando el 54% de las emisiones en el 2015 y 51% en el 2050 (esto sin considerar el sector forestal). Si bien en el sector transporte se prevé una disminución de la intensidad energética en el uso del diésel y la gasolina por tipo de vehículo (gracias a la tendencia de tecnologías en vehículos menos emisores), la participación del sector transporte se proyectó muy similar por el alto crecimiento que se seguirá dando en la flota vehicular. Por su parte, el sector agropecuario experimentará un proceso de “descarbonización” importante, lo cual hará que su participación del 22% en el 2015 baje a 13% en el 2050.

la disminución en la intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub>e se debe especialmente a la disminución prevista del área ganadera (que además ha venido introduciendo y prevé mayor incorporación de pastos mejorados, que si bien están destinados a aumentar la productividad del sector, tienen un importante efecto en la fermentación entérica del ganado vacuno, principal fuente de emisiones del sector). Se une a ello la expansión del área de cultivos agrícolas, que es superada por la contracción del área de pasturas, lo que implica un decrecimiento del 9,5% resultante de las tierras dedicadas para las actividades agropecuarias como un todo.

Para determinar la contribución del sector eléctrico, el escenario de referencia del sector eléctrico ha permitido determinar que la política ambiental alrededor de la expansión eléctrica está evitando el impulso de un parque con alto contenido de uso de combustibles fósiles y carbón mineral, los cuales hubiesen sido fuentes costo-beneficio más factibles para el país, pero con una implicación de un alto impacto ambiental por las emisiones. El ejercicio de este escenario de referencia le permite al país entonces determinar la contribución implícita en la expansión altamente renovable que se plantea para el futuro. En este escenario de referencia las emisiones del sector eléctrico pasan de un 6% de las emisiones netas totales, a un 16%, ya que con los años una virtual incorporación de un parque térmico mayor haría al sector más intensivo en emisiones de CO<sub>2</sub>e.

Los escenarios de referencia de los sectores de residuos sólidos y de procesos industriales no plantean transformaciones fundamentales en los escenarios futuros respecto a su estructura de generación de emisiones de GEI, pero su participación en las emisiones totales cambia derivado del comportamiento de los otros sectores antes apuntados. La participación del sector residuos sólidos varía de un 11% en el 2015 a 8% en el 2050 y el sector procesos industriales de un 7% a un 12% en el mismo periodo.

El sector forestal merece una atención especial entendiendo que este sector lleva a cabo una profunda revisión metodológica debido al impulso de la Estrategia REDD+. Es un proceso que no estaba concluido al final de este estudio, ya que el país viene revisando la generación de datos e información procedente de las imágenes satelitales que han ayudado a lo largo de los años a ver los patrones de reforestación, deforestación y cobertura boscosa resultante, así como la composición de los tipos de bosque. Este sector también se encuentra en el proceso de publicación del Inventario Nacional Forestal (INF) y levantamiento de otros registros, por lo que los resultados esperados finales de estas actualizaciones no se incorporaron plenamente en este análisis.

Los resultados del sector forestal deberán entenderse por lo tanto como preliminares. Con el nivel de secuestro neto en el escenario de referencia, el sector forestal no disminuye significativamente las emisiones totales del país. Se encuentra que para el final del periodo en análisis las emisiones del sector forestal comienzan a ser positivas. Hay dos factores fundamentales que producen preliminarmente estos resultados, uno es la alta proporción de bosque maduro por medio de las acciones tempranas con el impulso de zonas de protección y el Pago por Servicios Ambientales (PSA). Adicionalmente, se encuentra que el país sigue estando expuesto a deforestación, produciendo emisiones en el sector que compensan en gran parte el secuestro de carbono del bosque y la plantación forestal en crecimiento que mantiene el país. Pero es importante destacar que este último aspecto relacionado a las tasas de deforestación

que aún persisten en el país, constituye a su vez en una gran oportunidad para que el país contribuya mediante acciones en el sector forestal encaminadas a contener los procesos de deforestación que permitan la regeneración del bosque.

#### 4.7.1 La Meta Carbono Neutralidad

En el año 2007 Costa Rica anunció su meta de ser un país carbono neutro para el año 2021. La promulgación del Acuerdo 36-2012 MINAE denominado Programa País Carbono Neutralidad<sup>31</sup> establece que el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) ha definido como año base para el cálculo de la Carbono Neutralidad del país el año 2005. Esta meta de la C-neutralidad debe entenderse como el compromiso del país de compensar las emisiones sobre la línea de emisiones registradas en el inventario nacional de GEI del 2005.<sup>32</sup>

En este análisis se ha utilizado como referencia el Inventario nacional de GEI del 2010, ya que este es el último inventario publicado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en el 2014, e incorpora metodologías más recientes establecidas por el IPCC.<sup>33</sup> Se utiliza un nivel de emisiones de acuerdo con el Inventario del 2010 sin incorporar al sector forestal, ya que como se explicó, este sector pasa actualmente por una profunda revisión metodológica. Las estimaciones realizadas en este trabajo indican que el nivel de emisiones del país se ubica en 12.234.230 toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2010. Comparado con las 12.285.900 toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2005, la modificación del año de referencia del 2005 al 2010 no genera un cambio fundamental respecto a este nivel. Respecto a este nivel de referencia (que podría ser considerado para la meta Carbono Neutralidad), las emisiones totales en el 2021 se encontrarían (en el escenario de referencia base), por encima en un 19%, para el 2030 en un 67%, y en un 142% en el 2050. Estas cifras no solo reflejan que alcanzar la meta Carbono Neutralidad demanda un gran esfuerzo para el país, sino que también con el pasar de los años se tiene una sociedad y economía que se vuelve (según el escenario de referencia) más intensiva en carbono, por lo que se requiere una transformación productiva y de patrones de consumo para reducir la intensidad carbónica que se presenta en el escenario de referencia.

---

<sup>31</sup> ALCANCE 79- 19 Junio 2012- Acuerdo Programa País.

<sup>32</sup> En Septiembre 2015 Costa Rica presentó su INDC, articulando la visión del gobierno para la meta de carbono neutralidad y su definición con un horizonte hasta el 2030 y el 2050. Para más detalles véase <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Costa%20Rica/1/INDC%20Costa%20Rica%20Version%202%200%20final%20ES.pdf>

<sup>33</sup> El IMN publicará en los próximos días el Primer Informe Bienal de Cambio Climático (BUR) con un nuevo inventario de emisiones para el 2012, y actualizaciones de los inventarios del 2012 y 2005.



#### 4.7.2 Intensidad de Emisiones por Producto y por Habitante

Con base en un escenario *medio* de crecimiento económico, a una tasa de 4% anual, se prevé a través de los años una economía menos intensiva en emisiones de carbono, mientras que la población será más intensiva en emisiones de GEI. En el Cuadro 7 se muestra que en el escenario de referencia las emisiones por habitante aumentan y casi se duplican durante el periodo. Por su parte, la intensidad de emisiones por producto disminuye, reflejando que los sectores productivos ya vienen incorporando medidas de eficiencia energética y de producción más limpia que permiten un crecimiento paulatino menos intensivo en emisiones de CO<sub>2</sub>e. Si bien el patrón de “descarbonización” de la producción es positivo en términos de lo que ha venido persiguiendo el país, está lejos de ubicarse en los niveles deseados para metas más ambiciosas como las asociadas a potenciales contribuciones nacionales o la C-Neutralidad.

**Cuadro 7 Intensidad de Emisiones por Habitante y Producto**

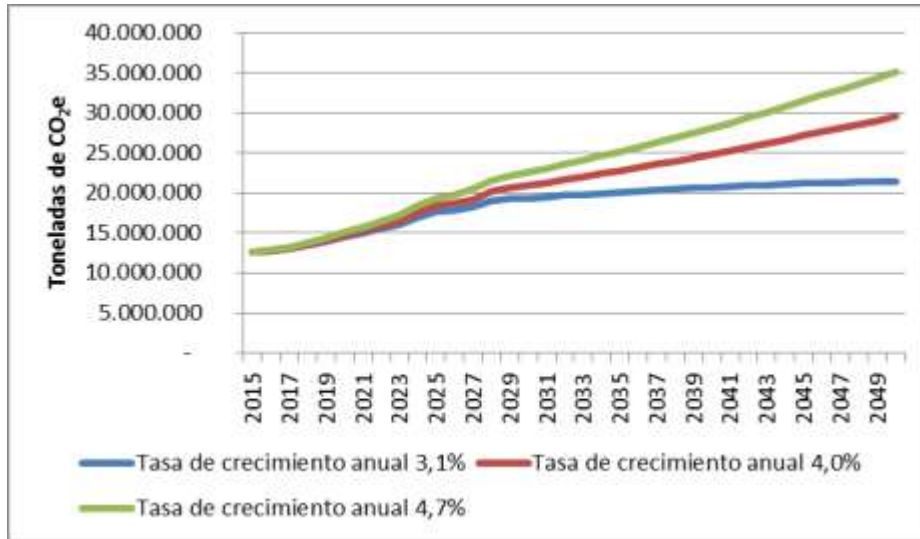
Año	CO <sub>2</sub> e per cápita	CO <sub>2</sub> e / Millón de PIB
2015	2,6	4,8
2020	2,8	4,3
2030	3,7	4,2
2040	4,2	3,5
2050	4,9	2,8

Fuente: elaboración propia con base en cifras oficiales y estimaciones de los autores

#### 4.7.3 Escenarios Alternativos de Crecimiento Económico

La intensidad carbónica a la que evoluciona el país permite prever los efectos de tasas alternativas de crecimiento del PIB sobre las emisiones del país. Si la tasa no fuera del 4,0% sino menor (3,15%), o mayor (4,7%), los resultados son los que se observan en el Gráfico 16. Con una tasa del 3,1% las emisiones serían prácticamente planas a través de los años, lo que indica que el aumento de la actividad económica se vería compensado por la disminución de la intensidad de las emisiones de la producción a través de los años. Como se había visto anteriormente, con una tasa de crecimiento del 4,0% las emisiones mostrarían una tasa de crecimiento promedio anual del 2,5% entre 2015 y el 2050. Por otro lado, con la tasa de crecimiento del PIB del 3,1%, las emisiones crecerían a una tasa anual promedio de 1,5%. En el escenario de un crecimiento del PIB de 4,7% anual las emisiones se verían aceleradas de una manera marcada, hasta alcanzar 35 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2050, 19% por arriba de lo que se estima en el escenario de referencia con la tasa del PIB del 4,0%. Con la tasa de crecimiento del PIB del 4,7%, las emisiones crecerían a una tasa anual promedio de 3,0%.

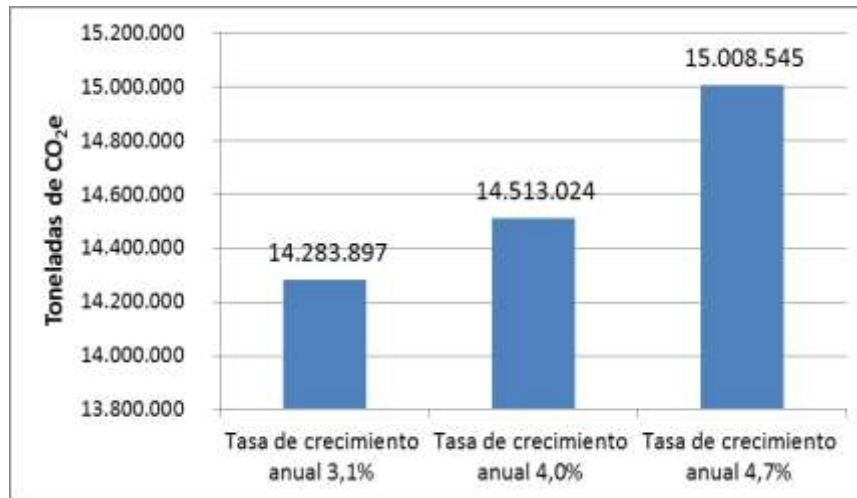
**Gráfico 16 Emisiones Totales según Tasas alternativas de Crecimiento del PIB**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

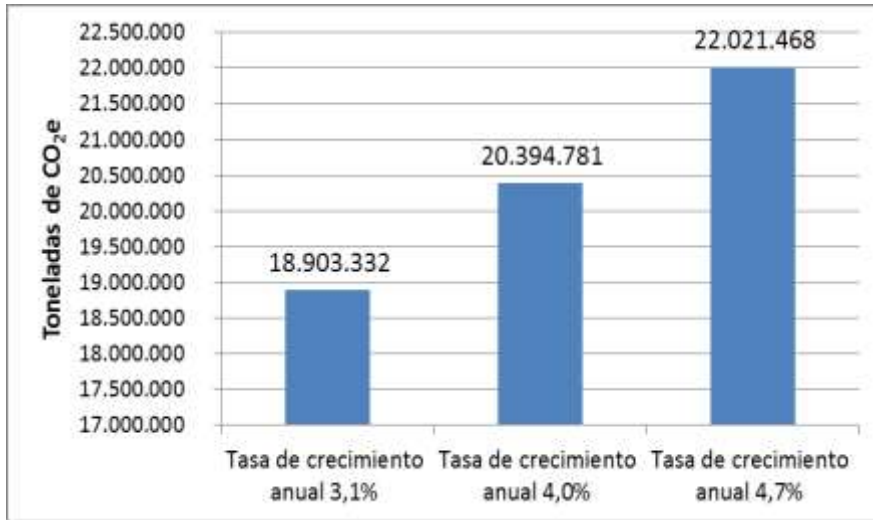
Estos resultados muestran cómo con la intensidad de emisiones de la producción nacional es muy sensible al crecimiento económico efectivo. En los Gráficos 17, 18 y 19 se muestran los resultados de las emisiones a las tasas alternativas de crecimiento del PIB para el 2021, 2030 y 2050, respectivamente. Finalmente, el Cuadro 8 presenta los resultados de las emisiones en el escenario de referencia por sector y agregadas a nivel nacional.

**Gráfico 17 Emisiones totales en el 2021 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB**



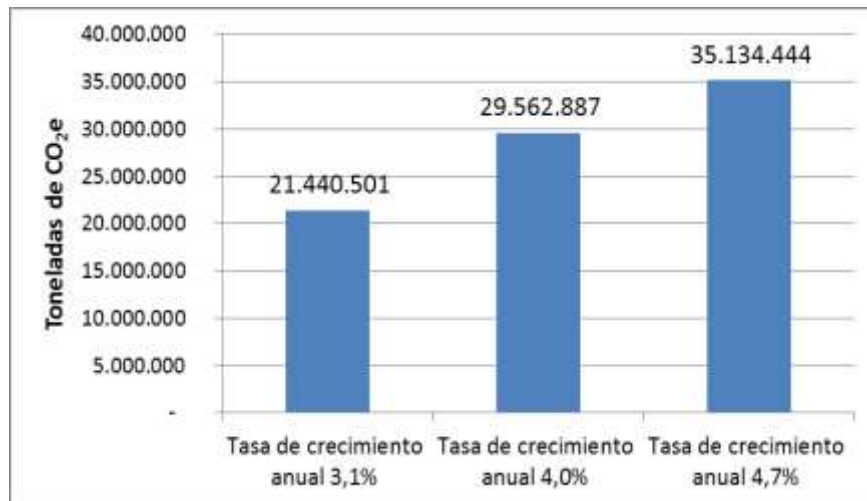
Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 18 Emisiones totales en el 2030 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 19 Emisiones Totales en el 2050 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Cuadro 8 Escenario de Referencia de Emisiones por Sector y Totales 2015-2050  
(Toneladas CO<sub>2</sub>e)**

Año	Hidrocarburos	Agropecuario	Residuos	Eléctrico	Procesos		Total
					Industriales	Forestal	
2015	6.796.223	2.750.493	1.393.830	708.745	925.334	172.532	12.747.158
2020	8.395.432	2.986.204	1.555.163	625.668	1.084.299	- 538.874	14.107.893
2025	10.439.288	3.192.482	1.696.769	1.783.628	1.261.405	- 754.235	17.619.337
2030	11.945.434	3.365.832	1.829.047	2.252.430	1.516.344	- 514.306	20.394.781
2035	12.636.634	3.531.871	1.954.916	2.789.733	1.853.993	- 307.699	22.459.447
2040	13.289.566	3.698.894	2.073.834	3.458.168	2.286.251	- 170.535	24.636.178
2045	14.164.432	3.836.811	2.187.664	4.126.603	2.831.382	- 97.474	27.049.417
2050	15.012.526	3.927.460	2.281.873	4.795.038	3.514.170	31.819	29.562.887

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

## 5 Análisis de Medidas de Mitigación por Sector

En esta sección se hace un análisis del conjunto de medidas de reducción o remoción de GEI que han sido identificadas, mediante un proceso de trabajo conjunto con las contrapartes técnicas de los Ministerios y agencias de gobierno de los sectores analizados. La identificación de estas medidas ha sido producto de un trabajo consultivo técnico, que incluyó reuniones y talleres de trabajo con apoyo de las contrapartes sectoriales.

### 5.1 Sector Residuos Sólidos

Para sector de manejo de residuos sólidos se construyeron dos escenarios de mitigación de GEI, en cada uno de los cuales se hizo una combinación alternativa de las opciones tecnológicas del tratamiento final de desechos. El Escenario 1 se basa en mayor recolección, aumento del reciclaje y compostaje, la construcción de rellenos con aprovechamiento de gas para producción de electricidad y quema eficiente del metano, y tecnologías modernas de incineración. Las opciones de mitigación en el Escenario 2 añaden estabilización biológica, con lo que la combinación entre rellenos sanitarios con aprovechamiento del gas e incineración se ve modificada. En el Cuadro 9 se tiene una descripción de las tecnologías de valorización y de tratamiento final de los desechos, de acuerdo a la herramienta (Calculadora MRS-GEI) en que se basó el estudio del Ministerio de Salud.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Janssen (2012).

