

Opciones de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica: Análisis Sectorial, Potencial de Mitigación y Costos de Abatimiento 2015-2050¹

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:



Noviembre 2015

¹ 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 y luis.rivera@ucr.ac.cr

TABLA DE CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	15
Reference Scenario for GHG Emissions	15
Emissions per Capita and Per GDP Unit	18
Emission Abatement Options	18
Abatement Measures and Barriers	18
Mitigation Potential and Costs	22
Marginal Abatement Cost Curve	24
RESUMEN EJECUTIVO	27
Escenario de Referencia de las Emisiones de GEI	27
Emisiones por Producto y por Habitante	30
Opciones de Abatimiento de Emisiones	31
Medidas de Abatimiento y Barreras	31
Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas	34
Curva de Costos de Abatimiento	37
1 INTRODUCCIÓN	40
1.1 Alcances y Limitaciones del Estudio	41
1.2 Proceso del Análisis	42
1.2.1 Actores	42
1.2.2 Proceso	43
2 CONTEXTO DE LA POLÍTICA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO	45
2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	47
2.1.1 Energía	48
2.1.1.1 Industria de la Energía	49
2.1.1.2 Industria de Manufactura y Construcción	49
2.1.1.3 Transporte	49
2.1.1.4 Sector Residencial, Comercial, Público y Servicios	50

2.1.2	Procesos Industriales y Uso de Productos	51
2.1.3	Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra	52
2.1.3.1	Tierras Forestales	52
2.1.3.2	Tierras de Cultivo y Pastizales	53
2.1.3.3	Tierras Inundadas	53
2.1.3.4	Emisiones de la Quema de Biomasa en Bosque	53
2.1.3.5	Emisiones de Suelos Agrícolas	53
2.1.3.6	Cultivo de Arroz	53
2.1.3.7	Fermentación Entérica	54
2.1.3.8	Manejo de Estiércol	54
2.1.4	Sector de Manejo de Residuos	55
3	ANÁLISIS DE <i>DRIVERS</i> DE EMISIONES	58
3.1	Estructura de la Economía Costarricense	58
3.2	Población	59
3.3	Viviendas	59
3.4	Producto Interno Bruto	60
3.5	Comercio Internacional, Crecimiento y Emisiones	62
3.6	Manejo de Residuos	63
3.7	Sector Transporte	65
3.8	Sector Eléctrico	66
3.9	Indentidad Kaya	68
3.10	Procesos Industriales	70
3.11	Sector Agropecuario	71
3.12	Sector Forestal	76
4	ESCENARIO DE REFERENCIA DE LAS EMISIONES SECTORIALES	80
4.1	Sector de Residuos Sólidos	80
4.1.1	Generación de Residuos Sólidos	81
4.1.1.1	Lugares de Disposición	83
4.1.1.2	Proyección de Línea de Referencia	84
4.1.1.3	Generación de Aguas Residuales	87
4.2	Sector Transporte	91
4.2.1	Proyecciones de la Flota Vehicular	93
4.2.2	Hidrocarburos	97

4.3	Sector Eléctrico	99
4.3.1	Proyección de la Demanda Eléctrica	102
4.3.2	Emisiones en el Escenario de Referencia	105
4.4	Sector Procesos Industriales	108
4.5	Sector Agropecuario	112
4.5.1.1	Área Sembrada de Cultivos Agrícolas	112
4.5.1.2	Área Sembrada de Pastos y Hato Ganadero	114
4.5.1.3	Línea de Referencia de Emisiones Agropecuarias	118
4.6	Sector Forestal	119
4.6.1.1	Proyección del Cambio en el Área Agropecuaria	119
4.6.1.2	Proyección del Cambio en la Cobertura Forestal	120
4.6.1.3	Existencias y Cambios de Existencia de Carbono en los Bosques	126
4.7	Escenario de Referencia de Emisiones Nacionales	129
4.7.1	La Meta Carbono Neutralidad	132
4.7.2	Intensidad de Emisiones por Producto y por Habitante	133
4.7.3	Escenarios Alternativos de Crecimiento Económico	134
5	ANÁLISIS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN POR SECTOR	138
5.1	Sector Residuos Sólidos	138
5.2	Sector Transporte	146
5.2.1	Tren Eléctrico Metropolitano de Pasajeros	146
5.2.2	Modernización del Transporte Público Metropolitano de San José	149
5.2.3	Tecnologías para la Flota Vehicular	152
5.3	Sector Eléctrico	160
5.4	Sector Agropecuario	165
5.4.1	Producción Ganadera baja en Emisiones	165
5.4.2	Reducción de un 15% en el Uso de los Fertilizantes Nitrogenados	171
5.5	Sector Forestal	174
5.5.1	Incorporación de Área adicional de PSA en Nuevas Plantaciones Forestales	175
5.5.1.1	Existencias y Cambios de Existencias de Carbono por Hectárea	175
5.5.1.2	Costos y Reducción de Emisiones por Plantaciones Forestales	176
5.5.2	Incorporación de Área adicional de PSA para evitar la Deforestación en Bosques Maduros	180
5.5.2.1	Tasa de Deforestación de Bosque Maduro	180
5.5.2.2	Costos y Reducción de Emisiones por PSA Adicional en Bosque Maduro	181
5.5.3	Incorporación de Área adicional de PSA para la Captura de Carbono en Bosques Nuevos	185
5.5.3.1	Tasa de Deforestación de Bosques Nuevos	185
5.5.3.2	Costos y Reducción de Emisiones por PSA en Bosques Nuevos	186
5.5.4	Estimación del Cambio total de Emisiones con Medidas del Sector Forestal	188
5.5.5	Sistemas Silvopastoriles	189

5.6	Potencial Nacional de Mitigación con las Medidas Identificadas	192
5.6.1	Medidas de Abatimiento y Barreras	193
5.6.2	Potencial de Mitigación y Costos de las Medidas	197
5.7	Análisis Con MACTool	202
5.7.1	Curva de Costos de Abatimiento	202
5.7.2	Intensidad de Inversiones en Mitigación	204
5.7.3	Costo Incremental de las Medidas de Mitigación	205
5.7.4	Precio de Carbono y Punto de Quiebre	207
5.7.5	Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación	208
6	FUTURO TRABAJO ANALÍTICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	213
6.1	Análisis de Impacto de Medidas en el Tiempo	213
6.2	Estrategia de Financiamiento de las Medidas	213
6.3	Impacto Macroeconómico de las Medidas	213
6.4	Medidas Adicionales para la Mitigación del País	213
6.4.1	Sector Energía	214
6.4.1.1	Fortalecimiento del Monitoreo de las Emisiones de CO ₂	214
6.4.1.2	Limitación de la Importación de Vehículos Usados	214
6.4.1.3	Uso de Filtros de Alta Generación	214
6.4.1.4	Impuestos a la Importación de Vehículos no Eficientes	214
6.4.1.5	Canon por Emisiones de CO ₂	214
6.4.1.6	Etiquetado de Vehículos	215
6.4.1.7	Educación para Conducción Eficiente	215
6.4.1.8	Administración de Vehículos de Carga	215
6.4.1.9	Programa de Adquisición de Vehículos Eficientes	215
6.4.1.10	Combustibles Alternativos	215
6.4.1.11	Ordenamiento Urbano	216
6.4.1.12	Descongestión Vial	216
6.4.1.13	Calidad de Combustibles	216
6.4.1.14	Eficiencia Energética en el Uso de Electricidad	216
6.4.2	Sector Uso de la Tierra	216
6.4.2.1	Agroforestación	216
6.4.2.2	Investigación e Innovación	216
6.4.2.3	Integración con la Adaptación al Cambio Climático en la Agricultura y los Paisajes	217
6.4.2.4	Fortalecimiento de la Estrategia Nacional REDD+	217
6.4.2.5	Programas Sectoriales y NAMAS	218
6.4.2.6	Mercado de la Madera	218
6.4.2.7	Sistema de Trazabilidad y Verificación de la Madera	218
6.4.3	Manejo de Residuos	218
6.4.3.1	Programa de Educación para la Reducción y Separación de Residuos	218
6.4.3.2	Gestión de Residuos Agrícolas	218
6.4.3.3	Actividades de Compostaje	219

6.4.3.4	Promoción de Sistemas de Biodigestión	219
6.4.3.5	Sistema Municipal para la Recolección de Residuos Separados	219
6.4.3.6	NAMA en Gestión de Residuos	219
6.4.3.7	Mejoramiento en el Tratamiento de Aguas Residuales	219
6.4.4	Procesos Industriales	219
6.5	Análisis de Políticas Habilitantes	220
6.5.1	Residuos Sólidos	220
6.5.1.1	Programa de Educación y Sensibilización	220
6.5.1.2	Fortalecimiento Financiero e Institucional	220
6.5.1.3	Condiciones para la Industria de Manejo de los Residuos	221
6.5.1.4	NAMA en Gestión de Residuos	221
6.5.1.5	Sistemas Alternativos de Tratamiento	221
6.5.1.6	Reordenamiento Urbano	221
6.5.1.7	Plantas de Compostaje y Biodigestión	222
6.5.2	Sector Transporte	222
6.5.2.1	Planificación Urbana e Infraestructura Vial	222
6.5.2.2	Barreras Institucionales	222
6.5.2.3	Planificación de Largo Plazo	222
6.5.2.4	Co-beneficios para la Sociedad	223
6.5.2.5	Infraestructura Metropolitana para el Sistema de Transporte Público	223
6.5.2.6	Ordenamiento de Áreas de Parqueo	223
6.5.2.7	Transporte no Motorizado	223
6.5.2.8	Ordenamiento del Servicio de Taxis Servicio de Transporte Especial	223
6.5.2.9	Integración de Buses y el Sistema Ferroviario Metropolitano	224
6.5.2.10	Uso Eficiente del Transporte Privado	224
6.5.2.11	Transporte de Carga	224
6.5.2.12	Incorporación de Tecnologías de Transporte Público bajas en Emisiones	224
6.5.2.13	Sistema de pago Electrónico	224
6.5.2.14	Modelo Tarifario	225
6.5.2.15	Integración de la Adaptación al Cambio Climático	225
6.5.2.16	Marco Legal de Ordenamiento del Transporte Terrestre	225
6.5.2.17	Fortalecimiento del MOPT	225
6.5.2.18	Fortalecimiento del Sistema de Métrica	226
6.5.3	Sector Eléctrico	226
6.5.3.1	Marco Regulatorio y Legislación	226
6.5.3.2	Implementación de Grandes Proyectos	226
6.5.3.3	Co-beneficios Sociales	227
6.5.3.4	Coordinación del Sector	227
6.5.3.5	Fuentes Renovables no Convencionales	227
6.5.3.6	Electrificación del Transporte Público	227
6.5.3.7	Integración de los Servicios Ambientales en el Sector	228
6.5.4	Sector Agropecuario	228
6.5.4.1	Promoción de la Producción Sostenible	228
6.5.4.2	Incentivos a la Investigación el Cambio Tecnológico	228
6.5.4.3	Políticas para Aprovechamiento de Residuos Agrícolas	228
6.5.5	Sector Forestal	229
6.5.5.1	Espacio para el Manejo Forestal	229
6.5.5.2	Contabilidad del Carbono	229

6.5.5.3	Políticas del Bosque y el Desarrollo Rural	229
6.5.5.4	Reforzar Gobernanza Forestal	229
6.5.5.5	Enfoque de Planificación del Paisaje	230
7	CONCLUSIONES	231
8	REFERENCIAS	234
9	ANEXO 1. PARTICIPANTES EN TALLERES TÉCNICOS DE CONSULTA PARA LAS CONTRIBUCIONES NACIONALES EN MITIGACIÓN	238
9.1	Gestión Nacional de Residuos	239
9.2	Modernización del Sistema de Transporte Público y Medidas Conexas	245
9.3	Sector Agropecuario	254
9.4	Sector Eléctrico	259
9.5	Sector Forestal	263

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

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Emisiones Totales de GEI 2010 (Gg de CO ₂).....	47
Cuadro 2 Emisiones Totales por Tipo de GEI (Gg de CO _{2e})	48
Cuadro 3 Emisiones de GEI del Sector Energía, 2010.....	48
Cuadro 4 Emisión de GEI por Uso de Energía en la Industria, 2010 (Gg).....	49
Cuadro 5 Emisiones de GEI en el Sector Transporte, 2010 (Gg).....	50
Cuadro 6 Emisión de Gases en otros Sectores, 2010 (Gg).....	51
Cuadro 7 Emisiones totales en Procesos Industriales, 2010 (Gg).....	51
Cuadro 8 Emisiones totales en AFOLU, 2010 (Gg).....	52
Cuadro 9 Emisiones por Fermentación entérica, 2010 (Gg).....	54
Cuadro 10 Emisiones totales por Manejo de Estiércol, 2010 (Gg)	55
Cuadro 11 Emisiones totales en Manejo de Desechos, 2010 (Gg)	55
Cuadro 12 Disposición final de Residuos sólidos, 2010 (Gg)	57
Cuadro 13 Tasas de Crecimiento Promedio de la Economía	58
Cuadro 14 PIB per cápita para Países de la OCDE en US\$ a Precios Corrientes, 2014.....	61
Cuadro 15 Costa Rica: Uso de Factores por cada Millón de Colones (2011)	63
Cuadro 16 Composición de la Generación Eléctrica (2014)	67
Cuadro 17 Costa Rica: Composición del Cambio en Emisiones por Consumo de Energía	70
Cuadro 18 Desglose de la Pérdida Bosque Maduro del Periodo 2008-2013 (hectáreas)	79
Cuadro 19 Origen de la Regeneración Bosques Secundario del periodo 2008-2013 (hectáreas)	80
Cuadro 20 Generación de Residuos Sólidos (2010).....	82
Cuadro 21 Tasa de Generación Per Cápita de Residuos Sólidos.....	82
Cuadro 22 Composición de los Residuos Sólidos	82
Cuadro 23 Porcentaje de Reciclaje de cada Material recolectado	83
Cuadro 24 Lugares de Disposición de Residuos sólidos	83
Cuadro 25 Sistema de Tratamiento actual	83
Cuadro 26 Tasa de Eficiencia de Captación	84
Cuadro 27 Generación de Residuos sólidos en el Escenario de Referencia (TM)	85
Cuadro 28 Parámetros de la Calculadora IPCC para Metano	86
Cuadro 29 Factor de Corrección de Metano (MCF)	86
Cuadro 30 Distribución porcentual de los Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales en el País.....	87
Cuadro 31 Parámetros para estimación de emisiones en aguas domiciliarias.....	88
Cuadro 32 Carga de DBO que se transforma en Metano en Aguas Industriales	89
Cuadro 33 Emisiones Totales de Referencia por Aguas Residuales (ton CO _{2e}).....	90
Cuadro 34 Factores de Emisión de Hidrocarburos	99
Cuadro 35 Plan Nacional de Expansión Eléctrica en Ejecución (2015-2019).....	104
Cuadro 36 Proyectos del Plan Nacional de Expansión Eléctrica de Referencia (2021-2035).....	106
Cuadro 37 Proyección de producción de materiales con base en cemento, vidrio y cal.....	109
Cuadro 38 Proyección de Producción de Gases HCFC (toneladas) y Emisiones resultantes (toneladas CO _{2e}).....	110
Cuadro 39 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Procesos Industriales (ton CO _{2e})	111
Cuadro 40 Proyección de Área cultivada por principales Cultivos	113
Cuadro 41 Proyección de Área cultivada de otros Productos (Ha).....	114

Cuadro 42 Proyección de Área en Actividades en Fincas agrícolas (Ha)	114
Cuadro 43 Proyección de Área de Pastos (Ha)	116
Cuadro 44 Proyección del Hato ganadero (N° de Cabezas).....	117
Cuadro 45 Factores de Emisión del Sector Agropecuario	118
Cuadro 46 Cambio neto en el Área agropecuaria durante el Periodo 2014-2050 (ha)	120
Cuadro 47 Uso del Suelo en Parques Nacionales y Reservas Biológicas	121
Cuadro 48 Proyección del Cambio neto anual para los Tipos de Cobertura boscosa en función de los Cambios en el Área de las principales actividades agropecuarias en Costa Rica	123
Cuadro 49 Proyección de Emisiones de Referencia para el Sector Forestal en Costa Rica (Mg CO ₂ -e) ...	128
Cuadro 50 Participación Sectorial en las Emisiones Brutas del Escenario de Referencia	130
Cuadro 51 Intensidad de Emisiones por Habitante y Producto.....	134
Cuadro 52 Escenario de Referencia de Emisiones por Sector y Totales 2015-2050.....	137
Cuadro 53 Sistemas de Tratamiento de los Residuos Sólidos	138
Cuadro 54 Porcentaje de Reciclaje del Material Recolectado	139
Cuadro 55 Porcentaje de Compostaje	140
Cuadro 56 Parámetros de Tratamiento de Residuos en Escenarios de Referencia y de Mitigación	140
Cuadro 57 Tasas de Eficiencia de Captación	141
Cuadro 58 Residuos Sólidos: Contenido de Carbono por Fracción de Residuo	141
Cuadro 59 Valor calórico de las Fracciones de Residuos (MJ/Kg de Residuos húmedo)	141
Cuadro 60 Escenario 1: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030	142
Cuadro 61 Escenario 2: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030	143
Cuadro 62 Costo de Manejo por Tonelada en Escenario base (US\$/tCO ₂)	144
Cuadro 63 Costos en Rellenos Sanitarios (US\$ por año)	144
Cuadro 64 Costos en Sistemas de Tratamiento por Incineración (US\$)	144
Cuadro 65 Costos e Ingresos en Sistemas de Compostaje (US\$)	144
Cuadro 66 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 1)	145
Cuadro 67 Mitigación y Costos de Medidas en Sector Residuos (Escenario 2)	145
Cuadro 68 Estimación de Demanda del Tren Metropolitano (N° pasajeros)	148
Cuadro 69 Situación del Sistema Metropolitano de Autobuses	150
Cuadro 70 Situación esperada con la Modernización del Sistema Metropolitano de Autobuses	150
Cuadro 71 Recorrido Promedio de los Pasajeros por Sector.....	151
Cuadro 72 Parámetros en Modernización del Sistema Transporte Público	151
Cuadro 73 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Unidades y Viajes (miles de toneladas de CO ₂)	152
Cuadro 74 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Uso de Vehículos privados (miles de toneladas de CO ₂)	152
Cuadro 75 Escenario 1: Composición esperada de la Flota vehicular	154
Cuadro 76 Escenario 2: Composición esperada de la Flota Vehicular	155
Cuadro 77 Factores por Tipo de Vehículo	155
Cuadro 78 Factores de Emisión de Hidrocarburos	156
Cuadro 79 Sector Transporte: Impacto en Reducción de Emisiones en el 2030	158
Cuadro 80 Parámetros para Estimación de Costos en Escenarios de Transporte	158
Cuadro 81 Costos y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Transporte	159
Cuadro 82 Proyectos en Escenarios de Mitigación (2021-2035)	160

Cuadro 83 Coeficiente de Emisión en Generación eléctrica (toneladas de CO ₂ e/GWh)	162
Cuadro 84 Costos en Escenarios de Mitigación y Referencia (2014-2035)	164
Cuadro 85 Contribución y Costos de Mitigación del Sector Eléctrico (2014-2035)	165
Cuadro 86 Medidas de Manejo de la Alimentación y la Finca.....	167
Cuadro 87 Parámetros del Programa de Reducción de Fertilizantes	172
Cuadro 88 Producción Baja en Emisiones: Costos y Potencial de Mitigación	173
Cuadro 89 Reducción Uso de Fertilizantes: Costos y Potencial de Mitigación	173
Cuadro 90 Potencial de Contribución de Medidas del Sector Agropecuario en el 2030	173
Cuadro 91 Opciones de REDD+ Considerados en el ER-PIN y Área Estimada.....	174
Cuadro 92 Costos e Ingresos Asociados al Establecimiento de Plantaciones de Teca y Melina	177
Cuadro 93 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Nuevas Plantaciones de Teca	178
Cuadro 94 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Nuevas Plantaciones de Melina	179
Cuadro 95 Distribución del Área adicional de PSA por Tipo de Bosque Maduro	181
Cuadro 96 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Bosques Maduros	183
Cuadro 97 Distribución del Área Adicional de PSA en Bosques Nuevos por Estrato	185
Cuadro 98 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Bosques Nuevos	187
Cuadro 99 Reducción de Emisiones Estimadas de las Acciones Forestales.....	188
Cuadro 100 Parámetros para Estimación de Carbono en Sistemas Pastoriles	190
Cuadro 101 Potencial de Contribución del Sector Forestal.....	191
Cuadro 102 Mitigación y Costos de Medidas en el Sector Forestal	192
Cuadro 103 Medidas de Abatimiento y Viabilidad para el País.....	193
Cuadro 104 Impacto de las Medidas de Mitigación en Años de Referencia	196
Cuadro 105 Medidas de Abatimiento: Costo Marginal, Potencial de Mitigación y Nivel de Barreras	198
Cuadro 106 Costos y Potencial de Mitigación de las Medidas	199
Cuadro 107 Mitigación de Medidas Por Sector y por Año (ton CO ₂)	200
Cuadro 108 Mitigación de Medidas Por Tipo y por Año (ton CO ₂)	201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Proceso de Análisis de Opciones de Mitigación de GEI	44
Ilustración 2 Sistema de Tren Metropolitano actual	147
Ilustración 3 Sistema de Transporte rápido de Pasajeros alternativo	147

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Lugares de Disposición final de Residuos Municipales, 2010.....	56
Gráfico 2 Composición de Residuos Municipales, 2010	56
Gráfico 3 Composición del PIB de Costa Rica	59
Gráfico 4 Proyección de Población según Censo del 2012	59
Gráfico 5 Histórico y Proyección de Viviendas al 2050	60
Gráfico 6 Histórico y Proyección del Producto Interno Bruto real (1991=100)	62
Gráfico 7 Residuos municipales y Número de Viviendas.....	64
Gráfico 8 Residuos Municipales y Población	64
Gráfico 9 Residuos Municipales y PIB per cápita.....	64
Gráfico 10 Flota Vehicular total y PIB real.....	65
Gráfico 11 Flota de Transporte público y PIB real	65
Gráfico 12 Flota de Vehículos de Carga y PIB real	66
Gráfico 13 Tasa de Crecimiento de la Demanda Eléctrica 2004-2014.....	67
Gráfico 14 Demanda Eléctrica y PIB real	68
Gráfico 15 Costa Rica: Emisiones de CO ₂ por Consumo de Energía (Millones de TM)*	68
Gráfico 16 Gasto en Construcción y Producción de Cemento	71
Gráfico 17 Producción y Exportación de Carne de Res y PIB per cápita	71
Gráfico 18 Consumo per cápita de Carne de Res	72
Gráfico 19 Producción de Leche y PIB per cápita	72
Gráfico 20 Consumo per cápita de Leche.....	73
Gráfico 21 Distribución de Área de Siembra agrícola (2014).....	73
Gráfico 22 Producción de Arroz y PIB real	74
Gráfico 23 Precios internacionales y Producción Nacional del Arroz	74
Gráfico 24 Producción de Caña de Azúcar y PIB per cápita.....	75
Gráfico 25 Producción de Banano y PIB real	75
Gráfico 26 Producción de Palma de Aceite y PIB real.....	76
Gráfico 27 Producción de Piña y PIB real	76
Gráfico 28 Destino y Origen de la Pérdida y Ganancia de Área Agropecuaria (2008-2013).....	80
Gráfico 29 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Residuos Sólidos	87
Gráfico 30 Estimación de Generación de Aguas Residuales Domiciliarias al 2050.....	88
Gráfico 31 Costa Rica: Matriz Energética (2014).....	91
Gráfico 32 Composición de las Emisiones del Sector Transporte (2014)	91
Gráfico 33 Composición del Parque Vehicular (2014).....	92
Gráfico 34 Evolución del Parque Vehicular	92
Gráfico 35 Población por Vehículo privado	93

Gráfico 36 Población por Vehículo en Países de la OCDE (2012).....	94
Gráfico 37 Proyección de Población por Vehículo (2015-2050)	94
Gráfico 38 Proyección del Parque Vehicular al 2050	95
Gráfico 39 Intensidad de Uso de Combustibles proyectada	95
Gráfico 40 Proyección de Consumo de Energía del Parque Vehicular	96
Gráfico 41 Escenario de Referencia de Emisiones del Sector Transporte	96
Gráfico 42 Proyección del Consumo de Energía por Modo de Transporte	97
Gráfico 43 Proyección del Consumo de Energía por Fuente	98
Gráfico 44 Proyección del Consumo de Energía de otros Hidrocarburos.....	98
Gráfico 45 Escenario de Referencia por Uso de Hidrocarburos	99
Gráfico 46 Capacidad Instalada por Fuente (2014).....	100
Gráfico 47 Producción Bruta de Electricidad (2014)	100
Gráfico 48 Histórico de Generación de Electricidad por Fuente	102
Gráfico 49 Escenarios de Expansión de la Demanda Eléctrica, 2014-2035	103
Gráfico 50 Generación Eléctrica por Tipo de Fuentes en Escenario de Referencia	107
Gráfico 51 Porcentaje de Generación Renovable en Escenario de Referencia	107
Gráfico 52 Emisiones del Sector Eléctrico en el Escenario de Referencia	108
Gráfico 53 Histórico del Área Sembrada por Producto	113
Gráfico 54 Línea de Referencia de Área cultivada.....	115
Gráfico 55 Escenario de Referencia de Uso de Suelo en Pasturas	117
Gráfico 56 Línea de Referencia del Hato vacuno	117
Gráfico 57 Línea de Referencia de Emisiones del Sector Agropecuario	119
Gráfico 58 Cambio Neto en el Área Agropecuaria Durante el Periodo 2014-2050 (ha)	121
Gráfico 59 Distribución del Área de Pérdida o Ganancia según Destino u Origen para las principales Actividades agropecuarias en Costa Rica (2008-2013).....	122
Gráfico 60 Tasas de Deforestación de Bosque Maduro en Costa Rica para los Tipos de Bosque identificados (BHT, BHP y BST y Bosque Maduro).....	124
Gráfico 61 Tasas de Deforestación de Bosques Nuevos según Edad media del Cohorte	125
Gráfico 62 Cobertura de Bosques nuevos en Costa Rica para el Periodo 2014-2050	126
Gráfico 63 Proyección de Emisiones para el Sector Forestal en Costa Rica: Escenario de Referencia	127
Gráfico 64 Estimación del Cambio de Existencias de Carbono forestal en Costa Rica a partir de la Proyección de Cobertura boscosa.....	129
Gráfico 65 Escenario Nacional de Referencia: Emisiones Totales al 2050.....	130
Gráfico 66 Escenario de Referencia de Emisiones Totales y Meta C-Neutral.....	133
Gráfico 67 Emisiones Totales según Tasas alternativas de Crecimiento del PIB	134
Gráfico 68 Emisiones totales en el 2021 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB	135
Gráfico 69 Emisiones totales en el 2030 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB	135
Gráfico 70 Emisiones Totales en el 2050 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB	136
Gráfico 71 Opciones de Mitigación en Residuos Sólidos bajo Escenario 1.....	142
Gráfico 72 Opciones de Mitigación de Residuos Sólidos bajo Escenario 2.....	143
Gráfico 73 Ahorro de Energía con el Tren Metropolitano.....	149
Gráfico 74 Proyección del Parque Vehicular en Escenario de Referencia	153
Gráfico 75 Escenario 1: Proyección de Flota de Transporte.....	153
Gráfico 76 Escenario 2: Proyección de Flota de Transporte.....	154

Gráfico 77 Escenario 1: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables	157
Gráfico 78 Escenario 2: Mitigación por Transición a Motores eficientes y Opciones renovables	157
Gráfico 79 Porcentaje de Generación con Fuentes Renovables para Escenarios de Referencia y Mitigación (2014-2035).....	162
Gráfico 80 Emisiones bajo Planes de Expansión y Escenario de Referencia (2014-2035)	163
Gráfico 81 Mitigación de Rutas alternativas en Comparación al Escenario de Referencia	163
Gráfico 82 Escenarios de Pastos Mejorados	168
Gráfico 83 Escenarios de Carga Animal.....	168
Gráfico 84 Hato Ganadero por Escenario	169
Gráfico 85 Factores de Emisión por Unidad Animal en Fermentación Entérica	169
Gráfico 86 Factores de Emisión por Unidad Animal en Manejo de Estiércol	170
Gráfico 87 Emisiones en Escenario de Mitigación 1 y el de Referencia	170
Gráfico 88 Emisiones en Escenario de Mitigación 2 y el de Referencia	171
Gráfico 89 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 1	172
Gráfico 90 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 2	173
Gráfico 91 Propuesta de Establecimiento de Nuevas Plantaciones 2014-2050	175
Gráfico 92 Variación de Carbono por Hectárea para Teca y Melina	176
Gráfico 93 Cambio en Existencias de Carbono por nuevas Plantaciones Forestales	180
Gráfico 94 Deforestación y Emisiones en Bosque Maduro y Escenario de Referencia	181
Gráfico 95 Deforestación y Emisiones en Bosque Nuevo y Escenario de Referencia	186
Gráfico 96 Emisiones del Sector Forestal en Escenario de Referencia y con las Medidas.....	189
Gráfico 97 Secuestro de Carbono de Sistemas Pastoriles	191
Gráfico 98 Abatimiento de Emisiones Totales con Medidas de Mitigación al 2050	192
Gráfico 99 Medidas de Abatimiento según Viabilidad al 2050.....	194
Gráfico 100 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2021	195
Gráfico 101 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2030	195
Gráfico 102 Curva de Costos de Abatimiento de Emisiones 2015-2050	203
Gráfico 103 Intensidad de Inversión para la Mitigación 2015-2050.....	205
Gráfico 104 Inversión Incremental para la Mitigación 2015-2050	206
Gráfico 105 Precio del Carbono y Movilización de Inversiones para la Mitigación 2015-2050	208
Gráfico 106 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Transporte	210
Gráfico 107 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Forestal	210
Gráfico 108 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Agropecuario	211
Gráfico 109 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector de Residuos	211
Gráfico 110 Intensidad de Inversiones y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Eléctrico.....	212

Executive Summary

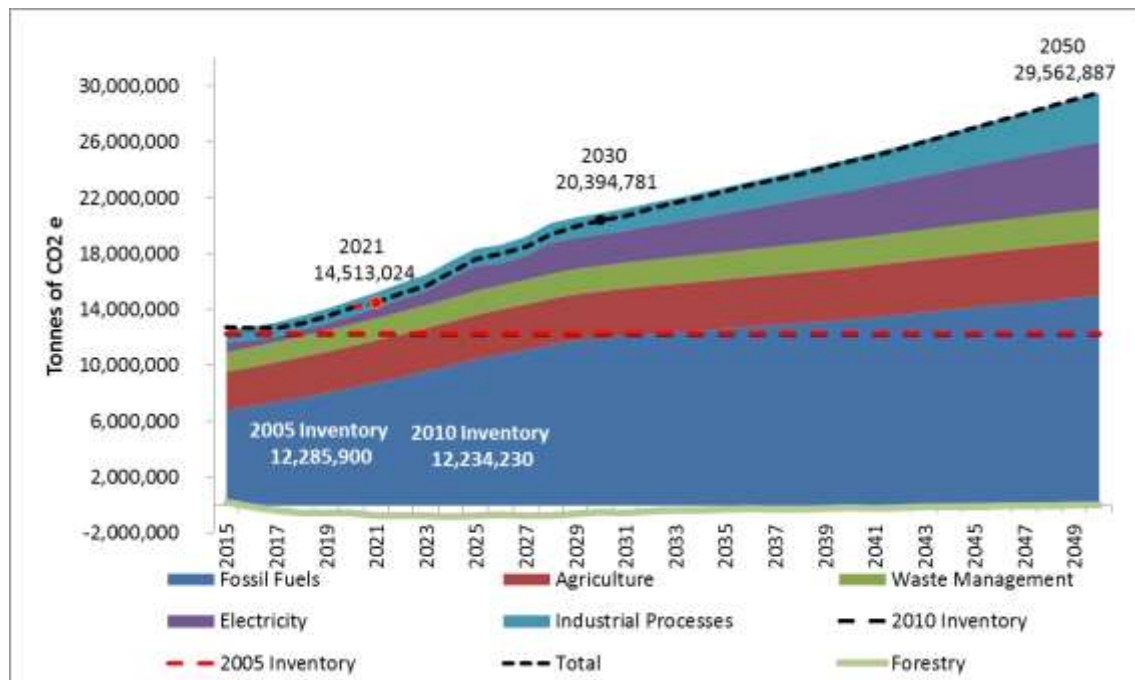
1. This report presents an estimation of the emission reduction potential of Costa Rica that could be achieved by implementing a group of mitigation measures during the period 2015-2050. The study was conducted with support from the World Bank through the Partnership for Market Readiness (PMR) and ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program), in coordination with the Directorate of Climate Change (DCC) at the Ministry of Environment and Energy (MINAЕ), with technical support from representatives of ministries, government agencies, and private organizations. It develops an analysis of greenhouse gas emission trends (GHGs) in the country based on a reference scenario (Business as Usual, BAU), compared with a group of mitigation measures that would contribute to future emission reductions. It is a technical input for discussions on the Intended Nationally Determined Contribution (INDC) of Costa Rica and future initiatives to mitigate climate change.
2. The analysis includes 24 mitigation measures from five sectors: electricity, transportation, agriculture, forestry and solid waste management. The results of this work is a first evaluation of possible emission reduction targets. An important consideration is the asymmetric development status of metrics in the sectors analyzed, which influences projected BAU emissions and potential GHGs mitigation measures. To define the broad potential of all possible abatement measures, additional studies should be conducted to increase the availability and improve the quality of data, which would contribute to better scope and evaluate the implications of all possible abatement measures at sector and national level for Costa Rica.

Reference Scenario for GHG Emissions

3. In the country reference scenario "without mitigation measures," emissions of greenhouse gases are projected for the period 2015-2050. An average real growth rate of 4,0% is assumed (the average rate of economic growth since the beginning of the 90s). On the other hand, population growth is in line with the official projections of the National Institute of Statistics and Census (INEC), with an annual rate of 0.7% per year. Figure A shows the projected emissions of the country reference scenario. Total net emissions are represented by the dashed black line, which includes the effect of a relatively small reduction in emissions through the forestry sector.
4. Emissions in the reference scenario are expected to grow from 12.7 million tonnes of CO₂e in 2015 to 29.6 million tonnes by 2050, an increase of 132% in total country emissions for the period, at an annual average rate of 2.4%. By 2030, emissions are estimated at 20.4 million tonnes of CO₂e (60% higher than 2015 levels). For the symbolic year of 2021, when Costa Rica originally established its carbon neutrality target, projected emissions reach a level of

14.5 million tonnes of CO₂ (14% above 2015 level). Regarding the level of emissions in 2010 (based on the 2010 national GHG inventory, without forestry impacts), total emissions in 2021 would be 19% higher than the baseline reference, in 2030 the figure is 67% higher and 142% more in 2050. These results do not change if the reference year is 2005, since the level of emissions is similar to 2010. These results suggest that achieving Carbon Neutrality will be a demanding task for the country, because over the years the society and the economy move away from that goal. A productive and consumer transformation is required to change the pattern of "carbonization" from the reference scenario.

Figure A - GHG Emissions Reference Scenario



Source: This study

- In the reference scenario, the hydrocarbon (fossil fuels dependent) sector shows the highest contribution to emissions throughout the period, accounting for 54% of emissions in 2015 and 50% in 2050. While the transport sector is expected to decrease its energy intensity with a lower use of diesel and gasoline by vehicle type (a result from technology improvements), the share of transport sector emissions will remain due to high growth of the vehicle fleet.
- Meanwhile, in this scenario the agricultural sector would experience a process of "decarbonization" even in the absence of new mitigation measures, which will reduce its share on total emissions from 22% in 2015 down to 13% in 2050. The factors behind this decrease in the intensity of CO₂e emissions are the expected reduction of the cattle area (and the incorporation of improved pastures), and higher productivity, with a significant effect on

enteric fermentation of cattle (the main source of emissions). In addition, the expansion of agricultural crops area is compensated by the contraction of pastures area, producing a decrease of 9.5% of total land use for farming.

7. To estimate the impact of mitigation measures in the electricity sector (which is highly renewable) for the period 2015-2050, the Costa Rican Electricity Institute (ICE) provided support to build a reference scenario of electric power expansion that the country is avoiding by investing in highly renewable electricity generation capacity. This scenario is based on electric expansion with fossil fuels and coal, which would have been more cost-effective sources, but with a high environmental cost in terms of emissions. This exercise helps to determine the implicit contribution of highly renewable expansion projects for the future. In this scenario the electricity sector emissions change from 6% of total net emissions in 2015 to 16% in 2050, with higher fossil fuels intensity of electricity generation.
8. Reference scenarios for solid waste and industrial processes sector show no fundamental changes regarding the current structure of GHG emissions, but its participation in total emissions change as a result of adjustments in the other sectors. The solid waste sector participation changes from 11% in 2015 to 8% in 2050 while industrial processes share grows from 7% to 12% in the same period.
9. The forestry sector deserves special attention because currently a methodological revision is underway, led by the development of the country REDD+ strategy. This is an open process, reviewing the generation of data and information from satellite images to identify patterns of reforestation, deforestation and resulting forest cover and composition. The sector is also in the process of publishing the National Forest Inventory (INF) and new records, so the expected final outcomes could not be incorporated into the present analysis. Therefore, forestry sector results should be taken as preliminary.
10. In the reference scenario net sequestration by the forest sector does not significantly reduce the country's total emissions. Moreover, at the end of the period under analysis, emissions from the forest sector become even be positive. This results from two key factors. One is the high proportion of mature forest because of early actions to boost protection zones and incentive Payment for Environmental Services (PES). Additionally, the country is exposed to deforestation, generating emissions that offset the carbon sequestration of forests and forest plantations. Still, this represents an opportunity for the country to develop actions in forestry focused on reducing deforestation and promoting forest regeneration.

Emissions per Capita and Per GDP Unit

11. The reference scenario foresees a less carbon-intensive economy but with higher GHG emissions per inhabitant. Table A shows that total gross emissions per capita increase and almost double during the period. On the other hand, the intensity of emissions per product decreases. While in the reference scenario the pattern of "decarbonization" of production is a positive result (in terms of what has been promoted the country), it is far from more ambitious goals like carbon neutrality.

Table A Emissions per Capita and Per GDP Unit (Reference Scenario)

Year	CO ₂ e per GDP	
	CO ₂ e per Capita (MT)	(MT/Million Colones)
2015	2,6	4,8
2030	3,7	3,9
2050	4,9	2,4

Source: This study

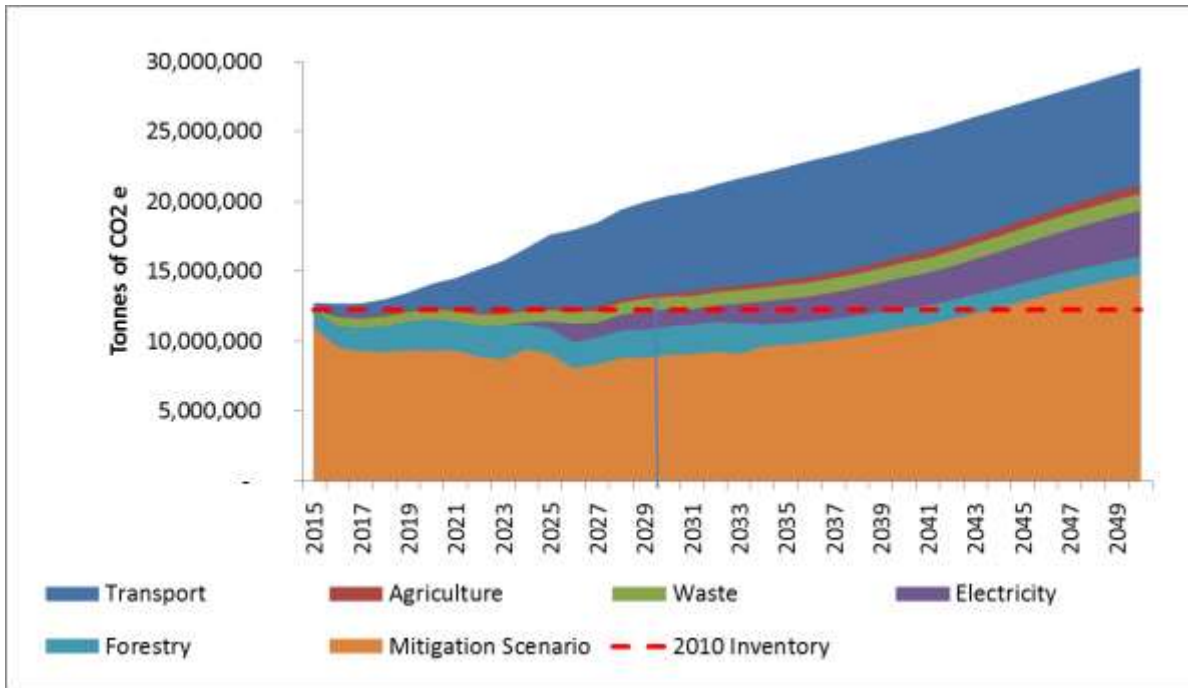
Emission Abatement Options

12. A group of 24 mitigation options in five sectors were analyzed. It is estimated that the country could reduce emissions by nearly 340 million tons of CO₂ with the implementation of the measures evaluated, for an annual average reduction of 9.8 tons during 2015-2050. Figure B presents the aggregate impact for each of the five sectors on GHG emissions from options identified and quantified. The analysis has set up a scenario in which the country can experience a transition to a lower emissions path in the medium and long term. This mitigation scenario shows that starting 2015, the country could implement mitigation measures in the transport, agriculture, solid waste, electric and forest sectors, which would reduce emissions significantly. However, beyond 2045 the impact of those measures would start losing strength.

Abatement Measures and Barriers

13. The possibility of removing barriers for their implementation, can be crucial for mitigation options. In addition to the analysis of mitigation potential and costs, a group of institutional, technological, and financial barriers (among others) was analyzed and scored based on qualitative criteria. In this case the higher the score, the higher the barriers that could prevent the implementation of the measure (Table B). This assessment was made to put in perspective key factors that condition the possibility of consolidating those mitigation options.

Figure B GHG Emission Abatement Potential



Source: This study

14. A first group of measures called Measures A could be implemented in a first stage. This does not imply that these measures do not face obstacles, but it is assumed that under current the conditions they could be feasible. These measures are represented in Chart C as a green area. Measures B (yellow area) face greater implementation barriers. Measures C (orange area) have the greatest difficulties. The country could put in perspective more ambitious mitigation targets, which would be a signal of commitment to reduce global greenhouse gas emissions through a transformation of current patterns of development.
15. Measures A produce a 20% reduction in emissions by 2030 compared to the reference scenario used for the analysis. This implies that per capita emissions for that year would reach 3 tons of CO₂e per person (lower than the expected emissions in the baseline scenario estimated at 3.7 tonnes per capita). This is a reduction of almost one-fifth of the expected emissions by 2030, which would be a significant achievement. For instance, it would allow Costa Rica to reach carbon neutrality in 2021. However, the country requires more actions to revert the inertia of intensive emission patterns.
16. Graphs D and E shows that although Measures A (green bar) generate an emissions level below the 2010 GHG Inventory 2010 (red bar) by 2021, in 2030 emissions are above that level and therefore additional Measures B and C (yellow and orange bars) are necessary. Costa Rica

should implement Measures B and C, to reduce emissions in 2030 by 55% below the reference level and achieve per capita emissions of 1.6 tons that year.

Table B Abatement Measures and Feasibility for the Country

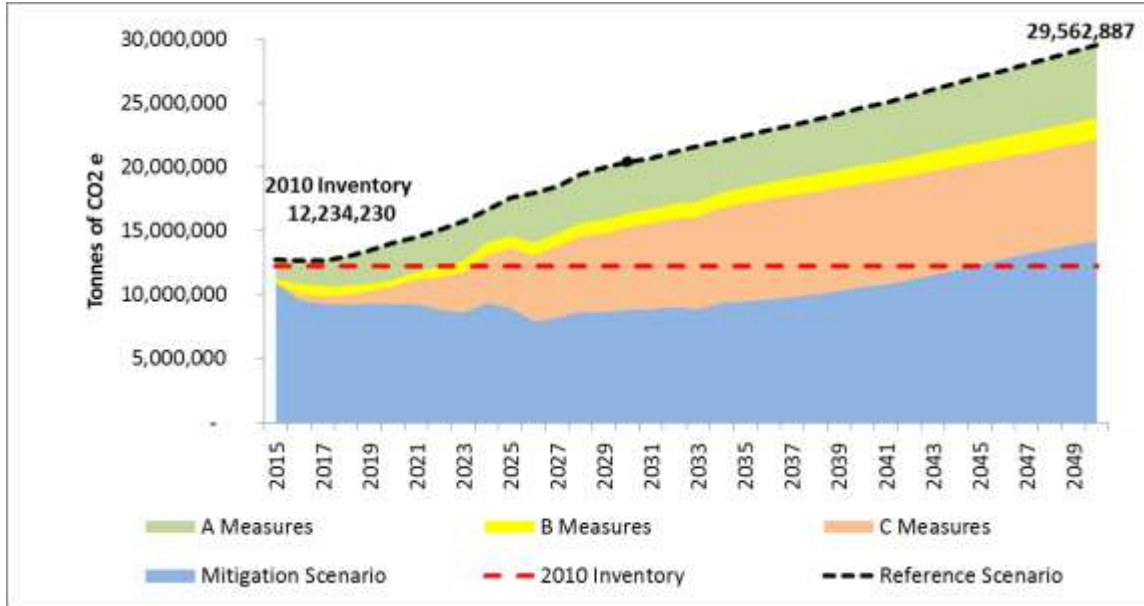
Mitigation Option	Type of Measure*	Level of Barriers**
Agricultural Sector: Improving enteric fermentation and dung utilization	A	4
Electricity Industry: Expansion of renewable power system	A	2
Transport Sector: Operation of a Bus Rapid Transit (BRT) system	A	3
Transport Sector: Savings from transport efficiency measures	A	4
Waste Management Sector: Recycling activities	A	4
Forestry Sector: PES with forest plantations	A	4
Forestry Sector: PES with mature forest protection	A	3
Forestry sector: PES for new forests	A	3
Forestry Sector: Silvopastures	A	4
Agricultural Sector: Reduction of fertilizer use	B	6
Transport Sector: Metropolitan Electric Train	B	5
Transport Sector: LPG cars	B	6
Waste Management Sector: Landfill Closure	B	5
Waste Management Sector: Composting Activities	B	6
Waste Management Sector: Uncollected waste reduction	B	5
Transport Sector: Hybrid cars	C	8
Transport Sector: Hybrid cars with electric connection	C	8
Transport Sector: Electric cars	C	7
Transport Sector: Fuel-efficient engine cars	C	7
Transport Sector: Use of Biodiesel	C	7
Transport Sector: Use Bioethanol	C	7
Waste Management Sector: Landfills with electricity generation	C	7
Waste Management Sector: Waste incineration plants	C	7
Waste Management Sector: Landfills with biological stabilization	C	8

** A higher number means that more implementation barriers exist.

Source: This study

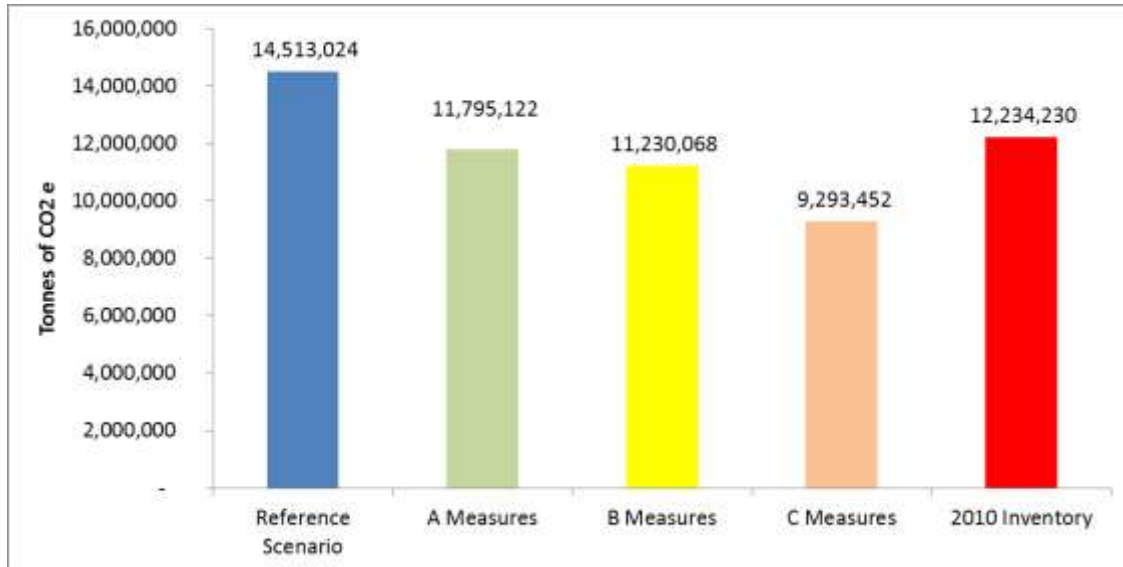
* The type of measures are categorized according with their likely ease of implementation, with A being most straight forward while B and C requiring additional efforts and potential support.

Figure C Emission Abatement Measures and Feasibility



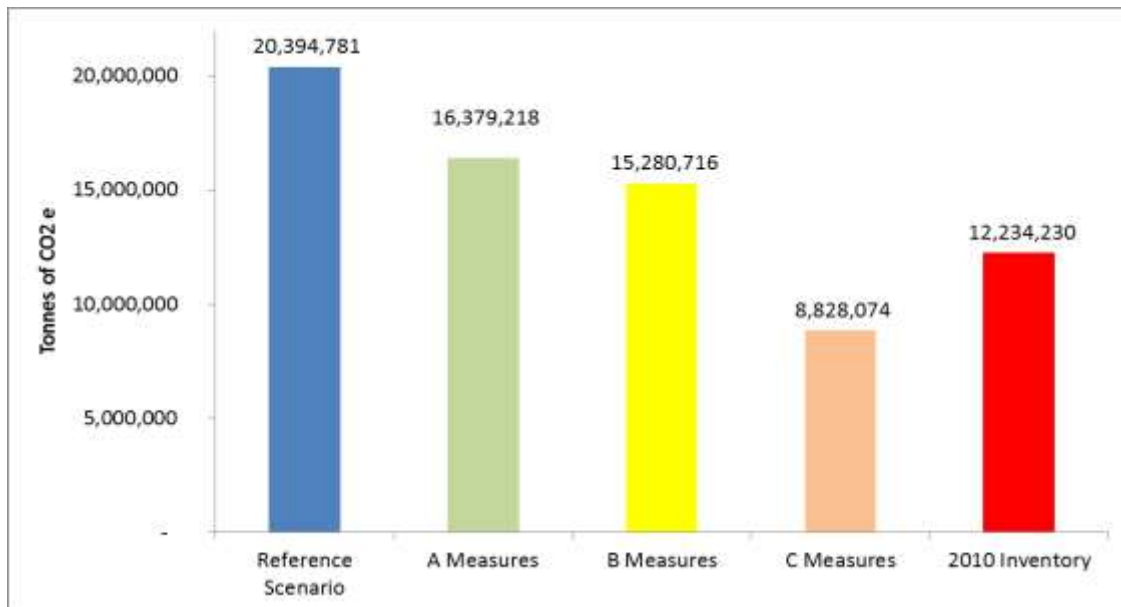
Source: This study

Figure D Mitigation Impact of Measures by 2021



Source: This study

Figure E Mitigation Impact of Measures by 2030



Source: This study

Mitigation Potential and Costs

17. With the mitigation potential of the group of measures and the estimated marginal costs, alternative scenarios for reducing emissions can be analyzed. The marginal cost per ton of CO₂e and total expected reduction or removal are shown in Table C. Measures have been ordered from lowest to highest cost per ton. It can be seen that some measures have a negative marginal cost, meaning that for the period of analysis (2015-2050) costs are outweighed by expected revenues. However, this condition is not sufficient to make a measure feasible, and goes beyond cost-benefit results. Therefore the classification described before (Measures A, B, C) is used to put in perspective the potential implementation barriers.

18. In case of Measures A, even for those with a positive marginal cost, a market price of US\$5 per ton (as in the domestic carbon market) would make them feasible. Moreover, in the case of forest plantations, issues related to income generation (like the sales of wood) are not considered, which would make them more cost-effective at a US\$6.

Table C Abatement Measures: Marginal Cost, Mitigation Potential and Barriers

Mitigation Measure	Mitigation Cost (USD/tCO ₂)	Total Mitigation (tCO ₂)	Measure Type	Level of Barriers**
Waste Management Sector: Composting Activities	-488	29,660	B	6
Transport Sector: LPG cars	-430	845,157	B	6
Transport Sector: Operation of a Bus Rapid Transit (BRT) system	-317	8,415,894	A	3
Transport Sector: Savings from transport efficiency measures	-114	6,330,041	A	4
Transport Sector: Metropolitan Electric Train	-92	9,150,994	B	5
Agricultural Sector: Improving enteric fermentation and dung utilization	-51	8,567,237	A	4
Transport Sector: Electric cars	-30	134,257,126	C	7
Transport Sector: Hybrid cars with electric connection	-28	28,898,523	C	8
Waste Management Sector: Recycling activities	-28	4,249,016	A	4
Waste Management Sector: Waste incineration plants	-10	9,908,671	C	7
Waste Management Sector: Landfills with electricity generation	-6	11,049,459	C	7
Waste Management Sector: Uncollected waste reduction	-4	6,328,608	B	5
Forestry Sector: Silvopastures	1	7,394,764	A	4
Forestry Sector: PES with mature forest protection	4	24,809,725	A	3
Forestry sector: PES for new forests	5	18,216,966	A	3
Forestry Sector: PES with forest plantations	6	8,256,000	A	4
Agricultural Sector: Reduction of fertilizer use	11	3,819,876	B	6
Waste Management Sector: Landfills with biological stabilization	11	3,767,646	C	8
Waste Management Sector: Lower uncollected waste burning	13	1,324,587	B	5
Transport Sector: Use of Biodiesel	24	5,123,190	C	7
Transport Sector: Use Bioethanol	26	5,096,985	C	7
Electricity Industry: Expansion of renewable power system	60	15,621,562	A	2
Transport Sector: Fuel-efficient engine cars	110	20,504,932	C	7
Transport Sector: Hybrid cars	789	2,531,834	C	8

** Average score (1=less barriers to 10=more barriers) based on institutional, technological, economic, financial, social and environmental criteria.

Source: This study

19. For measures B and C some costs are negative, but expected barriers are higher. Table D presents the cost-effectiveness by measure type. A general result is that benefits outweigh the costs (negative cost-benefit balance). However, necessary investments are a challenge ahead. For instance, Measures A show better cost benefit results, but require US\$3 billion of investment.
20. Measures B and C also show higher benefits than costs for the period (2015-2050), but face more barriers and require investments of US\$14,000 million. These results suggest that the country's potential contributions to climate change mitigation have associated costs that can exceed the current possibilities of Costa Rica.

Table D Costs and Mitigation Potential of Measures

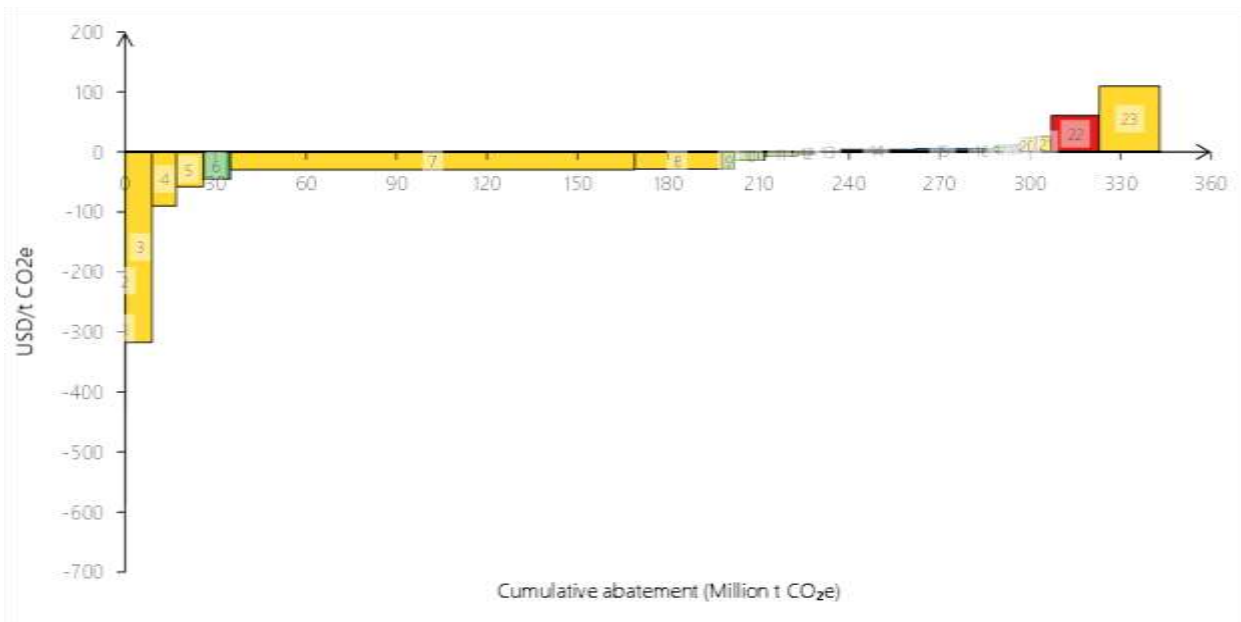
Concept	A Measures	B Measures	C Measures
Cost-Benefit (US\$)	-2.750.815.686	-1.235.527.022	-395.462.860
Required Investment (US\$)	2.978.859.265	647.184.357	13.342.052.358
Total Mitigation (tCO ₂)	98.727.848	32.518.682	210.118.568
Average Marginal Abatement Cost (US\$/tCO ₂)	-27,9	-38,0	-1,9

Source: This study

Marginal Abatement Cost Curve

21. Using MACTool, based on the analysis of mitigation options for each sector, a Marginal Abatement Cost Curve (MACC) is constructed to illustrate the cost per ton and possible individual contribution to GHGs mitigation for the period 2015-2050 (Figure F). Costs per ton show variability, ranging from -\$488 per ton from solid waste composting (a net profit per ton, or a negative cost) to the most expensive measure with \$789 per ton, with the introduction of hybrid cars in the transport sector (in this case it is omitted from the graph to better compare other measures).
22. Measures with the most notable "negative" costs are in the transport and solid waste sectors. This sectors would contribute to income and emissions reduction. This group of measures would generate 67% of the total mitigation between 2015 and 2050. Just the introduction of electric cars could contribute a reduction of 134 million tons, which highlights the relevance of the transport sector to achieve ambitious mitigation goals towards the future. The high potential of mitigating with negative costs highlights the importance of implementation barriers that make investments (profitable and low carbon) hard to materialize. This raises the need of a deeper analysis of the obstacles for the "low hanging fruits."

Figure F Marginal Abatement Cost Curve 2015-2050



- | | | | |
|----|--|----|--|
| 1 | Waste Management Sector: Composting Activities | 13 | Forestry Sector: Silvopastures |
| 2 | Transport Sector: LPG cars | 14 | Forestry Sector: PES with mature forest protection |
| 3 | Transport Sector: Operation of a Bus Rapid Transit (BRT) system | 15 | Forestry sector: PES for new forests |
| 4 | Transport Sector: Savings from transport efficiency measures | 16 | Forestry Sector: PES with forest plantations |
| 5 | Transport Sector: Metropolitan Electric Train | 17 | Agricultural Sector: Reduction of fertilizer use |
| 6 | Agricultural Sector: Improving enteric fermentation and dung utilization | 18 | Waste Management Sector: Landfills with biological stabilization |
| 7 | Transport Sector: Electric cars | 19 | Waste Management Sector: Lower uncollected waste burning |
| 8 | Transport Sector: Hybrid cars with electric connection | 20 | Transport Sector: Use of Biodiesel |
| 9 | Waste Management Sector: Recycling activities | 21 | Transport Sector: Use Bioethanol |
| 10 | Waste Management Sector: Waste incineration plants | 22 | Electricity Industry: Expansion of renewable power system |
| 11 | Waste Management Sector: Landfills with electricity generation | 23 | Transport Sector: Fuel-efficient engine cars |
| 12 | Waste Management Sector: Uncollected waste reduction | 24 | Transport Sector: Hybrid cars (omitted from graph) |

Source: This study

23. Moreover, it is also in the transportation sector where the most expensive measures in terms of tons of CO₂ are observed, particularly because of high implementation costs. Hence the importance of this sector in the analysis, first for its role for total mitigation, as the particularity of presenting both positive and negative costs (benefits). The introduction of hybrid cars is the measure with higher mitigation costs. This would require substantial investments, in contrast to a modest reduction potential. Comparatively, the options analyzed in the forestry and agricultural sectors have lower costs per ton, and significant

mitigation potential. For the waste sector, there are various measures related to high and low costs, and a relatively smaller share of the mitigation potential. Among the analyzed measures, the waste sector could provide 10% of the total mitigation. A central point related to the abatement cost curve is that it shows a "snapshot" rather than a dynamic situation. The curve should therefore be the starting point for further analysis.

24. Emissions reductions options assessed are preliminary, since its analysis was determined (and to some extent limited) by data availability and updated quantitative information. In this sense this is not a comprehensive study on the identification of mitigation options. There is a list of possible mitigation measures with apparent potential that should be incorporated into country reference and mitigation scenarios. This should be part of discussions on issues related to the future of emissions and the contribution of Costa Rica to the mitigation of climate change.
25. It is important to note that this study does not evaluate co-benefits or cross-effects from mitigation measures. These would be important to address social, environmental and economic interactions, to better dimension the country efforts to follow a pattern of low emissions development (which requires high investments and significant sector adjustments). In addition, a comprehensive analysis of the barriers faced by mitigation measures is not included, although it is introduced and its importance dimensioned. These are pending tasks which are recommended for the future.

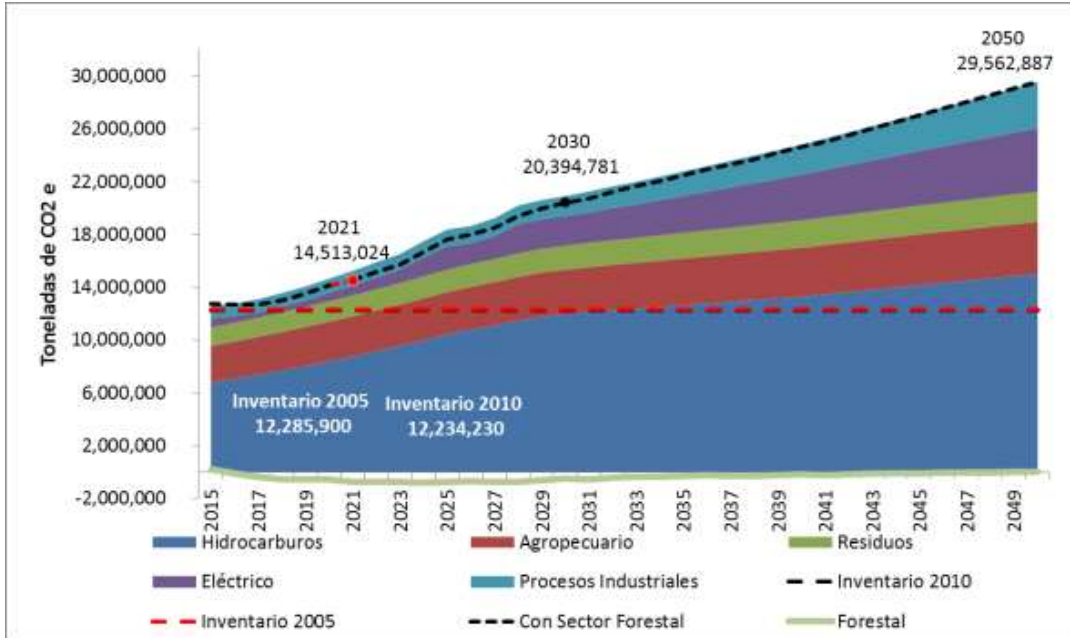
Resumen Ejecutivo

1. 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.
2. 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

3. 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.

