



Hoja de Ruta para la Mitigación de Contaminantes de Vida Corta (CCVC) en Costa Rica



LaRutadelClima



Escrito por: Jessica Roccard, Luis F. Victor Gallardo, Susana Solorzano Jiménez, Lucía Rodríguez Delgado, Andrés Romero Méndez, Yoselyn Seas Jiménez, Irene Rodríguez Arce, Ignacio Alfaro Corrales, Jairo Quirós-Tortós. 2023

Este es un documento oficial de Climate Lead Group, cédula jurídica 3-101-843792. Póngase en contacto a través de:

Dirección: Goicoechea, San José, Costa Rica

Teléfono o WhatsApp: +(506) 8581-1786

Correo electrónico: admin@clg-cr.com

Página web: <https://climateleadgroup.com/>

Tabla de contenido

Acrónimos	7
Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción.....	11
1.1. Estructura del reporte	14
2. Emisiones de CCVC y políticas públicas en Costa Rica.....	14
2.1.1. Generalidades sobre los Contaminantes de Vida Corta (CCVC).....	14
2.1.2. Emisiones de CCVC y políticas públicas asociadas.....	15
2.2. Método de análisis para la mitigación de los CCVC	19
3. Sector Transporte y Energía	21
3.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector energía y transporte	21
3.2. Cadena de valor del sector Energía y Transporte	33
3.2.1. Sector transporte	33
3.2.1. Sector energía	42
3.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC	45
3.4. Resultados de modelación para el sector Energía y transporte	46
4. Sector Agricultura y Ganadería.....	50
4.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Agricultura.....	50
4.2. Cadena de valor del sector Agricultura y Ganadería	57
4.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC	63
4.4. Resultados de modelación para el sector Agricultura y Ganadería.....	64
5. Sector Residuos.....	68
5.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Residuos	68
5.2. Cadena de valor del sector residuos	75
5.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC	82
5.4. Resultados de modelación para el sector Residuos.....	83
6. Sector Refrigeración	89
6.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Refrigeración.....	89
6.2. Cadena de valor del sector Refrigerantes	92
6.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC	94
6.4. Resultados de modelación para el sector Refrigerantes	95
7. Referencias	99
8. Apéndices	105
8.1. Matriz de las acciones políticas identificadas que se asocian a mitigación de CCVC	105
8.2. Datos de actividad y supuestos del crecimiento tendencial.....	125

8.2.1.	Prospectivas y costos en el sector Energía y transporte.....	125
8.2.2.	Prospectivas y costos en el sector Agricultura y Ganadería	127
8.2.3.	Prospectivas y costos en el sector Residuos	128
8.2.1.	Prospectivas y costos en el sector Refrigerantes.....	130

Tabla de Figuras

Figura 1.	Fuentes antropogénicas de los contaminantes climáticos de vida corta	15
Figura 2.	Diagrama de trabajo para la alimentación y resultados del modelo.....	20
Figura 3.	Emisiones del sector energía asociadas a CCVC, desagregados por subsectores	22
Figura 4.	Emisiones del sector “otros sectores” de energía asociadas a CCVC, desagregados por subsectores.....	23
Figura 5.	Consumo de combustibles por cada subsector del sector de energía [TJ].....	24
Figura 6.	Consumo de combustibles por cada medio de transporte [TJ].....	25
Figura 7.	Cadena de valor del sector transporte público y privado (a) movilidad y (b) flota vehicular.....	34
Figura 8.	Cadena de valor del sector transporte de carga (a) movilidad y (b) flota vehicular.....	38
Figura 9.	Cadena de valor del sector energía.....	42
Figura 10.	Emisiones de carbono negro por subsector energético, escenario y año.....	47
Figura 11.	Costos totales acumulados para el sector transporte por escenario.....	48
Figura 12.	Costos totales acumulados para el sector transporte por escenario.....	48
Figura 13.	Emisiones del sector agricultura y ganadería asociadas a CCVC, desagregados por actividades.....	51
Figura 14.	Nivel de actividad del subsector agricultura del sector agrícola.....	52
Figura 15.	Nivel de actividad de la población de animales del sector agrícola y sus emisiones.....	53
Figura 16.	Cadena de valor del sector agrícola con (a) agricultura y (b) ganadería.....	58
Figura 17.	Emisiones de metano por fermentación entérica de ganado por año, tipo de especie ganadera y escenario	65
Figura 18.	Emisiones por gestión de estiércol por tipo de especie ganadera, escenario y año.....	66
Figura 19.	Costos totales acumulados para el sector ganadero.....	67
Figura 20.	Emisiones del sector residuos asociadas a CCVC, desagregados por actividad.....	68
Figura 21.	Nivel de actividad por aguas residuales.....	69
Figura 22.	Nivel de actividad de la disposición de residuos sólidos.....	70
Figura 23.	Cadena de valor del sector residuos (a) sólidos y (b) aguas residuales.....	76
Figura 24.	Emisiones de metano para el sector de residuos sólidos por año y escenario.....	84
Figura 25.	Emisiones de metano para otras tecnologías de tratamiento de residuos sólidos.....	85
Figura 26.	Emisiones de metano por aguas residuales según el escenario.....	86
Figura 27.	Costos totales acumulados para residuos sólidos.....	87
Figura 28.	Costos totales acumulados para aguas residuales.....	88

Figura 29. Emisiones por el uso de refrigerantes asociadas a CCVC.	89
Figura 30. Nivel de actividad relacionada a gases refrigerantes [kg].	90
Figura 31. Cadena de valor del sector refrigerantes.	93
Figura 32. Emisiones del sector de refrigerantes por escenario y año.	96
Figura 33. Costos totales acumulados del sector de refrigerantes por escenario.....	97

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Emisiones de CCVC en Costa Rica y planes relacionados con su mitigación... 17	
Cuadro 2. Metas del Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 para el sector energético.....	26
Cuadro 3. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).	35
Cuadro 4. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte de carga (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014, Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).....	40
Cuadro 5. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector de energía (MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).....	43
Cuadro 6. Supuestos considerados para el sector de energía y transporte.	46
Cuadro 7. Acciones de la cadena de valor del sector agricultura.	59
Cuadro 8. Acciones de la cadena de valor del subsector de ganadería.	60
Cuadro 9. Supuestos considerados para los sectores de agricultura y ganadería.	64
Cuadro 10. Acciones de la cadena de valor del subsector de residuos sólidos.....	78
Cuadro 11. Acciones de la cadena de valor del subsector de aguas residuales.	79
Cuadro 12. Supuestos considerados para el sector de residuos.	82
Cuadro 13. Acciones de la cadena de valor del subsector de refrigerantes.	93
Cuadro 14. Supuestos considerados para el sector de refrigerantes.	95
Cuadro 21. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022; BID, 2015, Alcaldía de Panamá & BID, 2016, Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2020).....	105
Cuadro 22. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias	

de Costa Rica, 2022; BID, 2015, Alcaldía de Panamá; & BID, 2016, Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2020).	115
Cuadro 23. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).	119
Cuadro 24. Eficiencia de consumo de combustible por tipo de vehículo y combustibles en MJ/km.	126
Cuadro 25. Cabezas de ganado por especie bajo crecimiento del PIB per cápita.	127
Cuadro 26. Porcentajes de tratamiento de residuos sólidos en el país para el 2021	128
Cuadro 27. Resumen de los costos unitarios para las tecnologías de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales.	129
Cuadro 28. Resumen de parámetros de factor de emisión para el sector residuos.	129
Cuadro 29. Porcentajes de tipo de tratamiento para aguas residuales en Costa Rica en 2021	130

Acrónimos

ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADA	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
BAU	Escenario tendencial, del inglés <i>business-as-usual</i>
BN	Carbono negro
BULAC	Bottom-Up for Latin America
CAPEX	Costos de inversión
CCAC	Coalición para el Aire y el Clima Limpios
CCVC	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
CONARE	Consejo Nacional de Rectores
COS	Carbono orgánico en el suelo
ENREI	Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes
ERV	Energías Renovables Variables
FE	Factor de emisión
GAM	Gran Área Metropolitana
GD	Generación distribuida
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Gigagramos
GMP	Compromiso Mundial sobre el Metano
GSW	Generación de residuos sólidos per cápita
HFC	Hidrofluorocarbonos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
kt	Kilotoneladas
LPG	Gas Licuado de Petróleo
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
MINAE	Ministerio de Ambiente
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
NAMA	Acciones de Mitificación Nacionalmente Apropriadas
NAP	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
N ₂ O	Óxido nitroso
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OPEX	Costos de operación
PCG	Potencial de calentamiento global
PMGIRS	Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos
PND	Plan Nacional de Descarbonización

PNDIP	Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRONAMEC	Protocolos Nacionales de Monitoreo Ecológico
REP	Responsabilidad Extendida del Productor
RITEVE	Revisión Técnica de Vehículos
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SIELAC	Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe
SINAMECC	Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático
TELCA	Tren Eléctrico Limonense de Carga

Resumen

La mitigación de los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC), que incluyen el metano, el carbono negro, y los hidrofluorocarbonos, tienen un gran potencial para limitar la contaminación del aire y para cumplir hitos de reducción de emisiones en el año 2030. Costa Rica, es un país reconocido por sus esfuerzos en la implementación de políticas ambientales, las cuales se encuentran dentro de un marco político casi alineado con los objetivos globales.

Este reporte profundiza en un análisis técnico detallado de las emisiones de CCVC, enfocándose en sectores críticos como transporte, energía, agricultura, ganadería y manejo de residuos. Además, realiza una evaluación rigurosa de las políticas públicas actuales, presentando escenarios de modelación de emisiones a largo plazo. Estos elementos son fundamentales para entender el panorama actual y para planificar intervenciones efectivas en el ámbito de la mitigación de emisiones. La integración de perspectivas técnicas y políticas en este análisis permite abordar las necesidades del país de manera integral, buscando proponer acciones de mitigación realistas y efectivas en el contexto nacional.

Los insumos de este reporte sirven de insumos científicos para el desarrollo de la hoja de ruta de contaminantes climáticos de vida corta, buscando actuar sobre las actividades más contribuyentes a la generación de emisiones de estos contaminantes en el país. Esta hoja de ruta presenta un análisis técnico con el fin de alcanzar los objetivos de sostenibilidad y reducción de emisiones. Este enfoque integrador permite actuar sobre las acciones de mitigación de CCVC, y servirá como un modelo para futuras acciones de política pública en el ámbito del cambio climático y la sostenibilidad ambiental en Costa Rica.

Abstract

The mitigation of Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs), which include methane, black carbon, and hydrofluorocarbons, has great potential to limit air pollution and achieve emission reduction milestones by 2030. Costa Rica is recognized for its efforts in implementing environmental policies, which are almost aligned with global objectives.

This report delves into a detailed technical analysis of SLCP emissions, focusing on critical sectors such as transportation, energy, agriculture, livestock, and waste management. It also conducts a rigorous evaluation of current public policies, presenting long-term emission modeling scenarios. These elements are fundamental for understanding the current landscape and planning effective interventions in emission mitigation. The integration of technical and political perspectives in this analysis addresses the country's needs comprehensively, aiming to propose realistic and effective mitigation actions in the national context.

The inputs from this report will be useful for developing a roadmap for short-lived climate pollutants, targeting activities that contribute most to the emission of these pollutants in the country. This roadmap includes technical analysis, aiming to achieve sustainability and emission reduction goals. This integrated approach allows addressing SLCP mitigation actions and will serve as a model for future public policy actions in the field of climate change and environmental sustainability in Costa Rica.

1. Introducción

Los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) son agentes atmosféricos que contribuyen al cambio climático y degradan la calidad del aire, afectando a la vida y a los derechos humanos, especialmente a las poblaciones más vulnerables. La afectación de la calidad del aire conlleva un mayor riesgo de enfermedades respiratorias y cardíacas, y aumenta el efecto invernadero. Es crucial emprender medidas de mitigación contra los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) debido a que están en vías de convertirse en la fuente de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de actividades humanas. Además de su influencia en el cambio climático, estos contaminantes contribuyen a la aparición de enfermedades respiratorias y a un aumento en las muertes prematuras. También representan una amenaza para la seguridad alimentaria, ya que afectan negativamente el rendimiento de la producción agrícola (CCAC, 2019).

En este contexto, con la creación de la Coalición para el Aire y el Clima Limpios en febrero de 2012, se han intensificado los esfuerzos internacionales para reducir las emisiones de contaminantes de vida corta mediante estrategias como la sensibilización sobre los efectos de los CCVC, el desarrollo de conocimientos científicos y el fortalecimiento y desarrollo de medidas nacionales y regionales para hacerles frente. La Coalición brinda apoyo a los países participantes para desarrollar políticas y prácticas que permitan una reducción significativa de las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta. Esto se lleva a cabo mediante la colaboración con los principales emisores de dichos contaminantes y otros actores interesados a nivel mundial, con el objetivo de incentivar, facilitar y catalizar la adopción de medidas concretas para reducir las emisiones (CCAC, 2019)¹. La CCAC, dentro de su estrategia para el año 2030, propone el apoyo a las medidas nacionales de los países que brinden la oportunidad de actuar de manera rápida para la reducción de contaminantes de vida corta, lo cual tiene un efecto directo en disminuir aproximadamente un 0.6 °C el calentamiento global al corto plazo (CCAC, 2019).

La mitigación de los CCVC también está incluida en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) mejorando la salud humana y reduciendo la vulnerabilidad, impulsando el crecimiento económico y la innovación. Por ejemplo, catalizando mejoras en la eficiencia energética y combatiendo el cambio climático a corto plazo. De hecho, la mitigación de estos contaminantes repercute directa o indirectamente en los 17 Objetivos de Desarrollo

¹ Las iniciativas y proyectos relacionadas a mitigación de CCVCs apoyadas por la CCAC, generalmente incluyen la revisión e identificación de los escenarios y la medición de los componentes asociados a fuentes de emisiones, en referencia a los sectores contribuyentes. Este trabajo, se complementa con la ambición y las metas políticas de los países para desarrollar marcos de planificación basados en los objetivos y metas propias de cada país. Para el año 2022, las iniciativas y proyectos asociados a la CCAC contabilizaron el desarrollo de inventarios de carbono negro en países como Argentina, Uruguay, Costa Rica, República Dominicana, La Republica Democratica del Congo, Republica Centro Africana, Chad, Liberia, Zimbabwe, Mali, Benin, Mongolia, Cambodia, Jordan y Moldova (SEI, CCAC, 2022).

Sostenible, desde la reducción de las muertes prematuras hasta la prevención de la pérdida de 52 millones de toneladas de cuatro cultivos básicos, la regulación del ciclo hidrológico y la mejora de la disponibilidad de agua. También ayuda a garantizar el acceso universal a una energía asequible, fiable y moderna, entre muchos otros (CCAC, 2019).

En el año 2021, durante la COP26², se invitó a los países a participar en el Compromiso Mundial sobre el Metano. Reducir las emisiones de metano, principalmente procedentes de la energía, la agricultura y los residuos puede aportar beneficios a corto plazo y se considera la estrategia más eficaz para mantener y limitar el calentamiento a 1.5 °C, al tiempo que se obtienen co-beneficios como la mejora de la salud pública y la productividad agrícola por la contribución de dichos contaminantes a la contaminación del aire y la degradación de los suelos (U.S Department of State, 2022).

Con la adhesión al Compromiso Mundial sobre el Metano, los países se comprometen a emprender acciones voluntarias para contribuir a un esfuerzo colectivo de reducción de las emisiones mundiales de metano de al menos un 30% respecto a los niveles de 2020 para 2030. Este compromiso tiene el potencial de eliminar más de 0.2°C de calentamiento para el 2050. Esto se traduce en un esfuerzo a nivel global, por medio de la intervención a nivel nacional (CCAC, 2019). Gracias a los esfuerzos de los países y diferentes socios, entre los avances registrados al año 2022, el 95% de las NDC incluyen ahora el metano o lo incluirán en su próxima revisión. Además, más de 70 países que respaldan el Compromiso Mundial sobre el Metano (GMP, por sus siglas en inglés) incluyen medidas específicas de reducción del metano en sus NDC.

La Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC), como uno de los socios principales del GMP y de la reducción de los contaminantes de vida corta (dentro de los que se encuentra el metano), ha puesto en marcha un Programa de Acción de la Hoja de Ruta del Metano, destinando recursos para la planificación nacional necesaria para incluir este gas en las políticas nacionales, identificar las necesidades de mitigación específicas de cada sector a nivel nacional, y el fortalecimiento institucional para la mitigación de los contaminantes climáticos de vida corta (U.S Department of State, 2022; CCAC, 2019).

Por otra parte, la CCAC, a través de, Programa de la Hoja de Ruta de Metano, ha hecho el llamado a los países con el objetivo de dar soporte en el desarrollo e implementación de las acciones del plan, de modo que los países puedan incluir la contribución de las emisiones de metano dentro de sus inventarios y la vez, desarrollar marcos de acción para la mitigación.

² La conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas (COP, por sus siglas en inglés), es un órgano que reúne a los países firmantes en una convención que se realiza de manera anual con el propósito de revisar el desarrollo de los compromisos adquiridos y negociar nuevos acuerdos. La COP26 referencia a la convención realizada en el año 2021 en Glasgow.

En Latinoamérica, la CCAC colabora con trece países, mientras que en Centroamérica respectivamente, apoya a Costa Rica, El Salvador y Panamá (SEI, CCAC, 2022). Algunos proyectos vigentes en Latinoamérica son: “La reducción de las emisiones de metano del sector del petróleo y el gas en México”, “La elaboración de una hoja de ruta nacional para reducir los CCVC procedentes de la quema al aire libre en Colombia”, “La estimación de los beneficios para la salud pública de las acciones integradas sobre clima y aire limpio en Trinidad y Tobago”, “Aumentar la ambición de las NDC e intensificar la acción en el sector de los residuos sólidos urbanos de Perú” y “La entrega del Plan Nacional CCVC y la Hoja de Ruta Nacional del Metano en Costa Rica” (CCAC, 2023).

Costa Rica se unió a la Coalición en 2017 respaldando la Estrategia 2030 de la CCAC y comprometiéndose a reducir los contaminantes climáticos de vida corta (CCVC). Esto con la promoción de tecnologías y normas alternativas a los HFC, la reducción del carbono negro de los vehículos y motores diésel pesados, y la mitigación de los contaminantes climáticos de vida corta procedentes del sector de los residuos sólidos. El país se ha comprometido a compartir su experiencia en la lucha contra la contaminación del aire y el cambio climático, además de colaborar con los miembros de la Coalición en la mitigación de los CCVC (CCAC, 2019) en esta importante alianza.

En Costa Rica se han puesto en práctica medidas como la mejora de las normas nacionales de calidad del aire, el uso de tecnologías eficientes, la promoción de alternativas a los HFC y la reducción de emisiones de los motores y diésel, siendo el sector del transporte el principal foco nacional de emisión de carbono negro.

Desde 2011, Costa Rica se comprometió a una transformación a largo plazo hacia la neutralidad climática mostrando sus compromisos para mitigar los contaminantes climáticos de vida corta durante décadas, más recientemente, en el Plan Nacional de Descarbonización. El Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 es una hoja de ruta multisectorial sobre cómo alcanzar el objetivo de Costa Rica de cero emisiones netas a mediados de siglo. El plan incluye objetivos a corto, mediano y largo plazo. Busca un modelo de transporte más limpio y sostenible, apostando por transporte público y utilizando combustibles renovables; así mismo, se propone electrificar el sector energético, y la transición a operaciones de bajas emisiones en los sectores de los residuos y la agricultura.