### Cuadro 9 Sistemas de Tratamiento de los Residuos Sólidos

Sistema	Descripción
Aumento en reciclaje	Hay sistema de separación y lugares para valorización de estos residuos. La tasa sube del 9,18% al 15%.
Compostaje	Se hace separación previa y hay plantas de compostaje en el país para el tratamiento de los residuos. La tasa sube del 0% a 10%.
Vertederos	Relleno de tierra controlado. En los escenarios futuros se cierran para pasar los residuos a tratamiento en rellenos.
Rellenos sanitarios existentes con captura del biogás	Promedio en los rellenos sanitarios. Suponiendo captación de 50% en La Carpía y de 15% en los demás rellenos sanitarios. El tratamiento del biogás es: Ventilación 44%; Quema 56%; Generación de electricidad 0%. Este tipo de rellenos se abandona para pasar a mayor eficiencia u otras opciones.
Relleno sanitario con recolección de biogás eficiente y generación de electricidad	Se realiza en los rellenos con condiciones y escala (39% en la GAM). Con captación del 35% en escenario medio y 50% en escenario alto. En los rellenos con menor escala se hace captación activa con mayor eficiencia y quema.
Relleno sanitario con estabilización biológica	Rellenos sanitarios con tratamiento mecánico-biológico en los sitios de disposición. La estabilización biológica se lleva a cabo mediante la creación de pilas de compost usando los RSU y aireándolas de acuerdo con el principio de chimenea. No se lleva a cabo ningún pretratamiento mecánico o, en algunos casos, sólo un pretratamiento simple (por ejemplo, homogeneización, fragmentación, modulación del contenido de agua).
Incineración	Existen diferentes tecnologías de plantas de incineración. En términos de preocupaciones ambientales, el aspecto más importante de las tecnologías es el tipo de tratamiento de gases de combustión. En general, las plantas IRSU deben estar en conformidad con los estándares internacionales, por lo tanto, estas emisiones no representan un peligro para la salud. Los residuos son cuidadosamente examinados para determinar si es adecuado incinerarlos.

Fuente: Janssen (2012) y Calculadora MRS-GEI

Un primer cambio que se registra en los escenarios de mitigación con respecto al de referencia es el porcentaje de reciclaje. Del total de residuos sólidos, actualmente la tasa de reciclaje es del 9,18%. Los escenarios de mitigación suponen aumentos de esta tasa de reciclaje al 15,1. Respecto al material orgánico el compostaje actual es de 0%, y para los escenarios de mitigación se supone que aumenta al 10%).

En el Cuadro 10 se observan otros parámetros que se utilizan en los escenarios de referencia y de mitigación. Se plantea un aumento de la recolección total de residuos (ya que en el escenario de referencia 16,7% no es recolectado), mientras que los escenarios de mitigación plantean reducir ese porcentaje al 10%, con una disminución de las quemas de residuos a cielo abierto. El porcentaje de residuos que se llevan a vertederos en el escenario de referencia es de 7,6% y en los escenarios de mitigación se asume que esos vertederos son cerrados para llevar los residuos sólo a sistemas de tratamiento modernos.

**Cuadro 10 Parámetros de Tratamiento de Residuos en Escenarios de Referencia y de Mitigación**

<b>Disposición de Desechos</b>	<b>Escenario de Referencia</b>	<b>Escenario de Mitigación 1</b>	<b>Escenario de Mitigación 2</b>
Reducción de desechos no recolectados y menor quema a cielo abierto	16,7%	10,0%	10,0%
Cierre de vertederos y rellenos sanitarios	7,6%	0,0%	0,0%
Rellenos sanitarios con captación de gas y alta eficiencia (producción eléctrica)	75,7%	65,0%	60,0%
Incineración	0,0%	25,0%	15,0%
Rellenos sanitarios con estabilización biológica	0,0%	0,0%	15,0%

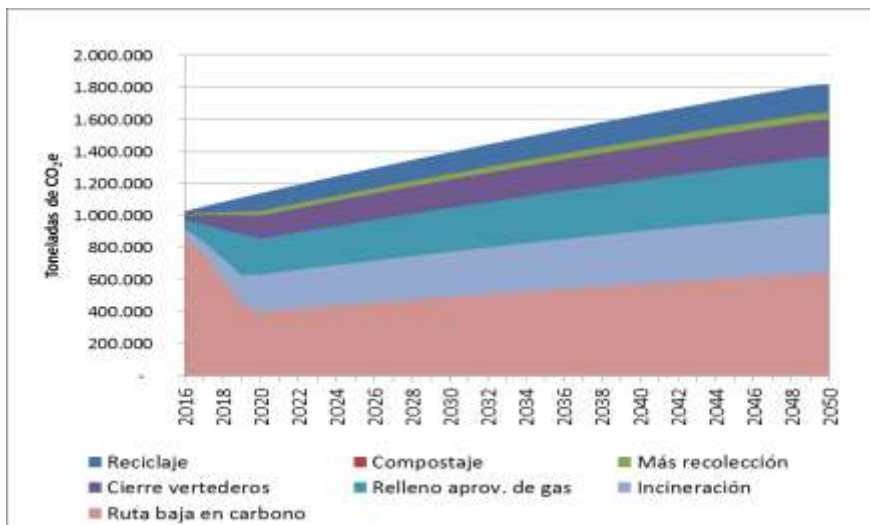
Fuente: elaboración propia con base en Janssen (2012)

El uso de rellenos sanitarios disminuye respecto al escenario de referencia de 75% a 65% para el escenario 1 y a 60% en el escenario 2. Esto se debe a que en ambos escenarios de mitigación se da uso de tecnologías alternas de tratamiento. Además, los escenarios de mitigación contemplan sistemas rellenos sanitarios más eficientes, donde la capacidad de metano aumenta de 25% a 50%, respecto al escenario de referencia, y ahora el 70% del metano captado es aprovechado para generación eléctrica. La incineración es introducida en los escenarios como método de tratamiento de residuos. En el escenario 1 un 25% de los residuos son incinerados, y en el escenario 2 ese porcentaje se reduce al 15%, para dar pie a sistemas de estabilización biológica que son introducidas en este escenario y que tratarían un 15% de los residuos. Para el cálculo de las emisiones, la Calculadora MRS-GEI utiliza factores de contenido carbónico por tipo de material.

El Gráfico 20 muestra las emisiones del escenario de referencia y las áreas representan las reducciones en las emisiones resultantes de cada sistema de manejo y tratamiento de residuos introducido como medidas de mitigación en el escenario 1. Este escenario contempla una introducción de las medidas que será paulatina desde el 2016 y que se completa en el transcurso de 5 años. Usando el 2030 como año de referencia, se tiene que la reducción total en este escenario es del 65% respecto a las emisiones esperadas para ese año en el sector. En el Cuadro

20 se observa que el reciclaje puede contribuir en 9,7% en la reducción de las emisiones en un año de referencia como en el 2030. El compostaje ofrece una contribución muy limitada por su aporte neto en emisiones, los rellenos sanitarios con producción eléctrica y la incineración ofrecen casi un quinta parte cada uno de la contribución total en el escenario 1.

**Gráfico 20 Opciones de Mitigación en Residuos Sólidos bajo Escenario 1**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

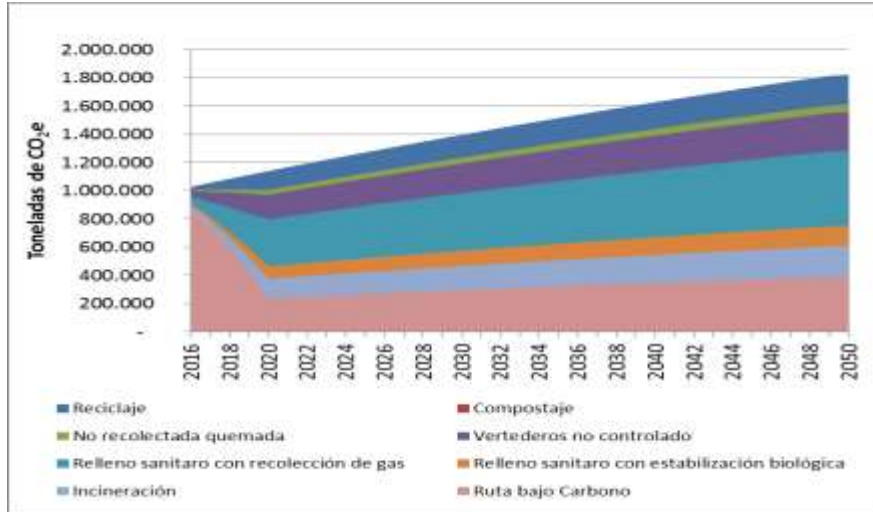
**Cuadro 11 Escenario 1: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030**

Medida	Reducción de la Medida
Reciclaje	-9,7%
Compostaje	-0,1%
Mayor recolección/menor quema	-2,5%
Cierre de vertederos a rellenos sanitarios	-12,6%
Relleno sanitario con generación eléctrica	-19,6%
Incineración	-20,2%
<b>Total</b>	<b>-65,0%</b>

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

El Gráfico 21, por su parte, muestra los resultados de mitigación en el escenario 2, donde se recompone la participación de las tecnologías de tratamiento de residuos para dar lugar a los rellenos sanitarios con estabilización biológica. En el Cuadro 12 se observa que en este escenario 2 el potencial de mitigación de las emisiones del sector en el 2030 es de 79%, de los cuales reciclaje ofrece un 11,5% de contribución, el cierre de vertederos un 15% y los rellenos sanitario con generación eléctrica un 29%. La incineración baja su aporte al 12%, para tener un nuevo aporte de los rellenos con estabilización biológica del 7,7%.

**Gráfico 21 Opciones de Mitigación de Residuos Sólidos bajo Escenario 2**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Cuadro 12 Escenario 2: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030**

Medida	Reducción de la Medida
Reciclaje	-11,5%
Compostaje	-0,1%
Mayor recolección/menor quema	-3,0%
Cierre de vertederos a rellenos sanitarios	-15,0%
Relleno sanitario con generación eléctrica	-29,2%
Relleno sanitario con estabilización biológica	-7,7%
Incineración	-12,1%
<b>Total</b>	<b>-79,0%</b>

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Para la estimación de costos de mitigación de las medidas en los dos escenarios del Sector Residuos se utilizan datos de Janssen (2010) y valores contenidos en la Calculadora MRS-GEI, para cuyos detalles se recurre a los estudios fuente contenidos en Hogg (2002).

Los resultados de inversión y de costos para el escenario 1 se observan en el Cuadro 13. También se muestran los resultados de la mitigación, con lo que se estima el costo de la tonelada de CO<sub>2</sub> para cada opción de mitigación. Asimismo, en el Cuadro 14 se presentan los resultados para el escenario 2.



**Cuadro 13 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 1)**

	Reciclaje	Compostaje	Mayor Recolección/Menor Quema	Cierre de Vertederos/Rellenos con Captación de Gas	Relleno Sanitario con Producción Eléctrica	Relleno Sanitario con Estabilización Biológica	Incineración
<b>Inversión (US\$)</b>		2,929,274			9,822,743		34,049,830
<b>Costos O&amp;M (US\$)</b>	43,184,560	48,019,025	9,070,338		549,023,807		227,425,563
<b>Ingresos (US\$)</b>		40,454,161			39,162,436		143,809,732
<b>Costo Incremental (US\$)</b>	21,234,486	10,494,137	9,070,338	-28,666,805	-94,529,882		118,570,492
<b>Emisiones Incrementales (tCO2)</b>	-3,498,132	-31,996	-1,710,005	-7,827,843	-10,194,598		-10,498,454
<b>Costo (US\$/tCO2)</b>	6	328	5		-9		-11

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Cuadro 14 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 2)**

	Reciclaje	Compostaje	Mayor Recolección/Menor Quema	Cierre de Vertederos/Rellenos con Captación de Gas	Relleno Sanitario con Producción Eléctrica	Relleno Sanitario con Estabilización Biológica	Incineración
<b>Inversión (USD)</b>		2,929,274			7,433,721	11,150,581	20,604,481
<b>Costos O&amp;M (USD)</b>	43,184,560	48,019,025	9,070,338		504,509,114	189,190,918	180,175,868
<b>Ingresos (USD)</b>		40,454,161			36,149,941	16,100,199	86,285,839
<b>Costo Incremental (USD)</b>	21,234,486	10,494,137	9,070,338	-28,666,805	-91,173,872	42,499,609	-27,247,183
<b>Emisiones Incrementales (tCO2)</b>	-3,504,227	-32,011	-1,709,633	-7,827,843	-15,178,855	-4,025,072	-6,298,019
<b>Costo (USD/tCO<sub>2</sub>)</b>	6	328	5		-6	11	-4

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

## 5.2 Sector Transporte

Para analizar el potencial de mitigación en el sector transporte se han configurado dos escenarios alternativos, en los cuales se varían las metas sobre el parque vehicular renovable del futuro. El escenario 1 plantea una composición de la flota vehicular con mayor presencia de motores eficientes de combustión fósil y un aumento paulatino de opciones renovables. Este escenario sigue los supuestos que había establecido la Dirección Sectorial de Energía (DSE) cuando realizó la prospectiva del VI Plan Nacional de Energía. Un escenario 2 responde a los criterios del MINAE de que el país debe plantearse una introducción más agresiva de los autos eléctricos en el futuro,

de manera de que se logre una verdadera reconversión de la forma en que se usa la energía para el transporte en el país. Dado que Costa Rica cuenta con una base de energía eléctrica esencialmente renovable, se dan condiciones para que el país apueste por una mayor flota vehicular eléctrica en el futuro. En ambos escenarios son similares los supuestos respecto a otras medidas como la introducción del tren eléctrico de pasajeros y la modernización del transporte público por autobús (introducción de un sistema de bus rápido en el área Metropolitana de San José).

### 5.2.1 Tren Eléctrico Metropolitano de Pasajeros

El proyecto de tren metropolitano por muchos años ha buscado complementar la modernización del transporte público en el área metropolitana, que reúne a las capitales provinciales de San José, Cartago, Heredia y Alajuela. En el año 2010 el MOPT publicó el Plan Nacional de Transportes 2011-2035, en el cual se reitera la necesidad de hacer un sistema de transporte público integrado. En el año de 2013, el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) finalizó un estudio de pre-factibilidad para el diseño de un sistema de tren rápido funcionando sobre las rutas actuales del tren metropolitano, haciendo uso de los derechos de vía existentes. Los resultados de este estudio de factibilidad son lo que se utilizan para las estimaciones del efecto del tren metropolitano eléctrico en los escenarios 1 y 2.

No obstante, las actuales autoridades de INCOFER han anunciado que se impulsará un sistema de Transporte Rápido de Pasajeros (TRP), que si bien seguirá con los principios de integración con el servicio de transporte público por autobús, plantea un cambio fundamental respecto al trazado que seguirá el sistema de transporte ferroviario. La nueva idea plantea que no se usarán todos los trayectos del sistema actual de tren, sino que tendrá un trazado sobre las alternativas de recorrido en función de la topografía, pendientes, soluciones de paso (puentes, intersecciones, pasos a desnivel), seguridad y potencial de disminución de accidentes, entorno urbano y otras. Debido a que la nueva iniciativa de Transporte Rápido de Pasajeros es sólo una propuesta, se ha recurrido a analizar los efectos del tren eléctrico metropolitano de pasajeros con base en la propuesta de INECO (2013), con el objetivo de dar una primera aproximación sobre el impacto en mitigación del sistema de tren, en espera de los primeros estudios de la nueva propuesta.<sup>35</sup>

El punto de partida para las estimaciones es la demanda esperada de pasajeros que se plantea por parte del estudio de INCOFER. Del aumento neto de pasajeros se supone que 60% de los pasajeros son usuarios del transporte público, mientras que el 40% provienen de usuarios de

---

<sup>35</sup> A octubre del 2015 no se conoce por parte de los autores algún estudio relacionado con el nuevo enfoque de INCOFER.

automóviles particulares. Con base en datos de la DSE (2013) y para una ocupación promedio de 1,5 pasajeros por auto, se hace una estimación de la cantidad de vehículos que se sustituyen por el servicio del tren. Con base en las estimaciones de EPYSA (2014) se usa como kilometraje promedio de los vehículos una distancia diaria de 24 kilómetros.

Con base en la proporciones de viajeros esperados provenientes del servicios de bus, se hace una estimación de la reducción de pasajeros de un nuevos sistema de transporte público que se plantea en la Modernización del Sistema del Transporte Público que se verá posteriormente. Para la estimación del ahorro al pasar de trenes de diésel a trenes eléctricos se toma en cuenta una eficiencia de los motores diésel del 40% y una eficiencia de los motores eléctricos del 90%.

### 5.2.2 Modernización del Transporte Público Metropolitano de San José

La Modernización del Transporte Público Metropolitano de San José es un proyecto del Ministerio de Obras Públicas y Transporte que está esbozado desde 1999 mediante la implementación del proyecto de sectorización del transporte público.<sup>36</sup> Para un diseño preliminar se contrató al Consorcio EPYPSA - SIGMA GP quienes elaboraron un modelo general de sectorización de transporte público de San José, el cual se utiliza como base de los datos aportados por el MOPT. Con base en los datos se pudo definir la cantidad de viajes, pasajeros y longitud de recorrido del sistema actual y de la situación que el MOPT estableció como escenario de mitigación. La implementación de este proyecto supone la operación de los sectores de Pavas y San Pedro operando con su Diametral, así como el Sector de Desamparados en los próximos 5 años. Los otros sectores se incorporarán después de este periodo. Para la estimación del efecto de la reducción de autobuses y de viajes que se espera con el proyecto de modernización se utilizan los recorridos promedio.

El Cuadro 15 resume los resultados de los efectos de la reducción de unidades y de viajes con el proyecto de modernización. Los efectos se pueden separar por sector. Los efectos negativos que se ven en las intersectoriales y en las diametrales se debe a que en el sistema actual las intersectoriales son más reducidas que lo que se espera en el proyecto e incluso las diametrales no existen, por lo que se percibe como un incremento de consumo de energía, pero en realidad su efecto indirecto en la reducción de buses en los sectores que transitan no se ve por separado.