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



Fuente: el estudio

4. Las emisiones en este escenario de referencia se prevén aumentando de 12,7 millones de toneladas de CO₂e 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 CO₂e, 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 CO₂e (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.

5. 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.

6. 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 CO₂e 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.
7. 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 CO₂e.
8. 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.

9. 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.
10. 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

11. 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

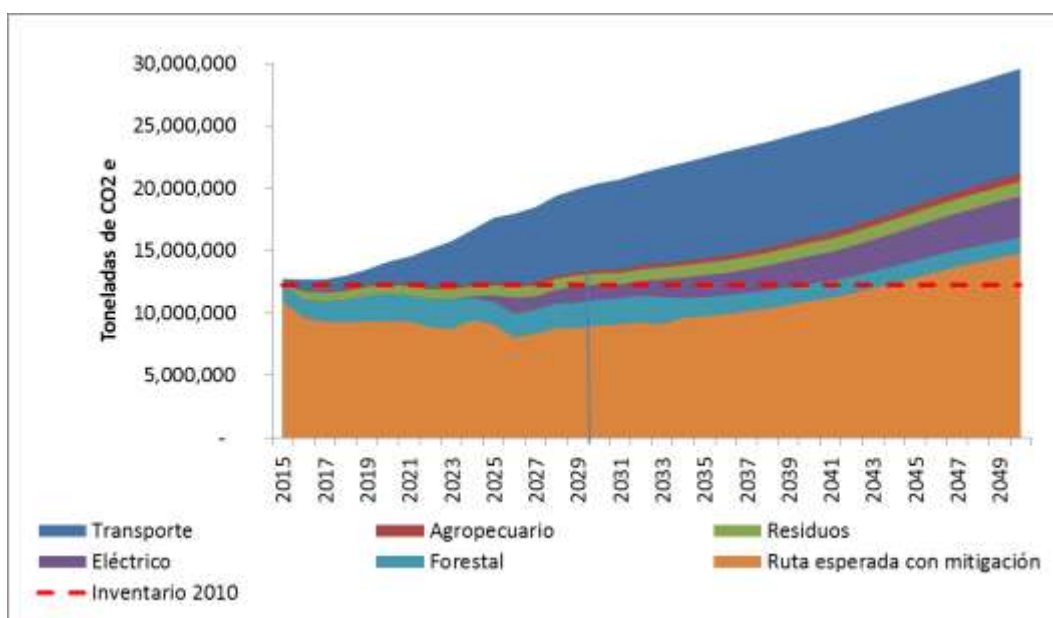
Año	CO ₂ e per cápita	CO ₂ e / Millón de PIB
2015	2,6	4,8
2030	3,7	3,9
2050	4,9	2,4

Fuente: el estudio

Opciones de Abatimiento de Emisiones

12. 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 CO₂ 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.

Gráfico B Abatimiento de Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero



Fuente: el estudio

Medidas de Abatimiento y Barreras

13. 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. .

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
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

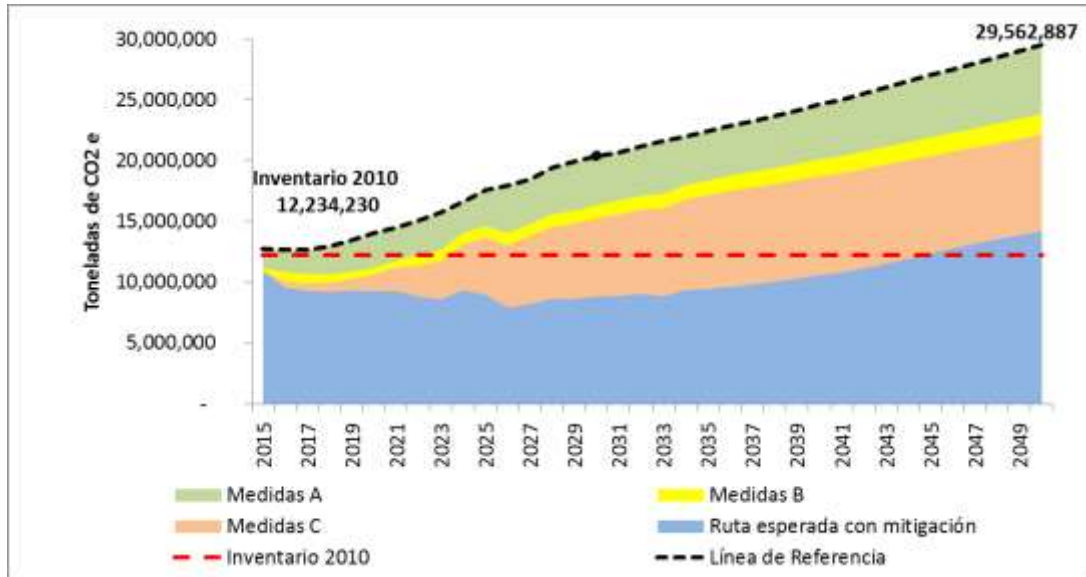
** Un número mayor implica más barreras enfrentadas.

Fuente: el estudio

14. 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.

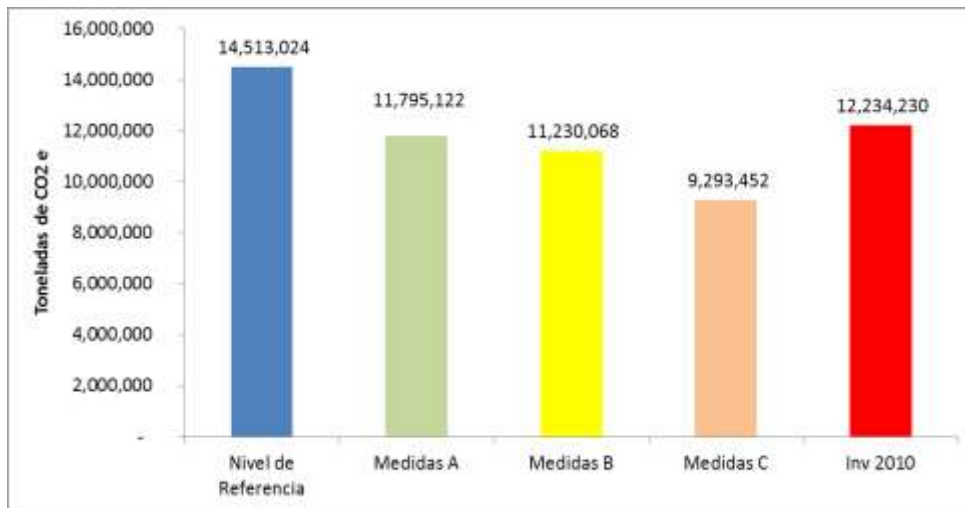
Gráfico C Abatimiento de Emisiones según Viabilidad de Medidas Analizadas



Fuente: el estudio

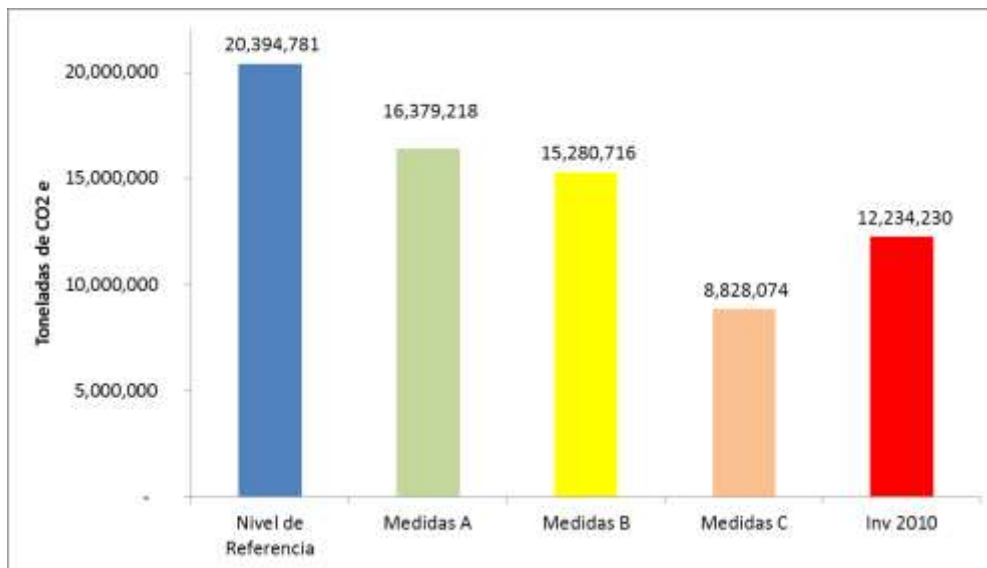
15. Las Medidas tipo A permitirían al país hacer una disminución del 20% de las emisiones del año 2030 con respecto al escenario de referencia utilizado para este análisis. Esto implicaría que las emisiones per cápita para ese año se ubicarían en 3 toneladas de CO₂e por persona, produciendo una caída 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.
16. 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

17. 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 CO₂e 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.

18. 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.

19. 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.

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

Opción de Mitigación	Costo de Mitigación (USD/tCO ₂)	Mitigación Total (TCO ₂)	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 ₂)	99,037,108	32,518,682	210,118,568
Costo promedio (US\$/tCO ₂)	-27,8	-38,0	-1,9

Fuente: el estudio

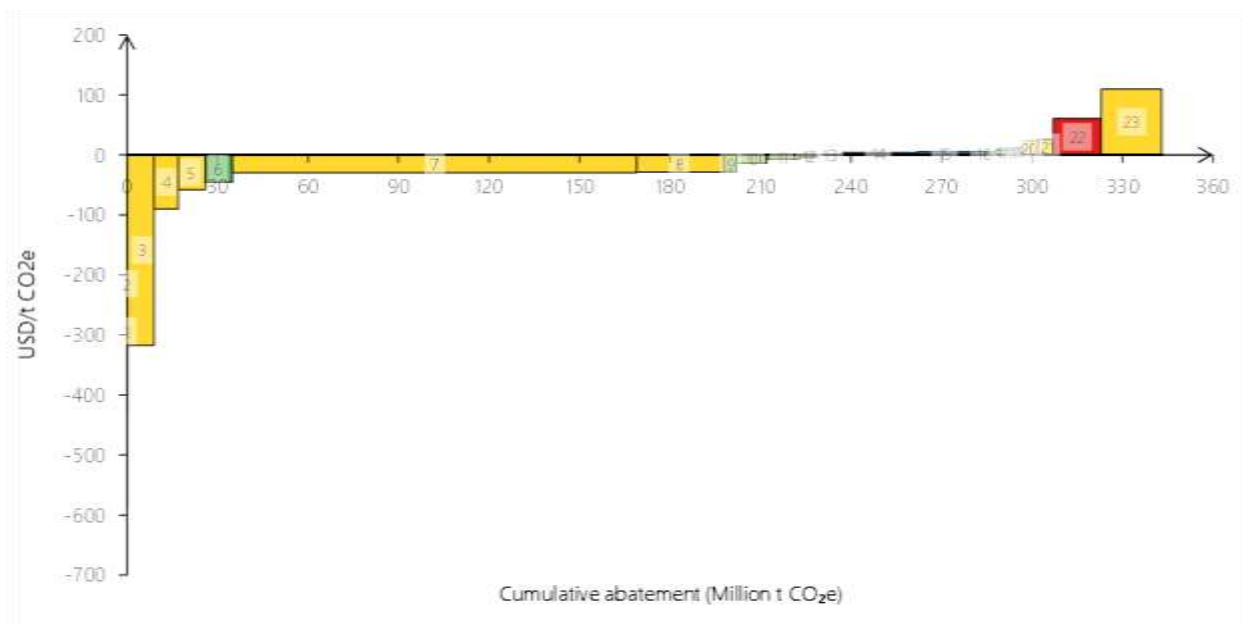
20. Por su parte, las medidas B y C, si bien también muestran beneficios más altos que los costos que conllevan en el periodo 2015-2050, tienen mayores barreras por remover y las inversiones asociadas a su implementación suman entre ambas cerca de los US\$14 mil millones. Estos resultados muestran que 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

21. 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).

22. 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.

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

23. Por otra parte, es también en el sector transporte donde se observan las medidas más caras con relación a la tonelada de CO₂, 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 profundizar en el análisis.

24. 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.
25. Es importante señalar que este estudio no evalúa los cobeneficios 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.² 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.³

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.⁴ Una

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

³ 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.

⁴ 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 CO₂e) que pueden mitigarse según las opciones de intervención, y su costo marginal de abatimiento unitario (en dólares por tonelada equivalente de CO₂). La curva de costos de abatimiento indica el costo de cada tonelada de CO₂ mitigada para cada opción de mitigación.⁵ La herramienta MACTool de ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program)⁶ 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.⁷ 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

⁵ 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.

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

⁷ 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 cobeneficios 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 Proceso del Análisis

1.2.1 Actores

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:⁸

⁸ 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.

- 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 (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.

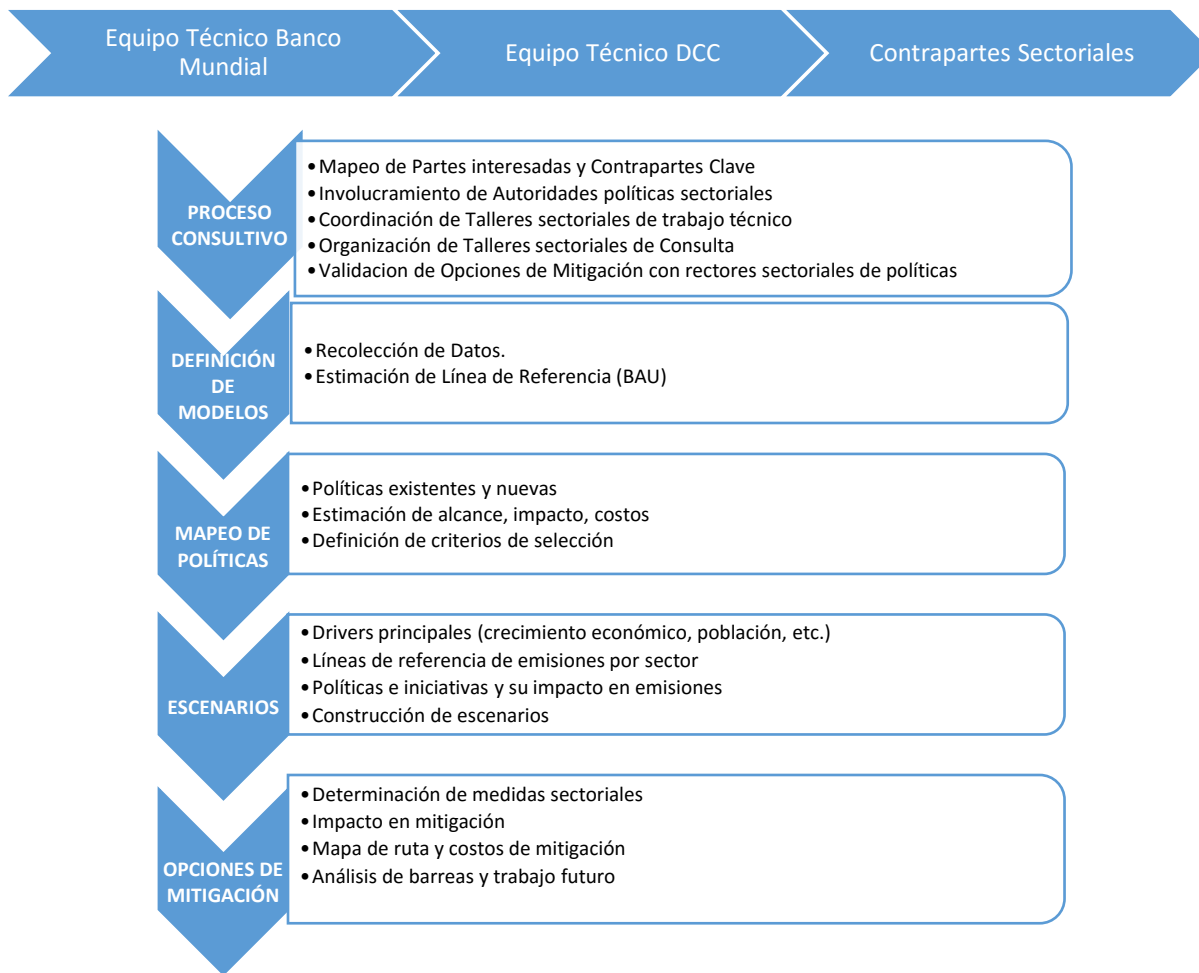
1.2.2 Proceso

La Ilustración 1 muestra el proceso metodológico del estudio. Los detalles de cada fase se presentan seguidamente.

Proceso Consultivo: El proceso consultivo es la actividad central para la determinación de las opciones de mitigación y remoción de GEI, y es transversal a las otras fases del estudio, ya que cada fase de la definición de las medidas se fundamenta en la participación de los diferentes actores relevantes de cada sector y de acuerdo con el alcance en cada fase. El proceso de consulta tiene un enfoque centralmente técnico y busca brindar insumos de apoyo en los subsiguientes procesos de validación o de consulta de las autoridades políticas o contrapartes de los sectores involucrados.

Modelación: La primera fase del estudio fue el diseño de la metodología y la selección de las herramientas para analizar las opciones de mitigación. De esta fase se definió la conveniencia de utilizar la herramienta MACTool, la cual apoyó el análisis de medidas de abatimiento y costos marginales asociados.

Ilustración 1 Proceso de Análisis de Opciones de Mitigación de GEI



Fuente: compilación de los autores

Mapeo de Políticas y Medidas: Una segunda fase se enfocó e identificar las iniciativas de mitigación existentes, y las que se podrían determinar como posibles actividades de contribución. Otras nuevas políticas se ponen en contexto para alcanzar los objetivos de contribución que el país seleccionaría. En esta etapa se establecen los criterios múltiples para la selección y priorización de las iniciativas y políticas, con base en el potencial de mitigación, el costo, su apoyo a otras políticas de cambio climático, las barreras institucionales, viabilidad de implementación, las barreras, los riesgos y la definición de políticas, entre otros criterios evaluados.

Análisis de los Escenarios de Referencia: La tercera etapa permitió establecer los escenarios de referencia de las emisiones de GEI esperadas para el país, con base en las proyecciones de crecimiento económico y de población. Asimismo se establecieron los escenarios de referencia de emisiones y mitigación para los diversos sectores. Se hace también una comparación con la meta original de Carbon Neutralidad para el año 2021.

Definición del Potencial de las Medidas de Mitigación: La cuarta y última fase consistió en la evaluación del potencial y costos relacionados con las diferentes medidas de mitigación y remoción de GEI identificadas en cada sector. El conjunto de medidas se definió en esta etapa de acuerdo a su posibilidad de implementación en el corto y mediano plazo, y su posible mapa de ruta de implementación en los próximos años. Se analiza en esta fase las medidas en términos de su posible aporte para el logro de reducciones de GEI post-2020, y la meta original de neutralidad del carbono para el año 2021.

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.”* Como objetivos específicos de la ENCC están planteados:

- Lograr una economía Clima Neutral para el año 2021 que también fortalezca la competitividad y desarrollo sostenible de la economía.
- Reducir la vulnerabilidad sectorial y geográfica.
- Desarrollar un sistema de información preciso, confiable y verificable.
- Mejorar la eficiencia y eficacia de medidas de implementación.
- Crear un cambio en los hábitos.
- Asegurar los recursos y su uso eficiente.

La ENCC divide sus acciones en seis ejes: mitigación, adaptación, métrica, tecnología, educación y financiamiento. Todos los cuales integran la política nacional de cambio climático. 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).

El eje de acción de mitigación dentro de la ENCC procura conseguir que el país evite las emisiones netas, y adopte una visión que compagine las acciones ambientales con la estrategia de competitividad nacional. 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*⁹ 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.¹⁰

El país se propone evaluar otras políticas en el futuro que incentiven mayor demanda de certificados de carbono, en donde la gama de acciones por evaluar van desde impuestos a tecnologías no sustentables y el establecimientos de normas técnicas para la adopción de tecnologías limpias, hasta opciones de parámetros indicativos de emisiones por producción que deberán alcanzar sectores o industrias específicas. Se evaluarán asimismo opciones de techo e intercambio de créditos de emisiones (*cap and trade*), con metas obligatorias y asignación de derechos de emisión. Si bien el mercado doméstico costarricense no se fundamentará en estos

⁹ ALCANCE 79- 19 Junio2012- Acuerdo Programa País.

¹⁰ 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.

esquemas, se tendrán como alternativas de estímulo de la demanda en caso de que sea necesario fortalecer el alcance del mercado para alcanzar la meta nacional de C-neutralidad.

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, 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 CO₂)

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%
Agropecuaria	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)

En el Cuadro 2 se muestran las emisiones totales por cada tipo de GEI pero expresadas en emisiones equivalentes de CO₂. El CO₂ proveniente del sector energía sigue siendo el gas más relevante, representando el 78% de las emisiones totales. El metano proveniente de las

actividades agropecuarias equivale al 27% de las emisiones totales. El metano del manejo de residuos sólidos implica 14% de los GEI y el sector industrial tiene el CO₂ como principal GEI con 7% de importancia en las emisiones totales. El secuestro en el sector AFOLU es el 41% de las emisiones totales.

Cuadro 2 Emisiones Totales por Tipo de GEI (Gg de CO_{2e})

Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	R-32	R-125	R-134 ^a	R-143a	R-152	SF6	Total
Energía	6.815,8	121,7	143,8	-	-	-	-	-	-	7.081,3
Procesos industriales y uso de productos	621,5	-	-	1,0	38,6	90,1	47,9	1,7	1,7	802,6
Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra	-3.594,8	2.407,2	714,2	-	-	-	-	-	-	-473,3
Desechos	80,2	1.238,2	59,8	-	-	-	-	-	-	1.378,2
Total	3.922,8	3.767,1	917,9	1,0	38,6	90,1	47,9	1,7	1,7	8.788,8

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

2.1.1 Energía

Comparadas con el total de emisiones del país, en el sector energía las emisiones de GEI provienen de la Industria de la energía (9%), la Industria manufacturera y de la construcción (16%), el Transporte (16%) y Otros sectores (7%). Además, se registran las emisiones Fugitivas y geotérmica (2%), para un total 7.081,2 Gg de CO_{2e}. El Cuadro 3 presenta la composición de las emisiones por tipo de gas.

Cuadro 3 Emisiones de GEI del Sector Energía, 2010

Subsector	Gas emitido (Gg)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Industria de la energía	606,3	0,06	0,01
Industria de manufactura y construcción	1.075,8	0,61	0,083
Transporte	4.582,6	1,19	0,317
Otros sectores	373,4	3,93	0,054
Emisiones fugitivas	177,7	0,003	--
TOTAL	6.815,7	5,79	0,464

Fuente: IMN (2014)

2.1.1.1 Industria de la Energía

La industria de la energía contempla las emisiones de GEI por producción de electricidad, que se refiere a la generación basada en el uso de combustible fósil, biogás y residuos vegetales. En el 2010 (año del último inventario), la generación térmica correspondió al 6,6% del total y la generación con biomasa un 0,4%. Las plantas térmicas utilizan búnker y diésel (88% de los combustibles usados). El bagazo y los residuos vegetales son los combustibles biomásicos usados. Otra actividad de la industria de la energía es la refinación de petróleo, cuyas emisiones provienen de las emisiones por el combustible consumido en la refinación de petróleo y una pequeña parte al consumo de gas LPG.

2.1.1.2 Industria de Manufactura y Construcción

En el sector energía, la industria de manufactura y construcción incluye combustibles utilizados en los procesos industriales. En la generación de vapor y calor se utiliza principalmente bunker, leña y residuos vegetales. El diésel y el gas licuado se utilizan en la generación de calor, generación de vapor y fuerza motriz, y el queroseno se utiliza para producir calor. La industria de alimentos es la principal consumidora de energía en este sector utilizando un 37 %, seguida por la industria química con 15 % y otras industrias con 38%. El Cuadro 4 muestra los resultados de las emisiones del uso de la energía en la industria.

Cuadro 4 Emisión de GEI por Uso de Energía en la Industria, 2010 (Gg)

Tipo de industria	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Alimentos y tabaco	398,53	0,464	0,062
Textiles y cuero	50,38	0,002	-
Madera	10,30	0,096	0,013
Papel	32,71	0,008	0,001
Químicos	56,03	0,002	-
Otras industrial	527,82	0,038	0,006
Total	1.075,77	0,610	0,082

Fuente: IMN (2014)

2.1.1.3 Transporte

En el 2010 el total de vehículos en circulación en Costa Rica fue de 1.369.274 unidades, de los cuales 64% son vehículos particulares, y cerca de 400 vehículos híbridos o eléctricos. Por otra parte, el 16% del parque vehicular son motocicletas, 14% de carga liviana, 3% de carga pesada, 1% de buses, 1% de taxis y 1% de equipo especial. Si bien 77% de los vehículos tienen motor de gasolina, en términos de emisiones contabilizan montos similares a la flota con motor diésel.

Las actividades de transporte registran emisiones de los vehículos utilizados en vías terrestres, marítimas y aéreas. Las emisiones suman 4.726,87 Gg de CO₂ equivalente, siendo el transporte

terrestre fuente del 99% de estas emisiones. Por otro lado, 41% de las emisiones provienen de los autos privados, 22% de transporte de carga, 16% de las motocicletas, 14% del transporte público y 7% de equipo especial (Cuadro 5).

Cuadro 5 Emisiones de GEI en el Sector Transporte, 2010 (Gg)

Tipo de Vehículo	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Automóvil	1.432,54	0,677	0,066
Jeep	326,71	0,103	0,016
Microbús familiar	95,46	0,029	0,005
Taxis	207,34	0,099	0,010
Carga liviana	102,63	0,005	0,005
Autobuses	308,03	0,016	0,016
Microbús público	128,30	0,068	0,046
Carga pesada	897,08	0,098	0,046
Motocicletas	718,55	0,038	0,038
Equipo especial	286,34	0,032	0,105
Otros	43,66	0,021	0,002
Etanol en combustible	-5,24	-	-
Total transporte terrestre	4.541,40	1,186	0,355
Transporte ferroviario	3,41	-	0,001
Transporte marítimo	6,30	-	-
Transporte aéreo	40,50	-	-
Total	4.591,61	1,19	0,36

Fuente: IMN (2014)

2.1.1.4 Sector Residencial, Comercial, Público y Servicios

El consumo de combustibles en el sector residencial obedece principalmente a necesidades de cocción, ya que lo referente a iluminación, enfriamiento, generación de fuerza y calor, utiliza la electricidad del Sistema Nacional Interconectado. Los combustibles más utilizados en este sector son: la leña, el carbón vegetal, el LPG, el queroseno y la gasolina.

El sector comercial explica su consumo energético por el equipo de oficina, iluminación, cocción, refrigeración, generación de calor y fuerza motriz, siendo la electricidad la fuente de energía en la mayoría de estas necesidades. En la cocción se utiliza además LPG y leña, mientras que en la generación de fuerza motriz se utiliza gasolina y diésel, principalmente en restaurantes y hoteles. En el sector agropecuario las emisiones generadas se producen principalmente para generar fuerza motriz, calor y enfriamiento, que se basa en uso de diésel y gasolina. La iluminación se satisface con electricidad. El Cuadro 6 muestra las emisiones de los otros servicios.

Cuadro 6 Emisión de Gases en otros Sectores, 2010 (Gg)

Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Residencial	131,88	3,90	0,052
Comercio, público y servicios	122,03	0,01	-
Agropecuario	119,50	0,02	0,001
Total	373,41	3,93	0,053

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

2.1.2 Procesos Industriales y Uso de Productos

En el sector de procesos industriales y uso de productos, la producción de cemento es la principal fuente de emisiones. Durante el proceso de fabricación de clínker, el carbonato de calcio (CaCO₃) es calcinado para producir óxido de calcio (CaO) y se emite CO₂ como subproducto. El CaO reacciona posteriormente con otros minerales para formar el clínker. Las emisiones de CO₂ en el cemento se calculan a partir de los datos de clínker procesado. La producción de cal toma en cuenta el porcentaje de CaO en la cal producida, mientras que la producción de vidrio se basa en datos de producción total de vidrio y la cantidad de cullet¹¹ utilizado (Cuadro 7).

Cuadro 7 Emisiones totales en Procesos Industriales, 2010 (Gg)

Subsector	CO ₂	R-32	R-125	R-134 ^a	R-143 ^a	R-152	SF ₆
Producción de cemento	592,35						
Producción de cal	3,75						
Producción de vidrio	25,43						
Refrigeración y AC	--	0,00157	0,0138	0,0574	0,0126	0,0102	
Espumas	--			0,0083		0,0014	
Aerosoles	--			0,0012		0,0002	
Protección contra incendios	--		0	0,0023			
Equipo eléctrico	--	--	--	--	--	--	0,0000726
Totales	621,53	0,00157	0,0138	0,0693	0,0126	0,01185	0,0000726

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

En la industria los hidrofluorocarbonos (HFC) sirven como una alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono. Las áreas de aplicación de los HFC corresponden a refrigeración y aire acondicionado, extinción de incendios y protección contra explosiones, aerosoles, limpieza con solventes y agentes espumantes. Por último, el hexafluoruro de azufre (SF₆) es utilizado en el país como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad.

¹¹ Desperdicios de vidrio que se trituran y preparan para ser refundidos.

2.1.3 Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra

El sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) incluye emisiones y absorciones de GEI resultantes de los cambios en las existencias de carbono en la biomasa, materia orgánica muerta y suelos minerales, incendios, aplicación de fertilizantes, cal y urea en tierras gestionadas, cultivo del arroz, tierras de cultivo orgánico, tierras inundadas, ganado (fermentación entérica), gestión del estiércol, y productos de madera recolectada. También se considera la absorción de carbono en tierras forestales.

Dentro de las emisiones en el sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, el CO₂ es negativo, debido a la fijación de carbono en plantaciones forestales y regeneración natural, siendo el valor neto de -3.594,76 Gg de CO₂. Las emisiones de metano por 114,63 Gg fueron mayoritariamente generadas por el hato bovino y por el arroz anegado, mientras que 2,30 Gg de emisiones de N₂O, provienen de los suelos dedicados a cultivos agrícolas y pasturas. La quema de los residuos agrícolas en el campo y la quema de pasturas generaron una cantidad de emisiones (Cuadro 8).

Cuadro 8 Emisiones totales en AFOLU, 2010 (Gg)

Actividad	Gas emitido		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fermentación entérica		94,27	
Manejo de estiércol		1,98	0,24
Tierras forestales	-5.255,18		
Tierras de cultivo	772,74		
Pastizales	887,68		
Humedales		5,54	
Quema de biomasa en bosque		1,15	0,03
Quema de pasturas		0,03	0,08
Quema de residuos agrícolas		0,62	0,00
Suelos agrícolas			1,94
Cultivo de arroz		11,13	
Total	-3.594,76	114,63	2,30

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

2.1.3.1 Tierras Forestales

Para el análisis de absorción de CO₂ en las plantaciones forestales, se consideró el área determinada por análisis de mapas de cobertura de la tierra. Debido a la cantidad de especies que se siembran en el país, en el inventario de GEI se hizo el análisis con las ocho especies de mayor importancia por su extensión y disponibilidad de la información. El carbono neto es de 1.264,96 Gg de CO₂. En regeneración natural se consideran las áreas de cultivo o potreros que por diversas razones fueron abandonadas, permitiendo la restauración del bosque mediante la

regeneración natural. El secuestro neto es de 3.061,92 Gg de CO₂. Ambas suman un total de 5.255,18 Gg de CO₂.

2.1.3.2 Tierras de Cultivo y Pastizales

Las tierras de cultivo incluyen 262.947,35 ha de cultivos estacionales, que comprenden granos básicos, hortalizas, piña, legumbres. En lo que respecta a los cultivos permanentes, estos corresponden a 554.961,63 ha, que comprenden café, palma africana, pejíbaye, cítricos, y frutales como mango, entre otros. Se incluye la conversión de bosques a tierras de cultivo con procesos de deforestación por la desaparición del bosque. La emisión por este rubro es de 772,74 Gg de CO₂. El área de pastos corresponde a 1.040.204,16 ha. Se toma en cuenta la conversión de los bosques a tierras de pastos permanentes. Las emisiones son 887,68 Gg de CO₂.

2.1.3.3 Tierras Inundadas

Las tierras inundadas incluyen las emisiones de CH₄ correspondientes a los embalses destinados a la generación hidroeléctrica. Basada en la generación de GWh, la emisión de metano correspondió a 5,54 Gg de CH₄ en tierras inundadas.

2.1.3.4 Emisiones de la Quema de Biomasa en Bosque

Registra las emisiones por los incendios forestales y las emisiones de la quema de biomasa en cultivos, que es una de las prácticas usualmente utilizadas por los agricultores, el cual no se considera para ser reportado en el inventario, sin embargo se toma en cuenta la quema de residuos agrícolas. En el caso de los pastizales en la época seca ocasionalmente se producen incendios naturales.

2.1.3.5 Emisiones de Suelos Agrícolas

La emisión de óxido nitroso es en general baja, siendo las mayores emisiones en café con sombra, caña de azúcar y banano, como resultado del área dedicada a estas actividades. En un segundo grupo se encuentra el café sin sombra y la palma africana, los restantes cultivos presentaron emisiones bajas. También se incluyen las emisiones de óxido nitroso derivadas de los suelos cubiertos por diferentes pasturas utilizadas en los tres sistemas de producción bovina.

2.1.3.6 Cultivo de Arroz

La producción de arroz anegado registra una emisión de metano que se produce por la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, y se expelle como gas en forma de burbujas.

2.1.3.7 Fermentación Entérica

La fermentación entérica produce metano al realizarse el rumen del ganado en condiciones de ausencia de oxígeno. El IMN ha venido registrando datos con base en diversos estudios sobre la cantidad de cabezas del ganado y la estimación de sus emisiones. Con respecto a la emisión de metano en bovinos, la mayor cantidad de este gas se genera en el sistema de producción de carne (40%) y doble propósito (36%), debido a que es donde se encuentra la mayor población de bovinos. Se diseñaron otros modelos de simulación para estimar las poblaciones de cabras, búfalos y ovejas. En otros tipos de ganado la emisión mayor proviene de los caballos. De las restantes especies, los cerdos son los que presentan mayor cantidad, aunque la magnitud de las emisiones es muy pequeña (Cuadro 9).

Cuadro 9 Emisiones por Fermentación entérica, 2010 (Gg)

Tipo de Ganado	N° de Cabezas	CH₄
Bovino de leche	357.533	22,090
Bovino Carne	584.568	36,130
Bovino doble propósito	565.006	33,210
Total bovinos	1.507.107	91,430
Cerdos	438.000	0,270
Cabras	25.334	0,110
Ovejas	2.426	0,008
Búfalos de agua	3.051	0,170
Caballos	124.000	2,230
Mulas	5.200	0,050
Total no bovinos	598.011	2,838
Total hato ganadero	2.105.118	94,268

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

2.1.3.8 Manejo de Estiércol

En la estimación de metano generado por las excretas los sistemas bovinos de carne y doble propósito tienen los mayores valores como producto de la población animal. Le siguen los cerdos, como resultado de que la producción de excretas de esta especie fue mayor que en las restantes especies. Los resultados se observan en el Cuadro 10.

Cuadro 10 Emisiones totales por Manejo de Estiércol, 2010 (Gg)

Tipo de Ganado	Cabezas	CH₄	N₂O
Bovino de leche	357.533	0,330	
Bovino Carne	584.568	0,584	
Bovino doble propósito	565.006	0,565	
Total bovinos	1.507.107	1,479	
Cerdos	438.000	0,267	0,0890
Cabras	25.334	0,004	0,0093
Ovejas	2.426	0,000	0,0006
Búfalos de agua	3.051	0,003	0,0019
Caballos	124.000	0,203	0,0981
Mulas	5.200	0,005	0,0034
Aves de Corral		0,138	0,0375
Total no bovinos	598.011	0,620	0,2398
Total hato ganadero	2.105.118	2,099	0,2398

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

2.1.4 Sector de Manejo de Residuos

Este sector registra las emisiones de gases derivadas del manejo de los desechos sólidos y las aguas residuales industriales y municipales. La generación de metano producida por el manejo de desechos sólidos corresponde a 41,09 Gg, el CO₂ fue de 80,22 Gg y el óxido nitroso 0,013 Gg. En el caso de las aguas residuales domésticas, se estimó que el aporte de metano corresponde a 15,88 Gg CH₄, mientras la emisión de óxido nitroso fue de 0,18 Gg. El aporte de las aguas residuales industriales fue de 1,99 Gg de metano. El sector de desechos emitió en total 1.378,21 Gg de CO₂ equivalente, en el 2010. Estas emisiones se observan en el Cuadro 11.

La eliminación de desechos sólidos contempla los sitios gestionados de eliminación de desechos (rellenos sanitarios), sitios no gestionados de eliminación de desechos (vertederos) y sitios no categorizados de eliminación de desechos (botaderos). Las emisiones de metano procedente de estas acciones, suelen ser la mayor fuente de emisiones de gases de efecto de invernadero del sector desechos. La incineración e incineración abierta de desechos, implica la incineración de desechos que contienen carbono fósil (por ejemplo plásticos) y son importantes fuentes de emisiones de CO₂ del sector desechos.

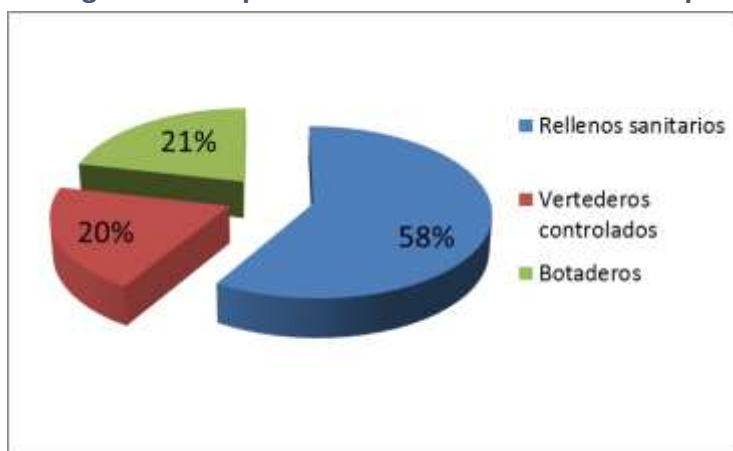
Cuadro 11 Emisiones totales en Manejo de Desechos, 2010 (Gg)

Actividad	Gas		
	CO₂	CH₄	N₂O
Desechos Sólidos	80,22	41,09	0,013
Aguas Residuales	--	17,87	0,18
Total	80,22	58,96	0,193

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

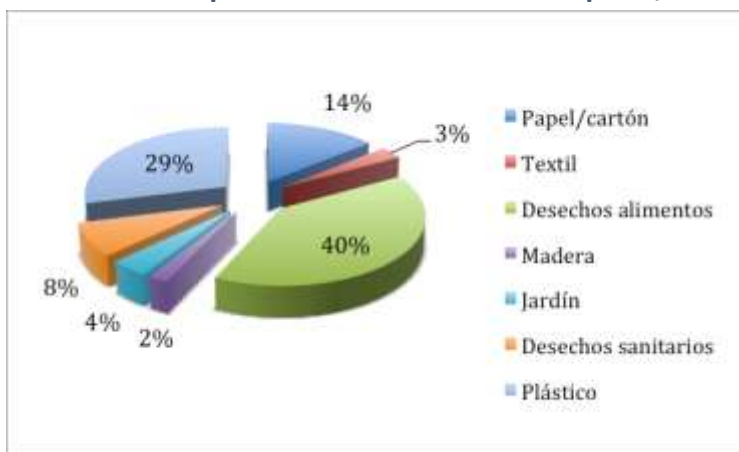
En el Gráfico 1 se muestra que la mayor proporción de los desechos van a rellenos sanitarios, pero aún 21,3% se deposita en botaderos a cielo abierto mal controlados. En el Gráfico 2 se detalla la composición de los residuos recolectados por los municipios. Los desechos de alimentos, los plásticos y el papel y cartón representan en conjunto el 83% del total de residuos.

Gráfico 1 Lugares de Disposición final de Residuos Municipales, 2010



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Gráfico 2 Composición de Residuos Municipales, 2010



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Con base en datos de la Encuesta de Hogares y el total de residuos recolectado por los municipios se estima la cantidad de residuos totales del país (Cuadro 12). Destaca el hecho que un 17% de los residuos no son debidamente recolectados. En cuanto a las aguas residuales el factor determinante es la generación de metano, por la cantidad de materia orgánica degradable y el sistema empleado en su manejo. Los sistemas que proveen ambientes anaeróbicos generalmente producen metano, mientras que aquellos que poseen ambientes aeróbicos

producen poco o nada de metano. El grado de tratamiento de las aguas residuales es variable dentro del país. Muchas industrias descargan sus aguas residuales directamente a cuerpos de agua naturales, algunas de ellas poseen sistemas de tratamiento y otras no lo tienen.

Cuadro 12 Disposición final de Residuos sólidos, 2010 (Gg)

Disposición final	Cantidad	Porcentaje
Recolección municipal	1.351.610,2	83,4%
Enterrada	82.205,7	5,1%
Quemada	166.357,0	10,3%
En lote baldío	5.350,7	0,3%
Rio, quebrada o mar	1.135,0	0,1%
Otro	14.754,9	0,9%
Total	1.621.413,4	100,0%

Fuente: elaboración propia con base en datos del Instituto Meteorológico Nacional y el INEC

En materia de aguas residuales domésticas, el caso es similar. Algunos domicilios, residenciales y similares colectan las aguas sanitarias por medio del alcantarillado sanitario, mientras otras descargan directamente a cuerpos de agua. El hecho de descargar las aguas residuales domésticas al alcantarillado no implica que se les efectúe un adecuado tratamiento, pues en la mayoría de los casos esta agua se descarga directamente a cuerpos de agua, sin tratamiento alguno.

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Hogares, la cobertura de alcantarillado sanitario es de 25,56%, el de tanques sépticos un 70,54% y el de fosas sépticas y letrinas 2,28%. Sólo el 0,39% no posee cobertura alguna y se desconoce el método utilizado por un 0,23% de la población. A pesar de que existe una cobertura del 70,54% con tanque séptico, esto no implica que la totalidad de las aguas se dirijan a estos, o que los mismos estén bien diseñados, o inclusive que existan una supervisión sobre su construcción, operación y mantenimiento. En la mayoría de los casos únicamente disponen en ellos las aguas negras, mientras que las aguas provenientes de ducha, lavamanos, lavado de ropa y cocina son conducidas al alcantarillado pluvial, el cual descarga en cuerpos de agua.

Para poder realizar el estimado de la producción de metano aportado por aguas residuales industriales, se contemplan las industrias que poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales con alguna unidad anaeróbica y se usa como criterio que los sectores industriales con mayor potencial de producción de metano, son aquellos cuyas aguas residuales poseen altos contenidos de materia orgánica degradable y que a la vez son tratados en sistemas anaeróbicos.

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. En los drivers se distinguen aquellos que influyen en todos los sectores y en las emisiones totales del país, de aquellos cuyos efectos son particulares a sectores específicos.

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 13). 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.

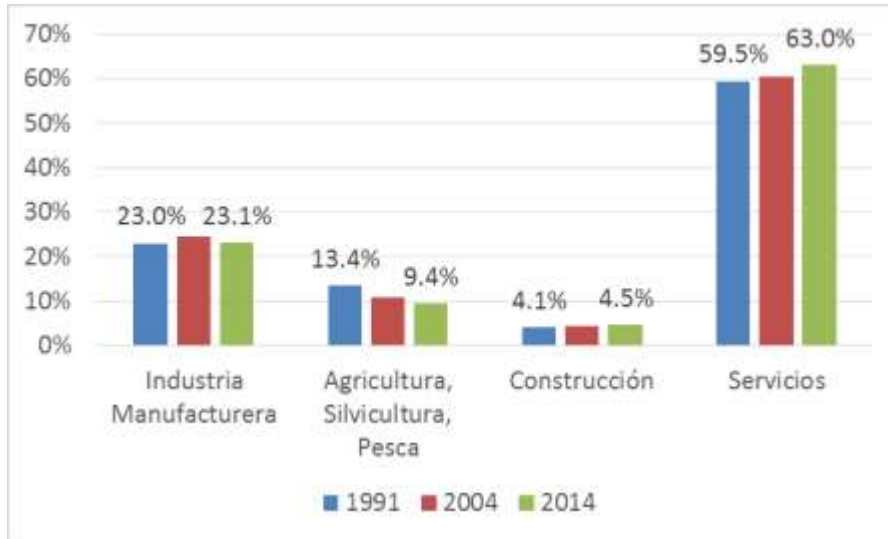
Cuadro 13 Tasas de Crecimiento Promedio de la Economía

	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 (Gráfico 3). 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.

Gráfico 3 Composición del PIB de Costa Rica

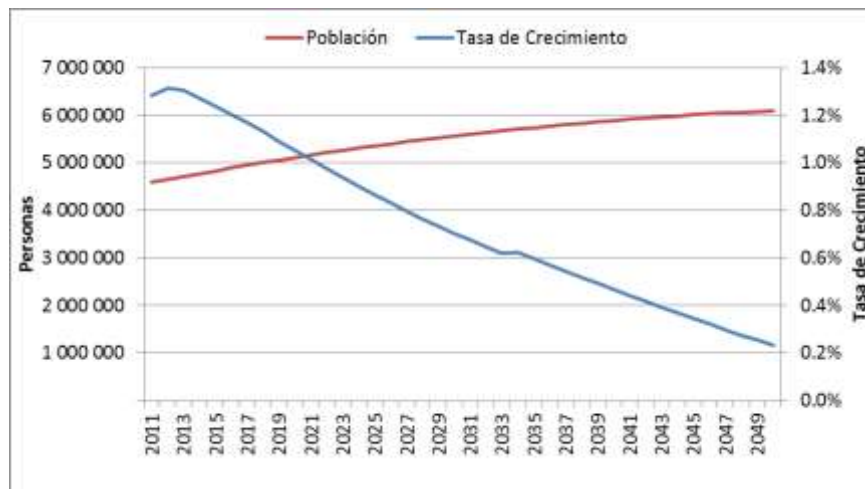


Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR

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 4.

Gráfico 4 Proyección de Población según Censo del 2012



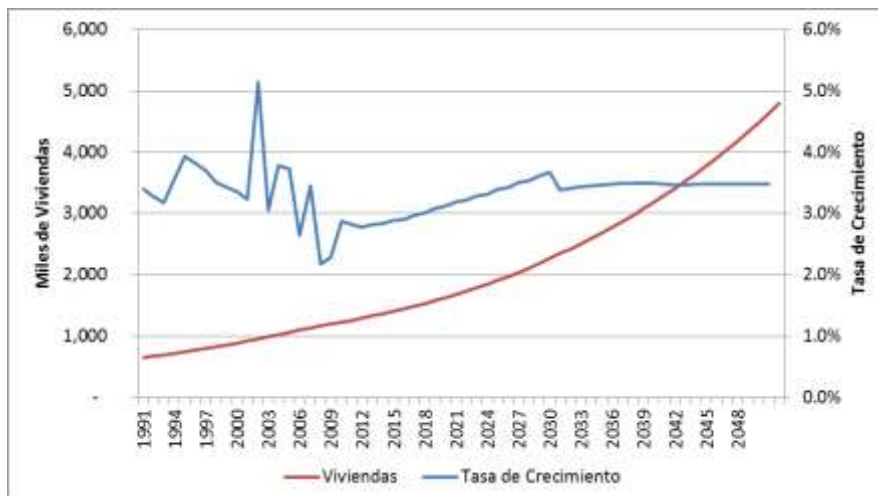
Fuente: INEC, Censo Nacional 2012

3.3 Viviendas

Por otra parte, se tiene una proyección de viviendas basado en los datos del INEC, lo cual se utiliza para analizar aspectos relativos al comportamiento de los residuos sólidos. La proyección se

realiza con base en el comportamiento de la población y otros aspectos culturales relacionados con la cantidad de personas por vivienda y hábitos de las familias (Gráfico 5).

Gráfico 5 Histórico y Proyección de Viviendas al 2050



Fuente: INEC, Censo Nacional 2012

3.4 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. Como se ve en el Cuadro 14, 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.

Cuadro 14 PIB per cápita para Países de la OCDE en US\$ a Precios Corrientes, 2014

País	PIB per cápita US\$	País	PIB per cápita US\$
Alemania	47.640	Hungría	13.470
Australia	64.680	Irlanda	44.660
Austria	50.390	Islandia	47.640
Bélgica	47.030	Italia	34.280
Canadá	51.690	Japón	42.000
Corea del Sur	27.090	Luxemburgo	69.880
Dinamarca	61.310	Noruega	103.050
		Nueva	
Eslovaquia	17.810	Zelanda	39.300
Eslovenia	23.220	Polonia	13.730
España	29.940	Portugal	21.320
Estados Unidos	55.200	Reino Unido	42.690
		República	
Finlandia	48.910	Checa	18.970
Francia	43.070	Suecia	61.600
Grecia	22.090	Suiza	90.670
Holanda	39.300		
		Promedio	43.884

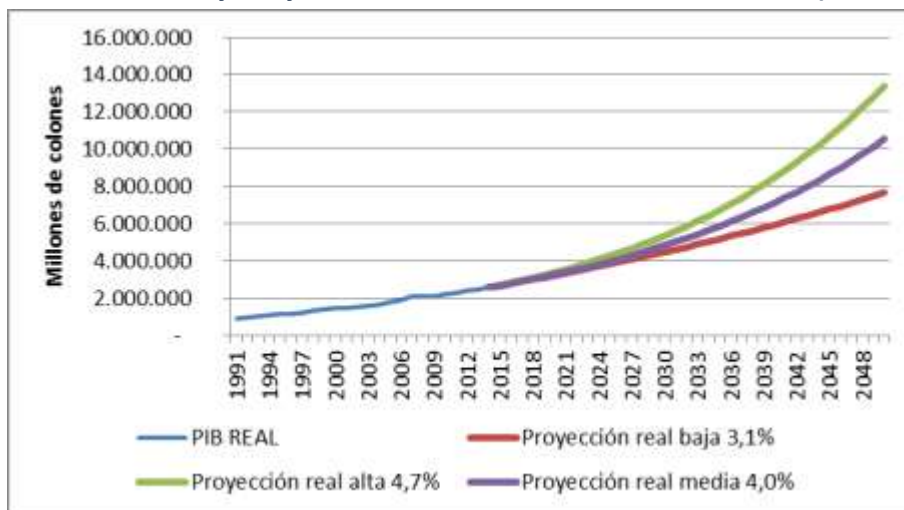
Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial¹²

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 6).

¹² <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.PCAP.CD>, recuperado el 3 de septiembre del 2015.

Gráfico 6 Histórico y Proyección del Producto Interno Bruto real (1991=100)



Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR

3.5 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. Las exportaciones del país se han diversificado significativamente y crecido de manera sostenida en los últimos años. 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.¹³

El país ha logrado diversificar su oferta exportable hacia productos más sofisticados y servicios de apoyo, posicionándose en cadenas de valor globales como la electrónica, los dispositivos médicos y la auditoría corporativa. Datos de la Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica indican que dentro de los diez principales productos de exportación del país se incluyen, además del banano y el café, las microestructuras electrónicas, los dispositivos de uso médico, los materiales eléctricos y los neumáticos.¹⁴

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

¹³ Rivera, L. y H. Rojas-Romagosa (2010); Segura y Vásquez (2011).

¹⁴ www.procomer.com, recuperado el 30 de agosto del 2015.

requeriría un comercio internacional menos carbono intensivo, con la transferencia de tecnologías más limpias.

Un reciente estudio 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 (Cuadro 15).¹⁵ 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.

Cuadro 15 Costa Rica: Uso de Factores por cada Millón de Colones (2011)

Factor de Producción	Exportaciones	Importaciones
Trabajo (número de trabajadores)	0,08	0,05
Gasolina (litros)	8,18	40,58
Diesel (litros)	12,14	8,69
Bunker (litros)	0,19	0,30
Agua (m3)	3,81	2,63
Emisiones (Gg de CO2e)	0,001	0,0004

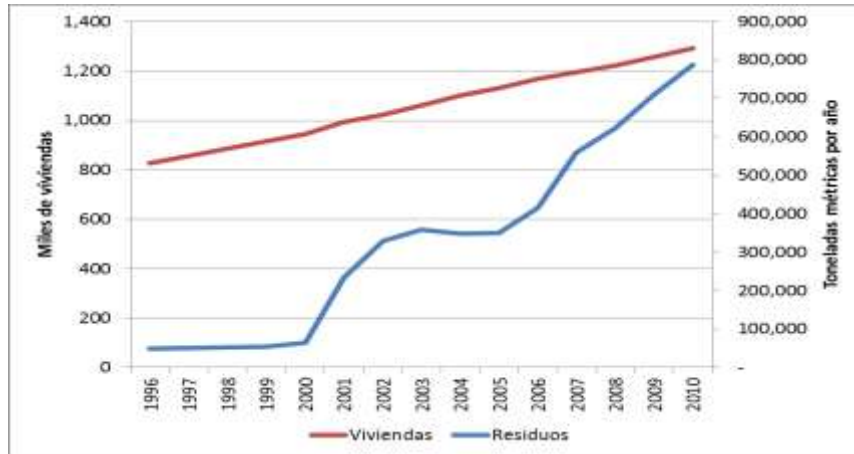
Fuente: Adamson-Badilla et al (2014)

3.6 Manejo de Residuos

Para el sector de residuos sólidos se analizan los registros de residuos recolectados por los municipios y se espera que estos tengan relación con el número de hogares o con el tamaño de la población. Se hace además una contraposición con el ingreso per cápita para analizar si la combinación de la población y la actividad económica influyen la generación de residuos. La comparación con las anteriores variables no presenta una aparente correlación, ya que la expansión de los residuos en el tiempo ha sido muy acelerada, en mayor magnitud que las variables comparadas. No se tiene una explicación clara, pero en la última década los municipios han hecho esfuerzos para gestionar sus residuos y el sector privado ha incrementado sus servicios de recolección a los municipios, por lo que en su conjunto, estos esfuerzos pueden explicar dicho comportamiento (Gráficos 7, 8 y 9).

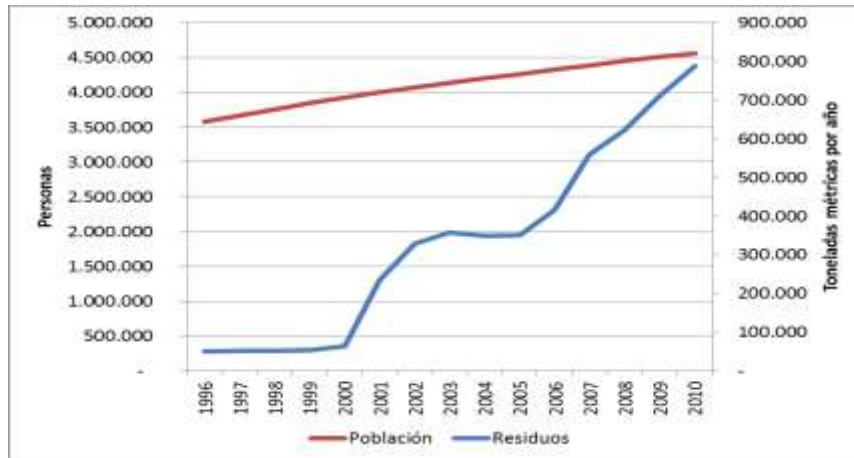
¹⁵ Adamson-Badilla et al (2014).

Gráfico 7 Residuos municipales y Número de Viviendas



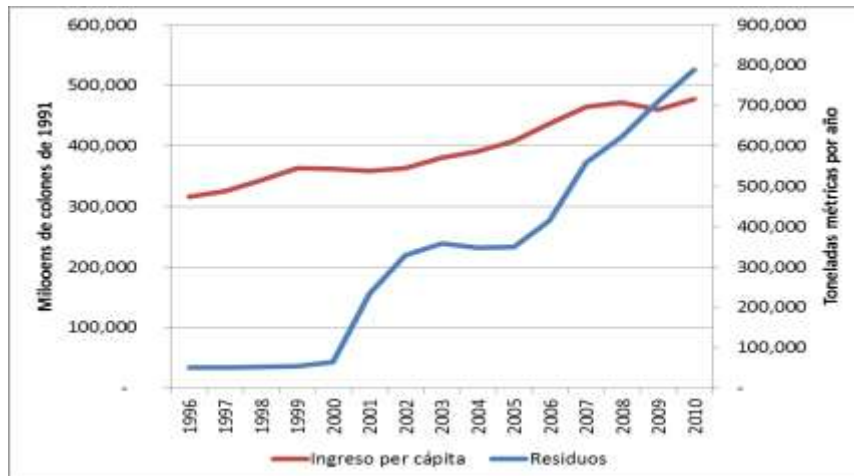
Fuente: elaboración propia con base en datos del INEC y el Ministerio de Salud

Gráfico 8 Residuos Municipales y Población



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEC y el Ministerio de Salud

Gráfico 9 Residuos Municipales y PIB per cápita

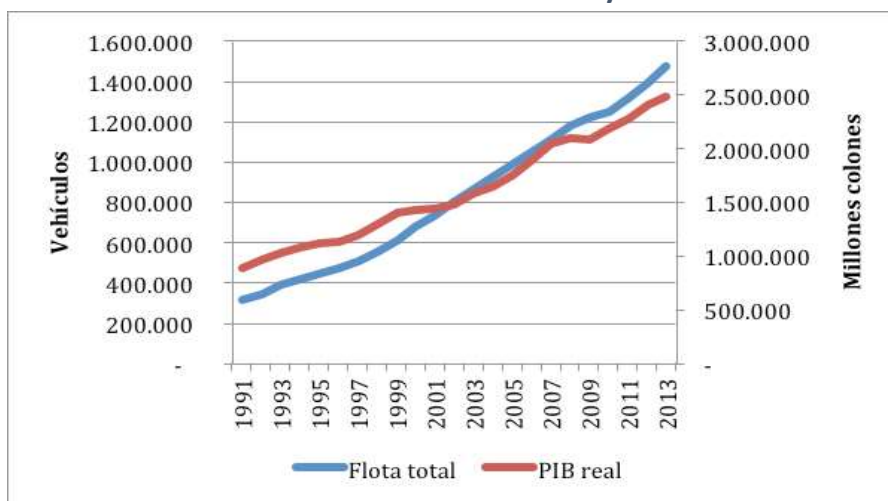


Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR y el Ministerio de Salud

3.7 Sector Transporte

El consumo de energía en el sector transporte está asociado al crecimiento de la flota vehicular, la cual a su vez, tal y como se puede observar en el Gráfico 10, tiene una alta correlación con el crecimiento de la economía, explicado especialmente por el vínculo con el transporte particular privado. Sin embargo, incluso flotas como la de transporte público así como la de carga, tienen una alta correlación con el crecimiento de la economía.

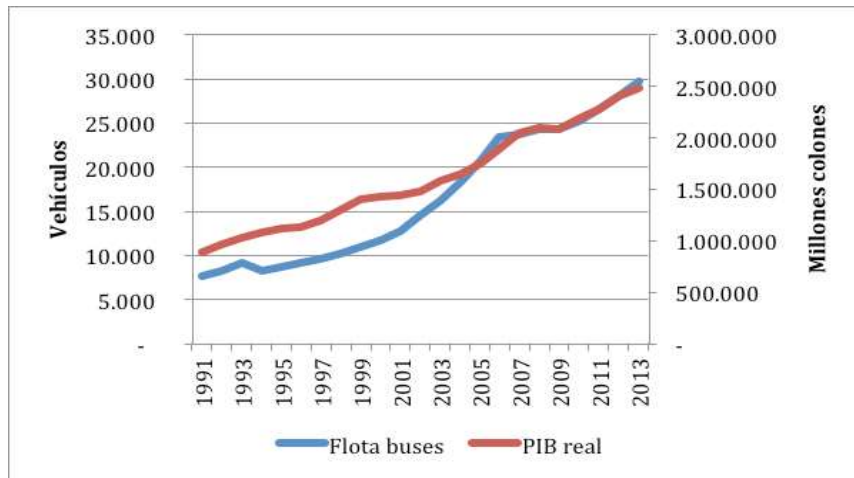
Gráfico 10 Flota Vehicular total y PIB real



Fuente: elaboración propia con base en datos del BCCR y la Dirección Sectorial de Energía (DSE)

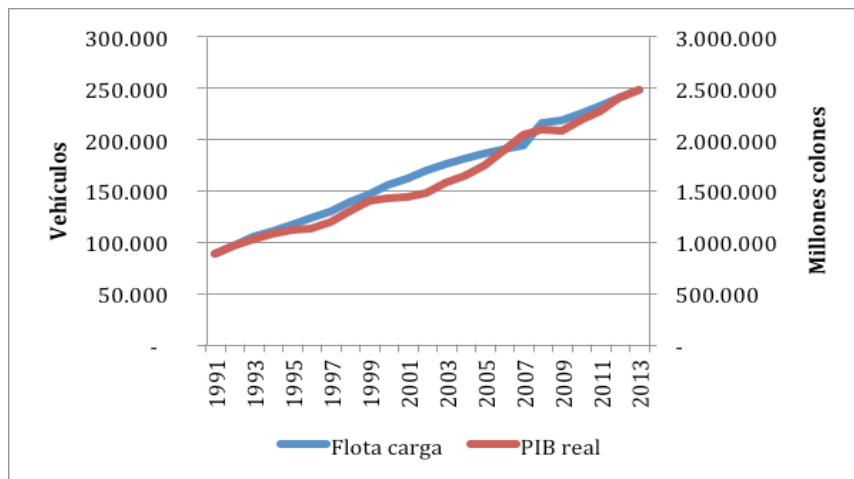
El consumo de combustibles por transportes en el país se puede modelar de acuerdo al consumo del diésel y el consumo de gasolina. El consumo de diésel es una función de la flota de carga y de transporte público por autobuses (Gráfico 11 y Gráfico 12), aunque se puede considerar la fracción privada que usa el combustible. Asimismo, el consumo de diésel está en función de su precio, el cual depende del precio internacional del petróleo. Por su parte, el consumo de la gasolina está en función de la flota de autos particulares, motocicletas y otros vehículos de gasolina. Igualmente, el consumo está en función del precio de la gasolina, que sigue el comportamiento internacional de los precios del petróleo.