El presente proyecto, titulado “Desarrollo de la hoja de ruta nacional de metano y hoja de ruta de CCVC centrada en el carbono negro en Costa Rica”, constituye un proyecto del país en alianza con la CCAC, y se centra en los CCVC, particularmente en el metano como objeto de estudio en específico. Este producto corresponde al análisis de mitigación que acompaña el entregable “2.4.3. Hoja de ruta para la implementación de medidas de mitigación SLCP con medidas priorizadas.”.

1.1. Estructura del reporte

El reporte está estructurado de la siguiente manera: La Sección 1 introduce el presente reporte. En la Sección 2 se describen las emisiones de CCVC en Costa Rica, así como los esfuerzos de mitigación propuestos en el país. La Sección 3 describe el análisis de mitigación de CCVC para el sector energía y transporte. La Sección 4 presenta el sector de Agricultura y Ganadería. La Sección 5 presenta el sector de Residuos. La Sección 6 describe la información del sector Refrigerantes.

2. Emisiones de CCVC y políticas públicas en Costa Rica

2.1.1. Generalidades sobre los Contaminantes de Vida Corta (CCVC)

Los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) son agentes atmosféricos que están emitidos por distintas actividades económicas. Los CCVC incluyen el carbono negro (BC), el metano (CH₄), el ozono troposférico (O₃) y los hidrofluorocarbonos (HFC), que son los contribuyentes más importantes al efecto invernadero antropogénico después del dióxido de carbono (**Figura 1**) (CCAC, 2019):

- **Carbono negro:** Este contaminante es emitido por la combustión incompleta de combustibles fósiles, biomasa y biocombustibles, y por la quema de leña de actividades antropogénicas. El carbono negro no sólo contribuye al cambio climático con un tiempo de vida de días a semanas, sino que también deteriora la calidad del aire, lo que repercute en la salud de la población (CCAC, 2019).
- **Metano:** El metano tiene un tiempo de vida estimado de 12 años en la atmósfera. Existen seis fuentes principales de metano atmosférico: la emisión por descomposición anaeróbica en (1) humedales naturales; (2) arrozales; (3) la emisión de los sistemas de producción ganadera (incluyendo la fermentación entérica y los residuos animales); (4) la quema de biomasa (incluyendo los incendios forestales, la combustión de carbón y la quema de leña); (5) la descomposición anaeróbica de los residuos orgánicos en los vertederos; y (6) la emisión de metano fósil durante la exploración y el transporte de combustibles fósiles (Heilig, 1994). Los sistemas de aguas residuales domésticas e industriales también pueden ser grandes fuentes de emisiones de metano en muchos países, dependiendo del sistema de gestión de las aguas residuales. Sus emisiones contribuyen de manera significativa al cambio climático debido a su abundancia y alto impacto (CCAC, 2019).
- **Hidrofluorocarbonos:** Este contaminante se utiliza en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y disolventes. Su composición hace que las moléculas se comporten como gases de efecto invernadero, contribuyendo así al calentamiento global con una vida estimada de 15 años en la atmósfera (CCAC, 2019).
- **Ozono troposférico:** A diferencia de los anteriores CCVC, el ozono troposférico no tiene fuentes antropogénicas directas, sino que se forma por la reacción del monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el metano (CH₄) a través de reacciones fotoquímicas creadas por la luz solar

y se descompone en zonas con altas concentraciones de óxidos de nitrógeno. El ozono troposférico tiene un gran impacto en la salud humana, causando enfermedades respiratorias como la inflamación de los pulmones, el asma, la insuficiencia respiratoria, entre otras (CCAC, 2019).

Figura 1. Fuentes antropogénicas de los contaminantes climáticos de vida corta.



Fuente: CCAC, 2019.

2.1.2. Emisiones de CCVC y políticas públicas asociadas

Según el inventario nacional, en el 2017, Costa Rica registró un total de 14,477.6 Gg de dióxido de carbono equivalente. Sin embargo, al considerar las absorciones por el sector AFOLU, el país registra una emisión neta de 11,509.2 Gg CO_{2eq}. Del total de emisiones, el 60 % corresponde a dióxido de carbono (CO₂), el 29 % a metano (CH₄) y 4.4 % a gases refrigerantes hidrofluorocarbonos (HFC). El sector energía es el mayor contribuyente a las emisiones totales del país, con una participación del 55.1 %. Los sectores que mayormente contribuyen a la generación de CCVC son los sectores de Energía, Agricultura, Procesos industriales y uso de productos, Uso de la tierra y silvicultura y el sector de Residuos (Gobierno de Costa Rica, 2021). El **Cuadro 1** muestra los datos de las emisiones de CO₂ y CCVC por sector según el INGEI 2021 (con datos que corresponden al 2017).

Específicamente, el 89.7% del dióxido de carbono fue producido por el sector industrial. En cuando al metano, el 50.4% proviene del sector agricultura y el 47.6% del sector residuos. Los gases HFC se contabilizan únicamente en el sector industrial (Gobierno de Costa Rica, 2021).

Para enfrentar lo anteriormente mencionado, Costa Rica ha desarrollado políticas públicas que impactan sobre las emisiones de CCVC:

- El Plan Nacional de Descarbonización 2018 – 2050 responde a la meta nacional de tener una economía descarbonizada al 2050 de manera consistente a la meta global de limitar el incremento de temperatura en 1.5 °C. Las acciones del plan se dividen en tres periodos: etapa inicial (2018-2022), etapa de inflexión (2023-2030) y etapa de despliegue masivo (2031-2050).
- En complemento a lo anterior, la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) expone los compromisos internacionales del país para limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1.5 °C. El objetivo del sector transporte es contar con un modelo basado en el transporte público y la movilidad activa, así como tener modelos de ciudades compactas; y las tecnologías de transporte se proponen a base de fuentes renovables. Para el sector energético, se propone principalmente consolidar un sistema eléctrico de energías renovables con capacidad y resiliencia para abastecer las necesidades del país; así como una transformación del sector industrial incentivando el uso de fuentes renovables. Para el sector de agricultura y ganadería se proponen sistemas altamente eficientes, sostenibles y bajos en carbono. El sector de residuos tiene como objetivo lograr un sistema de gestión basado en la separación, reutilización, revalorización y disposición final de máxima eficiencia (Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2020).
- El Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026 (PNDIP) hace referencia al marco orientador a mediano plazo de las políticas del Gobierno; el cual busca un crecimiento económico sostenible y bajo en carbono (MIDEPLAN, 2022).

En complemento a las anteriores, se han desarrollado una serie de políticas públicas y estrategias nacionales y sectoriales que se enfocan en cada uno de los sectores económicos del país. Estos se mencionan para cada sector en el **Cuadro 1** y se detallan en las secciones siguientes del documento.

Cuadro 1. Emisiones de CCVC en Costa Rica y planes relacionados con su mitigación.

Sector	Emisión CO ₂ (Gg)	Emisión CH ₄ (Gg)	Emisión HFC (Gg CO ₂ -eq)	Emisión C negro (Gg)	Políticas asociadas
Energía	7,762.9	3.841	-	1.759	Contribución Nacionalmente Determinada Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 Plan de Expansión de la Generación 2022-2040 Plan Nacional de Energía 2015-2030 Plan Nacional de Transporte 2011-2035 Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 Plan Logística de Cargas 2014-2034 Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde de Costa Rica Plan Nacional de Desarrollo en Inversión Pública 2023-2026 Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes
<i>Actividades de quema de combustible</i>	7,981.6	3.841	-	1.759	
Industrias de energía	64.41	0.044	-	0.0064	
Industrias manufactureras y de construcción	1,287.9	0.5848	-	0.822	
Transporte	6,017.2	1.5824	-	0.625	
Automóviles	2,806.6	1.105	-	-	
Camiones para servicio ligero	1,187.9	0.232	-	-	
Camiones para servicio pesado y autobuses	1,495.0	0.078	-	-	
Motocicletas	274.3	0.124	-	-	
Otros	253.4	0.043	-	-	
Otros sectores	518.9	1.6295	-	0.305	
<i>Emisiones fugitivas de fabricación de combustibles</i>	93.2	-	-	-	
Petróleo y gas natural	NO	NO	-	-	
Petróleo y gas natural y otras emisiones de la producción de energía	93.2	-	-	-	
Procesos industriales y uso de productos	757.9	NO	0.357	-	
Industria de minerales	741.43	-	-	-	
Industria química	0.34	-	-	-	
Productos no energéticos de combustibles y uso de solventes	16.12	-	-	-	

Uso de productos sustitutos de las SAO	633.7	-	0.357	-	Estrategia Nacional de Economía Circular
Manufactura y utilización de otros productos	0.39	-	-		
Agricultura y Ganadería	2,962.8	101.04	-	0.134	Contribución Nacionalmente Determinada Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050
Fermentación entérica	1,846.3	87.92	-	-	NAMA Ganadería Costa Rica
Gestión del estiércol	206.6	1.841	-	-	NAMA Arroz Costa Rica
Quema de biomasa	27	0.872	-	0.134	Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono 2015-2034
Encalado	65.9	-	-	-	Plan de Intervenciones Estratégicas 2019-2022
Cultivo de arroz	218.6	10.41	-	-	Plan Nacional de Agricultura Familiar en Costa Rica 2020-2030
Residuos	2,138.5	95.46	-	0.047	Contribución Nacionalmente Determinada Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050
Disposición de residuos sólidos	1,204.8	57.37	-	-	NAMA Residuos
Tratamiento biológico de residuos sólidos	0.7	0.01532	-	-	Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2016-2021
Incineración y quema abierta de residuos	93.5	0.95	-	0.047	Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos 2016-2021
Tratamiento y eliminación de aguas residuales	839.5	37.12	-	-	Plan Nacional de Residuos Marinos 2021-2030
Total	5,582.6	204.5	0.36	2.01	Estrategia Nacional de Economía Circular Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026 Plan Nacional de Compostaje 2020-2050

Nota: IE = incluido en otra parte; NA = no aplica; NE = no estimado; NO = no ocurre

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

2.2. Método de análisis para la mitigación de los CCVC

Los modelos que estiman variables futuras, como emisiones o costos, desempeñan un papel fundamental en la toma de decisión. Estos cuantifican las necesidades de infraestructura, inversión, y costos totales que una posible ruta de mitigación podría conllevar. Estas posibles rutas de mitigación se ven plasmadas en escenarios que pueden contrastarse, por ejemplo, contra un escenario business-as-usual (BAU), el cual representa una economía que continuará operando sin hacer cambios significativos, asumiendo que no se tomarán nuevas medidas para reducir emisiones. Los escenarios de mitigación consisten en representar cambios tecnológicos para suplir las demandas de la sociedad, al mismo tiempo que se reducen emisiones de GEI o de CCVC.

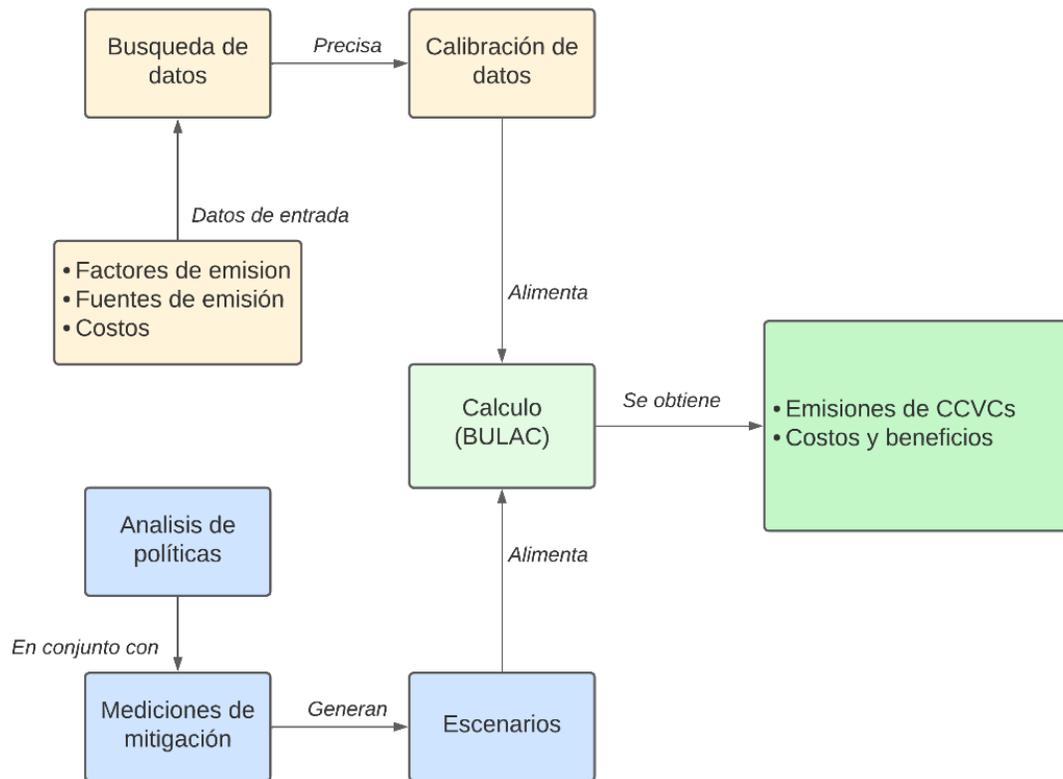
El escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC tiene como fin visualizar el impacto potencial de la implementación de las políticas públicas de mitigación y otras políticas para una efectiva reducción de emisiones de CCVC en el país. Para esto se agrupan las acciones de mitigación encontradas en las políticas públicas en temáticas llamadas “medidas de mitigación”, a las cuales también se les asigna un “supuesto” que refleja cómo las acciones de mitigación afectarían las emisiones del país.

En este reporte se muestra el uso de una herramienta de estimación de emisiones de largo plazo que fue utilizada primero por el equipo en United Nations Environment Programme, 2022. La herramienta es expandida y modificada para incluir fuentes de emisiones de CCVC, así como potenciales medidas de mitigación. Esta herramienta se denomina BULAC (Bottom-Up for Latin America) y se basa en las estadísticas del SIELAC (Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe) de OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). Los sectores no energéticos, cruciales para la cuantificación de los CCVC, se incluyeron como parte del esfuerzo de este reporte.

El modelo desarrollado se emplea en el contexto del programa de acción de hojas de ruta del metano (CCACM 2023), el cual consiste en cinco componentes: inventarios; analítica; metas; caminos de implementación; y un sistema de monitoreo, reporte y verificación. El modelo es parte de la analítica, es decir, datos, herramientas y métodos para identificar y evaluar medidas de mitigación. Los modelos ofrecen una representación cuantitativa de las reducciones de emisiones posibles y de los beneficios adicionales que se pueden obtener de su implementación. Por lo tanto, los modelos proporcionan una base sólida y con respaldo técnico para determinar las estrategias más efectivas y eficientes para reducir las emisiones.

La **Figura 2** muestra el proceso de utilización del modelo BULAC (en adelante se le llamará únicamente *el modelo*). La utilización del modelo requiere búsqueda de datos (factores emisión, fuentes de emisión y costos) para lograr su calibración. Por otro lado, un análisis de políticas públicas permite identificar las medidas de mitigación ya propuestas y así cuantificar métricas para escenarios que representen la implementación de dichas medidas. Estos dos procesos paralelos alimentan un modelo de simulación que permite la obtención de las emisiones de CCVC, así como costos y beneficios asociados a la mitigación.

Figura 2. Diagrama de trabajo para la alimentación y resultados del modelo.



Fuente: elaboración propia

Las políticas públicas tienen información para elaborar los supuestos de los escenarios. Como complemento, se desarrolla un análisis de cadenas de valor para cada uno de los sectores emisiones de CCVC. La cadena de valor consiste en una representación de cómo se producen los niveles de actividad en un sector y cómo la sociedad utiliza las tecnologías que emiten CCVC para suplir alguna demanda. Por ejemplo, la cadena del valor del transporte en cuanto a movilidad implica relacionar el origen y el destino de pasajeros y bienes por medio de la infraestructura, la elección tecnológica, y aspectos logísticos (Victor-Gallardo et al., 2022). Acciones en cada uno de dichos componentes de la cadena de valor pueden contribuir a reducir las emisiones.

Las evaluaciones de la cadena de valor permiten identificar dónde se necesitan intervenciones para implementar una medida de mitigación (Habert et al., 2020), complementar acciones ya identificadas en las políticas públicas e identificar mecanismos existentes que permitan reducir las emisiones de forma concreta.

3. Sector Transporte y Energía

3.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector energía y transporte

En Costa Rica, el sector energético responde principalmente al transporte, la industria, el comercio y los servicios de la ciudadanía. Actualmente, este es el sector que tiene mayor contribución de emisiones de gases de efecto invernadero. En 2017 emitió 7,981.6 GgCO₂eq, lo que corresponde a 70.7% de las emisiones totales del país. De las emisiones totales del sector energético, el sector transporte tiene el mayor impacto (75.4% para el 2017), seguido por el sector industrial (17% para el 2017), y luego otros sectores (7.6% para el 2017) (Gobierno de Costa Rica, 2021).

Cabe destacar que subsector eléctrico de Costa Rica genera alrededor de cero emisiones, ya que la matriz eléctrica del país se basa en fuentes renovables (hidro, eólico, geotermia, solar, y biomasa). Desde el 2014, el país tiene un porcentaje de generación eléctrica renovable que supera el 98%, además de tener una cobertura eléctrica del 99.4 %. Sin embargo, el país posee una alta dependencia de los combustibles fósiles para el transporte privado, público y de carga es la principal fuente de emisiones. Para el 2018, el diésel representó casi el 40% de las compras de hidrocarburos de Costa Rica (Gobierno de Costa Rica, 2018). Lo anterior genera en Costa Rica un estado de vulnerabilidad respecto a la volatilidad de los precios de estos combustibles.