Para estimar el ahorro por la reducción en uso de vehículos privados de habitantes de cada sector, se usan datos de la encuesta del proyecto sobre personas del sector que poseen

---

<sup>36</sup> Decreto MOPT 28337 de 1999 “Reglamento sobre políticas y estrategias para la modernización del transporte colectivo remunerado de personas por autobuses urbanos para el Área Metropolitana de San José y zonas aledañas que la afecta directa o indirectamente.”

automóvil y la distancia de viaje según matriz origen-destino de EPYSA-SIGMA (2013). En la Encuesta de Transporte de la DSE (2013) se establece disposición a dejar el auto del 29% de conductores, pero se supone en este ejercicio que se alcanza 15% de sustitución de autos privados, lo que será una sustitución paulatina que se llevará a cabo en un plazo de 5 años. Los resultados de este *efecto rebote* se ven en el Cuadro 16.

**Cuadro 15 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Unidades y Viajes (miles de toneladas de CO<sub>2</sub>)**

	Total	Escazú-Santana	Hatillo- Alajuelita	Sto. Domingo - Tibás	S. Pedro - Curridabat	Pavas	Desamparados- San Francisco	Moravia Guadalupe	Heredia sur - La Uruca	Sector Central	Intersectorial	Diametrales	Diametral Pavas-San Pedro
Ahorro potencial por año*	35,3	9,6	3,5	5,0	6,8	5,3	17,4	10,9	12,0	4,0	-6,6	-32,6	-3,2
Ahorro potencial al 2050**	1.448	293	139	198	305	239	782	429	474	159	-258	-1.312	-144

\* El ahorro anual supone plena operación del sector.

\*\* El ahorro en el 2050 supone sectores de Pavas y San Pedro operando con su Diametral y el Sector de Desamparados en próximos 5 años. Los otros sectores después de este periodo.

Fuente: elaboración propia con datos del MOPT, SYGMA-EPYPSA e INEC

**Cuadro 16 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Uso de Vehículos privados (miles de toneladas de CO<sub>2</sub>)**

	Total	Escazú-Santana	Hatillo- Alajuelita	Sto. Domingo - Tibás	S. Pedro – Curridabat	Pavas	Desamparados- San Francisco	Moravia Guadalupe	Heredia sur – La Uruca	Sector Central
Ahorro potencial por año*	193	33	17	19	28	9	25	34	21	7
Ahorro potencial al 2050**	7.801	1.272	667	713	1.267	389	1.113	1.314	797	270

\* \* El ahorro anual supone plena operación del sector. El ahorro en el 2050 sigue sectores en dos etapas.

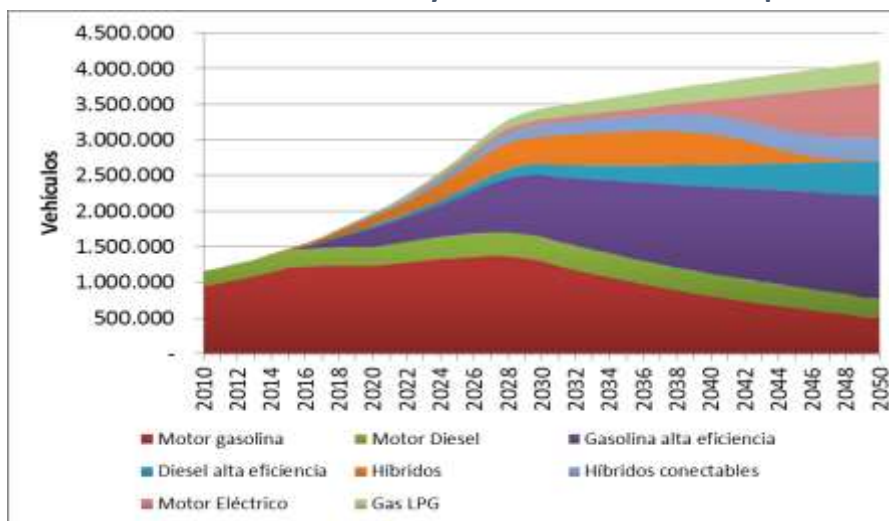
Fuente: elaboración propia con datos del MOPT, SYGMA-EPYPSA e INEC

### 5.2.3 Tecnologías para la Flota Vehicular

Las diferencias entre los escenarios 1 y 2 surgen a partir de los supuestos en cuanto a la composición de la flota futura de automóviles y las tecnologías de uso energía que contemplan.

En el escenario 1, la Dirección Sectorial de Energía del MINAE ha planteado la necesidad de introducir un mayor parque de vehículos eficientes, que si bien son motores de combustibles fósiles, sus niveles de eficiencia seguirían los estándares internacionales (acompañado con una política de estándares de eficiencia y limitación de vehículos de baja eficiencia y vehículos usados). El Gráfico 22 muestra la evolución esperada de la flota en este escenario. Obsérvese que hay una transición desde autos híbridos a híbridos conectables, pero especialmente hacia eléctricos a través de los años.

**Gráfico 22 Escenario 1: Proyección de Flota de Transporte**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la DSE y estimaciones de los autores

En el Cuadro 17 se muestra la distribución esperada de la flota vehicular a través de los años en el escenario 1. Se observa que la mayor proporción de los vehículos en el 2050 será de vehículos con motores de alta eficiencia, los que representa casi la mitad del parque vehicular proyectado. Los vehículos eléctricos están por debajo de la quinta parte del total de vehículos en el 2050.

**Cuadro 17 Escenario 1: Composición esperada de la Flota vehicular**

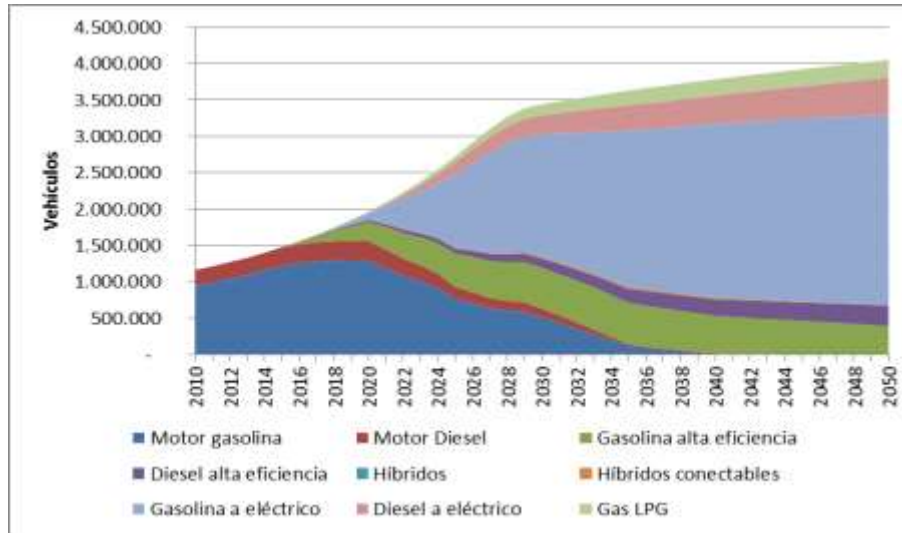
Año	Convencional	Alta eficiencia	Eléctrico	Híbrido + Gas	
				Eléctrico	LPG
2015	100%	0%	0%	0%	0%
2030	48%	30%	2%	20%	20%
2050	20%	47%	18%	16%	16%

Fuente: elaboración propia con base en datos de la DSE y estimaciones de los autores

El escenario 2 se basa en una introducción más agresiva de los autos eléctricos, definida como una estrategia país para tener un sistema de transporte basado en el tipo de energía con baja huella de carbono, con un parque eléctrico con una generación renovable cercana el 90% (Gráfico

23). La composición esperada en este escenario se muestra en el Cuadro 18. Se estima una flota total en el 2050 con 40% de vehículos eléctricos y 35% con motores de alta eficiencia. Las opciones requieren el impulso del transporte público, bio-combustibles, y especialmente un cambio en las tecnologías de transporte con mayores estándares de eficiencia y fuentes renovables.

**Gráfico 23 Escenario 2: Proyección de Flota de Transporte**



Fuente: elaboración propia con base en datos de la DSE y estimaciones de los autores

**Cuadro 18 Escenario 2: Composición esperada de la Flota Vehicular**

Año	Convencional	Alta eficiencia	Híbrido + Gas	
			Eléctrico	LPG
2015	100%	0%	0%	0%
2030	22%	23%	43%	5%
2050	9%	35%	40%	8%

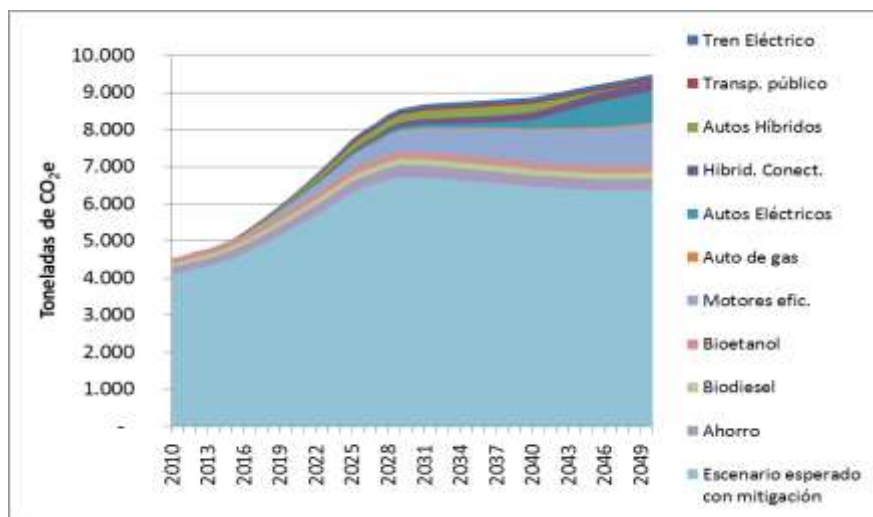
Fuente: elaboración propia con base en datos de la DSE y estimaciones de los autores

Para determinar el consumo de combustibles en los dos escenarios, al número de vehículos en cada flota proyectada se le aplican los factores usados por la DSE. Para los híbridos-eléctricos se supone que un 70% de la energía es eléctrica y 30% combustible fósil, aplicando los factores para autos híbridos y autos eléctricos en dicha proporción. Se utiliza el supuesto que con acciones como teletrabajo, relocalización urbana, restricción vehicular y otras medidas de contención de la demanda, se logra un ahorro en el consumo adicional del 15%. Al igual que se hizo con el escenario de referencia del Sector Transporte, los factores de emisión se utilizan para estimar las emisiones y la mitigación correspondiente con los dos escenarios analizados y las medidas respectivas.

Los resultados para el escenario 1 se presentan en el Gráfico 24. En este escenario para el 2030 las emisiones respecto al escenario de referencia disminuyen en un 22% y para el 2050 esa disminución alcanza 33%. En el escenario bajo en emisiones, cuando todas las medidas han sido aplicadas, las emisiones prácticamente se aplanan desde los años 30, lo cual es un viraje importante en la huella de carbono del sector transporte. Se puede observar que acciones como el tren eléctrico y el bus tienen poco efecto en la reducción total de emisiones, pero su principal importancia radica en las posibilidades de aplicar medidas de contención del uso del auto privado teniendo la posibilidad de un transporte público moderno. El impacto de los vehículos híbridos es reducido y ceden su lugar a los autos eléctricos en la transición que se explicó sobre estas tecnologías. Los motores eficientes son los que presentan mayor impacto en la mitigación de las emisiones del sector en este escenario. Medidas como biodiesel, bioetanol y medidas de ahorro suman al esfuerzo de mitigación en transporte, pero se puede observar que no son medidas que logren producir un cambio fundamental en las emisiones del sector.

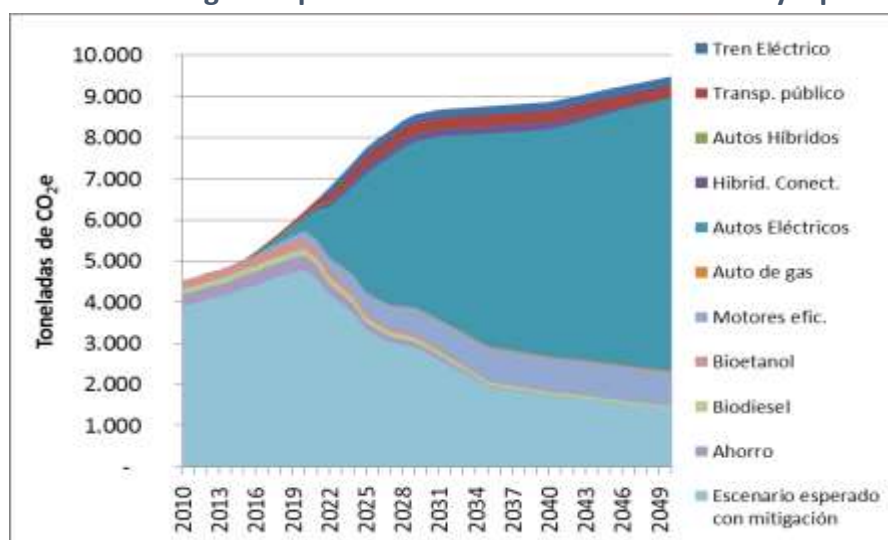
El Gráfico 25 presenta los resultados del escenario 2. En este caso hay un cambio fundamental en las emisiones del sector, ya que hay una mayor proporción de autos eléctricos, con una huella de carbono muy baja. Adicionalmente, los vehículos convencionales, de gas LPG e híbridos reducen significativamente su importancia relativa.

**Gráfico 24 Escenario 1: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 25 Escenario 2: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

El potencial de contribución de ambos escenarios en el 2030 se muestra en el Cuadro 19. El escenario 1 presenta un potencial de disminución del 25%, mientras que el escenario 2 muestra un potencial del 62%.

Cuadro 19 Sector Transporte: Impacto en Reducción de Emisiones en el 2030

Medida	Escenario 1		Medida	Escenario 2	
	Contribución a Reducción de Emisiones en Transporte	Contribución acumulada		Contribución a Reducción de Emisiones en Transporte	Contribución acumulada
Tren Eléctrico	-2,0%	-2,0%	Tren Eléctrico	-3,7%	-3,7%
Transporte Público	-0,8%	-2,9%	Transporte Público	-3,3%	-7,0%
Autos Híbridos	-2,5%	-5,3%	Autos Eléctricos	-34,0%	-41,0%
Híbridos Conectados	-1,6%	-7,0%	Auto de Gas	-0,4%	-41,5%
Autos Eléctricos	-1,0%	-8,0%	Motores Eficientes	-13,2%	-54,6%
Auto de Gas	-0,3%	-8,3%	Bioetanol	-2,3%	-56,9%
Motores Eficientes	-7,5%	-15,7%	Biodiesel	-2,4%	-59,3%
Bioetanol	-2,9%	-18,7%	Medidas de Ahorro	-3,7%	-62,9%
Biodiesel	-2,2%	-20,8%			
Medidas de Ahorro	-4,7%	-25,6%			

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores



### 5.3 Sector Eléctrico

Para el sector eléctrico se plantean tres escenarios de generación que son comparados con un escenario *teórico* de referencia. Los tres escenarios se basan en las tres rutas previstas en el Plan de Expansión Eléctrica (PEG) 2014-2035 del ICE. La primera ruta de expansión tiene como eje central el desarrollo del Proyecto Hidroeléctrico Diquís (RUTA 1). La segunda ruta se fundamenta en la introducción de gas natural (GNL) en la matriz energética (llamada RUTA 2). Una tercera ruta es no hacer ninguno de los dos proyectos anteriores (llamada RUTA 0). En este caso se depende del comportamiento futuro de la demanda para tomar medidas, especialmente con sistemas más atomizados en distintas fuentes renovables que requerirían respaldo térmico.

Para efectos de la contribución del sector eléctrico, la ruta recomendada del PEG 2014-2035 (el Plan de Expansión Recomendado, PER) es la denominada Ruta 1, que incorpora el Proyecto Hidroeléctrico Diquís a partir del 2025. Este escenario es la ruta de expansión eléctrica con mayor componente de fuentes renovables, que se alinea con las políticas nacionales de energía y su objetivo de mantener la generación futura basada en fuentes renovables.

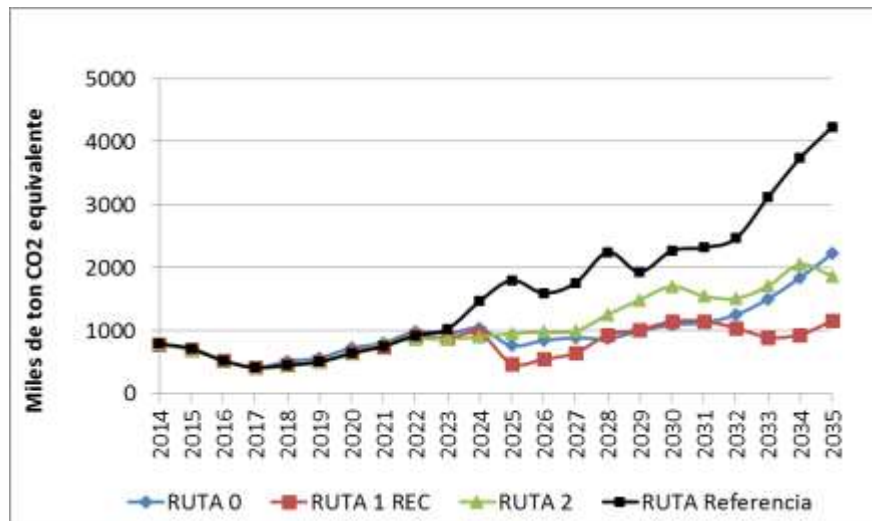
La Ruta 1 es en el largo plazo la que tiene como resultado un mayor porcentaje anual de fuentes renovables para la generación eléctrica, mientras que la Ruta 2 generaría una menor participación de generación renovable, si bien siempre superior al 90%. Esto debido a los respaldos térmicos requeridos y a la relevancia que el Gas Natural cobra en dicho escenario. Por otro lado, El PEG Teórico (Escenario de Referencia), si bien mantiene una participación térmica relevante, también plantea fuentes renovables que cobrarían menos importancia a partir del 2030.<sup>37</sup>

La diferencia en el nivel de emisiones es notoria entre los tres escenarios de mitigación, dada la composición de la generación que se espera para cada uno de ellos y la diferencia que se presenta en los factores de emisión utilizados en este ejercicio, que han sido establecidos con base en la generación total que se da en el Sistema Eléctrico Nacional. La generación con fuentes renovables (particularmente plantas hidroeléctricas) genera emisiones muy inferiores cuando se les compara con las fuentes termoeléctricas. Consistente con esto, como se observa en el Gráfico 27, la ruta de referencia (PEG Teórico) es la opción de expansión eléctrica que genera más emisiones en el tiempo, mientras que la Ruta 1 (PEG recomendado) presenta las menores emisiones dada la relevancia de las fuentes renovables.