Gráfico 11 Flota de Transporte público y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y la Dirección Sectorial de Energía (DSE)

Gráfico 12 Flota de Vehículos de Carga y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y la Dirección Sectorial de Energía (DSE)

3.8 Sector Eléctrico

Las emisiones del sector eléctrico provienen principalmente del uso de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica con plantas térmicas, la cuales en el 2014 representaron el 10% de la generación de 10.118,33 GWh (Cuadro 16).

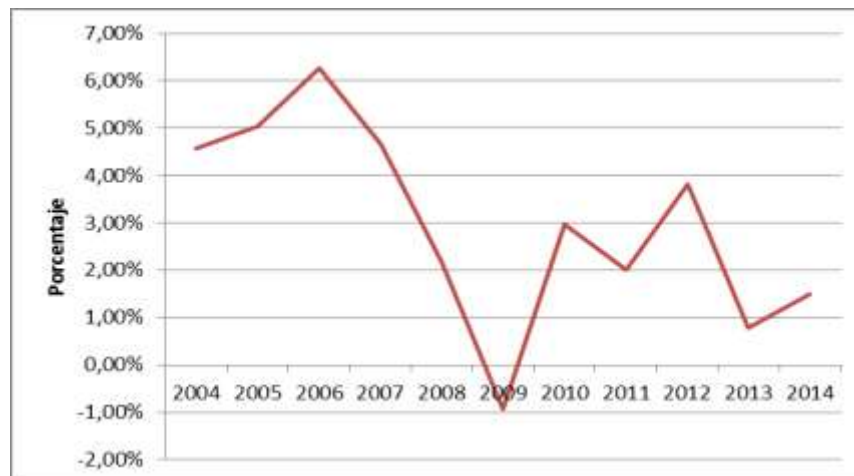
Cuadro 16 Composición de la Generación Eléctrica (2014)

Fuente	Gwh	Participación
Hidro	6.717.15	66%
Geotérmico	1.538.14	15%
Térmico	1.043.2	10%
Eólico	7.34.75	7%
Bagazo	83.63	0.8%
Solar	1.46	0.01%
Total	10.118.33	100%

Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad

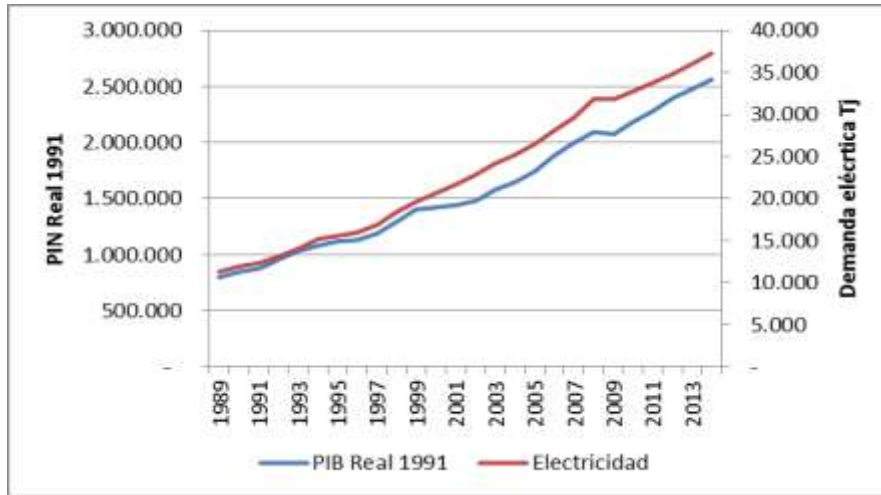
El crecimiento de la demanda de electricidad ha reaccionado directamente con el desenvolvimiento o las expectativas de crecimiento de la economía. Con un crecimiento expansivo en el 2006, la tasa de crecimiento de la demanda comenzó a caer a tasas más cercanas al crecimiento de la economía, sin embargo, la crisis financiera internacional impactó la demanda eléctrica, especialmente en el 2009, y desde ese año se ha dado un menor ritmo de crecimiento en el consumo eléctrico. En el 2013 se comenzaron a suscitar bajas expectativas de crecimiento económico para el país y una coyuntura política con expectativas de cambio, lo que impactó la expansión esperada de las empresas y consecuentemente la demanda eléctrica (Gráfico 13). El análisis de la demanda eléctrica indica que sigue un patrón muy relacionado con el crecimiento del PIB, tal y como se observa en el Gráfico 14. Esto indica que las emisiones de la generación eléctrica pueden estar explicadas por el desenvolvimiento de la demanda y la estructura de generación de la oferta, con su componente de generación térmica.

Gráfico 13 Tasa de Crecimiento de la Demanda Eléctrica 2004-2014



Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

Gráfico 14 Demanda Eléctrica y PIB real

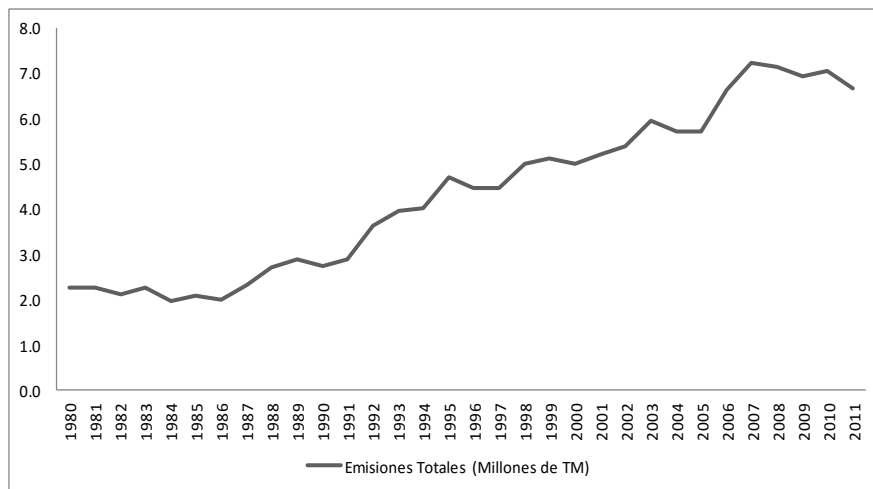


Fuente: elaboración propia con datos del BCCR e ICE

3.9 Indentidad Kaya

Las emisiones del país por el consumo total de energía se han triplicado en las últimas tres décadas (Gráfico 15).¹⁶ Esto indica que el crecimiento económico de Costa Rica se ha alcanzado a la par de mayores emisiones de fuentes de energía fósil, principalmente en el sector transporte y la agricultura.

Gráfico 15 Costa Rica: Emisiones de CO₂ por Consumo de Energía (Millones de TM)*



*Se refiere a las emisiones de CO₂ generadas por el consumo total de las diversas fuentes de energía utilizadas en el país.

Fuente: elaboración propia con datos del U.S. Energy Information Administration

¹⁶ En este caso se utiliza esta fuente de información para analizar la tendencia histórica, dado que no se cuenta con una fuente oficial nacional que presente el comportamiento histórico de las emisiones.

Una herramienta frecuentemente utilizada para explorar los determinantes agregados de las emisiones es la Identidad Kaya.¹⁷ Según esta identidad, las emisiones de un país se pueden descomponer en el producto de cuatro factores básicos: a) las emisiones de CO₂ por unidad de energía, la energía consumida por unidad de PIB, el PIB por habitante, y la población:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \cdot \frac{E}{PIB} \cdot \frac{PIB}{POB} \cdot POB$$

Con base en la identidad se pueden realizar estimaciones de posibles escenarios de emisiones tomando en cuenta el comportamiento de sus componentes, partiendo de un escenario de referencia (BAU). Utilizando las estimaciones de comportamiento de cada uno de los componentes se puede identificar las posibles implicaciones de medidas de mitigación en el futuro. Asimismo, se puede realizar supuestos sobre metas de emisiones y determinar los impactos sobre las variables determinantes.

Como las emisiones de CO₂ se relacionan con el producto de varios factores, su cambio no puede simplemente expresarse como la suma de los cambios absolutos en esos factores. En este sentido, Bacon y Bhattacharya (2007) sugieren utilizar el Índice Divisia (su media logarítmica) para obtener una descomposición más precisa.¹⁸ Así, las variaciones en las emisiones entre el año 0 y un año t dependerán del cambio en cada uno de los componentes expresados como:

$$\Delta CO_2 = [CO_{2t} - CO_{20}] * \left[\left\{ \frac{\ln \left[\frac{C(t)}{C(0)} \right]}{\ln \left[\frac{CO_{2t}}{CO_{20}} \right]} \right\} + \left\{ \frac{\ln \left[\frac{E(t)}{E(0)} \right]}{\ln \left[\frac{CO_{2t}}{CO_{20}} \right]} \right\} + \left\{ \frac{\ln \left[\frac{Q(t)}{Q(0)} \right]}{\ln \left[\frac{CO_{2t}}{CO_{20}} \right]} \right\} + \left\{ \frac{\ln \left[\frac{P(t)}{P(0)} \right]}{\ln \left[\frac{CO_{2t}}{CO_{20}} \right]} \right\} \right]$$

Donde:

C = Intensidad de Carbono de la Energía (por uso de combustibles fósiles)

E = Intensidad Energética del PIB

Q = PIB por habitante

P = Población

¹⁷ Kaya, Y. (1990).

¹⁸ Lo que se busca es aproximar los cambios en los componentes como una función continua en el tiempo, como cambios relativos a las emisiones totales.

En el Cuadro 17 se observa el comportamiento de cada uno de los componentes de la Identidad Kaya para Costa Rica entre los años 1980 y 2011, con base en datos históricos. Las emisiones durante los 80 y 90 se generaron principalmente por un aumento en la intensidad energética y el crecimiento demográfico. En la primera mitad de la década del 2000 el país presentó una mejora en el uso energético por unidad de Producto Interno Bruto (PIB) y las emisiones por uso de energía crecieron. Desde el 2005 las emisiones han crecido menos que en décadas anteriores, resultado de un mayor crecimiento económico y del aumento en la población.

Esto muestra cómo el análisis del crecimiento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) requiere identificar sus principales fuentes, para así focalizar las áreas de acción prioritarias para las recomendaciones de política. Este enfoque macro debe sin embargo complementarse con un análisis más detallado (a nivel de proyectos) para poder evaluar la viabilidad de las acciones requeridas para alcanzar un mayor ritmo de crecimiento económico, menos intensivo en energía y emisiones.

Cuadro 17 Costa Rica: Composición del Cambio en Emisiones por Consumo de Energía
Cambio Total (Millones de TM de CO₂)

Periodo	Intensidad de Carbono (CO ₂ /Energía)	Intensidad Energética (Energía/PIB)	PIB per Cápita	Población	Cambio Total
1980 – 1990	(0.26)	0.14	(0.09)	0.68	0.47
1990 – 2000	(0.14)	0.50	0.96	0.94	2.27
2000 – 2005	(0.04)	(0.31)	0.64	0.43	0.72
2005 – 2011	0.07	(0.68)	1.04	0.52	0.95
Contribución Relativa de Cada Componente					
Periodo	Intensidad de Carbono (CO ₂ /Energía)	Intensidad Energética (Energía/PIB)	PIB per Cápita	Población	Cambio Total
1980 – 1990	-56%	29%	-18%	145%	100%
1990 – 2000	-6%	22%	43%	41%	100%
2000 – 2005	-6%	-44%	89%	60%	100%
2005 – 2011	7%	-72%	110%	55%	100%

Fuente: elaboración propia con datos del U.S. Energy Information Administration

3.10 Procesos Industriales

En los procesos industriales, el cemento representa el 74% de las emisiones totales. La producción de cemento está ligada con la construcción residencial, comercial, industrial y otras (Gráfico 16). La actividad de construcción es muy volátil respecto al comportamiento del PIB, y en el análisis macroeconómico se considera que responde a las expectativas de crecimiento de la economía, por lo tanto es difícil modelar la actividad de la construcción respecto al PIB si no se determinan sus rezagos. Sobre los otros procesos industriales no es posible modelar de manera

aislada las emisiones de refrigerantes, ya que su registro en el país es reciente y la información aún no está disponible.

Gráfico 16 Gasto en Construcción y Producción de Cemento

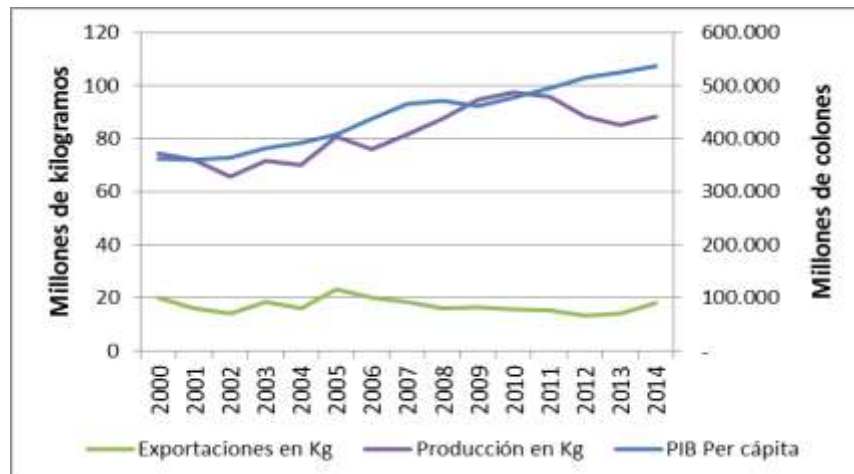


Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

3.11 Sector Agropecuario

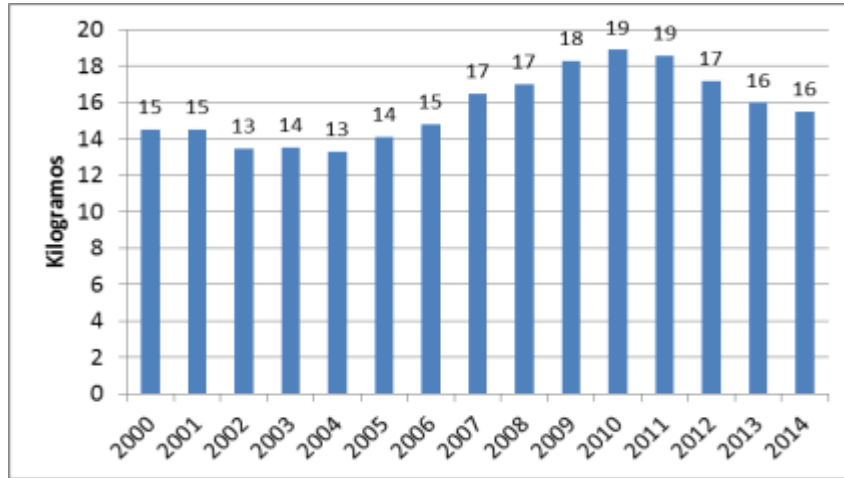
Debido que la producción de ganado bovino cuenta con mejores estadísticas, se tiene que para la producción de carne en el país hasta el año 2011 se presentó una tendencia al alza, la cual seguía muy de cerca la tendencia del PIB per cápita. En el 2011 se experimenta una caída en el consumo per cápita de carne de res, lo que impacta igualmente la producción nacional. Las exportaciones por su parte se mantienen muy estables durante el periodo analizado, y equivalen a cerca de una quinta parte (21% en promedio) de la producción nacional (Gráfico 17). El consumo per cápita de carne de res venía incrementándose ligeramente desde el 2007 (Gráfico 18), pero desde el 2011 se comienza a contraer y siguió esa tendencia durante el 2014.

Gráfico 17 Producción y Exportación de Carne de Res y PIB per cápita



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y CORFOGA

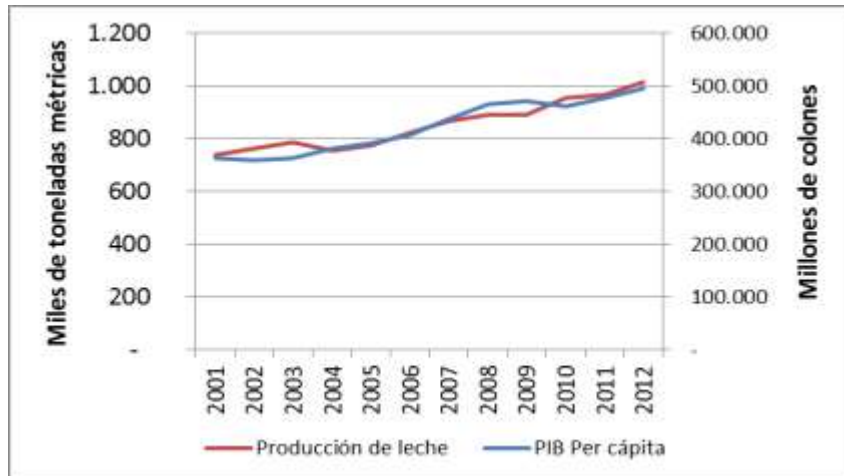
Gráfico 18 Consumo per cápita de Carne de Res



Fuente: elaboración propia con datos de CORFOGA

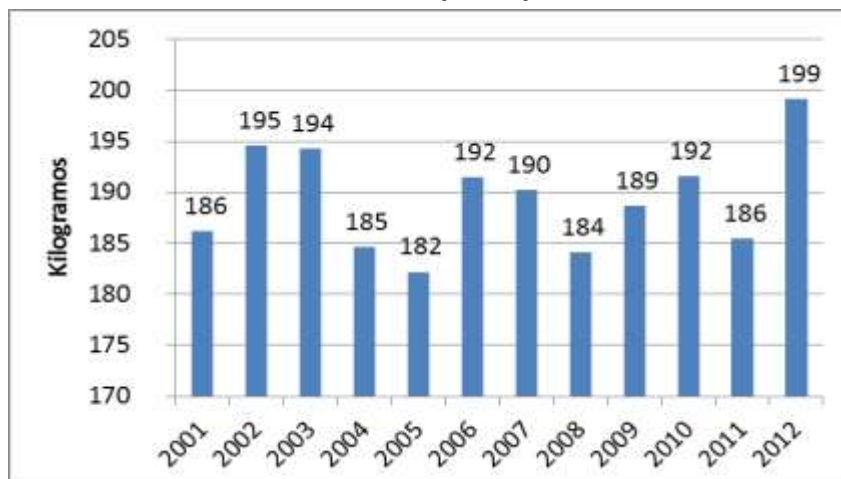
La producción de leche por su parte presenta un crecimiento asociado con el Producto Interno Bruto, señalando el doble efecto de crecimiento poblacional y la actividad económica (Gráfico 19). En el Gráfico 20 se puede observar que el consumo per cápita de leche varía de año en año, pero oscila alrededor de una tendencia muy estable en el tiempo.

Gráfico 19 Producción de Leche y PIB per cápita



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y Cámara Nacional de Productores de Leche

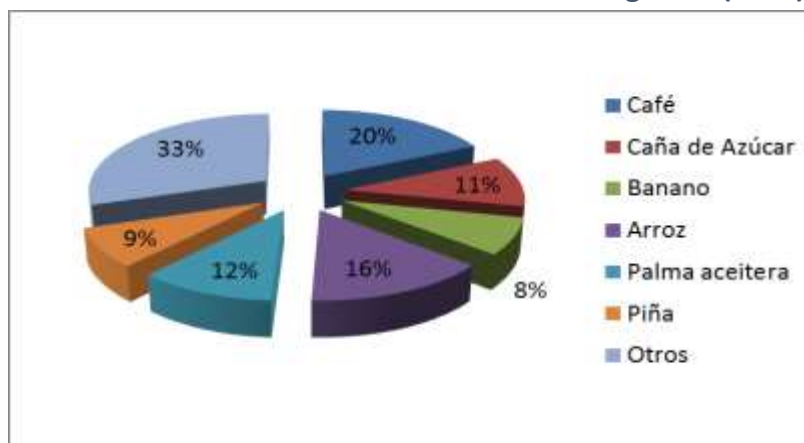
Gráfico 20 Consumo per cápita de Leche



Fuente: elaboración propia con datos de Cámara Nacional de Productores de Leche

Los cultivos agrícolas y las pasturas explican el 32% de las emisiones de las actividades agropecuarias, especialmente por el componente del N_2O en los suelos agrícolas y en las quemas, y por el metano del arroz anegado. Para analizar los drivers de las actividades agropecuarias, es necesario establecer el comportamiento de los productos que más cubre el área de cultivo en el país. En el Gráfico 21 se muestra que las actividades de café, caña de azúcar, banano, arroz, palma de aceite y piña, representan el 77% del área sembrada en el 2014.

Gráfico 21 Distribución de Área de Siembra agrícola (2014)



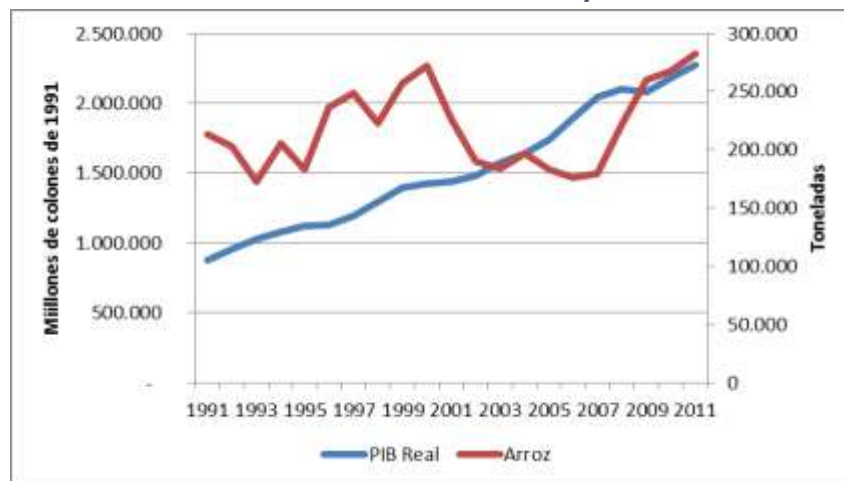
Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA/MAG

En el caso del café se puede ver que es una actividad que se ha venido contrayendo de manera sostenida en las últimas dos décadas. Resulta interesante que al anteponerlo gráficamente ante el PIB per cápita, aparentemente las tendencias se contraponen, lo cual se debe analizar estadísticamente. Si existe una relación inversa con datos estadísticos, podría ser un indicio de que la actividad agrícola ha sido abandonada en muchas regiones cerca de las ciudades debido a

que las tierras cafeteras han dado paso a la urbanización, ya que el café por muchos siglos se produjo en zonas urbanas del Valle Central en especial, en donde el uso urbano elevó el costo de oportunidad (valor de uso alternativo) de las plantaciones de café.

El arroz presenta poca correlación con el PIB (Gráfico 22). El comportamiento en las últimas décadas en la producción del arroz refleja los cambios estructurales que ha tenido la actividad, la cual ha sido protegida de la competencia externa por muchos años. A finales de los años noventa se suscita una baja internacional del precio, lo que incentivó más importaciones y una menor producción local. Con la recuperación de los precios internacionales, especialmente desde el 2007 (Gráfico 23), se incentiva de nuevo la producción nacional ante importaciones relativamente más caras y la ventaja de un mercado protegido y regulado para los productores.

Gráfico 22 Producción de Arroz y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y SEPSA/MAG

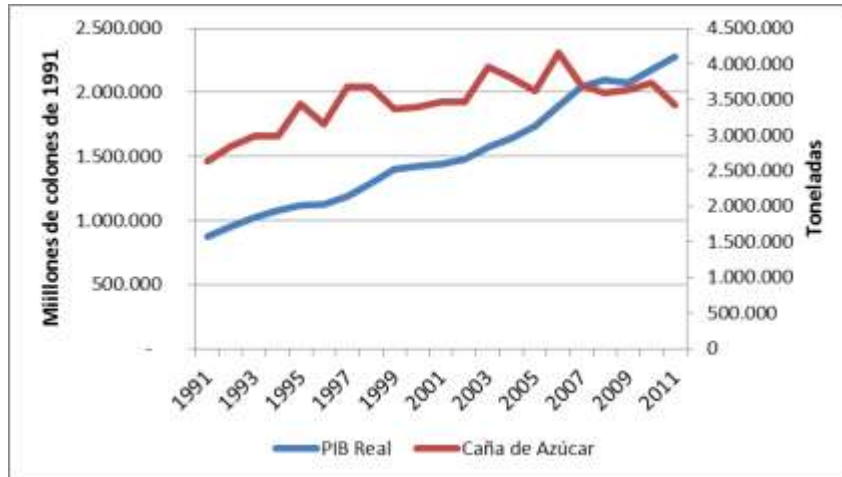
Gráfico 23 Precios internacionales y Producción Nacional del Arroz



Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA/MAG

La caña de azúcar, por su parte, muestra relación con la tendencia del PIB per cápita, dada la importancia del azúcar en la dieta del costarricense (Gráfico 24). No obstante, la reducción en los últimos años parece mostrar un cambio en la dieta a favor de sustitutos dietéticos del azúcar, lo que ha impulsado una campaña de la industria nacional a favor del consumo del azúcar.

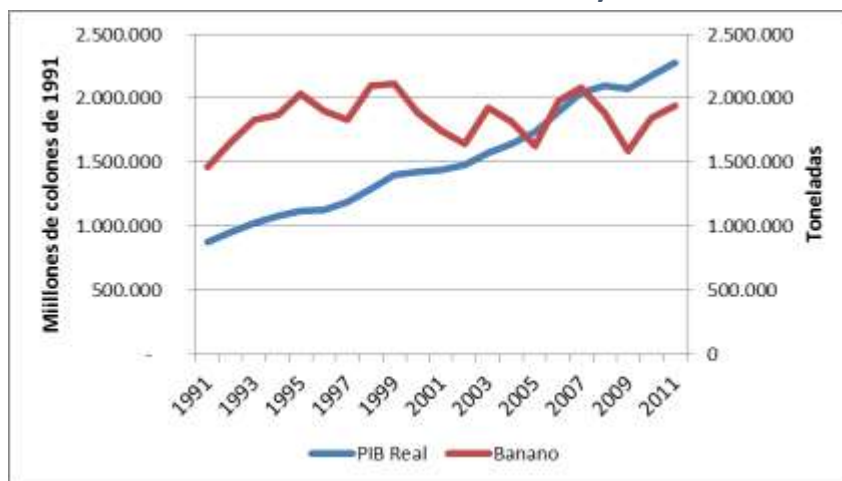
Gráfico 24 Producción de Caña de Azúcar y PIB per cápita



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y SEPSA/MAG

La producción de banano, palma de aceite y piña están orientadas hacia el comercio internacional, por lo que los drivers son esencialmente externos. En el caso del banano, se está ante una actividad con cuotas de mercado, por lo que sus niveles de producción oscilan en un rango que no evidencia relación con la expansión de la economía (Gráfico 25).

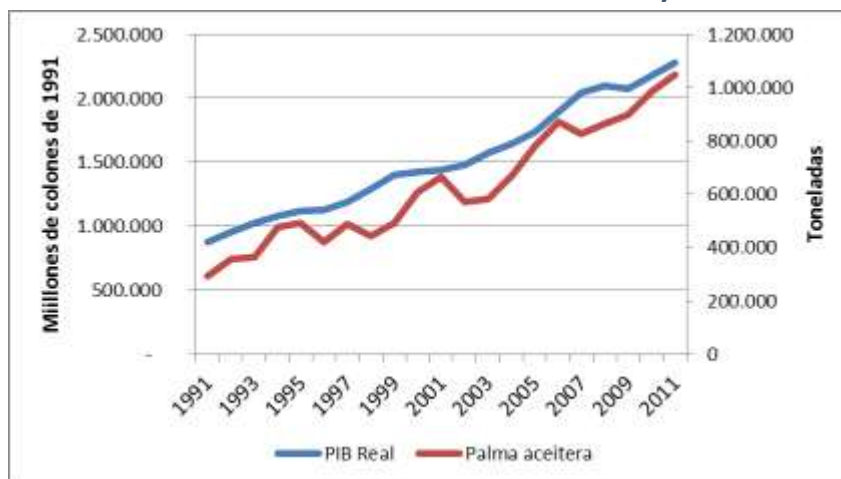
Gráfico 25 Producción de Banano y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y SEPSA/MAG

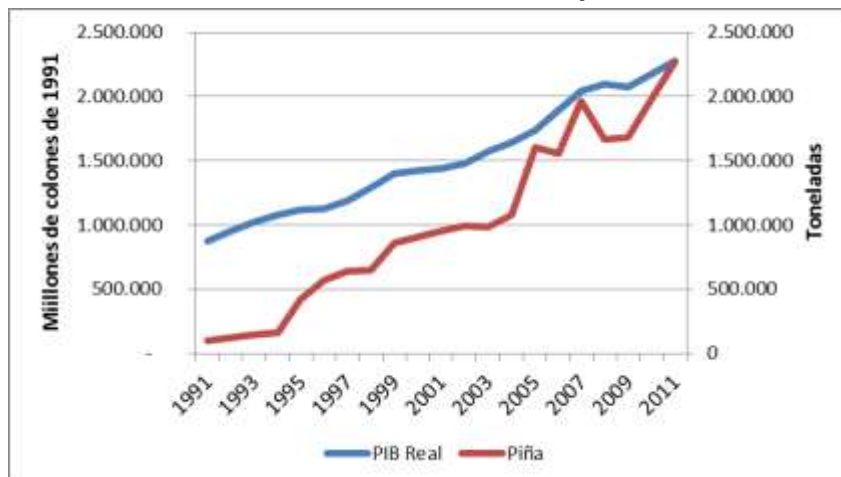
La palma de aceite y la piña sí se asocian con la expansión del PIB, aunque este sería más un resultado por la alta influencia de factores externos del comercio internacional que explican la expansión de estos productos. En la modelación se podría evaluar el rol del PIB como *driver* (Gráfico 26 y Gráfico 27).

Gráfico 26 Producción de Palma de Aceite y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA/MAG

Gráfico 27 Producción de Piña y PIB real



Fuente: elaboración propia con datos del BCCR y SEPSA/MAG

3.12 Sector Forestal

Para analizar los drivers en el sector forestal se debe hacer una diferenciación de los fenómenos que el bosque puede experimentar, a saber: deforestación, degradación, cambio en el uso de la tierra y conservación del acervo de biomasa. La deforestación es una pérdida de cobertura boscosa permanente o de largo plazo, y significa una transformación del bosque a otro uso de la

tierra. La degradación forestal por su parte es la reducción de la capacidad del bosque de proporcionar sus productos y sus servicios.

En Costa Rica, debido a las políticas que en los últimos años han incrementado la cobertura boscosa hasta un 52% del territorio nacional en el 2013, que desde el 2000 hasta el 2010 permitieron un aumento de la cubierta forestal neta de aproximadamente 23.000 hectáreas por año, es decir, el 0,9% anual,¹⁹ se pueden identificar drivers que podrán significar una reversión de las acciones que el país ha llevado en las últimas décadas y que presionarían sobre la deforestación y la degradación del bosque. Un factor es el aprovechamiento de la madera, lo que puede incrementar la extracción controlada o no (tala ilegal), debido a las limitaciones para una protección efectiva que tiene el Estado en ciertas zonas del país.

Otro fenómeno es la conversión de tierras, cambio de uso de los bosques a favor de los cultivos agrícolas y las pasturas. En el reciente inventario de GEI del 2010 se encontró que 1.520 ha fueron deforestadas, con emisiones de 772,7 Gg de CO₂ equivalente, lo que representa casi un 10% de las emisiones netas totales registradas en ese inventario (IMN, 2014). El principal factor que impulsa la deforestación en los terrenos privados es la conversión de los bosques para el uso agrícola y ganadero. En muchos casos, los usuarios de la tierra generan un ingreso anual más alto con la agricultura o la cría de ganado que con los bosques, condicionados por factores tales como el acceso vial. Esta situación a veces se ve agravada por las políticas que favorecen el desarrollo agrícola. En las zonas protegidas, la falta de financiamiento suficiente y la falta de recursos humanos dan lugar a la entrada de ocupantes y leñadores ilegales. Sin embargo, como se verá más adelante, la dinámica de cambio de uso entre el bosque y las actividades agropecuarias va en doble sentido, siendo las tierras agrícolas las que más aportan a la regeneración de los bosques secundarios.

A pesar de la existencia de un sistema de titulación relativamente seguro, las cuestiones de tenencia de la tierra también juegan un papel importante. En los territorios indígenas, algunas comunidades tienen dificultades para evitar que los agricultores no indígenas invadan sus tierras forestales; por otra parte, en las zonas protegidas de propiedad privada, las dificultades para obtener un título de propiedad válido impiden la participación en programas tales como el programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA).

¹⁹ FAO (2010). La Propuesta de Preparación para REDD indica una tasa menor de reforestación neta de aproximadamente 12,800 hectáreas por año en el período comprendido entre 2000 y 2005 (FONAFIFO, 2012).

Otro factor son los incendios, los cuales son una amenaza en sectores en donde la época seca los hace sumamente vulnerables. La dinámica poblacional, económica, comercial y los patrones de migración seguirán siendo una amenaza por la creación de nuevos centros urbanos, especialmente asociados a las mejoras de infraestructura vial que permite el acceso a nuevas zonas geográficas y el incentivo a nuevos centros económicos o de producción. En este ámbito también está el repunte de actividades intensivas en el uso de la tierra, cuya baja competitividad en el pasado permitió el abandono de tierras y el avance del bosque, pero que es una situación difícil de mantener debido a que pese al pago de servicios al bosque, su competitividad respecto a otras actividades económicas es muy limitada.

Algunos drivers son políticos, pues la estructura de protección del bosque en Costa Rica se ha sostenido con políticas como la protección por parte del estado con diversos regímenes de conservación y con el sistema de pago de servicios ambientales, cuyo sostenimiento requiere de grandes esfuerzos del gobierno costarricense en el futuro y apoyo de la comunidad internacional. Por su parte, son importantes los instrumentos políticos que fomentan o castigan ciertas actividades de amenaza a los bosques, y en este ámbito, la Ley Forestal en Costa Rica (1996) prohíbe el cambio de uso del suelo una vez que la tierra se ha convertido en bosque. No obstante, la capacidad del estado para vigilar y hacer valer la ley es limitada, por lo que en muchas zonas del país la amenaza de deforestación del bosque es inminente.

Como drivers políticos que fortalezcan la tendencia de aumento de cobertura forestal en Costa Rica, se tiene que el sostenimiento del PSA por medio del impuesto del 3.5% sobre el consumo de combustibles²⁰ y la recientemente adoptada estrategia REDD+, vienen a crear un entorno favorecedor para el sostén de las políticas que han distinguido al país durante ya varias décadas. El objetivo de la estrategia REDD+ es *“ayudar a Costa Rica a reducir las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y la degradación forestal, gestionar de manera sostenible los bosques, y conservar y mejorar las reservas forestales de carbono (REDD-Plus) de manera racional en términos sociales y ambientales, a la vez que se obtiene acceso a incentivos financieros internacionales para los usuarios de los bosques locales, lo que ayudará a mitigar el cambio climático a nivel mundial.”*²¹

Para las proyecciones de las emisiones netas esperadas en el sector forestal, es importante analizar la dinámica de pérdidas de bosque maduro y regeneración de bosque secundario. Para este análisis se usa el periodo comprendido entre el 2008 y 2013, ya que se considera que en

²⁰ El PSA también se ha financiado con préstamos del Banco Mundial.

²¹ FONAFIFO (2012).

este periodo las tasas de deforestación y regeneración podrían ser más representativas de lo que se puede producir en un escenario futuro. En el Cuadro 18 se observa la dinámica de pérdidas de cobertura del bosque maduro entre 2008 y 2013 (45,059 hectáreas), en donde el principal factor es la creación de pastizales, representando un 68% de la pérdida de bosques.

No obstante, cuando se considera la regeneración de bosque secundario (218.752 hectáreas), la principal fuente de área, lo vuelven a constituir las áreas de pastizales, representando un 65% del área aportada, seguido por la pérdida de área de los cultivos permanentes (24%) y los cultivos anuales (7%). Esto suma 96% de la regeneración de bosques secundarios producto de la contracción del área de la actividad agropecuaria (Cuadro 19). En el Gráfico 28 se observa la dinámica de pérdida y ganancia del área agropecuaria sobre el bosque.

Cuadro 18 Desglose de la Pérdida Bosque Maduro del Periodo 2008-2013 (hectáreas)

Desglose de deforestación	Bosque muy húmedo/pluvial	Bosque muy húmedo	Bosque Seco	Manglares	Yolillales	Total
Cultivos anuales	917	1.444	19	69	457	2.381
Cultivos permanentes	639	1.318	0	32	779	1.957
Pastizales	14.043	15.823	731	88	1.470	30.596
Áreas Urbanas	85	699	3	4	4	787
Suelos desnudos	598	1.506	48	54	23	2.152
Otros	3.277	3.866	43	432	1.396	7.186
Total	19.558	24.656	844	678	4.128	45.059

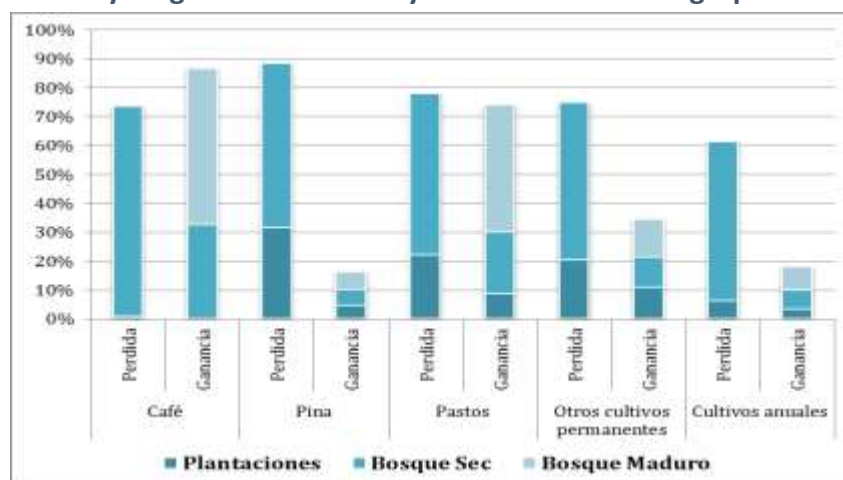
Fuente: elaboración propia con base en datos a partir de mapas de Agresta (2015)

Cuadro 19 Origen de la Regeneración Bosques Secundario del periodo 2008-2013 (hectáreas)

Desglose adiciones	Bosques nuevos muy húmedo/pluvial	Bosques nuevos muy húmedo	Bosque nuevos Seco	Manglares nuevos	Yolillales nuevos	Total
Cultivos anuales	6.888	8.161	217	643	520	15.266
Cultivos permanentes	13.204	38.277	3	495	3.926	51.484
Pastizales	41.632	98.347	2.823	833	5.610	142.802
Áreas Urbanas	6	124	1	5	2	131
Suelos desnudos art	2.357	6.387	325	407	95	9.068
Total	64.088	151.296	3.368	2.384	10.152	218.752

Fuente: elaboración propia con base en datos a partir de mapas de Agresta (2015)

Gráfico 28 Destino y Origen de la Pérdida y Ganancia de Área Agropecuaria (2008-2013)



Fuente: Elaboración propia con base en datos a partir de mapas de Agresta (2015)

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).²² 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),²³ 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,²⁴ 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. Como se ve en el Cuadro 20, 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%.

El Cuadro 21 presenta la composición de los residuos sólidos por tipo de componente. Esta composición del 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, las cuales se muestran en el Cuadro 22, en la columna de línea de referencia. 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%.

²² Janssen (2012).

²³ GIZ (2009).

²⁴ 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 20 Generación de Residuos Sólidos (2010)

Disposición final	Cantidad ton/año	Porcentaje
Recolección municipal	1.351.610,2	83,4%
No recolectada		16,7%
Enterrada	82.205,7	5,1%
Quemada	166.357,0	10,3%
En lote baldío	5.350,7	0,3%
Rio, quebrada o mar	1.135,0	0,1%
Otro	14.754,9	0,9%
Total	1.621.413,4	100%
kg/día	0,98	
kg/año	357,62	

Fuente: IMN (2014)

Cuadro 21 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			
2011	0,99	362,02	2031	1,23	449,99
2012	1,00	366,42	2032	1,24	454,39
2013	1,02	370,82	2033	1,26	458,78
2014	1,03	375,21	2034	1,27	463,18
2015	1,04	379,61	2035	1,28	467,58
2016	1,05	384,01	2036	1,29	471,98
2017	1,06	388,41	2037	1,31	476,38
2018	1,08	392,81	2038	1,32	480,78
2019	1,09	397,21	2039	1,33	485,17
2020	1,10	401,60	2040	1,34	489,57
2021	1,11	406,00	2041	1,35	493,97
2022	1,12	410,40	2042	1,37	498,37
2023	1,14	414,80	2043	1,38	502,77
2024	1,15	419,20	2044	1,39	507,17
2025	1,16	423,60	2045	1,40	511,56
2026	1,17	428,00	2046	1,41	515,96
2027	1,18	432,39	2047	1,43	520,36
2028	1,20	436,79	2048	1,44	524,76
2029	1,21	441,19	2049	1,45	529,16
2030	1,22	445,59	2050	1,45	530,00

Fuente: elaboración propia con datos de OCDE e INEC

Cuadro 22 Composición de los Residuos Sólidos

Componentes	Residuos de	Residuos de	Material reciclaje	Otros	Total
	Comida	Jardines y Parques			
% Residuo	43,5%	8,0%	29,6%	18,9%	100%

Fuente: Janssen (2012)

Cuadro 23 Porcentaje de Reciclaje de cada Material recolectado

Tipo de Material	Línea de Referencia
Papel y cartón	35%
Plástico	35%
Vidrio	24%
Metales	45%
Aluminio	55%
Textiles	10%
Tasa de reciclaje respecto total de residuos	9,18%

Fuente: Janssen (2012)

4.1.1.1 Lugares de Disposición

El Cuadro 24 muestra los lugares actuales de disposición de residuos sólidos y los porcentajes de captación de metano y quema del mismo. La eficiencia de captación resultante es del 25%. El Cuadro 25 presenta cómo el sistema de tratamiento de residuos sólidos actual. La tasa de eficiencia de captación es del 25% (Cuadro 26).

Cuadro 24 Lugares de Disposición de Residuos sólidos

Lugar de Disposición	La Carpio	Los Mangos	Aserrí	Los Pinos	Rellenos fuera del GAM	Vertederos fuera del GAM
% Residuos recibido	39,8%	16,3%	11,3%	32,6%	39%	61%
Captación	50,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	0%
Quema de captación	100,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	0%
Tasa de eficiencia de captación resultante						25%

Fuente: Janssen (2012)

Cuadro 25 Sistema de Tratamiento actual

Disposición	Línea de Referencia
No recolectado	16,7%
Vertederos	7,6%
Rellenos sanitarios con captación de gas	75,7%
Relleno sanitario con estabilización biológica	0,0%
Incineración	0,0%

Fuente: elaboración propia con datos de Janssen (2012)

Cuadro 26 Tasa de Eficiencia de Captación

Concepto	Línea de Referencia
Tasa de Captación de Metano	25%
Quema	55%
Generación eléctrica	0%

Fuente: elaboración propia con datos de Janssen (2012)

4.1.1.2 Proyección de Línea de Referencia

En el Cuadro 26 se muestra la generación total de residuos en la línea de referencia y los lugares donde los residuos son dispuestos. Esta es la 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 (Cuadro 28). 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. En el Cuadro 29 se muestran los parámetros utilizados para la calibración con el modelo IPCC Waste Model y calcular las emisiones relacionadas con la tecnología de disposición y tratamiento.

Cuadro 27 Generación de Residuos sólidos en el Escenario de Referencia (TM)

Año	Generación RSO	No recolectado	Total reciclado	Total en rellenos y vertederos	Rellenos sanitarios en el GAM	Rellenos fuera del GAM	Vertederos fuera del GAM
2015	1.834.377	302.176	140.702	1.391.498	1.183.921	536.069	127.609
2016	1.877.959	309.578	144.024	1.424.357	1.211.878	548.728	130.622
2017	1.921.651	317.003	147.355	1.457.293	1.239.901	561.416	133.643
2018	1.965.375	324.439	150.687	1.490.249	1.267.941	574.112	136.665
2019	2.009.072	331.875	154.017	1.523.180	1.295.960	586.799	139.685
2020	2.052.697	339.303	157.341	1.556.053	1.323.928	599.463	142.700
2021	2.096.209	346.718	160.656	1.588.836	1.351.821	612.092	145.706
2022	2.139.576	354.112	163.959	1.621.505	1.379.616	624.678	148.702
2023	2.182.775	361.484	167.249	1.654.042	1.407.300	637.213	151.686
2024	2.225.791	368.828	170.525	1.686.438	1.434.863	649.693	154.657
2025	2.268.611	376.145	173.785	1.718.681	1.462.297	662.115	157.614
2026	2.311.213	383.428	177.028	1.750.756	1.489.587	674.472	160.555
2027	2.353.580	390.677	180.253	1.782.650	1.516.723	686.759	163.480
2028	2.395.705	397.888	183.459	1.814.357	1.543.700	698.974	166.388
2029	2.437.584	405.062	186.646	1.845.875	1.570.516	711.116	169.278
2030	2.479.214	412.198	189.814	1.877.202	1.597.170	723.184	172.151
2031	2.520.591	419.294	192.962	1.908.334	1.623.658	735.178	175.006
2032	2.561.708	426.350	196.090	1.939.268	1.649.977	747.095	177.843
2033	2.602.557	433.365	199.197	1.969.995	1.676.121	758.933	180.661
2034	2.643.877	440.460	202.340	2.001.077	1.702.566	770.907	183.511
2035	2.684.892	447.507	205.459	2.031.926	1.728.813	782.791	186.340
2036	2.725.587	454.503	208.554	2.062.530	1.754.852	794.581	189.147
2037	2.765.947	461.446	211.622	2.092.878	1.780.673	806.273	191.930
2038	2.805.950	468.331	214.664	2.122.955	1.806.263	817.860	194.688
2039	2.845.577	475.156	217.676	2.152.745	1.831.609	829.336	197.420
2040	2.884.804	481.916	220.657	2.182.231	1.856.696	840.696	200.124
2041	2.923.611	488.608	223.606	2.211.397	1.881.511	851.932	202.799
2042	2.961.978	495.228	226.522	2.240.229	1.906.042	863.039	205.443
2043	2.999.886	501.772	229.402	2.268.711	1.930.276	874.012	208.055
2044	3.037.314	508.238	232.245	2.296.831	1.954.200	884.845	210.633
2045	3.074.245	514.623	235.050	2.324.572	1.977.803	895.532	213.177
2046	3.110.663	520.923	237.816	2.351.924	2.001.075	906.069	215.686
2047	3.146.555	527.136	240.541	2.378.878	2.024.008	916.453	218.158
2048	3.181.913	533.260	243.226	2.405.427	2.046.597	926.681	220.592
2049	3.216.729	539.295	245.869	2.431.564	2.068.835	936.750	222.989
2050	3.229.326	540.376	246.926	2.442.024	2.077.735	940.780	223.949

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

Cuadro 28 Parámetros de la Calculadora IPCC para Metano

Tipo de residuo	Composición	Carbono orgánico degradable	Generación de Metano por año
Residuos de Alimentos	0,4	0,15	0,4
Residuos de Jardín	0,2	0,20	0,17
Papel	0,14	0,40	0,07
Madera	0,02	0,43	0,035
Textiles	0,03	0,24	0,07
Desechos sanitarios	0,08	0,24	0,17
Residuos Industriales	0,17		
Rezago (meses)			2
Fracción de Metano (F) en gas desarrollado			0,465
Factor de Conversión, C to CH ₄			1,33
Factor de oxidación			0%

Fuente: IPCC Waste Model

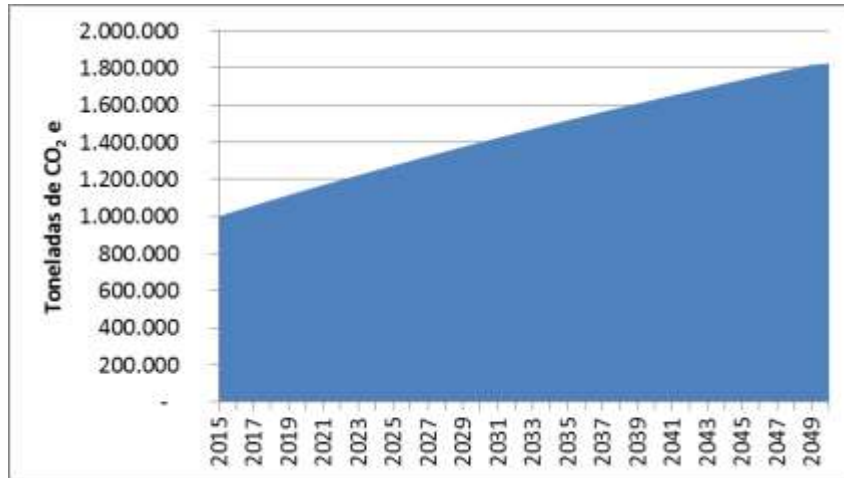
Cuadro 29 Factor de Corrección de Metano (MCF)

Concepto	Sitio no manejado	Sitio manejado y profundo	Manejado	Manejado semi-aeróbico	No categorizado
Factor de corrección de metano	0,4	0,8	1	0,5	0,6
Distribución (%)	10	10	58	0	21

Fuente: IPCC Waste Model

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 29 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Residuos Sólidos



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

4.1.1.3 Generación de Aguas Residuales

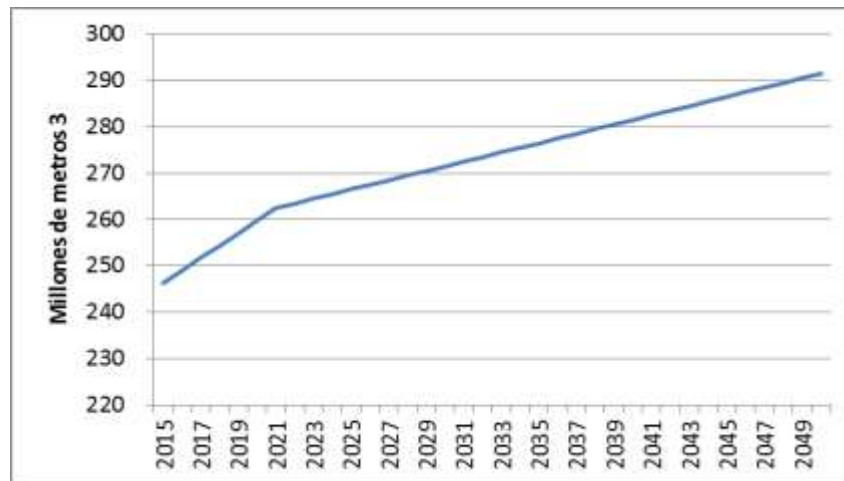
Para la estimación de las emisiones de las aguas residuales se usa como fuente los resultados del estudio de Salas (2012). Dicho trabajo presenta un modelo con la composición de los métodos de disposición de aguas residuales domiciliarias que se observa en el Cuadro 30. Las estimaciones del volumen de aguas residuales domiciliarias se observan en el Gráfico 30. Los factores de emisión utilizados se muestran en el Cuadro 30. Respecto a las aguas residuales del sector industrial, la carga de DBO proyectada para cada actividad se detalla en el Cuadro 31.

Cuadro 30 Distribución porcentual de los Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales en el País

Tanques sépticos	Alcantarillado sanitario sin tratamiento	Alcantarillado sanitario con tratamiento aeróbico	Plantas aeróbicas	Otras plantas anaeróbicas
72%	25,6%	0,8%	0,4%	1,2%

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

Gráfico 30 Estimación de Generación de Aguas Residuales Domiciliarias al 2050



Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

Cuadro 31 Parámetros para estimación de emisiones en aguas domiciliarias

Parámetro	Tanques Sépticos	Alcantarillado Sanitario sin Tratamiento	Alcantarillado Sanitario con Tratamiento Aeróbico	Plantas Aeróbicas	Otras Plantas Anaeróbicas
Cantidad m3/año	1	1	1	1	1
Aguas residuales					
DQO ton/m3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
MCF:	0,74	0,1	1	0,08	0,8
EFF	1	1	75%	90%	70%
Bo Kg CH4/KgDQO	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
GWP kgCO2e/kgCH4	21	21	21	21	21
UF:	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Lodos en plantas de tratamiento					
S: kg TSS/kg COD	0,25		0,25	0,25	0,25
DOC:	0,5		0,5	0,5	0,5
MCFs:	0,8		0,8	0,8	0,8
DOCF	0,5		0,5	0,5	0,5
F:	0,5		0,5	0,5	0,5
Factor de emisión					
tCO2e/año/m3	0,001863	0,00020727	0,00192307	0,000518	0,001490
Kg CH4/persona/año	4,2541	0,5749	5,7488	0,4599	4,5990

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

Cuadro 32 Carga de DBO que se transforma en Metano en Aguas Industriales

Año	Bovinos sacrificados	Porcinos sacrificados	Aves sacrificadas	Beneficio de café	Ingenios	Aceite	Carga total DBO
2015	938.968	891.099	676.344	3.665.849	42.880	91.064	6.306.204
2016	952.114	903.574	685.813	3.640.203	43.302	93.796	6.318.802
2017	967.265	917.953	696.727	3.614.558	43.695	96.610	6.336.808
2018	982.658	932.561	707.814	3.588.912	44.059	99.509	6.355.512
2019	998.295	947.401	719.078	3.563.266	44.394	102.494	6.374.929
2020	1.012.271	960.665	729.145	3.537.621	44.701	105.569	6.389.972
2021	1.025.431	973.153	738.624	3.511.975	44.980	108.736	6.402.899
2022	1.038.038	985.118	747.705	3.486.330	45.229	111.998	6.414.418
2023	1.052.865	999.189	758.385	3.460.684	45.450	115.358	6.431.930
2024	1.068.146	1.013.691	769.392	3.435.038	45.642	118.818	6.450.729
2025	1.081.185	1.026.065	778.784	3.409.393	45.806	122.383	6.463.617
2026	1.091.410	1.035.769	786.149	3.383.747	45.941	126.055	6.469.071
2027	1.100.530	1.044.424	792.719	3.358.102	46.047	129.836	6.471.657
2028	1.109.385	1.052.827	799.097	3.332.456	46.125	133.731	6.473.621
2029	1.118.252	1.061.243	805.484	3.306.810	46.173	137.743	6.475.706
2030	1.126.474	1.069.045	811.406	3.281.165	46.194	141.875	6.476.158
2031	1.133.588	1.075.796	816.530	3.255.519	46.185	146.132	6.473.750
2032	1.139.684	1.081.582	820.922	3.229.874	46.148	150.516	6.468.725
2033	1.144.980	1.086.608	824.736	3.204.228	46.082	155.031	6.466.665
2034	1.154.040	1.095.206	831.262	3.178.582	45.988	159.682	6.464.760
2035	1.162.543	1.103.275	837.387	3.152.937	45.865	164.473	6.466.479
2036	1.170.490	1.110.817	843.111	3.127.291	45.713	169.407	6.466.828
2037	1.177.880	1.117.830	848.434	3.101.645	45.532	174.489	6.465.810
2038	1.184.713	1.124.315	853.356	3.076.000	45.323	179.724	6.463.430
2039	1.190.989	1.130.272	857.877	3.050.354	45.085	185.115	6.459.693
2040	1.196.709	1.135.700	861.997	3.024.709	44.819	190.669	6.454.603
2041	1.201.873	1.140.600	865.716	2.999.063	44.524	196.389	6.448.164
2042	1.206.479	1.144.972	869.034	2.973.417	44.200	202.280	6.440.383
2043	1.210.529	1.148.815	871.952	2.947.772	43.847	208.349	6.431.264
2044	1.214.023	1.152.130	874.468	2.922.126	43.466	214.599	6.420.812
2045	1.216.959	1.154.917	876.583	2.896.481	43.056	221.037	6.409.033
2046	1.219.339	1.157.176	878.297	2.870.835	42.617	227.668	6.395.933
2047	1.221.162	1.158.906	879.611	2.845.189	42.150	234.499	6.381.517
2048	1.222.429	1.160.108	880.523	2.819.544	41.654	241.533	6.365.792
2049	1.223.139	1.160.782	881.034	2.793.898	41.130	248.779	6.348.763
2050	1.223.292	1.160.928	881.145	2.768.486	40.576	256.243	6.330.670

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

Con base en los supuestos detallados anteriormente, los resultados en términos de las emisiones totales de CO₂e proyectadas para el escenario de referencia se muestran en el Cuadro 33. El mayor peso relativo lo tienen las aguas residuales domiciliarias, que se mantiene hasta el 2050.

Cuadro 33 Emisiones Totales de Referencia por Aguas Residuales (ton CO₂e)

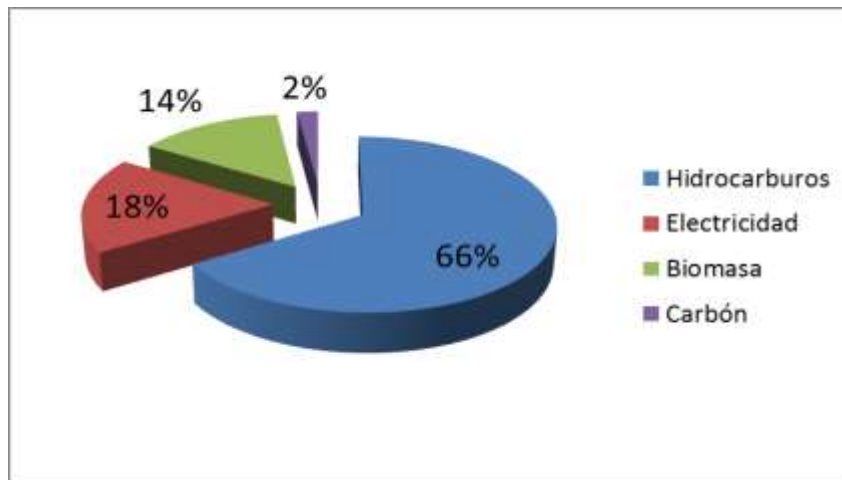
Año	Domiciliario	Industrial	Total
2010	333.361	41.823	375.184
2011	337.158	40.799	377.957
2012	340.925	41.066	381.991
2013	344.689	41.168	385.857
2014	348.447	41.275	389.722
2015	352.202	41.384	393.587
2016	355.983	41.467	397.451
2017	359.813	41.585	401.398
2018	363.671	41.708	405.379
2019	367.539	41.835	409.374
2020	371.395	41.934	413.330
2021	375.224	42.019	417.243
2022	376.653	42.095	418.748
2023	378.083	42.210	420.292
2024	379.512	42.333	421.845
2025	380.942	42.417	423.359
2026	382.372	42.453	424.825
2027	383.801	42.470	426.271
2028	385.231	42.483	427.714
2029	386.660	42.497	429.157
2030	388.090	42.500	430.589
2031	389.519	42.484	432.003
2032	390.949	42.451	433.400
2033	392.378	42.437	434.816
2034	393.808	42.425	436.233
2035	395.237	42.436	437.674
2036	396.667	42.439	439.105
2037	398.096	42.432	440.528
2038	399.526	42.416	441.942
2039	400.955	42.392	443.347
2040	402.385	42.358	444.743
2041	403.814	42.316	446.130
2042	405.244	42.265	447.509
2043	406.673	42.205	448.879
2044	408.103	42.137	450.240
2045	409.533	42.059	451.592
2046	410.962	41.973	452.935
2047	412.392	41.879	454.270
2048	413.821	41.776	455.597
2049	415.251	41.664	456.914
2050	416.680	41.545	458.225

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

4.2 Sector Transporte

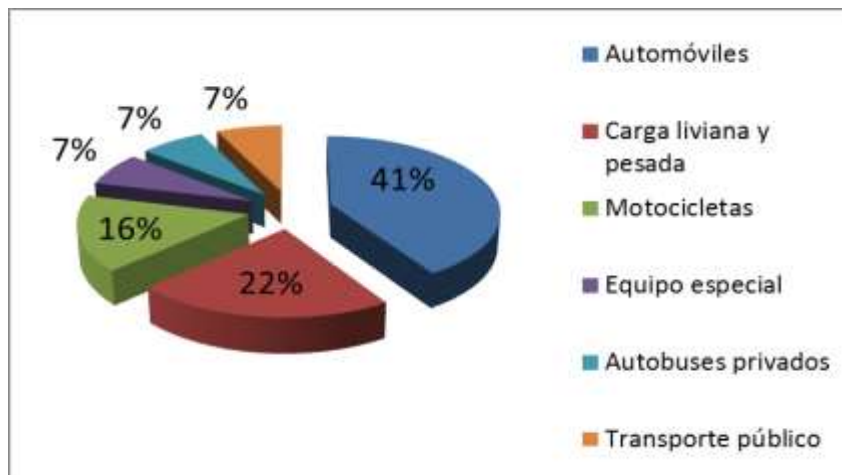
El sector transporte se caracteriza por ser el principal consumidor de energía de acuerdo a la matriz energética del país para el 2014, en donde los hidrocarburos representan el 66% del consumo total de la energía (Gráfico 31). Por su parte, las emisiones de GEI se explican especialmente por la flota 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% (Gráfico 32).

Gráfico 31 Costa Rica: Matriz Energética (2014)



Fuente: Dirección Nacional de Energía

Gráfico 32 Composición de las Emisiones del Sector Transporte (2014)

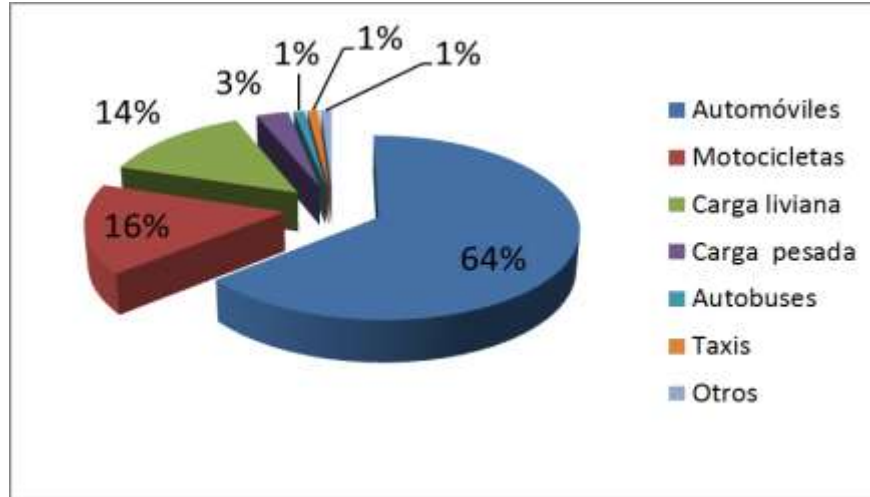


Fuente: Dirección Nacional de Energía

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 (Gráfico 33).