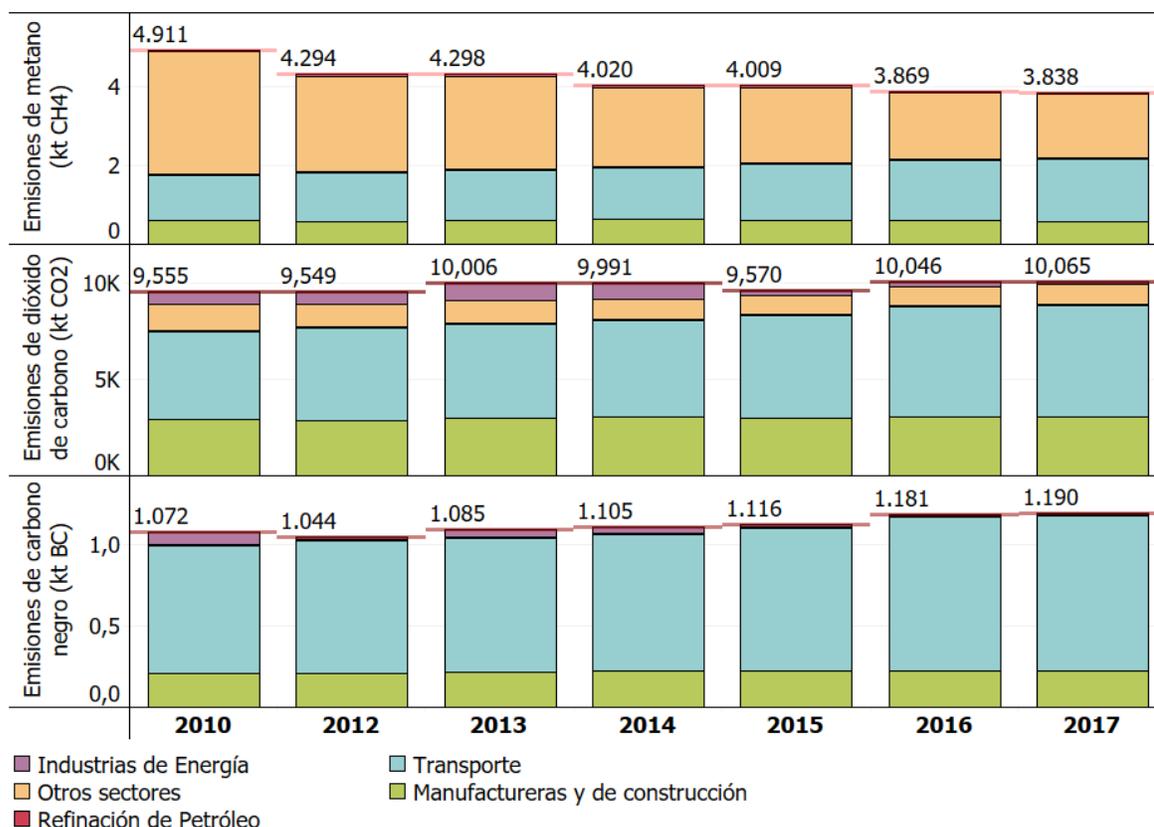
Actualmente, Costa Rica tiene un sistema de movilidad basado principalmente en vehículos privados. En 1994 se contabilizaron 418,048 unidades privadas, mientras que en 2015 se tenían 1,347,000, con 834,000 automóviles. La mayoría de la inversión en infraestructura es en carreteras, lo que favorece el uso de transporte privado por sobre otras formas de movilización, como el transporte público o la movilidad activa. Sumando a lo anterior, el transporte público posee una alta ineficiencia y, en promedio, una duración 70 % mayor que la de un viaje en automóvil. Lo anterior debido a que, en su mayoría, no cuenta con un pago electrónico integrado, rutas alineadas con la demanda ni un sistema coordinado, lo que provoca largos tiempos de espera por parte del usuario (Gobierno de Costa Rica, 2018).

Por otro lado, el transporte de carga es otro reto para el país. Del consumo total de energía en transporte, el 36.5 % correspondía a transporte de carga. Este tipo de vehículos representan el 15 % de la flota total, sin embargo, desde el 2016 está excluido de las regulaciones de emisiones, debido a una posible pérdida en la competitividad con otras empresas de la región (Gobierno de Costa Rica, 2018). Sumando a lo anterior, la antigüedad de los vehículos del país es considerable. La edad promedio de los vehículos livianos es de 17 años; la de la flota de transporte de carga, 28 años; la de los autobuses, 7 años; y los vehículos más nuevos de transporte de turismo tienen 6 años (PNUMA, 2021; RITEVE, 2022).

En este sentido, el reto del país es promover la reestructuración del sistema energético, para mantener una matriz renovable, eficiente y confiable que pueda sustentar el aumento de demanda por electrificación del transporte y otros sectores (Gobierno de Costa Rica, 2018).

En la **Figura 3** se muestran los datos históricos de las emisiones asociadas a CCVC provenientes de cada subsector energético de Costa Rica. En esta se puede apreciar que el subsector de “otros sectores” es el responsable de la mayor cantidad de emisiones de metano. Este subsector está conformado por el sector comercial / institucional / servicios, residencial, y agricultura / silvicultura / pesca / piscifactorías. Este valor se debe principalmente a la quema de madera de uso residencial, de igual manera, la quema de diésel y gas licuado de petróleo (LPG) en estos sectores tiene un aporte en las emisiones de este subsector (Gobierno de Costa Rica, 2021). El siguiente sector con mayor contribución es el sector transporte. Esto se debe al alto consumo de gasolina, diésel y LPG del sector, pues estos combustibles poseen un factor de emisión de metano elevado.

Figura 3. Emisiones del sector energía asociadas a CCVC, desagregados por subsectores



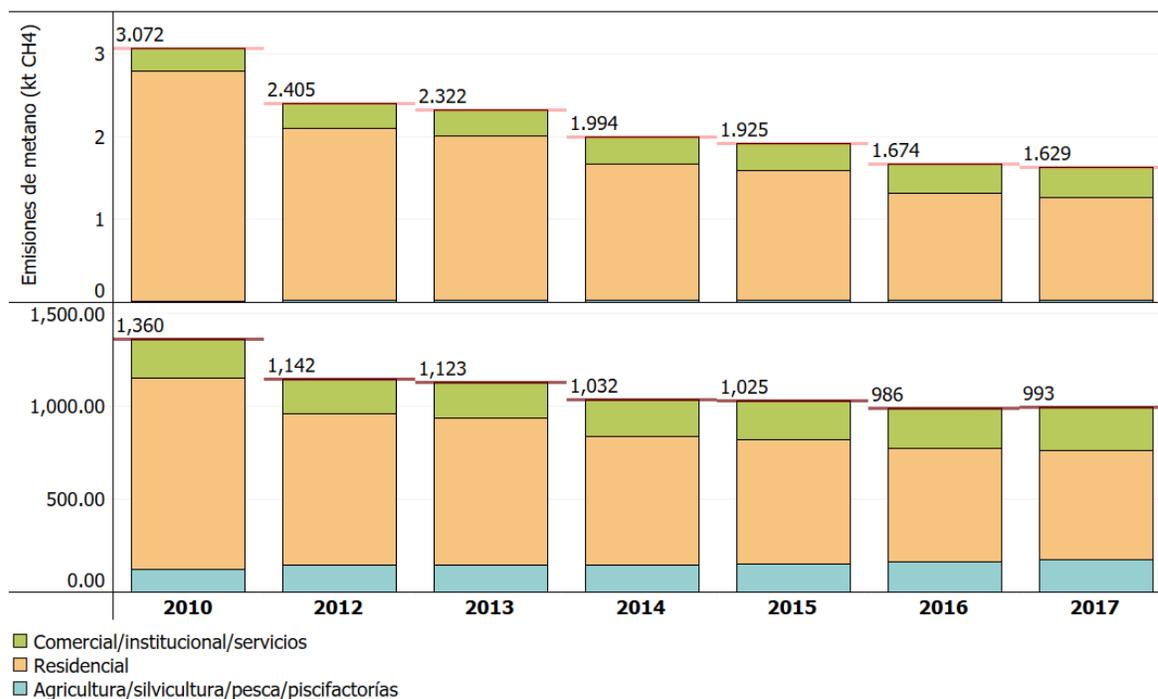
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

En la **Figura 4** se aprecia que el subsector residencial es el mayor contribuyente a las emisiones de metano de la categoría “otros sectores”. Lo anterior se debe al uso de madera

y gas LPG como combustible en la generación de energía. Según el Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica (2017), la madera y el carbón vegetal poseen un factor de emisión elevado para metano (30 kg CH₄/TJ madera y 300 kg CH₄/TJ carbón vegetal). Sin embargo, se puede notar una reducción en las emisiones de metano y dióxido de carbono, debido a la disminución de casi la mitad del uso de madera y carbón vegetal en el subsector residencial (**Figura 5**).

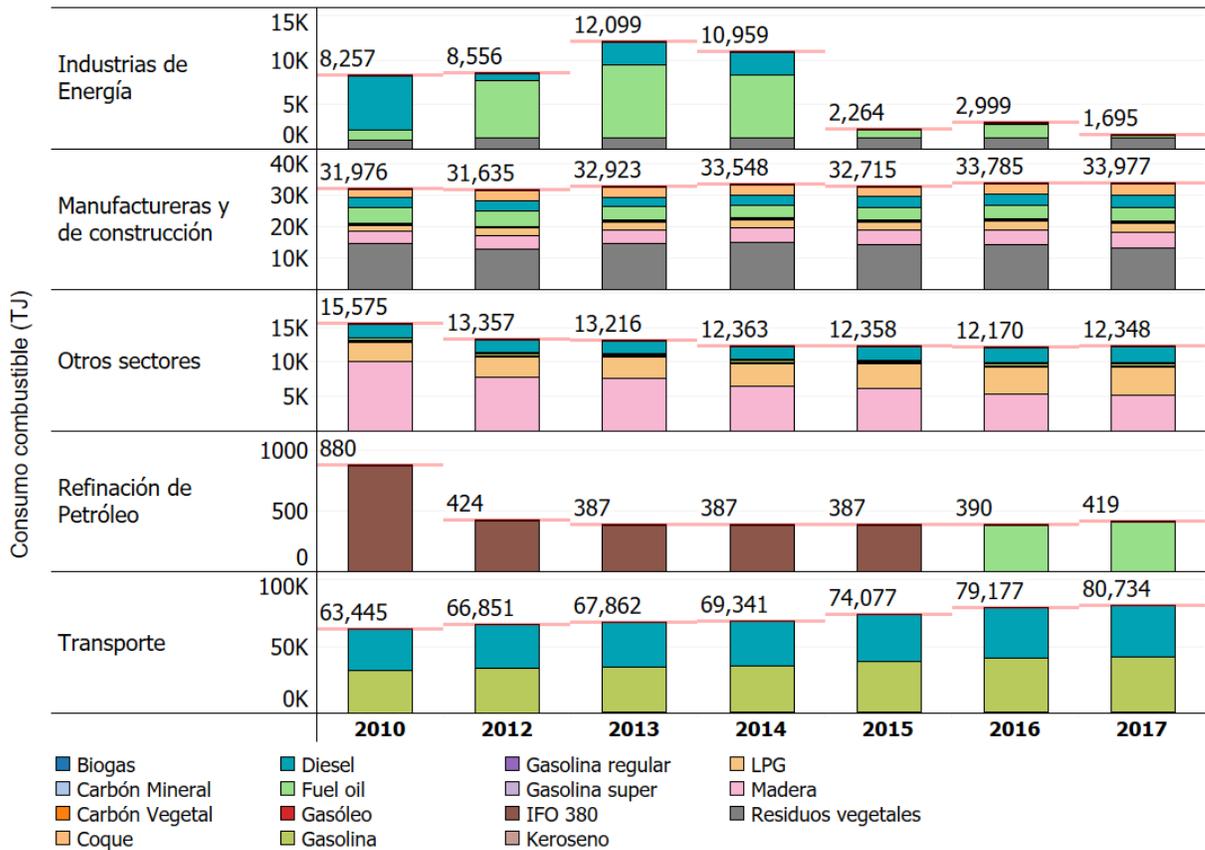
En cuanto al carbono negro, los contribuyentes son el sector transporte y en menor medida la industria de manufactura y construcción. En la **Figura 6** se detalla el consumo de combustibles por cada medio de transporte utilizado en el país. En esta se puede notar que el transporte privado como automóviles y motocicletas utilizan en mayor medida gasolina, sin embargo, el transporte de carga pesado y los buses de transporte público consumen una cantidad creciente de diésel. El elevado factor de emisión asociado al diésel de transporte (24.12 kg C/TJ consumido) produce que las emisiones de carbono negro de este sector incrementen considerablemente.

Figura 4. Emisiones del sector “otros sectores” de energía asociadas a CCVC, desagregados por subsectores.



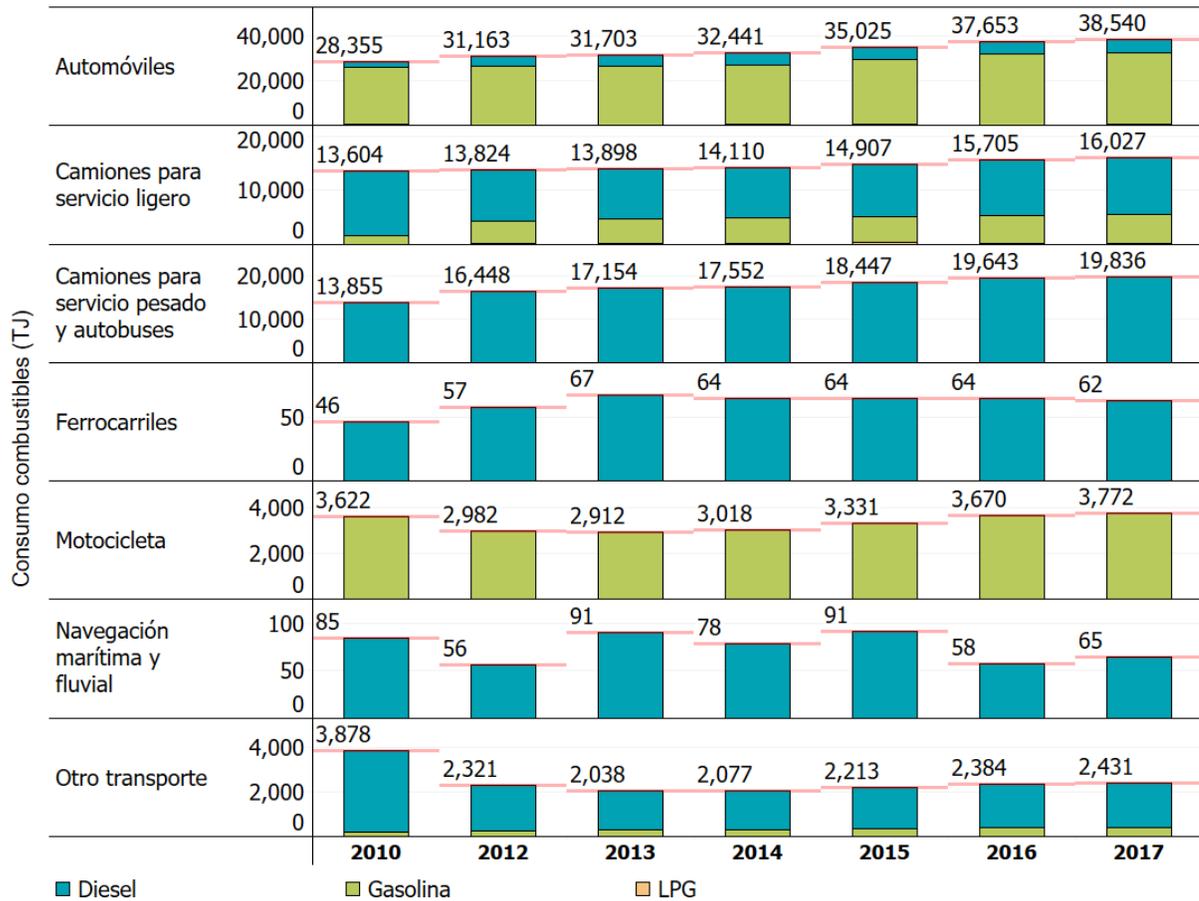
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

Figura 5. Consumo de combustibles por cada subsector del sector de energía [TJ].



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

Figura 6. Consumo de combustibles por cada medio de transporte [TJ].



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

En relación con lo anterior, Costa Rica posee una serie de planes y estrategias para reducir o evitar las emisiones de CCVC asociadas al sector energía. A continuación, se muestran estas políticas y las principales acciones asociadas a las emisiones de CCVC.

- 1. Contribución Nacionalmente Determinada (2020):** Como se ha mencionado anteriormente, el sector de energía es considerado el más importante en relación con la mitigación, debido a ser el mayor contribuyente de emisiones GEI. En su NDC Costa Rica se compromete a desarrollar un sistema de movilidad activa y transporte público eficiente, impulsado por energías renovables; así como una flota de vehículos ligeros cero emisiones y de transporte de carga eficiente. Además de acelerar la electrificación de distintos sectores, y disminuir la dependencia de combustibles fósiles. Entre sus metas se destaca que antes del 2030 entrará en operación un tren eléctrico en el Gran Área Metropolitana y hacia Limón, los cuales serán impulsados por energías renovables; para el 2030, el 8% de la flota de transporte público será cero emisiones, un 8% de la flota de vehículos ligeros será eléctrica, y un 5% de los

viajes será a través de movilidad no motorizada. Además, para ese mismo año, el 100% de la matriz eléctrica será renovable; se habrán actualizado o desarrollado estándares y regulaciones para tecnologías de uso final (aire acondicionado, calderas, equipos de refrigeración, maquinaria, entre otros) alineadas con la política de cero emisiones al 2050; y se reducirá un 20% las emisiones de carbono negro respecto al 2018, por sustitución tecnológica y eficiencia energética (Gobierno de Costa Rica, 2020).

- 2. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016):** Para el sector de energía se proponen 4 ejes de descarbonización: desarrollo de un sistema de movilidad basado en transporte público renovable y en esquemas de movilidad activa; transformación de vehículos ligeros a cero emisiones renovables; fomento de transporte de carga con modalidades, tecnologías y fuentes cero emisiones o las más bajas posibles; y consolidación del sistema eléctrico nacional capaz, renovable, inteligente, flexible y resiliente. Las metas principales de este plan se muestran en el **Cuadro 2.**

Cuadro 2. Metas del Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 para el sector energético.

Meta	2022	2030	2035	2050
Flota de transporte público cero emisiones				
Tren 100 % eléctrico				X
Vehículos ligeros eléctricos			30 %	95 %
Transporte público como primera opción de movilidad en la GAM			X	
Transporte público cero emisiones			30 %	85 %
Ciudades compactas en la GAM y principales ciudades secundarias del país consolidadas				X
Incremento de desplazamientos no motorizados				10 %
Nuevos modelos y esquemas de movilidad compartida consolidados				X
Extensa red de recarga eléctrica a lo largo del país y con infraestructura para tecnologías cero emisiones				X
Tren eléctrico limonense en operación	X			
Flota transporte de carga que opera con LPG		20 %		
Reducción de emisiones por transporte de carga respecto al 2018				20 %
Matriz eléctrica renovable		100 %		
Energía eléctrica como fuente principal para transporte, residencial, comercial e industrial				X

Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

Para cumplir dichas metas se propone una serie de acciones entre las que se pueden destacar las siguientes:

→ **2023-2030:**

- Licitación e implementación del Tren Eléctrico entre Cartago, San José, Heredia y Alajuela.
- Implementar plan transformativo para escalar transporte público urbano cero emisiones.
- Elaborar visión transformativa a escala para el transporte público rural de cero emisiones, con planes piloto de buses rurales eléctricos.
- Definir una visión transformativa para futuros usos de hidrógeno y pilas de combustible como complemento de otras tecnologías cero emisiones.
- Impulsar paridad de precio con una reforma fiscal verde y precios al carbono. Implementar políticas para desincentivar y reducir la compra y el uso de vehículos de combustión interna, hacia una meta de cero ventas de esta tecnología.
- Fortalecer el despliegue masivo de una red eléctrica inteligente “smart grid” para mejorar precios por almacenamiento, con lo que se manejaría la demanda.
- Establecer normativa para que las adquisiciones de vehículos livianos del Estado sean eléctricas o cero emisiones.
- Aprobar un estándar de eficiencia y reducción de emisiones para camiones de carga, con un calendario y metas intermedias.
- Elaborar estudios de viabilidad para la electrificación del transporte de carga con hidrógeno en el corto y mediano plazo.
- Implementar proyectos piloto de electrificación e hidrógeno para transporte de carga.
- Impulsar la operación del Tren Eléctrico Limonense de Carga (TELCA).
- Incrementar las inversiones para masificar la electro-movilidad cero emisiones en el transporte de pasajeros, carga y vehículos livianos.
- Implementar estrategias para la electrificación y digitalización de los distintos sectores de la economía.