---

<sup>37</sup> Las implicaciones para las emisiones dadas las diferencias en la capacidad de generación según fuente para las diversas Rutas es notorio, dada la diferencia que se presenta en los factores de emisión utilizados en este ejercicio, que han sido establecidos con base en la generación total que se da en el Sistema Eléctrico Nacional.

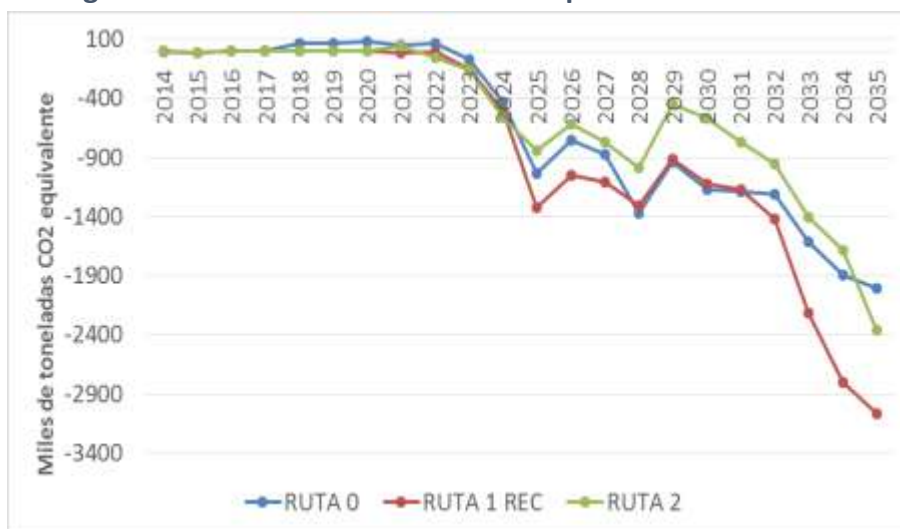
**Gráfico 26 Emisiones bajo Planes de Expansión y Escenario de Referencia (2014-2035)**



Fuente: elaboración con datos del ICE (2014)

Al comparar los escenarios de mitigación y el escenario de referencia, cualquiera de los tres escenarios genera impactos positivos para la mitigación de emisiones. Es decir, que el diseño del PEG en general prioriza la reducción de emisiones dentro de los criterios de planeamiento y análisis. Sin embargo, la RUTA 1, presenta el mayor potencial de mitigación y por tanto la mayor contribución a los esfuerzos nacionales (Gráfico 27). Al ser seleccionada como la Ruta recomendada para el país, con este escenario de mitigación se da mayor énfasis al compromiso de atender la demanda eléctrica hacia futuro con una menor dependencia de fuentes no renovables y consecuentemente hacia un desarrollo eléctrico menos intensivo en carbono.

**Gráfico 27 Mitigación de Rutas alternativas en Comparación al Escenario de Referencia**



Fuente: elaboración con datos del ICE (2014)

El ejercicio de costos se basa en la optimización económica y cumplimiento de criterios de planeamiento (particularmente el de confiabilidad), donde se busca minimizar el costo total para la economía del país de satisfacer la demanda futura de electricidad con alternativas de expansión evaluadas para cada escenario. Las cifras son estimadas en dólares constantes de diciembre del 2012 y descontadas a su valor presente neto con una tasa de descuento del 8%.

Primeramente, debe indicarse que los tres escenarios de mitigación no presentan diferencias importantes en los costos totales de la expansión eléctrica. Es decir, los costos totales no son un criterio suficiente para determinar cuál es la ruta recomendada. Tal como se indicó anteriormente, más allá de los costos totales, una de las razones centrales para recomendar la RUTA 1, es por la decisión de seguir la ruta más renovable. En este caso, los costos de inversión son un poco más altos, debido a la preponderancia de fuentes renovables. Contrariamente, los costos de combustibles, operaciones y mantenimiento de la RUTA 1 son menores en comparación con las otras dos rutas. Al compararse con la ruta teórica (escenario de referencia), es significativa la diferencia en los costos totales. Esto debido a que en el PEG teórico se dan inversiones principalmente en capacidad térmica que tiene un menor costo de inversión, si bien mayores costos operativos por la dependencia en la importación de combustibles fósiles.

Con la información de costos totales de las rutas y del escenario de referencia, más las estimaciones de mitigación para cada caso, se puede establecer cuál sería la contribución y los costos por tonelada mitigada dentro del PEG 2014-2035 (Cuadro 20). La Ruta 1 (PEG recomendado) genera la mayor reducción en emisiones al menor costo por tonelada.

La razón para que los costos por tonelada mitigada sean positivos en todos los escenarios se debe a que los costos de inversión en cada escenario de mitigación se incrementan con respecto al escenario de referencia. Costa Rica ha apostado por un desarrollo eléctrico basado en el uso de fuentes renovables, lo que significa una contribución importante del país a la mitigación de gases de efecto invernadero y es lo que se revela con esta metodología realizada. Más allá de los criterios de optimización económica, el país ha decidido satisfacer la demanda eléctrica futura con un menor uso de fuentes térmicas, contrario a la tendencia que se observa en muchos países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Este convencimiento institucional y prioridad de política pública posiciona al sector eléctrico como una contribución destacada en el sector eléctrico.

**Cuadro 20 Contribución y Costos de Mitigación del Sector Eléctrico (2014-2035)**

	<b>Mitigación (Contribución)</b> <b>(Toneladas de CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Costo de Mitigación</b> <b>(USD por Tonelada CO<sub>2</sub>)</b>
RUTA0	12.797.465	75
<b>RUTA 1 (Recomendada)</b>	15.621.565	60
RUTA2	9.457.291	101

Fuente: elaboración con datos del ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico

## 5.4 Sector Agropecuario

Para el sector agropecuario se analizan dos escenarios de mitigación en donde varía el alcance de la mejora en la alimentación animal, lo que implica disminuciones en los procesos de fermentación entérica y manejo de estiércol en el caso del ganado vacuno. En este sector también se identificaron dos medidas de mitigación adicionales, las cuales se mantienen en los dos escenarios analizados. Una medida está relacionada con un programa de reducción en el uso de fertilizantes, mientras que la otra forma parte de la NAMA de ganadería,<sup>38</sup> y consiste en la introducción de más árboles en las fincas ganaderas (sistemas silvopastoriles). Sin embargo, esta última medida se analiza en la sección correspondiente al sector forestal.

### 5.4.1 Producción Ganadera baja en Emisiones

Como parte del LEDS Ganadero y el NAMA Ganadero, el MAG ha venido analizando con el sector productivo vacuno alternativas para reducir las emisiones. El MAG reconoce que el sector ha venido introduciendo prácticas de mejoras en alimentación y pastos como parte de su estrategia de aumento de productividad y para enfrentar las condiciones climáticas cambiantes. Sin embargo, la adopción de prácticas de producción ganadera baja en emisiones no ha sido ampliada por parte de los productores debido a la ausencia de condiciones favorables, especialmente financiamiento y asistencia técnica. Lo que el MAG visualiza para el futuro es un crecimiento de la actividad ganadera debido a, entre otras razones, precios crecientes de la carne que promuevan el aumento de su oferta. Esto podría generar mayores emisiones y el riesgo de la reducción de los sumideros ubicados en las fincas ganaderas, los que serían sustituidos por áreas de pastos.

El LEDS Ganadero se propone mejorar el desempeño de la ganadería y contribuir con una mayor productividad y rentabilidad, reducir emisiones de GEI y aumentar el secuestro de CO<sub>2</sub>.<sup>39</sup> Las

---

<sup>38</sup> MAG (2013).

<sup>39</sup> SIDE (2015).

medidas del NAMA ganadero buscan transformar el escenario BAU por una serie de condiciones que se describen a continuación:<sup>40</sup>

- Fortalecimiento del monitoreo, reporte y verificación (MRV) para crear un sistema intensivo en conocimiento y movilizar a los productores hacia la ganadería de precisión.
- Implementación de medidas de mitigación en mejora de alimentación animal con un 80% de las fincas en un período de quince años.
- Implementación de las prácticas para incrementar la productividad y rentabilidad para los ganaderos, en equilibrio con la reducción de emisiones de GEI y aumento el secuestro de dióxido de carbono.

Las opciones de mitigación parten de una mejora en la alimentación del ganado que reduzca las emisiones por fermentación entérica y el manejo de estiércol, lo que implica nuevas prácticas como mejora de pasturas, opciones variadas de alimentación, rotación de pasturas, mejora genética y mejor gestión de la finca. El análisis se basa en una serie de nuevas prácticas en alimentación que se acompañarían con técnicas de ganadería de precisión, con lo que las prácticas se implementarían de acuerdo a una serie de condiciones en la finca. El LEDS Ganadero hizo un diseño de clústers en las fincas del país para reconocer un alcance diferenciado de estas medidas. Otro aspecto que se trabajará paralelamente, pero como un objetivo de largo plazo, es la mejora genética, lo cual ha sido una práctica en el país a través de los años, de tal manera que se cuenta con un hato ganadero muy adaptado a las diversas condiciones del país. Sin embargo, en materia de cambio climático todavía son muchos los retos en términos de adaptación a futuras condiciones climáticas y en mejora genética para lograr resultados de fermentación entérica con menos impacto en emisiones de metano.

Los escenarios alternativos de mitigación surgen a partir de la tasa de incremento de pastos mejorados que se plantea el sector en un escenario 1, donde la tasa de crecimiento es del 1%; y un escenario 2 en donde esa tasa es del 2%.

El efecto del ritmo en mejora de pastos se observa en la capacidad de carga animal en los diversos tipos de finca. Dependiendo del clúster al que pertenece la finca, la mejora de pastos es acompañada con otras medidas de mejora en la capacidad de alimentación del ganado. Los resultados del hato ganadero esperado en cada escenario se presentan.

---

<sup>40</sup> MAG (2013).

Uno de los efectos esperados con la introducción de pastos mejorados y una dieta bajo un manejo de precisión es la disminución en las emisiones por fermentación entérica y por manejo de estiércol. El LEDS Ganadero plantea que en el escenario 1 la disminución en las emisiones por cabeza de ganado es de 0,6% anual, mientras que en el escenario 2 de 1,2% por año. Estas tasas de decrecimiento se aplican a los factores de emisión del IMN, ya que en el estudio del LEDS Ganadero, los factores se diferencian muchos de los oficialmente aplicados en los inventarios nacionales de GEI.

#### 5.4.2 Reducción de un 15% en el Uso de los Fertilizantes Nitrogenados

Uno de los retos más importantes que enfrenta el sector agropecuario es el manejo racional de los fertilizantes nitrogenados por su alto efecto en las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Como medida de mitigación se ha incorporado un programa cuyo objetivo general es la reducción del 15% en el uso de fertilizantes en el sector agropecuario. Esta sería una meta global, ya que cada actividad agropecuaria tendría una meta diferenciada según el avance que hasta la fecha ha tenido en el uso racional de los fertilizantes nitrogenados, su potencial de reducción y su factibilidad de implementación de acuerdo a la dispersión de los productores respecto del alcance que pueda tener el programa. Este programa se estima que implicaría un costo incremental del 20% en el uso de la fertilización y producción, además del costo de implementación del programa. En el Cuadro 87 se muestran los parámetros usados en el programa de reducción de fertilizantes.

#### 5.4.3 Escenarios de mitigación en el sector agropecuario

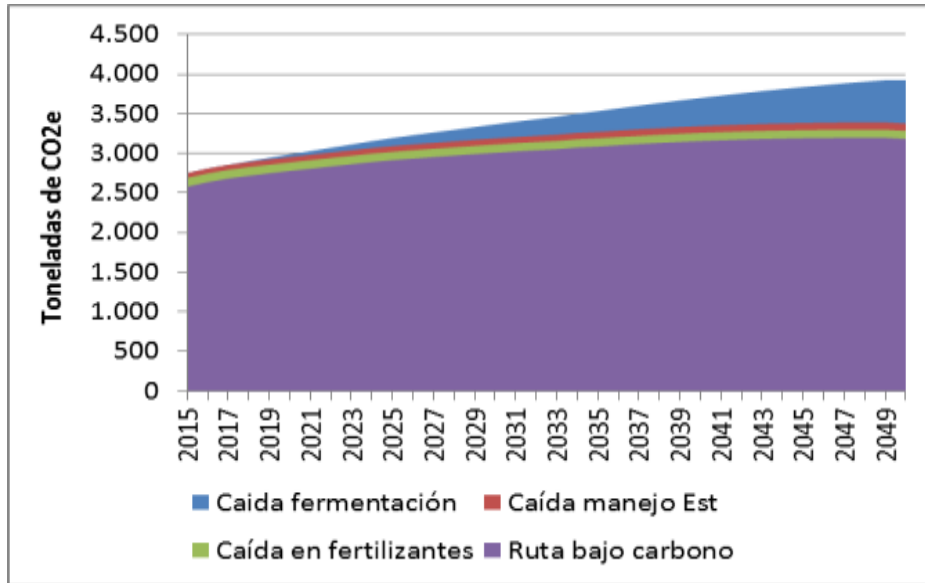
El potencial de reducción de ambos escenarios de mitigación se muestra en los Gráficos 28 y 29. En el Cuadro 21 se muestra el potencial de contribución al año 2030 de las medidas en el sector agropecuario tanto en el escenario 1 como el escenario 2. Se observa que las medidas del escenario 2 tienen el mayor potencial de contribución, por la mayor reducción de fermentación entérica que involucran.

**Cuadro 21 Potencial de Contribución de Medidas del Sector Agropecuario en el 2030**

Medida	Escenario 1	Escenario 2
<b>Menor Fermentación Entérica</b>	-5,3%	-10,9%
<b>Manejo de Estiércol</b>	-2,5%	-2,1%
<b>Menor Uso de Fertilizantes Nitrogenados</b>	-3,4%	-2,9%

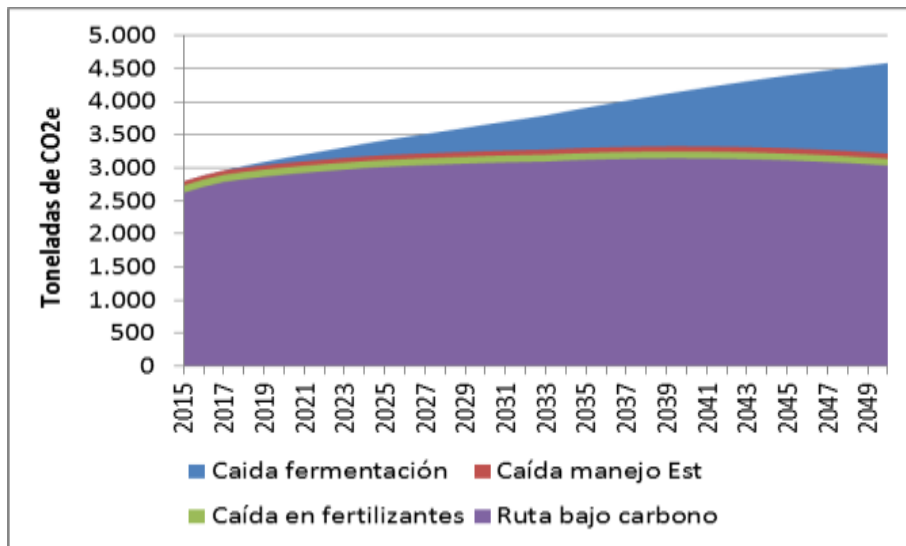
Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Gráfico 28 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 1**



Fuente: Elaboración propia con datos del IMN y SIDE (2015)

**Gráfico 29 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 2**



Fuente: Elaboración propia con datos del IMN y SIDE (2015)

## 5.5 Sector Forestal

Por parte del sector forestal como medidas de remoción de CO<sub>2</sub> se incluyeron las siguientes cuatro acciones: 1. Incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en nuevas plantaciones forestales; 2. Incorporación de área adicional de PSA para evitar la deforestación en bosques maduros; 3. Incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en bosques nuevos; y 4. Introducción de más árboles en las fincas ganaderas (sistemas

silvopastoriles). Las primeras tres acciones forman parte de la propuesta de programa de reducción de emisiones REDD+ (FONAFIFO, 2012). La cuarta acción es parte de NAMA Ganadero.

### 5.5.1 Incorporación de Área adicional de PSA en Nuevas Plantaciones Forestales

La proyección de emisiones producto de la incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono a partir de nuevas plantaciones forestales se realizó utilizando la Herramienta CDI desarrollada por Carbon Decisions International. La aplicación de esta herramienta requiere de la definición de los siguientes parámetros: a) Plantaciones forestales a establecerse; y b) Existencias y cambios de existencias de carbono por hectárea en plantaciones forestales.