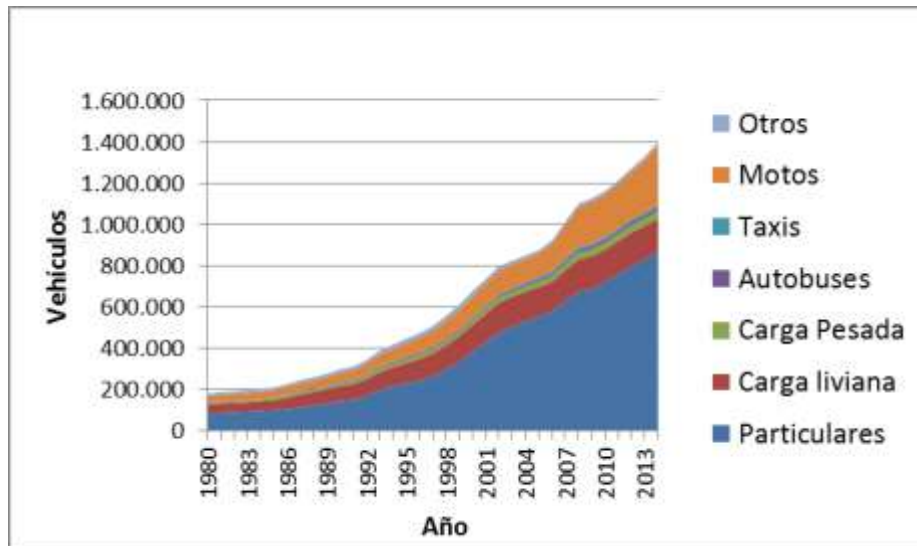
Gráfico 33 Composición del Parque Vehicular (2014)



Fuente: Dirección Nacional de Energía

En el Gráfico 34 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 34 Evolución del Parque Vehicular



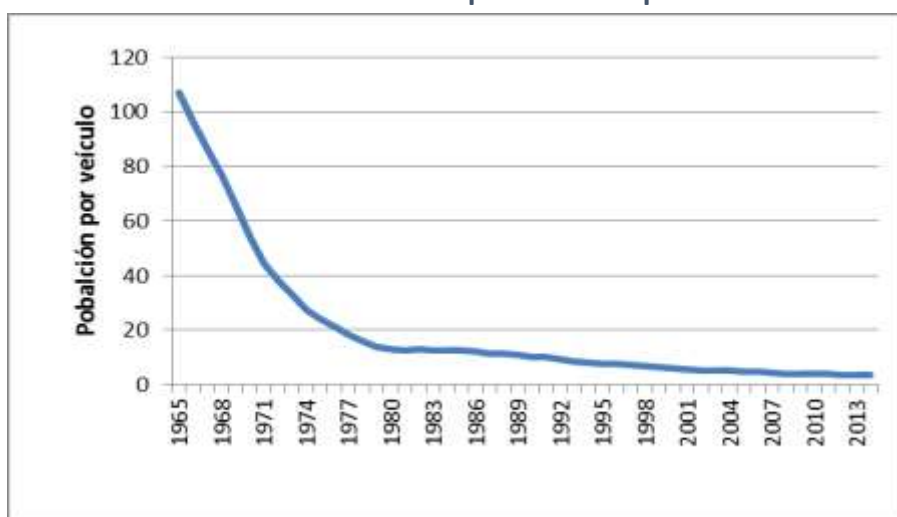
Fuente: Dirección Nacional de Energía

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.²⁵ 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. En el Gráfico 35 se observa esta relación 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.

Gráfico 35 Población por Vehículo privado



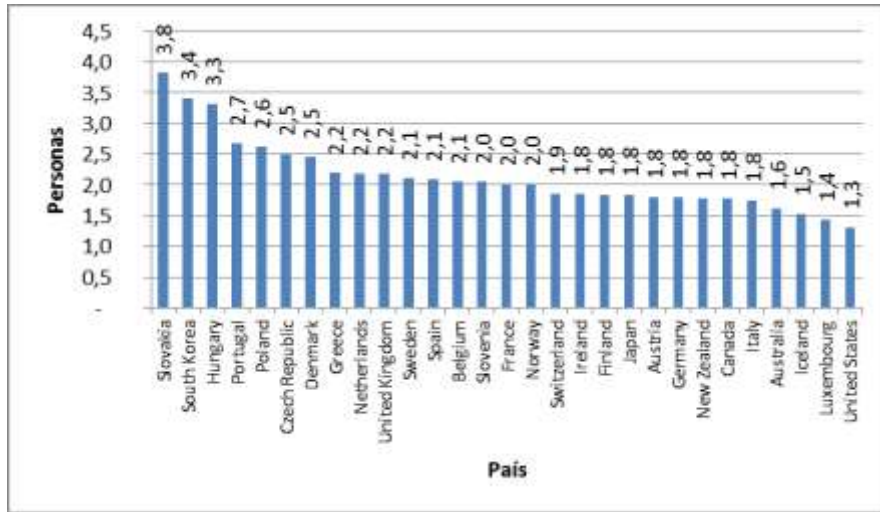
Fuente: elaboración propia con datos de DSE e INEC

Con las proyecciones de la flota vehicular y de la población se observa que esta relación sigue bajando, lo que significa que hay más vehículos por persona en el futuro. Para determinar el nivel de saturación, un estudio de la DSE determinó como referencia la relación de población por vehículo de los países del OCDE (Gráfico 36).²⁶ Se observa que esta relación varía del 3,8 a 1,3 personas por vehículo, para un promedio de 2 personas por vehículo.

²⁵ DSE (2011).

²⁶ Sancho Consulting S.A. (2012).

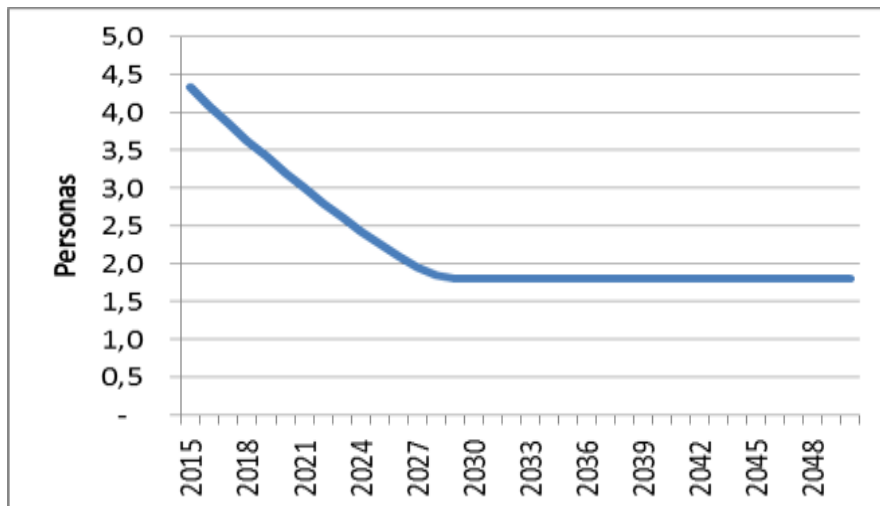
Gráfico 36 Población por Vehículo en Países de la OCDE (2012)



Fuente: Sancho Consulting S.A. (2012)

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. En el Gráfico 37 se observa la relación vehículos por persona proyectada, y se observa que va reduciéndose hasta hacerse plana al alcanzar la saturación mencionada. Este razonamiento se aplicó a los autos particulares.

Gráfico 37 Proyección de Población por Vehículo (2015-2050)



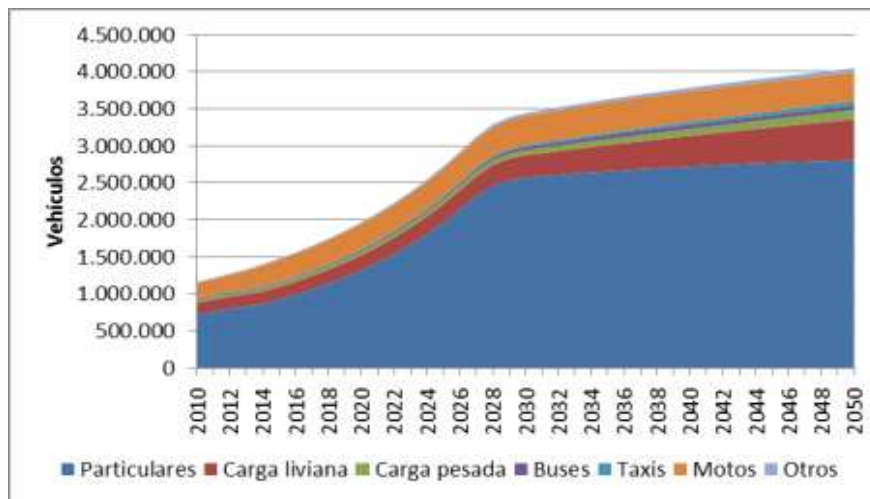
Fuente: elaboración propia con datos de DSE, Sancho Consulting S.A. (2012) y estimaciones de los autores

La proyección del parque vehicular se ve en el Gráfico 38, 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.

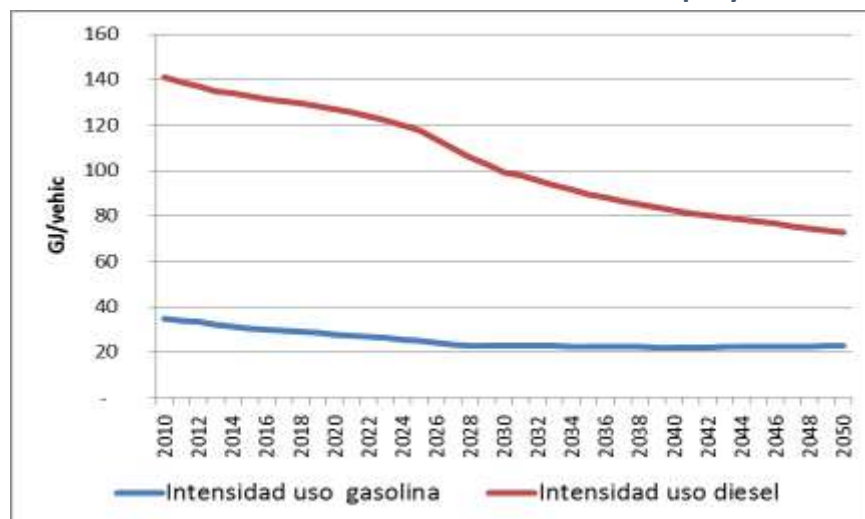
Uno de los aspectos más importantes de considerar con respecto al consumo esperado de combustibles en el futuro, es que la intensidad en el uso tanto del diésel como de la gasolina va disminuyendo por vehículo a través de los años (Gráfico 39). Este elemento es muy importante de destacar, ya que revela 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 38 Proyección del Parque Vehicular al 2050



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

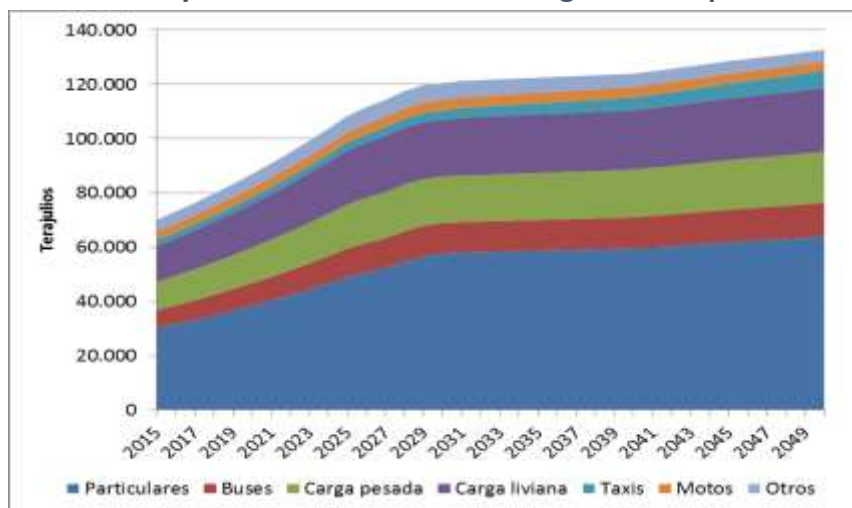
Gráfico 39 Intensidad de Uso de Combustibles proyectada



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

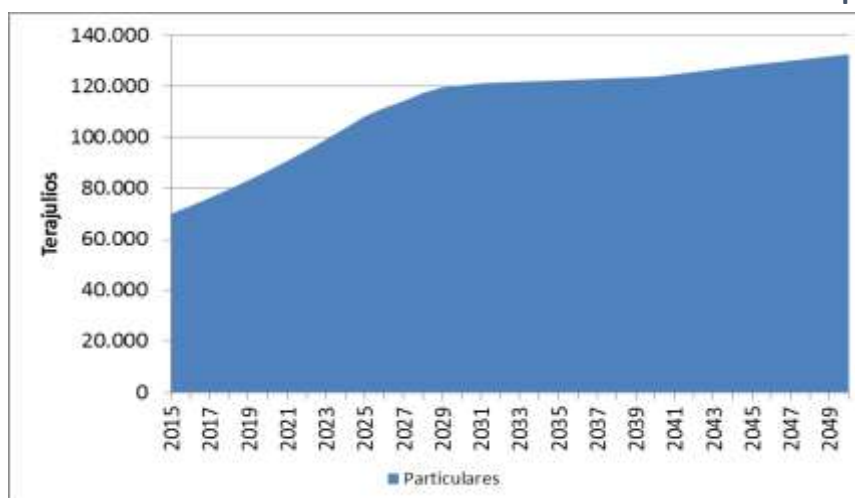
El consumo de energía resultante se observa en el Gráfico 40, en el cual la mayor parte está explicada por los autos particulares, y le siguen el transporte de carga tanto liviana como pesada. Respecto al 2014 el consumo de combustibles fósiles debido al transporte crece un 88%. La proyección de la flota vehicular y el consumo de energía incorporan la saturación de vehículos por persona. Las emisiones se observan en el Gráfico 41, que con respecto al 2014 aumentan en un 88%.

Gráfico 40 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

Gráfico 41 Escenario de Referencia de Emisiones del Sector Transporte



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

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. El Gráfico 42 muestra la 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 (Ver Gráfico 43 y Gráfico 44).²⁷

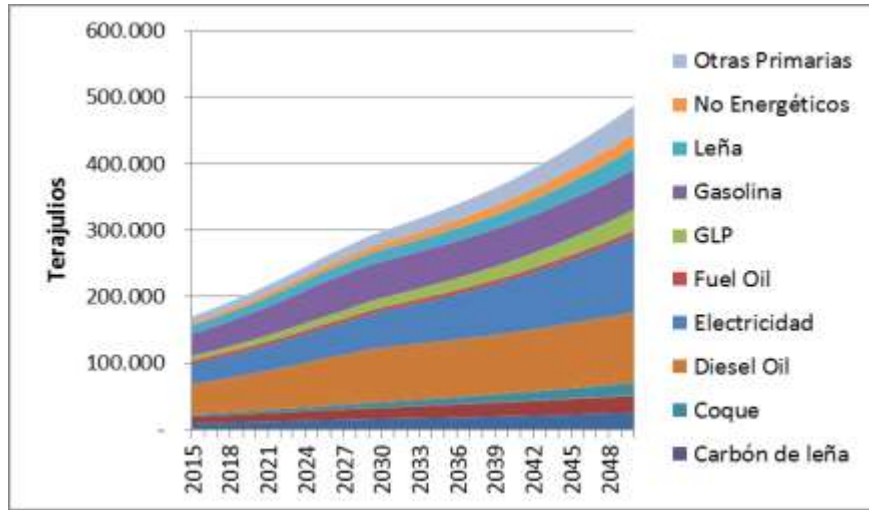
Gráfico 42 Proyección del Consumo de Energía por Modo de Transporte



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

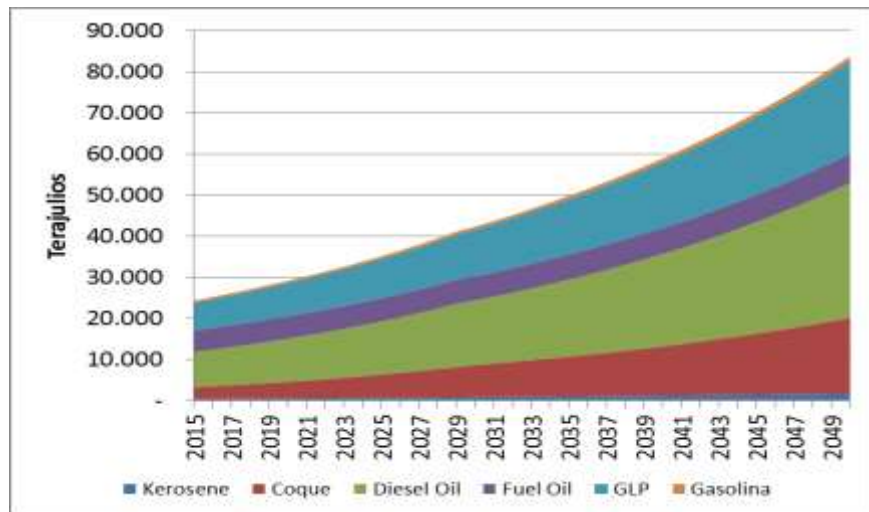
²⁷ Debe señalarse que después de completado este análisis, se oficializó el VII Plan Nacional de Energía (octubre 2014). Para futuros ejercicios deberían entonces considerarse las nuevas proyecciones y detalles del VII Plan.

Gráfico 43 Proyección del Consumo de Energía por Fuente



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

Gráfico 44 Proyección del Consumo de Energía de otros Hidrocarburos



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

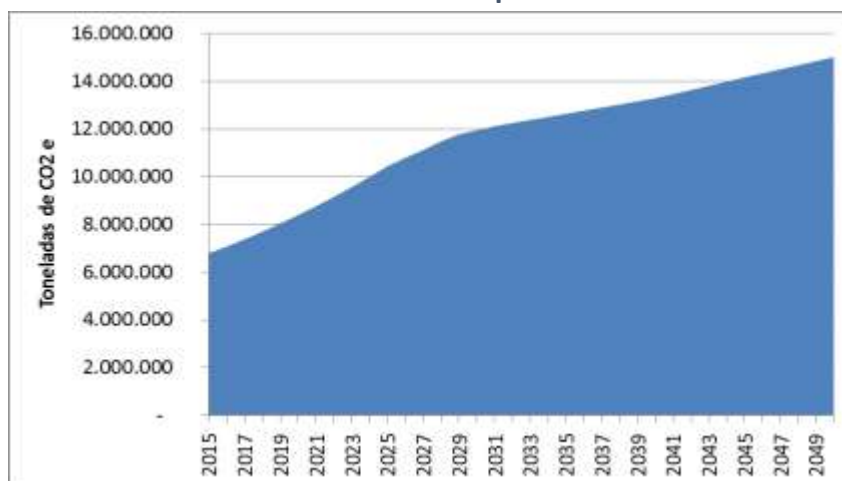
Para la estimación de las emisiones del sector hidrocarburos se consideran los factores de emisión que se muestran en el Cuadro 34. Las emisiones totales de CO₂e se muestran en el Gráfico 45. Las emisiones crecen de 6,8 millones de toneladas de CO₂e en el 2015 a 15 millones de toneladas en el 2050, lo que significa un crecimiento de 121% en este periodo. Entre el 2015 y el 2028 se mantiene un crecimiento acelerado en las emisiones, con una tasa promedio anual del 4,1%, pero a partir del 2029 el efecto de la saturación vehicular comienza a manifestarse y la tasa de crecimiento anual de las emisiones cae a 1,2%.

Cuadro 34 Factores de Emisión de Hidrocarburos

Tipo de Combustible	Toneladas CO2e/TJ
Factor de Equivalencia	
Coque	93,4
Diésel	73,9
Kero	73,4
GLP	63,3
Gasolina	69,2
Bioetanol	16,5
Biodiesel	45,8
Fuel oil	77,3

Fuente: Dirección Sectorial de Energía (DSE)

Gráfico 45 Escenario de Referencia por Uso de Hidrocarburos



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

4.3 Sector Eléctrico

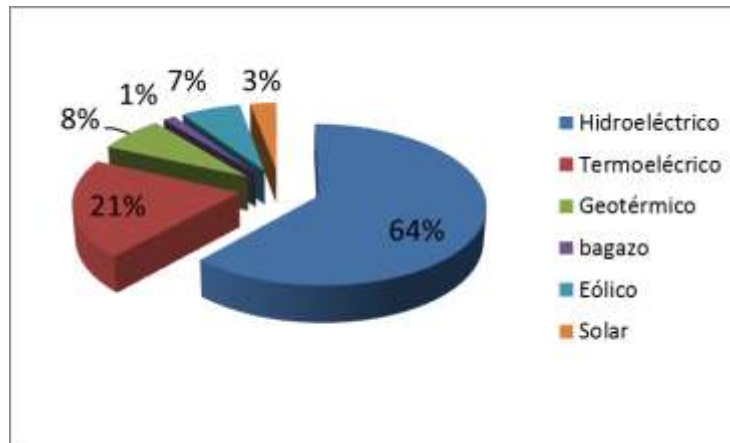
Dentro de Sector Energía, la Generación de Electricidad contribuye de manera importante con la mitigación de emisiones. El Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 señala que Costa Rica debería “*suplir la demanda de energía mediante una matriz energética que asegure el suministro óptimo y continuo de electricidad 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.*”²⁸ Esto implica continuar los esfuerzos del país por consolidar la generación eléctrica con

²⁸ MIDEPLAN (2014).

base en fuentes renovables, las cuales representan actualmente un 80% de la capacidad instalada efectiva del país (Gráfico 46).

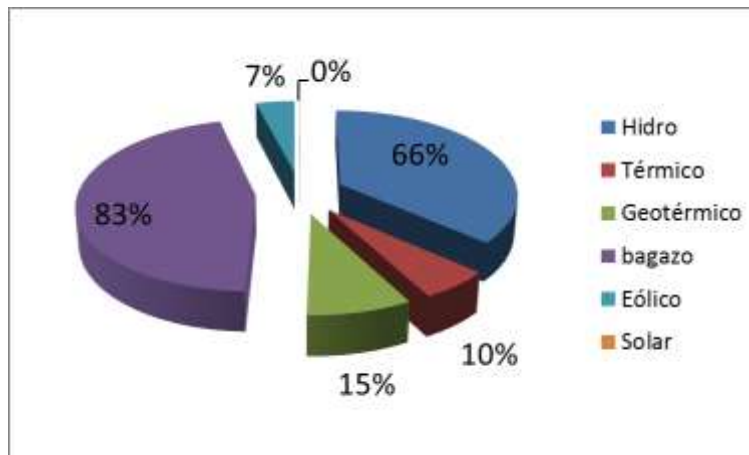
Para el año 2014, 90% de la generación eléctrica se produjo con base en fuentes renovables, destacando la hidroelectricidad (66% del total de la demanda eléctrica, Gráfico 47). En este sentido, y desde una perspectiva de largo plazo, se ha aprobado en el 2014 el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica (PEG) 2014–2035, como instrumento de planeación dentro del marco de las políticas nacionales e institucionales en materia energética.²⁹

Gráfico 46 Capacidad Instalada por Fuente (2014)



Fuente: ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico

Gráfico 47 Producción Bruta de Electricidad (2014)



Fuente: ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico

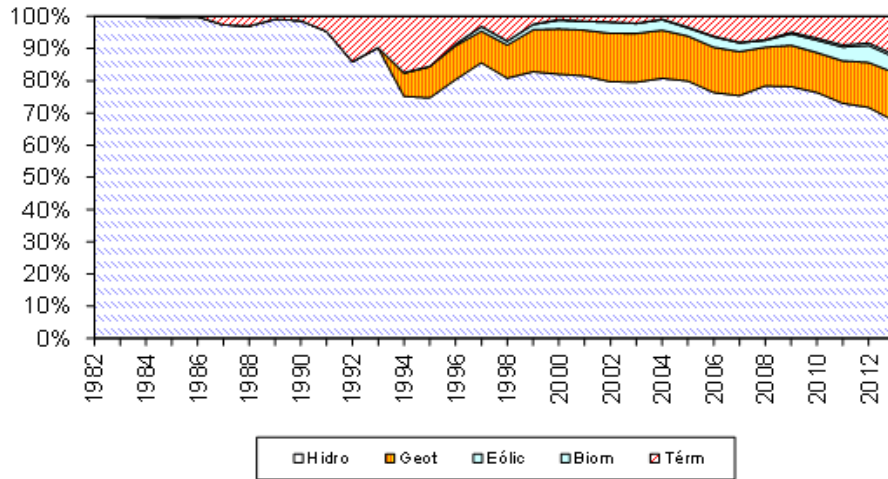
²⁹ ICE (2014). Elaborado por el Proceso de Expansión Integrada del Centro Nacional de Planificación Eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y aprobado por la Dirección del Centro de Planificación Eléctrica en abril del 2014.

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)³⁰ 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 (Gráfico 48). Si bien este porcentaje es relativamente bajo, el PEG tiene como objetivo reducirlo a menos del 5% en las próximas dos décadas.

³⁰ 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%.

Gráfico 48 Histórico de Generación de Electricidad por Fuente



Fuente: ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico

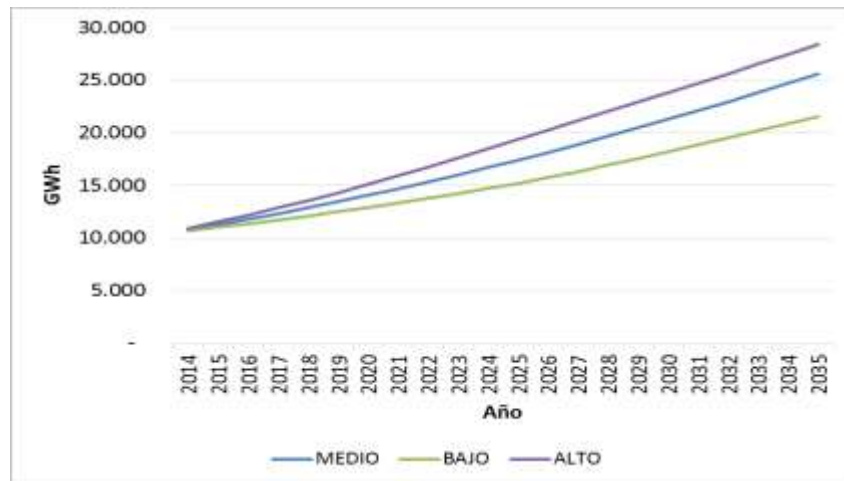
4.3.1 Proyección de la Demanda Eléctrica

Los escenarios de demanda de electricidad (ligados al crecimiento económico proyectado) son elaborados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).³¹ En el Gráfico 49 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 variables explican estadísticamente el comportamiento de la demanda.³² 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.

³¹ ICE (2013); ICE (2014).

³² 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.

Gráfico 49 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 (el Plan de Expansión en Ejecución de detalla en el Cuadro 35). 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 “viabiles” 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 fundamenta en la introducción de gas natural (GNL) en la matriz energética (llamada RUTA 2).³³ Una tercera ruta es no hacer ninguno de los dos proyectos anteriores (llamada RUTA 0). En este

³³ 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.

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.³⁴

Cuadro 35 Plan Nacional de Expansión Eléctrica en Ejecución (2015-2019)

Año	Proyecto	Fuente	Nueva Potencia Instalada MW	Capacidad Instalada Nacional MW
2015	TilaWind	Eólico	20.0	2,905
	Torito	Hidro	50.0	2,955
	Cachí	Hidro	-105.0	2,850
	Cachí 2	Hidro	158.2	3,008
	Orosí	Eólico	50.0	3,058
	Chucás	Hidro	50.0	3,108
	Ampliación El Ángel	Hidro	5.0	3,113
	Río Macho	Hidro	-120.0	2,993
	Río Macho 2	Hidro	140.0	3,133
	Vientos del Este	Eólico	9.0	3,142
2016	Bijagua (CoopG)	Hidro	18.0	3,160
	Mogote	Eólico	20.0	3,180
	Reventazón Minicentral	Hidro	13.5	3,194
	Reventazón	Hidro	292.0	3,486
	Altamira	Eólico	20.0	3,506
	Campos Azules	Eólico	20.0	3,526
	Vientos de Miramar	Eólico	20.0	3,546
	Vientos de la Perla	Eólico	20.0	3,566
2017	La Joya 2	Hidro	64.0	3,630
	La Joya	Hidro	-50.0	3,580
	Capulín	Hidro	48.7	3,628
	Consuelo	Hidro	14.0	3,642
	La Esperanza Atirro	Hidro	3.0	3,645
	Moín 1	Térmico	-19.5	3,626
	Monte Verde 2	Hidro	5.0	3,631
	Río Bonilla 1320	Hidro	6.0	3,637
	Río Bonilla 510	Hidro	6.0	3,643
	San Rafael	Hidro	7.0	3,650
2018	Los Negros II (ESPH)	Hidro	28.0	3,678
2019	Pailas 2	Geotérmico	55.0	3,733

Fuente: ICE (2014)

³⁴ 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.

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. El Cuadro 36 detalla la lista de proyectos que se desarrollarían bajo este escenario. Si bien destacan las fuentes térmicas, 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.

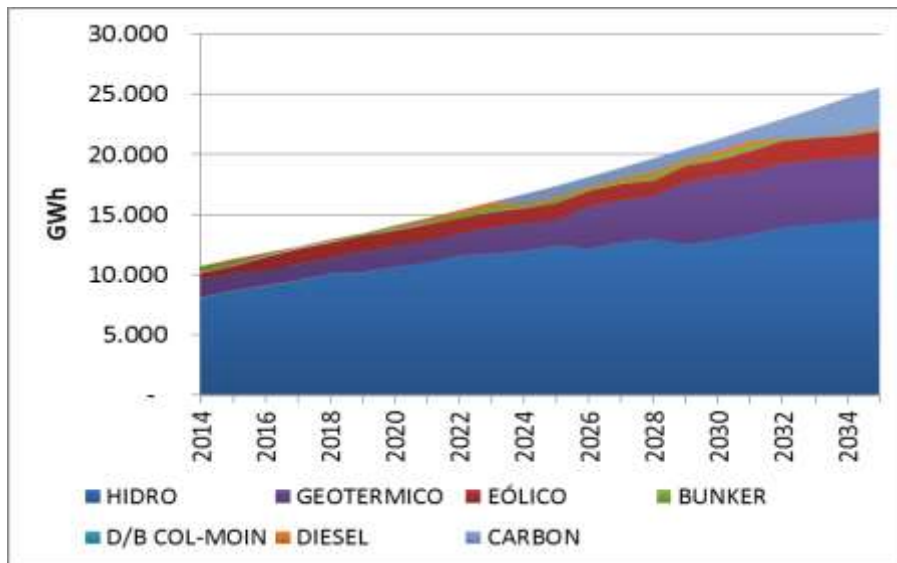
Cuadro 36 Proyectos del Plan Nacional de Expansión Eléctrica de Referencia (2021-2035)

Año	Tipo de Proyecto	Nueva Potencia Instalada MW
2021	Hidro Proy	50
	Turbina Proy	160
2022	ND	
2023	Geotérm Proy	55
	Turbina Proy	80
2024	Carbón	300
2025	ND	
2026	Geotérm Proy	165
	Hidro Proy	50
2027	Hidro Proy	50
2028	ND	
2029	Borinquen 1	55
	Borinquen 2	55
	Geotérm Proy	110
2030	ND	
2031	Eólico Proy	100
	Hidro Proy	50
2032	Carbón	300
	Eólico Proy	50
	Hidro Proy	150
2033	Carbón 3	300
2034	Hidro Proy G8	50
2035	Eólico Proy	50

Fuente: ICE (2014)

En el Gráfico 50 se muestra la composición esperada en el escenario teórico de referencia, en donde las la combinación del uso del diésel, bunker, el doble ciclo combinado y el carbón presentan una proporción creciente a través de los años. Pese a esto, es notable que ña participación de las fuentes renovables sigue teniendo mayor importancia relativa.

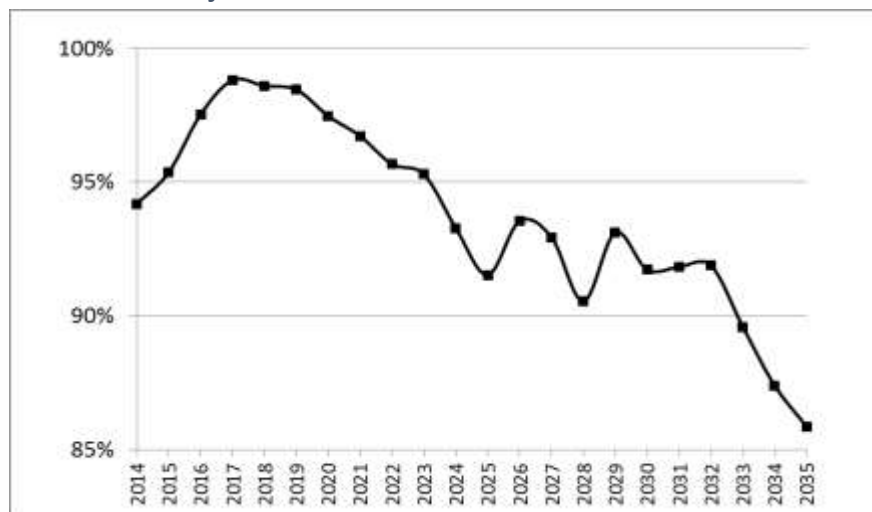
Gráfico 50 Generación Eléctrica por Tipo de Fuentes en Escenario de Referencia



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

En el Gráfico 51 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%.

Gráfico 51 Porcentaje de Generación Renovable en Escenario de Referencia

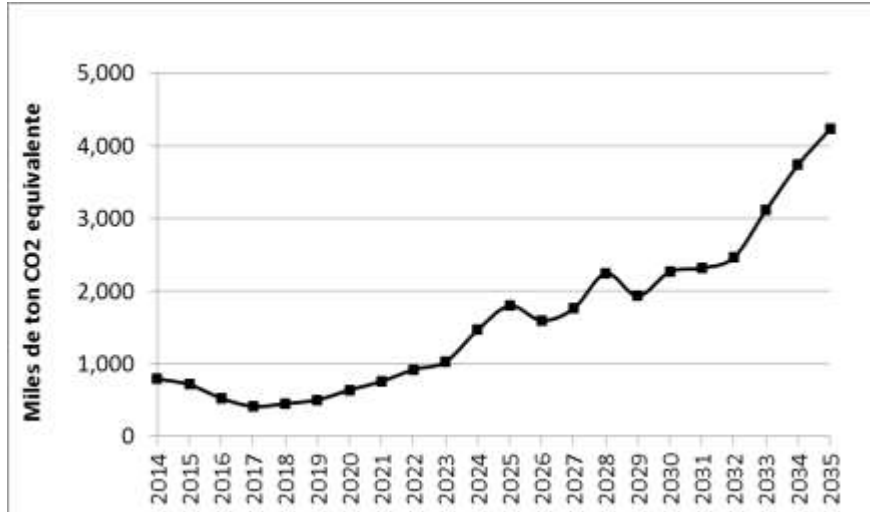


Fuente: elaboración propia con datos del ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico
 elaboración propia con datos del ICE (2014)

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 52). Se muestra

cómo las emisiones hacia final del periodo más superan los cuatro millones de toneladas de CO₂.³⁵

Gráfico 52 Emisiones del Sector Eléctrico en el Escenario de Referencia



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

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, el cual se puede observar en el Cuadro 37. 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. Los resultados se muestran en el Cuadro 38. Las emisiones estimadas para el sector de procesos industriales en el escenario de referencia se muestran en el Cuadro 39.

³⁵ 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.

**Cuadro 37 Proyección de producción de materiales con base en cemento, vidrio y cal
(Miles de toneladas)**

Año	Cemento	Láminas de Gypsum	Piso Cerámico	Vidrio	Cal	Concreto	Concreto prefabricado
2015	1.044	22	98	26	2	96,9	19
2016	1.086	23	101	27	2	100,8	19
2017	1.129	24	104	27	2	104,9	20
2018	1.174	24	107	28	2	109,1	21
2019	1.221	25	111	28	2	113,5	22
2020	1.270	26	114	29	2	118,1	23
2021	1.321	27	117	30	2	122,8	23
2022	1.374	27	121	30	2	127,7	24
2023	1.429	28	124	31	2	132,9	25
2024	1.486	29	128	31	3	138,2	26
2025	1.546	30	132	32	3	143,8	27
2026	1.607	31	136	33	3	149,5	28
2027	1.672	32	140	33	3	155,5	29
2028	1.739	33	144	34	3	161,8	31
2029	1.808	34	149	35	3	168,3	32
2030	1.880	35	153	35	3	175,0	33
2031	1.956	36	158	36	3	182,0	34
2032	2.034	37	162	37	3	189,3	36
2033	2.115	38	167	37	3	196,9	37
2034	2.200	39	172	38	3	204,8	38
2035	2.288	40	177	39	3	213,0	40
2036	2.379	41	183	40	3	221,6	42
2037	2.474	43	188	41	3	230,4	43
2038	2.573	44	194	41	3	239,7	45
2039	2.676	45	200	42	3	249,3	47
2040	2.783	46	206	43	3	259,2	49
2041	2.895	48	212	44	4	269,6	50
2042	3.011	49	218	45	4	280,4	52
2043	3.131	51	225	46	4	291,6	55
2044	3.256	52	232	47	4	303,3	57
2045	3.386	54	238	48	4	315,5	59
2046	3.522	55	246	48	4	328,1	61
2047	3.663	57	253	49	4	341,2	64
2048	3.809	59	261	50	4	354,8	66
2049	3.962	61	268	51	4	369,0	69
2050	4.120	62	276	52	4	383,8	72

Fuente: elaboración propia con datos de Salas (2012)

**Cuadro 38 Proyección de Producción de Gases HCFC (toneladas) y Emisiones resultantes
(toneladas CO₂e)**

Año	Total HCFC	Emisiones
2015	431	155.477
2016	410	147.812
2017	403	145.398
2018	396	142.667
2019	393	141.573
2020	359	129.419
2021	323	116.477
2022	291	104.829
2023	262	94.346
2024	236	84.912
2025	212	76.420
2026	191	68.778
2027	172	61.901
2028	155	55.710
2029	139	50.139
2030	125	45.125
2031	113	40.613
2032	101	36.552
2033	91	32.896
2034	82	29.607
2035	74	26.646
2036	67	23.982
2037	60	21.583
2038	54	19.425
2039	49	17.483
2040	44	15.734
2041	39	14.161
2042	35	12.745
2043	32	11.470
2044	29	10.323
2045	26	9.291
2046	23	8.362
2047	21	7.526
2048	19	6.773
2049	17	6.096
2050	15	5.486

Fuente: DIGECA (2013)

Cuadro 39 Proyección de Emisiones de Referencia del Sector Procesos Industriales (ton CO₂e)

Año	Cemento	Vidrio y Cal	HCFC
2010	592.350	29.180	181.000
2011	609.070	29.269	166.275
2012	633.432	29.855	160.911
2013	658.770	30.452	156.076
2014	685.120	31.061	155.477
2015	712.525	31.682	155.477
2016	741.026	32.316	147.812
2017	770.667	32.962	145.398
2018	801.494	33.621	142.667
2019	833.554	34.294	141.573
2020	866.896	34.979	129.419
2021	901.572	35.679	116.477
2022	937.635	36.393	104.829
2023	975.140	37.120	94.346
2024	1.014.146	37.863	84.912
2025	1.054.711	38.620	76.420
2026	1.096.900	39.393	68.778
2027	1.140.776	40.180	61.901
2028	1.186.407	40.984	55.710
2029	1.233.863	41.804	50.139
2030	1.283.218	42.640	45.125
2031	1.334.546	43.493	40.613
2032	1.387.928	44.362	36.552
2033	1.443.445	45.250	32.896
2034	1.501.183	46.155	29.607
2035	1.561.231	47.078	26.646
2036	1.623.680	48.019	23.982
2037	1.688.627	48.980	21.583
2038	1.756.172	49.959	19.425
2039	1.826.419	50.958	17.483
2040	1.899.476	51.978	15.734
2041	1.975.455	53.017	14.161
2042	2.054.473	54.077	12.745
2043	2.136.652	55.159	11.470
2044	2.222.118	56.262	10.323
2045	2.311.003	57.387	9.291
2046	2.403.443	58.535	8.362
2047	2.499.580	59.706	7.526
2048	2.599.564	60.900	6.773
2049	2.703.546	62.118	6.096
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*³⁶ (LEDS Ganadero) y un NAMA para ganadería.³⁷

4.5.1.1 Área Sembrada de Cultivos Agrícolas

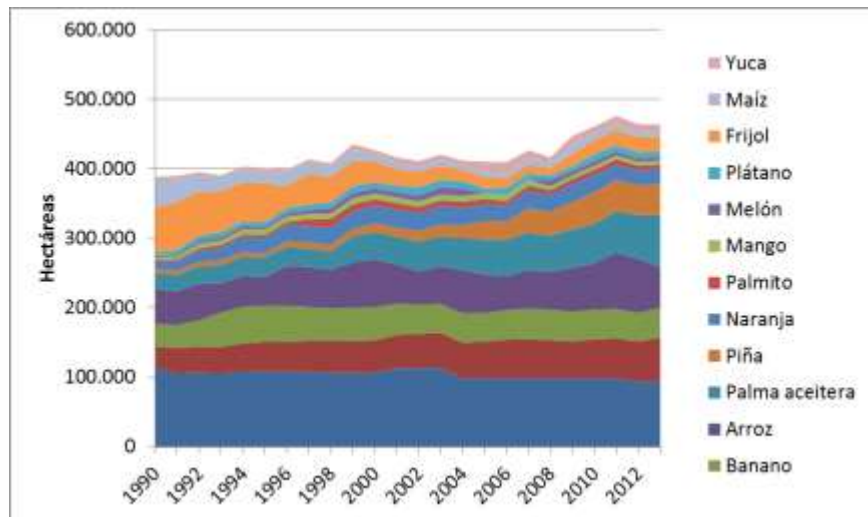
En el Gráfico 53 se observa el comportamiento del área sembrada de los cultivos agrícolas, de acuerdo a los registros estadísticos de SEPSA del MAG. Con los datos de SEPSA se proyectaron las tendencias esperadas de los cultivos en cuanto al área utilizada. Dado que recientemente se publicaron los resultados 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 primer ejercicio que se realizó fue un análisis tendencial de los productos. Por ejemplo, el café describe una tendencia en los últimos 22 años dada por $y = -41,891x^2 + 396,13x + 107721$; en el caso de la caña de azúcar de $y = -20,03x^2 + 1610,6x + 32163$; el banano de $y = -4039\ln(x) + 54155$; la palma aceitera de $y = -1,5587x^3 + 102,95x^2 + 333,08x + 22416$; y la piña de $y = 82,14x^2 - 140,63x + 5236,1$. En el caso del arroz, su tendencia mostró un ajuste con de la población y el ajuste está dado por $y = 0,011Pob + 12675,37$.

³⁶ SIDE (2015).

³⁷ MAG (2013).

Gráfico 53 Histórico del Área Sembrada por Producto



Fuente: elaboración con datos de SEPSA/MAG

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.

Cuadro 40 Proyección de Área cultivada por principales Cultivos

Año	Café	Caña de Azúcar	Banano	Arroz	Palma aceitera	Piña
2014	84.133	65.062	51.758	66.135	66.420	37.660
2020	80.650	66.173	51.593	67.836	67.930	41.659
2025	77.748	67.098	51.456	70.484	69.189	44.992
2030	74.846	68.024	51.318	72.742	70.447	48.325
2035	71.943	68.949	51.181	74.673	71.706	51.667
2040	69.041	69.875	51.044	76.303	72.964	54.990
2045	66.139	70.800	50.906	77.571	74.223	58.323
2050	63.237	71.726	50.769	78.477	75.482	61.656

Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA-MAG, Censo Agropecuario 2014 y estimación de los autores

Un segundo grupo de 8 cultivos suman un 12% del área cultivada, con lo que unido a los anteriores 6 cultivos, constituyen el 90% del total del área sembrada en el 2014. Las proyecciones que se realizaron de estos cultivos se muestran en el Cuadro 41.

Cuadro 41 Proyección de Área cultivada de otros Productos (Ha)

Año	Naranja	Palmito	Mango	Melón	Plátano	Frijol	Maíz	Yuca	Otros
2014	19.596	4.618	5.162	5.913	10.015	19.471	15.769	15.045	60.413
2020	20.497	4.783	5.481	6.210	10.194	20.118	16.626	15.801	61.552
2025	21.247	4.920	5.748	6.459	10.344	20.658	17.340	16.430	62.660
2030	21.998	5.057	6.015	6.707	10.494	21.198	18.054	17.060	63.718
2035	22.749	5.195	6.281	6.955	10.644	21.738	18.769	17.690	64.733
2040	23.500	5.332	6.548	7.203	10.794	22.278	19.483	18.319	65.710
2045	24.251	5.469	6.815	7.451	10.944	22.818	20.197	18.949	66.639
2050	25.001	5.607	7.081	7.699	11.094	23.358	20.911	19.579	67.522

Fuente: elaboración propia con datos de SEPSA-MAG, Censo Agropecuario 2014 y estimación de los autores

En el Cuadro 42 se observa el área total de las actividades agrícolas considerando otros usos contemplados en el Censo Agropecuario 2014. Como se verá, en el modelo se establece que el área total en caminos y cuerpos de agua no varía a través de los años.

Cuadro 42 Proyección de Área en Actividades en Fincas agrícolas (Ha)

Año	Tierras de cultivo			Otras (caminos y cuerpos agua)
	Total	Tierra en descanso	Otra labranza	
2014	60.413	22.730	10.529	80.656
2020	61.552	23.333	10.809	80.656
2025	62.660	23.775	11.014	80.656
2030	63.718	24.163	11.193	80.656
2035	64.733	24.497	11.348	80.656
2040	65.710	24.776	11.477	80.656
2045	66.639	25.000	11.581	80.656
2050	67.522	25.170	11.660	80.656

Fuente: elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 2014 y estimaciones de los autores

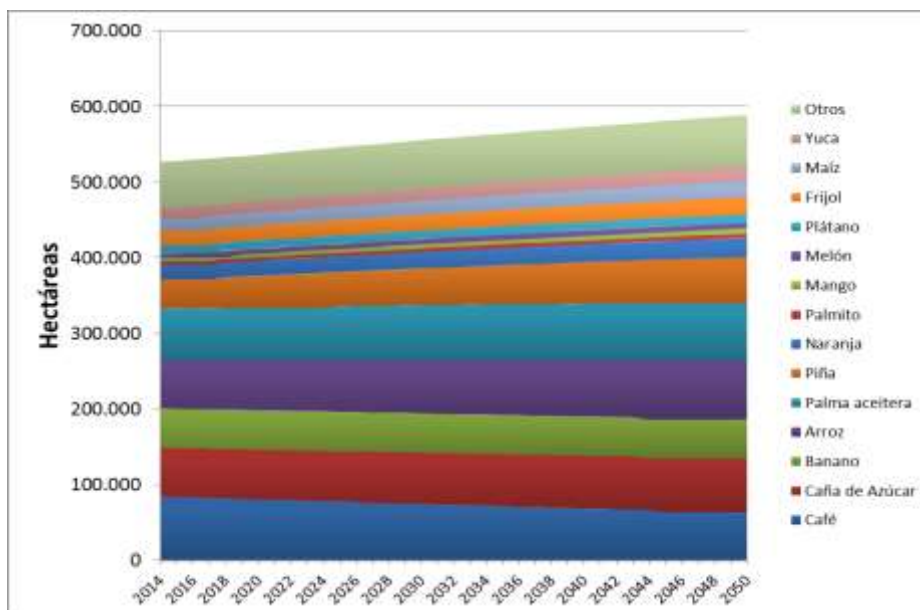
El escenario de referencia base del área de cultivos se observa en el Gráfico 54. Se han hecho adicionalmente proyecciones de las actividades agrícolas y demanda por suelos. La importancia relativa de los seis cultivos principales se mantiene en el tiempo.

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.³⁸

³⁸ SIDE (2015).

Gráfico 54 Línea de Referencia de Área cultivada



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

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.
- 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.

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 quemadas 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.

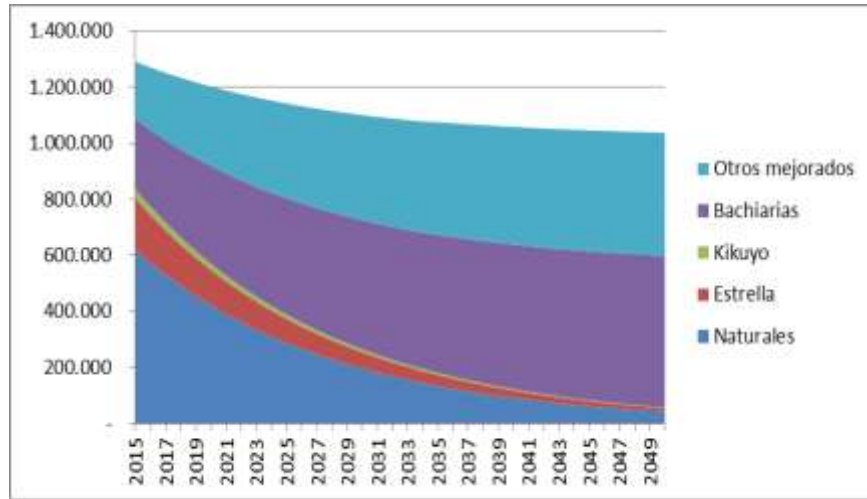
Algunos de los supuestos más importantes se relacionan con la tendencia de los últimos años en cuanto a: crecimiento del sistema de ganadería de doble propósito; expansión de la ganadería en la Región Norte y no en otras; tasa de aumento en pastos mejorados; reducción de área de pasto naturalizado pero 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 Cuadro 43. El escenario de referencia de cultivo de pastos se observa en el Gráfico 55. Las proyecciones del hato bovino están contenidas en el Cuadro 44 y se observan en el Gráfico 56.

Cuadro 43 Proyección de Área de Pastos (Ha)

Año	Pastos (LEDS Ganadero)	Tipo de pastos LEDS			Tipo de pastos Inventario 2010				
		Pastos Naturalizados	Pastos mejorados	Pastos degradados	Naturales	Estrella	Kikuyo	Bachiarías	Otros mejorados
2015	1.323.144	835.386	317.265	277.339	487.850	145.019	26.147	366.054	298.073
2020	1.242.878	569.441	453.212	178.833	458.256	136.222	24.561	343.848	279.991
2025	1.188.172	388.166	523.166	229.790	438.085	130.226	23.480	328.714	267.667
2030	1.150.886	264.602	550.189	285.103	424.338	126.139	22.743	318.399	259.267
2035	1.125.398	180.330	554.378	339.830	414.940	123.346	22.239	311.347	253.525
2040	1.107.534	122.779	557.155	377.548	408.354	121.388	21.886	306.405	249.501
2045	1.095.016	83.595	559.947	401.988	403.738	120.016	21.639	302.942	246.681
2050	1.086.209	56.916	562.752	417.453	400.491	119.051	21.465	300.505	244.697

Fuente: elaboración propia con datos del LEDS Ganadero, IMN (2014) y estimación de los autores

Gráfico 55 Escenario de Referencia de Uso de Suelo en Pasturas



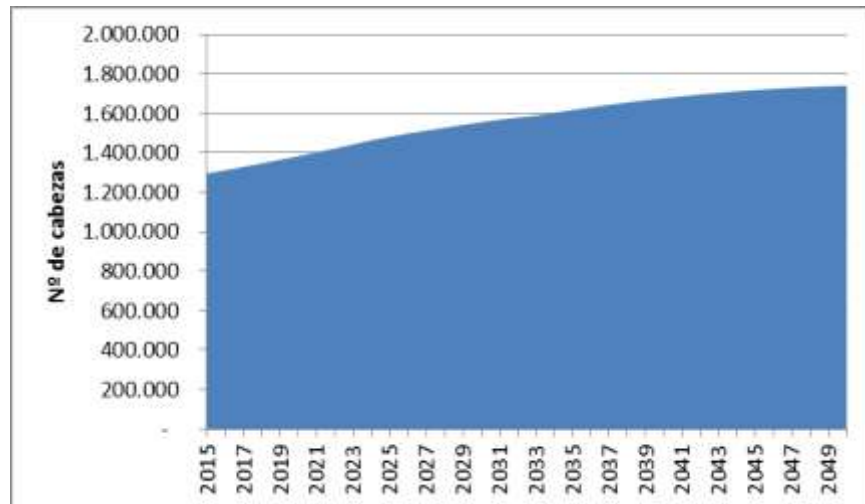
Fuente: elaboración propia con datos del LEDES Ganadero y estimaciones de los autores

Cuadro 44 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
2025	1.629.706	16.378	45.623	554.667	1.719	5.582	85.310	3.479	23.690.134
2030	1.695.938	17.044	47.477	577.209	1.789	5.809	88.777	3.620	24.652.912
2035	1.744.629	17.533	48.840	593.781	1.840	5.975	91.326	3.724	25.360.708
2040	1.796.419	18.054	50.290	611.408	1.895	6.153	94.037	3.835	26.113.555
2045	1.848.210	18.574	51.740	629.035	1.950	6.330	96.748	3.946	26.866.402
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 LEDES Ganadero y estimaciones de los autores

Gráfico 56 Línea de Referencia del Hato vacuno



Fuente: elaboración propia con datos del LEDES 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. En el Cuadro 45 se presentan los factores de emisión utilizados. Las emisiones resultantes se observan en el Gráfico 57 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.

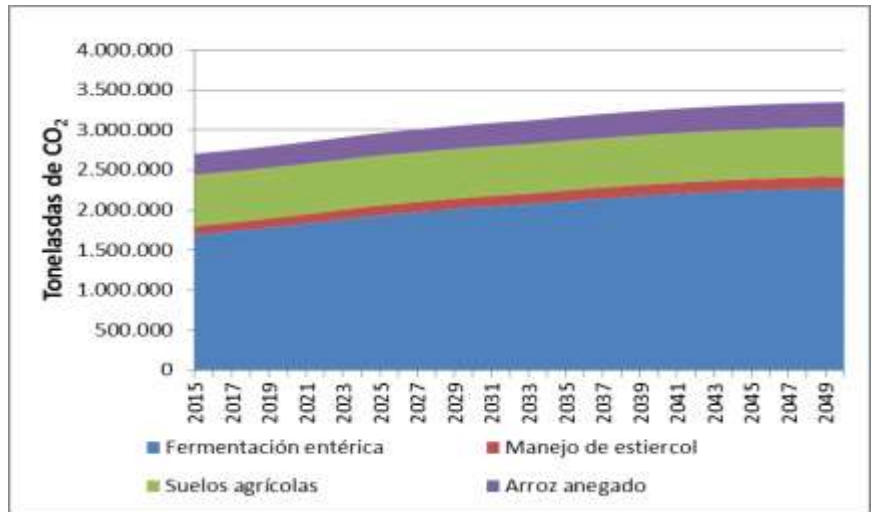
Cuadro 45 Factores de Emisión del Sector Agropecuario

Óxido nitroso	Factor de Emisión kg/ha/año
Caña de azúcar	5,41
Café con sombra	7,78
Café sin sombra	2,92
Banano	4,85
Plátano	4,60
Cebolla	2,61
Papa	7,86
Piña	3,00
Palmito	2,24
Palma africana	1,31
Naranja	1,46
Mango	0,73
Macadamia	0,86
Otros	0,75
Granos básicos	0,79
Frutas	1,27
Estrella africana	4,94
Kikuyo	10,03
Ratana	3,55
Jaragua	5,33
Emisiones de Metano	Factor de Emisión kg/ha/día
Arroz anegado	4,94
Vacuno Leche	61,78
Vacuno Carne	61,81
Vacuno Doble propósito	58,78

Cabras	5
Ovejas	5
Cerdos	0,61
Mulas	10
Búfalos de agua	55
Caballos	18
Mulas	10

Fuente: IMN (2014)

Gráfico 57 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. En el Cuadro 45 se consignan 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).

Cuadro 46 Cambio neto en el Área agropecuaria durante el Periodo 2014-2050 (ha)

Tierras Agropecuarias	Área 2014	Área 2050	Cambio de Uso
Café	84,133	67,655	-16,478
Piña	37,660	61,656	23,996
Palma aceitera	66,420	79,778	13,358
Banano	51,758	65,942	14,184
Arroz	58,540	82,942	24,402
Otros	59,417	75,747	16,330
Maíz	15,769	25,907	10,138
Naranja	19,596	29,444	9,848
Yuca	15,045	23,330	8,285
Frijol	19,471	27,849	8,378
Caña de Azúcar	65,062	81,625	16,563
Tierra en descanso	22,730	24,779	2,049
Mango	5,162	8,771	3,609
Melón	5,913	10,147	4,234
Plátano	10,015	13,234	3,219
Palmito	4,618	6,951	2,333
Otra labranza	10,529	16,771	6,242
Pastos	1,323,144	1,067,605	-255,539
Total	1,874,980	1,770,132	-104,848

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

Se proyecta una reducción de 236.935 ha en las áreas dedicadas a la ganadería, principalmente en las tierras en sobreesu, 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 58 se observa el cambio neto en el área agropecuaria durante el periodo en estudio.

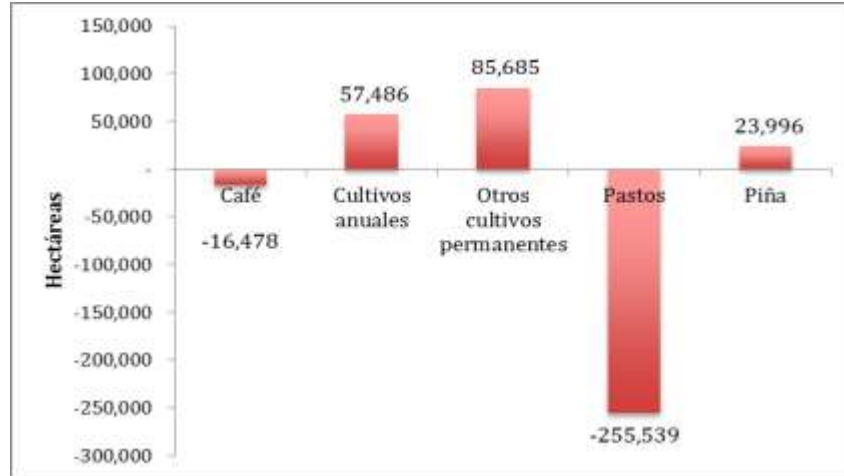
4.6.1.2 Proyección del Cambio en la Cobertura Forestal

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.³⁹ Esta herramienta requiere de la definición de tres parámetros para la proyección del cambio en la cobertura

³⁹ 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).

forestal: a) Tasa de deforestación de bosque maduro; b) Tasa de deforestación de bosques nuevos; y c) Cantidad de anual de bosques nuevos.

Gráfico 58 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

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 (Gráfico 59), observada en el periodo 2008-2013 según Agresta (2015).⁴⁰ 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. Como se aprecia en el Cuadro 47, el 94.8% (598.000 ha) de las tierras en parques nacionales y reservas biológicas se encuentra bajo cobertura natural (bosques primarios, secundarios, yolillales o manglares). El resto del área (31.000 ha) se encuentra en pasturas y cultivos.

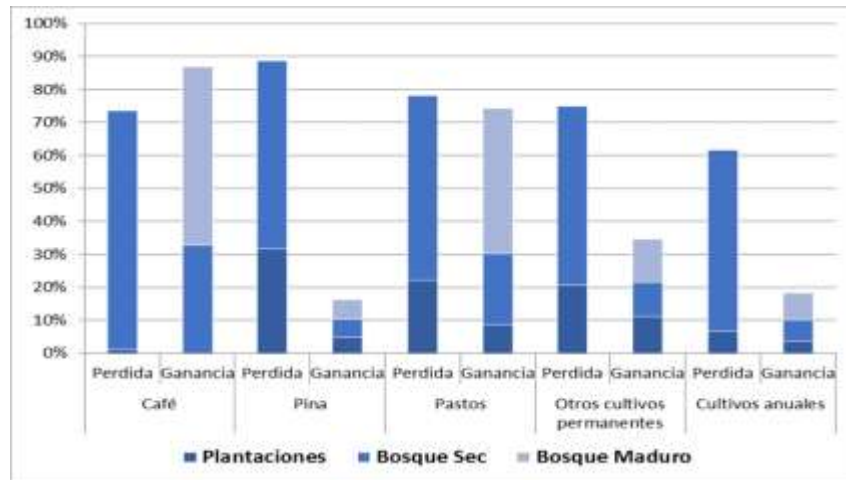
Cuadro 47 Uso del Suelo en Parques Nacionales y Reservas Biológicas

Categoría	Área Ha	Porcentaje
Cobertura natural	598.252	94.8%
Agua	655	0.1%
Urbano	1.043	0.2%
Nubes no bosque	183	0.0%
Pastos y cultivos	31.014	4.9%
Total	631.148	100%

Fuente: elaboración propia con base en datos a partir de mapas generados por Agresta (2015)

⁴⁰ 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.

Gráfico 59 Distribución del Área de Pérdida o Ganancia según Destino u Origen para las principales Actividades agropecuarias en Costa Rica (2008-2013)



Fuente: elaboración propia con base en datos a partir de mapas generados por Agresta (2015)

En el escenario de referencia del sector forestal proyecta para el periodo 2014-2050 una pérdida de 131.000 ha de bosques maduros (Cuadro 48). 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).

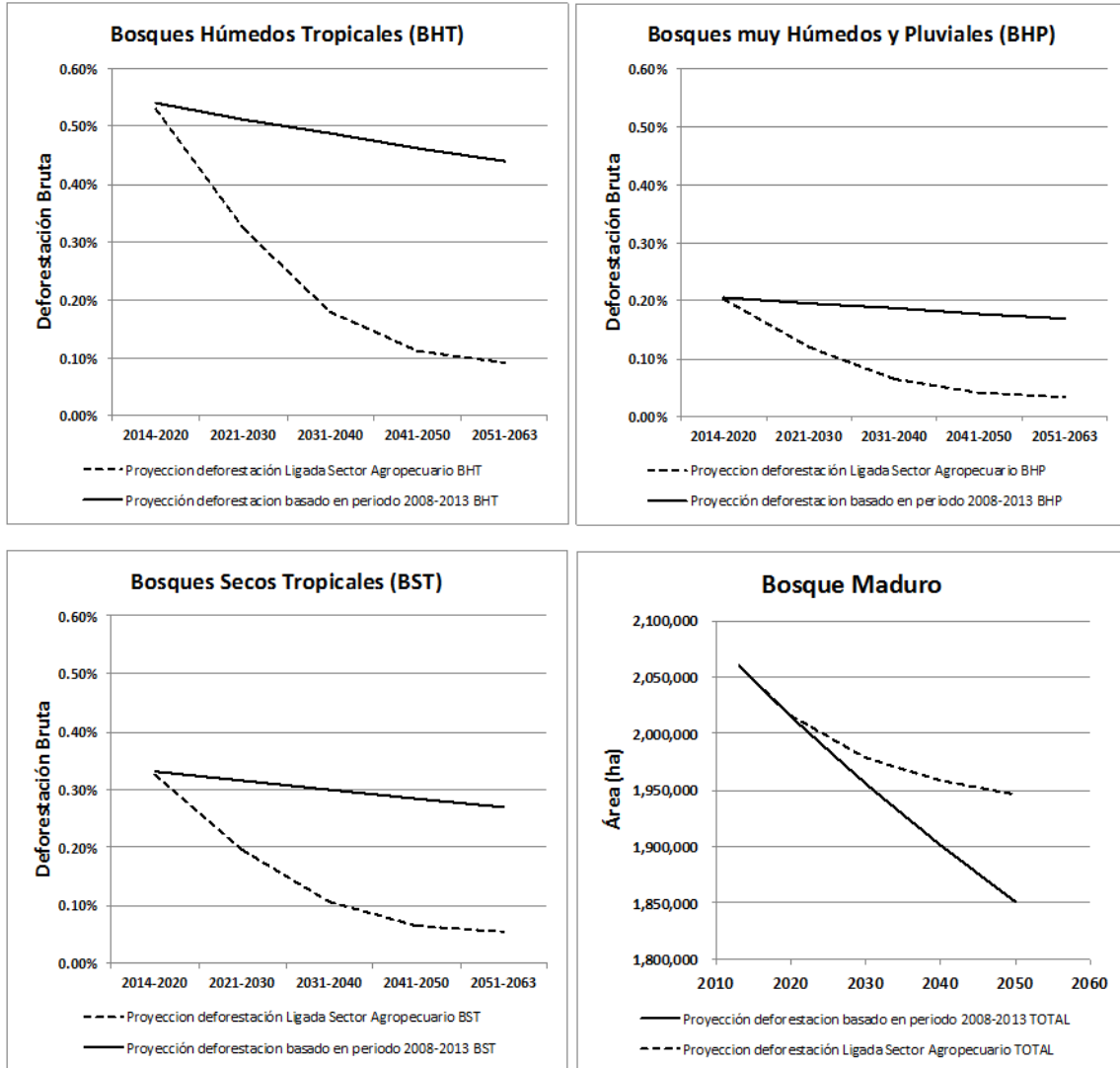
En el Gráfico 60 se presentan las tasas de deforestación de bosque maduro para los tipos de bosque identificados en la Herramienta CDI (BHT, BHP y BST), utilizadas en la proyección del cambio en la cobertura forestal de la línea de referencia. La proyección de la cobertura boscosa estima un decrecimiento de bosques maduros de 2.060.000 ha en el 2014 a 1.947.000 ha en el 2050.