→ **2031-2050:**

- Consolidar modelos de ciudades resilientes y orientadas a cero emisiones: compactas, orientadas al transporte público y a usos no motorizados.
- Desplegar proyectos a escala, cero emisiones, en transporte público y movilidad compartida: flotas de buses, taxis, Tren dentro y fuera del GAM.
- Adaptar el sector a retos demográficos (considerar las implicaciones de tener una población que envejece y requiere modalidades específicas de transporte).
- Ejecutar con flexibilidad ante nuevos modelos de negocio y otros cambios disruptivos.

- Consolidar el proceso de escalamiento de adopción de la tecnología: amplia oferta de vehículos eléctricos, información y educación de usuarios, sistemas de soporte como talleres especializados y estaciones de recarga, líneas de crédito bancarias para adquirir la tecnología.
- Implementar acciones de despliegue como regulaciones, incentivos, procesos de información y financiamiento consolidado bajo el supuesto que las tecnologías cero emisiones para transporte de carga.
- Continuar las inversiones para satisfacer la demanda eléctrica, manteniendo una matriz diversificada y renovable baja en emisiones.

3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP) (2022): es el primer plan de acción de la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica 2018-2030. En esta política se abordan las repercusiones por pérdidas y daños en infraestructura de transporte y sistemas eléctricos y de energía, sin embargo, se expone la importancia de contar con servicios públicos adaptados e infraestructura resiliente, con el fin de dar continuidad a los servicios. En el NAP se exponen acciones para lograr dicha resiliencia y adaptación, entre las que se pueden destacar:

- Crear una instancia que dé seguimiento al diseño e implementación de medidas de adaptación para el Sector de Obras Públicas y Transportes.
- Desarrollar diagnósticos de vulnerabilidad y riesgo ante amenazas asociadas al clima en el 100% de la infraestructura pública vital y crítica asociada a la red vial nacional.
- Incorporar comercialmente al 2027 el aporte de 55 MW de energía geotérmica, y adherirla a la matriz eléctrica en la Región Chorotega para aumentar la resiliencia de la región a través de la diversificación de la matriz energética.
- Incorporar 25 MW de energía solar a la matriz eléctrica en la Región Chorotega para diversificar la matriz energética.
- Incorporar el cambio climático en el ciclo de vida de proyectos para el sector de infraestructura y transporte.
- Conformar alianzas público-privadas para mejorar y escalar prácticas productivas adaptadas a reducir pérdidas, daños y asegurar la continuidad de servicios, como la energía.
- Automatizar la red de monitoreo para registrar variaciones de los niveles de conductividad eléctrica en la región Central y Huetar Norte.

4. Plan de Expansión de la Generación 2022-2040 (2023): tiene como meta instalar 1 775 MW de energía solar y eólica en el país al 2040, para asegurar una oferta eléctrica renovable.

5. Plan Nacional de Transporte 2011-2035 (2011): contempla la planificación del sistema de transportes, para asegurar su modernización, reorganización, y ajuste

según las necesidades del país. Para esto se proponen una serie de acciones entre las que se pueden destacar las siguientes:

- Realizar reformas estructurales del marco legal e institucional: Ley de Expropiaciones, Leyes de Contratación Administrativa y Concesiones, Ordenación General del Transporte Terrestre, Leyes y reglamentos subsectoriales, Planeamiento urbano y protección normativa técnico-legal).
- Realizar reformas estructurales en capacitación y tecnología.
- Desarrollar normativa técnica de referencia, para planificación, estudio y diseño de infraestructura de transporte.
- Desarrollar una red vial estratégica, de alta capacidad y tomando en cuenta distribuidores regionales.
- Implantar las soluciones de integración urbana de las rutas de la Red Vial Nacional que convergen en otras ciudades.
- Crear una Red Arterial Metropolitana de la GAM y Moín-Limón.
- Mejorar y reconstruir la red vial: drenaje transversal y longitudinal, construcción de puentes, acceso a otros puertos y aeropuertos.
- Apoyar la renovación progresiva de flotas de autobuses.
- Crear infraestructuras y equipamientos interprovinciales para el transporte público: estaciones y refugios en ruta e información de servicio.
- Crear infraestructuras metropolitanas para el transporte ferroviario, como la malla básica y estaciones de pasajeros.
- Conservar y rehabilitar los puertos de navegación.
- Mejorar y ampliar la Terminal de Contenedores de Moín.
- Crear las condiciones para Plataformas Logísticas Ferroviarias: estudio, diseño, expropiación de terrenos, licitación, construcción, explotación y conservación de la Plataforma.
- Ajustar la infraestructura (vial, portuaria y aeroportuaria y logística) a estándares internacionales.

6. Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019): busca promover una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, electrificando el transporte en tres sectores estratégicos: el transporte privado, el transporte institucional y el transporte público. El plan busca lograr reemplazar la flotilla nacional de vehículos convencionales por vehículos eléctricos, incorporar vehículos eléctricos en la flotilla del Estado, y electrificar el transporte público. Para esto, se plantean las siguientes acciones:

→ **Transporte privado**

- Instalar y operar una red de centros de carga.
- Actualizar el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica para incorporar la demanda futura por transporte eléctrico.
- Informar al consumidor sobre transporte eléctrico.

- Crear incentivos económicos para facilitar la adquisición de vehículos eléctricos: exoneración de impuestos y centros de carga, beneficios en las declaraciones de renta, y líneas de financiamiento.
- Crear incentivos no económicos para el uso de vehículos eléctricos: logo distintivo de vehículos eléctricos, uso de espacios azules en parqueos públicos, y exoneración de parquímetros.
- Diseñar e implementar programas de manejo de residuos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos y otros repuestos de los vehículos eléctricos.
- Desarrollar capacidades e industria del transporte eléctrico en el país.
- Aplicar criterios de evaluación de compras del sector público un 10% a proveedores que ofrezcan vehículos eléctricos.

→ **Transporte institucional**

- Incorporar en los criterios de evaluación de las compras del sector público un 10% adicional a los proveedores que ofrezcan vehículos eléctricos. Actualizar el Plan.
- Crear convenios marco con proveedores de vehículos eléctricos para los sistemas de compra del Estado.

→ **Transporte público**

- Desarrollar proyectos piloto en transporte público para demostrar sus beneficios.
- Gestionar alianzas público-privadas para la participación de diferentes actores para el desarrollo de autobuses eléctricos.
- Definir y establecer alianzas con operadores de autobuses para la construcción de la infraestructura de recarga.
- Estudiar viabilidad financiera, modelos de negocio, esquemas de financiamiento y tipo de incentivos. Elaborar especificaciones técnicas para transporte público y su infraestructura.
- Actualizar la regulación para la importación de vehículos de carga nuevos y usados.
- Elaborar un procedimiento para que las nuevas concesiones de taxis incluyan como requisito al menos el 10% de unidades eléctricas.
- Realizar un análisis tarifario de incorporación de vehículos eléctricos.
- Incorporar la operación del tren eléctrico en la GAM.

7. Plan Logística de Cargas 2014-2034 (2014): sintetiza la estrategia y acción pública para mejorar el desempeño del sistema logístico nacional, potenciar el comercio exterior, apoyar el desarrollo del país, y aumentar su competitividad. Para esto, se proponen las siguientes acciones:

- Generar datos para mejorar la planificación del transporte de carga.

- Reforzar la infraestructura logística para incrementar la eficiencia en el trasiego de mercancías, considerando la participación público-privada.
- Limitar el acceso de los camiones de carga a centros urbanos.
- Reforzar control de emisiones.

8. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2021): establece la visión del país respecto al desarrollo de una industria de hidrógeno en el país. En esta estrategia se propone alcanzar entre 200 y 1000 MW de capacidad de electrólisis instalada y en desarrollo para 2030, alcanzar costos potenciales de producción de hidrógeno verde producido mediante electrólisis menores a 2 USD/kg de H₂, contar con una flota entre 150 y 250 vehículos ligeros de pasajeros y de carga liviana de hidrógeno dedicados principalmente al transporte de pasajeros como taxis, o al servicio público, como vehículos de policías, una flota de entre 1,500 y 1,900 vehículos pesados, buses o camiones de carga pesada, de celda de hidrógeno, contar con una red de recarga entre 30 y 40 estaciones, y alcanzar un reemplazo de entre 8% y 10% del LPG o búnker. De manera transversal, se propone realizar una inversión de entre US\$ 1000 y US\$ 1200 millones para proyectos de producción, consumo o despliegue de infraestructura, reducir entre 500 mil y 650 mil toneladas de CO₂ equivalente por año, alcanzadas en 2030, y crear entre 20 mil y 30 mil empleos directos e indirectos. Para esto, se proponen una serie de acciones:

- Fomentar programas de inversión en hidrógeno.
- Desarrollar talleres para la elaboración de proyectos bancables de hidrógeno.
- Definir la cantidad y ubicación de estaciones de recarga vehicular mínimas.
- Habilitar estímulos fiscales para el uso de hidrógeno, especialmente en el transporte de carga.
- Implementar el proyecto NAMA "Green Hydrogen" para transporte.
- Eliminar subsidios a los combustibles fósiles.
- Solicitar acceso a fondos climáticos que permitan establecer líneas de crédito con condiciones atractivas para el hidrógeno en Costa Rica.
- Promover tasas de interés preferenciales y mayores plazos de financiamiento para el desarrollo de proyectos de hidrógeno.

9. Plan Nacional de Desarrollo en Inversión Pública 2023-2026 (2022): este documento plantea diversas metas nacionales para el desarrollo económico y social del país. Entre estas metas se plantea una disminución en las emisiones de dióxido de carbono debido al uso de combustibles fósiles

- 2023: 0.5 %
- 2024: -0.2%
- 2025: -0.4%
- 2026: -1.4%

10. Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI) (2021):

prioriza la incorporación de tecnologías que aumenten la eficiencia, y diversificación de la matriz energética. Para esto, el documento presenta una serie de medidas de mitigación:

- Dotar a la red eléctrica de inteligencia para mejorar su operación técnica mediante la automatización y el acceso a los datos de la red y de los usuarios.
- Estandarizar la operación de las redes inteligentes y la gestión de datos para garantizar la calidad del servicio, la comunicación y la ciberseguridad.
- Establecer normativas sobre las características técnicas mínimas y de comunicación de equipos y sistemas de medición, transmisión y almacenamiento de datos.
- Elaborar normativas de equipos y sistemas de las empresas para lograr la interoperabilidad.
- Implementar e integrar el SIG con los sistemas de gestión de red y sistema de averías.
- Actualizar las normativas de calidad, continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico basándose en los nuevos datos de red inteligente.
- Diseñar esquemas tarifarios que incluyan incentivos para las empresas distribuidoras, basado en resultados y casos de éxito por inversión en red inteligente.
- Mantener la -flexibilidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con la entrada de nuevas energías renovables variables (ERV).
- Continuar con la integración de generación distribuida y almacenamiento de energía de forma segura en la red.
- Planificar el sistema eléctrico nacional considerando los recursos energéticos renovables distribuidos.
- Implementar un procedimiento para el monitoreo y la gestión de los recursos energéticos distribuidos (GD, almacenamiento de energía, otros).
- Incorporar en la operación del sistema eléctrico, los servicios auxiliares ofrecidos por los recursos energéticos distribuidos.
- Promover tarifas que propicien la adecuada integración de los recursos energéticos distribuidos considerando la sostenibilidad del modelo eléctrico costarricense.
- Evaluar tecnología de red inteligente para la gestión de la demanda de los vehículos eléctricos.
- Conocer el perfil de carga de los vehículos eléctricos en el sector residencial mediante la medición inteligente, con el avance en la instalación de los medidores inteligentes.
- Incluir la demanda de vehículos eléctricos en el plan de expansión de la generación eléctrica y transmisión.
- Desarrollar tarifas horarias para usuarios residenciales y no residenciales para incentivar la gestión de la demanda utilizando la información disponible de los medidores inteligentes.

- Brindar a los usuarios el acceso a la información de la medición inteligente para la gestión de su demanda.
- Desarrollar servicios para facilitar la eficiencia energética y la gestión de la demanda en los sectores de consumo mediante las funciones disponibles por la medición inteligente.
- Gestionar las pérdidas eléctricas y los sistemas de alumbrado público mediante las redes inteligentes.
- Capacitar al personal de empresas de energía eléctrica en redes inteligentes.
- Generar las condiciones para desarrollar el conocimiento científico y tecnológico sobre las redes eléctricas inteligentes.

Considerando el comportamiento actual de las emisiones y sus tendencias históricas, se concluye que para el sector energético la reducción de las emisiones de metano está relacionada con las políticas públicas y acciones que se centran en el acceso a energías renovables en el sector residencial y la reducción de madera y gas LPG en la cocción de los hogares. Esto debido a que el consumo de combustibles y quema de biomasa en estos subsectores son los principales responsables de las emisiones de este gas. Por su parte, para reducir las emisiones de carbono negro, se encontró una alta correlación con los esfuerzos propuestos para la electrificación del transporte y la transición a un modelo de transporte centralizado en la persona y el transporte público eléctrico. De igual manera, si se descarboniza el sector industrial de manufactura y construcción, promoviendo el uso de energías renovables en vez de combustibles fósiles y biomásas, se espera que las emisiones de metano y carbono negro debidas a este sector también disminuyan considerablemente.

3.2. Cadena de valor del sector Energía y Transporte

3.2.1. Sector transporte

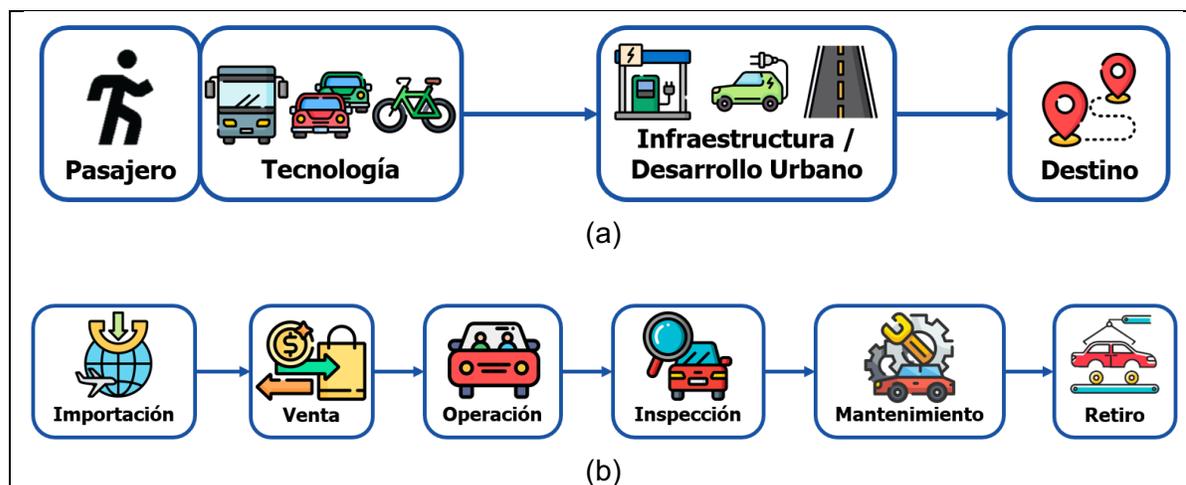
El transporte es el mayor emisor de carbono negro del sector energético del país. A continuación, se muestra una descripción de la cadena de valor de este.

3.2.1.1. Transporte público y privado

La **Figura 7** presenta la cadena de valor del transporte público y privado. En la **Figura 7 (a)** se describe el sistema de movilización, en el cual un pasajero utiliza la tecnología (e.g., vehículos) e infraestructura (e.g, carreteras o vías ferroviarias) disponible para llegar a un determinado destino. En este sentido, las acciones en torno a la movilidad responden a procesos enfocados al pasajero, la tecnología, la infraestructura o la ubicación del destino. En cuanto al pasajero, las acciones pueden estar dirigidas a cambiar o potenciar hábitos de transporte y promover un mayor uso del transporte público. Por otro lado, la infraestructura para movilización y ubicación de los destinos juegan un papel determinante en la movilidad. Es decir, el desarrollo urbano tiene un efecto considerable en los medios de transporte públicos y de movilidad no motorizada (movilidad peatonal, bicicletas).

La **Figura 7** (b) muestra la cadena de valor de la flota vehicular. En Costa Rica, se importan los vehículos para su posterior venta y utilización. De igual manera, todos los años se realiza una inspección técnica vehicular, en la cual se otorga un permiso por parte de DEKRA para circular legalmente. Cuando sea necesario, los vehículos deben recibir mantenimiento hasta cumplir su vida útil, para finalmente ser retirados.

Figura 7. Cadena de valor del sector transporte público y privado (a) movilidad y (b) flota vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el **Cuadro 3** muestra un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. El Cuadro que contiene todas las acciones encontradas se puede consultar en el Apéndice **8.1**. Las políticas públicas que se tomaron en cuenta para el transporte público y privado son la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (PND), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP), el Plan de Expansión de la Generación 2022-2040, el Plan Nacional de Transporte 2011-2035, el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, y el Plan Nacional de Desarrollo en Inversión Pública 2023-2026. Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Cuadro 3. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Pasajero	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover la intermodalidad. • Promover la movilidad sostenible (activa) en ciudades.
Tecnología	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar pago electrónico en el transporte público, para volver este medio de transporte más atractivo. • Promocionar el uso de la bicicleta, con planes que contemplen infraestructura ciclo-inclusiva. <p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 Incorporar la operación del tren eléctrico en la GAM.</p>
Infraestructura / Desarrollo urbano	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar infraestructura para movilidad eléctrica, como estaciones de recarga. <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar diagnósticos de vulnerabilidad y riesgo asociados al clima en la infraestructura de la red vial. <p>Plan Nacional de Transporte 2011-2035</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear infraestructura y equipamiento para el transporte público: estaciones y refugios en ruta. • Crear infraestructuras metropolitanas para el transporte ferroviario: malla básica y estaciones de pasajeros. <p>Plan Nacional de Energía 2015-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear infraestructura que brinde seguridad y comodidad a peatones y ciclistas en las zonas urbanas. • Sectorizar las rutas de la GAM. Adoptar carriles exclusivos y terminales de intercambio de pasajeros. • Desarrollar un mapa del sistema integrado de transporte público en aplicaciones para celulares.
Importación vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear normativa de importación de vehículos eficientes y prohibición de vehículos de combustión interna.
Venta vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear incentivos económicos para facilitar la adquisición de vehículos eléctricos: exoneración de impuestos y centros de carga, beneficios en las declaraciones de renta, y líneas de financiamiento.