La cantidad de plantaciones nuevas a establecerse durante el periodo 2014-2050 se define en 70.000 ha, muy cerca de las 72.132 ha sugeridas en la propuesta de programa de reducción de emisiones presentado por el Gobierno de Costa Rica ante el Fondo de Carbono (FONAFIFO, 2012). Se asume que dichas plantaciones se establecerían con *Tectona grandis* (Teca) y *Gmelina arborea* (melina). Estas son las dos especies más utilizadas para la reforestación en Costa Rica (Chacón et al, 2009). En el caso de teca se asume que se establecerían un total de 40.000 ha a una tasa de 2.000 ha/año, con un ciclo de corta de 20 años. Con melina se establecerían 30.000 ha a una tasa de 3.000 ha/año y un ciclo de corta de 10 años. Tanto en el caso de la teca como melina, se asume que las áreas aprovechadas al final del turno son reforestadas nuevamente.

Las existencias y cambios de existencias de carbono utilizadas en la estimación de emisiones en plantaciones forestales de melina y teca son las provistas en Chacón et al. (2009). Asimismo, las actividades y costos de implementación asociados al establecimiento de plantaciones forestales de teca y melina considerados en este análisis son considerados en este estudio. Se asume que el costo de establecimiento de plantaciones de teca y melina son de US\$10.001/ha (Lujan et al, 2013) y US\$ 3.800 ha (ONF, 2009), respectivamente. Asimismo, se asume que los ingresos por producción de madera para aserrío para teca son de US\$4.515/ha (de Camino et al, 2013) y para melina de US\$8.215 /ha (Espinoza, 2001).

Finalmente, en el Cuadro 92 y Cuadro 93 se consignan los costos de inversión, mantenimiento, ingresos y reducción de emisiones estimados para la incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en 70.000 ha de nuevas plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*), durante el periodo 2014-2050. Se estima que el establecimiento de plantaciones de Teca y Melina podría producir remociones por 4,5 y 3,8 millones de Mg CO<sub>2</sub>e, respectivamente.



## 5.5.2 Incorporación de Área adicional de PSA para evitar la Deforestación en Bosques Maduros

La proyección del cambio en las existencias de carbono en bosques maduros para la segunda acción se realizó utilizando la Herramienta CDI. Para tal efecto, esta herramienta requirió la definición de la tasa de deforestación en bosques maduros asociada a la incorporación de área adicional de PSA.

Se utilizó la tasa estimada de deforestación para cada tipo de bosque maduro asociada a la incorporación de área adicional de PSA. Esta tasa se calculó considerando un área adicional de PSA de 107.600 ha. Esta cifra es la igual a la propuesta en el programa de reducción de emisiones presentado por el Gobierno de Costa Rica ante el Fondo de Carbono (FONAFIFO, 2012). Las 107.600 ha adicionales de PSA se distribuyeron proporcionalmente al tamaño del estrato de bosque maduro, asignando 70.845 ha para Bosques húmedos y pluviales (BHP), 34.831 ha en bosques muy húmedos (BHT) y 1.924 ha en bosques secos (BS) (Cuadro 22). Para estimar la tasa de deforestación de esta iniciativa se asume una deforestación de cero en el área adicional de PSA. Asimismo, se considera que durante el periodo 2016-2025 se mantendrá una tasa de incorporación de PSA anual fija para todos los estratos (7.084 ha en BHP; 3.483 ha en BHT; y 192 ha en BS).

**Cuadro 22 Distribución del Área adicional de PSA por Tipo de Bosque Maduro**

Tipo de Bosque	Área de bosques maduro 2014 (ha)	Área de PSA al 2014 (ha)	Área Adicional de PSA (ha)	Área Total PSA (ha)
BHP	1.356.408	144.039	70.845	214.884
BHT	666.877	70.817	34.831	105.647
BS	36.843	3.912	1.924	5.837
Total	2.060.128	218.768	107.600	326.368

Fuente: elaboración propia con base en FONAFIFO (2012)

Los costos de implementación asociados a la incorporación de 107.600 ha adicionales de PSA están consignados en el Cuadro 96. Se asume que el costo del PSA es de US\$ 80 /ha/año, igual al estimado para la Opción A en el programa de reducción de emisiones presentado por el Gobierno de Costa Rica ante el Fondo de Carbono (FONAFIFO, 2012). No se consideran los beneficios generados por la ampliación del de la cobertura del programa. Se estima que durante el periodo 2014-2050 esta medida podría producir una reducción de emisiones de alrededor de 15,8 millones de Mg CO<sub>2</sub>e.

### 5.5.3 Incorporación de Área adicional de PSA para la Captura de Carbono en Bosques Nuevos

La proyección del cambio en las existencias de carbono en bosques nuevos se realizó utilizando la Herramienta CDI con la definición de la tasa de deforestación en bosques nuevos asociada a la incorporación de área adicional de PSA.

Se utilizó la tasa estimada de deforestación para cada tipo de bosque nuevo asociada a la incorporación de área adicional de PSA. Esta tasa se calculó considerando un área adicional de PSA de 124.282 ha. Esta cifra es la igual a la propuesta en el programa de reducción de emisiones presentado por el Gobierno de Costa Rica ante el Fondo de Carbono (FONAFIFO, 2012). Las 124.282 ha adicionales de PSA se distribuyeron proporcionalmente a la cantidad de bosques nuevos reclutados en el periodo 2011-2013 por cada estrato de bosque, asignando 40.232 ha para Bosques húmedos y pluviales (BHP), 82.347 ha en bosques muy húmedos (BHT) y 1.702 ha en bosques secos (BS).

Para estimar la tasa deforestación de esta iniciativa se asume una deforestación de cero en el área adicional de PSA. Asimismo, se considera que durante el periodo 2014-2020 se mantendrá una tasa de incorporación de PSA anual fija para todos los estratos, de 5.747 ha en BHP, 11.764 ha en BHT y 243 ha en BS.

Los costos de implementación y las emisiones asociadas al reclutamiento de 124.282 ha adicionales de PSA en bosques nuevos están consignados en el Cuadro 98. Se asume que el costo del PSA es de US\$70/ha/año, igual al estimado en el programa de reducción de emisiones presentado ante el Fondo de Carbono. No se consideran los beneficios generados por la ampliación de la cobertura del programa. Se estima que durante el periodo 2014-2050 esta medida podría producir una reducción de emisiones de alrededor de 18,2 millones de Mg CO<sub>2</sub>e.

### 5.5.4 Estimación del Cambio total de Emisiones con Medidas del Sector Forestal

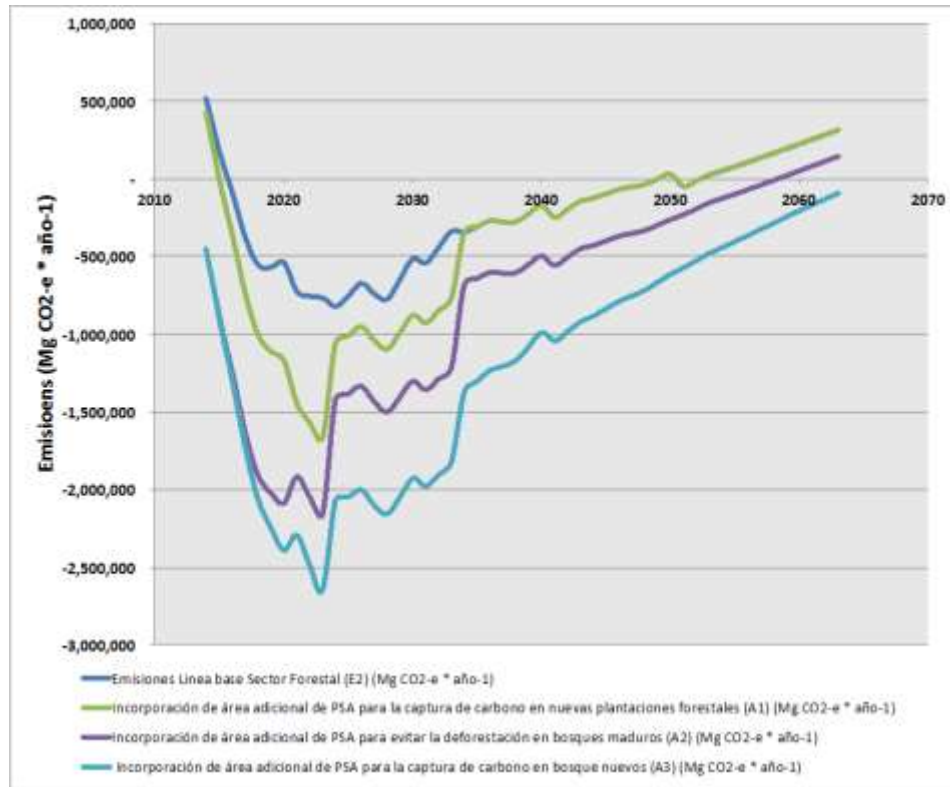
Se estimó el cambio total de emisiones de la implementación acumulativa de las tres acciones consideradas para el Sector Forestal. Se estima que la implementación del 100% de las acciones podría producir 42 millones de Mg CO<sub>2</sub>e. En el Gráfico 30 se muestra gráficamente el cambio en las existencias de carbono en el sector forestal con respecto a la línea base para cada una de las acciones implementadas acumulativamente.

### 5.5.5 Sistemas Silvopastoriles

El NAMA Ganadero plantea los sistemas silvopastoriles con la plantación de árboles dispersos en un 35% del área de pasturas implementado en un periodo de 7 años. La arborización es para proporcionar sombra para el ganado y, a su vez, la captura de carbono. Los árboles ya en

potreros, al alcanzar su vida útil, son utilizados por los agricultores para otros fines, por lo tanto nuevos árboles deben ser sembrados después de ciertos períodos de tiempo para asegurar que la captura de carbono y los beneficios de sombra siguen estando presentes. También se contempla el aprovechamiento de la madera con extracciones de árboles en la finca. El Cuadro 100 describe los parámetros utilizados para la estimación del carbono. Con base en estos, se estimó el potencial de secuestro en sistemas silvopastoriles (Gráfico 31).

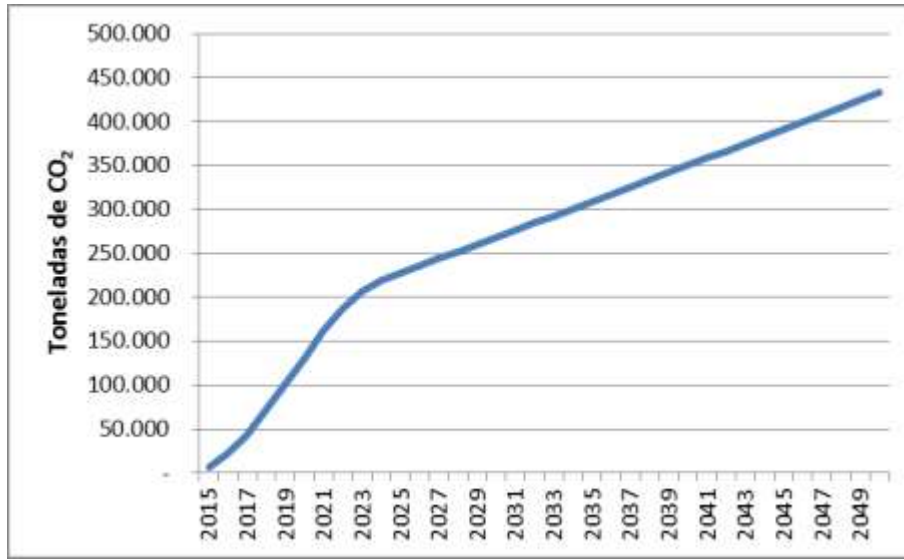
**Gráfico 30 Emisiones del Sector Forestal en Escenario de Referencia y con las Medidas**



Fuente: elaboración propia con estimaciones con base en datos de FONAFIFO y Herramienta CDI

Con el conjunto de las medidas analizadas para el sector forestal (nuevas plantaciones forestales, deforestación evitada en bosques maduros, captura de carbono en bosques nuevos) más los sistemas silvopastoriles, se ha estimado el nivel de contribución del sector forestal como un todo. El Cuadro 23 muestra que el conjunto de medidas podría alcanzar hasta 235% de disminución de las emisiones proyectadas en el escenario de referencia en el año 2030.

**Gráfico 31 Secuestro de Carbono de Sistemas Pastoriles**



Fuente: elaboración propia con datos de SIDE (2015) y estimaciones de los autores

**Cuadro 23 Potencial de Contribución del Sector Forestal**

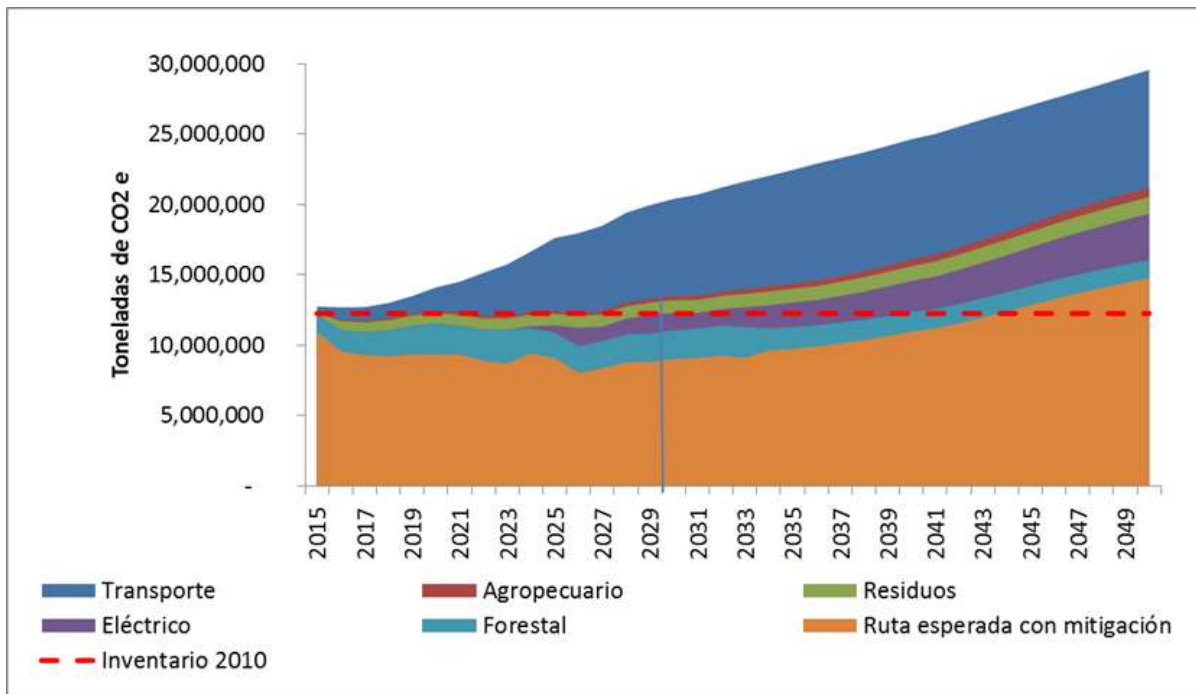
Medida	Contribución de la Medida al	Contribución al Secuestro de
	Secuestro de Carbono (Referencia 2030)	Carbono acumulado (Referencia 2030)
<b>Plantaciones Forestales:</b> 70,000 ha adicionales (20 años)	-79%	-79%
<b>Deforestación evitada Bosque Secundario:</b> 124,000 ha adicionales (10 años)	-74%	-153%
<b>Deforestación evitada Bosque Maduro:</b> 107,600 ha PSA adicional al nivel 2014 (10 años)	-44%	-226%
<b>Silvopasturas:</b> 35% del área de pasturas en 7 años (de 5 a 16 árboles por ha)	-9%	-235%

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

## 5.6 Potencial Nacional de Mitigación con las Medidas Identificadas

El conjunto de medidas de reducción y remoción de emisiones que han sido identificadas, permiten dimensionar cómo el país puede avanzar con sus objetivos contribución a la mitigación del cambio climático. En el Gráfico 32 se observan las medidas que se han identificado en este estudio y que han sido analizadas para ver el alcance de su impacto.

**Gráfico 32 Abatimiento de Emisiones Totales con Medidas de Mitigación al 2050**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

En total se analizaron 24 medidas con un potencial de mitigación cercano a 340 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Este análisis ha permitido configurar un escenario en el cual el país puede ver las implicaciones de una ruta de desarrollo baja en emisiones. Se estima que desde el año 2015 el país podría impulsar medidas en los sectores transporte, agropecuario, manejo de residuos sólidos, eléctrico y forestal, que permitirían reducir las emisiones a los niveles representados por el área de la ruta baja en carbono. Esta disminución está en línea con el logro de la C-neutralidad para el 2021, que sin embargo no sería sostenible después del 2045 con solamente el conjunto de medidas identificadas en este estudio.

### 5.6.1 Medidas de Abatimiento y Barreras

A las medidas de mitigación identificadas se les ha hecho un ordenamiento de acuerdo a las barreras políticas, tecnológicas, financieras, económicas e institucionales que pueden enfrentar, para determinar su posible implementación. Esto desde una perspectiva cualitativa (Cuadro 25). Un primer grupo de medidas se han denominado Medidas A, cuyo impulso podría ser más cercano en el corto plazo. Estas medidas se observan en el Gráfico 99 como el área verde. En este estudio se recomienda que las metas iniciales del país deberían centrarse en términos de lo que estas Medidas A permiten alcanzar. Las Medidas B (el área amarilla) enfrentan barreras mayores a las anteriores, que podrían ser posibles si el país encuentra apoyo de fuentes alternativas. Las Medidas C (área naranja) tienen condiciones de implementación con mayores dificultades y podrían ser apoyadas por la comunidad internacional. El país puede poner en el contexto de

metas más ambiciosas el tipo de Medidas C, porque es una señal al mundo de que la reducción de emisiones de GEI globales pasaría por una transformación de los patrones de desarrollo actuales.