Cuadro 48 Proyección del Cambio neto anual para los Tipos de Cobertura boscosa en función de los Cambios en el Área de las principales actividades agropecuarias en Costa Rica

Año	Bosques Nuevos	Bosque Maduro	Plantaciones
2014	14.787	8.699	3
2015	14.596	8.697	2.999
2016	13.828	8.092	2.815
2017	13.117	7.532	2.643
2018	12.458	7.014	2.485
2019	11.849	6.533	2.338
2020	11.284	6.089	2.202
2021	10.76	5.677	2.076
2022	10.276	5.295	1.959
2023	9.827	4.942	1.851
2024	9.411	4.614	1.751
2025	9.026	4.311	1.658
2026	8.67	4.03	1.572
2027	8.339	3.77	1.493
2028	8.034	3.53	1.419
2029	7.75	3.306	1.351
2030	7.488	3.1	1.287
2031	7.245	2.908	1.229
2032	7.02	2.731	1.175
2033	6.811	2.567	1.125
2034	6.66	2.448	1.088
2035	6.489	2.313	1.047
2036	6.329	2.188	1.008
2037	6.182	2.071	973
2038	6.045	1.963	940
2039	5.917	1.863	909
2040	5.799	1.77	881
2041	5.689	1.684	854
2042	5.587	1.603	830
2043	5.492	1.529	807
2044	5.404	1.459	786
2045	5.322	1.395	766
2046	5.246	1.334	747
2047	5.175	1.279	730
2048	5.109	1.226	714
2049	5.047	1.178	700
2050	4.987	1.164	691
Total	299.055	131.906	52.898

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

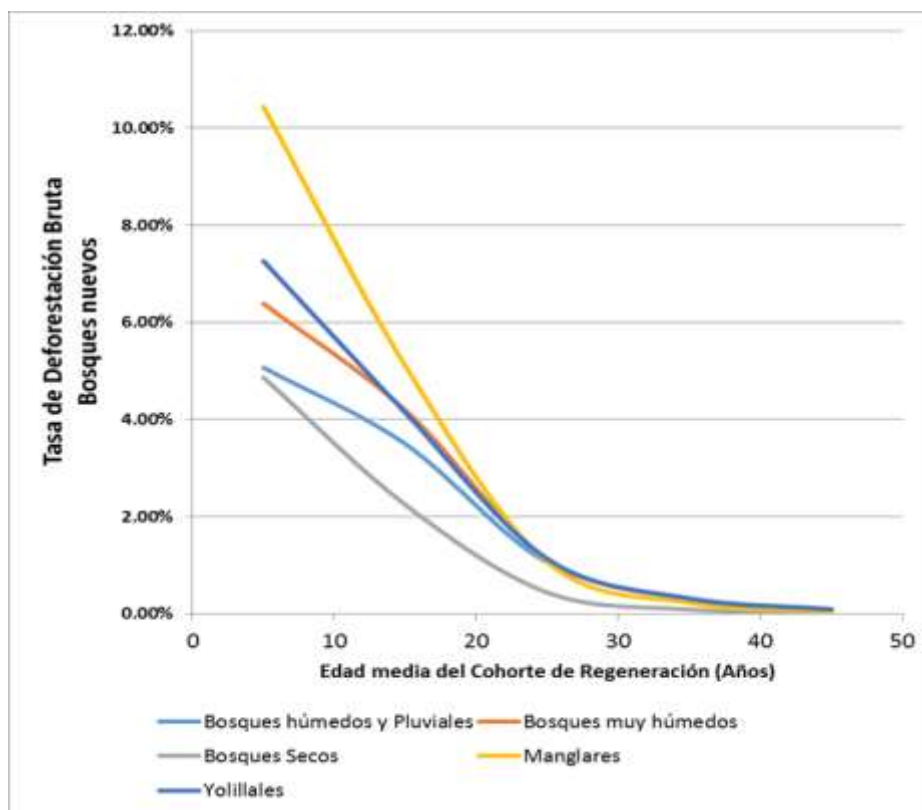
Gráfico 60 Tasas de Deforestación de Bosque Maduro en Costa Rica para los Tipos de Bosque identificados (BHT, BHP y BST y Bosque Maduro)



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

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), detallado en el Gráfico 61.

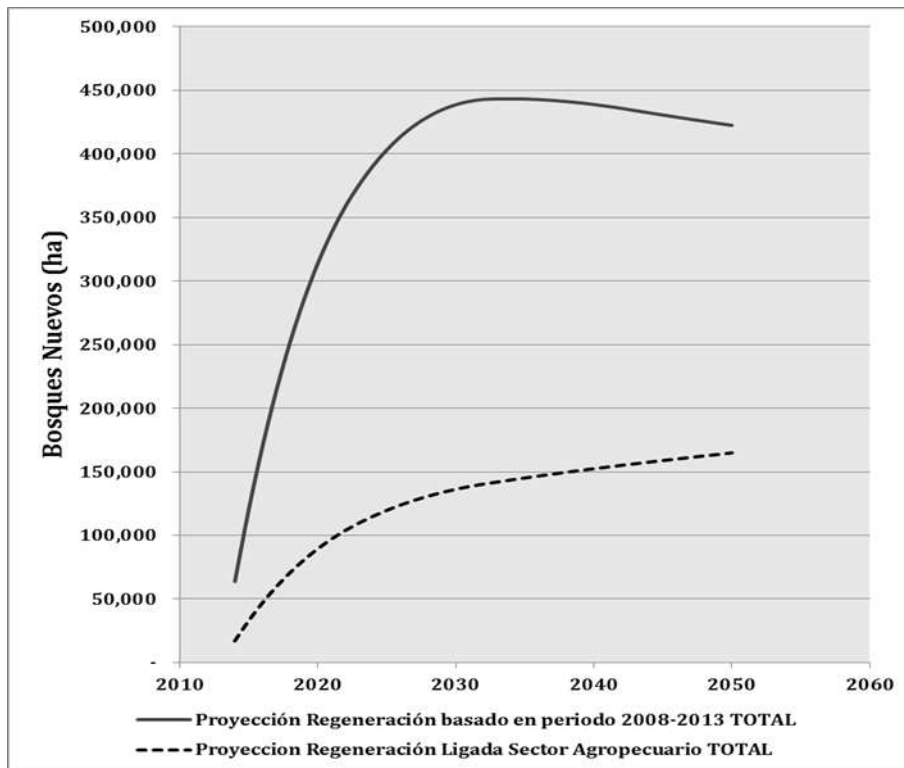
Gráfico 61 Tasas de Deforestación de Bosques Nuevos según Edad media del Cohorte



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

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 (Gráfico 62). Se estima un crecimiento de la cobertura boscosa de 422.000 ha.

Gráfico 62 Cobertura de Bosques nuevos en Costa Rica para el Periodo 2014-2050



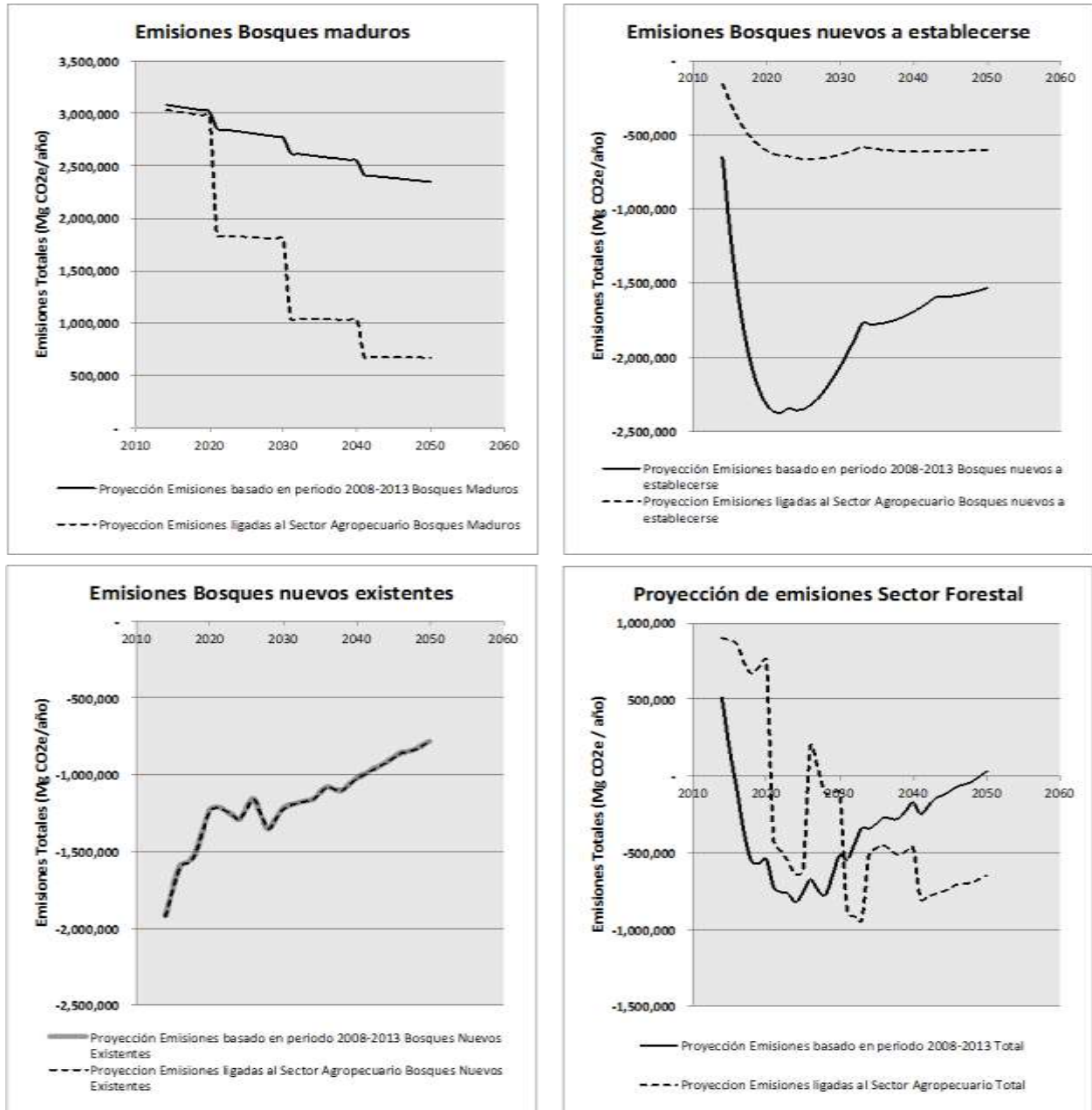
Fuente: elaboración propia con datos a partir de Agresta (2015) y Herramienta CDI

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 CO₂-e (Cuadro 48). 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 63 Proyección de Emisiones para el Sector Forestal en Costa Rica: Escenario de Referencia



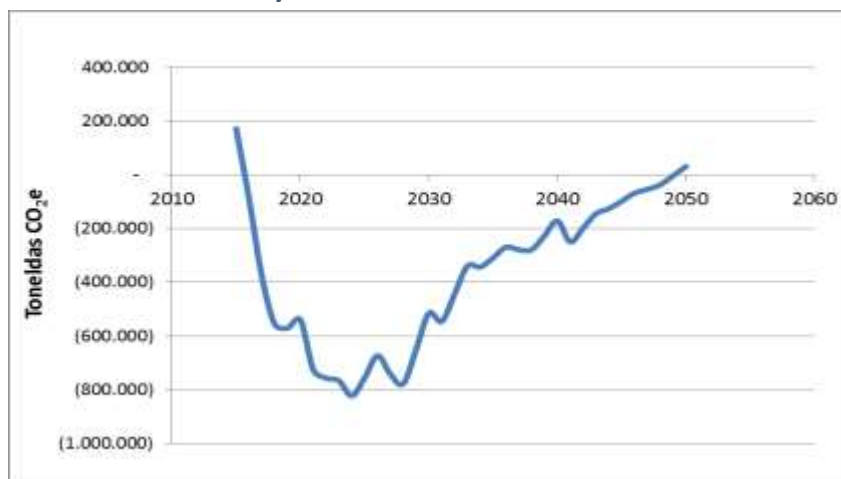
Fuente: elaboración propia con datos a partir de Agresta (2015) y Herramienta CDI

Cuadro 49 Proyección de Emisiones de Referencia para el Sector Forestal en Costa Rica (Mg CO₂-e)

Año	Bosques Nuevos Existentes	Bosques nuevos a establecerse	Bosques Maduros	Total
2015	(1.741.045)	(1.161.234)	3.074.811	172.532
2016	(1.594.746)	(1.557.192)	3.063.685	(88.252)
2017	(1.572.168)	(1.857.693)	3.052.608	(377.252)
2018	(1.519.329)	(2.077.457)	3.041.579	(555.207)
2019	(1.371.559)	(2.228.969)	3.030.598	(569.931)
2020	(1.235.622)	(2.322.916)	3.019.664	(538.874)
2021	(1.215.076)	(2.368.484)	2.858.339	(725.221)
2022	(1.230.398)	(2.373.595)	2.848.557	(755.436)
2023	(1.259.278)	(2.345.102)	2.838.816	(765.564)
2024	(1.291.646)	(2.359.295)	2.829.114	(821.826)
2025	(1.223.181)	(2.350.507)	2.819.453	(754.235)
2026	(1.160.191)	(2.321.880)	2.809.831	(672.240)
2027	(1.264.861)	(2.276.242)	2.800.249	(740.854)
2028	(1.351.972)	(2.216.134)	2.790.706	(777.400)
2029	(1.287.025)	(2.143.847)	2.781.203	(649.668)
2030	(1.224.604)	(2.061.440)	2.771.738	(514.306)
2031	(1.198.033)	(1.970.765)	2.624.197	(544.601)
2032	(1.185.167)	(1.873.481)	2.615.725	(442.922)
2033	(1.174.299)	(1.771.071)	2.607.287	(338.083)
2034	(1.164.264)	(1.776.981)	2.598.881	(342.364)
2035	(1.122.046)	(1.776.161)	2.590.508	(307.699)
2036	(1.081.436)	(1.769.241)	2.582.168	(268.509)
2037	(1.095.102)	(1.756.811)	2.573.860	(278.053)
2038	(1.103.579)	(1.739.423)	2.565.584	(277.418)
2039	(1.065.119)	(1.717.593)	2.557.340	(225.372)
2040	(1.027.865)	(1.691.799)	2.549.129	(170.535)
2041	(1.000.377)	(1.662.487)	2.413.902	(248.962)
2042	(973.857)	(1.630.068)	2.406.548	(197.377)
2043	(948.262)	(1.594.925)	2.399.222	(143.965)
2044	(923.389)	(1.593.960)	2.391.922	(125.427)
2045	(892.190)	(1.589.933)	2.384.650	(97.474)
2046	(861.926)	(1.583.118)	2.377.404	(67.640)
2047	(849.399)	(1.573.770)	2.370.185	(52.984)
2048	(837.134)	(1.562.125)	2.362.992	(36.266)
2049	(810.206)	(1.548.404)	2.355.826	(2.784)
2050	(784.054)	(1.532.812)	2.348.686	31.819
Total	(43.560.454)	(68.388.805)	99.192.952	(12.756.307)

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

Gráfico 64 Estimación del Cambio de Existencias de Carbono forestal en Costa Rica a partir de la Proyección de Cobertura boscosa



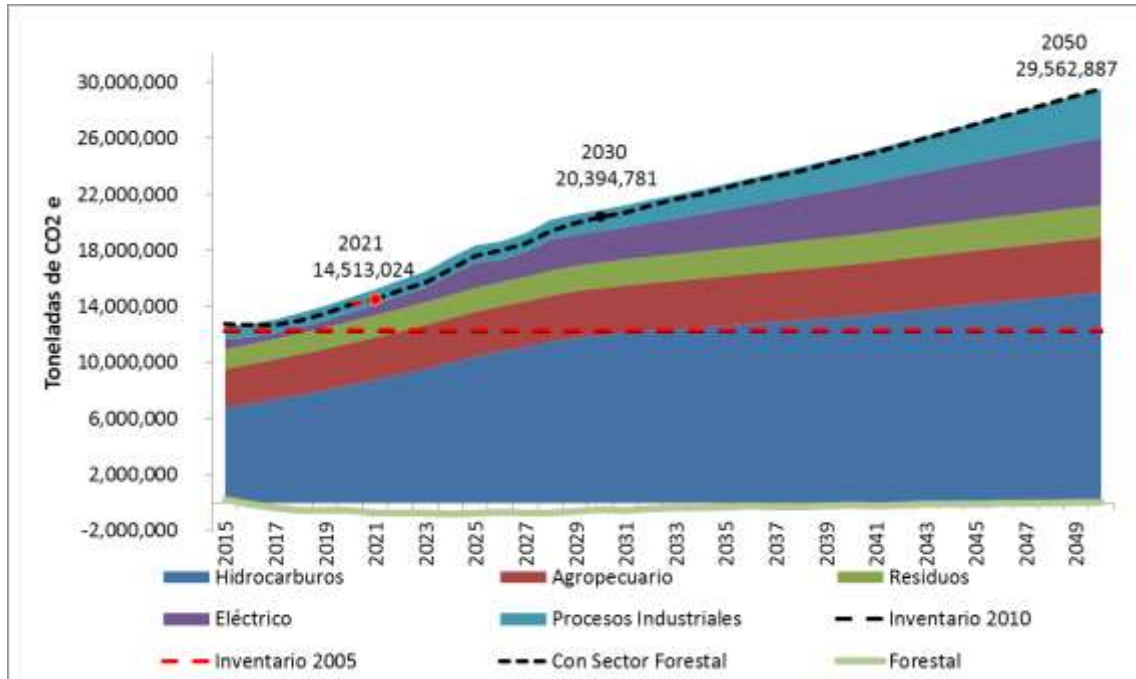
Fuente: elaboración propia con datos a partir de Agresta (2015) y Herramienta CDI

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 65 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 CO₂e 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 CO₂e, 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 CO₂e, 14% por encima de los niveles estimados para el 2015.

Gráfico 65 Escenario Nacional de Referencia: Emisiones Totales al 2050



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

Como se ve en el Cuadro 50 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.

Cuadro 50 Participación Sectorial en las Emisiones Brutas del Escenario de Referencia (Sin Sector Forestal)

Año	Procesos					
	Hidrocarburos	Agropecuario	Residuos	Eléctrico	Industriales	
2015	54%	22%	11%	6%	7%	
2020	57%	20%	11%	4%	7%	
2025	57%	17%	9%	10%	7%	
2030	57%	16%	9%	11%	7%	
2035	56%	16%	9%	12%	8%	
2040	54%	15%	8%	14%	9%	
2050	51%	13%	8%	16%	12%	

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

Esta disminución en la intensidad de emisiones de CO₂e 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 CO₂e.

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 Neutralidad⁴¹ 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 2005.⁴²

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.⁴³ 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 CO₂e en el 2010. Comparado con las 12.285.900 toneladas de CO₂e 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 (Gráfico 66). Estas

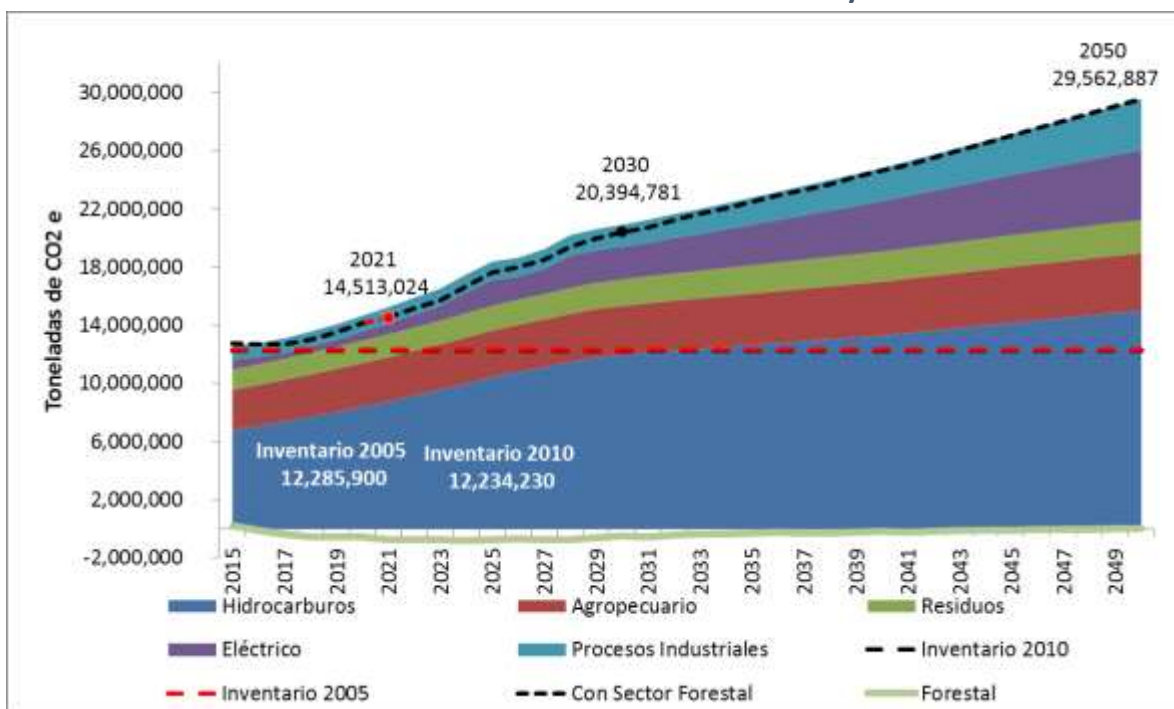
⁴¹ ALCANCE 79- 19 Junio 2012- Acuerdo Programa País.

⁴² 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>

⁴³ 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.

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.

Gráfico 66 Escenario de Referencia de Emisiones Totales y Meta C-Neutral



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

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 51 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 CO₂e. 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 51 Intensidad de Emisiones por Habitante y Producto

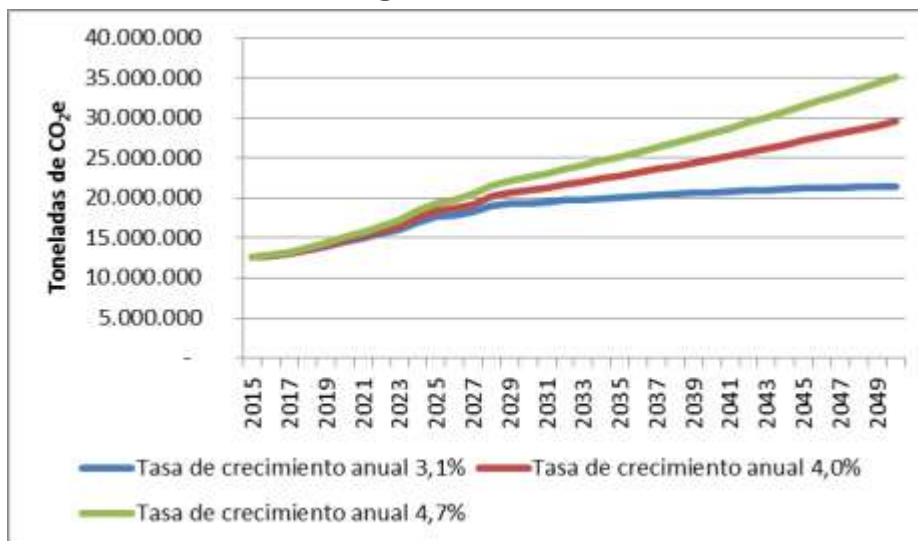
Año	CO ₂ e per cápita	CO ₂ e / Millón de PIB
2015	2,6	4,8
2020	2,8	4,3
2030	3,7	4,2
2040	4,2	3,5
2050	4,9	2,8

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 (3,1%), o mayor (4,7%), los resultados son los que se observan en el Gráfico 67. 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 CO₂e 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%.

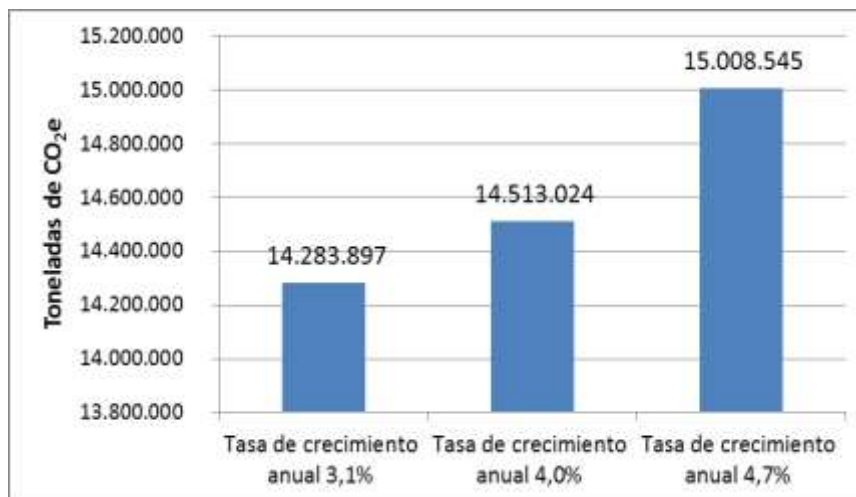
Gráfico 67 Emisiones Totales según Tasas alternativas de Crecimiento del PIB



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

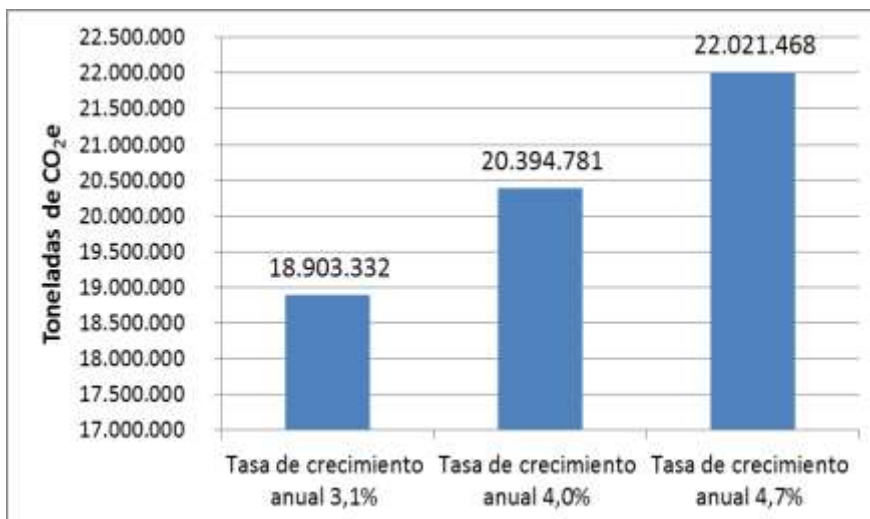
Estos resultados muestran cómo con la intensidad de emisiones de la producción nacional es muy sensible al crecimiento económico efectivo. En los Gráficos 68, 69 y 70 se muestran los resultados de las emisiones a las tasas alternativas de crecimiento del PIB para el 2021, 2030 y 2050, respectivamente. Finalmente, el Cuadro 52 presenta los resultados de las emisiones en el escenario de referencia por sector y agregadas a nivel nacional.

Gráfico 68 Emisiones totales en el 2021 a Tasas alternativas de Crecimiento del PIB



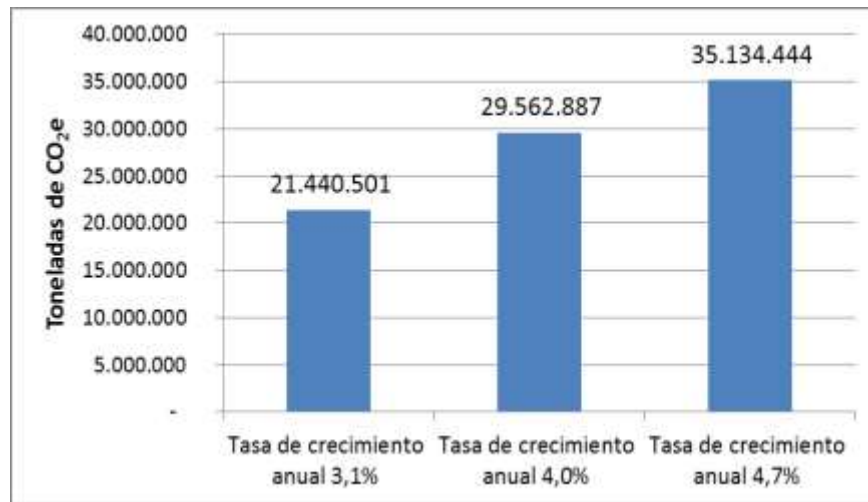
Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 69 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 70 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 52 Escenario de Referencia de Emisiones por Sector y Totales 2015-2050
(Toneladas CO₂e)**

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
2016	7.075.322	2.807.783	1.427.050	513.238	951.521	88.252	12.686.662
2017	7.383.385	2.854.010	1.459.781	399.736	984.466	377.252	12.704.126
2018	7.704.786	2.900.219	1.492.030	436.989	1.018.669	555.207	12.997.486
2019	8.042.631	2.943.911	1.523.829	489.000	1.056.155	569.931	13.485.596
2020	8.395.432	2.986.204	1.555.163	625.668	1.084.299	538.874	14.107.893
2021	8.767.885	3.027.882	1.586.059	742.967	1.113.453	725.221	14.513.024
2022	9.158.207	3.069.515	1.614.182	907.597	1.145.777	755.436	15.139.842
2023	9.566.539	3.111.542	1.642.002	1.014.168	1.181.227	765.564	15.749.914
2024	9.993.535	3.154.313	1.669.521	1.450.434	1.219.774	821.826	16.665.752
2025	10.439.288	3.192.482	1.696.769	1.783.628	1.261.405	754.235	17.619.337
2026	10.795.235	3.228.396	1.723.732	1.582.180	1.306.122	672.240	17.963.424
2027	11.119.509	3.262.450	1.750.433	1.744.470	1.353.940	740.854	18.489.949
2028	11.481.642	3.296.564	1.776.888	2.229.629	1.404.887	777.400	19.412.209
2029	11.777.924	3.331.462	1.803.097	2.229.629	1.459.004	649.668	19.951.448
2030	11.945.434	3.365.832	1.829.047	2.252.430	1.516.344	514.306	20.394.781
2031	12.117.351	3.398.748	1.854.729	2.297.836	1.576.970	544.601	20.701.034
2032	12.249.228	3.430.459	1.880.143	2.443.824	1.640.958	442.922	21.201.689
2033	12.379.253	3.461.493	1.905.320	2.522.359	1.708.392	338.083	21.638.734
2034	12.508.306	3.502.191	1.930.238	2.656.046	1.779.368	342.364	22.033.785
2035	12.636.634	3.531.871	1.954.916	2.789.733	1.853.993	307.699	22.459.447
2036	12.767.206	3.567.474	1.979.319	2.923.420	1.932.382	268.509	22.901.293
2037	12.897.649	3.601.999	2.003.438	3.057.107	2.014.661	278.053	23.296.802
2038	13.028.187	3.635.425	2.027.272	3.190.794	2.100.967	277.418	23.705.226
2039	13.158.806	3.667.730	2.050.819	3.324.481	2.191.445	225.372	24.167.909
2040	13.289.566	3.698.894	2.073.834	3.458.168	2.286.251	170.535	24.636.178
2041	13.460.298	3.728.894	2.097.137	3.591.855	2.385.551	248.962	25.014.774
2042	13.633.843	3.757.708	2.120.181	3.725.542	2.489.523	197.377	25.529.419
2043	13.809.577	3.785.314	2.142.958	3.859.229	2.598.351	143.965	26.051.464
2044	13.986.381	3.811.690	2.165.455	3.992.916	2.712.235	125.427	26.543.250
2045	14.164.432	3.836.811	2.187.664	4.126.603	2.831.382	97.474	27.049.417
2046	14.331.526	3.860.655	2.209.571	4.260.290	2.956.012	67.640	27.550.415
2047	14.499.398	3.883.200	2.231.176	4.393.977	3.086.357	52.984	28.041.124
2048	14.668.463	3.904.421	2.252.470	4.527.664	3.222.659	36.266	28.539.410
2049	14.839.374	3.924.295	2.273.447	4.661.351	3.365.174	2.784	29.060.858
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 el 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 53 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.⁴⁴

Cuadro 53 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 Carpio 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.

⁴⁴ Janssen (2012).

Sistema	Descripción
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% (ver Cuadro 54). Respecto al material orgánico el compostaje actual es de 0%, y para los escenarios de mitigación se supone que aumenta al 10% (Cuadro 55).

Cuadro 54 Porcentaje de Reciclaje del Material Recolectado

Tipo de Material	Línea	Escenario	Escenario
	Referencia	Medio	Alto
Papel y cartón	35%	65%	65%
Plástico	35%	50%	50%
Vidrio	24%	50%	50%
Metales	45%	65%	65%
Aluminio	55%	65%	65%
Textiles	10%	25%	25%
Tasa de reciclaje respecto total de residuos	9,18%	15,1%	15,1%

Fuente: elaboración propia con base en Janssen (2012)

Cuadro 55 Porcentaje de Compostaje

Tipo de Material	Línea Referencia	Escenario Medio	Escenario Alto
Restos de alimentos	0%	10%	10%
Restos de jardines y parques	0%	10%	10%

Fuente: elaboración propia con base en Janssen (2012)

En el Cuadro 56 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 56 Parámetros de Tratamiento de Residuos en Escenarios de Referencia y de Mitigación

Disposición de Desechos	Escenario de Referencia	Escenario de Mitigación 1	Escenario de Mitigación 2
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 (Cuadro 57). 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 (Cuadro 58). Los valores calóricos utilizados se muestran en el Cuadro 59.

Cuadro 57 Tasas de Eficiencia de Captación

Concepto	Línea de Referencia	Escenario de Mitigación 1	Escenario de Mitigación 2
Tasa de captación de metano	25%	50%	50%
Quema	55%	30%	30%
Generación eléctrica	0%	70%	70%

Fuente: elaboración de los autores

Cuadro 58 Residuos Sólidos: Contenido de Carbono por Fracción de Residuo

Material	C total	C fósil
Restos de alimentos	15,2%	0%
Restos de jardines y parques	19,6%	0%
Papel y cartón	41,4%	1%
Plástico	75,0%	100%
Vidrio	0%	0%
Metales	0%	0%
Aluminio	0%	0%
Textiles	40,0%	20%
Cuero	56,3%	20%
Desechos sanitarios	28,0%	10%
Madera	42,5%	0%
Residuos minerales	0,0%	0%
Otros	2,7%	100%

Fuente: Janssen (2012) según parámetros de Calculadora MRS-GEI

Cuadro 59 Valor calórico de las Fracciones de Residuos (MJ/Kg de Residuos húmedo)

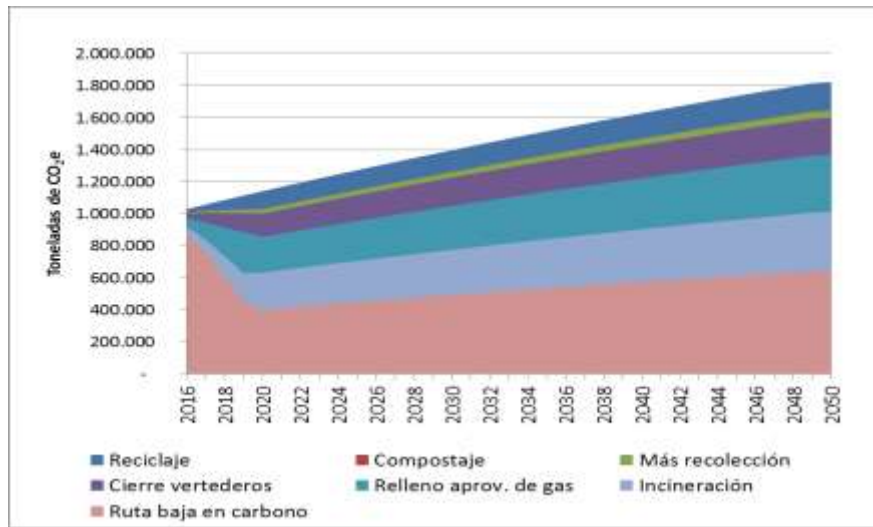
Material	Valor
Contenido orgánico de baja contenido húmedo	4
Contenido orgánico de alto contenido húmedo	2
Papel y cartón	11,5
Plástico	31,5
Vidrio	0
Metales	0
Textiles, cuero y hule	14,6
Madera	15
Restos minerales	0
Otros bajo contenidos húmedos	8,4
Otros alto contenidos húmedos	5

Fuente: Janssen (2012) según parámetros de Calculadora MRS-GEI

El Gráfico 71 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 60 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 71 Opciones de Mitigación en Residuos Sólidos bajo Escenario 1



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

Cuadro 60 Escenario 1: Potencial Reducción de Emisiones del Sector Residuos en el 2030

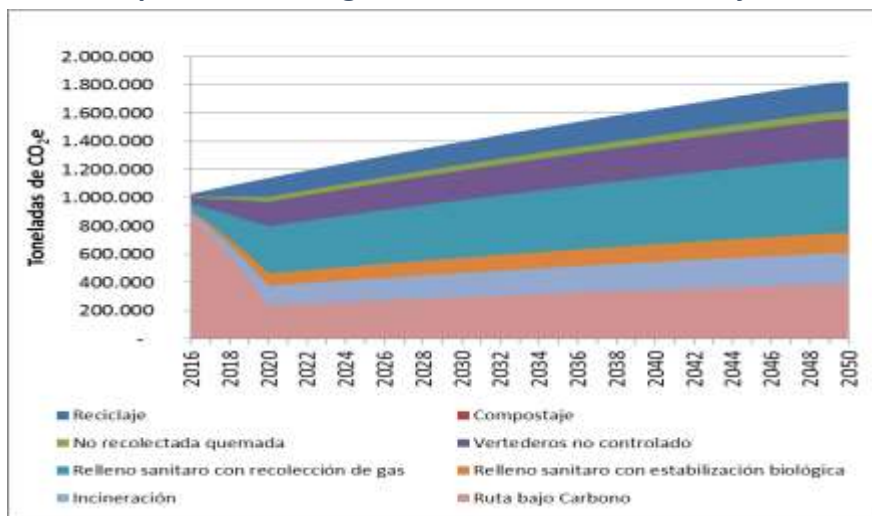
Medida	Reducción de la Medida
Reciclaje	-9,7%
Compostaje	-0,1%
Mayor recolección/menor quema	-2,5%
Cierre de vertederos a rellenos sanitarios	-12,6%
Relleno sanitario con generación eléctrica	-19,6%
Incineración	-20,2%
Total	-65,0%

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

El Gráfico 72, 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 61 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 72 Opciones de Mitigación de Residuos Sólidos bajo Escenario 2



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

Cuadro 61 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%
Total	-79,0%

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 parámetros utilizados se detallan en los Cuadros 62, 63, 64 y 65.

Cuadro 62 Costo de Manejo por Tonelada en Escenario base (US\$/tCO2)

Tipo de Manejo o Tratamiento	Costo
Rellenos sanitarios GAM	36
Rellenos sanitarios fuera GAM	21,6
Vertederos	14,4
Costo de reciclaje por Tonelada	10

Fuente: adaptado de Hogg (2002), Jansen (2010) y Calculadora MRS-GEI

Cuadro 63 Costos en Rellenos Sanitarios (US\$ por año)

Concepto	Costo
Costo fijo de inversión	1.234.000
Costo variable inversión por tonelada	14,77
Costo fijo de operación y mantenimiento	56.683
Costo variable de operación y mantenimiento por tonelada	0,88
Costo fijo anual de mantenimiento operación por generación eléctrica	140.000
Costo variable de operación y mantenimiento por tonelada por generación eléctrica	1,8
Ingreso por kWh (46,9 kWh/Tonelada de residuo)	0,1

Fuente: adaptado de Hogg (2002), Jansen (2010) y Calculadora MRS-GEI

Cuadro 64 Costos en Sistemas de Tratamiento por Incineración (US\$)

Concepto	Costo
Inversión por tonelada	69
Costo fijo anual de operación y mantenimiento	8.482.650
Costo variable de operación y mantenimiento por tonelada	21

Fuente: adaptado de Hogg (2002), Jansen (2010) y Calculadora MRS-GEI

Cuadro 65 Costos e Ingresos en Sistemas de Compostaje (US\$)

Concepto	Costo
Inversión por tonelada	23
Costo variable anual de operación y mantenimiento	32,5
Costo variable por compost por tonelada de residuos	11

Fuente: adaptado de Hogg (2002), Jansen (2010) y Calculadora MRS-GEI

Los resultados de inversión y de costos para el escenario 1 se observan en el Cuadro 66. También se muestran los resultados de la mitigación, con lo que se estima el costo de la tonelada de CO2 para cada opción de mitigación. Asimismo, en el Cuadro 67 se presentan los resultados para el escenario 2.

Cuadro 66 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
Inversión (US\$)		2,929,274			9,822,743		34,049,830
Costos O&M (US\$)	43,184,560	48,019,025	9,070,338		549,023,807		227,425,563
Ingresos (US\$)		40,454,161			39,162,436		143,809,732
Costo Incremental (US\$)	21,234,486	10,494,137	9,070,338	-28,666,805	-94,529,882		-
Emisiones Incrementales (tCO2)	-3,498,132	-31,996	-1,710,005	-7,827,843	-10,194,598		-10,498,454
Costo (US\$/tCO2)	6	328	5		-9		-11

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

Cuadro 67 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
Inversión (USD)		2,929,274			7,433,721	11,150,581	20,604,481
Costos O&M (USD)	43,184,560	48,019,025	9,070,338		504,509,114	189,190,918	180,175,868
Ingresos (USD)		40,454,161			36,149,941	16,100,199	86,285,839
Costo Incremental (USD)	21,234,486	10,494,137	9,070,338	-28,666,805	-91,173,872	42,499,609	-27,247,183
Emisiones Incrementales (tCO2)	-3,504,227	-32,011	-1,709,633	-7,827,843	-15,178,855	-4,025,072	-6,298,019
Costo (USD/tCO2)	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).

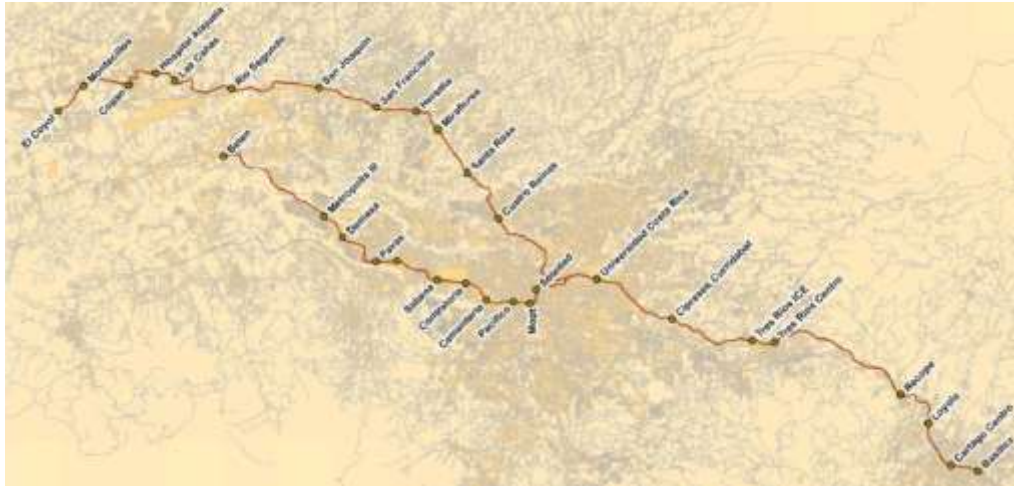
5.2.1 Tren Eléctrico Metropolitano de Pasajeros

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. La Ilustración 2 muestra la propuesta de trazado del tren metropolitano habilitando los actuales trayecto del servicio de tren.

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. La Ilustración 3 muestra el recorrido alternativo ideado actualmente. 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.⁴⁵

Ilustración 2 Sistema de Tren Metropolitano actual



Fuente: INECO (2013)- MOPT

Ilustración 3 Sistema de Transporte rápido de Pasajeros alternativo



Fuente: INCOFER

El punto de partida para las estimaciones es la demanda esperada de pasajeros que se plantea por parte del estudio de INCOFER (Cuadro 68). Del aumento neto de pasajeros se supone que 60% de los pasajeros son usuarios del transporte público, mientras que el 40% provienen de

⁴⁵ A octubre del 2015 no se conoce por parte de los autores algún estudio relacionado con el nuevo enfoque de INCOFER.

usuarios de 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.

Cuadro 68 Estimación de Demanda del Tren Metropolitano (N° pasajeros)

Año	Demanda actual	Demanda futura
2015	29.968.930	106.518.448
2016	30.290.669	107.662.001
2017	30.616.522	108.820.179
2018	30.944.787	109.986.930
2019	31.273.915	111.156.751
2020	31.602.075	112.323.125
2021	31.927.841	113.480.994
2022	32.250.312	114.627.154
2023	32.568.495	115.758.070
2024	32.881.407	116.870.252
2025	33.187.886	117.959.568
2026	33.485.905	119.018.816
2027	33.774.172	120.043.401
2028	34.052.791	121.033.698
2029	34.321.292	121.988.029
2030	34.578.890	122.903.609
2031	34.825.244	123.779.224
2032	35.060.758	124.616.310
2033	35.286.003	125.416.898
2034	35.501.018	126.181.123
2035	35.705.577	126.908.188
2036	35.899.719	127.598.225
2037	36.084.090	128.253.534
2038	36.259.386	128.876.587
2039	36.425.712	129.467.761
2040	36.582.989	130.026.768
2041	36.731.408	130.554.293
2042	36.871.280	131.051.441
2043	37.002.960	131.519.471
2044	37.126.759	131.959.488
2045	37.243.061	132.372.861
2046	37.352.334	132.761.248
2047	37.454.825	133.125.531
2048	37.550.578	133.465.866
2049	37.640.613	133.785.877
2050	37.726.172	134.089.980

Fuente: INECO (2013)

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%. El ahorro neto con el servicio de trenes se observa en el Gráfico 73.

Gráfico 73 Ahorro de Energía con el Tren Metropolitano



Fuente: elaboración propia con datos de INECO (2013) y DSE (2013)

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.⁴⁶ 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 (ver Cuadro 69 y Cuadro 70). 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 del Cuadro 71 y los parámetros del Cuadro 72.

⁴⁶ 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.”

Cuadro 69 Situación del Sistema Metropolitano de Autobuses

Sector	Longitud (km)	Despachos (viajes al día)	Demanda (pasajeros)
Central	99	n.d.	88.723
Escazu - Santa Ana	750	1.784	100.583
Guadalupe – Moravia	835	3.646	208.797
Hatillo – Alajuelita	462	3.503	182.881
Intersectorial	71	28	13.357
Pavas	84	1.460	73.593
San Francisco - Desamparados	619	3.520	160.812
San Pedro - Curridabat	684	3.578	168.769
ibas - Santo Domingo	337	1.892	72.087
Uruca - Heredia	333	2.589	118.399
Total general	4.370	22.200	1.208.019

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

Cuadro 70 Situación esperada con la Modernización del Sistema Metropolitano de Autobuses

Sector	Demanda estimada (pasajeros)	Flota estimada (unidades)	Longitud recorrido (Km al día)
Central	31.056	43	5.973
Escazú-Santa	69.195	150	21.883
Guadalupe-Moravia	127.767	183	35.576
Hatillo-Alajuelita	187.088	151	27.665
Intersectorial	67.327	83	21.866
Pavas	42.883	41	7.769
San Francisco-Desamparados	127.226	154	30.187
San Pedro-Curridabat	166.287	190	39.015
Tibás-Santo Domingo	50.512	78	15.827
Uruca-Heredia	79.486	106	21.392
Diametral	281.094	221	75.287
Total	1.232.282	1.433	319.252

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

Cuadro 71 Recorrido Promedio de los Pasajeros por Sector

Sector	Recorrido promedio al día (Km)
Central	17,79
Escazú-Santa Ana	36,49
Guadalupe-Moravia	24,03
Hatillo-Alajuelita	18,68
Pavas	25,51
S Francisco-Desamparados	21,36
S Pedro-Curridabat	21,81
Tibás-Sto Domingo	23,91
Uruca Heredia	29,48

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

Cuadro 72 Parámetros en Modernización del Sistema Transporte Público

Sistema Actual	Modernización del Sistema Transporte Público
Buses actuales 2,032	553 Buses Troncales 455 Buses Líneas Complementarias 425 Buses Líneas Alimentadores
Viajes actuales 23,812	5,235 Viajes Buses Troncales 4,734 Viajes Líneas Complementarias 8,173 Viajes Buses Líneas Alimentadores
Rendimiento buses convencionales (km/litro) 10	Rendimiento buses alta capacidad (km/litro) 7,7

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

El Cuadro 73 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 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 74.

Cuadro 73 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Unidades y Viajes (miles de toneladas de CO₂)

	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 74 Reducción potencial de Emisiones de GEI por Reducción de Uso de Vehículos privados (miles de toneladas de CO₂)

	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

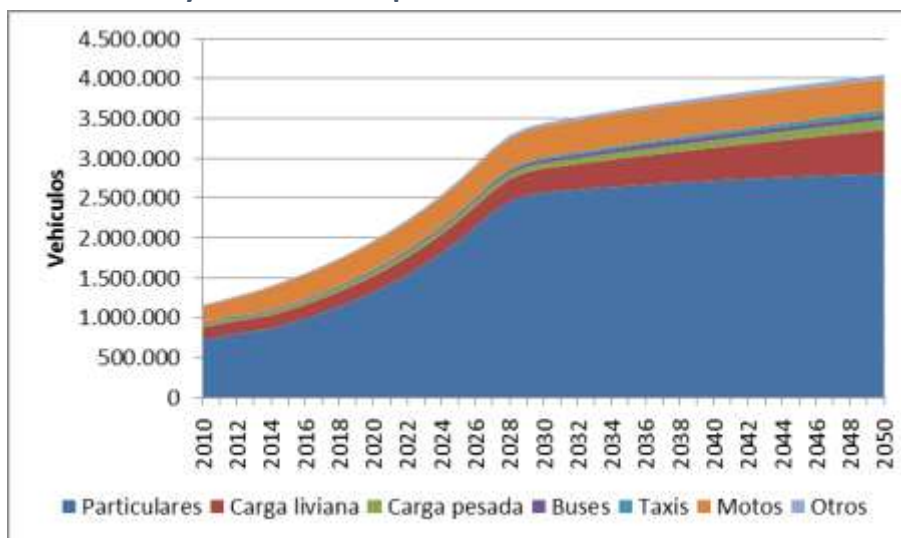
* * El ahorro anual supone plena operación del sector. El ahorro en el 2050 sigue sectores en dos etapas.

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. El Gráfico 74 muestra la composición de la flota vehicular en el escenario de referencia, cuya composición a través de los años no se ve modificada, más que por el número de vehículos de cada categoría.

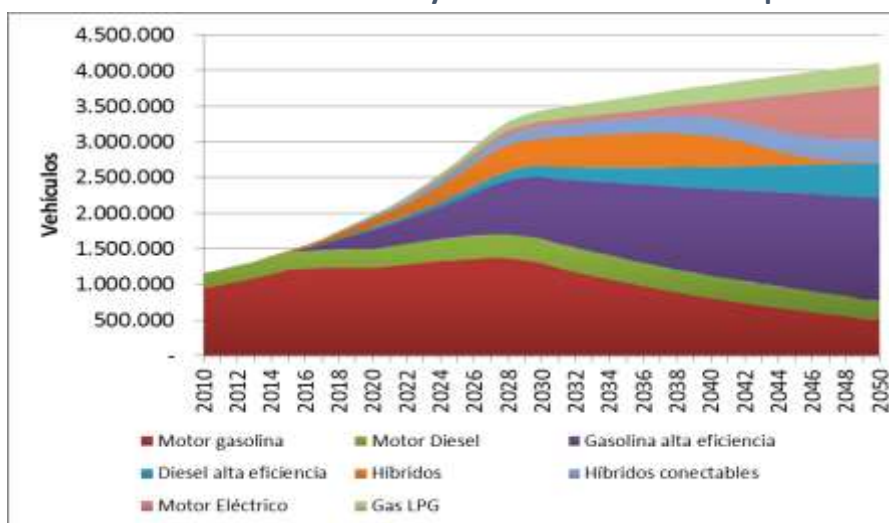
Gráfico 74 Proyección del Parque Vehicular en Escenario de Referencia



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

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 75 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 75 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 75 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.

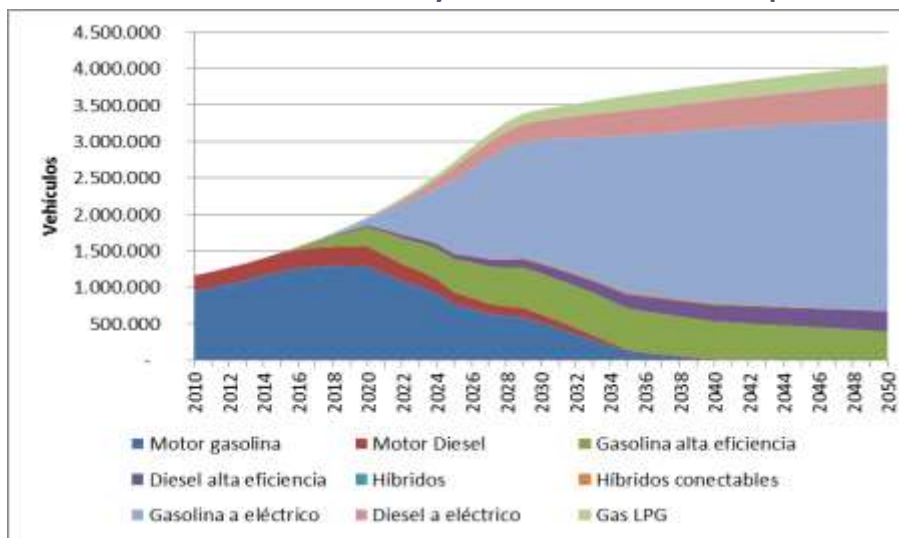
Cuadro 75 Escenario 1: Composición esperada de la Flota vehicular

Año	Convencional	Alta eficiencia	Eléctrico	Hibrido + Gas	
				LPG	
2015	100%	0%	0%	0%	0%
2030	48%	30%	2%	20%	
2050	20%	47%	18%	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 76). La composición esperada en este escenario se muestra en el Cuadro 76. 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 76 Escenario 2: Proyección de Flota de Transporte



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

Cuadro 76 Escenario 2: Composición esperada de la Flota Vehicular

Año	Convencional	Alta eficiencia	Eléctrico	Híbrido + Gas	
				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 indicados en el Cuadro 77. 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 del Cuadro 78 se utilizan para estimar las emisiones y la mitigación correspondiente con los dos escenarios analizados y las medidas respectivas.

Cuadro 77 Factores por Tipo de Vehículo

Factores Autos Híbridos*	
Consumo de combustible Fósil (Km/L)	13,74
Consumo de combustible híbrido (Km/L)	20,90
Factores Autos Eléctricos	
Consumo de combustible promedio (Km/L)	16,38
Consumo de electricidad (km/kWh)	6,2
Factores Autos Gas	
Gasolina (TJ/Litro)	0,000033
LPG (TJ/Litro)	0,000026
Factores Motores Eficientes (15% de mayor eficiencia)	
Consumo de combustible auto base (Km/L)	15,93
Consumo de combustible auto eficiente (Km/L)	19,20
Mezcla en Biocombustibles	
Bioetanol (Mezcla)	10%
Biodiesel	7%

Fuente: Elaboración propia con datos de la DSE

Cuadro 78 Factores de Emisión de Hidrocarburos

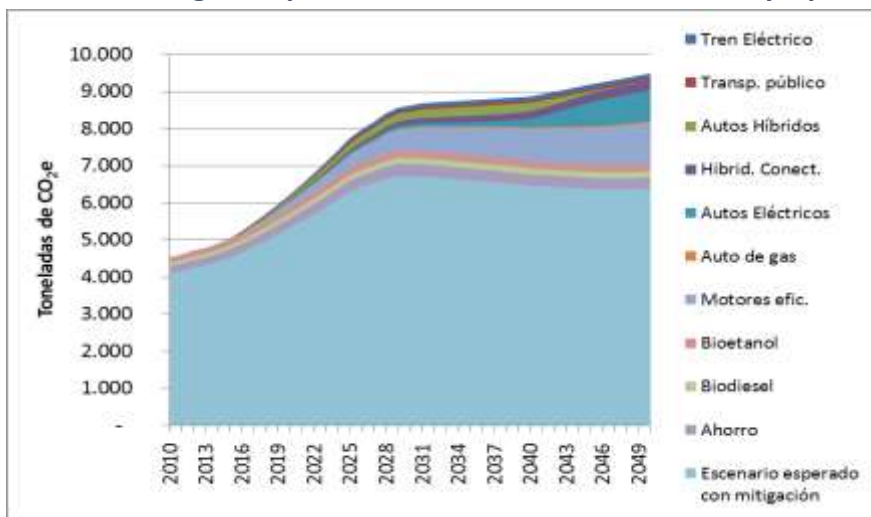
Tipo de Combustible	Toneladas CO₂e/TJ
Coque	93,4
Diésel	73,9
Kero	73,4
GLP	63,3
Gasolina	69,2
Bioetanol	16,5
Biodiesel	45,8
Fuel Oil	77,3

Fuente: DSE

Los resultados para el escenario 1 se presentan en el Gráfico 77. 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.

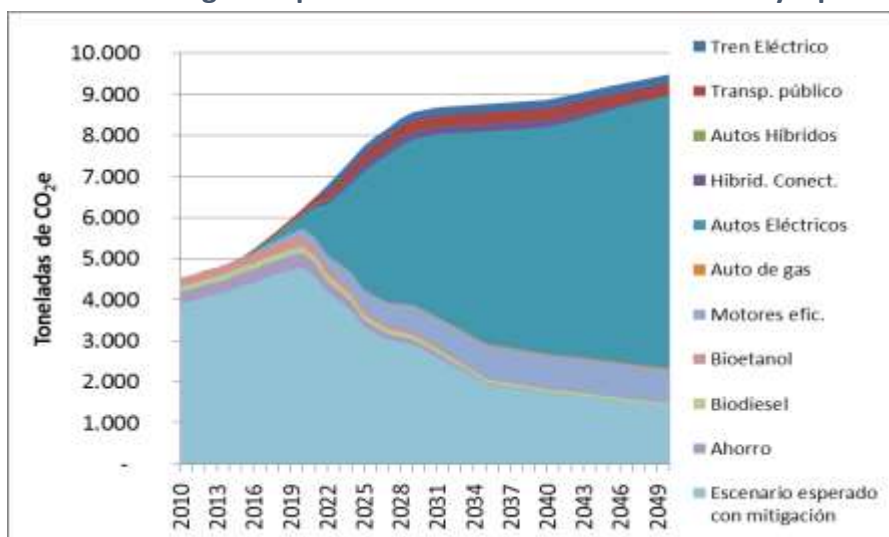
El Gráfico 78 presenta los resultados del escenario 2. En este caso hay un cambio fundamental en las emisiones del sector, ya que hay una mayor proporción de autos eléctricos, con una huella de carbono muy baja. Adicionalmente, los vehículos convencionales, de gas LPG e híbridos reducen significativamente su importancia relativa.

Gráfico 77 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 78 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 79. El escenario 1 presenta un potencial de disminución del 25%, mientras que el escenario 2 muestra un potencial del 62%. Para la estimación de los costos se usan los parámetros del Cuadro 80. Los resultados de costos de cada medida, su potencial de mitigación y costo por tonelada reducida se muestran en el Cuadro 81.

Cuadro 79 Sector Transporte: Impacto en Reducción de Emisiones en el 2030

Escenario 1			Escenario 2		
Medida	Contribución a Reducción de Emisiones en Transporte	Contribución acumulada	Medida	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

Cuadro 80 Parámetros para Estimación de Costos en Escenarios de Transporte

Concepto	Escenario de Referencia	Escenarios de Mitigación
Costo de vehículo convencional (US\$)	20,000	
Costo vehículo híbrido (US\$)		33,000
Costo vehículo híbrido conectable (US\$)		33,000
Costo vehículo eléctrico (US\$)		36,000
Reconversión de vehículo de gasolina a gas (US\$)		1,600
Costo de vehículo con mayores estándares de eficiencia (US\$)		25,000
Precio promedio del litro de gasolina (US\$)	1,31	
Precio promedio del litro de diésel (US\$)	0,88	
Precio promedio del litro de gas (US\$)		0,54
Precio promedio del litro de etanol (US\$)		1,43
Precio promedio del litro de biodiesel (US\$)		1,05

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

Cuadro 81 Costos y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Transporte

Concepto	Tren	Bus BTR	Autos Híbridos	Híbridos Conectables	Autos Eléctricos	Autos De Gas	Motores Eficientes	Bioetanol	Biodiesel	Medidas de ahorro
Costos de Referencia (US\$)	Inversión	440.611.238	-	4.582.968.596	5.515.041	449.799.375	-	13.572.313.652	-	-
	O&M	2.389.245.626	3.542.314.330	2.552.276.912	1.033.769.541	14.173.865.128	1.057.755.057	8.719.717.271	1.393.956.411	608.042.715
	Total	2.829.856.864	3.542.314.330	7.135.245.509	1.039.284.582	14.623.664.503	1.057.755.057	22.292.030.923	1.393.956.411	608.042.715
Costo Mitigación (US\$)	Inversión	440.611.238	288.720.000	7.561.898.184	33.376.910	7.177.506.138	155.681.471	17.131.738.105	-	-
	O&M	1.549.993.926	583.025.265	1.571.747.442	183.349.298	3.442.429.544	538.945.463	7.411.759.680	1.524.484.300	729.651.257
	Total	1.990.605.165	871.745.265	9.133.645.626	216.726.208	10.619.935.682	694.626.935	24.543.497.785	1.524.484.300	729.651.257
Incremental	Costo Incremental (US\$)	- 839.251.700	-2.670.569.065	1.998.400.117	-822.558.374	-4.003.728.822	-363.128.122	2.251.466.862	130.527.889	121.608.542
	Emisiones Incremental (TCO₂)	- 9.150.994	-8.415.894	-2.531.834	-28.898.523	-134.257.126	-845.157	-20.504.932	-5.096.985	-5.123.190
	Costo (US\$/TCO₂)	-92	-317	789	-28	-30	-430	110	26	24

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. En el Cuadro 82 se muestra un detalle de los proyectos que se desarrollarían en los escenarios de mitigación alternativos.