Operación vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear incentivos no económicos para el uso de vehículos eléctricos: logo distintivo de vehículos eléctricos, uso de espacios azules en parques públicos, y exoneración de parquímetros. <p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar el proyecto NAMA "Green Hydrogen" para transporte.
Inspección vehículos	Sin medidas directas para CCVC.
Mantenimiento vehicular	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampliar oferta de sistemas de soporte como talleres especializados.
Retiro vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar e implementar programas de manejo de residuos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos y otros repuestos de los vehículos eléctricos.
Acciones sistémicas	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impulsar paridad de precio con una reforma fiscal verde y precios al carbono. • Incrementar las inversiones para masificar la electro-movilidad cero emisiones en el transporte de pasajeros, carga y vehículos livianos. • Consolidar modelos de ciudades resilientes y orientadas a cero emisiones: compactas, orientadas al transporte público y a usos no motorizados. <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incorporar el cambio climático en el ciclo de vida de proyectos para el sector de infraestructura y transporte. <p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actualizar el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica con la demanda futura por transporte eléctrico. • Desarrollar capacidades e industria del transporte eléctrico en el país. <p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar programas de inversión en hidrógeno. • Desarrollar talleres para la elaboración de proyectos bancables de hidrógeno. • Eliminar subsidios a los combustibles fósiles.

Fuente: Elaboración propia

El Estado de la Nación del 2018 indicó que Costa Rica era el tercer país latinoamericano con más vehículos por mil habitantes, después de México y Argentina y estimó las externalidades negativas del transporte con un costo cercano a 3,146 millones de dólares al año. Además, indicó que el 50% de los trabajadores en la GAM labora en un cantón distinto al que reside, lo que obliga a la población a trasladarse constantemente. Entre las recomendaciones del Informe se encontraba sectorizar las líneas de autobús, lo que ahorraría alrededor de 3,305 millones de colones, aumentaría la velocidad de viajes en un 61% y reduciría 506 toneladas de emisiones de carbono al año. Por otro lado, un tren desde Ciruelas a Paraíso disminuiría los tiempos de viaje de 80 a 42 minutos y podría trasladar hasta 250 000 personas (CONARE, 2018).

Según las políticas públicas de Costa Rica, los esfuerzos por descarbonizar el transporte público y privado se centran en electrificar estos, así como optar por una modalidad de movilización principalmente a través del transporte público, en conjunto con movilidad no motorizada. Las acciones del **Cuadro 8** se plantearon para alcanzar estos objetivos. Sectorizar las rutas de la Gran Área Metropolitana resulta crucial para promover el traslado por medio de transporte público, así como crear la infraestructura necesaria para la movilización de peatones y ciclistas. Para fomentar esta modalidad de traslado es necesario comunicarla y hacerla atractiva para los usuarios, para esto se propone un mapa del sistema integrado accesible a través de aplicaciones para celulares y el pago del transporte público por medios electrónicos. Otra acción de gran importancia es la implementación del Tren Eléctrico, el cual interconectaría la GAM.

A pesar de las proyecciones anteriormente mencionadas y las acciones descritas en las políticas públicas del país, el Informe del Estado de la Nación del 2023 indica que existen lentos progresos en estas áreas. De los 27,992 vehículos de tecnologías distintas a la combustión en el período 2011-2021, menos de 120 corresponden a autobuses eléctricos y solo 100 a autobuses híbridos conectables de diésel. Tampoco se visualizan cambios importantes en cuanto a la meta de la interconexión del sistema de transporte público, pues se mantiene el mismo esquema de servicio de autobús sin avances en sectorización. Por otro lado, el proyecto del Tren Eléctrico de la GAM y el Tren Eléctrico Limonense de Carga (TELCA) se encuentran aún en fases muy iniciales y con poco avance reportado (CONARE, 2023). Debido a lo anterior, apostar por proyectos y acciones que fomenten la electrificación del transporte público y privado, la sectorización del transporte y las modalidades de transporte público y movilidad activa, son necesarias para cumplir con las metas planteadas y lograr una correcta reducción de emisiones de dióxido de carbono y carbono negro provenientes del sector.

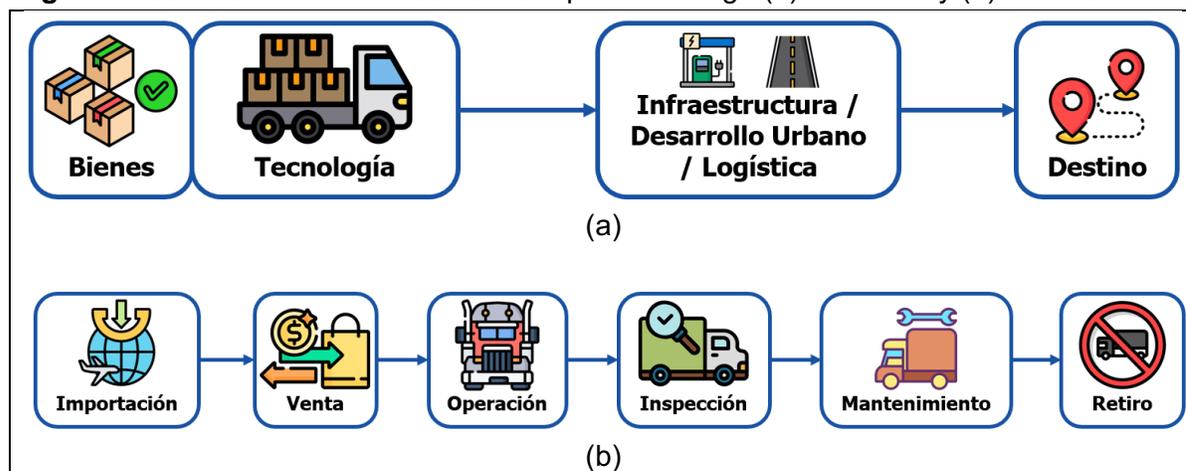
3.2.1.2. Transporte de carga

La **Figura 8** presenta la cadena de valor del transporte de carga. En la **Figura 8 (a)** se describe el sistema de movilización, en el cual los bienes se cargan en la tecnología (e.g., camiones), y a través de la infraestructura (e.g, carreteras o vías ferroviarias) disponible y logística llegan a un determinado destino. En este sentido, las acciones en torno al transporte

de carga responden a procesos enfocados en la tecnología, la infraestructura, la logística o la ubicación del destino.

La **Figura 8** (b) muestra la cadena de valor de la flota vehicular. Esta corresponde a las mismas unidades de la cadena de valor del transporte público y privado. Los vehículos se importan para su posterior venta y utilización. Todos los años se realiza una inspección técnica vehicular, en la cual DEKRA otorga un permiso para circular legalmente. Las empresas que operan los vehículos deben darle un mantenimiento a través del tiempo hasta cumplir su vida útil, para finalmente ser retirados.

Figura 8. Cadena de valor del sector transporte de carga (a) movilidad y (b) flota vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

El Plan de Logística de Cargas indica que existen cinco subsistemas involucrados en el transporte de carga: suministros al sector turismo, apoyo a la manufactura de productos de alto valor agregado, apoyo a las agroexportaciones, apoyo al comercio regional, y comercio exterior tradicional. Estos son los sectores que se verían directa o indirectamente impactados por acciones relacionadas a la infraestructura, costo o logística del transporte de carga.

El **Cuadro 4** muestra un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. El Cuadro que contiene todas las acciones encontradas se puede consultar en el Apéndice 8.1. Las políticas públicas que se tomaron en cuenta para el transporte de carga son el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (PND), el Plan Nacional de Transporte 2011-2035, el Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, el Plan Nacional de Logística de Cargas 2014-2024, y el Plan Estratégico Nacional 2050. Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Las acciones de las políticas públicas relacionadas con el transporte de carga se centran en electrificar e implementar hidrógeno verde. Por otro lado, implementar el Tren Eléctrico de Carga también resultaría muy beneficioso en cuanto a la reducción de emisiones de CCVC.

Sin embargo, estos objetivos aún se encuentran en etapas muy iniciales, por lo que resultaría provechoso apostar por proyectos que aceleren su implementación.

Cuadro 4. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte de carga (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014, Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Bienes	Sin medidas directas para CCVC.
Tecnología	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprobar estándar de eficiencia y reducción de emisiones para camiones de carga, con calendario y metas intermedias. • Implementar proyectos piloto de electrificación e hidrógeno para transporte de carga.
Infraestructura / Desarrollo urbano	<p>Plan Nacional de Transporte 2011-2035</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conservar y rehabilitar los puertos de navegación. • Mejorar y ampliar la Terminal de Contenedores de Moín.
Importación vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actualizar la regulación para la importación de vehículos de carga nuevos y usados.
Venta vehículos	No medidas directas
Operación vehículos	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tren Eléctrico Limonense de Carga (TELCA) en operación. <p>Plan Logística de Cargas 2014-2034</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limitar el acceso de los camiones de carga a centros urbanos. • Reforzar control de emisiones.
Inspección vehículos	Sin medidas directas para CCVC.
Mantenimiento vehicular	Sin medidas directas para CCVC.
Retiro vehículos	Sin medidas directas para CCVC.
Acciones sistémicas	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar la viabilidad de electrificar el transporte de carga con hidrógeno en el corto y mediano plazo.

-
- Desplegar regulaciones, incentivos, procesos de información y financiamiento consolidado para tecnologías cero emisiones para transporte de carga.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

- Habilitar estímulos fiscales para el uso de hidrógeno en el transporte de carga.

Plan Logística de Cargas 2014-2034

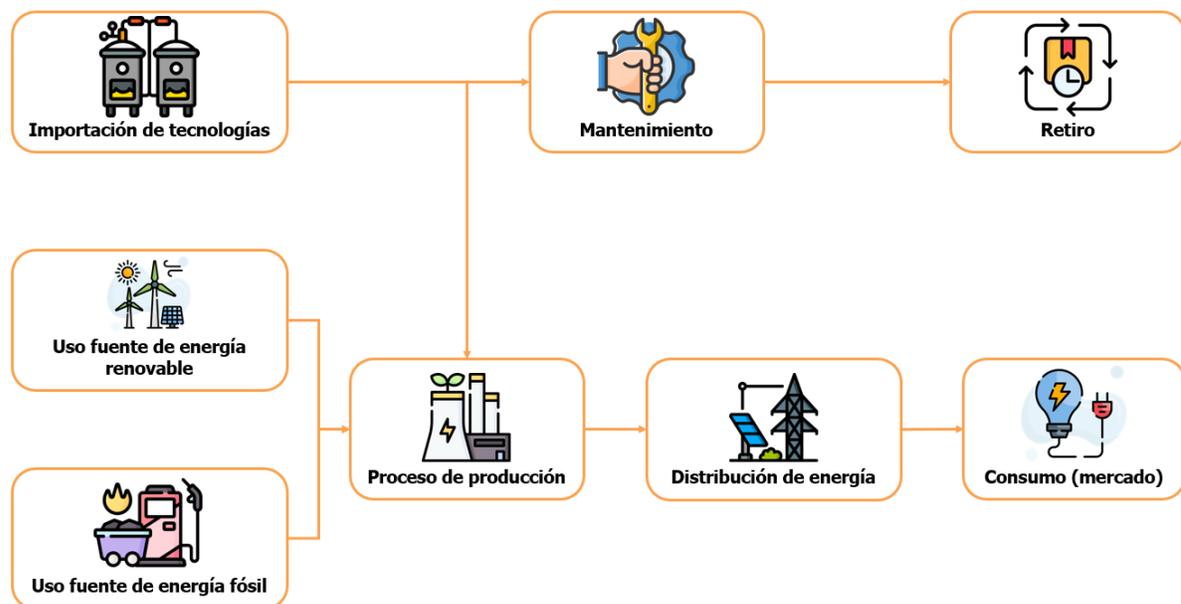
- Generar datos para mejorar la planificación del transporte de carga.
 - Reforzar la infraestructura logística para incrementar la eficiencia en el trasiego de mercancías, considerando la participación público-privada.
-

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Sector energía

El subsector correspondiente a la generación de energía abarca la industria, el comercio y los servicios de la ciudadanía. La **Figura 9** muestra la cadena de valor de este sector. Para empezar, se importa la tecnología que se utilizará para la generación energética en los procesos industriales. A lo largo de la vida útil de los equipos se les da un mantenimiento hasta que son retirados. Durante la operación de las plantas, se genera energía a partir de combustibles fósiles, biomasa o electricidad. En plantas eléctricas, esta energía se distribuye hasta llegar al consumidor final. Las decisiones de producción están influenciadas por la demanda de los consumidores. En el sector residencial de Costa Rica, también se genera energía en los mismos hogares con fuentes como la madera.

Figura 9. Cadena de valor del sector energía.



Fuente: Elaboración propia.

El **Cuadro 5** muestra un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. El Cuadro que contiene todas las acciones encontradas se puede consultar en el Apéndice **8.1**. Las políticas públicas que se utilizaron para el sector de energía son el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (PND), el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP), el Plan de Expansión de la Generación 2022-2040, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, y la Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI). Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Cuadro 5. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector de energía (MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
<p>Importación de tecnologías</p>	<p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover tasas de interés preferenciales y mayores plazos de financiamiento para el desarrollo de proyectos de hidrógeno. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Evaluar tecnología de red inteligente para la gestión de la demanda de los vehículos eléctricos.
<p>Mantenimiento</p>	<p>Sin medidas directas para CCVC.</p>
<p>Retiro de tecnologías</p>	<p>Sin medidas directas para CCVC.</p>
<p>Uso fuente de energías renovables</p>	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Continuar las inversiones para satisfacer la demanda eléctrica, manteniendo una matriz diversificada y renovable baja en emisiones. <p>Plan sde Expansión de la Generación 2022-2040</p> <ul style="list-style-type: none"> Instalar 1 775 MW de energía solar y eólica en el país al 2040, para asegurar una oferta eléctrica renovable. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Planificar el sistema eléctrico nacional considerando los recursos energéticos renovables distribuidos. Implementar un procedimiento para el monitoreo y la gestión de los recursos energéticos distribuidos (GD, almacenamiento de energía, otros).
<p>Uso fuente de energías fósiles</p>	<p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <p>Eliminar subsidios a los combustibles fósiles.</p>
<p>Proceso de producción</p>	<p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Continuar con la integración de generación distribuida y almacenamiento de energía de forma segura en la red. Incorporar en la operación del sistema eléctrico los servicios auxiliares ofrecidos por los recursos energéticos distribuidos.

<p>Distribución de energía</p>	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Fortalecer el despliegue masivo de una red eléctrica inteligente “smart grid” para mejorar precios por almacenamiento, con lo que se manejaría la demanda. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Gestionar las pérdidas eléctricas y los sistemas de alumbrado público mediante las redes inteligentes.
<p>Consumo (mercado)</p>	<p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Dotar a la red eléctrica de inteligencia para mejorar su operación técnica mediante la automatización y el acceso a los datos de la red y de los usuarios. Conocer el perfil de carga de los vehículos eléctricos en el sector residencial mediante la medición inteligente. Incluir la demanda de vehículos eléctricos en el plan de expansión de la generación eléctrica y transmisión. Brindar a los usuarios el acceso a la información de la medición inteligente para la gestión de su demanda.
<p>Acciones sistémicas</p>	<p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> Conformar alianzas público-privadas para mejorar y escalar prácticas productivas adaptadas a reducir pérdidas, daños y asegurar la continuidad de servicios, como la energía.

Fuente: Elaboración propia

Debido a que la matriz eléctrica del país es en su mayoría renovable, este subsector no representa un problema correspondiente a la generación de CCVC. Sin embargo, el sector industrial posee una amplia participación de fuentes fósiles para la generación de energía. Por su parte, el sector residencial ha disminuido paulatinamente el uso de madera, no obstante, esta aún es utilizada para generación de energía en los hogares. Estos combustibles elevan las emisiones de metano y carbono negro. Por otro lado, y como se mencionó anteriormente, gran parte de los esfuerzos del país están enfocados en electrificar el sector transporte, por lo que el reto para el sistema eléctrico es mantener una matriz renovable eficiente que sustente el aumento de demanda por electrificación del transporte y otros sectores.

Acciones enfocadas en la generación distribuida a partir de energías renovables como las planteadas en el Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 podrían disminuir las emisiones de CCVC generadas en el sector industrial y en los hogares. Por su parte, la penetración de más energías renovables no convencionales, planteada en el Plan de Expansión de la Generación 2022-2040, permitiría continuar los esfuerzos por mantener y ampliar una matriz energética renovable en el país.

A pesar de que las acciones encontradas en las políticas públicas plantean un rumbo hacia una matriz energética renovable, se debe tomar en cuenta las variaciones experimentadas en el clima. Durante los primeros meses del año 2023 se indicó un aumento en el uso de combustibles fósiles para la generación eléctrica. Esto debido a que la matriz eléctrica del país se sustenta principalmente en energía hidroeléctrica, y el fenómeno del Niño causó escasez de agua. Este tipo de situaciones se prevé que se mantendrán en el corto y mediano plazo, por lo que es necesario implementar medidas que permitan diversificar la matriz energética del país, manteniendo su carácter renovable debido a los compromisos nacionales e internacionales (CONARE, 2023).

3.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC

En esta subsección se describen las condiciones planteadas para el escenario de políticas públicas. Para definir estas condiciones se agruparon las acciones descritas en las políticas públicas en “medidas de mitigación”, a las cuales se les asoció un “supuesto” que corresponde a los valores numéricos utilizados para simular cada medida.

Las medidas de mitigación para el sector de energía y transporte se enfocan en la reducción de emisiones de carbono negro debido al uso de combustibles fósiles en el transporte. En el **Cuadro 6** se presentan los supuestos incluidos en el modelo para simular este escenario.

Cuadro 6. Supuestos considerados para el sector de energía y transporte.