**Cuadro 24 Medidas de Abatimiento y Viabilidad para el País**

Opción de Mitigación	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Agropecuario: Mejora fermentación entérica y uso de estiércol	A	4
Sector Eléctrico: Expansión eléctrica del parque renovable	A	2
Sector Transporte: Puesto en operación de un sistema de Bus Tránsito Rápido (BRT)	A	3
Sector Transporte: Medidas de ahorro por menor uso Transporte:	A	4
Sector Residuos: Aumento de actividades de reciclaje	A	4
Sector Forestal: PSA Plantaciones forestales	A	4
Sector Forestal: PSA Protección bosque maduro	A	3
Sector Forestal: PSA Regeneración bosque nuevo	A	3
Sector Forestal: Silvopasturas	A	4
Sector Agropecuario: Reducción uso de fertilizantes	B	6
Sector Transporte: Puesta en operación de un Tren eléctrico Metropolitano	B	5
Sector Transporte: Expansión de uso de auto de gas LPG	B	6
Sector Residuos: Cierre Vertederos	B	5
Sector Residuos: Aumento actividades de compostaje	B	6
Sector Residuos: Reducción de quema de residuos no recolectados	B	5
Sector Transporte: Expansión de uso de autos híbridos	C	8
Sector Transporte: Expansión de uso de autos híbridos con conexión eléctrica	C	8
Sector Transporte: Expansión de uso de autos eléctricos	C	7
Sector Transporte: Expansión de uso de auto con motores eficientes	C	7
Sector Transporte: Uso del Biodiesel	C	7
Sector Transporte: Uso Bioetanol	C	7
Sector Residuos: Introducción de Rellenos con generación eléctrica	C	7
Sector Residuos: Introducción de plantas de incineración de residuos	C	7
Sector Residuos: Introducción de rellenos con estabilización biológica	C	8

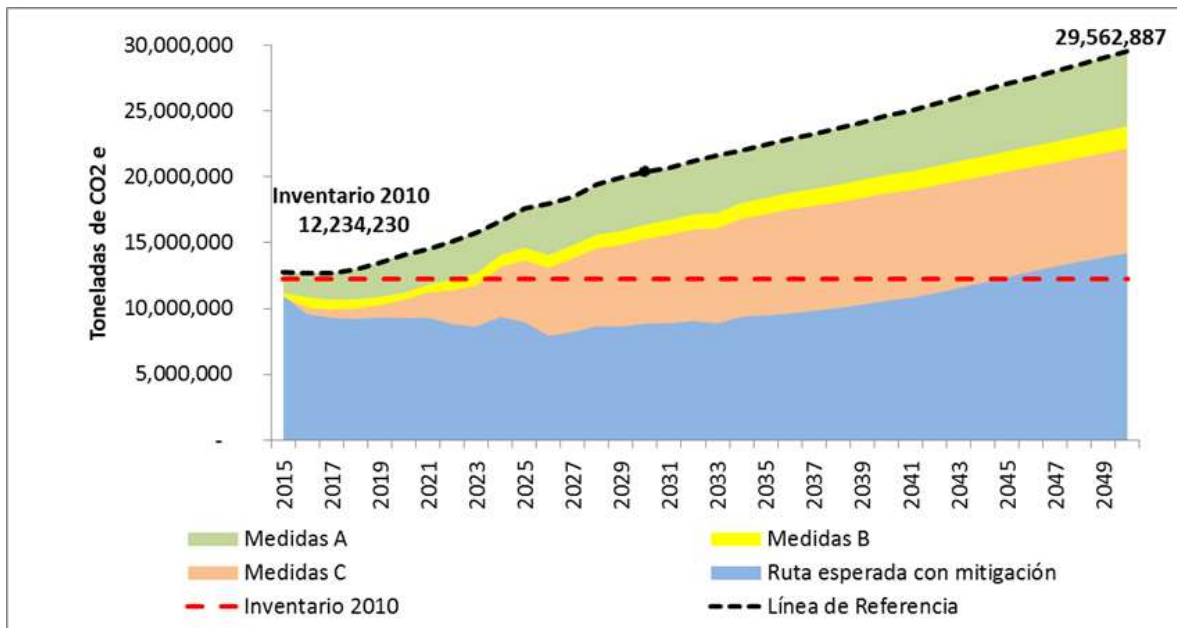
\*\* Un número mayor implica más barreras enfrentadas.

Fuente: elaboración propia con estimaciones de los autores

Las Medidas tipo A permitirían al país hacer una reducción del 20% de las emisiones del año 2030 con respecto al escenario de referencia utilizado para este análisis. Esto implicaría que las emisiones per cápita para ese año se ubicarían en 3 toneladas de CO<sub>2</sub>e por persona, produciendo una caída de las emisiones esperadas en el escenario de referencia que las estimaba originalmente en 3,7 toneladas per cápita. Este es un nivel de reducción de casi una quinta parte de las emisiones esperadas para el año 2030, lo cual puede considerarse una contribución significativa del país. Las Medidas A permiten que Costa Rica alcance la C-

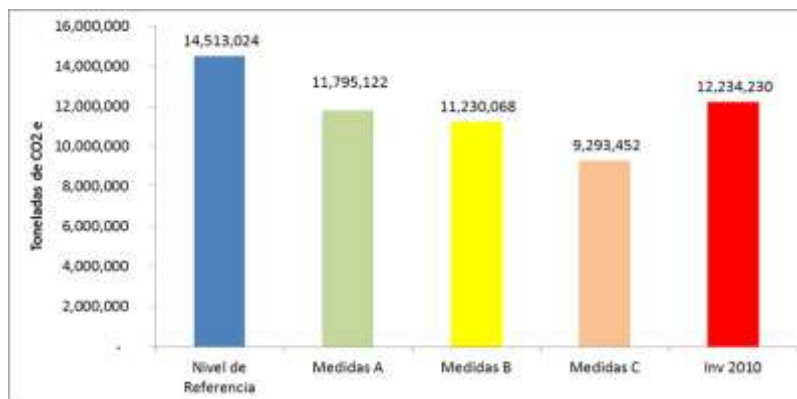
neutralidad en el año 2021. Sin embargo, el país requiere más esfuerzos para prevenir la inercia que tiene una sociedad con patrones intensivos en emisiones, pues ya para el año 2030 pese a la contribución significativa que constituyen las Medidas A (disminución del 20%), con respecto a la meta C-neutral, en este año las emisiones superarían esa meta en un 34%. En el Gráfico 34 y el Gráfico 35 se observa que si bien las emisiones con las medidas A (barra verde) permiten estar por debajo de las emisiones del Inventario de GEI 2010 (barra roja), ya en el 2030 las emisiones de las Medidas A las superan, requiriéndose las medidas B y C adicionales (barras amarillo y anaranjado).

**Gráfico 33 Medidas de Abatimiento según Viabilidad al 2050**



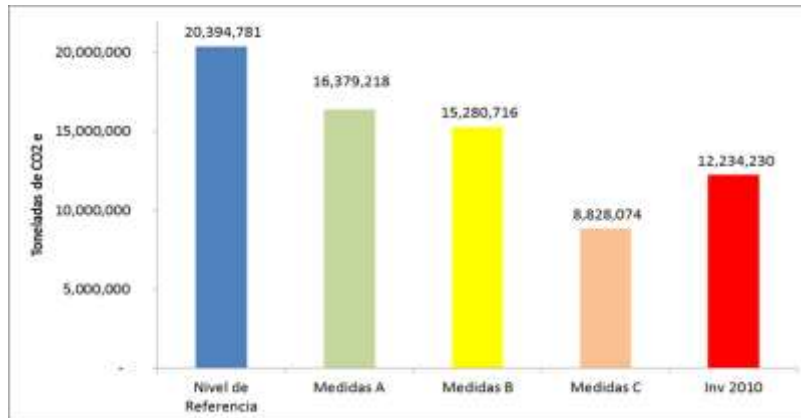
Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Gráfico 34 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2021**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Gráfico 35 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2030**



Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Costa Rica podría impulsar las denominadas medidas B y C que fueron descritas anteriormente. Con este conjunto de medidas las emisiones en el año 2030 se ubicarían un 55% por debajo de las emisiones del escenario de referencia base, y las emisiones per cápita serían 1,6 toneladas para ese año. Incluso se alcanzaría un nivel 25% por debajo de la meta de carbono neutralidad. Además, el conjunto de estas medidas B y C permite configurar un escenario en donde es factible mantener la meta carbono neutralidad hasta el año 2045, encontrándose que se tendría en promedio emisiones per cápita de 1,9 toneladas durante el periodo 2015-2050.

En el Cuadro 26 se muestran los efectos de los diversos tipos de medidas con respecto al escenario de referencia y a los niveles del inventario 2010, en los años 2021, 2030 y 2050. Se puede observar que las medidas A en todos estos años reducen las emisiones alrededor del 20% respecto a la línea de referencia. Sin embargo, solo en el año 2021 logran bajar las emisiones por debajo del nivel de referencia del inventario 2010, lo que significa que sólo en el 2021 (al ubicar las emisiones -4% por debajo de las del 2010), se puede alcanzar la carbono neutralidad. Ya en el 2030 y 2050 las emisiones superan las del 2010, en un 34% y 95% respectivamente.

**Cuadro 25 Impacto de las Medidas de Mitigación en Años de Referencia**

Año	Medidas A		Medidas B		Medidas C	
	Respecto a escenario de referencia	Respecto al Inv. 2010	Respecto de escenario de referencia	Respecto al Inv. 2010	Respecto a escenario de referencia	Respecto al Inv. 2010
<b>Al 2021</b>	-19%	-4%	-23%	-8%	-36%	-24%
<b>Al 2030</b>	-20%	34%	-25%	25%	-57%	-28%
<b>Al 2050</b>	-19%	95%	-25%	81%	-52%	16%

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores



Las medidas B reducen las emisiones del escenario de referencia en cerca del 25% en los diferentes años de comparación, pero el efecto con respecto al nivel del inventario 2010 es similar que el caso anterior, en donde sólo en el 2021 se alcanzaría la C-neutralidad. Las medidas C aumentan sensiblemente su efecto de disminución de las emisiones respecto al escenario de referencia en los años 2030 y 2050, superando el 50% en ambos años, mientras que en el 2021 las medidas solo reducen las emisiones del escenario de referencia en 36%. Sin embargo, estas medidas ayudan a sostener por más tiempo la C-neutralidad, aunque para el 2050 ya se ha perdido la meta y las emisiones superarían las del inventario del 2010 en 16%.

### 5.6.2 Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas

El costo por tonelada de CO<sub>2</sub>e y el total de reducción o remoción esperado con todas las medidas analizadas se muestran en el Cuadro 27. En total las 24 medidas podrían evitar la emisión de casi 340 millones de toneladas, para un promedio anual de 9,8 toneladas durante el periodo analizado. Como se puede observar, algunas medidas presentan un costo marginal negativo, implicando que para el periodo de análisis 2015-2050 sus costos son superados por los ingresos esperados. Costos negativos no son razón suficiente para hacer viable una medida, ya que en muchos casos no determina el costo-beneficio la factibilidad de impulsar una medida, sino la capacidad de remover una serie de barreras que impiden su implementación. En caso de las Medidas A, incluso las que presentan un costo marginal por tonelada positivo, este costo se encuentra a niveles que un reconocimiento de por ejemplo US\$5 por tonelada (factible en el mercado doméstico de carbono que el país impulsa), las haría viables. En el caso de las plantaciones forestales, no se han introducido aspectos relativos a los ingresos por venta de la madera, por lo que el costo de US\$6 disminuiría una vez que se incorporen estos ingresos asociados. Para las medidas B y C algunos costos son negativos, pero en este caso las barreras son mayores, lo que dificulta su implementación.

En el Cuadro 28 se muestra el costo beneficio de las medidas. Como se observa, en su conjunto las medidas tienen un costo-beneficio negativo, lo que indica que los beneficios de impulsarlas son mayores que sus costos. Dentro del conjunto de barreras para el impulso de estas medidas, la inversión requerida para su implementación es uno de los retos por superar. Las medidas tipo A, si bien tienen un resultado costo-beneficio mayor (con beneficios esperados mayores durante el periodo de análisis), conllevan la necesidad para el país de una inversión cercana a los US\$3 mil millones. Pese a que estas medidas A se encuentran dentro de los ámbitos de financiamiento y cooperación a su alcance, no deja de ser una inversión muy alta, que requiere el compromiso de la cooperación internacional en los términos de apoyo que el país ha logrado hasta el momento.

**Cuadro 26 Medidas de Abatimiento: Costo Marginal, Potencial de Mitigación y Nivel de Barreras**

Opción de Mitigación	Costo de Mitigación (USD/tCO2)	Mitigación Total (TCO2)	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Residuos: Compostaje	-488	29,660	B	6
Sector Transporte: Autos de Gas LPG	-430	845,157	B	6
Sector Transporte: Bus de Tránsito Rápido (BTR)	-317	8,415,894	A	3
Sector Transporte: Medidas de Ahorro	-114	6,330,041	A	4
Sector Transporte: Tren Eléctrico	-92	9,150,994	B	5
Sector Agropecuario: Mejora con Fermentación Entérica y Uso de Estiércol	-51	8,567,237	A	4
Sector Transporte: Autos Eléctricos	-30	134,257,126	C	7
Sector Transporte: Autos Híbridos con Conexión Eléctrica	-28	28,898,523	C	8
Sector Residuos: Reciclaje	-28	4,249,016	A	4
Sector Residuos: Incineración	-10	9,908,671	C	7
Sector Residuos: Rellenos con Generación Eléctrica	-6	11,049,459	C	7
Sector Residuos: Cierre de Vertederos	-4	6,328,608	B	5
Sector Forestal: Silvopasturas	1	7,394,764	A	4
Sector Forestal: PSA con Protección en Bosque Maduro	4	24,809,725	A	3
Sector Forestal: PSA con Regeneración en Bosque Nuevo	5	18,216,966	A	3
Sector Forestal: PSA en Plantaciones Forestales	6	8,256,000	A	4
Sector Agropecuario: Baja en Uso de Fertilizantes	11	3,819,876	B	6
Sector Residuos: Rellenos con Estabilización Biológica	11	3,767,646	C	8
Sector Residuos: Reducción de Quema Basura no Recolectada	13	1,324,587	B	5
Sector Transporte: Biodiesel	24	5,123,190	C	7
Sector Transporte: Bioetanol	26	5,096,985	C	7
Sector Eléctrico: Expansión Eléctrica del Parque Renovable	60	15,621,562	A	2
Sector Transporte: Motores Eficientes	110	20,504,932	C	7
Sector Transporte: Autos Híbridos	789	2,531,834	C	8

\*\* Promedio ponderado de calificación (1=menores barreras a 10=mayores barreras) con base en criterios sobre capacidades institucionales, tecnológicas, económicas, financieras, sociales y ambientales.

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Cuadro 27 Costos y Potencial de Mitigación de las Medidas**

Concepto	Medidas A	Medidas B	Medidas C
Costo-beneficio de la medidas (US\$)	-2.750.815.686	-1.235.527.022	-395.462.860
Inversión requerida total (US\$)	2.978.859.265	647.184.357	13.342.052.358
Mitigación total (tCO <sub>2</sub> )	98.727.848	32.518.682	210.118.568
Costo promedio (US\$/tCO <sub>2</sub> )	-27,9	-38,0	-1,9

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Por su parte, las medidas B y C, si bien también muestran beneficios más altos que los costos para el periodo 2015-2050, tienen mayores barreras por remover y las inversiones asociadas a su implementación suman en conjunto cerca de US\$14 mil millones. Estos resultados muestran que los niveles de ambición en términos de las posibles contribuciones a la mitigación del cambio climático por parte del país tienen costos que se superan sus posibilidades actuales. Por tanto, el apoyo y compromiso de la comunidad internacional en un marco de cooperación más generoso es necesario para hacer viables dichas medidas.

En el Cuadro 29 y en el Cuadro 30 se detallan los totales del potencial de mitigación para el conjunto agregado de las medidas analizadas. En el primero de los cuadros se agrupan por sector y en el segundo cuadro por tipo de medida A, B y C.

**Cuadro 28 Mitigación de Medidas Por Sector y por Año (ton CO<sub>2</sub>)**

Año	Total	Hidrocarburos	Agropecuario	Residuos	Eléctrico	Forestal
2015	-1.832.886	-382.743	-110.234	-11.808	-5.276	-1.322.825
2020	-4.796.944	-1.669.343	-141.775	-738.602	49	-2.247.273
2030	-11.389.465	-6.916.070	-283.532	-904.602	-1.230.672	-2.054.589
2040	-13.679.721	-8.552.536	-462.435	-1.053.788	-2.208.624	-1.402.338
2050	-14.802.765	-8.374.607	-659.471	-1.179.640	-3.294.384	-1.294.663

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

**Cuadro 29 Mitigación de Medidas Por Tipo y por Año (ton CO<sub>2</sub>)**

Año	Medidas A	Medidas B	Medidas C
2015	- 1.552.569	- 277.356	- 2.206
2020	- 2.908.853	- 541.992	- 1.379.018
2030	- 4.015.563	- 1.098.502	- 6.452.642
2040	- 4.491.773	- 1.389.432	- 8.156.413
2050	- 5.703.049	- 1.675.092	- 7.981.660

Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

## 5.7 Análisis Con MACTool

Una de las herramientas analíticas utilizadas para el trabajo de identificación de medidas de mitigación ha sido el MACTool. Esta herramienta ha sido desarrollada por el Banco Mundial a través del programa ESMAP con el apoyo técnico de ERM.<sup>41</sup> MACTool permite hacer diversos análisis para relacionar el potencial de mitigación de medidas en diverso sectores con sus costos y otras variables financieras. Seguidamente se detallan algunos resultados del trabajo realizado con esta herramienta.