Cuadro 82 Proyectos en Escenarios de Mitigación (2021-2035)

Año	RUTA 0		RUTA 1: Recomendada		RUTA 2	
	Proyecto	Potencia Instalada MW	Proyecto	Potencia Instalada MW	Proyecto	Potencia Instalada MW
2020			Hidro Proy	50		
2021	Hidro Proy	50	Turbina Proy 1	80	Turbina Proy	80
	Turbina Proy	80				
2022	Turbina Proy	80	Turbina Proy 2	80	Hidro Proy	100
					Turbina Proy	80
2023	Borinquen 1	55	Borinquen 1	55	Borinquen 1	55
	Hidro Proy	150	Eólico Proy	50	Eólico Proy	50
			Hidro Proy	100	Hidro Proy	50
2024	Borinquen 2	55	Borinquen 2	55	Borinquen 2	55
					Eólico Proy	50
2025	Renovables	600	Diquís	623	CCGNL	300
			Diquís Minicentral	27	Turbina Proy 1	-80
					Turbina Proy 2	-80
2026	Geotérm Proy	55			Geotérm Proy	110
2027	Geotérm Proy	55			CCGNL	300
					Geotérm Proy	55
2028	Renovables	50			Hidro Proy	50

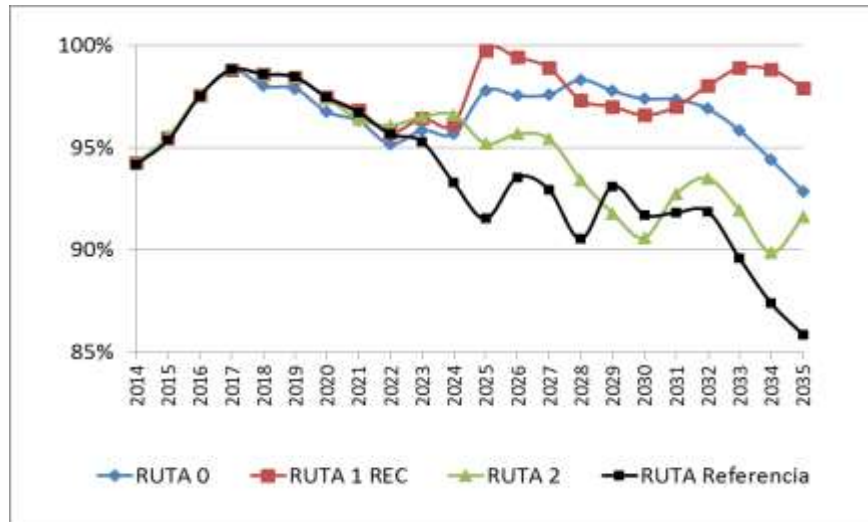
Año	RUTA 0		RUTA 1: Recomendada		RUTA 2	
	Proyecto	Potencia Instalada MW	Proyecto	Potencia Instalada MW	Proyecto	Potencia Instalada MW
	Geotérmicos	220				
2029			Hidro Proy	150		
2030	Eólico Proy	50	Geotérm Proy 1	55	Hidro Proy G2	50
	Hidro Proy	50				
	MMV Proy	100				
2031	Eólico Proy	150	Geotérm Proy	110	Geotérm Proy	165
					Hidro Proy G6	50
2032	Hidro Proy	100	Eólico Proy	100	Hidro Proy	250
	Hidro Proy	50	Geotérm Proy	165		
	MMV Proy	100	Hidro Proy G	50		
2033	MMV Proy	100	Eólico Proy	150	CCGNL 3	300
	Turbina Proy	160	Hidro Proy	250		
2034	MMV Proy	100	Eólico Proy	100		
	Turbina Proy	80	Hidro Proy	50		
2035	Turbina Proy	80	Turbina Proy	160	Hidro Proy	150
					Eólico Proy	250

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

En el Gráfico 79 se detallan las diferencias que existen entre las opciones de mitigación (las 3 Rutas alternativas) y el Escenario de Referencia, con relación al porcentaje de generación con fuentes renovables proyectado en cada caso. 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 2030.⁴⁷

⁴⁷ 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 79 Porcentaje de Generación con Fuentes Renovables para Escenarios de Referencia y Mitigación (2014-2035)



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

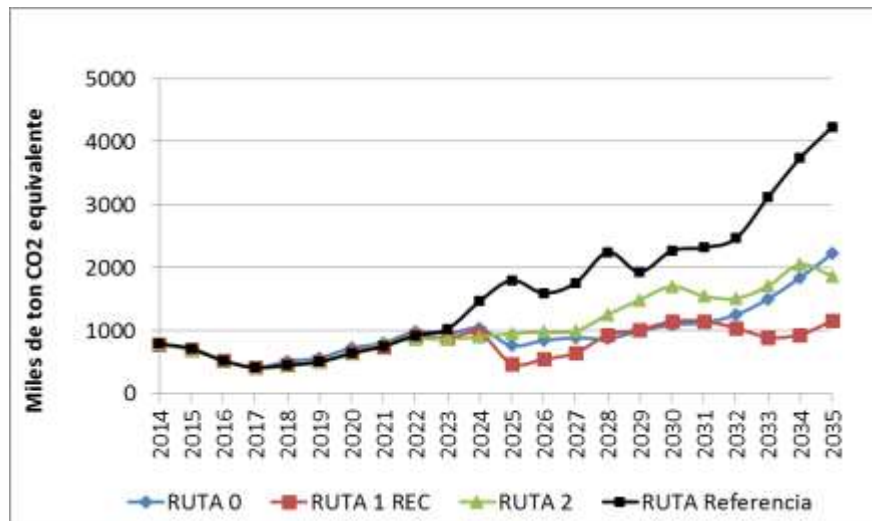
La diferencia en el nivel de emisiones es notoria entre los tres escenarios de mitigación, dada la composición de la generación que se espera para cada uno de ellos y la diferencia que se presenta en los factores de emisión utilizados en este ejercicio, que han sido establecidos con base en la generación total que se da en el Sistema Eléctrico Nacional (Cuadro 83). 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 80, 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.

Cuadro 83 Coeficiente de Emisión en Generación eléctrica (toneladas de CO₂e/GWh)

Fuente	Coeficiente de emisión de CO ₂
Hidroeléctrico	12,5
Eólico	0,0
Geotérmico	121,7
Térmico (Turbinas)	752,4
Gas Natural (Ciclo Combinado)	350,0

Fuente: ICE (2014)

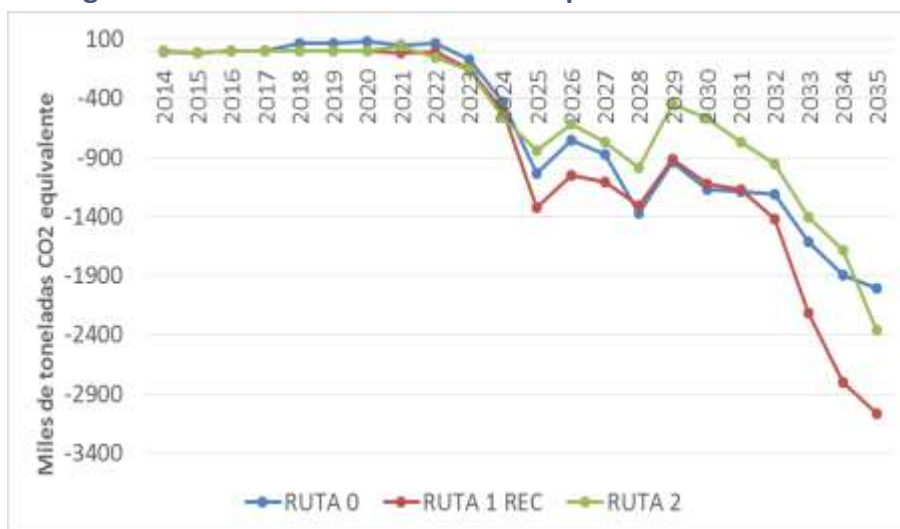
Gráfico 80 Emisiones bajo Planes de Expansión y Escenario de Referencia (2014-2035)



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 81). 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 81 Mitigación de Rutas alternativas en Comparación al Escenario de Referencia



Fuente: elaboración con datos del ICE (2014)

En el Cuadro 84 se detallan los costos asociados con cada Ruta del PEG así como el escenario de referencia elaborado. El ejercicio 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.

Cuadro 84 Costos en Escenarios de Mitigación y Referencia (2014-2035)

	RUTA 0	RUTA 1 Recomendada	RUTA 2	RUTA Referencia
Costo de Inversiones	6.043.123.764	6.193.393.408	6.153.719.743	4.940.322.307
Combustible + Operaciones & Mantenimiento (O&M)	836.017.866	669.186.951	720.257.763	980.859.617
Ingresos	8.589.161.931	8.589.443.913	8.589.567.145	8.589.865.949

Fuente: ICE, Gerencia Electricidad, Planificación y Desarrollo Eléctrico y estimaciones propias

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 85). 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 85 Contribución y Costos de Mitigación del Sector Eléctrico (2014-2035)

	Mitigación (Contribución) (Toneladas de CO₂)	Costo de Mitigación (USD por Tonelada CO₂)
RUTA0	12.797.465	75
RUTA 1 (Recomendada)	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,⁴⁸ 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.

⁴⁸ MAG (2013).

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 CO₂.⁴⁹ Las medidas del NAMA ganadero buscan transformar el escenario BAU por una serie de condiciones que se describen a continuación:⁵⁰

- 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 Cuadro 86 muestra 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 clusters 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 plantee el sector. En el Gráfico 82 se muestra el crecimiento de áreas de pastos mejorados en el escenario de referencia y en un escenario 1, donde la tasa de crecimiento es del 1%; y un escenario 2 en donde esa tasa es del 2%.

⁴⁹ SIDE (2015).

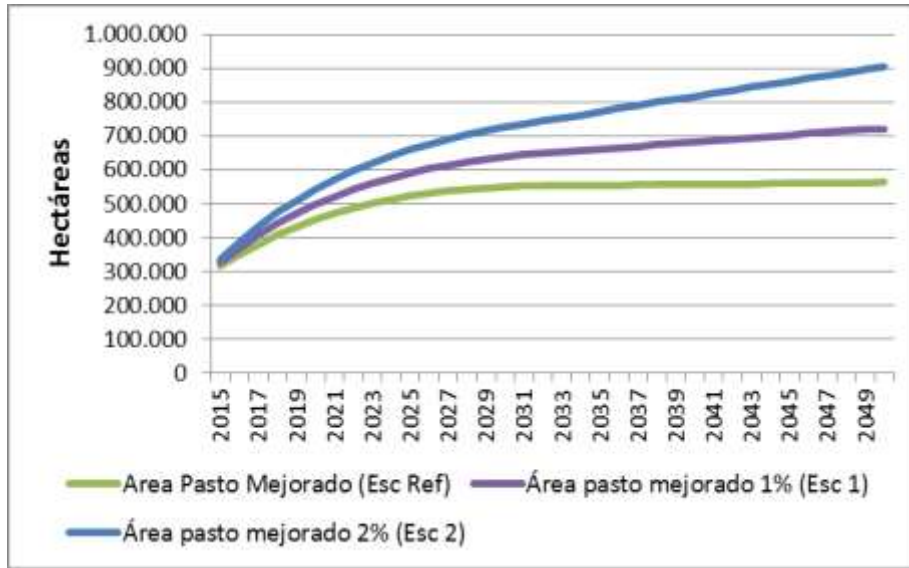
⁵⁰ MAG (2013).

Cuadro 86 Medidas de Manejo de la Alimentación y la Finca

Alternativa	Prácticas o Componentes
Mejor manejo de pastos	Potreros más pequeños Cercos eléctricos Rotación de potreros Control sistemático de malezas Fertilización (opción A química) Fertilización (orgánica opción B)
Sistemas silvopastoriles	Arboles dispersos en potrero Bosquetes y parches Cercas vivas Ramoneo de Leguminosas arbustivas
Plantaciones forestales	Teca Melina
Bancos forrajeros	Caña de azúcar Sorgo forrajero King grass Cratylia y otras leguminosas
Ensilajes	En bolsa (pastos nutritivos) Pacas (pastos nutritivos) Silo-pacas (pastos nutritivos) Silo de piso (maíz o sorgo)
Manejo de la finca-negocio	Control de sanidad Manejo reproductivo Mejoramiento genético Decisiones de saca de ganado improductivo Gestión de riesgos Suplementación estratégica y diferenciada Manejo de costos
Infraestructura y equipos	Instalaciones de manejo Sala y equipos de ordeño Romana para control de pesos Equipos de campo (motoguadañas, bombas de aspersión)
Pacas	Trasvala Braquipara Arroz
Concentrados	Varios

Fuente: SIDE (2015)

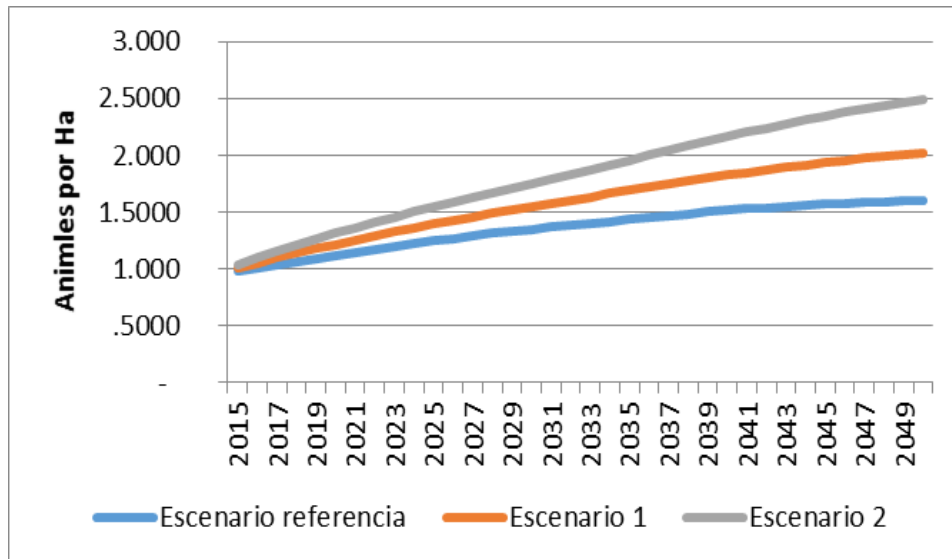
Gráfico 82 Escenarios de Pastos Mejorados



Fuente: SIDE (2015)

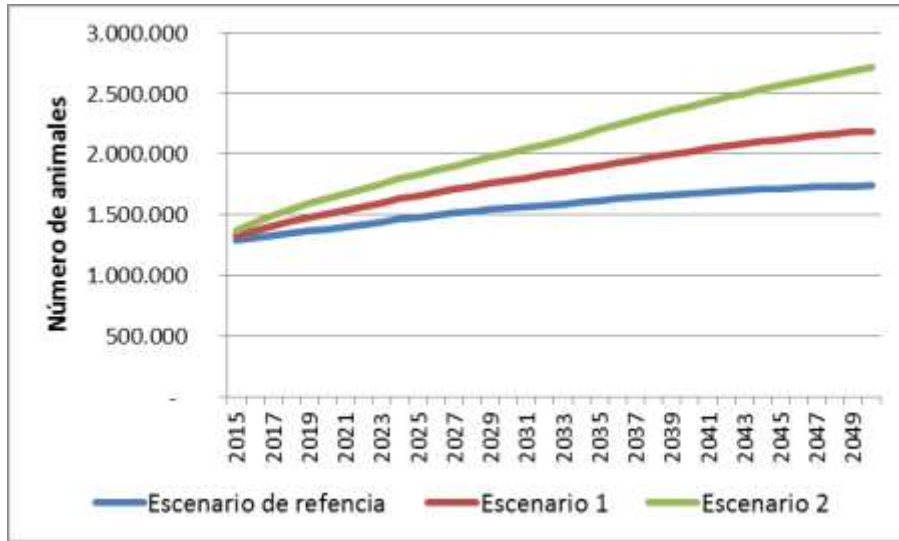
El efecto del ritmo en mejora de pastos se observa en la capacidad de carga animal en los diversos tipos de finca (Gráfico 83). Dependiendo del cluster al que pertenece la finca, la mejora de pastos es acompañada con otras medidas de mejora en la capacidad de alimentación del ganado. Los resultados del hato ganadero esperado en cada escenario se presentan en el Gráfico 84.

Gráfico 83 Escenarios de Carga Animal



Fuente: SIDE (2015)

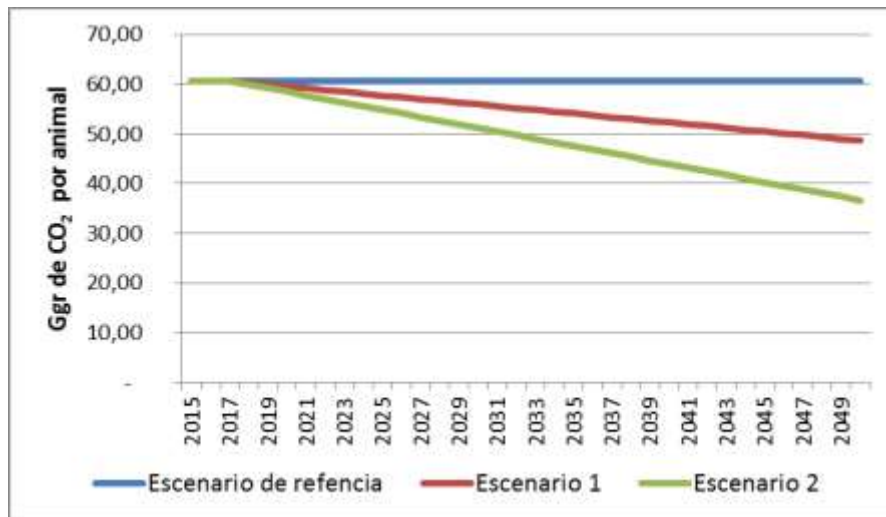
Gráfico 84 Hato Ganadero por Escenario



Fuente: SIDE (2015)

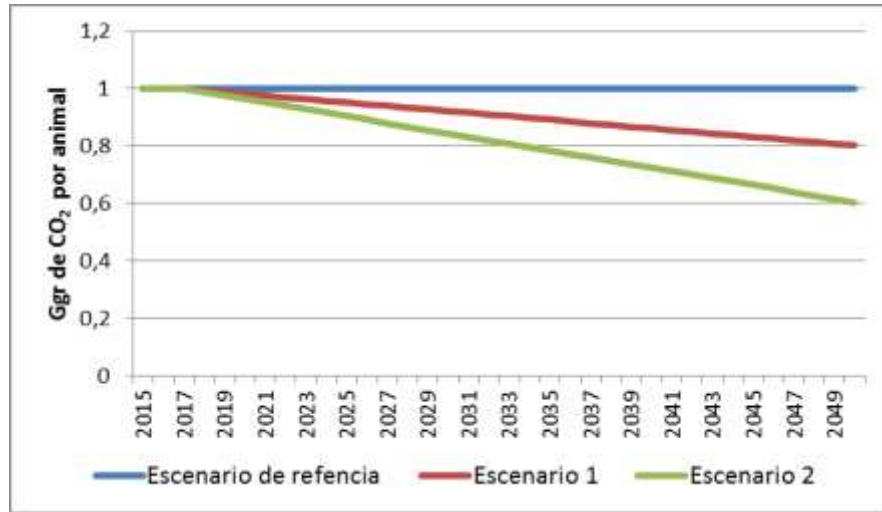
Uno de los efectos esperados con la introducción de pastos mejorados y una dieta bajo un manejo de precisión es la disminución en las emisiones por fermentación entérica y por manejo de estiércol. El LEDS Ganadero plantea que en el escenario 1 la disminución en las emisiones por cabeza de ganado es de 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. Los factores de emisión utilizados se muestran en el Gráfico 85 y Gráfico 86.

Gráfico 85 Factores de Emisión por Unidad Animal en Fermentación Entérica



Fuente: elaboración propia con datos del IMN (2014) y SIDE (2015)

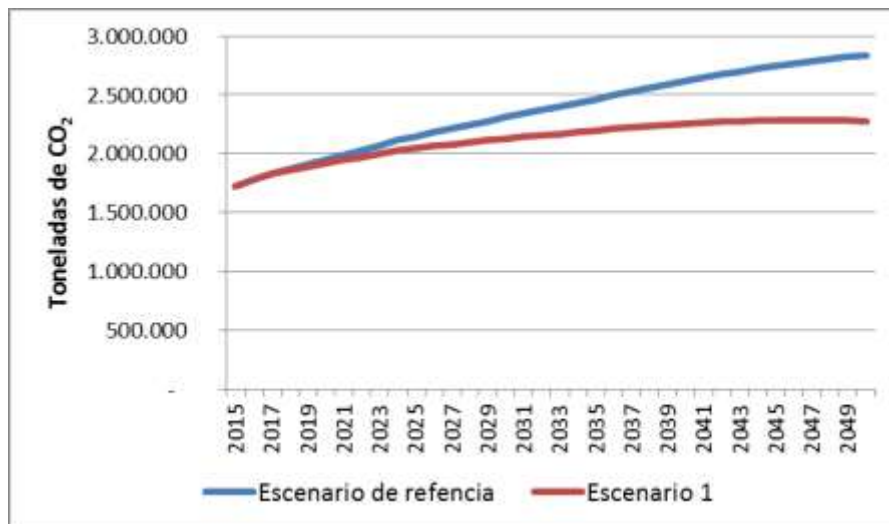
Gráfico 86 Factores de Emisión por Unidad Animal en Manejo de Estiércol



Fuente: elaboración propia con datos del IMN (2014) y SIDE (2015)

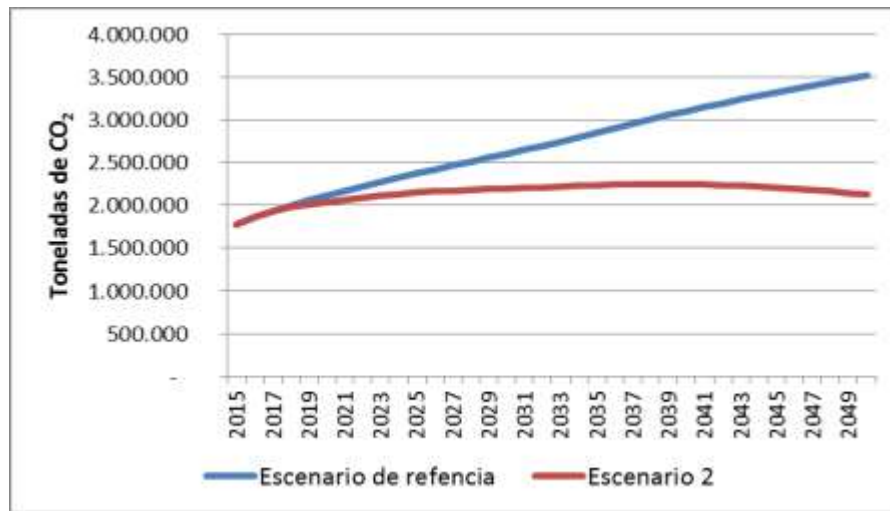
Las emisiones estimadas para los dos escenarios de mitigación se muestran en el Gráfico 87 y Gráfico 88. En cada caso se reconoce que la mejora de pasturas tendrá un efecto de mejora productiva, mientras que el aumento del hato se considera en el escenario de referencia.

Gráfico 87 Emisiones en Escenario de Mitigación 1 y el de Referencia



Fuente: elaboración propia con datos del IMN (2014) y SIDE (2015)

Gráfico 88 Emisiones en Escenario de Mitigación 2 y el de Referencia



Fuente: elaboración propia con datos del IMN (2014) y SIDE (2015)

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 nítrico (N₂O). 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.

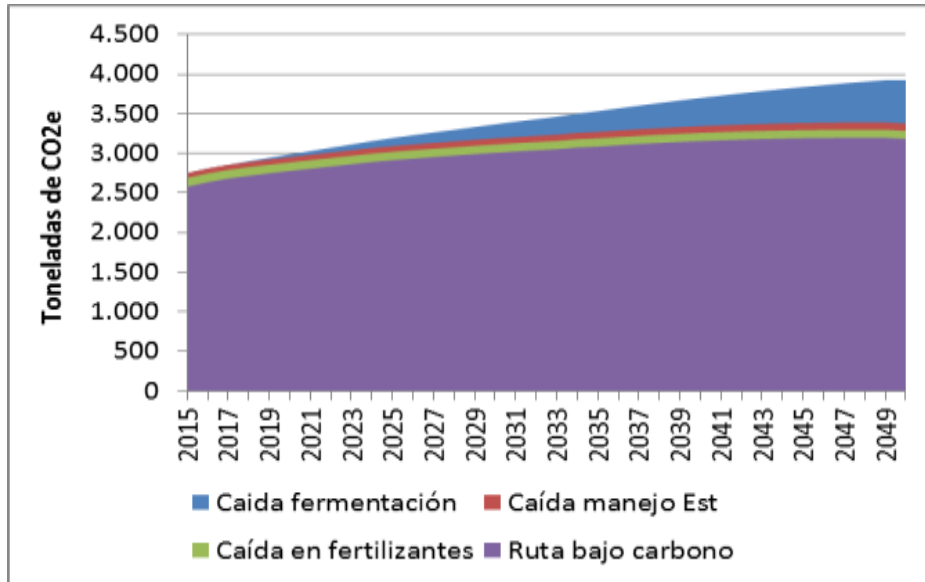
El potencial de reducción de ambos escenarios de mitigación se muestra en los Gráficos 89 y 90. Por su parte, los resultados de costos y potencial de mitigación, tanto para el programa de producción ganadera baja en emisiones, como el programa de reducción de fertilizantes, están contenidos en el Cuadro 88 y el Cuadro 89. En el Cuadro 90 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 87 Parámetros del Programa de Reducción de Fertilizantes

Consumo	
Consumo aparente (kg)	265,738,453
En sacos de 45 kg	5,905,299
Porcentaje nitrogenado	60,31%
Sacos de nitrogenado	3,561,486
Costo promedio por saco (colones)	14,662
Costo total (millones de colones)	52,219
Área	
Pasturas (ha)	1,044,910
Cultivos permanentes (ha)	377,214
Labranza (ha)	167,133
Cultivos permanentes (ha)	141,363
Total (ha)	1,730,620
Sacos/ha	2,06
Costo/ha (colones)	30,173

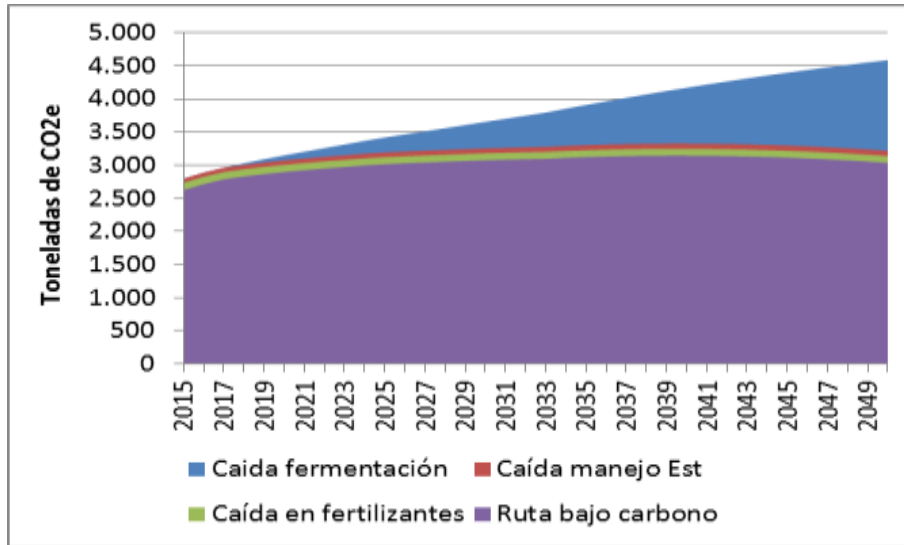
Fuente: elaboración propia con datos de INEC (2015) y MEIC (2014)

Gráfico 89 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 1



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

Gráfico 90 Impacto de Medidas Agropecuarias en Escenario 2



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

Cuadro 88 Producción Baja en Emisiones: Costos y Potencial de Mitigación

	Escenario de		
	Referencia	Escenario 1	Escenario 2
Costos Netos (USD)	690.147.816	1.078.698.351	2.279.030.889
Costo Incremental (USD)		-439.509.822	-1.610.213.248
Emisiones Incrementales (tCO2)		-8.567.237	-21.905.308
Costo Marginal (USD/tCO2)		-51	-74

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

Cuadro 89 Reducción Uso de Fertilizantes: Costos y Potencial de Mitigación

Costos Netos (USD)	42.369.316
Costo Incremental (USD)	24.369.316
Emisiones Incrementales (tCO2)	-3.819.876
Costo Marginal (USD/tCO2)	11

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

Cuadro 90 Potencial de Contribución de Medidas del Sector Agropecuario en el 2030

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

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

5.5 Sector Forestal

Por parte del sector forestal como medidas de remoción de CO₂ 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+ (Cuadro 91; FONAFIFO, 2012). La cuarta acción es parte de NAMA Ganadero.

Cuadro 91 Opciones de REDD+ Considerados en el ER-PIN y Área Estimada

Opción	Tenencia	Opción de Reducción de Emisiones	Área PSA (ha)
A	Bosques privados y Reservas Indígenas	Incorporación de área adicional de PSA para evitar la deforestación en bosques maduros	107,600
B	Bosques privados	Incorporación de área adicional de PSA para evitar deforestación en bosques de regeneración media	19,191
C	Terrenos privados	Incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en bosque nuevos	124,282
D	Terrenos privados	Incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en nuevas plantaciones forestales	72,132
E	Reservas Indígenas	Incorporación de área adicional de PSA para la captura de carbono en nuevos bosques regenerados en Territorios Indígenas	18,742
F	No Aplica	El almacenamiento de carbono en los productos de madera recolectada (PMR) mediante el aumento de consumo de madera	-
Total			341,946

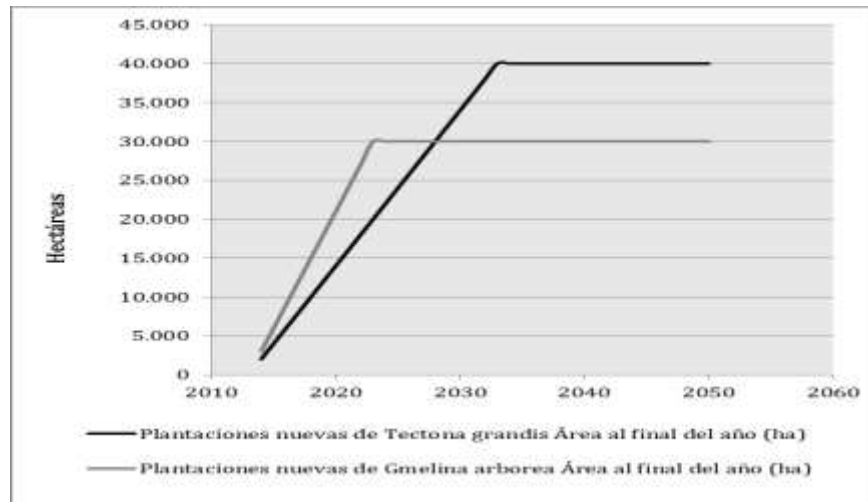
Fuente: Costa Rica ER-PIN (FONAFIFO, 2012)

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 (Gráfico 91).

Gráfico 91 Propuesta de Establecimiento de Nuevas Plantaciones 2014-2050

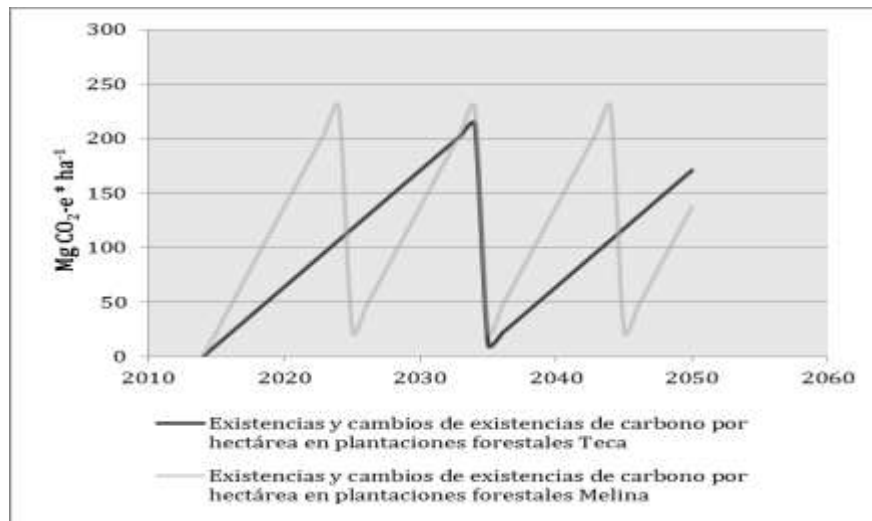


Fuente: elaboración propia con base en datos de FONAFIFO y Herramienta CDI

5.5.1.1 Existencias y Cambios de Existencias de Carbono por Hectárea

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). En el Gráfico 92 se muestra la dinámica de crecimiento y aprovechamiento de las plantaciones forestales de teca y melina, asumida en este ejercicio.

Gráfico 92 Variación de Carbono por Hectárea para Teca y Melina



Fuente: Chacón et al (2009)

5.5.1.2 Costos y Reducción de Emisiones por Plantaciones Forestales

Las actividades y costos de implementación asociados al establecimiento de plantaciones forestales de teca y melina considerados en este análisis están detallados en el Cuadro 91. 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. En el Gráfico 92 se muestran las existencias y cambios en las existencias de carbono estimadas. Se estima que el establecimiento de plantaciones de Teca y Melina podría producir remociones por 4,5 y 3,8 millones de Mg CO₂e, respectivamente.

Cuadro 92 Costos e Ingresos Asociados al Establecimiento de Plantaciones de Teca y Melina

Año	Actividad	Costo (US\$/ha)		Ingresos (US\$/ha)	
		Melina ¹	Teca ²	Teca ³	Melina ⁴
0	Establecimiento	678	1.590		
1	Mantenimiento año 1	1,118			
2	Mantenimiento año 2 / Raleo	291	621		
3	Mantenimiento año 3	225	551		
4	Mantenimiento año 4	267	460		
5	Mantenimiento año 5	119	390		
6	Mantenimiento año 6 /Raleo	62	603	1.024	1.053
7	Mantenimiento año 7	62	355		
8	Mantenimiento año 8 / Raleo	62	355		1.053
9	Mantenimiento año 9	62	355		
10	Mantenimiento año 10 / Cosecha	857	355		6.109
11	Mantenimiento año 11		669	3.782	
12	Mantenimiento año 12		355		
13	Mantenimiento año 13		355		
14	Mantenimiento año 14		355		
15	Mantenimiento año 15		355		
16	Mantenimiento año 16		355		
17	Mantenimiento año 17		355		
18	Mantenimiento año 18		355		
19	Mantenimiento año 19		355		
20	Cosecha		857	42,708	
Total		3.803	10.001	47.515	8.215

Fuente: elaboración propia con base en ONF (2009), Lujan et al (2013), de Camino et al (2013) y Espinoza (2011)

Cuadro 93 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Nuevas Plantaciones de Teca

	Área al inicio del año	Área nueva adicionada en el año	Cambio anual de áreas anteriores	Área al final del año	Costo anual de Inversión y mantenimiento	Ingreso anual por producción de madera	Existencia acumulada de carbono al final del año	
Años	(ha)	(ha)	(ha/año)	(ha)	(US\$)	(US\$)	(tCO2-e)	
2014	0	0	2.000	0	2000	3.180.000	-	21.389
2015	1	2.000	2.000	0	4000	3.180.000	-	64.127
2016	2	4.000	2.000	0	6000	4.422.000	-	128.235
2017	3	6.000	2.000	0	8000	5.524.000	-	213.713
2018	4	8.000	2.000	0	10.000	6.444.000	-	320.559
2019	5	10.000	2.000	0	12.000	7.224.000	-	448.775
2020	6	12.000	2.000	0	14.000	8.430.000	2.048.580	598.361
2021	7	14.000	2.000	0	16.000	9.140.000	2.048.580	769.315
2022	8	16.000	2.000	0	18.000	9.850.000	2.048.580	961.639
2023	9	18.000	2.000	0	20.000	10.560.000	2.048.580	1.175.333
2024	10	20.000	2.000	0	22.000	11.270.000	2.048.580	1.410.395
2025	11	22.000	2.000	0	24.000	12.608.000	9.612.580	1.666.827
2026	12	24.000	2.000	0	26.000	13.318.000	9.612.580	1.944.629
2027	13	26.000	2.000	0	28.000	14.028.000	9.612.580	2.243.799
2028	14	28.000	2.000	0	30.000	14.738.000	9.612.580	2.564.339
2029	15	30.000	2.000	0	32.000	15.448.000	9.612.580	2.906.249
2030	16	32.000	2.000	0	34.000	16.158.000	9.612.580	3.269.527
2031	17	34.000	2.000	0	36.000	16.868.000	9.612.580	3.654.175
2032	18	36.000	2.000	0	38.000	17.578.000	9.612.580	4.060.193
2033	19	38.000	2.000	0	40.000	18.288.000	9.612.580	4.487.579
2034	20	40.000	2.000	-2.000	40.000	16.822.000	95.029.440	4.487.579
2035	21	40.000	2.000	-2.000	40.000	20.002.000	95.029.440	4.487.579
2036	22	40.000	2.000	-2.000	40.000	18.760.000	95.029.440	4.487.579
2037	23	40.000	2.000	-2.000	40.000	18.900.000	95.029.440	4.487.579
2038	24	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.082.000	95.029.440	4.487.579
2039	25	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.222.000	95.029.440	4.487.579
2040	26	40.000	2.000	-2.000	40.000	18.796.000	95.029.440	4.487.579
2041	27	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2042	28	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2043	29	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2044	30	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2045	31	40.000	2.000	-2.000	40.000	18.664.000	95.029.440	4.487.579
2046	32	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2047	33	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2048	34	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2049	35	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579
2050	36	40.000	2.000	-2.000	40.000	19.292.000	95.029.440	4.487.579

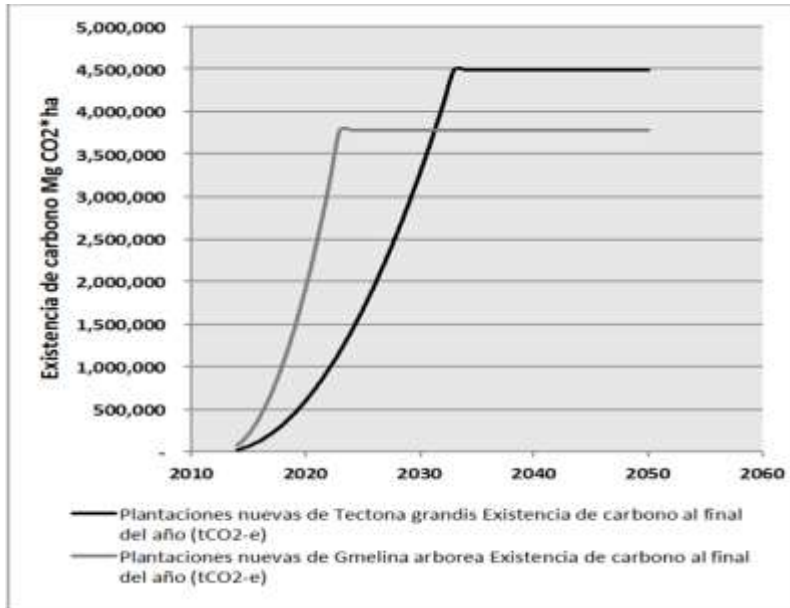
Fuente: elaboración propia con estimaciones con base en datos de FONAFIFO y Herramienta CDI

Cuadro 94 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Nuevas Plantaciones de Melina

		Área al inicio del año	Área nueva adicionada en el año	Cambio anual de áreas anteriores	Área al final del año	Costo anual de Inversión y mantenimiento	Ingreso anual por producción de madera	Existencia acumulada de carbono al final del año
Años	(ha)	(ha)	(ha/año)	(ha)	(US\$)	(US\$)	(tCO2-e)	
2014	0	0	3.000	0	3.000	2.035.410	-	68.824
2015	1	3.000	3.000	0	6.000	5.388.810	-	206.346
2016	2	6.000	3.000	0	9.000	6.261.060	-	412.629
2017	3	9.000	3.000	0	12.000	6.935.790	-	687.673
2018	4	12.000	3.000	0	15.000	7.735.290	-	1.031.478
2019	5	15.000	3.000	0	18.000	8.093.760	-	1.444.044
2020	6	18.000	3.000	0	21.000	8.279.790	3.159.273	1.925.371
2021	7	21.000	3.000	0	24.000	8.465.820	3.159.273	2.475.459
2022	8	24.000	3.000	0	27.000	8.651.850	6.318.545	3.094.308
2023	9	27.000	3.000	0	30.000	8.837.880	6.318.545	3.781.918
2024	10	30.000	3.000	-3.000	30.000	9.373.470	24.645.818	3.781.918
2025	11	30.000	3.000	-3.000	30.000	8.055.480	24.645.818	3.781.918
2026	12	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.536.630	24.645.818	3.781.918
2027	13	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.734.150	24.645.818	3.781.918
2028	14	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.609.380	24.645.818	3.781.918
2029	15	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.050.410	24.645.818	3.781.918
2030	16	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2031	17	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2032	18	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2033	19	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2034	20	30.000	3.000	-3.000	30.000	8.837.880	24.645.818	3.781.918
2035	21	30.000	3.000	-3.000	30.000	9.373.470	24.645.818	3.781.918
2036	22	30.000	3.000	-3.000	30.000	8.055.480	24.645.818	3.781.918
2037	23	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.536.630	24.645.818	3.781.918
2038	24	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.734.150	24.645.818	3.781.918
2039	25	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.609.380	24.645.818	3.781.918
2040	26	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.050.410	24.645.818	3.781.918
2041	27	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2042	28	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2043	29	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2044	30	30.000	3.000	-3.000	30.000	11.222.850	24.645.818	3.781.918
2045	31	30.000	3.000	-3.000	30.000	8.837.880	24.645.818	3.781.918
2046	32	30.000	3.000	-3.000	30.000	9.373.470	24.645.818	3.781.918
2047	33	30.000	3.000	-3.000	30.000	8.055.480	24.645.818	3.781.918
2048	34	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.536.630	24.645.818	3.781.918
2049	35	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.734.150	24.645.818	3.781.918
2050	36	30.000	3.000	-3.000	30.000	10.609.380	24.645.818	3.781.918

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

Gráfico 93 Cambio en Existencias de Carbono por nuevas Plantaciones Forestales



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

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.

5.5.2.1 Tasa de Deforestación de Bosque Maduro

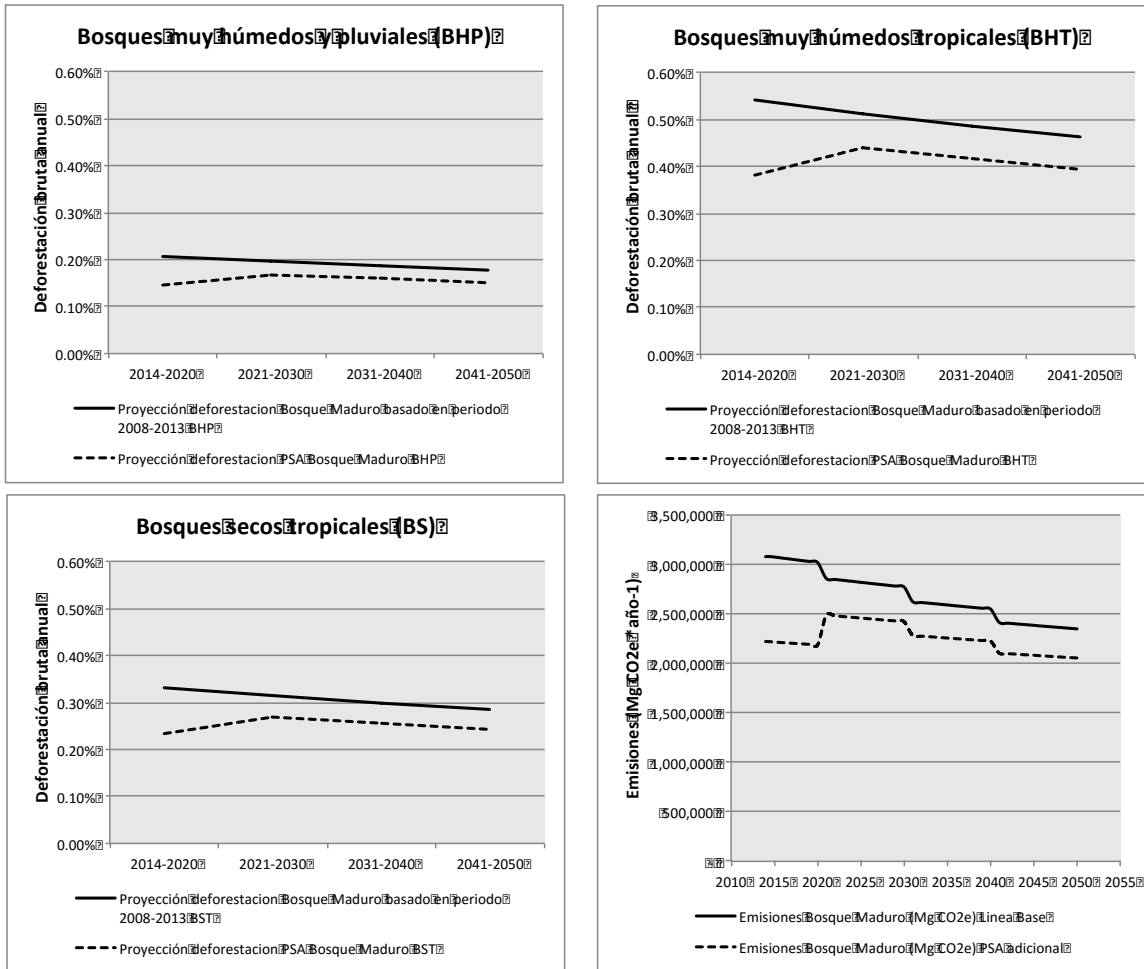
Se utilizó la tasa estimada de deforestación para cada tipo de bosque maduro asociada a la incorporación de área adicional de PSA. Esta tasa se calculó considerando un área adicional de PSA de 107.600 ha. Esta cifra es la igual a la propuesta en el programa de reducción de emisiones presentado por el 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 95). 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). Las tasas de deforestación en bosque maduro resultantes de incorporar estas áreas de PSA adicional se muestran en el Gráfico 94.

Cuadro 95 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)

Gráfico 94 Deforestación y Emisiones en Bosque Maduro y Escenario de Referencia



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

5.5.2.2 Costos y Reducción de Emisiones por PSA Adicional en Bosque Maduro

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 CO₂e.

Cuadro 96 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Bosques Maduros

Año	Área Incorporada (ha)		Área No Incorporada (ha)	Cobertura Sin Proyecto (ha)	Cobertura con Proyecto (ha)	Deforestación Evitada (ha)	Costo anual del Programa US\$/ha	Emisiones anuales Bosque Maduro (Mg CO ₂ -e/año)	
	Área anual	Acumulada						Escenario referencia	PSA adicional
2015	-	-	2.060.128	2.060.128	2.060.128	-	-	3.074.811	2.216.228
2016	10.760	10.760	2.042.871	2.053.596	2.053.631	34	860.800	3.063.685	2.210.326
2017	10.760	21.520	2.025.673	2.047.091	2.047.193	102	1.721.600	3.052.608	2.204.444
2018	10.760	32.280	2.008.535	2.040.611	2.040.815	204	2.582.400	3.041.579	2.198.581
2019	10.760	43.040	1.991.457	2.034.157	2.034.497	340	3.443.200	3.030.598	2.192.737
2020	10.760	53.800	1.974.437	2.027.728	2.028.237	509	4.304.000	3.019.664	2.186.912
2021	10.760	64.560	1.957.786	2.021.324	2.022.346	1.022	5.164.800	2.858.339	2.487.900
2022	10.760	75.320	1.941.189	2.014.945	2.016.509	1.564	6.025.600	2.848.557	2.480.483
2023	10.760	86.080	1.924.646	2.008.591	2.010.726	2.135	6.886.400	2.838.816	2.473.094
2024	10.760	96.840	1.908.157	2.002.578	2.004.997	2.419	7.747.200	2.829.114	2.465.730
2025	10.760	107.600	1.891.722	1.996.588	1.999.322	2.734	8.608.000	2.819.453	2.458.393
2026	-	107.600	1.886.068	1.990.620	1.993.668	3.047	8.608.000	2.809.831	2.451.083
2027	-	107.600	1.880.434	1.984.674	1.988.034	3.360	8.608.000	2.800.249	2.443.799
2028	-	107.600	1.874.822	1.978.750	1.982.422	3.672	8.608.000	2.790.706	2.436.541
2029	-	107.600	1.869.231	1.972.848	1.976.831	3.982	8.608.000	2.781.203	2.429.309
2030	-	107.600	1.863.660	1.966.968	1.971.260	4.291	8.608.000	2.771.738	2.422.103
2031	-	107.600	1.858.387	1.961.110	1.965.987	4.877	8.608.000	2.624.197	2.281.776
2032	-	107.600	1.853.133	1.955.273	1.960.733	5.460	8.608.000	2.615.725	2.275.393
2033	-	107.600	1.847.897	1.949.458	1.955.497	6.039	8.608.000	2.607.287	2.269.031
2034	-	107.600	1.842.680	1.943.954	1.950.280	6.326	8.608.000	2.598.881	2.262.690
2035	-	107.600	1.837.480	1.938.469	1.945.080	6.611	8.608.000	2.590.508	2.256.371
2036	-	107.600	1.832.299	1.933.004	1.939.899	6.896	8.608.000	2.582.168	2.250.074
2037	-	107.600	1.827.137	1.927.557	1.934.737	7.179	8.608.000	2.573.860	2.243.797
2038	-	107.600	1.821.992	1.922.130	1.929.592	7.462	8.608.000	2.565.584	2.237.542
2039	-	107.600	1.816.865	1.916.722	1.924.465	7.743	8.608.000	2.557.340	2.231.308
2040	-	107.600	1.811.756	1.911.332	1.919.356	8.024	8.608.000	2.549.129	2.225.095
2041	-	107.600	1.806.920	1.905.961	1.914.520	8.558	8.608.000	2.413.902	2.104.124
2042	-	107.600	1.802.099	1.900.610	1.909.699	9.090	8.608.000	2.406.548	2.098.579
2043	-	107.600	1.797.295	1.895.276	1.904.895	9.619	8.608.000	2.399.222	2.093.051
2044	-	107.600	1.792.506	1.889.961	1.900.106	10.145	8.608.000	2.391.922	2.087.541

Año	Área Incorporada (ha)		Área No Incorporada (ha)	Cobertura Sin Proyecto (ha)	Cobertura con Proyecto (ha)	Deforestación Evitada (ha)	Costo anual del Programa US\$/ha	Emisiones anuales Bosque Maduro (Mg CO ₂ -e/año)	
	Área anual	Acumulada						Escenario referencia	PSA adicional
2045	-	107.600	1.787.733	1.884.665	1.895.333	10.668	8.608.000	2.384.650	2.082.049
2046	-	107.600	1.782.976	1.879.387	1.890.576	11.189	8.608.000	2.377.404	2.076.574
2047	-	107.600	1.778.235	1.874.128	1.885.835	11.707	8.608.000	2.370.185	2.071.117
2048	-	107.600	1.773.509	1.868.887	1.881.109	12.223	8.608.000	2.362.992	2.065.677
2049	-	107.600	1.768.799	1.863.664	1.876.399	12.736	8.608.000	2.355.826	2.060.254
2050	-	107.600	1.764.105	1.858.459	1.871.705	13.246	8.608.000	2.348.686	2.054.849

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

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.

5.5.3.1 Tasa de Deforestación de Bosques Nuevos

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) (Cuadro 97).

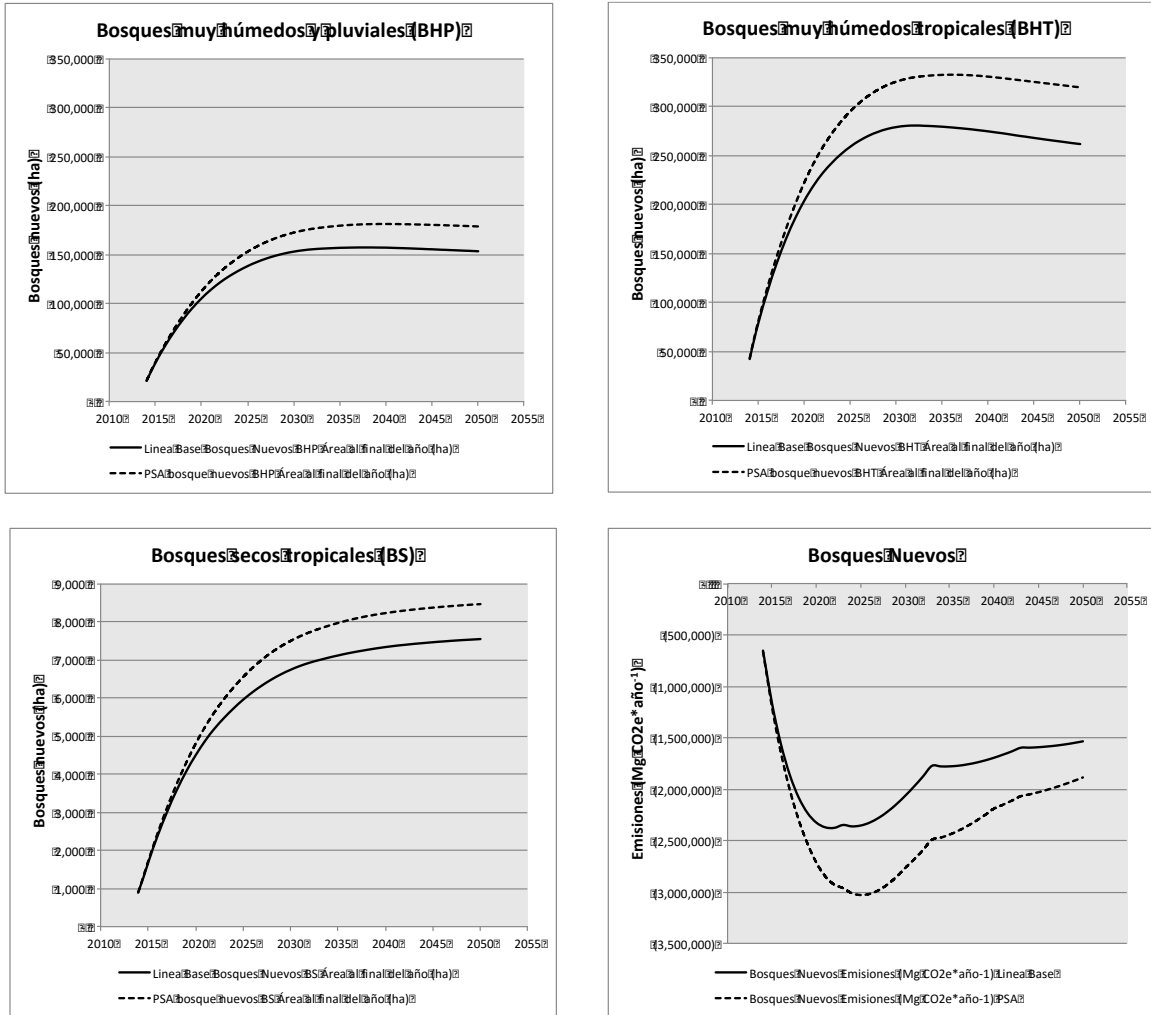
Cuadro 97 Distribución del Área Adicional de PSA en Bosques Nuevos por Estrato

Tipo de Bosque	Nuevos bosques	Porcentaje	Área Adicional de PSA	PSA anual
	(ha/año)	%	(ha)	(ha/año)
Bosque muy húmedo/pluvial	21.955	32%	40.232	5.747
Bosque muy húmedo	44.938	66%	82.347	11.764
Bosque Seco	929	1%	1.702	243
Total	67.823	100%	124.282	17.755

Fuente: elaboración propia con base en FONAFIFO (2012)

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. La proyección de la cobertura de bosques nuevos resultantes de incorporar estas áreas de PSA adicional se muestran en el Gráfico 95.

Gráfico 95 Deforestación y Emisiones en Bosque Nuevo y Escenario de Referencia



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

5.5.3.2 Costos y Reducción de Emisiones por PSA en Bosques Nuevos

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 CO₂e.

Cuadro 98 Costos y Reducción de Emisiones Estimadas de Bosques Nuevos

Año	Edad	Línea	PSA adicional	Costo anual	Emisiones Bosques Nuevos (Mg CO2e/año)	
		Referencia Bosques Nuevos (ha)	bosques nuevos (ha)	del programa PSA US\$/año	Línea Base E2	PSA A3
2015	1	39.484	40.343	2.485.640	-1.161.234	-1.201.291
2016	2	56.098	57.786	3.728.460	-1.557.192	-1.642.931
2017	3	70.846	73.613	4.971.280	-1.857.693	-2.003.050
2018	4	83.879	87.962	6.214.100	-2.077.457	-2.294.390
2019	5	95.338	100.961	7.456.920	-2.228.969	-2.527.699
2020	6	105.353	112.729	8.699.740	-2.322.916	-2.712.128
2021	7	114.044	123.085	8.699.740	-2.368.484	-2.844.919
2022	8	121.523	132.144	8.699.740	-2.373.595	-2.924.463
2023	9	127.895	140.015	8.699.740	-2.345.102	-2.959.207
2024	10	133.460	146.951	8.699.740	-2.359.295	-3.008.889
2025	11	138.279	153.019	8.699.740	-2.350.507	-3.025.947
2026	12	142.410	158.284	8.699.740	-2.321.880	-3.014.827
2027	13	145.903	162.807	8.699.740	-2.276.242	-2.979.489
2028	14	148.809	166.644	8.699.740	-2.216.134	-2.923.477
2029	15	151.174	169.847	8.699.740	-2.143.847	-2.849.964
2030	16	153.041	172.466	8.699.740	-2.061.440	-2.761.798
2031	17	154.450	174.601	8.699.740	-1.970.765	-2.679.384
2032	18	155.438	176.290	8.699.740	-1.873.481	-2.588.007
2033	19	156.041	177.569	8.699.740	-1.771.071	-2.489.363
2034	20	156.515	178.637	8.699.740	-1.776.981	-2.468.359
2035	21	156.867	179.506	8.699.740	-1.776.161	-2.438.378
2036	22	157.106	180.185	8.699.740	-1.769.241	-2.400.391
2037	23	157.239	180.686	8.699.740	-1.756.811	-2.355.299
2038	24	157.272	181.019	8.699.740	-1.739.423	-2.303.939
2039	25	157.212	181.193	8.699.740	-1.717.593	-2.247.082
2040	26	157.065	181.217	8.699.740	-1.691.799	-2.185.441
2041	27	156.837	181.158	8.699.740	-1.662.487	-2.148.413
2042	28	156.533	181.021	8.699.740	-1.630.068	-2.108.356
2043	29	156.158	180.812	8.699.740	-1.594.925	-2.065.659
2044	30	155.778	180.579	8.699.740	-1.593.960	-2.047.867
2045	31	155.393	180.325	8.699.740	-1.589.933	-2.026.864
2046	32	155.003	180.048	8.699.740	-1.583.118	-2.002.948
2047	33	154.608	179.750	8.699.740	-1.573.770	-1.976.396
2048	34	154.210	179.432	8.699.740	-1.562.125	-1.947.465
2049	35	153.808	179.093	8.699.740	-1.548.404	-1.916.396
2050	36	153.402	178.735	8.699.740	-1.532.812	-1.883.410

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

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 CO₂e. En el Cuadro 99 se consigna el cambio total de emisiones para cada una de las acciones. En el Gráfico 96 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.