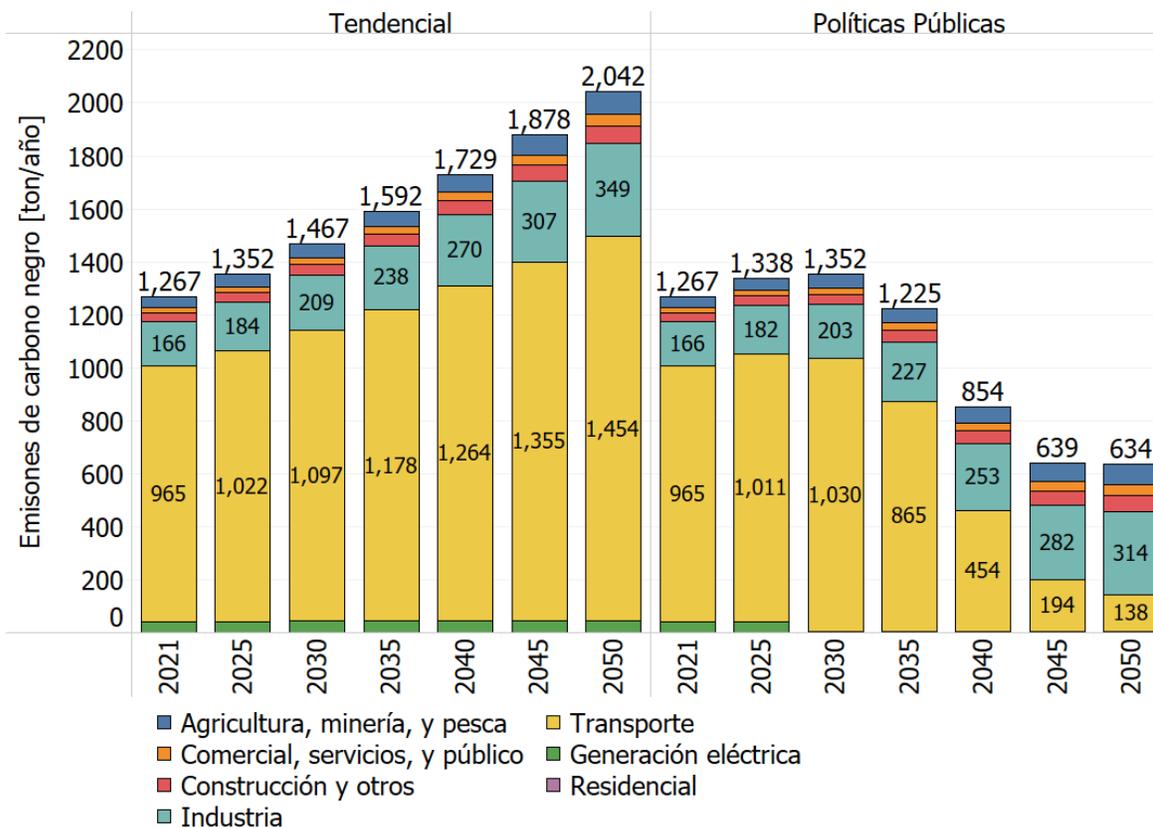
Medida de mitigación	Supuesto	Referencia
Adopción del transporte público	Transición de transporte privado a público de: 7.5% en 2035. 20% en 2050.	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Adopción del transporte no motorizado	Transición de transporte privado a transporte no motorizado de: 4% en 2035. 10% en 2050.	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Penetración de hidrógeno en la flota	Penetración de hidrógeno en la flota de: 5% en 2035. 10% en 2050.	<u>Victor-Gallardo, L., & Quirós-Tortós, J. (2023)</u>
Tren de carga y mejoras logísticas	10% de las toneladas-kilómetro de carga pesada se desplazan a tren de carga en el 2050.	<u>Victor-Gallardo et al., 2023 // Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Electrificación de la flota para la carga pesada	Electrificación de la flota de: 10% en 2040. 85% en 2050.	<u>Victor-Gallardo, L., & Quirós-Tortós, J. (2023)</u>
Electrificación de la flota para la carga liviana	Electrificación de la flota de: 5% en 2035. 85% en 2050.	<u>Victor-Gallardo, L., & Quirós-Tortós, J. (2023)</u>
Electrificación del transporte privado	Electrificación de la flota de: 35% en 2035. 99% en 2050.	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Mejora del rendimiento por kilómetro de los vehículos	Aumentar el rendimiento por kilómetro de los vehículos en 1% anual	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Electrificación del transporte público (buses y microbuses)	Electrificación de la flota de: 30% en 2035 85% en 2050	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>
Electrificación del transporte público (taxis)	Electrificación de la flota de: 35% en 2035 90% en 2050	<u>Godínez-Zamora et al., 2020</u>

3.4. Resultados de modelación para el sector Energía y transporte

En esta subsección se exploran los resultados para el sector energía y transporte. En la **Figura 10** se presentan las emisiones de carbono negro anuales para cada subsector energético, incluyendo el sector transporte. El escenario tendencial presenta un crecimiento

progresivo de las emisiones en el tiempo debido al aumento de la demanda por el crecimiento natural de la población. Por otro lado, el escenario de políticas públicas muestra una reducción de las emisiones, específicamente en el sector transporte. Esto debido al conjunto de políticas públicas que reducen el consumo de combustibles fósiles, tales como la penetración de hidrógeno, a la progresiva electrificación de la flota vehicular, el uso de transporte no motorizado, y las mejoras en el rendimiento por kilómetro de los vehículos.

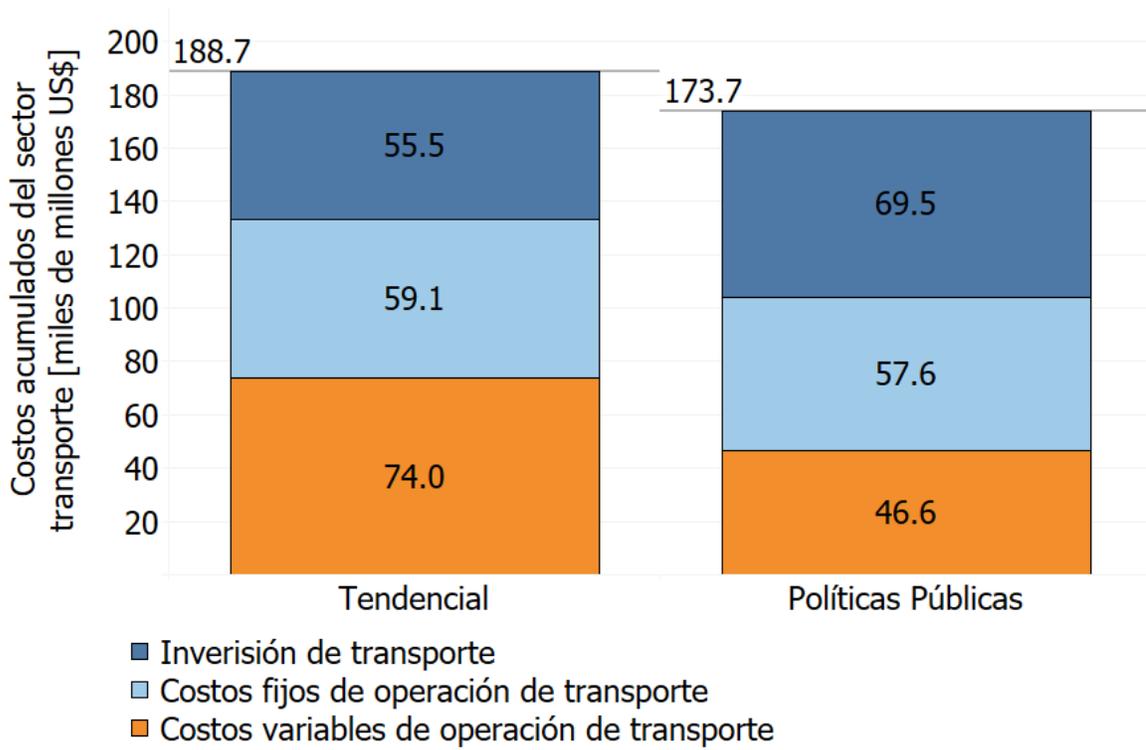
Figura 10. Emisiones de carbono negro por subsector energético, escenario y año.



Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 11** ilustra los costos acumulados del sector transporte descontados a valores actuales del año 2023. En el escenario de políticas públicas, los costos operativos, representados en anaranjado, muestran un ahorro significativo de aproximadamente 22,900 millones de dólares estadounidenses (MUSD). Este ahorro se debe al aumento de circulación de vehículos eléctricos y la utilización del transporte público y de medios no motorizados. Por otro lado, la inversión en transporte, visualizada en azul, experimenta un incremento en el mismo escenario, atribuible a la penetración de transporte con hidrógeno y de vehículos eléctricos, siendo los vehículos de carga pesada los que requieren una mayor inversión. Asimismo, los costos fijos de operación, indicados en celeste, se disminuyen en aproximadamente 400 MUSD en el escenario de políticas públicas en comparación con el escenario tendencial.

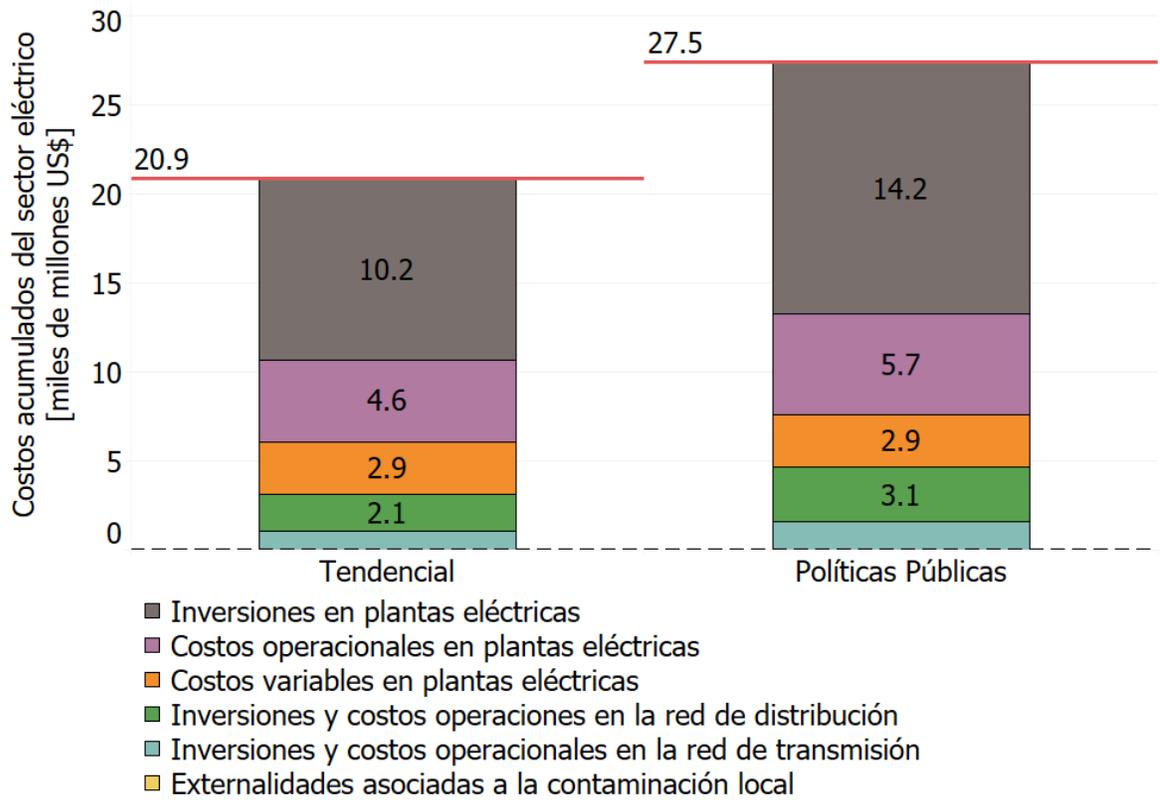
Figura 11. Costos totales acumulados para el sector transporte por escenario.



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Costos totales acumulados para el sector transporte por escenario.



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

Fuente: Elaboración propia.

4. Sector Agricultura y Ganadería

4.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Agricultura

El sector de agricultura en Costa Rica contabiliza las emisiones de GEI que suceden por el uso de suelos agrícolas y otros procesos como la fermentación entérica y la combustión de biomasa (IMN y MINAE, 2021, p. 177). Las actividades provenientes de este sector generan gases de efecto invernadero, sobre todo de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono.

Según datos del Inventario Nacional, en el año 2017 el sector de agricultura contabilizó una contribución de 2,962.8 Gg de CO₂ eq. Por tipo de gas, el metano es el mayor contribuyente de GEI del sector, contabilizando para el año 2017 101.04 Gg de CH₄, seguido del CO₂ con 65.95 Gg y 2.50 Gg de N₂O. A nivel de procesos y actividades, el 62.3% del total de emisiones de CO₂eq provienen de la fermentación entérica³, seguido por el N₂O en suelo con 20 %. La menor emisión es la debida al quemado de biomasa en pastizales con 0.1 % del total del sector (IMN y MINAE, 2021 p.178). Para este sector, ha habido una reducción significativa (20,9 %) en las emisiones entre la década los 90 y comienzos de los 2000. A partir del año 2005, el sector se ha mantenido en una estabilidad con leves fluctuaciones en su contribución (IMN y MINAE, 2021). Según la Cuarta Comunicación Nacional para el año 2020 el sector de agricultura se encontraba entre los sectores con mayores acciones de mitigación (Dirección de Cambio Climático, 2021).

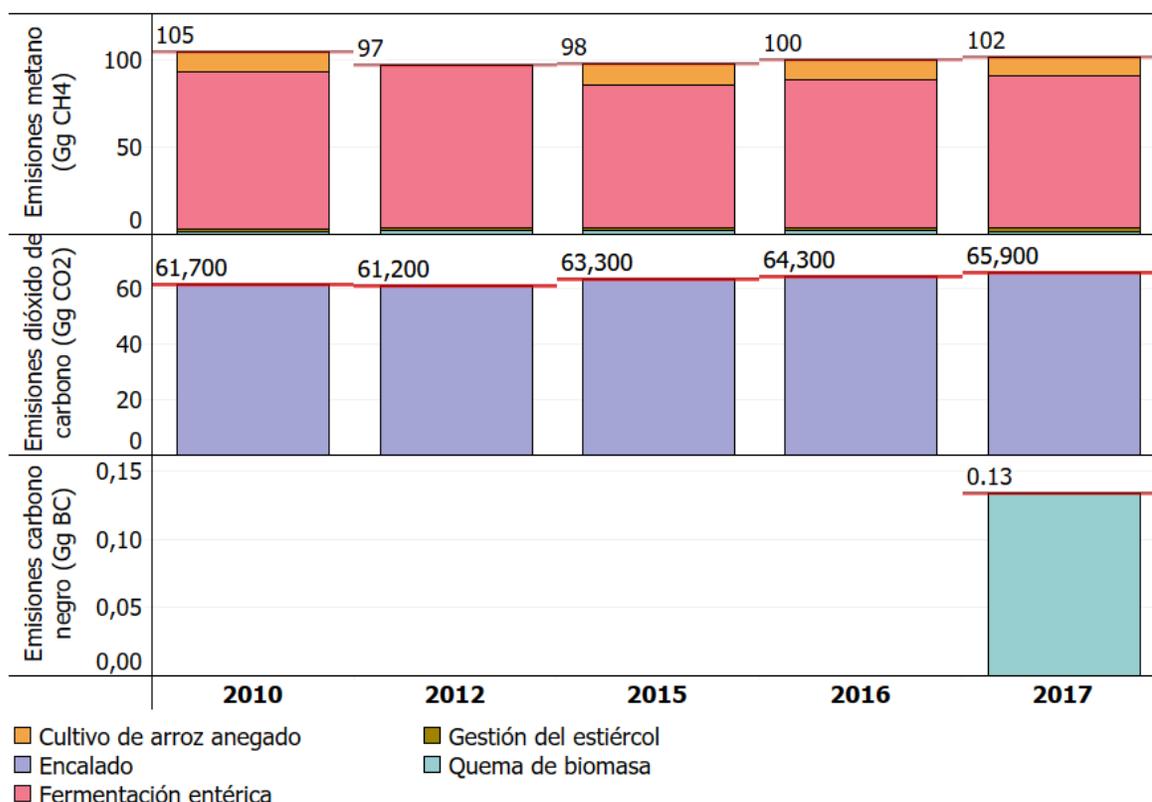
En la **Figura 13** se muestran las emisiones desagregadas por tipo de gas y subsector responsable. Para el gas metano, la mayor fuente de emisión es la actividad de fermentación entérica. En Costa Rica esto se debe al sistema de producción basado en el pastoreo, el cual produce un subproceso de fermentación anaeróbica del alimento consumido, mayormente pastos, que ocurre en el rumen, lo que genera emisiones de metano. La fermentación entérica es un proceso que se da por bovinos, ovinos, caprinos, búfalos de agua, caballos, mulas y cerdos (IMN y MINAE, 2021, pp.180). En el caso de la gestión del estiércol, la cual representa el 7% de las emisiones del sector, se cuantifica la emisión de metano producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica del estiércol de ganado durante su manejo y la emisión directa de N₂O (IMN y MINAE, 2021, pp.185).

Las emisiones de metano provenientes del cultivo de arroz se producen por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica bajo sistemas de producción de bajo anegamiento (inundado) (IMN y MINAE, 2021, pp.210). Estas emisiones se dan en función de la cantidad y la duración de los cultivos que, por estar ciertos periodos inundados, producen las emisiones. En Costa Rica, los niveles de siembra inundada son inconsistentes y dependen

³ La fermentación entérica es el proceso digestivo que ocurre en los ruminantes, donde microorganismos ruminales descomponen carbohidratos complejos como la celulosa, en moléculas simples para favorecer su absorción, siendo uno de los subproductos el metano (IMN, MINAE, 2021, p.180)

de factores como el precio y el financiamiento. La emisión más baja se ha estimado para 2008 (muy similar a la de 2006), mientras que la mayor emisión se observó en el 1999, los cuales corresponden a los años con la menor y mayor área sembrada en el período referenciado.

Figura 13. Emisiones del sector agricultura y ganadería asociadas a CCVC, desagregados por actividades.



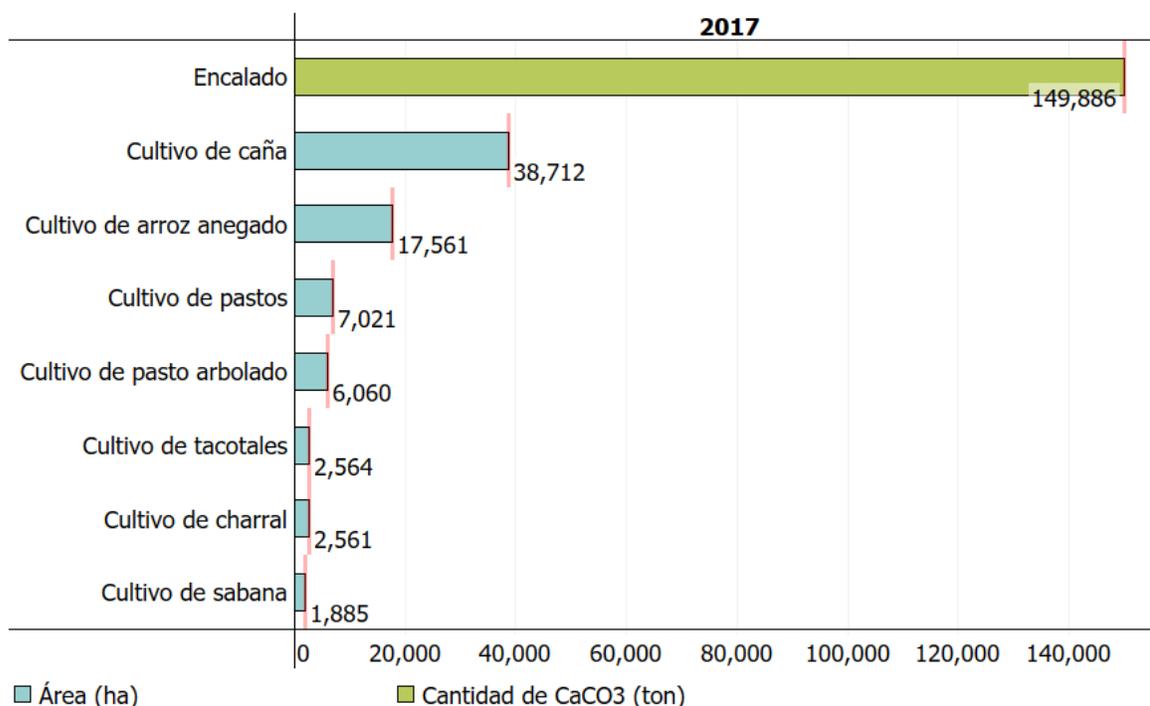
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

La actividad de encalado está asociada a la generación de dióxido de carbono. El encalado se emplea para reducir la acidez del suelo y mejorar el crecimiento de los cultivos. Los químicos utilizados para esta actividad se disuelven y liberan bicarbonato, que se convierte en CO₂ y agua. Por otro lado, en el país se contabilizó las emisiones de carbono negro en el año 2017. Estas emisiones se dieron principalmente por la quema de biomasa en cultivos, en caña y pastizales.