### 5.7.1 Curva de Costos de Abatimiento

Con base en el análisis de opciones de mitigación para cada sector anteriormente descrito, se construyó una Curva de Costos de Abatimiento (MACC por sus siglas en inglés) para ilustrar los costos por tonelada y la posible contribución individual y agregada a la mitigación total para el periodo 2015-2050 (Gráfico 36). En total se analizaron las 24 medidas de mitigación en los 5 sectores evaluados en este estudio. Se estima que el país podría evitar la emisión de casi 340 millones de toneladas con la implementación de todas las medidas, para un promedio anual de 9,8 toneladas durante el periodo analizado. Se observa que hay costos por tonelada muy distintos, que van desde -\$488 por tonelada para uso de compostaje en el sector de residuos sólidos (es decir, un beneficio neto por tonelada, o bien un costo negativo) hasta la medida más cara con \$789 por tonelada, si se avanza con la introducción de autos híbridos en el sector transporte.<sup>42</sup>

Destaca el hecho que las medidas con los costos “negativos” más notables están en el sector de transportes y en el de residuos sólidos. Es decir, impulsar estas medidas implicaría beneficios netos para el país, además de una contribución importante a la reducción de emisiones. El grupo de medidas con beneficios netos generaría el 67% de la mitigación total entre el 2015 y el 2050. Solamente la introducción de autos eléctricos podría contribuir con 134 millones de toneladas, lo que resalta la importancia del sector transporte para alcanzar metas ambiciosas de mitigación hacia el futuro. Asimismo, el hecho que exista un potencial tan alto en la mitigación con costos negativos resalta la importancia de las barreras de implementación, que hacen inversiones como estas (tan rentables y bajas en carbono), difícil de concretarse. Esto plantea la necesidad de

---

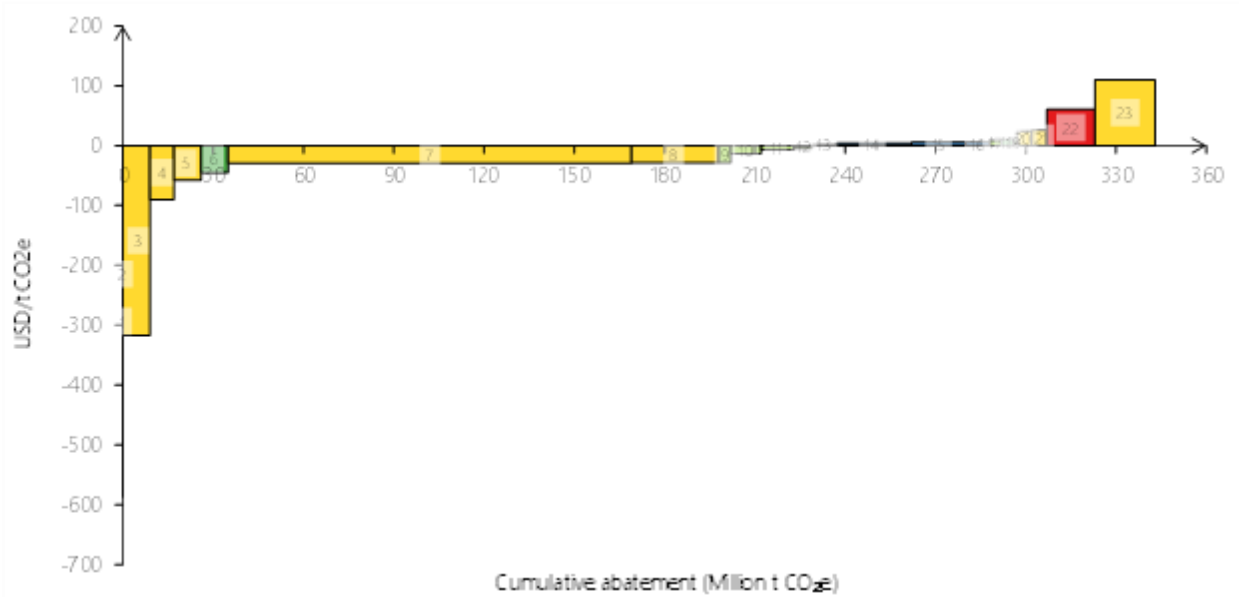
<sup>41</sup> Para más detalles de la herramienta véase ESMAP y ERM (2015) MACTool Training Module 1: MACTool Overview.

<sup>42</sup> Las medidas son ordenadas de menor a mayor costo por tonelada, con el respectivo número de 1 a 24 en la lista con cada nombre. En este caso se omite del gráfico la medida Sector Transporte: Autos Híbridos (con el mayor costo por tonelada de \$789), para tener una mejor idea de comparación de las otras medidas. Esta medida es particularmente cara debido a diversas distorsiones que existen en el mercado que obligarían a realizar inversiones muy altas para concretarlas.

abordar un análisis más profundo sobre los obstáculos para que estas “frutas bajas” puedan ser aprovechadas en el país.

Por otra parte, es también en el sector transporte donde se observan las medidas más caras con relación a la tonelada de CO<sub>2</sub>, particularmente por altos costos relacionados con su implementación. De ahí la relevancia de este sector dentro del análisis realizado, por un lado por su importante participación en las posibles reducciones totales, como por la particularidad de presentar opciones con costos negativos (beneficios) y positivos. La introducción de autos híbridos es la medida con los costos de mitigación más altos. Esto por las cuantiosas inversiones que requeriría, en contraste con una reducción potencial modesta. Comparativamente, las opciones analizadas en el sector forestal y agropecuario presentan costos por tonelada menores, y un potencial de mitigación significativo. En el caso del sector residuos, hay diversas medidas relacionadas con costos altos y bajos, y con una participación relativamente menor en el potencial de mitigación. Dentro de las medidas analizadas, el sector residuos podría aportar 10% de la mitigación total. Un tema central con la curva de costos de abatimiento es que muestra una “fotografía” más que una situación dinámica. La curva debe ser el punto de partida para profundizar en el análisis, tal como se ha presentado en las secciones anteriores.

Gráfico 36 Curva de Costos de Abatimiento de Emisiones 2015-2050



- |    |  |    |  |
|----|--|----|--|
| 1  | Sector Residuos: Compostaje  | 13 | Sector Forestal: Silvopasturas                             |
| 2  | Sector Transporte: Autos de Gas LPG                                      | 14 | Sector Forestal: PSA con Protección en Bosque Maduro       |
| 3  | Sector Transporte: Bus de Tránsito Rápido (BTR)                          | 15 | Sector Forestal: PSA con Regeneración en Bosque Nuevo      |
| 4  | Sector Transporte: Medidas de Ahorro                                     | 16 | Sector Forestal: PSA en Plantaciones Forestales            |
| 5  | Sector Transporte: Tren Eléctrico  | 17 | Sector Agropecuario: Baja en Uso de Fertilizantes          |
| 6  | Sector Agropecuario: Mejora con Fermentación Entérica y Uso de Estiércol | 18 | Sector Residuos: Rellenos con Estabilización Biológica     |
| 7  | Sector Transporte: Autos Eléctricos                                      | 19 | Sector Residuos: Reducción de Quema Basura no Recolectada  |
| 8  | Sector Transporte: Autos Híbridos con Conexión Eléctrica                 | 20 | Sector Transporte: Biodiesel                               |
| 9  | Sector Residuos: Reciclaje   | 21 | Sector Transporte: Bioetanol                               |
| 10 | Sector Residuos: Incineración  | 22 | Sector Eléctrico: Expansión Eléctrica del Parque Renovable |
| 11 | Sector Residuos: Rellenos con Generación Eléctrica                       | 23 | Sector Transporte: Motores Eficientes                      |
| 12 | Sector Residuos: Cierre de Vertederos                                    | 24 | Sector Transporte: Autos Híbridos (no graficada)           |

Fuente: elaboración con MACTool, con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

## 6 Futuro Trabajo Analítico para la Identificación de Medidas de Reducción de Emisiones

### 6.1 Análisis de Impacto de Medidas en el Tiempo

Los escenarios que se han elaborado en este estudio han configurado un calendario de introducción de las medidas de acuerdo al criterio técnico que han suministrado las contrapartes técnicas de Ministerios y agencias de gobierno en cada sector. Sin embargo, la implementación de las medidas de reducción y remoción de emisiones puede configurarse en diversos escenarios de entrada de las medidas, lo cual tiene un alto impacto en el potencial de mitigación de las mismas. Entre más “tarde” entre una medida en ejecución, se tiene el riesgo que su efecto de mitigación o secuestro sea menor en el futuro, con lo que deberá aumentarse la dimensión de la medida. Además, los costos asociados a las medidas potencialmente aumentarán entre más tardía sea su implementación. Este análisis se recomienda como una de las áreas de trabajo analítico futuro en el marco de las contribuciones nacionales u otras acciones de política pública relacionadas con el cambio climático.

### 6.2 Estrategia de Financiamiento de las Medidas

Los escenarios de cómo el país va a asegurar el financiamiento de las medidas de abatimiento es una de las tareas más importantes de definir en una siguiente etapa de investigación. Es necesario identificar las áreas de financiamiento del sector privado y las condiciones que se requieren para el apoyo del sistema financiero. El área de financiamiento público requiere de una estrategia de recursos fiscales que debe ser analizado. Los requerimientos de financiamiento de la comunidad internacional deben ser plenamente identificados para determinar la estrategia de financiamiento total y el condicionamiento que se va a dar de las medidas.

### 6.3 Impacto Macroeconómico de las Medidas

La interacción de las medidas de mitigación sobre ámbitos macroeconómicos debe ser mejor identificada por tratarse de medidas sectoriales de gran alcance, con un impacto en la distribución de los ingresos, el sistema productivo, los requerimientos de energía, la productividad, los precios, y diversas variables relacionadas con el entorno económico. Estos análisis deben explorar enfoques integrales que identifiquen las sinergias y las interrelaciones entre las diferentes opciones de mitigación de emisiones.

### 6.4 Medidas Adicionales para la Mitigación del País

El análisis para identificar medidas de reducción y remoción de GEI, así como su potencial de mitigación y costos asociados, no ha sido un proceso exhaustivo, por cuanto se limitó a aquellas medidas en las que las contrapartes sectoriales -que participaron en el proceso del análisis-,

contaran con datos e información adecuados para ser incorporadas en este estudio. Hay medidas adicionales que el país deberá analizar para estimar todo su potencial real. La generación de datos para que estas medidas sean consideradas en el análisis de opciones de mitigación debería ser un objetivo de las autoridades ministeriales, agencias de gobierno y otras organizaciones involucradas. Seguidamente se describe un conjunto de acciones que podrían analizarse con mayor detalle en futuras investigaciones.

## 6.4.1 Sector Energía

### 6.4.1.1 Fortalecimiento del Monitoreo de las Emisiones de CO<sub>2</sub>

El VII Plan Nacional de Energía recién elaborado por el MINAE con el concurso de diversas partes interesadas en el sector,<sup>43</sup> ha reconocido la necesidad de avanzar con acciones para disminuir las emisiones vehiculares, mediante el fortalecimiento de medidas que permitan el monitoreo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, como base para generar diversas políticas para el control de los gases de efecto invernadero en el transporte. Las posibles acciones alineadas por el Plan vendrían a establecer la línea futura de trabajo.

### 6.4.1.2 Limitación de la Importación de Vehículos Usados

Una medida que debería analizarse, por su alto impacto ambiental, está asociada con la limitación de la importación de vehículos usados, cuyo parque en el país escapa de los controles de estándares de eficiencia y emisiones que se pueden generar para los autos nuevos.

### 6.4.1.3 Uso de Filtros de Alta Generación

Las experiencias internacionales con el uso de filtros de alta generación para limitar contaminantes son un área que el país puede explorar, y que tiene mucho potencial en vehículos de diésel, cuya importancia en el transporte público y de carga puede hacer atractivas estas medidas.

### 6.4.1.4 Impuestos a la Importación de Vehículos no Eficientes

Como un instrumento económico, el MINAE podría analizar la revisión de los impuestos a la importación de vehículos para que estén en línea con los requerimientos de eficiencia energética, y así contribuir con menores emisiones en el sector transporte.

### 6.4.1.5 Canon por Emisiones de CO<sub>2</sub>

Otro instrumento económico que podría ser analizado por MINAE es la implantación de un canon por emisiones de CO<sub>2</sub>, que consistiría en el cobro de un cargo sobre el cilindraje de los

---

<sup>43</sup> DSE (2015).



automóviles por su derecho de uso de la atmósfera para emitir GEI, que equivalga a un cargo por las emisiones derivadas de los procesos de combustión.

#### *6.4.1.6 Etiquetado de Vehículos*

Otra medida que debería analizarse es la introducción de estándares de etiquetado de vehículos para informar adecuadamente sobre su eficiencia energética y nivel emisiones. Esto como mecanismo de información al consumidor que ve en la eficiencia energética un valor agregado.

#### *6.4.1.7 Educación para Conducción Eficiente*

Se deberían estudiar las medidas que establecen la profundización de la educación para la conducción eficiente, así como sensibilizar a la población sobre los impactos del consumo energético y las medidas de mitigación asociadas. Creación de conocimiento y conciencia para el tránsito inteligente.

#### *6.4.1.8 Administración de Vehículos de Carga*

En materia de reducción de las emisiones en la flota vehicular de carga, el país debe analizar con mayor profundidad las implicaciones de incentivar programas de administración de las flotas vehiculares en las empresas, tanto privadas como públicas, como forma de gestionar un uso eficiente del transporte. Y, consecuentemente, la reducción en el uso de los combustibles y las emisiones producidas.

#### *6.4.1.9 Programa de Adquisición de Vehículos Eficientes*

El país recientemente puso en marcha un Programa de Adquisición de Vehículos Eficientes (PAVE), cuyos resultados deberían cuantificarse y proyectarse a futuro para estimar todo su potencial.

#### *6.4.1.10 Combustibles Alternativos*

Otro tipo de medidas en transporte para ser estudiadas están asociadas a combustibles alternativos, como lo son el gas natural y el hidrógeno. El gas natural debe ser importado por el país y su factibilidad depende de su consumo en el transporte, la industria, el sector residencial y la generación eléctrica (para alcanzar las economías de escala necesarias). Sobre el gas natural, se debería evaluar su conveniencia para adoptarse a tal escala. En cuanto al hidrógeno, el trabajo de la empresa Ad Astra Rocket para desarrollar tecnología que haga viable su uso en el transporte, debería analizarse con más detalle. Adicionalmente, se podría fomentar la producción y uso de biogás (gas de síntesis) como sustituto de fuentes de energía fósiles. En este sentido las instituciones de energía del país y los Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG) y Salud, están elaborando el NAMA de biomasa, el cual tiene un potencial de mitigación de emisiones que podría contribuir en el futuro.

#### ***6.4.1.11 Ordenamiento Urbano***

En materia de ordenamiento urbano, el país se plantea promover la creación de centralidades urbanas densas integradas, para reducir la cantidad de viajes y promover la movilidad no motorizada, así como la movilidad no motorizada. Estas medidas, unidas al fortalecimiento del sistema de transporte público, requieren análisis y cuantificación en términos de sus implicaciones futuras.

#### ***6.4.1.12 Descongestión Vial***

El tema de la descongestión vial ha sido una medida de gran interés por parte de la Dirección Sectorial de Energía (DSE) del MINAE, y para dimensionar su potencial en mitigación se requiere configurar los escenarios futuros de infraestructura, ordenamiento urbano, transporte público y restricciones vehiculares.

#### ***6.4.1.13 Calidad de Combustibles***

El tema de los combustibles con estándares más estrictos en el país es un ámbito por incluir en análisis futuros de las contribuciones del país, ya que la calidad de los combustibles ofrece un gran potencial de mejora en la situación nacional. Esto dependería en gran medida de la inversión en una refinadora, y en infraestructura de transporte y almacenamiento de derivados de petróleo, que fortalezca el potencial de combustibles de alta calidad y la producción de biocombustibles.

#### ***6.4.1.14 Eficiencia Energética en el Uso de Electricidad***

Por último, en materia de eficiencia energética en el uso de electricidad, el VII Plan Nacional de Energía contempla diversas acciones relacionadas con medidas de eficiencia en el uso de la electricidad, consistentes con el incremento futuro del uso de la electricidad en el contexto de un país en desarrollo con mayores tasas de crecimiento económico.

### **6.4.2 Sector Uso de la Tierra**

#### ***6.4.2.1 Agroforestación***

En el sector de uso de la tierra, que incluye los sectores agropecuario y forestal, se debe estudiar con más detalle el eje de REDD+ referente a agroforestación, y producir datos sobre la línea de referencia y el potencial de secuestro de esta actividad. Es necesario incorporar esfuerzos del sector agropecuario en la reforestación.

#### ***6.4.2.2 Investigación e Innovación***

Para el sector agropecuario el fomento de la investigación es un área que podría permitir la adopción de prácticas y tecnologías de una agricultura orientada a la sostenibilidad ambiental, y

al progreso económico y social del agricultor. En este sentido, se avanzaría con mayor impacto a la agenda que el MAG ha venido siguiendo en la que la producción agropecuaria no se contrapone a los objetivos ambientales y más bien contribuye con la mitigación y adaptación al cambio climático. La investigación contribuirá a la generación de métrica para estimar líneas base por actividad agropecuaria y conocer con más precisión el potencial de diversas medidas de mitigación. La experiencia de la estrategia de sector ganadero ha permitido revelar que la factibilidad de impulsar las medidas identificadas como NAMAS o medidas sectoriales, debe ahondar en la investigación de la implementación a nivel de clusters (conglomerados), según condiciones particulares por zonas del país, prácticas agropecuarias específicas, características climáticas, tamaño de las fincas, capacidades de los agricultores, nivel de organización y acceso a factores condicionantes como el conocimiento, las tecnologías y el financiamiento. Se debería fomentar la investigación en la innovación basada en el conocimiento tradicional, ya que algunas áreas de la producción sostenible y la adaptación al cambio climático demandan el rescate de este conocimiento acumulado a través de la historia.

#### *6.4.2.3 Integración con la Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura y los Paisajes*

La planificación de medidas de mitigación y su implementación debería estar intrínsecamente integrada con la planificación de la adaptación al cambio climático, lo que permitiría una planificación de actividades agropecuarias de alto impacto en su aporte a la reducción de emisiones, pero en función de las proyecciones climáticas, su posible impacto, y la incorporación de criterios de gestión de riesgo. Más allá de la agricultura, se deberían analizar las implicaciones de consolidar en el país una agricultura climáticamente inteligente, integrada en paisajes productivos sostenibles e inclusivos. Identificar dinámicas territoriales e intervenir a escala de paisajes en la organización de los sistemas productivos y de comercialización de alimentos y de insumos, serían medidas a analizar con mayor detalle. Los esfuerzos de mitigación se podrían integrar con áreas forestales en fincas agrícolas, así como áreas forestales en zonas urbanas.