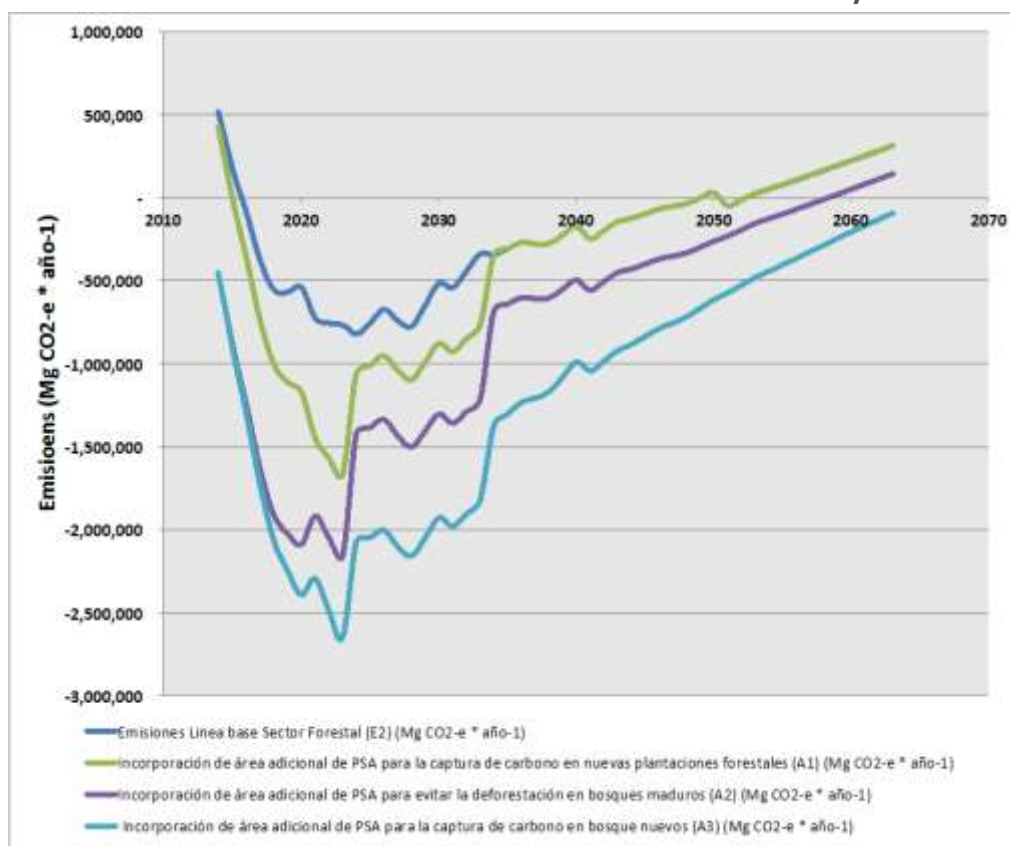
Cuadro 99 Reducción de Emisiones Estimadas de las Acciones Forestales

Año	Emisiones escenario de referencia	Nuevas plantaciones forestales	Deforestación evitada en bosques maduros	Captura de carbono en bosque nuevos
	Mg CO ₂ -e/año	Mg CO ₂ -e /año	Mg CO ₂ -e/ año	Mg CO ₂ -e/ año
2014	514.042	423.830	-452.507	-450.588
2015	172.532	-7.728	-891.312	-906.368
2016	-88.252	-358.643	-1.249.502	-1.297.741
2017	-377.252	-737.773	-1.635.937	-1.731.295
2018	-555.207	-1.005.859	-1.911.357	-2.065.790
2019	-569.931	-1.110.713	-2.023.574	-2.247.303
2020	-538.874	-1.169.787	-2.090.039	-2.391.751
2021	-725.221	-1.446.263	-1.916.703	-2.293.137
2022	-755.436	-1.566.609	-2.047.183	-2.485.550
2023	-765.564	-1.666.868	-2.157.590	-2.646.695
2024	-821.826	-1.056.889	-1.420.273	-2.069.867
2025	-754.235	-1.010.667	-1.384.226	-2.047.166
2026	-672.240	-950.041	-1.333.789	-2.001.735
2027	-740.854	-1.040.024	-1.433.974	-2.099.722
2028	-777.400	-1.097.940	-1.502.105	-2.159.448
2029	-649.668	-991.578	-1.405.971	-2.049.589
2030	-514.306	-877.584	-1.302.220	-1.927.578
2031	-544.601	-929.249	-1.359.169	-1.980.289
2032	-442.922	-848.940	-1.289.272	-1.903.798
2033	-338.083	-765.469	-1.216.225	-1.822.017
2034	-342.364	-342.364	-678.555	-1.369.932
2035	-307.699	-307.699	-641.835	-1.304.052
2036	-268.509	-268.509	-600.602	-1.231.753
2037	-278.053	-278.053	-608.115	-1.206.603
2038	-277.418	-277.418	-605.460	-1.169.975
2039	-225.372	-225.372	-551.405	-1.080.893
2040	-170.535	-170.535	-494.569	-988.211
2041	-248.962	-248.962	-558.740	-1.044.666
2042	-197.377	-197.377	-505.347	-983.635
2043	-143.965	-143.965	-450.136	-920.870

Año	Emisiones escenario de referencia	Nuevas plantaciones forestales	Deforestación evitada en bosques maduros	Captura de carbono en bosque nuevos
	Mg CO ₂ -e/año	Mg CO ₂ -e /año	Mg CO ₂ -e/ año	Mg CO ₂ -e/ año
2044	-125.427	-125.427	-429.808	-883.715
2045	-97.474	-97.474	-400.075	-837.006
2046	-67.640	-67.640	-368.470	-788.299
2047	-52.984	-52.984	-352.052	-754.678
2048	-36.266	-36.266	-333.582	-718.922
2049	-2.784	-2.784	-298.355	-666.347
2050	31.819	31.819	-262.018	-612.616

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

Gráfico 96 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

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

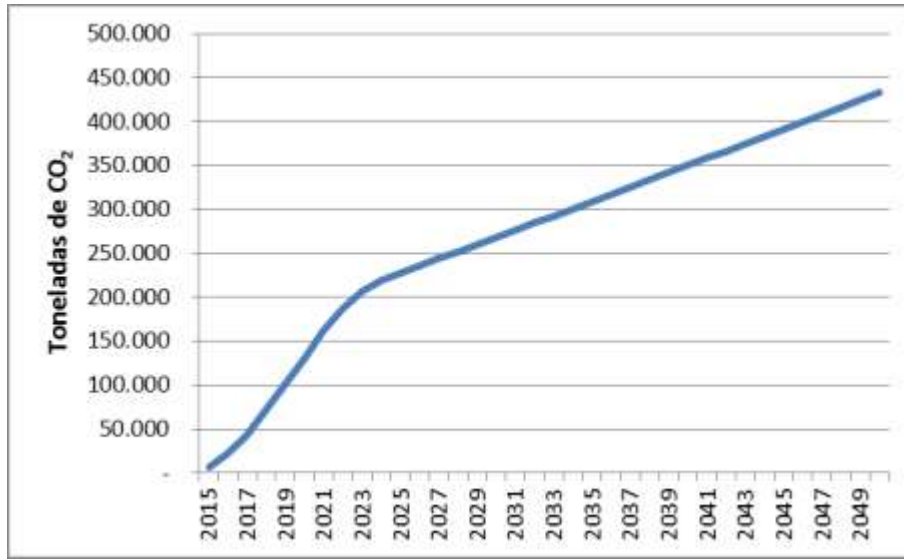
potreros, al alcanzar su vida útil, son utilizados por los agricultores para otros fines, por lo tanto nuevos árboles deben ser sembrados después de ciertos períodos de tiempo para asegurar que la captura de carbono y los beneficios de sombra siguen estando presentes. También se contempla el aprovechamiento 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 97).

Cuadro 100 Parámetros para Estimación de Carbono en Sistemas Pastoriles

Parámetro	Valor		
	Leña	Madera	Sombra
Diámetro altura	0,13	0,13	0,13
Altura promedio	3	3	3
Factor expansión	1,5	1,5	1,5
Volumen madera	0,06	0,06	0,06
Peso madera	33	33	33
Densidad madera	0,55	0,55	0,55
Carbono/ árbol	16	16	16
Árboles/Ha escenario referencia	5	5	5
Cantidad de CO ₂ e/Ha/año escenario referencia	22	22	22
Árboles/Ha en proyecto	16	16	8
Cantidad de CO ₂ e/Ha/año en proyecto	72	72	36

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

Gráfico 97 Secuestro de Carbono de Sistemas Pastoriles



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

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 101 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. Por otra parte, el Cuadro 102 muestra el potencial de mitigación y los costos asociados a las medidas en el sector forestal, así como la estimación del costo de la tonelada de carbono.

Cuadro 101 Potencial de Contribución del Sector Forestal

Medida	Contribución de la Medida al Secuestro de Carbono (Referencia 2030)	Contribución al Secuestro de Carbono acumulado (Referencia 2030)
Plantaciones Forestales: 70,000 ha adicionales (20 años)	-79%	-79%
Deforestación evitada Bosque Secundario: 124,000 ha adicionales (10 años)	-74%	-153%
Deforestación evitada Bosque Maduro: 107,600 ha PSA adicional al nivel 2014 (10 años)	-44%	-226%
Silvopasturas: 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

Cuadro 102 Mitigación y Costos de Medidas en el Sector Forestal

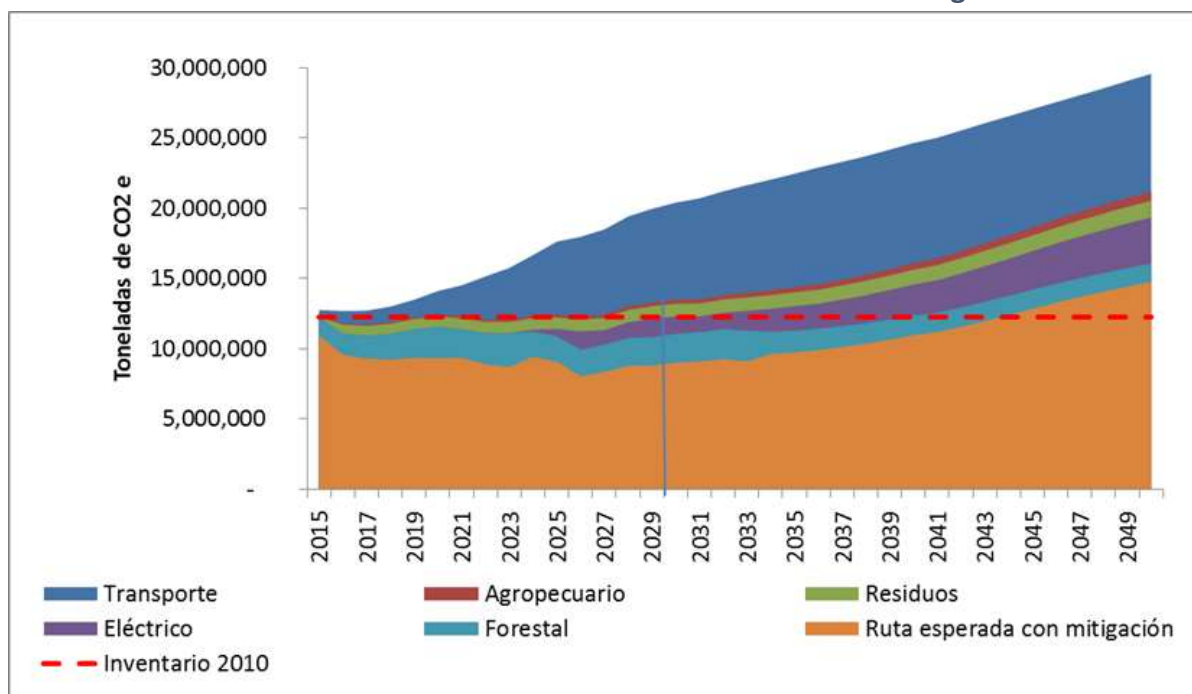
Medida	Deforestación evitada		Deforestación evitada	Plantaciones
	Silvopasturas	Bosque Maduro	Bosque Secundario	Forestales
Costo del Programa (USD)	-8.590.409	94.578.018	93.191.072	46.706.966
Carbono Incremental	-7.394.764	-24.809.725	-18.216.966	-8.256.000
Costo Marginal (USD/tCO ₂ e)	-1	4	5	6

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 98 se observan las medidas que se han identificado en este estudio y que han sido analizadas para ver el alcance de su impacto.

Gráfico 98 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 CO₂. 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 103). 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 103 Medidas de Abatimiento y Viabilidad para el País

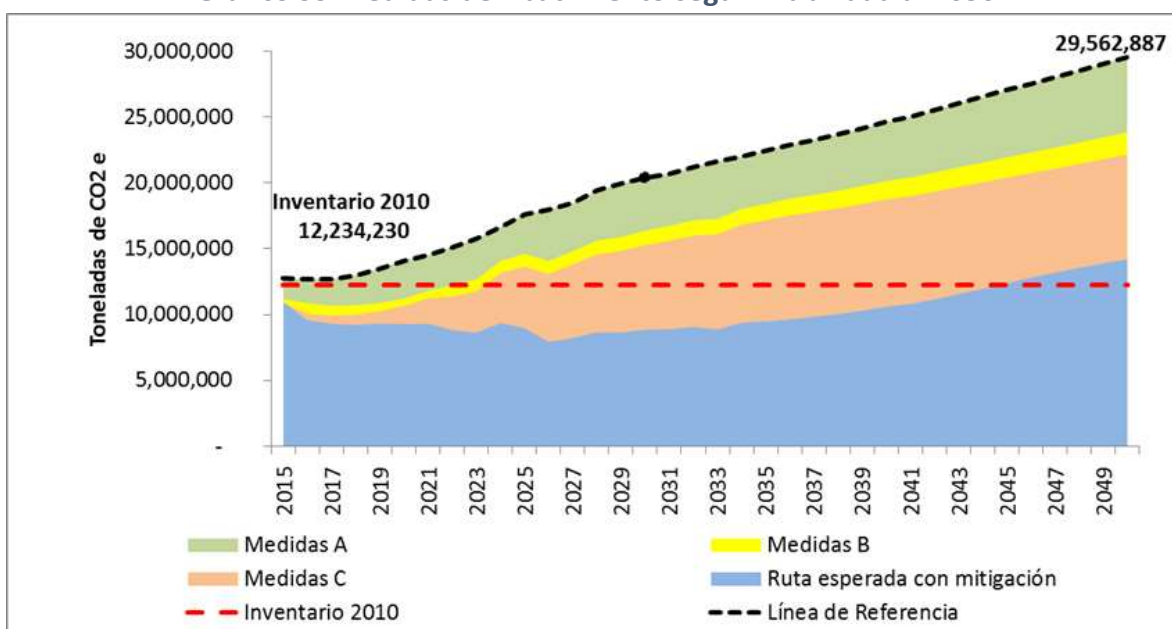
Opción de Mitigación	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
Sector Agropecuario: Mejora fermentación entérica y uso de estiércol	A	4
Sector Eléctrico: Expansión eléctrica del parque renovable	A	2
Sector Transporte: Puesto en operación de un sistema de Bus Tránsito Rápido (BRT)	A	3
Sector Transporte: Medidas 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

Opción de Mitigación	Tipo de Medida	Nivel de Barreras**
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

Gráfico 99 Medidas de Abatimiento según Viabilidad al 2050

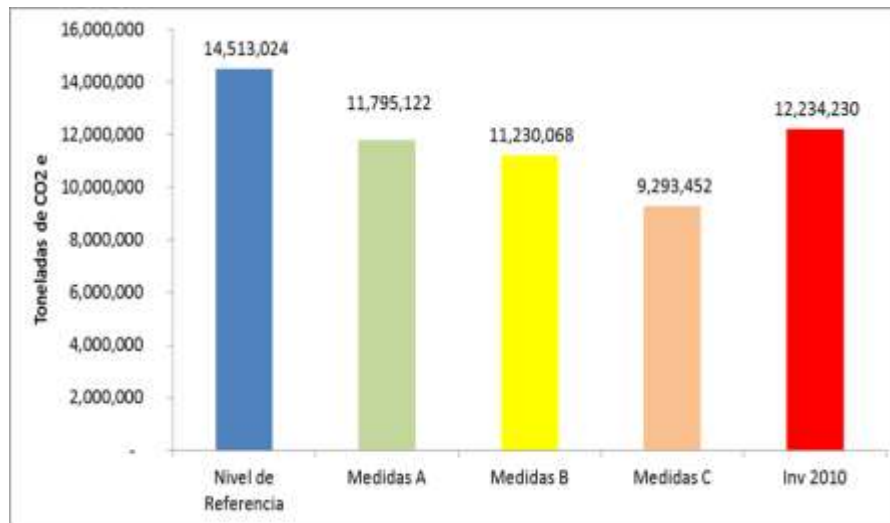


Fuente: elaboración propia con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

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 CO₂e 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 100 y el Gráfico

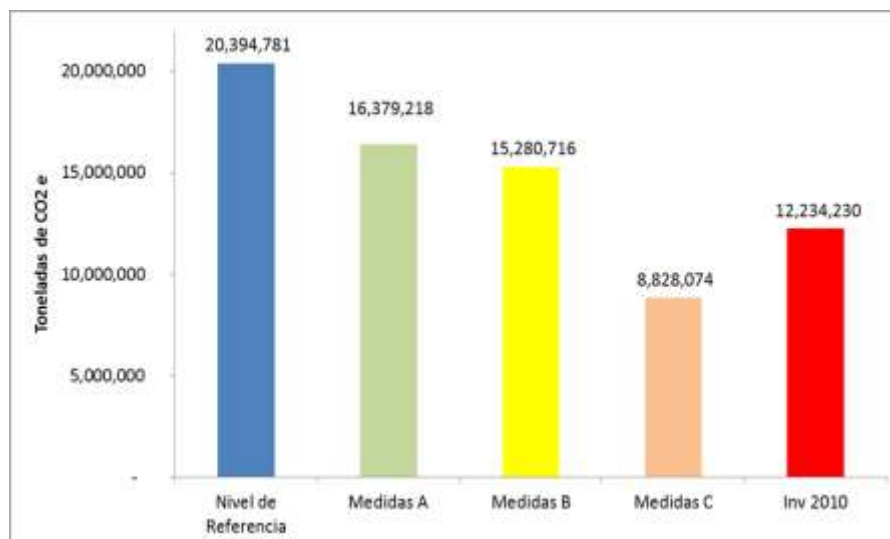
101 se observa que si bien las emisiones con las medidas A (barra verde) permiten estar por debajo de las emisiones del Inventario de GEI 2010 (barra roja), ya en el 2030 las emisiones de las Medidas A las superan, requiriéndose las medidas B y C adicionales (barras amarillo y anaranjado).

Gráfico 100 Impacto Potencial por Tipo de Medidas al 2021



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

Gráfico 101 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 104 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 104 Impacto de las Medidas de Mitigación en Años de Referencia

Año	Medidas A		Medidas B		Medidas C	
	Resultado respecto escenario de referencia	Resultado respecto al Inv. 2010	Resultado respecto de referencia	Resultado respecto al Inv. 2010	Resultado respecto escenario de referencia	Resultado respecto al Inv. 2010
Al 2021	-19%	-4%	-23%	-8%	-36%	-24%
Al 2030	-20%	34%	-25%	25%	-57%	-28%
Al 2050	-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 CO₂e y el total de reducción o remoción esperado con todas las medidas analizadas se muestran en el Cuadro 105. 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 106 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 105 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 106 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 ₂)	98.727.848	32.518.682	210.118.568
Costo promedio (US\$/tCO ₂)	-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 107 y en el Cuadro 108 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 107 Mitigación de Medidas Por Sector y por Año (ton CO2)

Año	Total	Hidrocarburos	Agropecuario	Residuos	Eléctrico	Forestal
2015	-1.832.886	-382.743	-110.234	-11.808	-5.276	-1.322.825
2016	-3.123.152	-862.440	-109.180	-666.003	-12.217	-1.473.311
2017	-3.409.456	-971.083	-108.291	-684.623	-684	-1.644.775
2018	-3.774.886	-1.109.513	-118.878	-711.444	25	-1.835.076
2019	-4.139.731	-1.252.604	-130.055	-720.893	228	-2.036.407
2020	-4.796.944	-1.669.343	-141.775	-738.602	49	-2.247.273
2021	-5.174.081	-2.216.440	-154.012	-756.056	-84	-2.047.489
2022	-6.263.406	-3.070.167	-166.757	-773.275	-13.668	-2.239.539
2023	-7.058.581	-3.664.765	-180.014	-790.272	-8.900	-2.414.629
2024	-7.224.281	-4.309.176	-193.795	-807.068	-155.400	-1.758.840
2025	-8.547.735	-5.186.397	-207.872	-823.713	-504.353	-1.825.400
2026	-9.929.364	-5.657.513	-222.277	-840.207	-1.325.698	-1.883.669
2027	-10.152.620	-6.072.943	-236.991	-856.543	-1.051.361	-1.934.781
2028	-10.623.794	-6.406.643	-252.095	-872.723	-1.112.601	-1.979.732
2029	-11.151.075	-6.660.590	-267.637	-888.743	-1.314.699	-2.019.407
2030	-11.389.465	-6.916.070	-283.532	-904.602	-1.230.672	-2.054.589
2031	-11.618.785	-7.182.920	-299.698	-920.300	-1.123.081	-2.092.786
2032	-11.946.669	-7.387.590	-316.130	-935.836	-1.167.148	-2.139.965
2033	-12.547.410	-7.657.089	-332.855	-951.206	-1.421.222	-2.185.038
2034	-12.414.873	-7.872.447	-350.833	-966.407	-1.654.722	-1.570.464
2035	-12.727.213	-8.080.303	-368.264	-981.438	-1.751.033	-1.546.174
2036	-12.996.105	-8.318.902	-386.581	-996.297	-1.774.320	-1.520.004
2037	-13.177.158	-8.385.838	-405.178	-1.010.980	-1.882.896	-1.492.266
2038	-13.358.353	-8.454.126	-424.033	-1.025.481	-1.991.472	-1.463.241
2039	-13.527.712	-8.511.546	-443.126	-1.039.804	-2.100.048	-1.433.187
2040	-13.679.721	-8.552.536	-462.435	-1.053.788	-2.208.624	-1.402.338
2041	-13.835.064	-8.586.420	-481.937	-1.067.966	-2.317.200	-1.381.542
2042	-13.979.458	-8.590.883	-501.611	-1.081.979	-2.425.776	-1.379.209
2043	-14.089.604	-8.561.012	-521.433	-1.095.826	-2.534.352	-1.376.981
2044	-14.159.778	-8.500.472	-541.380	-1.109.498	-2.642.928	-1.365.500
2045	-14.215.906	-8.426.095	-561.428	-1.122.990	-2.751.504	-1.353.889
2046	-14.272.017	-8.351.921	-581.551	-1.136.292	-2.860.080	-1.342.173
2047	-14.356.576	-8.306.418	-601.725	-1.149.404	-2.968.656	-1.330.373
2048	-14.477.392	-8.297.407	-621.925	-1.162.320	-3.077.232	-1.318.509
2049	-14.632.114	-8.322.547	-642.123	-1.175.037	-3.185.808	-1.306.600
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 108 Mitigación de Medidas Por Tipo y por Año (ton CO2)

Año		Medidas A		Medidas B		Medidas C
2015	-	1.552.569	-	277.356	-	2.206
2016	-	1.829.360	-	812.033	-	480.449
2017	-	2.037.786	-	757.790	-	612.140
2018	-	2.298.782	-	710.532	-	774.842
2019	-	2.611.136	-	614.695	-	934.739
2020	-	2.908.853	-	541.992	-	1.379.018
2021	-	2.717.902	-	565.054	-	1.936.616
2022	-	2.901.712	-	871.652	-	2.548.590
2023	-	3.087.384	-	900.129	-	3.143.164
2024	-	2.594.447	-	925.832	-	3.790.151
2025	-	3.006.577	-	963.119	-	4.678.520
2026	-	3.887.489	-	989.230	-	5.167.773
2027	-	3.668.054	-	1.016.434	-	5.598.203
2028	-	3.792.421	-	1.043.736	-	5.933.031
2029	-	4.052.555	-	1.070.637	-	6.189.028
2030	-	4.015.563	-	1.098.502	-	6.452.642
2031	-	3.955.920	-	1.127.296	-	6.729.172
2032	-	4.053.017	-	1.154.054	-	6.949.825
2033	-	4.358.588	-	1.178.250	-	7.237.710
2034	-	3.984.798	-	1.201.913	-	7.473.463
2035	-	4.063.733	-	1.224.268	-	7.702.063
2036	-	4.086.253	-	1.272.012	-	7.919.180
2037	-	4.189.034	-	1.301.360	-	7.986.873
2038	-	4.290.729	-	1.330.734	-	8.056.028
2039	-	4.391.579	-	1.360.126	-	8.114.414
2040	-	4.491.773	-	1.389.432	-	8.156.413
2041	-	4.603.023	-	1.419.083	-	8.190.542
2042	-	4.732.874	-	1.448.713	-	8.195.318
2043	-	4.862.947	-	1.478.304	-	8.165.817
2044	-	4.983.866	-	1.507.831	-	8.105.691
2045	-	5.104.734	-	1.537.277	-	8.031.758
2046	-	5.225.305	-	1.566.557	-	7.958.354
2047	-	5.345.825	-	1.595.710	-	7.913.632
2048	-	5.466.292	-	1.624.710	-	7.905.406
2049	-	5.586.702	-	1.653.533	-	7.931.325
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.⁵¹ 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 102). 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.⁵²

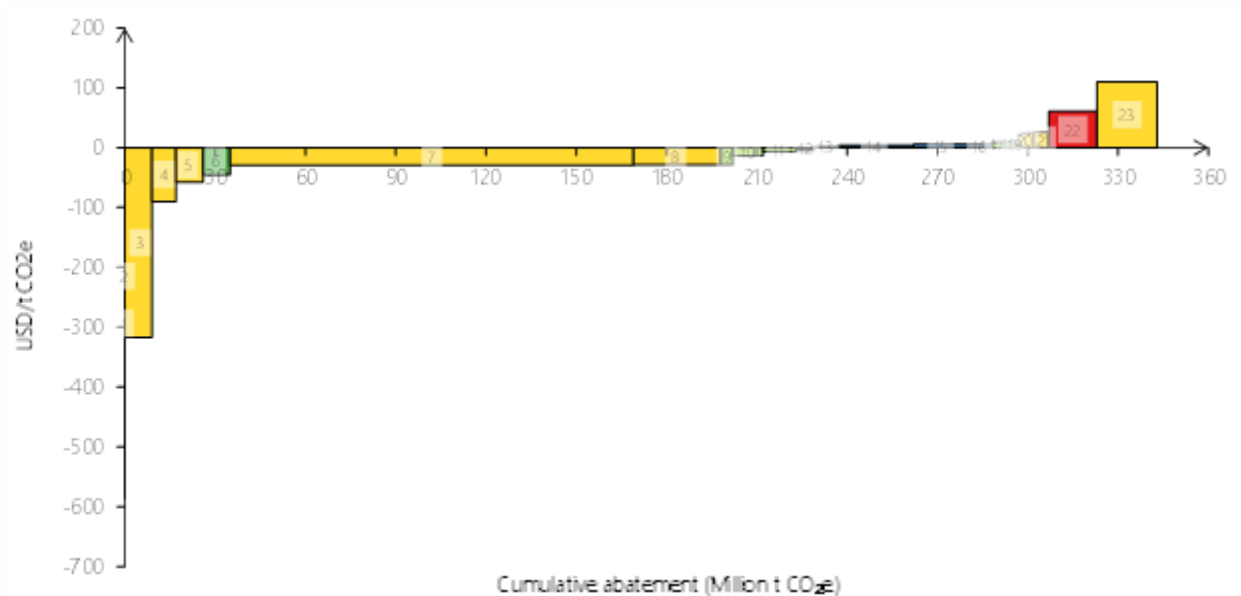
Destaca el hecho que las medidas con los costos “negativos” más notables están en el sector de transportes y en el de residuos sólidos. Es decir, impulsar estas medidas implicaría beneficios netos para el país, además de una contribución importante a la reducción de emisiones. El grupo de medidas con 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

⁵¹ Para más detalles de la herramienta véase ESMAP y ERM (2015) MACTool Training Module 1: MACTool Overview.

⁵² 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.

Gráfico 102 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

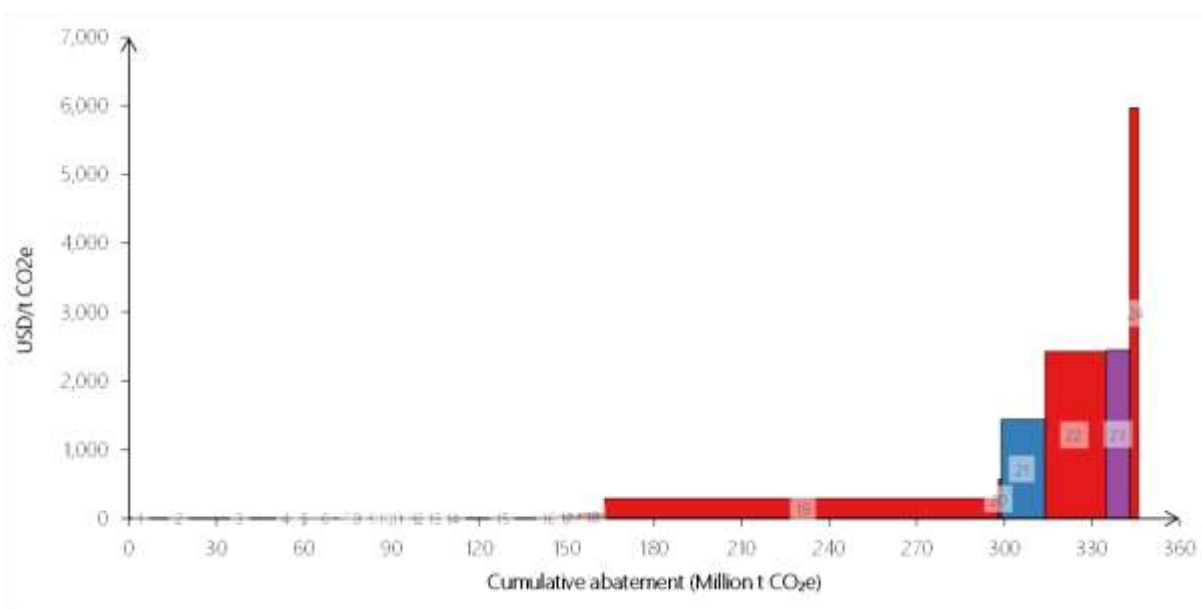
Por otra parte, es también en el sector transporte donde se observan las medidas más caras con relación a la tonelada de CO₂, particularmente por altos costos relacionados con su implementación. De ahí la relevancia de este sector dentro del análisis realizado, por un lado por

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.

5.7.2 Intensidad de Inversiones en Mitigación

Adicionalmente a los costos de las medidas de mitigación, un tema clave es la necesidad de inversiones relacionadas con su implementación. Si bien existen diversas barreras que impiden en muchos casos concretar dichas inversiones (tema que se aborda en una siguiente sección de este informe), entender cuál es la escala de requerimientos comparada con las toneladas mitigadas brinda importante información para la toma de decisiones. En el Gráfico 103 se muestra cómo las inversiones más altas por tonelada se dan en cuatro medidas: Expansión Eléctrica del Parque Renovable en el sector eléctrico, uso de Motores Eficientes en el sector transporte, la Mejora con Fermentación Entérica y Uso de Estiércol en el sector agropecuario, y la introducción de Autos Híbridos en el sector transporte. Estas medidas requieren esfuerzos de inversión de más de \$1,500 por tonelada. En el sector transporte se dan otras medidas con inversiones por tonelada cercanas a los \$500, mientras que en los otros sectores los montos son menores o no se cuenta con información suficiente para estimarla.

Gráfico 103 Intensidad de Inversión para la Mitigación 2015-2050



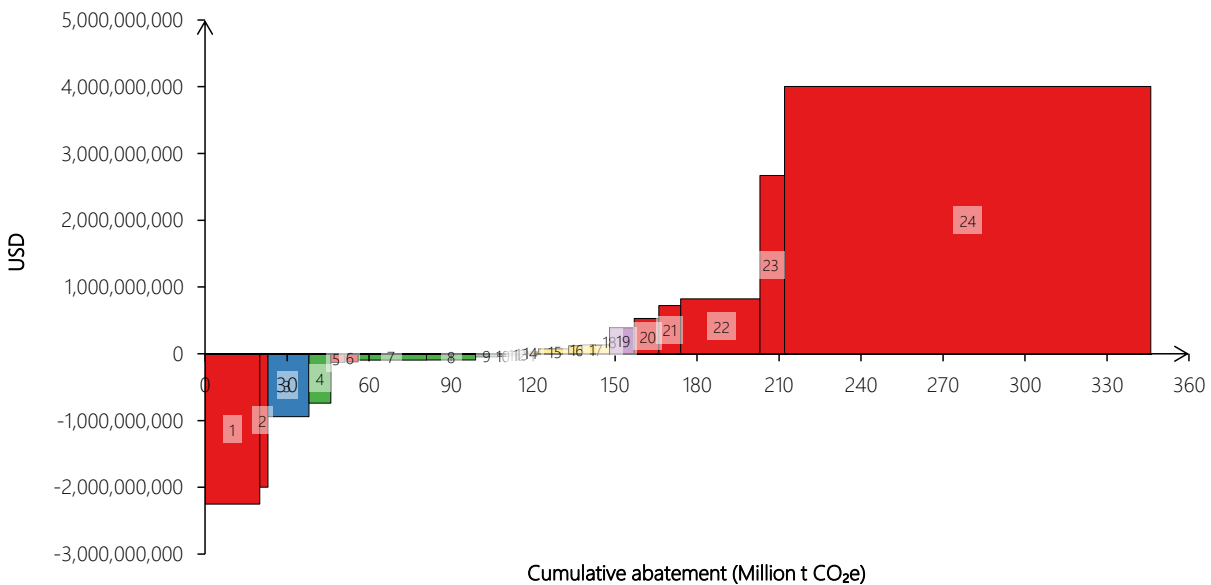
1	Sector Forestal: PSA en Plantaciones Forestales	13	Sector Transporte: Bioetanol
2	Sector Forestal: PSA con Protección en Bosque Maduro	14	Sector Transporte: Biodiesel
3	Sector Forestal: PSA con Regeneración en Bosque Nuevo	15	Sector Transporte: Autos Híbridos con Conexión Eléctrica
4	Sector Forestal: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

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

5.7.3 Costo Incremental de las Medidas de Mitigación

Al comparar las medidas de mitigación analizadas con una línea de referencia y sus inversiones base, resalta el resultado que la gran parte de inversiones incrementales se concentran en el sector transporte, resultado consistente con lo mostrado anteriormente (Gráfico 104). El punto central es que solamente con inversión adicional cuantiosa, se podrían impulsar las reformas necesarias en el sector transporte para lograr reducir su (mayoritaria) relevancia en las emisiones totales del país. Particularmente en el caso del sistema de buses de tránsito rápido y los autos eléctricos, dos medidas clave para fomentar un transporte eficiente y bajo en carbono.

Gráfico 104 Inversión Incremental para la Mitigación 2015-2050



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

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

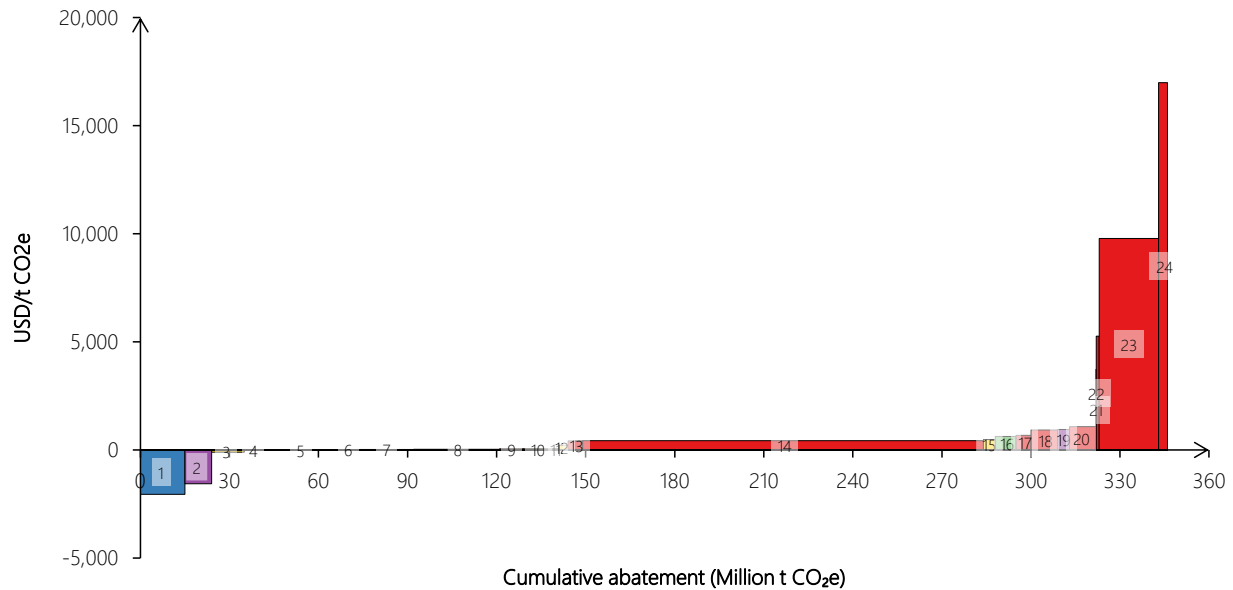
Contrariamente, otras medidas en el sector podrían ser impulsadas con ahorro en inversiones en comparación con la situación actual. El tema de las barreras de implementación parece ser en este caso el obstáculo principal. Algo similar puede suceder con otros sectores. Se nota que muchas de las medidas tienen “ahorros” en inversiones que podría hacer efectiva su implementación. Esto no significa que solamente se requiere una reasignación de recursos financieros para impulsar las medidas analizadas. Más bien, la manera en que se podrían canalizar los recursos de financiamiento dependería de las condiciones habilitantes para que se tomen las decisiones de inversión menos carbono intensivas.

5.7.4 Precio de Carbono y Punto de Quiebre

El reto con relación a las inversiones requeridas para impulsar las medidas de mitigación analizadas y su implicación para la movilización de recursos nacionales e internacionales se puede dimensionar con relación al potencial aporte del mercado de carbono. En un escenario hipotético donde se pensara que dicho mercado vendría a movilizar recursos financieros necesarios, resulta claro que los precios deberían ser muy altos. Dicho de otra manera, si se pensara que los mercados de carbono podrían ser el motor central de movilización de fondos para las inversiones, su aporte puede ser limitado. El Gráfico 105 resalta el hecho que solamente dos medidas (expansión renovable en el sector eléctrico y la fermentación entérica en el sector agropecuario) requerirían un precio “negativo” por tonelada de carbono para alcanzar el punto de quiebre en la inversiones.

Si bien esto es un ejercicio que requiere más detalles sobre costos del capital y otros puntos relevantes para la toma de decisiones de inversión, destaca que no sería posible, a menos que se dieran precios muy altos por tonelada en el mercado de carbono, impulsar la mayoría de las medidas únicamente por apoyo de ese mercado. Dadas las condiciones actuales de los mercados, es importante dimensionar claramente su potencial aporte al financiamiento de medidas de mitigación. No se debe descartar el papel que puede jugar el mercado de mercado, pero tampoco se debería sobredimensionarlo. Más bien, se puede utilizar este resultado como un primer indicador para identificar el “tamaño” del esfuerzo que el país haría si impulsa estas medidas hacia el futuro, comparado con el total de toneladas de potencial mitigación. Es decir, se debería buscar un esquema de estructuración financiera que tomara en cuenta el carbono y sus posibles transacciones, a la par de una mayor asignación de recursos financieros locales e internacionales. Estos resultados, si se observan en conjunto con los gráficos anteriores, no tienen el objetivo de brindar una “cifra” final con relación a los requerimientos financieros alrededor de la mitigación (un ejercicio de ingeniería financiera que va más allá de los objetivos de este estudio), sino más bien recalcar la importancia de estimar con detalle las necesidades de recursos financieros y evaluar la situación real de las posibles fuentes de financiamiento.

Gráfico 105 Precio del Carbono y Movilización de Inversiones para la Mitigación 2015-2050



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

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

5.7.5 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación

En los gráficos siguientes se muestra la relación entre el costo de mitigación de las medidas analizadas para cada sector y su intensidad de capital, es decir, cuánto capital se requiere por cada tonelada mitigada, como un indicador de qué tan capital intensivas pueden ser las reducciones de emisiones. El tamaño de la “burbuja” de cada medida representa el total de emisiones que serían reducidas. En el Gráfico 106 se observa que en el sector transporte los autos eléctricos presentan la mayor contribución a la reducción de emisiones con una intensidad de capital intermedia si se le compara con las otras medidas. En general se observa que el capital por tonelada no supera los \$750, salvo el caso de los autos híbridos. En este caso se nota que el

costo de la tonelada y la intensidad de capital son relativamente altas, dadas las inversiones que se requerirían para implementar esta medida.

En el caso del sector forestal, se observa que todas las medidas tienen un costo por tonelada menor a los \$7 y una intensidad de capital relativamente baja, siendo la menor de todos los sectores. Las medidas se presentan como opciones competitivas tanto por el lado del potencial de mitigación como por los requerimientos de capital (Gráfico 107). Esto no implica que se trate de medidas “baratas” sino más bien de posibilidades que pueden ser alcanzadas con una asignación de recursos hacia uso y cambio de uso del suelo que podrían compensar su costo de oportunidad en el tanto existan los mecanismo de financiamiento necesarios.

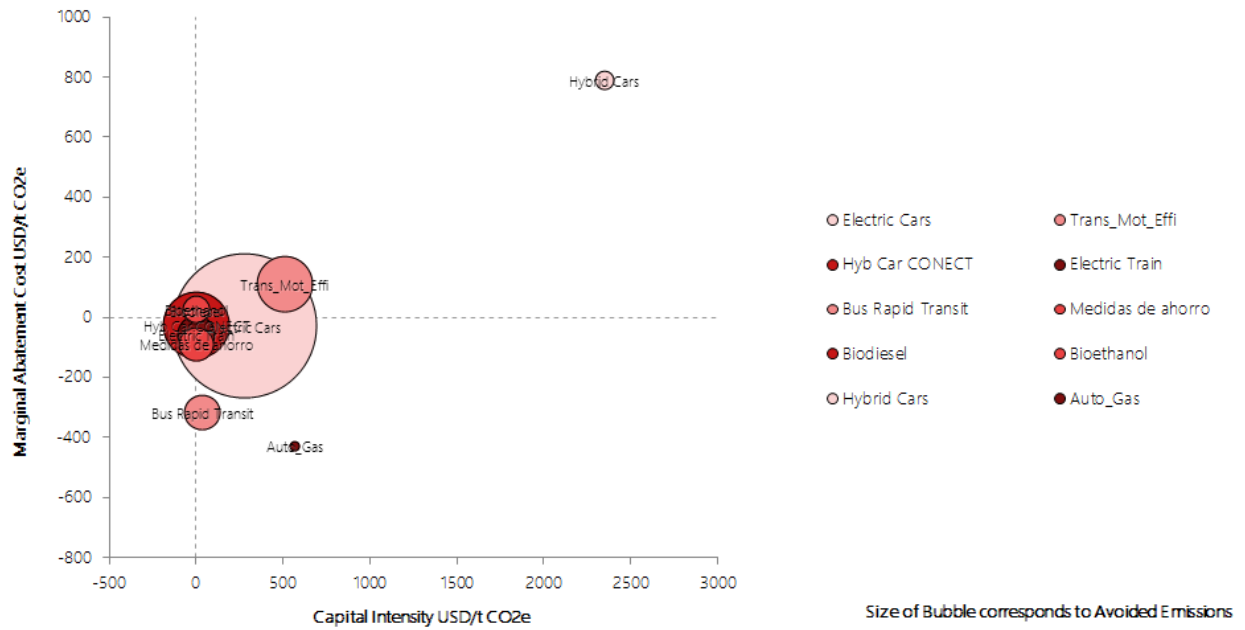
Por otra parte, en el caso del sector agropecuario resalta el hecho que para poder avanzar con mejores tecnologías en la actividad ganadera, las cuales se podrían alcanzar con costos por tonelada mitigada atractivos (beneficios netos), la intensidad de capital es alta (Gráfico 108). Contrariamente, la reducción de fertilizantes en la agricultura podría lograrse con mayores costos por tonelada pero con menores requerimientos de capital.

En el caso del sector de residuos sólidos, con la excepción del compostaje, las demás medidas se ubican en un rango de costo por tonelada e intensidad de capital, y una capacidad de reducción de emisiones, que las hace atractivas como conjunto o “paquete” de intervenciones (Gráfico 109). Dadas las características del sector, se podrían enfocar desde una perspectiva sistémica donde se pueden aprovechar las economías de escala para el manejo integrado de residuos. En el caso del compostaje, pese a su bajo costo por tonelada (beneficio neto) y su baja intensidad de capital, la contribución con la reducción de emisiones es de las más bajas.

Para el sector eléctrico, la ruta de expansión basada en la prioridad para las fuentes renovables hace que el costo por tonelada y la intensidad de capital sean relativamente altas en comparación con las otras medidas analizadas en los cinco sectores (Gráfico 110). Esto resalta la contribución que el sector hará con relación a la generación en fuentes renovables, que tiene mayores costos y requerimientos de inversión, comparativamente con alternativas más carbono intensivas y de menores costos.

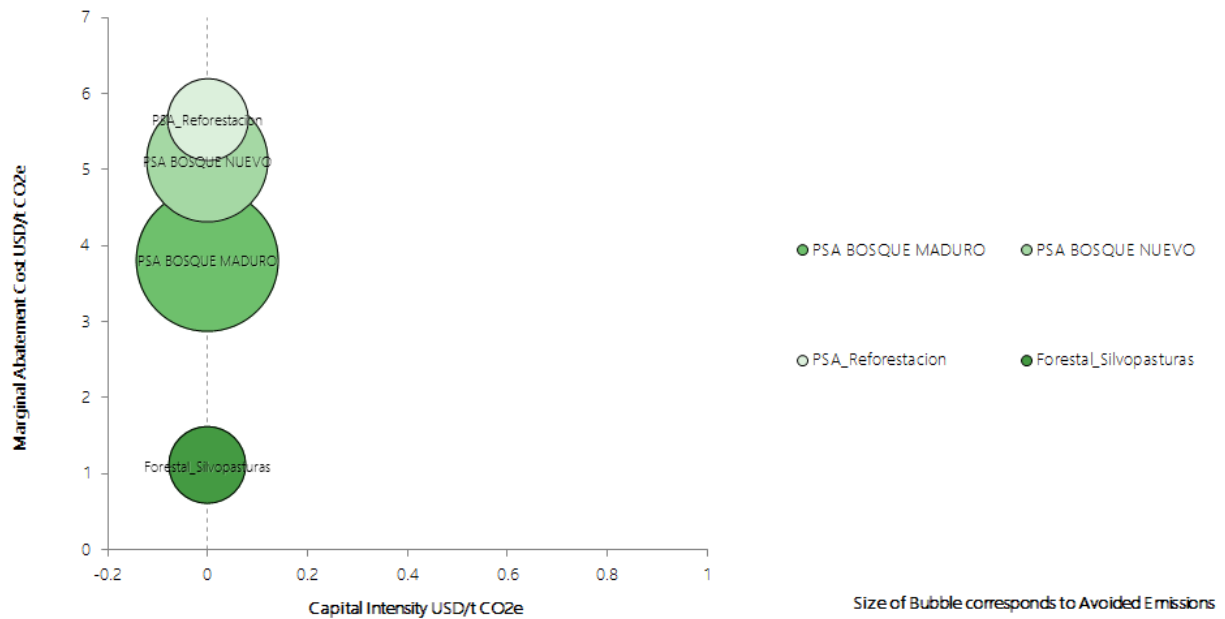
La comparación de los costos de mitigación con la intensidad de capital de las medidas plantea la necesidad de profundizar con los estudios de ingeniería financiera para implementar las medidas. Esto será clave para dimensionar las posibilidades a futuro de concretar medidas de mitigación, los esfuerzos requeridos de parte del país y el apoyo internacional facilitador. Las reformas y políticas habilitantes deberían asimismo estar alineadas con el análisis financiero.

Gráfico 106 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Transporte



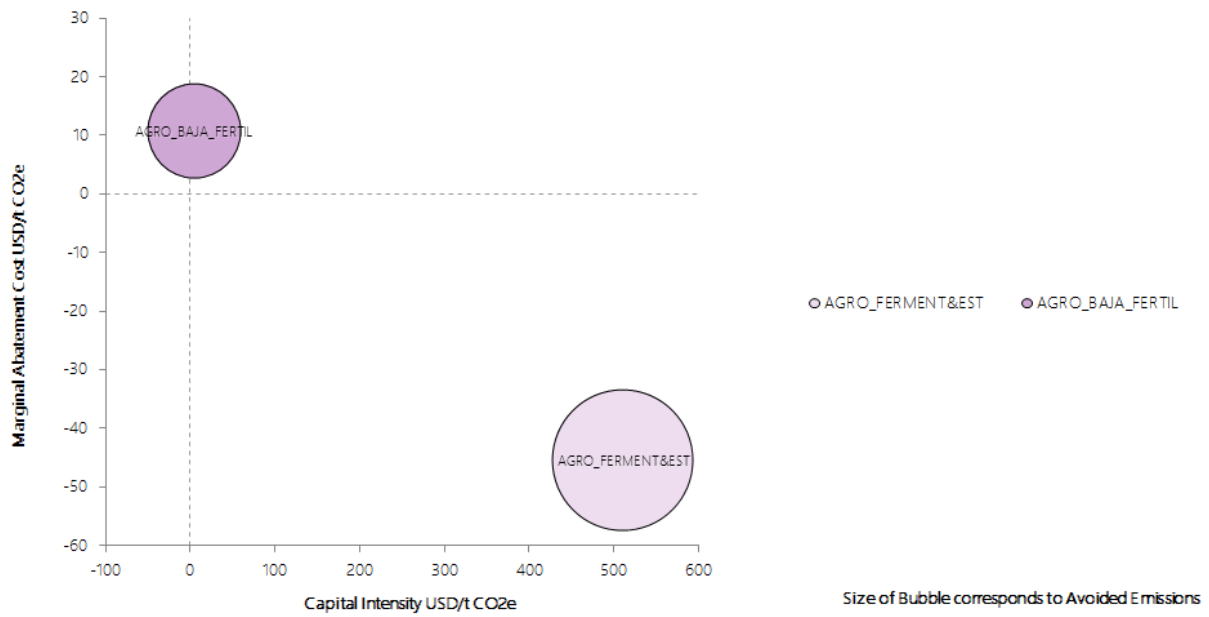
Fuente: elaboración con MACTool, con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 107 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Forestal



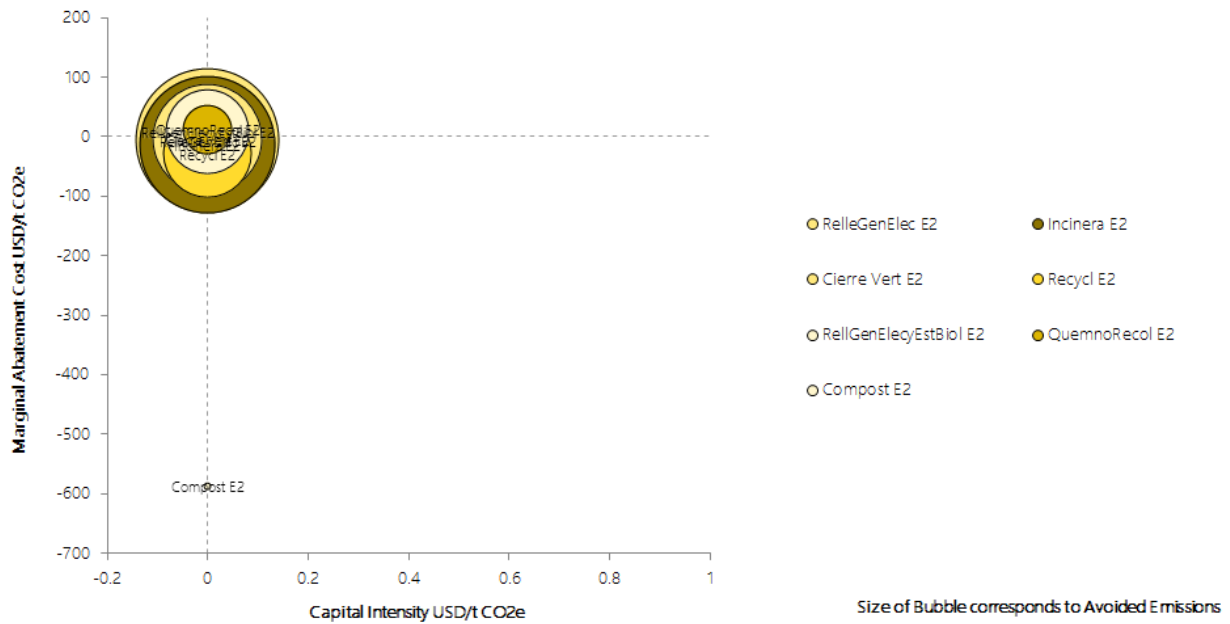
Fuente: elaboración con MACTool, con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 108 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Agropecuario



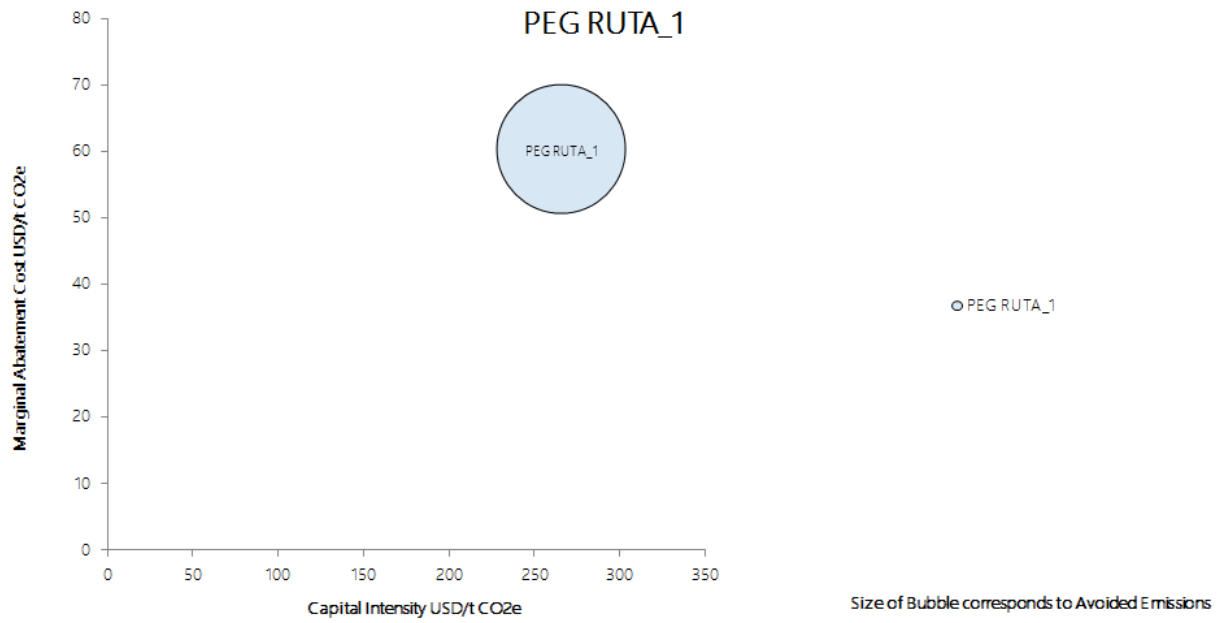
Fuente: elaboración con MACTool, con base en datos oficiales y estimaciones de los autores

Gráfico 109 Intensidad de Capital y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector de Residuos



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

Gráfico 110 Intensidad de Inversiones y Potencial de Mitigación de Medidas del Sector Eléctrico



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 CO₂

El VII Plan Nacional de Energía recién elaborado por el MINAE con el concurso de diversas partes interesadas en el sector,⁵³ 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 CO₂, 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 CO₂

Otro instrumento económico que podría ser analizado por MINAE es la implantación de un canon por emisiones de CO₂, que consistiría en el cobro de un cargo sobre el cilindraje de los

⁵³ 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.

6.5 Análisis de Políticas Habilitantes

El verdadero potencial de las medidas de mitigación que se ha identificado y de aquellas que serán identificadas en estudios futuros, dependerá de la estrategia para remover las diversas barreras que impiden la implementación de las acciones de mitigación, y crear las condiciones habilitantes para su ejecución exitosa. El establecimiento de una estrategia de políticas habilitantes requiere de mayor análisis sobre cuál es el conjunto de políticas que debe acompañar las medidas de mitigación y cuál es su interacción con otras políticas sectoriales tanto en el ámbito del cambio climático como el desarrollo económico y social.

6.5.1 Residuos Sólidos

6.5.1.1 Programa de Educación y Sensibilización

En el manejo de desechos una importante política habilitante es el impulso de un programa de educación y sensibilización para crear una cultura alrededor de la gestión de los residuos sólidos, que se oriente a la reducción y gestión desde la fuente. Se requiere que la educación pública y otras medidas de sensibilización a hogares y centros de trabajo, hagan 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 fuente.

6.5.1.2 Fortalecimiento Financiero e Institucional

Existen limitaciones presupuestarias a nivel de las Municipalidades y de las entidades de gobierno para hacer una efectiva implementación de la Ley de Gestión Integral de los Residuos GIR (es decir, el *enforcement* de la ley). Esto se evidencia tanto a nivel del personal, las capacidades técnicas, los equipos de apoyo y de gestión, y la capacidad de ejecución de los recursos públicos. Con relación a este punto, es importante fortalecer la vinculación de los Ministerios de Salud y Ambiente, para aprovechar la capacidad instalada y las sinergias que puedan consolidarse.

A nivel de gestión pública se requiere consolidar sinergias entre federaciones de Municipalidades y fortalecer los mandatos del Ministerio de Salud. Si bien se debe aplicar la Ley de GIR, se requiere promover los ajustes y reformas necesarios en el marco jurídico y regulatorio para que se consoliden los planes a futuro.

Se deben generar incentivos económicos para promover la gestión de residuos a nivel ciudadano y la proliferación de negocios de valorización de residuos. Se puede analizar un esquema que el ahorro en costos del sistema de recolección y tratamiento de los residuos sólidos, debidos al papel de los negocios de valorización, se trasladen de alguna manera como “tarifa” por los servicios alternativos de tratamiento. La estrategia debería incorporar una unificación e integración del marco jurídico y regulatorio político, que reduzca la profusa regulación que existe

en el país para el tema. El fortalecimiento institucional requiere una planificación estratégica como un marco de acción para la promoción de estrategias puntuales, pero integrales, que busquen con una sola intervención generar efectos en cadena positivos en múltiples escalas y dimensiones.

6.5.1.3 Condiciones para la Industria de Manejo de los Residuos

Para la industria se debería crear un mejor ambiente de negocios, para fomentar las inversiones y el emprendedurismo en sistemas de separación y valorización, así como sistemas de tratamiento. Esto pasa por los esquemas tarifarios, el cambio de tecnologías y los incentivos económicos que se puedan crear para la sustitución en la matriz energética (competitividad por kWh), consolidar una estrategia nacional de reciclaje, la formalización e inclusión de recolectores informales, y las medidas en la “cadena” (sustitución en la fuente, involucramiento de hogares, zonas de captación, etc.).

6.5.1.4 NAMA en Gestión de Residuos

Como se había indicado anteriormente, un NAMA en el ámbito de la gestión de residuos sólidos es una medida que puede aumentar el potencial de mitigación en el sector. Este NAMA permitiría además un marco de política claro de incentivos para las actividades de reducción, separación, valorización y tratamiento de los residuos.

6.5.1.5 Sistemas Alternativos de Tratamiento

Se sugiere que la incineración debería reducirse en el futuro y promover las otras opciones (además de tener en cuenta su impacto social y el involucramiento de diversos actores). Se deberían crear las condiciones para iniciar y consolidar proyectos de valorización de residuos que creen masa crítica para proyectos de una mayor escala en el futuro. Más aún, la discusión sobre gestión de residuos no se puede circunscribir a la incineración. Existe una gama de opciones mucho más amplia que no debe dejar de lado el principio de gestión integral, asociada a todo el ciclo de vida de los productos (“de la cuna a la tumba”), y enfocada tanto en la mejora de prácticas de producción (eco-diseño, eco-etiquetado, vida útil) como en el consumo (pautas y patrones de consumo, gestión en origen, etc.)

6.5.1.6 Reordenamiento Urbano

La generación de residuos debe reconocerse como producto de la convivencia urbana, por lo que el reordenamiento urbano debe incluir a la generación y tratamiento como unos de los factores de decisión de un desarrollo urbano sostenible. Existe una sinergia positiva entre los sectores eléctrico-residuos-agricultura y urbanos. Se debe establecer una estrategia para canalizar esta sinergia en la práctica cotidiana.

6.5.1.7 Plantas de Compostaje y Biodigestión

El estado debería promover la creación de proyectos piloto de plantas de compostaje y biodigestión, y hacer estas prácticas una norma en los rellenos sanitarios, para el aprovechamiento integral del metano. Sin embargo, se requiere paralelamente estimular esquemas alternativos y descentralizados.

6.5.2 Sector Transporte

6.5.2.1 Planificación Urbana e Infraestructura Vial

En el sector transporte se centralizan problemas “macro” relacionados con la limitada planeación urbana y la baja calidad de la infraestructura vial. Estas dos limitaciones son resultado de la falta de proyectos país que tengan continuidad política. La falta de políticas de largo plazo en el sector transporte hace más difíciles la implementación de medidas como las propuestas en este estudio, ya que el punto de partida del entorno es bastante complicado. Por otro lado, el (limitado) enfoque “solamente” en infraestructura ha hecho que se pierda la perspectiva sobre “movilidad” urbana, que tiene que ver con numerosas intervenciones. Un punto fundamental es la política urbana para el “repoblamiento” de San José y sus implicaciones de movilidad dentro de las intervenciones del sector transporte.

6.5.2.2 Barreras Institucionales

Las limitaciones de presupuesto y capacidades en los entes públicos son un obstáculo para la modernización del sector transporte. A esto se debe sumar la limitada capacidad de negociación con el sector privado para poder plantear soluciones nacionales más allá de los intereses privados. El país muestra gran capacidad para diseñar proyectos y llegar hasta el nivel de pre-factibilidad o factibilidad, sin que se concreten los proyectos planteados. Se deben crear condiciones para un “salto” hacia la ejecución de los proyectos. Si bien existen problemas con el entorno legal y regulatorio del país frecuentemente señalados por diversos actores, no se concreta alguno específico ni se establece su relación con el tema de proyectos para la sustitución de flota privada y la modernización del sector de transporte público.

6.5.2.3 Planificación de Largo Plazo

La planificación a largo plazo es fundamental para hacer frente a las diversas barreras del sector. Esto por cuanto pensar hacia más años en el futuro obliga a abordar todas las barreras actuales de una manera integrada, no como sucede en la actualidad cuando se piensa solo en “4 años de gobierno.” Sumado a esto, se deben tener proyectos piloto de corto plazo que puedan tener efectos demostrativos sobre los impactos de las intervenciones. Las medidas del sector que se analizaron en este trabajo pueden servir como punto de partida para alcanzar mayores objetivos en el mediano y largo plazo.

6.5.2.4 Co-beneficios para la Sociedad

Es necesario hacer una estimación de los costos y beneficios integral, que considere los co-beneficios para la sociedad y que identifique claramente quién “paga” por cada medida el sector y quién se “beneficia” con cada proyecto o política. Esto es clave para poder plantear las intervenciones en transporte de mejor manera y establecer prioridades, así como la viabilidad política desde un punto de vista de la sociedad civil.

6.5.2.5 Infraestructura Metropolitana para el Sistema de Transporte Público

Diseño geométrico y trazado de los corredores, con eventual desarrollo de una red vial especializada con vías exclusivas para el transporte público que apoye la inter-modalidad, y el posible acondicionamiento de superficie de ruedo, anchuras de carriles, señalización, seguridad, bahías de almacenamiento y paradas. Además, el diseño de un plan de construcción e instrumentalización de terminales urbanas para autobuses con estudios de localización, disponibilidad de suelo, integración urbana, potencial intermodal y posibles alianzas público-privadas para su construcción y gestión.

6.5.2.6 Ordenamiento de Áreas de Parqueo

Se debe contemplar un plan regulatorio para limitar las áreas de parqueos y parquímetros en las zonas centrales, con tarifas de estacionamientos para incentivar el desarrollo de zonas de parqueo más periféricas con conexión a sistemas que permitan el intercambio entre el modo privado y el transporte público. Asimismo, se promovería la diferenciación tarifaria para parqueos ubicados en la zona central de San José y en consistencia al plan de “densificación” de la ciudad.

6.5.2.7 Transporte no Motorizado

Se puede fomentar la ejecución de planes para fortalecer las opciones de transporte no motorizadas, con infraestructura adecuada para peatones y un sistema de ciclo-vías con fines recreativos y de transporte que entronque con las otras opciones de transporte público bajo el concepto de inter-modalidad.

6.5.2.8 Ordenamiento del Servicio de Taxis Servicio de Transporte Especial

El ordenamiento del sistema de taxis con vista al transporte intermodal y el mejoramiento de la flota con tecnologías bajas en emisiones, se puede fortalecer con el ordenamiento de paradas con incentivos a la mejora tecnológica, mediante la asignación de zonas de mayor cuasi-renta. Además se puede promover el ordenamiento, regulación e inspección de los transportes públicos regulares de uso especial de pasajeros.