En la **Figura 14**, se puede apreciar los niveles de actividad asociados al sector de agricultura para el 2017. A pesar de que el uso de encalado es elevado en el país, esta actividad sólo contribuye en un 2.2 % en la contabilización final de las emisiones de dióxido de carbono equivalente. En cuanto a los cultivos, el que tiene mayor superficie es el cultivo de caña, sin embargo, el cultivo de arroz anegado es el responsable del 7.4 % de las emisiones totales

del sector, lo cual está asociado a las emisiones de metano provenientes de este (**Figura 7**) (IMN y MINAE, 2021).

Figura 14. Nivel de actividad del subsector agricultura del sector agrícola.

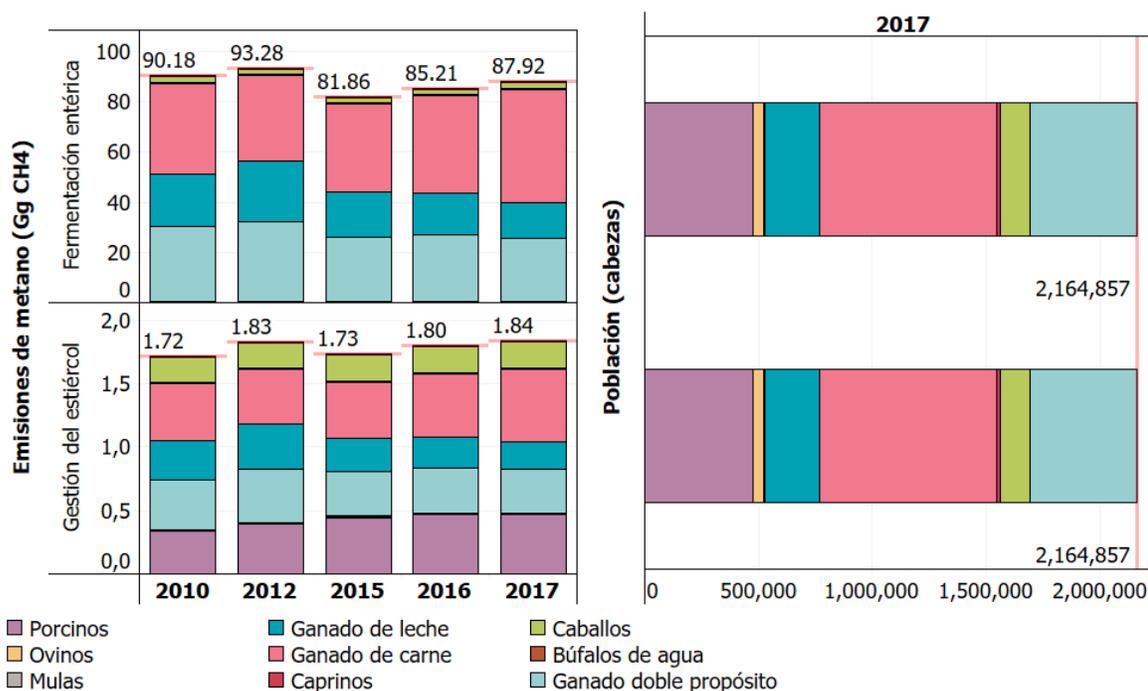


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

Por otro lado, la **Figura 15** muestra la actividad asociada a la población de animales del sector agrícola. La mayor parte de las emisiones de metano provienen de los bovinos, espacialmente del sistema de producción de carne. Históricamente, esta actividad ha sido el mayor emisor, reportando un 77.90 % de emisiones en el año 1990. Sin embargo, presentó una rebaja considerable al año 2017, pasando a un 45.34 % de las emisiones. El ganado de doble propósito es el segundo mayor contribuyente, y para el 2017 contabilizó el 25.09 % de las emisiones. El ganado de leche representa el 14.18 % de las emisiones, siendo estas tres actividades las principales emisoras de metano (IMN, MINAE, 2021). Cabe destacar que los porcinos, a pesar de ser la segunda mayor población de los animales agrícolas, no tienen una contribución significativa en las emisiones de metano, debido a que su factor de emisión es 1 kg CH₄/cabeza año.

Las emisiones por gestión de estiércol se ocasionan debido a que no se hace ningún tipo de tratamiento al estiércol (a excepción de los sistemas de producción de leche), los cuales quedan distribuidos en los campos de pastoreo. Para el 2017 sus emisiones de metano fueron de 1.841 Gg de CH₄, con un aporte del 31.3% del sistema de producción de carne. Esto se da debido a que este sistema de producción de carne y cría tienen la mayor población de los 3 tipos de sistemas de producción.

Figura 15. Nivel de actividad de la población de animales del sector agrícola y sus emisiones.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

En relación con lo anterior, Costa Rica posee una serie de planes y estrategias para reducir o evitar las emisiones de CCVC asociadas al sector agrícola. El informe realizado por Rocard y Gallardo (2020) identificó una serie de instrumentos públicos y acciones con los que se desarrollaron medidas de mitigación relacionadas a la hoja de ruta de este sector. Dichas acciones se centraron en las actividades relacionadas directa o indirectamente con la ganadería y el manejo de residuos agrícolas. Se partió de las medidas del Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, la Estrategia Para la Ganadería Baja en Carbono de Costa Rica y la Estrategia REDD+.

Las medidas que tomaron relevancia en el informe realizado por Rocard y Victor (2020) sobre CCVC estuvieron vinculadas principalmente al aumento en el rendimiento de la producción de carne y leche, las prácticas de ganadería sostenible que permitieran el aumento de la carga animal, la compactación de los esquemas productivos y, de manera indirecta, las medidas relacionadas con el aumento de la cobertura boscosa en el país. Por otra parte, las medidas relacionadas a los residuos agrícolas estuvieron asociadas al compostaje y reutilización.

Entre el año 2019 y mediados del 2023, la ambición climática del sector agricultura y ganadería ha aumentado, especialmente por las metas y aportes de la NDC y otras políticas públicas. A continuación, se muestran estas políticas y las principales acciones asociadas a las emisiones de CCVC.

- 1. Contribución Nacionalmente Determinada (2020):** La NDC de Costa Rica se compromete al año 2030 a aplicar sistemas productivos bajos en emisiones en café, ganadería, caña de azúcar, arroz y musáceas. Para el mismo año, se propone que el 70% del hato ganadero y 60% del área dedicada a la ganadería implementarán sistemas productivos bajos en emisiones y que incorporarán medidas de adaptación y resiliencia. En el caso los residuos agrícolas, al año 2025 se propone impulsar un sistema de economía circular de las fincas agropecuarias considerando integralmente el proceso de biodigestión y la recarbonización del suelo a través del uso de tecnologías que aumenten los niveles de carbono orgánico en suelo (COS).

- 2. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016):** Para el sector agrícola se propone al 2025 impulsar la economía circular con fincas ganaderas mediante la implementación de programas de biodigestores, y al 2050 utilizar la tecnología pecuaria más avanzada de acuerdo con estándares de sostenibilidad, competitividad, bajas emisiones y resiliencia a los efectos del cambio climático. Para esto, se enlistan las siguientes acciones del Plan:
 - Impulsar el acompañamiento técnico, en especial con TICs.
 - Desarrollar economía circular de las cadenas de valor de la carne y la leche para generación de biomasa a partir de residuos agrícolas orgánicos.
 - Consolidar la Estrategia Ganadera en Carbono.
 - Regular y fiscalizar el pago de servicios ambientales por buena gestión de las fincas.
 - Implementar tecnologías eficientes.
 - Capacitar, y realizar trabajo de extensión y transferencia de tecnología.
 - Estudiar opciones tecnológicas del manejo de la alimentación y reducción de la metanogénesis.
 - Fomentar productos bajos en carbono
 - Implementar Investigación e Innovación Cobertura Forestal de Finca, junto a mecanismos de mercado.
 - Desarrollar factores de emisión nacionales a nivel ganadero.
 - Consolidar MVR del subsector y alimentar SINAMMEC.
 - Estudiar opciones tecnológicas del manejo de la alimentación y reducción de la metanogénesis.
 - Estudiar opciones tecnológicas del manejo de excretas y aguas.
 - Realizar el segundo escalamiento de la NAMA ganadería en 33% de las fincas
 - Educar y concientizar de la generación y manejo de residuos.
 - Implementar instrumentos para potenciar economía circular en sector agropecuario.
 - Implementar financiamiento a escala.
 - Realizar una transformación a escala hacia ganadería eco- competitiva y baja en carbono.

- 3. Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono 2015-2034 (2015):** En este documento se indica que desde el 2015 hasta el 2020 se avanzó en la generación de condiciones habilitadoras para transformar el sector ganadero hacia un modelo bajo en carbono, eficiente y productivo. Los acuerdos sectoriales han priorizado impulsar la descarbonización del sector de manera gradual, con reducción de emisiones GEI y aumento de la captura de CO₂ (IMN, 2020). Entre sus metas destaca reducción del área total de pastos a una tasa anual del 1% y un aumento del área de pastos con buen manejo a una tasa de 1% a 2% anual sobre la tendencia en la línea base. De igual manera, se busca reducir las emisiones de GEI por animal a una tasa anual del 2 % y reducir las emisiones totales a partir del año 10 a una tasa anual del 1%.
- 4. NAMA Ganadería Costa Rica (2016):** Entre sus objetivos destaca la mitigación de emisiones de GEI, aumentar la productividad de la actividad económica del sector y servir como medida de adaptación al cambio climático. Busca alcanzar un sector ganadero más eco-competitivo. Para esto, la Estrategia propone las siguientes acciones:
- Implementar el pastoreo racional para mejorar la digestibilidad de los forrajes a los cuales los animales tienen acceso, con lo que se disminuyen las emisiones de metano por fermentación entérica.
 - Implementar cercas vivas para captura de carbono.
 - Mejorar pasturas para captura de carbono.
 - Mejorar la fertilización, reduciendo emisiones por fertilizantes.
 - Aumentar la cobertura boscosa para captura de carbono.
- 5. NAMA Arroz Costa Rica (2020):** Esta estrategia busca lograr un cambio transformacional en la cadena de valor del cultivo, industria y comercialización del arroz. Se propone una mitigación acumulada entre -78.2 Gg de CO₂eq y -622.5 Gg de CO₂eq para el 2030. Para esto se establecen las siguientes acciones:
- Pasar de arroz anegado a riego con la metodología de drenajes múltiple Mojado y Secado Alternos o Alternate Wetting and Drying AWD⁴.
 - Realizar riegos intermitentes donde el suelo tiene periodos inundados y secos de manera intermitente, permitiendo aireación del suelo.
 - Implementar tiempos de aireación adecuados para evitar estrés hídrico en la planta, y no comprometer la productividad.
 - Aplicar urea luego de drenar el terreno y cuando el suelo arcilloso se agrieta, para que quede atrapada y se reduzcan pérdidas por volatilización.
 - Usar fertilizantes de liberación lenta, inhibidores de ureasa, lo que reduce la volatilización de nitrógeno.

⁴ Para más información sobre este método, visitar [Rice farming: saving water through Alternate Wetting Drying \(AWD\) method | FAO](#)

- Aplicar fertilizantes en los momentos y cantidades óptimos según: necesidades de la planta, fertilidad del suelo, rendimiento esperado, y recomendaciones técnicas de CONARROZ.
- Utilizar sistemas naturales de mejora de la fertilidad del suelo. Por ejemplo, rotación de cultivos, cultivos intercalados y/o cultivos de cobertura no invasivos, barbecho con abono verdes para incorporar al suelo, rotación con leguminosas fijadoras de nitrógeno.
- Aplicar material orgánico (p.e., estiércol animal, abono verde, mantillo, paja de arroz) solo cuando las condiciones son favorables (p. e., materia orgánica o desechos en estado compostado se le da suficiente tiempo para su descomposición antes de la inundación).
- Optimizar el uso de variedades mejoradas, priorizando su adaptabilidad a las condiciones locales y su duración (días/ciclo)

6. Plan Nacional de Agricultura Familiar 2020-2030 (2020): Es una estrategia incipiente y aun en desarrollo, pero con un posible efecto de cambio dentro de las formas de gestión de finca, lo cual puede tener un impacto en la disminución de emisiones de gases GEI y CCVC.

7. Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022 (2018): Tuvo el objetivo de contribuir con el fortalecimiento de la capacidad del Estado para definir objetivos, establecer prioridades, formular metas y asignar recursos, así como dar seguimiento y evaluar los diferentes instrumentos políticos. Entre las intervenciones contempladas en este Plan en relación con el sector ganadero, se identificó el desafío de mejorar el desarrollo agropecuario sostenible a través de aplicar un mayor número de fincas ganaderas NAMA e implementar una producción agropecuaria bajo el modelo de producción orgánica sostenible. A partir de esto, se desarrollaron varios indicadores de seguimiento de alta vinculación indirecta con la mitigación de CCVC, los indicadores con sinergias en este tema fueron:

- Número de fincas ganaderas aplicando el modelo NAMA
- Reducción de emisiones de CO₂ equivalente t/año aplicando el modelo NAMA Ganadería
- Número de sistemas de producción con actividad agropecuaria, bajo el modelo de producción orgánica sostenible
- Toneladas métricas de semilla sometidas a Control Oficial de Calidad.

8. Plan de Intervenciones Estratégicas 2019-2022 (2020): Parte de los lineamientos presentados en el PNDIP y de los objetivos del Plan Nacional de Descarbonización que busca consolidar modelos ganaderos basados en la eficiencia productiva, disminución de GEI, y aumentar las opciones para los productores para adaptar la tecnología más avanzada (MAG, 2020).

9. Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026 (2022): En este Plan se expone el objetivo de reducir 157.060 toneladas métricas de CO₂eq por la

aplicación del modelo NAMA, donde 1,632 fincas apliquen la NAMA Ganadería. De igual manera, busca implementar una agricultura de paisaje sostenible, y que al 2026 un 10 % de las personas apliquen Buenas Prácticas Agrícolas.

A manera de comparación, entre la situación del 2019 y la del 2023, se identifica que las políticas de mayor peso siguen siendo la Estrategia para la Ganadería Baja en Carbono de Costa Rica y el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, los cuales son ejes de los objetivos políticos de mitigación. Las acciones concretas para el subsector ganadero se siguen sosteniendo de las mejoras tecnológicas como el pastoreo racional, la implementación de cercas vivas, las mejoras en los pastos y la mejora en planes de fertilización (MAG, 2016).

De este modo, la intervención estratégica más importante en el tema de mitigación es el desarrollo de modelos de producción sostenibles en fincas ganaderas y agrícolas a través de los mismos indicadores de intervención señalados arriba en el PNDIP. Otros objetivos ligados a la mitigación y la producción sostenible son brindar servicios de asistencia técnica, capacitación e información en sistemas productivos para la promoción y fomento de la producción sostenible y mejorar y fomentar la producción orgánica.

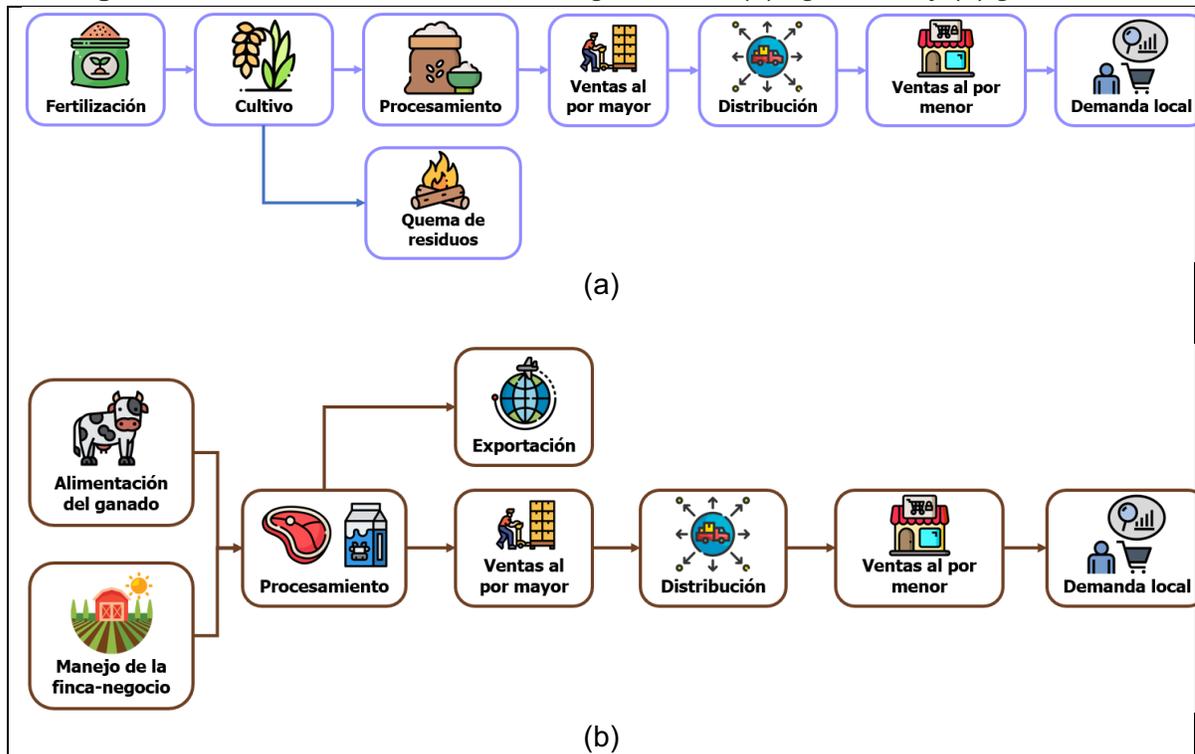
4.2. Cadena de valor del sector Agricultura y Ganadería

Según cifras del año 2022, el sector agropecuario de Costa Rica emplea a cerca de 215 mil personas, lo representa 10% de la población ocupada en Costa Rica y 30% de los empleos de las zonas rurales (Umaña, 2021a; INEC, 2022; Procomer, 2022, citado de Pasamontes y Monge, 2022). Este abarca las actividades de fertilización, cultivo y quema de residuos biomásicos. Por su parte, el subsector ganadero toma en cuenta el ganado de leche, ganado de carne, búfalos de agua, ovinos, caprinos, caballos, mulas y porcinos.

La **Figura 16** muestra la cadena de valor de este sector. En agricultura (**Figura 16 (a)**), la cadena empieza con la fertilización de los cultivos ya sea con compuestos químicos u orgánicos. Los residuos del cultivo que no se envían a procesar, se queman. La cosecha se envía a una etapa de procesamiento industrial para obtener un producto de consumo. Este producto se vende al por mayor, y se distribuye a mercados locales, como supermercados, para su venta al por menor. La dinámica de la cadena de valor está condicionada por la situación de la demanda local de consumo de cada producto cosechado.