#### *6.4.2.4 Fortalecimiento de la Estrategia Nacional REDD+*

Dado que el país ya viene diseñando una estrategia integral para el manejo futuro de los bosques bajo la Estrategia Nacional REDD+, se deberían explorar medidas adicionales que incentiven la reactivación productiva de bosques, plantaciones y sistemas agroforestales, y que promuevan el consumo de productos de madera nacional bajo altos parámetros de sostenibilidad, sociales y ambientales. Esto requiere un enfoque complementario al de mitigación, que integre el manejo y la conservación de los ecosistemas forestales, y fortalezca la valorización de los servicios ambientales y creación de nuevos mecanismos de financiamiento, que desarrollen los medios de vida de las comunidades locales y los pueblos indígenas.

#### **6.4.2.5 *Programas Sectoriales y NAMAS***

En materia agropecuaria, el análisis cuantitativo de NAMAS para las actividades de mayor huella de carbono es una necesidad expresada en el MAG, ya que el sector sólo viene avanzando con la ganadería y el café, sin que actividades como la caña de azúcar, el banano, el arroz, palma aceitera y la piña, como mayores actividades del área cultivada, planteen cuál va a ser su estrategia baja en emisiones. Cabe destacar que el NAMA Café está en elaboración y será una actividad por considerar en las revisiones de las opciones de mitigación para Costa Rica.

#### **6.4.2.6 *Mercado de la Madera***

REDD+ tiene como objetivo el fortalecimiento del mercado de la madera para los productos forestales, que aumente su consumo en construcción y muebles, pero que además genere la métrica adecuada para contabilizar la fijación en la madera en estas actividades. En este sentido se requiere analizar con mayor profundidad el aporte del sector de la construcción creando incentivos y estándares para la incorporación de la madera dentro de una estrategia de impulso de materiales para la construcción con baja huella de carbono.

#### **6.4.2.7 *Sistema de Trazabilidad y Verificación de la Madera***

Para fortalecer el control en contra de la deforestación ilegal, una medida que se debería analizar es la implementación de un sistema de trazabilidad y verificación de la legalidad de los productos forestales, cambio de uso del suelo forestal y tala ilegal, donde el costo de la trazabilidad no afecte la competitividad de la actividad y se reduzca la competencia desleal de productos de origen ilegal en el mercado local.

### **6.4.3 *Manejo de Residuos***

#### **6.4.3.1 *Programa de Educación para la Reducción y Separación de Residuos***

En manejo de desechos una importante barrera es la ausencia de un sistema educativo para crear una cultura de residuos sólidos que sea acorde con las medidas, políticas o intervenciones que son propuestas en el sector, de manera que se reviertan las altas tasas de generación de residuos que se proyectan y que se enfoque en una reducción y gestión en la fuente. Se requiere que la educación pública (y privada) haga más énfasis en formar ciudadanos conscientes del tema. De esta forma se podría alcanzar una aplicación verdadera de los mecanismos de manejo de residuos “desde la casa.”

#### **6.4.3.2 *Gestión de Residuos Agrícolas***

Se debería integrar el análisis de gestión de los residuos una medida clara de la gestión de los residuos agrícolas orgánicos, el cual ya se tiene un NAMA conceptual que se espera que dé las pautas en este tema y pueda contribuir con la reducción de emisiones.

#### *6.4.3.3 Actividades de Compostaje*

En materia de residuos orgánicos, los residuos regulares procedentes de los sectores residencial, industrial y comercial deberían integrarse con el NAMA de biomasa que se trabaja en el sector agropecuario, para que se cree una masa crítica que haga atractivas las actividades de compostaje, y se complementen con educación que logre compostaje domiciliario para el enfoque de gestión en la fuente. Estimar el potencial de mitigación de esta medida es requerido.

#### *6.4.3.4 Promoción de Sistemas de Biodigestión*

Se debería evaluar una medida en la promoción de estrategias dirigidas al sector privado, con incentivos económicos, fiscales y legales que fomenten el emprendimiento y la innovación en materia de biodigestores para producción de calor y energía, que pueda integrarse con las iniciativas de generación eléctrica distribuida que plantea el país.

#### *6.4.3.5 Sistema Municipal para la Recolección de Residuos Separados*

Medidas como el fortalecimiento municipal en materia de separación y recolección de residuos deberán analizarse con mayor profundidad en busca de incrementar las labores de reciclaje, compostaje y biodigestores en el sector.

#### *6.4.3.6 NAMA en Gestión de Residuos*

La formulación de un NAMA en el ámbito de la gestión de residuos sólidos que integre las medidas antes descritas, podría ser una medida macro que puede aumentar el potencial de mitigación en el sector como un todo a nivel nacional.

#### *6.4.3.7 Mejoramiento en el Tratamiento de Aguas Residuales*

El potencial de mejora en el tratamiento de aguas residuales es un área de análisis que igualmente debería ser considerado en estudios futuros, porque el país ha avanzado en el tratamiento de aguas del sistema metropolitano de alcantarillado sanitario con inversiones recientes del Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA), pero el 70% de los sistemas de disposición son tanque sépticos de los cuales no hay medidas de control y monitoreo.

### **6.4.4 Procesos Industriales**

En procesos industriales, la principal fuente de emisiones es el cemento. En este estudio no se incluyó el cemento, pese a que es una actividad que en el país ha venido impulsando una estrategia baja en emisiones que se haya en un nivel muy avanzado. Acciones adicionales que se puedan impulsar en procesos industriales como el cemento, como por ejemplo los productos certificados con bajo carbono, pueden unirse a acciones en actividades a mayor escala como la fabricación del vidrio. En materia de refrigerantes, la estrategia para su disminución deberá ser incorporada igualmente en un futuro inmediato.

## 7 Conclusiones

Este estudio ha configurado un escenario de referencia en el que las emisiones de GEI del país aumentan de 12,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e en el 2015 a 29,6 millones de toneladas para el año 2050, lo que implica un crecimiento acumulado del 132% a una tasa promedio anual del 2,4%. Para el 2021, año meta original para la Carbono Neutralidad, las emisiones se proyectan a un nivel 14% por encima de las del 2015, mientras que en el 2030 las emisiones superan en 60% las de aquél año. En total se analizaron 24 medidas de mitigación en 5 sectores: eléctrico, transporte, agricultura y ganadería, forestal y manejo de residuos sólidos. Se estima que el país podría evitar la emisión de casi 340 millones de toneladas con la implementación de todas las medidas, para un promedio anual de 9,8 toneladas durante el periodo analizado (2015-2050).

Hay costos por tonelada diversos, que van desde -\$488 por tonelada para uso de compostaje en el sector de residuos sólidos (es decir, un beneficio neto por tonelada, o bien un costo negativo) hasta la medida más cara con \$789 por tonelada, si se avanza con la introducción de autos híbridos en el sector transporte. A las medidas de reducción y remoción de emisiones identificadas se les ha hecho un ordenamiento de acuerdo al nivel de barreras y factibilidad de implementación. Un primer grupo de medidas se han denominado medidas tipo A y se refieren a aquellas que el país podría impulsar en una primera fase. Las medidas tipo A permitirían al país disminuir el 20% de las emisiones del año 2030 con respecto al escenario de referencia utilizado para este análisis. Esto implicaría que las emisiones per cápita para ese año se ubicarían en 3 toneladas de CO<sub>2</sub>e por persona, menor a las emisiones esperadas en el escenario de referencia que las estima en 3,7 toneladas per cápita.

Sumado a esto, otras medidas denominadas como tipo B y C enfrentan barreras mayores a las anteriores, y podrían requerir recursos no necesariamente disponibles en la actualidad. Con este conjunto de medidas de tipo B y C, las emisiones en el año 2030 se ubicarían un 55% por debajo de las emisiones del escenario de referencia base, y las emisiones per cápita bajarían a 1,6 toneladas para ese año. Además, las medidas tipo B y C permiten llegar a un nivel 25% por debajo del nivel de emisiones del 2010, en el 2030.

En este sentido, metas más ambiciosas de contribuciones del país con la mitigación del cambio climático, asociadas a medidas más allá de las tipo A, estarían necesariamente condicionadas a acuerdos y programas de investigación y desarrollo, transferencia de tecnología, creación de capacidades y ayuda financiera. La inversión requerida es una de las barreras para el impulso de las medidas de reducción y remoción de GEI. Las medidas tipo A conllevan la necesidad para el país de una inversión cercana a los US\$3 mil millones. Por su parte, las medidas tipo B y C, tienen mayores barreras por remover y las inversiones asociadas a su implementación suman cerca de

los US\$14 mil millones. Costa Rica podría plantear el objetivo de ser un país líder para alcanzar una “descarbonización” acelerada y sostenida a través de los años, con creación de conocimiento y capacidades, así como desarrollo tecnológico que permitiría acelerar la curva de aprendizaje y diseminación de mecanismos de producción y consumo más limpios y bajos en carbono.

Las medidas de reducción o remoción de emisiones que se identificaron deben verse como medidas preliminares, ya que su análisis estuvo determinado (y limitado) por la falta de disponibilidad de datos e información cuantitativa actualizada y de calidad suficiente que permitiera estimar su potencial de mitigación y sus costos, y ser incorporados en los escenarios de referencia y mitigación. En este sentido no puede entenderse como un estudio exhaustivo en la identificación de opciones de mitigación, ya que existe una serie de medidas no incluidas con aparente potencial y sobre las cuales debería en el futuro generarse mayor métrica y cuantificación para ser analizadas dentro de los escenarios de referencia y mitigación del país. Esto como parte de discusiones sobre temas relacionados con el futuro de las emisiones y la contribución de Costa Rica a la mitigación del cambio climático.

Se han señalado de manera descriptiva decenas de medidas adicionales que el país deberá analizar para estimar todo su potencial de mitigación real. La generación de datos e información cuantitativa para que estas medidas puedan ser consideradas en un análisis más comprehensivo, debería ser un objetivo de las autoridades ministeriales, agencias de gobierno y otras organizaciones involucradas.

Es importante indicar que este estudio no evalúa los cobeneficios ni los efectos cruzados de las medidas de mitigación (por ejemplo a nivel macroeconómico, en la salud y la productividad por menos congestión vial, o en la biodiversidad). Esto sería importante para dimensionar de mejor manera su conveniencia social, ambiental y económica, para documentar el esfuerzo del país que debe hacer para la consecución de un patrón de desarrollo bajo en emisiones (que requerirá altas inversiones y ajustes sectoriales importantes).

Adicionalmente, no se hace un análisis exhaustivo de las barreras que enfrentan las diversas medidas, si bien se introduce y dimensiona la importancia del tema. El estudio no desarrolla un análisis o estrategia para superar las barreras de implementación, que es necesario para entender cómo crear las condiciones habilitantes para facilitar la implementación de las opciones analizadas, así como otras identificadas que deberían evaluarse en el futuro. Asimismo, se debería avanzar con el estudio de potenciales inversiones y sus fuentes de financiamiento, para dimensionar cuáles esfuerzos podrán ser impulsados por el país y cuáles objetivos requerirán apoyo complementario.

Un análisis a nivel macroeconómico (*top down*) para entender y cuantificar las interacciones de equilibrio general entre las medidas de mitigación y las principales variables económicas y sociales del país sería un paso importante a seguir. Finalmente, los esfuerzos para mejorar la calidad de los datos para el análisis de medidas alternativas de mitigación contribuirán con la solidez de futuros estudios.



## 8 Referencias

Adamson-Badilla et al (2014) “Revisando los Orígenes de Competitividad en Costa Rica: Exportación de Sudor, Recursos Naturales o de Neuronas?” Documento presentado en el Foro sobre Modelo de Insumo Producto aplicado a la Economía Costarricense. Banco Central de Costa Rica. Noviembre 27 y 28 del 2014.

Agresta (2015) “Generating a consistent historical time series of activity data from land use change for the development of Costa Rica’s REDD+ reference level.” San José, Costa Rica.

Chacón, A., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., y Blanco, K. (2009) Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Absorción de Carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. San José, Costa Rica.

Directorate General Environment de la European Commission (2010). Costs for Municipal Waste Management. <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/eucostwaste.pdf>

DSE (2011) VI Plan Nacional de Energía 2012-2030. MINAET. Diciembre 2011.

DSE (2013) “Encuesta de consumo energético nacional en el sector transporte (Julio – Noviembre 2013).”

DSE (2015) VII Plan Nacional de Energía 2015-2030. MINAET. Septiembre 2015.

De Camino, R., van Straten, H., y Morales, J. P. (2013). Modalidades utilizadas por los intermediarios para la promoción de inversiones de teca con énfasis en las formas de propiedad. En R. de Camino & J. P. Morales (Eds.), *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades* (p. 410). Turrialba, Costa Rica.

Espinoza, A. (2001) “Análisis del sistema de pago por Servicios Ambientales en la rentabilidad de una plantación de Gmelina arborea en la zona Huetar Norte, Costa Rica.” *Revista Forestal Iberoamericana*, 1(1), 72–83.

EPYPSA - SIGMA GP (2014) “Apoyo al modelo general de sectorización de transporte público de San José, el cual se utiliza como base de los datos aportados por el MOPT.”

FAO (2010) Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe principal. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FONAFIFO (2012) Forest Carbon Partnership Facility (FCPF). Carbon Fund Emission Reductions Program Idea Note (ER-PIN). Country: Costa Rica.

GIZ (2009) “Herramienta de Cálculo de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Manejo De Residuos Sólidos (MRS).”

Hogg, D. (2002) Costs for Municipal Waste Management in the EU. Final Report to Directorate General Environment, European Commission.

Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2015) “VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales. San José, Costa Rica. Mayo 2015.

INECO (2013) “Estudio de Factibilidad para la Implantación de un Sistema de Transporte Ferroviario en el Área Metropolitana de San José.” Mimeografiado.

Instituto Costarricense de Electricidad, ICE (2013): Proyecciones de la Demanda Eléctrica 2013-2035. San José: CENPE. Mayo 2013.

Instituto Costarricense de Electricidad, ICE (2014): Proyecciones de la Demanda Eléctrica 2014-2036. San José, CENPE. Mayo 2014.

Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2014) Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 2010. Ministerio de Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional: MINAE, IMN, GEF, PNUD; Ana Rita Chacón Araya... [et al.]. – San José, Costa Rica: MINAE, IMN, GEF, PNUD, 2014.

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Janssen, J. (2010) “Evaluación del potencial de reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y producción de energía a partir de rellenos sanitarios y vertederos en ciudades de Costa Rica.” CEPAL.

Janssen, J. (2012) “Estimación del Potencial de Mitigación en el Ámbito de GIRS en Costa Rica.” Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA) es formado por una plataforma interinstitucional – MIDEPLAN, MINAE, MINSALUD y CICR – y apoyado por la Cooperación

Internacional Alemana (GIZ) por encargo del Ministerio Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Kaya, Y. (1990) "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios." Documento elaborado para el IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group.

Lujan, R., Herrera, C., & Dipieri, D. (2013) "Plantaciones de teca en Panamá." En R. de Camino y J. P. Morales (Eds.), Las plantaciones de Teca en América Latina: Mitos y realidades (p. 410). Turrialba, Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG (2013) "Concepto NAMA de Fincas Ganaderas Costarricense." Documento de Trabajo I. Noviembre 2013.

Ministerio de Economía e Industria, MEIC (2014) "Estudio preliminar para determinar la posibilidad de regular el mercado de fertilizantes en Costa Rica." MEIC, Dirección de Investigaciones Económicas y de Mercados.

Ministerio de Obras Pública y Transportes, MOPT (2010) "Plan Nacional de Transportes 2011-2035."

Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT (2010) Decreto MOPT 28337 de 1999. "Reglamento sobre políticas y estrategias para la modernización del transporte colectivo remunerado de personas por autobuses urbanos para el Área Metropolitana de San José y zonas aledañas que la afecta directa o indirectamente."

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, MIDEPLAN (2014) Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 "Alberto Cañas Escalante." San José, CR: MIDEPLAN, 2014.

Nakano, S. et al. (2009) "The Measurement of CO2 Embodiments in International Trade: Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database." OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2009/03, OECD Publishing.

OECD (2013) Environment at a Glance 2013. París: OECD.

Oficina Nacional Forestal, ONF (2009) "Guía del productor para el establecimiento y manejo de pequeñas plantaciones forestales comerciales." (G. Salazar, S. Lobo, & M. I. Chavarría, Eds.) (1era Edici.). San José, Costa Rica: Comunicaciones Milenio.

Pedroni, L., A. Espejo y J. Villegas (2015) Nivel de referencia de emisiones y absorciones forestales de Costa Rica ante el Fondo de Carbono de FCPF: metodología y resultados. Preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF).

Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2010) "Formación de Capital Humano y el Vínculo entre Comercio y Pobreza. Los Casos de Costa Rica y Nicaragua." En Durán et al, eds., Comercio, Pobreza y Políticas Complementarias en América Latina. División de Comercio Internacional e Integración de la CEPAL. Santiago: Naciones Unidas.

Salas, M. (2012) "Assessment and Rationale for Focus on Sustainable Construction." Market Readiness Proposal (MRP).

Sancho Consulting S.A. (2012) Implicaciones económicas, ambientales, institucionales, de inversión y de política, de un sistema de transporte integrado a la Red Eléctrica Nacional. Informe final para la Dirección Sectorial de Energía-MINAE, 2012.

Segura, C. y J. Vásquez (2011) "Diseño de un Índice de Volumen de Producción Internacional Relevante para Costa Rica." Serie Documentos de Trabajo No.06-2011 Departamento de Investigación Económica. San José: Banco Central de Costa Rica.

SIDE (2015) "Estrategia para el Desarrollo de la Ganadería baja en Carbono en Costa Rica: Estrategia y Plan de Acción." Informe final presentado al Ministerio de Agricultura y Ganadería.