6.5.2.9 Integración de Buses y el Sistema Ferroviario Metropolitano

Se debe impulsar el desarrollo de un sistema ferroviario en la Gran Área Metropolitana (GAM) para el transporte de pasajeros, y su integración a la red de autobuses mediante estaciones multimodales, sistemas de pago, tarifas, recaudación y venta de tiquetes, así como sistemas de información.

6.5.2.10 Uso Eficiente del Transporte Privado

Se debe desarrollar un plan para contener el transporte privado, que acompañe la modernización del transporte público y que incentive el uso eficiente del vehículo particular (mayor ocupación, uso compartido, adecuado mantenimiento, menor consumo, etc.) y disminución el número de viajes (dispersión de horarios de escuela y trabajo, horarios flexibles de trabajo, el tele-trabajo, el gobierno digital, etc.).

6.5.2.11 Transporte de Carga

Un componente fundamental de una política de transporte eficiente de carga es la actualización de normativas existentes, restricción de antigüedad y calidad de la flota y ordenamiento del trasiego de cargas que priorice el uso de corredores y rutas, con control de sobrepeso y mayores multas y sanciones sobre infractores. Esto incluiría la promoción de programas de capacitación para conducción eficiente y proyectos a nivel de flotas empresariales. La política debe estimular el uso del ferrocarril para cargas de mediana y larga distancia. Además, se acompañaría con el desarrollo de las plataformas logísticas en puertos, pasos fronterizos, y corredores estratégicos que hagan más eficiente el sistema.

6.5.2.12 Incorporación de Tecnologías de Transporte Público bajas en Emisiones

Se debe dar prioridad a una política para la introducción de tecnologías bajas en emisiones para el transporte público, con el desarrollo de cuerpos regulatorios y contractuales, talleres de servicio, sistema de chatarrización, financiamiento y creación de capacidades. Se podría impulsar una reforma regulatoria para restringir la antigüedad y calidad las unidades de vehículos del transporte público importadas acorde con los estándares de países desarrollados.

6.5.2.13 Sistema de pago Electrónico

Es necesaria la implementación de un sistema de pago electrónico estandarizado y orientado a la integración multimodal, con marco legal e institucional para la definición de competencias, un mecanismo administrativo ágil, sistema de operación, sistema de control y fiscalización pública. Esto apoyado con un modelo de costos, tráfico y rendimientos, así como el análisis estadístico y de mercados en apoyo de modelos de tarifas. Se fortalecería así la capacidad y autoridad pública en el recuento y control de pasajeros mediante el sistema de pago electrónico centralizado y se implementará un sistema de evaluación de calidad del servicio del transporte público.

6.5.2.14 Modelo Tarifario

Evaluar el sistema tarifario actual en virtud del impacto financiero para las empresas acorde a los requerimientos de modernización del transporte público, la integración multimodal, infraestructuras y la incorporación de tecnologías de bajas emisiones.

6.5.2.15 Integración de la Adaptación al Cambio Climático

Dado que el cambio climático es un fenómeno en marcha y no se podrán evitar parte de sus efectos actuales y esperados, en la planificación en materia de transporte e infraestructura vial y de transporte, así como en la gestión de proyectos, se deberá incorporar la adaptación al cambio climático, mediante un diagnóstico que reduzca la incertidumbre de los escenarios futuros y que determine las debilidades o fragilidades del sistema de transporte y vialidad, para reducir la vulnerabilidad ante los impactos negativos de eventos climáticos. El país afronta buena parte de las emergencias nacionales debido a eventos extremos generados por las lluvias, su ubicación geográfica, su estructura geológica y su condición altamente lluviosa. Por este motivo, con el objetivo de aumentar su resiliencia, en la planificación y gestión del sistema de transporte e infraestructura, se debe integrar la gestión del riesgo ante eventos extremos. Esto implicará evitar el desencadenamiento de eventos previsible, reducir con medidas o acciones planificadas el impacto de los eventos impredecibles o inevitables, mitigar el efecto negativo de los eventos ya consumados, y transferir del riesgo y reducir su impacto mediante la aplicación de mecanismos de protección social y financiera (i.e. seguros).

6.5.2.16 Marco Legal de Ordenamiento del Transporte Terrestre

De acuerdo al Plan Nacional de Transportes 2011-2035, se impulsará la elaboración de un marco legal integrado que regule todos los aspectos relacionados con el transporte por carretera de todo tipo de vehículos, tanto de pasajeros como de mercancías, con énfasis en la regulación diferenciada y especializada de los distintos ámbitos geográficos del servicio de transporte de pasajeros. Implicará revisar, agrupar, ordenar, simplificar, fortalecer, modernizar y reactivar el marco administrativo y legal vigente en materia de transportes. Asimismo, la organización del sector, definición de competencias, la gestión de los servicios de transporte, así como los requisitos para la creación de autoridades reguladoras del transporte.

6.5.2.17 Fortalecimiento del MOPT

Establecer un plan para la dotación al MOPT, sus consejos y otras entidades del sector con recursos financieros y humanos que los fortalezcan como órgano técnico, planificador, ejecutor, fiscalizador, orientador y sancionador, según corresponda en materia de infraestructura de transporte y servicios asociados, y que a su vez consolide su capacidad de gestión y estructura acorde con los requerimientos del país para implementar sus proyectos. Debe enfatizarse en el

fortalecimiento del Consejo de Transporte Público, en las labores futuras en gestión de transporte público, asimismo, a la Dirección de Planificación Sectorial para una planificación centralizada en materia de transporte e infraestructura y la interacción con dependencias y entidades claves.

6.5.2.18 Fortalecimiento del Sistema de Métrica

Es necesario el mejoramiento de las bases de datos en el MOPT y el MINAE para crear un sistema de indicadores robusto, reportable y verificable que sirva para conocer la contribución del sector transporte a las emisiones de GEI, establecer una línea base sectorial y evaluar la efectividad de las acciones implementadas en materia de mitigación, en línea con el Inventario Nacional de Emisiones y Fuentes de Gases de Efecto Invernadero y la Estrategia Nacional de Cambio Climático, así como para el apoyo de una política de adaptación al cambio climático y gestión al riesgo.

6.5.3 Sector Eléctrico

6.5.3.1 Marco Regulatorio y Legislación

En el sector eléctrico existe un tema que se discute constantemente y tiene que ver con el marco regulatorio y la legislación relacionada con las fuentes de electricidad tanto renovables (particularmente las no convencionales) como no renovables. Un punto es cómo se maneja el tema de la “propiedad” de los recursos naturales que son del Estado y que por tanto deben ser administrados por el Estado con una visión de país que va más allá del ICE o de grupos de la sociedad civil.

6.5.3.2 Implementación de Grandes Proyectos

La exploración geotérmica en parques nacionales y el proyecto hidroeléctrico Diquís plantean retos importantes que deberían enfocarse desde una perspectiva nacional y de qué futuro quiere el país con relación al desarrollo eléctrico. La dependencia de fuentes térmicas más allá de un respaldo del sistema eléctrico, es un tema complejo que puede generar impactos negativos más allá del crecimiento de las emisiones. Estos temas deben analizarse y ponerse en la balanza. Existe poca socialización e información para que las personas tengan una mejor idea de los proyectos de electrificación y sus impactos. La desinformación y planteamientos sesgados que generalmente se observan en las discusiones nacionales deberían confrontarse con más información y educación para la sociedad sobre lo que implican los planes de expansión de la generación eléctrica, de manera que se cuente con más criterios para tomar decisiones que son de carácter nacional y no de grupos de interés específicos.

6.5.3.3 Co-beneficios Sociales

La estimación de los costos y beneficios para la sociedad como un todo de las rutas de expansión de la generación son temas que deberán ser analizados en el futuro, de manera de determinar quiénes se benefician y quiénes asumen el costo de utilizar más fuentes renovables en comparación con más fuentes térmicas. Buena parte de las barreras que existen podrían enfrentarse de mejor manera si se hacen las estimaciones y se apunta directamente a cuál es lo mejor para el país como un todo más allá de posiciones parciales o de intereses de grupos específicos. Si bien es un tema complejo que debe evaluarse en el marco de la institucionalidad, es necesario entender mejor las implicaciones económicas, sociales y ambientales de los proyectos de generación y sus alternativas.

6.5.3.4 Coordinación del Sector

La limitada coordinación entre los entes públicos relacionados con la energía del país es un punto que debe mejorar si se busca consolidar una generación eléctrica fundamentada en fuentes renovables. A manera de ejemplo, el tema del biodiesel si bien está directamente relacionado con el Ministerio de Agricultura, no hay una clara interacción con RECOPE, que a su vez no tiene una coordinación estrecha con el ICE en el tema del gas natural. Esto es un tema importante para ser resuelto prontamente, ya que tiene implicaciones para el desarrollo eléctrico y más aún el desarrollo energético del país.

6.5.3.5 Fuentes Renovables no Convencionales

El fortalecimiento de la estrategia de fuentes renovables no convencionales es muy importante para reducir en parte la dependencia de fuentes térmicas como respaldo a las fuentes renovables. Reforzar los planes de manejo de cuencas estratégicas y el aprovechamiento de las áreas protegidas para la generación geotérmica son temas a los que se debe dar mayor atención. Lograr “consensos nacionales” en estos temas es fundamental para que el país avance hacia más generación renovable en el futuro. La actualización de la legislación sobre eficiencia energética es muy importante para acompañar los esfuerzos del ICE con la generación con fuentes renovables.

6.5.3.6 Electrificación del Transporte Público

La electrificación del transporte público es un tema muy importante que debe discutirse con más detalle a nivel nacional. El ICE para estar en capacidad para asumir este reto, pero son otras organizaciones de gobierno las que deben dar las directrices y los pasos para avanzar en este campo. La electrificación del transporte puede ser uno de los temas centrales para los proyectos de expansión de la generación eléctrica.

6.5.3.7 Integración de los Servicios Ambientales en el Sector

La importancia del mercado nacional de carbono, del sistema de pagos de servicios ambientales y el uso eficiente del canon de agua pueden ser incentivos para el financiamiento de proyectos y para fomentar las inversiones estratégicas en la conservación del recurso hídrico. Estos puntos tienen relevancia ya que abordan el tema de los servicios ecosistémicos y su apropiado financiamiento para lograr metas de generación renovable y mitigación de emisiones de GEI.

6.5.4 Sector Agropecuario

6.5.4.1 Promoción de la Producción Sostenible

La producción agrícola debe estar sustentada en una política integradora de objetivos de productividad, seguridad alimentaria, integración social, diversificación productiva y sostenibilidad ambiental, buscando su compatibilidad con otras actividades productivas y su entorno. Esta política debe generar inteligencia de mercado y estrategia comercial internacional mediante el análisis y seguimiento de las cadenas de producción, y reubicación de actividades agropecuarias por impactos esperados ante el cambio climático. Las políticas agropecuarias deben tener una integración con la estrategia REDD+ enfocada en la restauración y los paisajes funcionales. Se requiere creación de capacidades para el desarrollo de pequeños y medianos productores, y el involucramiento del sector privado en las medidas de cambio climático. Se requiere también un programa de eficiencia en el uso y empleo de los insumos (fertilizantes-nitrógeno) y desarrollo de tecnologías alternativas.

6.5.4.2 Incentivos a la Investigación el Cambio Tecnológico

Se debe trabajar con los técnicos en los paradigmas de la revolución verde, mejoramiento genético, material genético para la seguridad alimentaria, enfoque sistémico en cultivos y mejora de la resiliencia ante el cambio climático, por lo que debe haber mayor vinculación y coordinación de la estrategia tecnológica y las políticas. En el sector agropecuario hay barreras y pocos incentivos para el cambio tecnológico y la adopción de prácticas en línea con lo que demanda el cambio climático. Las instituciones del sector tienen un presupuesto insuficiente, y se cuenta con limitado talento humano para extensión agropecuaria. Se requiere por tanto agendas de financiamiento para la investigación. Hay fondos de investigación no utilizados que podrían reorientarse. Además, una sensibilización para adoptar (cambio) en la tecnología y alineamientos político-tecnológicos.

6.5.4.3 Políticas para Aprovechamiento de Residuos Agrícolas

Hay ausencia de regulaciones para comercializar el excedente de energía y aprovechar residuos agropecuarios, para reconocer la sinergia entre el agro y el transporte en el tema de los biocombustibles. Se deben modificar las regulaciones para reconocimiento de beneficios ambientales en la producción agropecuaria. Falta integración entre las unidades legales de las

instituciones para asegurar la viabilidad jurídica de cualquiera de las propuestas que se plantean, sean estas viables o no.

6.5.5 Sector Forestal

6.5.5.1 *Espacio para el Manejo Forestal*

Hay un alto costo de oportunidad de la tierra, lo que es menos atractivo para el sector forestal si no existen los incentivos ni la posibilidad de manejo forestal. El fomento del uso de la madera para construcción y un mayor valor agregado en productos de la madera, requiere de una campaña desmitificar la explotación maderera como “enemiga” de la conservación. Impulsar en el sector construcción la utilización de madera proveniente de fuentes sostenibles nacionales es un tema que debe abordarse con atención.

6.5.5.2 *Contabilidad del Carbono*

Es importante la consistencia de la contabilidad del carbono, ya que el país impulsa diversos esquemas (REDD+, NAMA, mercado nacional), por lo que debe quedar claro cómo se distribuyen los beneficios (y se asumen los costos) bajo estos distintos esquemas. Si se piensa en el carbono como una fuente de financiamiento para las medidas de mitigación, se debe dimensionar claramente qué papel juega en el mercado cada esquema que es actualmente impulsado en el país. En este sentido es importante continuar y fortalecer la Estrategia Nacional REDD+, como base para proyectar el potencial actual y futuro de los distintos estratos de bosques.

6.5.5.3 *Políticas del Bosque y el Desarrollo Rural*

Incentivar políticas para aumentar las reservas de carbono mediante la reactivación productiva de bosques, plantaciones y sistemas agroforestales que permitan la promoción y consumo de productos de madera nacional bajo parámetros de sostenibilidad y respetando las salvaguardas sociales y ambientales. Se debe promover el manejo y conservación de los ecosistemas forestales y la valorización de los servicios ecosistémicos derivados para potenciar otros beneficios sociales y ambientales tomando en cuenta las necesidades y preferencias de medios de vida de las comunidades locales y los pueblos indígenas.

6.5.5.4 *Reforzar Gobernanza Forestal*

Bajo la actual institucionalidad, se debe construir una estructura que facilite articulación y gobernanza forestal, que provea espacios de coordinación nacional, regional y local, que involucre diferentes instancias públicas, privadas, academia, ONG’s y otros organismos para la discusión, coordinación, construcción de acuerdos y desarrollo de políticas forestales que refuercen el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, las líneas de acción del Gobierno en materia forestal, en particular las metas del Plan Nacional de Desarrollo, y fortalezcan la investigación y la gestión del conocimiento forestal. Considerando además la innovación tecnológica y el

conocimiento tradicional, la diversificación económica y un sistema de información forestal que permita el monitoreo, el reporte y la verificación. Asimismo, se requiere mejorar las condiciones de seguridad jurídica y reducir costos de transacción para aumentar la competitividad y promover la actividad productiva forestal desde el bosque, pasando por la industria hasta el mercado. Con esto puede contribuir el fomento de una plataforma multi-actores que incluya representantes del sector privado, la sociedad civil, las comunidades locales, los grupos indígenas, las mujeres y otros grupos sociales, así como representantes de las diferentes instancias gubernamentales.

6.5.5.5 Enfoque de Planificación del Paisaje

Se debe fortalecer el enfoque de manejo y conservación de bosques con la planificación por paisajes y ecosistemas, y la gestión a nivel territorial para que se complementen, entre otros, las actividades productivas agropecuarias y agroindustriales, vinculando el tema forestal con el desarrollo territorial rural, y que involucren a las comunidades locales para la creación de nuevos esquemas de desarrollo con perspectiva de equidad social y sostenibilidad ambiental. Se requiere la integración de la academia para la generación de información necesaria para tomar decisiones, nuevos esquemas de manejo, conservación y valoración de otros servicios ambientales, basadas en datos robustos e investigaciones con uso práctico.

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_{2e} 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_{2e} 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.

9 Anexo 1. Resultados Talleres Técnicos de Consulta para las Contribuciones Nacionales en Mitigación

Objetivos de los talleres: Contribuir al proceso de consulta sectorial sobre las medidas de mitigación y secuestro de GEI y su impacto en la línea de emisiones en el sector, como parte de las contribuciones nacionales y la meta de carbono neutralidad del país; así como establecer un mapa de ruta para la implementación de las medidas de mitigación identificadas. En el taller también se hará un levantamiento de las barreras que se identifican para la implementación de las medidas.

Alcance esperado de los talleres: En estas sesiones se presentarán los escenarios con el conjunto de medidas de mitigación identificadas en el proceso consultivo y su impacto en las emisiones del sector, respecto a la brecha con la meta C-neutralidad.

Las partes interesadas que participan en el taller serán las que se establezcan por la entidad rectora del sector, para la recomendación técnica-política del escenario de referencia del sector.

Se hará por su parte un levantamiento de opinión experta en cuanto a las barreras que enfrentan las medidas para su implementación.

La entidad rectora del sector se encargará de la incorporación de las medidas de mitigación en la planificación sectorial respectiva.

Metodología:

Proceso previo a los talleres:

Durante el proceso consultivo previo a los talleres, el equipo INDC sectorial habrá sido asistido por el equipo técnico de la DCC para identificar las medidas de mitigación o secuestro que el sector plantea impulsar durante el periodo 2015 a 2020.

Estas medidas identificadas serán evaluadas para determinar su pertinencia para ser consideradas en las INDC, ya que la información mínima es que estas medidas requieren es: A) una definición de los alcances que permitan establecer su impacto en mitigación, B) los costos de inversión asociados, y C) En caso que se produzcan, los costos e ingresos que generarán las medidas a través del tiempo. Asimismo, se evaluará la disponibilidad y calidad de los datos y la metodología para establecer esta información mínima.

Asimismo, las medidas deben ser parte de la política sectorial para ser colocadas en el escenario final del sector. No obstante, nuevas medidas pueden ser consideradas en los escenarios para evaluar su conveniencia.

Si bien las medidas de mitigación por evaluar requieren esencialmente la información mínima antes mencionada, se recabará otra información que permita reconocer los beneficios asociados a las medidas y aspectos esenciales como barreras y riesgos asociados.

Análisis en los talleres:

La información sobre las medidas de mitigación o secuestro recabada será sistematizada y presentada dentro de los escenarios para el proceso de análisis por realizar en los talleres.

Los escenarios consistirán en la línea base de emisiones sectorial y el impacto de las diversas medidas de mitigación y secuestro, algunas las cuales se podrán aplicar en diversa magnitud, originando los escenarios alternativos. Asimismo, se analizará los efectos de las medidas en la C-neutralidad.

Análisis de barreras:

El análisis de barreras se realiza con las partes interesadas que asisten al taller. El proceso se basará en el uso del mapa del mercado relevante para cada medida analizada. Un borrador de este mapa se construirá previamente con el apoyo de las contrapartes técnicas del sector. Este borrador será revisado y completado en el taller.

En el mapa de mercado primero analiza el entorno habitante, conformado por las políticas, así como los marcos legales e institucionales que directa o indirectamente influyen en la implementación de las medidas.

Posteriormente, se identifican los actores directos, que van desde las instituciones que regulan el mercado hasta la cadena de suministro, para finalizar con los usuarios finales.

Por último, el mapa de mercado analiza los servicios de apoyo para la implementación y el funcionamiento de la medida, desde proveedores de tecnología, financiamiento, investigación, materiales y suministros, apoyo técnico y capacitación, entre otros.

Las barreras se organizarán de acuerdo a las siguientes categorías:

- I. Barreras Económicas y Financieras
- II. Barreras de Mercado
- III. Barreras Políticas, Legales y Regulatorias
- IV. Barreras en Organización Institucional
- V. Barreras en Capacidad y Habilidades
- VI. Barreras en comunicación
- VII. Barreras sociales y culturales
- VIII. Barreras medio ambientales

En el taller las contrapartes podrán presentar ideas de acciones con las cuales se pueden remover las barreras identificadas, con base a un borrador que se preparará previamente.

9.1 Gestión Nacional de Residuos

Agenda

Taller Contribuciones Nacionales en Mitigación: Gestión Nacional de Residuos

22 de mayo del 2015. Horario: 8:30 am - 1:15 pm. Hotel Crowne Corobicí, Salón Cahuita 2

8:00	1. Registro de participantes
8:30	2. Presentación de objetivos del taller <ul style="list-style-type: none">• Bienvenida: Eugenio Androvetto. Director de Protección al Ambiente Humano• William Alpizar, Director Cambio Climático, MINAE y• Marcos Castro, Banco Mundial/PMR;• Presentación de participantes• Objetivos y organización del taller• Explicación de la dinámica de trabajo
08:45	3. Enfoque Metodológico del Proceso de Costa Rica <ul style="list-style-type: none">• Introducción del proceso identificación de las medidas de mitigación en la gestión nacional de residuos y la construcción de los escenarios. Equipo Técnico DCC• Presentación de los escenarios de mitigación en la gestión nacional de residuos.• Presentación de ideas conductivas para las sesiones en grupos.• Preguntas
09:10	4. Trabajo en grupos <ul style="list-style-type: none">• Definición de un escenario de referencia con la primera fase de medidas de mitigación en la gestión nacional de residuos• Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector.• Análisis de barreras y medidas para su remoción• Discusión/preguntas
10:00	Coffee Break
10:15	5. Sesión plenaria <ul style="list-style-type: none">• Presentaciones de resultados de grupos• Definición de un escenario de referencia con la primera fase de medidas de mitigación en la gestión nacional de residuos• Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector.• Análisis de barreras y medidas para su remoción

	<ul style="list-style-type: none"> • Discusión/preguntas
12:15	Almuerzo

Participantes

Institución	Nombre	Correo electrónico
DCC, MINAE	William Alpízar Zúñiga	walpizar@minae.go.cr
DCC, MINAE	Ana Luisa Leiva	analeiva@minae.go.cr
DCC, MINAE	Francisco Sancho	fsancho@sanchoconsulting.com
DCC, MINAE	Luis Rivera	lriverav@gmail.com
DCC, MINAE	Daniela Rivas	daniella.rivas306@gmail.com
MINAE	Pascal Girot	pascalgirot@gmail.com
Programa Acción Clima GIZ	Gustavo Jiménez	gustavo.jimenez@giz.de
Programa Acción Clima GIZ	Sergio Musmanni	sergio.musmanni@giz.de
BUR-IMN	Luis Roberto Chacón	firmunepcr@gmail.com
Ministerio de Salud	Olga Segura Cárdenas	olgaseguracr@gmail.com / osegura@ministeriodosalud.go.cr / sigems9@yahoo.es
Ministerio de Salud	Ricardo Morales Vargas	ricardo.alberto.morales.vargas@gmail.com
Ministerio de Salud	Jorge Valverde Quesada	jorvalster@gmail.com
Ministerio de Salud	Federico Paredes	paredesfederico@gmail.com
UCCAEP	Nicolás Díaz Naranjo	andreachacon@gmail; condiaz@conexion.cr
UCCAEP	Rodolfo Rhoden Jiménez	rrhoden@solucioneffectiva.com
CONARE	Carlos Calleja Amador	ccalleja@ccss.sa.cr
DIGECA, MINAE	Rosario Zúñiga Bolaños	rzuniga@minaet.go.cr; rosariozu@yahoo.com
DIGECA, MINAE	Shirley Soto	ssoto@minaet.go.cr
DIGECA, MINAE	Carolina Flores	cflores@gmail.com
Unión Nacional Gobiernos Locales	Jessica Zeledón	jzeledon@ungl.or.cr
Unión Nacional Gobiernos Locales	Rossina Campos	rcampos@ungl.or.cr
MAG	Roberto Azofeifa R.	razof@mag.go.cr / secretaria-pfpas@mag.go.cr
ACEPESA	Victoria Rudín Vega	vrudin@acepesa.com
MICIT	Luis Giraldo	luis.giraldo@micit.go.cr / secretaria.telecom@micit.go.cr
ASEGIRE	Pablo Hernández	phernandez@asegire.com
ICE	Elizabeth Umaña Solano	eumana@ice.go.cr
ICE	Catalina Centeno	CCenteno@ice.go.cr

ICE	Adriana Arce Quirós	AArceQu@ice.go.cr
ICE	Yetty Saldaña Brenes	YSaldana@ice.go.cr
CCSS	Edgar Acuña Ulate	eacunau@ccss.sa.cr
REDIES	Kathya Elizondo	kattya.elizondo@ucr.ac.cr

Recomendaciones de políticas habilitantes

Programa de Educación y Sensibilización

En el manejo de desechos una importante política habilitante es el impulso de un programa de educación y sensibilización para crear una cultura alrededor de la gestión de los residuos sólidos, que se oriente a la reducción y gestión desde la fuente. Se requiere que la educación pública y otras medidas de sensibilización a hogares y centros de trabajo, hagan 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 fuente.

Fortalecimiento Financiero e Institucional

Existen limitaciones presupuestarias a nivel de las Municipalidades y de las entidades de gobierno para hacer una efectiva implementación de la Ley de Gestión Integral de los Residuos GIR (es decir, el *enforcement* de la ley). Esto se evidencia tanto a nivel del personal, las capacidades técnicas, los equipos de apoyo y de gestión, y la capacidad de ejecución de los recursos públicos. Con relación a este punto, es importante fortalecer la vinculación de los Ministerios de Salud y Ambiente, para aprovechar la capacidad instalada y las sinergias que puedan consolidarse.

A nivel de gestión pública se requiere consolidar sinergias entre federaciones de Municipalidades y fortalecer los mandatos del Ministerio de Salud. Si bien se debe aplicar la Ley de GIR, se requiere promover los ajustes y reformas necesarios en el marco jurídico y regulatorio para que se consoliden los planes a futuro.

Se deben generar incentivos económicos para promover la gestión de residuos a nivel ciudadano y la proliferación de negocios de valorización de residuos. Se puede analizar un esquema que el ahorro en costos del sistema de recolección y tratamiento de los residuos sólidos, debidos al papel de los negocios de valorización, se trasladen de alguna manera como “tarifa” por los servicios alternativos de tratamiento. La estrategia debería incorporar una unificación e integración del marco jurídico y regulatorio político, que reduzca la profusa regulación que existe en el país para el tema. El fortalecimiento institucional requiere una planificación estratégica como un marco de acción para la promoción de estrategias puntuales, pero integrales, que busquen con una sola intervención generar efectos en cadena positivos en múltiples escalas y dimensiones.

Condiciones para la Industria de Manejo de los Residuos

Para la industria se debería crear un mejor ambiente de negocios, para fomentar las inversiones y el emprendedurismo en sistemas de separación y valorización, así como sistemas de tratamiento. Esto pasa por los esquemas tarifarios, el cambio de tecnologías y los incentivos económicos que se puedan crear para la sustitución en la matriz energética (competitividad por kWh), consolidar una estrategia nacional de reciclaje, la formalización e inclusión de recolectores informales, y las medidas en la “cadena” (sustitución en la fuente, involucramiento de hogares, zonas de captación, etc.).

NAMA en Gestión de Residuos

Como se había indicado anteriormente, un NAMA en el ámbito de la gestión de residuos sólidos es una medida que puede aumentar el potencial de mitigación en el sector. Este NAMA permitiría además un marco de política claro de incentivos para las actividades de reducción, separación, valorización y tratamiento de los residuos.

Sistemas Alternativos de Tratamiento

Se sugiere que la incineración debería reducirse en el futuro y promover las otras opciones (además de tener en cuenta su impacto social y el involucramiento de diversos actores). Se deberían crear las condiciones para iniciar y consolidar proyectos de valorización de residuos que creen masa crítica para proyectos de una mayor escala en el futuro. Más aún, la discusión sobre gestión de residuos no se puede circunscribir a la incineración. Existe una gama de opciones mucho más amplia que no debe dejar de lado el principio de gestión integral, asociada a todo el ciclo de vida de los productos (“de la cuna a la tumba”), y enfocada tanto en la mejora de prácticas de producción (eco-diseño, eco-etiquetado, vida útil) como en el consumo (pautas y patrones de consumo, gestión en origen, etc.)

Reordenamiento Urbano

La generación de residuos debe reconocerse como producto de la convivencia urbana, por lo que el reordenamiento urbano debe incluir a la generación y tratamiento como unos de los factores de decisión de un desarrollo urbano sostenible. Existe una sinergia positiva entre los sectores eléctrico-residuos-agricultura y urbanos. Se debe establecer una estrategia para canalizar esta sinergia en la práctica cotidiana.

Plantas de Compostaje y Biodigestión

El estado debería promover la creación de proyectos piloto de plantas de compostaje y biodigestión, y hacer estas prácticas una norma en los rellenos sanitarios, para el aprovechamiento integral del metano. Sin embargo, se requiere paralelamente estimular esquemas alternativos y descentralizados.

Medidas por analizar en el futuro

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.”

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.

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.

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.

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.

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.

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.

9.2 Modernización del Sistema de Transporte Público y Medidas Conexas

Agenda

Taller Contribuciones Nacionales en Mitigación: Modernización del Sistema de Transporte Público y medidas conexas.

26 de mayo del 2015. Horario: 8:30 am - 1:15 pm. Hotel Crowne Corobicí, Salón Corcovado 1

8:00	6. Registro de participantes
8:30	7. Presentación de objetivos del taller <ul style="list-style-type: none"> ● Bienvenida: Sebastián Urbina. Vice-Ministro de Transportes ● William Alpizar, Director Cambio Climático, MINAE y ● Presentación de participantes ● Objetivos y organización del taller ● Explicación de la dinámica de trabajo

08:45	<p>8. Enfoque Metodológico del Proceso de Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introducción del proceso identificación de las medidas de mitigación en sector transporte y la construcción de los escenarios. Equipo Técnico DCC • Definición de rutas del Sistema Integrado del Transporte Público para el 2020 y su impacto esperado en mitigación de emisiones de GEI. • Definición de un programa de acciones conexas para la Consolidación de Medidas de Control de la Congestión Vehicular (restricción vehicular, cambio de horarios, atención de topics y uso de Waze), mapa de ruta al 2020 y su impacto esperado en mitigación de emisiones de GEI. • Presentación de ideas conductivas para las sesiones en grupos. • Preguntas
09:10	<p>9. Trabajo en grupos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definición de un escenario de referencia con la primera fase de medidas de mitigación en transporte público. • Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción. • Discusión/preguntas
10:00	Coffee Break
10:15	<p>10. Sesión plenaria</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones de resultados de grupos • Definición de un escenario de referencia con la primera fase de medidas de mitigación en el transporte público. • Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción • Discusión/preguntas
12:15	Almuerzo

Participantes

Institución	Nombre	Correo electrónico
DCC, MINAE	William Alpízar Zúñiga	walpizar@minae.go.cr
DCC, MINAE	Ana Luisa Leiva	analeiva@minae.go.cr
DCC, MINAE	Francisco Sancho	fsancho@sanchoconsulting.com

DCC, MINAE	Luis Rivera	lriverav@gmail.com
DCC, MINAE	Nury Benavides	benavides.n@gmail.com
DCC, MINAE	Daniela Rivas	daniella.rivas306@gmail.com
MINAE	Pascal Girot	pascalgirot@gmail.com
UNDP	Felipe de León	felipe@climatrader.com
Programa Acción Clima GIZ	Gustavo Jiménez	gustavo.jimenez@giz.de
Programa Acción Clima GIZ	Sergio Musmanni	sergio.musmanni@giz.de
BUR-IMN	Luis Roberto Chacón	firmunepcr@gmail.com
BUR-IMN	Juan Solera	jsolera@scsglobalservices.com
MOPT	Álvaro Bermúdez	abermudp@mopt.go.cr
CTP	Rony Barrantes	rbarrantes@ctp.go.cr
MOPT	Joyce Arguedas Calderón	jarguedc@mopt.go.cr
CONAVI	Rolando Arias	rolando.arias@conavi.go.cr
DCC, MINAE	Verena Aráuz	gef.transporteurban@gmail.com
DSE, MINAE	Arturo Molina	amolina@dse.go.cr
DSE, MINAE	Diana Leandro	dleandro@dse.go.cr
EPYPSA	Andrea Mesa	andrea.meza@epypsa.com /andrea.mezamurillo@gmail.com
MOPT	Sebastián Urbina Cañas	surbina@mopt.go.cr
MINAE, DSE - PNUD	Esteven González	egonzalez@dse.go.cr

Recomendaciones de políticas habilitantes

Planificación Urbana e Infraestructura Vial

En el sector transporte se centralizan problemas “macro” relacionados con la limitada planeación urbana y la baja calidad de la infraestructura vial. Estas dos limitaciones son resultado de la falta de proyectos país que tengan continuidad política. La falta de políticas de largo plazo en el sector transporte hace más difíciles la implementación de medidas como las propuestas en este estudio, ya que el punto de partida del entorno es bastante complicado. Por otro lado, el (limitado) enfoque “solamente” en infraestructura ha hecho que se pierda la perspectiva sobre “movilidad” urbana, que tiene que ver con numerosas intervenciones. Un punto fundamental es la política urbana para el “repoblamiento” de San José y sus implicaciones de movilidad dentro de las intervenciones del sector transporte.

Barreras Institucionales

Las limitaciones de presupuesto y capacidades en los entes públicos son un obstáculo para la modernización del sector transporte. A esto se debe sumar la limitada capacidad de negociación con el sector privado para poder plantear soluciones nacionales más allá de los intereses privados. El país muestra gran capacidad para diseñar proyectos y llegar hasta el nivel de pre-

factibilidad o factibilidad, sin que se concreten los proyectos planteados. Se deben crear condiciones para un “salto” hacia la ejecución de los proyectos. Si bien existen problemas con el entorno legal y regulatorio del país frecuentemente señalados por diversos actores, no se concreta alguno específico ni se establece su relación con el tema de proyectos para la sustitución de flota privada y la modernización del sector de transporte público.

Planificación de Largo Plazo

La planificación a largo plazo es fundamental para hacer frente a las diversas barreras del sector. Esto por cuanto pensar hacia más años en el futuro obliga a abordar todas las barreras actuales de una manera integrada, no como sucede en la actualidad cuando se piensa solo en “4 años de gobierno.” Sumado a esto, se deben tener proyectos piloto de corto plazo que puedan tener efectos demostrativos sobre los impactos de las intervenciones. Las medidas del sector que se analizaron en este trabajo pueden servir como punto de partida para alcanzar mayores objetivos en el mediano y largo plazo.

Co-beneficios para la Sociedad

Es necesario hacer una estimación de los costos y beneficios integral, que considere los co-beneficios para la sociedad y que identifique claramente quién “paga” por cada medida el sector y quién se “beneficia” con cada proyecto o política. Esto es clave para poder plantear las intervenciones en transporte de mejor manera y establecer prioridades, así como la viabilidad política desde un punto de vista de la sociedad civil.

Infraestructura Metropolitana para el Sistema de Transporte Público

Diseño geométrico y trazado de los corredores, con eventual desarrollo de una red vial especializada con vías exclusivas para el transporte público que apoye la inter-modalidad, y el posible acondicionamiento de superficie de ruedo, anchuras de carriles, señalización, seguridad, bahías de almacenamiento y paradas. Además, el diseño de un plan de construcción e instrumentalización de terminales urbanas para autobuses con estudios de localización, disponibilidad de suelo, integración urbana, potencial intermodal y posibles alianzas público-privadas para su construcción y gestión.

Ordenamiento de Áreas de Parqueo

Se debe contemplar un plan regulatorio para limitar las áreas de parqueos y parquímetros en las zonas centrales, con tarifas de estacionamientos para incentivar el desarrollo de zonas de parqueo más periféricas con conexión a sistemas que permitan el intercambio entre el modo privado y el transporte público. Asimismo, se promovería la diferenciación tarifaria para

parqueos ubicados en la zona central de San José y en consistencia al plan de “densificación” de la ciudad.

Transporte no Motorizado

Se puede fomentar la ejecución de planes para fortalecer las opciones de transporte no motorizadas, con infraestructura adecuada para peatones y un sistema de ciclo-vías con fines recreativos y de transporte que entronque con las otras opciones de transporte público bajo el concepto de inter-modalidad.

Ordenamiento del Servicio de Taxis Servicio de Transporte Especial

El ordenamiento del sistema de taxis con vista al transporte intermodal y el mejoramiento de la flota con tecnologías bajas en emisiones, se puede fortalecer con el ordenamiento de paradas con incentivos a la mejora tecnológica, mediante la asignación de zonas de mayor cuasi-renta. Además se puede promover el ordenamiento, regulación e inspección de los transportes públicos regulares de uso especial de pasajeros.

Integración de Buses y el Sistema Ferroviario Metropolitano

Se debe impulsar el desarrollo de un sistema ferroviario en la Gran Área Metropolitana (GAM) para el transporte de pasajeros, y su integración a la red de autobuses mediante estaciones multimodales, sistemas de pago, tarifas, recaudación y venta de tiquetes, así como sistemas de información.

Uso Eficiente del Transporte Privado

Se debe desarrollar un plan para contener el transporte privado, que acompañe la modernización del transporte público y que incentive el uso eficiente del vehículo particular (mayor ocupación, uso compartido, adecuado mantenimiento, menor consumo, etc.) y disminución el número de viajes (dispersión de horarios de escuela y trabajo, horarios flexibles de trabajo, el tele-trabajo, el gobierno digital, etc.).

Transporte de Carga

Un componente fundamental de una política de transporte eficiente de carga es la actualización de normativas existentes, restricción de antigüedad y calidad de la flota y ordenamiento del trasiego de cargas que priorice el uso de corredores y rutas, con control de sobrepeso y mayores multas y sanciones sobre infractores. Esto incluiría la promoción de programas de capacitación para conducción eficiente y proyectos a nivel de flotas empresariales. La política debe estimular el uso del ferrocarril para cargas de mediana y larga distancia. Además, se acompañaría con el

desarrollo de las plataformas logísticas en puertos, pasos fronterizos, y corredores estratégicos que hagan más eficiente el sistema.

Incorporación de Tecnologías de Transporte Público bajas en Emisiones

Se debe dar prioridad a una política para la introducción de tecnologías bajas en emisiones para el transporte público, con el desarrollo de cuerpos regulatorios y contractuales, talleres de servicio, sistema de chatarrización, financiamiento y creación de capacidades. Se podría impulsar una reforma regulatoria para restringir la antigüedad y calidad las unidades de vehículos del transporte público importadas acorde con los estándares de países desarrollados.

Sistema de pago Electrónico

Es necesaria la implementación de un sistema de pago electrónico estandarizado y orientado a la integración multimodal, con marco legal e institucional para la definición de competencias, un mecanismo administrativo ágil, sistema de operación, sistema de control y fiscalización pública. Esto apoyado con un modelo de costos, tráfico y rendimientos, así como el análisis estadístico y de mercados en apoyo de modelos de tarifas. Se fortalecería así la capacidad y autoridad pública en el recuento y control de pasajeros mediante el sistema de pago electrónico centralizado y se implementará un sistema de evaluación de calidad del servicio del transporte público.

Modelo Tarifario

Evaluar el sistema tarifario actual en virtud del impacto financiero para las empresas acorde a los requerimientos de modernización del transporte público, la integración multimodal, infraestructuras y la incorporación de tecnologías de bajas emisiones.

Integración de la Adaptación al Cambio Climático

Dado que el cambio climático es un fenómeno en marcha y no se podrán evitar parte de sus efectos actuales y esperados, en la planificación en materia de transporte e infraestructura vial y de transporte, así como en la gestión de proyectos, se deberá incorporar la adaptación al cambio climático, mediante un diagnóstico que reduzca la incertidumbre de los escenarios futuros y que determine las debilidades o fragilidades del sistema de transporte y vialidad, para reducir la vulnerabilidad ante los impactos negativos de eventos climáticos. El país afronta buena parte de las emergencias nacionales debido a eventos extremos generados por las lluvias, su ubicación geográfica, su estructura geológica y su condición altamente lluviosa. Por este motivo, con el objetivo de aumentar su resiliencia, en la planificación y gestión del sistema de transporte e infraestructura, se debe integrar la gestión del riesgo ante eventos extremos. Esto implicará evitar el desencadenamiento de eventos previsibles, reducir con medidas o acciones planificadas el impacto de los eventos impredecibles o inevitables, mitigar el efecto negativo de los eventos

ya consumados, y transferir del riesgo y reducir su impacto mediante la aplicación de mecanismos de protección social y financiera (i.e. seguros).

Marco Legal de Ordenamiento del Transporte Terrestre

De acuerdo al Plan Nacional de Transportes 2011-2035, se impulsará la elaboración de un marco legal integrado que regule todos los aspectos relacionados con el transporte por carretera de todo tipo de vehículos, tanto de pasajeros como de mercancías, con énfasis en la regulación diferenciada y especializada de los distintos ámbitos geográficos del servicio de transporte de pasajeros. Implicará revisar, agrupar, ordenar, simplificar, fortalecer, modernizar y reactivar el marco administrativo y legal vigente en materia de transportes. Asimismo, la organización del sector, definición de competencias, la gestión de los servicios de transporte, así como los requisitos para la creación de autoridades reguladoras del transporte.

Fortalecimiento del MOPT

Establecer un plan para la dotación al MOPT, sus consejos y otras entidades del sector con recursos financieros y humanos que los fortalezcan como órgano técnico, planificador, ejecutor, fiscalizador, orientador y sancionador, según corresponda en materia de infraestructura de transporte y servicios asociados, y que a su vez consolide su capacidad de gestión y estructura acorde con los requerimientos del país para implementar sus proyectos. Debe enfatizarse en el fortalecimiento del Consejo de Transporte Público, en las labores futuras en gestión de transporte público, asimismo, a la Dirección de Planificación Sectorial para una planificación centralizada en materia de transporte e infraestructura y la interacción con dependencias y entidades claves.

Fortalecimiento del Sistema de Métrica

Es necesario el mejoramiento de las bases de datos en el MOPT y el MINAE para crear un sistema de indicadores robusto, reportable y verificable que sirva para conocer la contribución del sector transporte a las emisiones de GEI, establecer una línea base sectorial y evaluar la efectividad de las acciones implementadas en materia de mitigación, en línea con el Inventario Nacional de Emisiones y Fuentes de Gases de Efecto Invernadero y la Estrategia Nacional de Cambio Climático, así como para el apoyo de una política de adaptación al cambio climático y gestión al riesgo.

Medidas por analizar en el futuro

Fortalecimiento del Monitoreo de las Emisiones de CO₂

El VII Plan Nacional de Energía recién elaborado por el MINAE con el concurso de diversas partes interesadas en el sector,⁵⁴ 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 CO₂, 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.

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.

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.

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.

Canon por Emisiones de CO₂

Otro instrumento económico que podría ser analizado por MINAE es la implantación de un canon por emisiones de CO₂, que consistiría en el cobro de un cargo sobre el cilindraje de los 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.

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.

⁵⁴ DSE (2015).

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

9.3 Sector Agropecuario

Agenda

Taller Contribuciones Nacionales en Mitigación: Sector Agropecuario

05 de junio del 2015. Horario: 8:00 am - 3:00 pm. Hotel Crowne Corobicí, Salón Cahuita 2.

8:00	11. Registro de participantes
8:30	12. Presentación de objetivos del taller <ul style="list-style-type: none">● Bienvenida: Mauricio Chacón Navarro. Gerente de Ganadería del MAG● William Alpizar, Director Cambio Climático, MINAE● Presentación de participantes● Objetivos y organización del taller● Explicación de la dinámica de trabajo

08:45	<p>13. Enfoque Metodológico del Proceso de Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introducción del proceso identificación de construcción de los escenarios para el sector agropecuario. Equipo Técnico DCC • NAMA ganadero y su impacto esperado en mitigación de emisiones de GEI. • NAMA café y su impacto esperado en mitigación de emisiones de GEI. • Presentación de ideas conductivas para las sesiones en grupos. • Preguntas/Comentarios
10:00	Coffee Break
10:15	<p>14. Trabajo en grupos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retroalimentación del escenario de referencia. • Mapeo de medidas de mitigación por considerar en la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remociónⁱ. • Discusión/preguntas
12:00	Almuerzo
1:15	<p>15. Sesión plenaria</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones de resultados de grupos • Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción • Discusión/preguntas

Participantes

Institución	Nombre	Correo electrónico
DCC, MINAE	William Alpizar Zúñiga	walpizar@minae.go.cr
DCC, MINAE	Ana Luisa Leiva	analeiva@minae.go.cr
DCC, MINAE	Francisco Sancho	fsancho@sanchoconsulting.com
DCC, MINAE	Nury Benavides	benavides.n@gmail.com
DCC, MINAE	Daniela Rivas	daniella.rivas306@gmail.com
PCC-CATIE	Lenin Corrales	lenincorrales@gmail.com
UNDP	Felipe de León	felipe@climatrader.com
Programa Acción Clima GIZ	Gustavo Jiménez	gustavo.jimenez@giz.de
Programa Acción Clima GIZ	Sergio Musmanni	sergio.musmanni@giz.de
Programa Acción Clima GIZ	Janina Grabs	janina.grabs@giz.de
BUR-IMN	Juan Solera	jsolera@scsglobalservices.com

Unidad de Acción Ambiental de la EARTH	Manrique Arguedas Camacho	margueda@earth.ac.cr
Banco Mundial, consultor	German Obando	german.obando@iucn.org ; gobando67@gmail.com
PNUD	Agripina Jenkins	ajenkins_20@hotmail.com
MAG, AGRICULTURA CONSERVACIONISTA/DNEA	Víctor Vargas	vvargas@mag.go.cr ; varmol@racsa.co.cr
MAG	Mauricio Chacón	mchacon@mag.go.cr ; mauchacr@yahoo.es
MAG, SEPSA	Ana Lorena Jiménez	ljimenez@mag.go.cr
MAG, SEPSA	Roberto Flores Verdejo	rflores@mag.go.cr
IMN	Johnny Montenegro	jmontenegro@imn.ac.cr
MAG, SEPSA.	Franklin Charpantier	fcharpantier@mag.go.cr
MAG	María Mercedes Flores Fioravanti	mflores@mag.go.cr
MAG, SEPSA	Yetty Quirós	yquiros@mag.go.cr
MAG, SEPSA	Francini Araya	faraya@mag.go.cr
MAG, SEPSA	Marianela Borbón	mborbon@mag.go.cr
Fundecooperación	Marianella Feoli	mfeoli@fundecooperacion.org ; hmontero@fundecooperacion.org
MAG	Guillermo Eduardo González Perera	ggonzalez@mag.go.cr
MAG	Rolando Tencio C	rolandotencio@hotmail.com
ICAFE	Sabino Montero	smontero@icafe.go.cr
MAG	Sergio Abarca Monge	sabarca@inta.go.cr
MAG	Carlos Hidalgo Ardón	chidalgo@inta.go.cr
CORFOGA Corporación Ganadera	Ing. Marco Fallas	marco@corfoga.org
ISOECO S.A Agronomía UCR	Dr. Alvaro Ureña	isoecoagri@racsa.co.cr

Recomendaciones de políticas habilitantes

Promoción de la Producción Sostenible

La producción agrícola debe estar sustentada en una política integradora de objetivos de productividad, seguridad alimentaria, integración social, diversificación productiva y sostenibilidad ambiental, buscando su compatibilidad con otras actividades productivas y su entorno. Esta política debe generar inteligencia de mercado y estrategia comercial internacional mediante el análisis y seguimiento de las cadenas de producción, y reubicación de actividades agropecuarias por impactos esperados ante el cambio climático. Las políticas agropecuarias deben tener una integración con la estrategia REDD+ enfocada en la restauración y los paisajes funcionales. Se requiere creación de capacidades para el desarrollo de pequeños y medianos productores, y el involucramiento del sector privado en las medidas de cambio climático. Se

requiere también un programa de eficiencia en el uso y empleo de los insumos (fertilizantes-nitrógeno) y desarrollo de tecnologías alternativas.

Incentivos a la Investigación el Cambio Tecnológico

Se debe trabajar con los técnicos en los paradigmas de la revolución verde, mejoramiento genético, material genético para la seguridad alimentaria, enfoque sistémico en cultivos y mejora de la resiliencia ante el cambio climático, por lo que debe haber mayor vinculación y coordinación de la estrategia tecnológica y las políticas. En el sector agropecuario hay barreras y pocos incentivos para el cambio tecnológico y la adopción de prácticas en línea con lo que demanda el cambio climático. Las instituciones del sector tienen un presupuesto insuficiente, y se cuenta con limitado talento humano para extensión agropecuaria. Se requiere por tanto agendas de financiamiento para la investigación. Hay fondos de investigación no utilizados que podrían reorientarse. Además, una sensibilización para adoptar (cambio) en la tecnología y alineamientos político-tecnológicos.

Políticas para Aprovechamiento de Residuos Agrícolas

Hay ausencia de regulaciones para comercializar el excedente de energía y aprovechar residuos agropecuarios, para reconocer la sinergia entre el agro y el transporte en el tema de los biocombustibles. Se deben modificar las regulaciones para reconocimiento de beneficios ambientales en la producción agropecuaria. Falta integración entre las unidades legales de las instituciones para asegurar la viabilidad jurídica de cualquiera de las propuestas que se plantean, sean estas viables o no.

Medidas por analizar en el futuro

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.

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.

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 la 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, la 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.

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.

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.

9.4 Sector Eléctrico

Agenda

Taller Contribuciones Nacionales en Mitigación: Plan de expansión eléctrica.

10 de junio del 2015. Horario: 8:30 am - 4:00 pm. Hotel Crowne Corobicí, Salón Ocarina.

8:00	16. Registro de participantes
8:30	17. Presentación de objetivos del taller <ul style="list-style-type: none"> • Bienvenida: Miguel Víquez. Planificación y Desarrollo Eléctrico • William Alpizar, Director Cambio Climático, MINAE y • Presentación de participantes • Objetivos y organización del taller • Explicación de la dinámica de trabajo
08:45	18. Enfoque Metodológico del Proceso de Costa Rica <ul style="list-style-type: none"> • Introducción del proceso construcción de los escenarios de expansión eléctrica e identificación de rutas de bajo carbono. • Presentación de ideas conductivas para las sesiones en grupos. • Preguntas
09:10	19. Trabajo en grupos <ul style="list-style-type: none"> • Mapeo de otras medidas complementarias por considerar en la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción. • Discusión/preguntas
10:00	Coffee Break
10:15	20. Sesión plenaria <ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones de resultados de grupos • Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción • Discusión/preguntas

Participantes

Institución	Nombre	Correo electrónico
BUR-IMN	Luis Roberto Chacón	firmunepcr@gmail.com
CNFL	Rocío Chaves Zúñiga	rchaves@cnfl.go.cr
ICE	Alejandro Luna Baltodano	aluna@ice.go.cr
ICE	Ing. Bernal Muñoz Castillo	BMunoz@ice.go.cr
ICE	Carolina Hernández Chanto	chernandezch@ice.go.cr
ICE	Carlos Roberto Rodríguez Meza	crodriguez@ice.go.cr
ICE	David Barquero Álvarez	dbarquero@ice.go.cr
ICE	Fanny Solano Abarca	FSolano@ice.go.cr
ICE	Ing. Jorge Granados Calderón	jgranados@ice.go.cr
ICE	Jorge Mario Montero Arguedas	jmonteroa@ice.go.cr
ICE	José Alberto Zúñiga Mora	jzunigam@ice.go.cr
ICE	Ing. Luis Diego Ramírez Rodríguez	lramirezr@ice.go.cr
ICE	Marian Rojas Acosta	maroja3@ice.go.cr
ICE	Mariela Ramírez Leiva	MRamirezL@ice.go.cr
ICE	Ing. Mauricio Morales	mmoralesm@ice.go.cr
ICE	Miguel Víquez Camacho	mviquez@ice.go.cr
ICE	Rogelio Araya Rojas	jarayar@ice.go.cr
ICE	Rolando Portilla Pastor	rportilla@ice.go.cr
ICE	Víctor Montero Marín	vmontero@ice.go.cr
DCC, MINAE	William Alpízar Zúñiga	walpizar@minae.go.cr
DCC, MINAE	Ana Luisa Leiva	analeiva@minae.go.cr
DCC, MINAE	Francisco Sancho	fsancho@sanchoconsulting.com
DCC, MINAE	Luis Rivera	lriverav@gmail.com
MINAE, DSE	Arturo Molina	amolina@dse.go.cr
GIZ	Sergio Musmanni	sergio.musmanni@giz.de
UNDP	Felipe de León	felipe@climatrader.com

Recomendaciones de medidas habilitantes

Marco Regulatorio y Legislación

En el sector eléctrico existe un tema que se discute constantemente y tiene que ver con el marco regulatorio y la legislación relacionada con las fuentes de electricidad tanto renovables (particularmente las no convencionales) como no renovables. Un punto es cómo se maneja el tema de la “propiedad” de los recursos naturales que son del Estado y que por tanto deben ser administrados por el Estado con una visión de país que va más allá del ICE o de grupos de la sociedad civil.

Implementación de Grandes Proyectos

La exploración geotérmica en parques nacionales y el proyecto hidroeléctrico Diquís plantean retos importantes que deberían enfocarse desde una perspectiva nacional y de qué futuro quiere el país con relación al desarrollo eléctrico. La dependencia de fuentes térmicas más allá de un respaldo del sistema eléctrico, es un tema complejo que puede generar impactos negativos más allá del crecimiento de las emisiones. Estos temas deben analizarse y ponerse en la balanza. Existe poca socialización e información para que las personas tengan una mejor idea de los proyectos de electrificación y sus impactos. La desinformación y planteamientos sesgados que generalmente se observan en las discusiones nacionales deberían confrontarse con más información y educación para la sociedad sobre lo que implican los planes de expansión de la generación eléctrica, de manera que se cuente con más criterios para tomar decisiones que son de carácter nacional y no de grupos de interés específicos.

Co-beneficios Sociales

La estimación de los costos y beneficios para la sociedad como un todo de las rutas de expansión de la generación son temas que deberán ser analizados en el futuro, de manera de determinar quiénes se benefician y quiénes asumen el costo de utilizar más fuentes renovables en comparación con más fuentes térmicas. Buena parte de las barreras que existen podrían enfrentarse de mejor manera si se hacen las estimaciones y se apunta directamente a cuál es lo mejor para el país como un todo más allá de posiciones parciales o de intereses de grupos específicos. Si bien es un tema complejo que debe evaluarse en el marco de la institucionalidad, es necesario entender mejor las implicaciones económicas, sociales y ambientales de los proyectos de generación y sus alternativas.

Coordinación del Sector

La limitada coordinación entre los entes públicos relacionados con la energía del país es un punto que debe mejorar si se busca consolidar una generación eléctrica fundamentada en fuentes renovables. A manera de ejemplo, el tema del biodiesel si bien está directamente relacionado con el Ministerio de Agricultura, no hay una clara interacción con RECOPE, que a su vez no tiene una coordinación estrecha con el ICE en el tema del gas natural. Esto es un tema importante para ser resuelto prontamente, ya que tiene implicaciones para el desarrollo eléctrico y más aún el desarrollo energético del país.

Fuentes Renovables no Convencionales

El fortalecimiento de la estrategia de fuentes renovables no convencionales es muy importante para reducir en parte la dependencia de fuentes térmicas como respaldo a las fuentes renovables. Reforzar los planes de manejo de cuencas estratégicas y el aprovechamiento de las áreas protegidas para la generación geotérmica son temas a los que se debe dar mayor atención.

Lograr “consensos nacionales” en estos temas es fundamental para que el país avance hacia más generación renovable en el futuro. La actualización de la legislación sobre eficiencia energética es muy importante para acompañar los esfuerzos del ICE con la generación con fuentes renovables.

Electrificación del Transporte Público

La electrificación del transporte público es un tema muy importante que debe discutirse con más detalle a nivel nacional. El ICE para estar en capacidad para asumir este reto, pero son otras organizaciones de gobierno las que deben dar las directrices y los pasos para avanzar en este campo. La electrificación del transporte puede ser uno de los temas centrales para los proyectos de expansión de la generación eléctrica.

Integración de los Servicios Ambientales en el Sector

La importancia del mercado nacional de carbono, del sistema de pagos de servicios ambientales y el uso eficiente del canon de agua pueden ser incentivos para el financiamiento de proyectos y para fomentar las inversiones estratégicas en la conservación del recurso hídrico. Estos puntos tienen relevancia ya que abordan el tema de los servicios ecosistémicos y su apropiado financiamiento para lograr metas de generación renovable y mitigación de emisiones de GEI.

Medidas por analizar en el futuro

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.

9.5 Sector Forestal

Agenda

Taller Contribuciones Nacionales en Mitigación: Sector Forestal

12 de junio del 2015. Horario: 8:30 am - 12:00 md. Hotel Crowne Corobicí, Salón Ocarina.

8:00	21. Registro de participantes
8:30	22. Presentación de objetivos del taller <ul style="list-style-type: none"> • Bienvenida Ana Luisa Leiva, Director Cambio Climático, MINAE • Presentación de participantes • Objetivos y organización del taller • Explicación de la dinámica de trabajo
08:45	23. Enfoque Metodológico del Proceso de Costa Rica <ul style="list-style-type: none"> • Introducción del proceso identificación de construcción de los escenarios para el sector forestal. German Obando, Equipo Técnico DCC • Escenarios Forestales en el marco de REDD+. Lucio Pedroni • Presentación de ideas conductivas para las sesiones en grupos. • Preguntas/Comentarios
9:15	Coffee Break
9:30	24. Trabajo en grupos <ul style="list-style-type: none"> • Retroalimentación del escenario de referencia. • Mapeo de medidas de mitigación por considerar en la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción. • Discusión/preguntas
11:15	25. Sesión plenaria <ul style="list-style-type: none"> • Presentaciones de resultados de grupos • Mapeo de otras medidas por considerar en etapas posteriores de la de determinación de las contribuciones del sector. • Análisis de barreras y medidas para su remoción • Discusión/preguntas
12:15	Almuerzo

Participantes

Institución	Nombre	Correo electrónico
Consultor	German Obando	german.obando@iucn.org; gobando67@gmail.com
BUR-IMN	Juan Solera	jsolera@scsglobalservices.com
Carbon Solutions	Lucio Pedroni	lpedroni@carbondecisions.com

Colegio Ingenieros Agrónomos	Luis González Sánchez	lgonzalez@ingagr.or.cr
DCC, MINAE	Ana Luisa Leiva	analeiva@minae.go.cr
DCC, MINAE	Francisco Sancho	fsancho@sanchoconsulting.com
DCC, MINAE	Luis Rivera	lriverav@gmail.com
DCC, MINAE	Nury Benavides	benavides.n@gmail.com
DCC, MINAE	Daniela Rivas	daniella.rivas306@gmail.com
PCC-CATIE	Lenin Corrales	lemincorrales@catie.ac.cr; lenincorrales@gmail.com
PCC-CATIE	Mario Chacón	mchacon@catie.ac.cr
FONAFIFO	Javier Fernández	javier.mrv@gmail.com
FONAFIFO	Jennifer Hernández Arce	jennifer.hernandez@fonafifo.go.cr
FONAFIFO	María Helena Herrera Ugalde	MHerrera@fonafifo.go.cr
IMN	Ana Rita Chacón	archacon@imn.ac.cr
Oficina Nacional Forestal	Alfonso Barrantes	abarrantes@oficinaforestalcr.org
SINAC	Sonia Lobo	sonia.lobo@sinac.go.cr
GIZ	Sergio Musmanni	sergio.musmanni@giz.de
UNDP	Felipe de León	felipe@climatrader.com

Recomendaciones medidas habilitantes

Espacio para el Manejo Forestal

Hay un alto costo de oportunidad de la tierra, lo que es menos atractivo para el sector forestal si no existen los incentivos ni la posibilidad de manejo forestal. El fomento del uso de la madera para construcción y un mayor valor agregado en productos de la madera, requiere de una campaña desmitificar la explotación maderera como “enemiga” de la conservación. Impulsar en el sector construcción la utilización de madera proveniente de fuentes sostenibles nacionales es un tema que debe abordarse con atención.

Contabilidad del Carbono

Es importante la consistencia de la contabilidad del carbono, ya que el país impulsa diversos esquemas (REDD+, NAMA, mercado nacional), por lo que debe quedar claro cómo se distribuyen los beneficios (y se asumen los costos) bajo estos distintos esquemas. Si se piensa en el carbono como una fuente de financiamiento para las medidas de mitigación, se debe dimensionar claramente qué papel juega en el mercado cada esquema que es actualmente impulsado en el país. En este sentido es importante continuar y fortalecer la Estrategia Nacional REDD+, como base para proyectar el potencial actual y futuro de los distintos estratos de bosques.

Políticas del Bosque y el Desarrollo Rural

Incentivar políticas para aumentar las reservas de carbono mediante la reactivación productiva de bosques, plantaciones y sistemas agroforestales que permitan la promoción y consumo de

productos de madera nacional bajo parámetros de sostenibilidad y respetando las salvaguardas sociales y ambientales. Se debe promover el manejo y conservación de los ecosistemas forestales y la valorización de los servicios ecosistémicos derivados para potenciar otros beneficios sociales y ambientales tomando en cuenta las necesidades y preferencias de medios de vida de las comunidades locales y los pueblos indígenas.

Reforzar Gobernanza Forestal

Bajo la actual institucionalidad, se debe construir una estructura que facilite articulación y gobernanza forestal, que provea espacios de coordinación nacional, regional y local, que involucre diferentes instancias públicas, privadas, academia, ONG's y otros organismos para la discusión, coordinación, construcción de acuerdos y desarrollo de políticas forestales que refuercen el Plan Nacional de Desarrollo Forestal, las líneas de acción del Gobierno en materia forestal, en particular las metas del Plan Nacional de Desarrollo, y fortalezcan la investigación y la gestión del conocimiento forestal. Considerando además la innovación tecnológica y el conocimiento tradicional, la diversificación económica y un sistema de información forestal que permita el monitoreo, el reporte y la verificación. Asimismo, se requiere mejorar las condiciones de seguridad jurídica y reducir costos de transacción para aumentar la competitividad y promover la actividad productiva forestal desde el bosque, pasando por la industria hasta el mercado. Con esto puede contribuir el fomento de una plataforma multi-actores que incluya representantes del sector privado, la sociedad civil, las comunidades locales, los grupos indígenas, las mujeres y otros grupos sociales, así como representantes de las diferentes instancias gubernamentales.

Enfoque de Planificación del Paisaje

Se debe fortalecer el enfoque de manejo y conservación de bosques con la planificación por paisajes y ecosistemas, y la gestión a nivel territorial para que se complementen, entre otros, las actividades productivas agropecuarias y agroindustriales, vinculando el tema forestal con el desarrollo territorial rural, y que involucren a las comunidades locales para la creación de nuevos esquemas de desarrollo con perspectiva de equidad social y sostenibilidad ambiental. Se requiere la integración de la academia para la generación de información necesaria para tomar decisiones, nuevos esquemas de manejo, conservación y valoración de otros servicios ambientales, basadas en datos robustos e investigaciones con uso práctico.

Medidas por analizar en el futuro

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.

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.

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.

¹ En este ejercicio se excluye al sector ganadero, ya que este análisis se haya en la estrategia baja en carbono del sector.