La **Figura 16 (b)** muestra la cadena de valor para el sector ganadero. En esta la producción empieza en las fincas, con el manejo del negocio y la alimentación del ganado. Una vez alcanzadas ciertas características, los animales pasan a un procesamiento, ya sea para producción de carne o leche. Los productos obtenidos se exportan o comercializan a nivel nacional, por medio de ventas al por mayor o ventas al por menor. Al igual que para la ganadería, la cadena de valor está condicionada por demanda de carne o productos lácteos.

Figura 16. Cadena de valor del sector agrícola con (a) agricultura y (b) ganadería.



Fuente: Elaboración propia.

El **Cuadro 7** y **Cuadro 8** muestran un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. Las políticas públicas que se encontraron para el sector de agricultura y ganadería son la Contribución Nacionalmente Determinada, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (PND), el NAMA Arroz Costa Rica, la Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono 2015-2034, y el NAMA Ganadería Costa Rica. Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Cuadro 7. Acciones de la cadena de valor del sector agricultura.

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Fertilizantes	<p>Contribución Nacionalmente Determinada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Usar fertilizantes de liberación lenta, inhibidores de ureasa, lo que reduce la volatilización de nitrógeno. • Aplicar fertilizantes en los momentos y cantidades óptimos según: necesidades de la planta, fertilidad del suelo, rendimiento esperado, y recomendaciones técnicas de CONARROZ.
Procesamiento	<p>NAMA Arroz Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar sistemas productivos bajos en emisiones en café, ganadería, caña de azúcar, arroz y musáceas. • Pasar de arroz anegado a riego con la metodología de drenajes múltiple (AWD¹ por sus siglas en inglés). • Realizar riegos intermitentes si el suelo tiene periodos inundados y secos intermitentes, permitiendo su aireación. • Implementar tiempos de aireación adecuados, evitando estrés hídrico, sin comprometer la productividad. • Aplicar urea luego de drenar el terreno y cuando el suelo arcilloso se agrieta, para que quede atrapada y se reduzcan pérdidas por volatilización. • Utilizar sistemas naturales de mejora de la fertilidad del suelo. Por ejemplo, rotación de cultivos, cultivos intercalados y/o cultivos de cobertura no invasivos, barbecho con abono verdes para incorporar al suelo, rotación con leguminosas fijadoras de nitrógeno. • Aplicar material orgánico (p.e., estiércol animal, abono verde, mantillo, paja de arroz) solo cuando las condiciones son favorables (p. e., materia orgánica o desechos en estado compostado se le da suficiente tiempo para su descomposición antes de la inundación). • Optimizar el uso de variedades mejoradas, priorizando su adaptabilidad a condiciones locales y duración.
Distribución	Sin medidas directas para CCVC.
Residuos agrícolas	<p>Contribución Nacionalmente Determinada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impulsar un sistema de economía circular en las fincas agropecuarias considerando la biodigestión y recarbonización del suelo, con tecnologías para aumentar los niveles de carbono orgánico en suelo (COS). <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impulsar la economía circular con fincas ganaderas mediante de implementación de programa biodigestores.

	<ul style="list-style-type: none"> Educar y concientizar de la generación y manejo de residuos.
Sistémicas	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar acompañamiento técnico, en especial con TICs. Implementar tecnologías eficientes. Implementar capacitación, trabajo de extensión y transferencia de tecnología. Consolidar MVR del subsector y alimentar SINAMMEC.

Fuente: Elaboración propia

Nota: ¹ Para más información sobre este método, visitar [Rice farming: saving water through Alternate Wetting Drying \(AWD\) method | FAO](#).

Cuadro 8. Acciones de la cadena de valor del subsector de ganadería.

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Manejo de finca	<p>Contribución Nacionalmente Determinada</p> <ul style="list-style-type: none"> Implementar sistemas productivos bajos en emisiones y que incorporan medidas de adaptación y resiliencia. <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar economía circular de las cadenas de valor de la carne y la leche para generación de biomasa a partir de residuos agrícolas orgánicos. Desarrollar regulación y fiscal en pago de servicios ambientales por buena gestión de las fincas. Estudiar opciones tecnológicas del manejo de excretas y aguas. <p>Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono 2015-2034</p> <ul style="list-style-type: none"> Reducir el área total de pastos a una tasa anual del 1% y aumentar el área de pastos con buen manejo a una tasa de 1% a 2% anual sobre la tendencia en la línea base. <p>NAMA Ganadería Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> Implementar cercas vivas para captura de carbono. Mejorar pasturas para captura de carbono. Mejorar la fertilización, reduciendo emisiones por fertilizantes. Aumentar la cobertura boscosa para captura de carbono.

Alimentación de ganado	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar opciones tecnológicas del manejo de la alimentación y reducción de la metanogénesis. <p>NAMA Ganadería Costa Rica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar pastoreo racional para mejorar la digestibilidad de los forrajes a los cuales los animales tienen acceso, con lo que se disminuyen las emisiones de metano por fermentación entérica. • Estudiar opciones tecnológicas del manejo de la alimentación y reducción de la metanogénesis.
Sistémicas	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fomentar productos bajos en carbono Investigación e Innovación Cobertura Forestal de Finca, junto a mecanismos de mercado. • Crear factores de emisión nacionales a nivel ganadero. • Consolidar MVR del subsector y alimentar SINAMMEC. • Implementar una transformación a escala hacia ganadería eco- competitiva y baja en carbono. • Implementar un segundo escalamiento de la NAMA ganadería en 33% de las fincas. • Educar y concientizar a la generación y manejo de residuos. • Implementar instrumentos para potenciar economía circular en sector agropecuario. • Desarrollar financiamiento a escala.

Fuente: Elaboración propia

En relación con la cadena de valor descrita en la **Figura 16**, los sistemas agroalimentarios en Costa Rica se basan producción, procesamiento y distribución, ya sea de demanda local o exportación. A partir de esta estructura, la contribución de Costa Rica para mitigación se ha enfocado en un compromiso a desarrollar sistemas agroalimentarios altamente eficientes que generen bienes de exportación y consumo local bajos en carbono y a consolidar un modelo ganadero basado en la eficiencia productiva y disminución de gases de efecto invernadero (MINAE, 2020). En complemento a lo anterior, el país ha impulsado la economía circular y la agricultura familiar como ejes complementarios para temas como los residuos agrícolas y sistemas de producción a pequeña escala.

La acción sistémica más importante del sector agropecuario ha sido impulsar sistemas productivos bajos en emisiones, a través de las NAMA (Acciones de Mitificación Nacionalmente Apropriadas, NAMA por sus siglas en inglés). En el caso de los cultivos nacionales, tanto el café como el arroz poseen estrategias políticas para la incorporación de criterios NAMA para transformar el sistema de producción. Para ambos cultivos las acciones de los planes se basan en el desarrollo de sistemas agroforestales, la incorporación de buenas prácticas agrícolas y tecnologías, y la creación de sistemas de incentivos y mecanismos financieros.

Para el cultivo del arroz, el cambio de los regímenes hídricos (pasar de arroz anegado a riego intermitente o drenajes múltiples) tendría un alto impacto en la mitigación. Sin embargo, su implementación representa una inversión elevada. Acciones relacionadas a la gestión de residuos como la implementación de compostaje y la generación de biomasa a partir de residuos agrícolas orgánicos se espera que tengan un impacto de mitigación importante; además, de acuerdo con los planes y visión del país, estas tendrían una viabilidad política y de sostenibilidad en el tiempo alta. El costo de estas acciones no representa un costo alto, por lo que poseen condiciones habilitantes para la implementación.

Para el subsector de Ganadería, se proponen las acciones NAMA, que se basan en el mejoramiento del manejo de finca a través de la implementación de sistemas de rotación de pastoreo. Por otro lado, el mejoramiento de la alimentación del ganado por medio del mejoramiento de los pastos gramíneos y de leguminosas resulta una acción necesaria, ya que a través de esto se reducirían las emisiones por fermentación entérica. Por último, la NAMA Ganadería propone aprovechar los lodos residuales de los biodigestores como fertilizantes en las fincas lecheras.

Las acciones NAMA Ganadería como la implementación de la práctica cercas vivas, la implementación de sistemas de rotación de pastoreo en armonía suelo-pasto-animal y la implementación de pastos mejorados poseen costos bajos, pero se espera que la una magnitud de impacto de mitigación también sea baja.

Si bien Costa Rica ha vinculado la necesidad de mejorar los sistemas de producción agrícola a través de los diferentes instrumentos de política, entes como la Cámara Nacional de Agricultura y Agroindustria (CNAA), consideran una desatención en el sector. Entre las

mayores barreras que enfrentan la implementación de las acciones de mitigación se encuentran las dificultades para el acceso a crédito (sólo un 3.3% de la banca estatal se destina al agro, en comparación al 35% en 1987), trabas legales que impiden modernizar el registro de agroquímicos a unos menos dañinos, débiles encadenamientos, y falta de políticas claras que permitan mejorar el desarrollo del sector (Murillo, 2019; Umaña, 2021b; CNAA, 2021, citado de Pasamontes y Monge, 2022).

A pesar de lo anterior, según el informe del Estado de la Nación del año 2023, se han registrado avances en la NAMA Ganadería: con una expansión sostenida, introducción de razas mejoradas, nuevas técnicas de crianza y alimentación, progresos en la infraestructura, y métodos de manejo (González et al., 2023b, citado del PEN, 2023)

4.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC

En esta subsección se describen las condiciones planteadas para el escenario de políticas públicas. Para definir estas condiciones se agruparon las acciones descritas en las políticas públicas en “medidas de mitigación”, a las cuales se les asoció un “supuesto” que corresponde a los valores numéricos utilizados para simular cada medida.

Las medidas que se proponen en el sector de agricultura abarcan acciones que involucran eliminar la quema de residuos agrícolas y realizar compostaje de un 5% de los mismos. Además, realizar el cambio del método de cultivo de arroz de seco a irrigado. Para el sector ganadería las medidas radican en establecer sistemas de gestión de estiércol como la biodigestión y adoptar medidas relacionadas con el suelo-pasto como la rotación de pastos y utilización de pastos mejorados, lo cual involucra la presencia de otras plantas como leguminosas. Por último, en relación con el manejo del ganado se considera la alimentación con pastos mejorados y la gestión sostenible de fincas, lo que se traduce en disminución del factor de emisión por fermentación entérica. El **Cuadro 9** destaca medidas y supuestos basados en políticas y planes que tienen objetivos concretos para reducir emisiones de CCVC en el país.

Cuadro 9. Supuestos considerados para los sectores de agricultura y ganadería.

Medida de mitigación	Supuesto	Referencia
Manejo de residuos	Compostaje del 5% de residuos agrícolas al 2050.	Estrategia de Economía Circular Costa Rica
Mejores en la gestión de estiércol	En el año 2025, el país impulsará un sistema de economía circular de las fincas agropecuarias considerando un aumento anual del 1% en la implementación del proceso de biodigestión. Disminución 5% del FE para tratamiento de excretas por mejoras en el sistema, empezando del 2025 y finalizando al 2035.	Estrategia de Economía Circular CR NAMA Ganadería Honduras
Mejoras en el manejo de ganado	Reducción de 10% en las emisiones de metano por cabeza de ganado de carne por alimentación con pastos mejorados al 2035.	NAMA Ganadería
Adopción de medidas suelo-pasto	Reducción de 6% en las emisiones de metano por cabeza de ganado de carne por rotación de pastoreo al 2035.	NAMA Ganadería
Mejoras en la gestión de fincas	A partir de 2024 el FE por fermentación entérica disminuirá en 7.5% para el 2030 y un 25% para el 2050.	Victor-Gallardo et al., 2022

Fuente: Elaboración propia

Nota: FE se refiere a factor de emisión

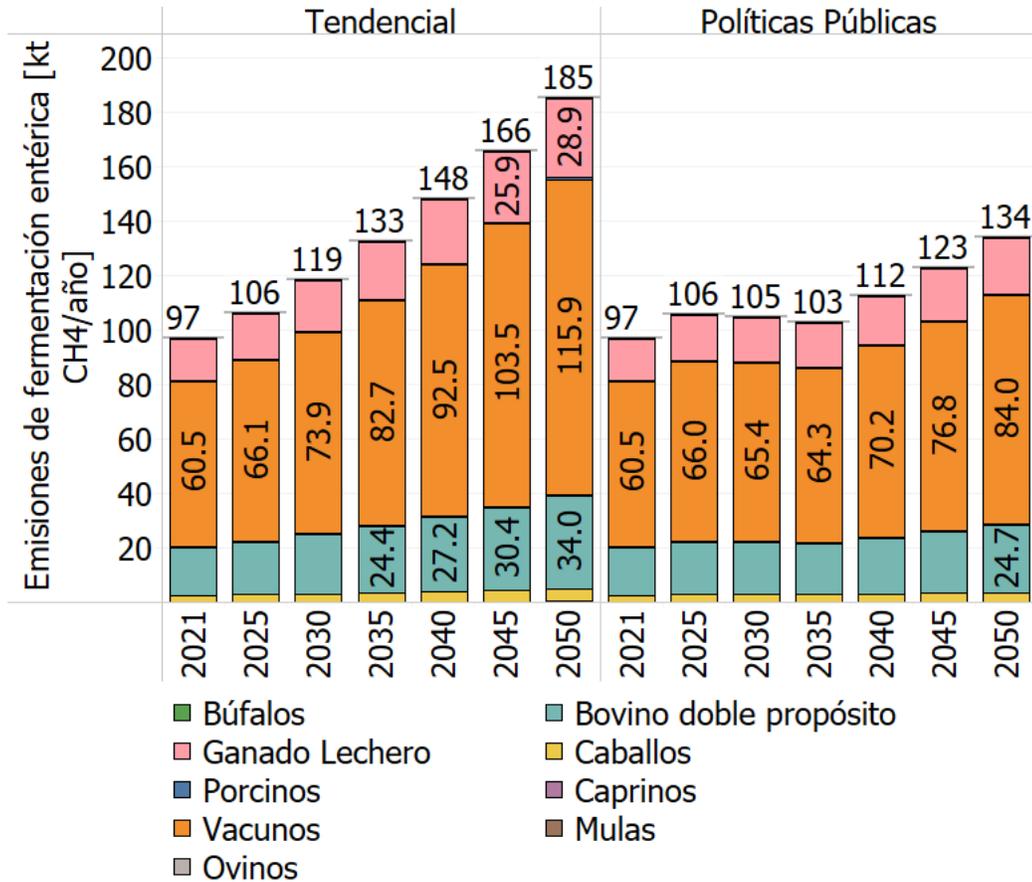
4.4. Resultados de modelación para el sector Agricultura y Ganadería

Esta subsección expone los principales resultados para el sector de agricultura y ganadería. La **Figura 17** ilustra las emisiones producidas en el proceso de digestión durante la crianza de diferentes especies ganaderas. Se observa una tendencia ascendente en las emisiones para ambos escenarios. El escenario tendencial muestra un incremento debido al aumento progresivo de la demanda de productos de carne. Por otro lado, el escenario de políticas públicas presenta un aumento más moderado, sugiriendo una mitigación de las emisiones, en comparación con el escenario tendencial. Esto atribuido principalmente al cambio de dieta del ganado, medida que contribuye a reducir las emisiones debido al aumento del rendimiento de producción de carne por cabeza de ganado.

Las emisiones correspondientes al ganado vacuno, visualizadas con barras azules, constituyen más del 60 % del total. Esto se explica por la significativa presencia de este tipo de ganado en el país y su mayor capacidad de generación de emisiones en comparación con otras especies. Por su parte, el ganado lechero y doble propósito, representado en

barras anaranjadas y café, respectivamente, son los segundos mayores contribuyentes de emisiones de metano.

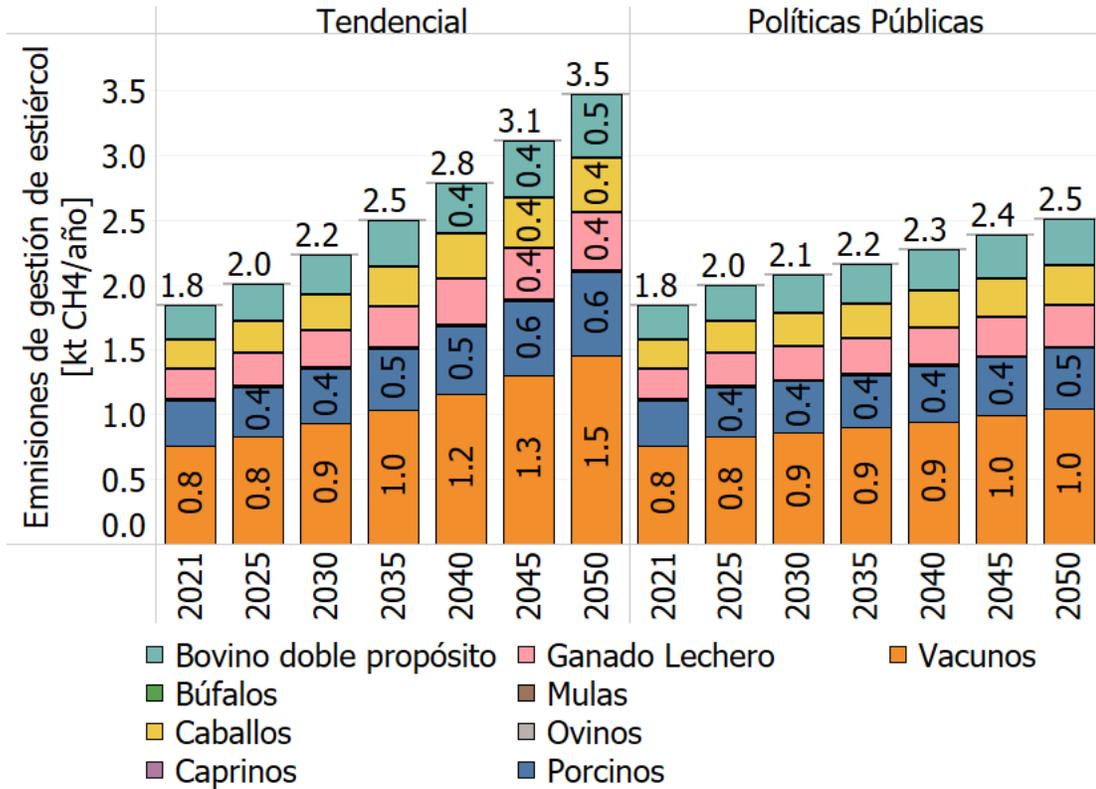
Figura 17. Emisiones de metano por fermentación entérica de ganado por año, tipo de especie ganadera y escenario



Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 18** refleja las emisiones originadas por el tratamiento de estiércol en la ganadería, desglosadas por especie. Si bien todas las proyecciones indican un incremento con el paso del tiempo, el escenario de políticas públicas exhibe una marcada reducción, resultado del cambio de dieta del ganado y la consiguiente disminución de la población ganadera. La política de mejoras en el manejo de excretas también favorece esta reducción.

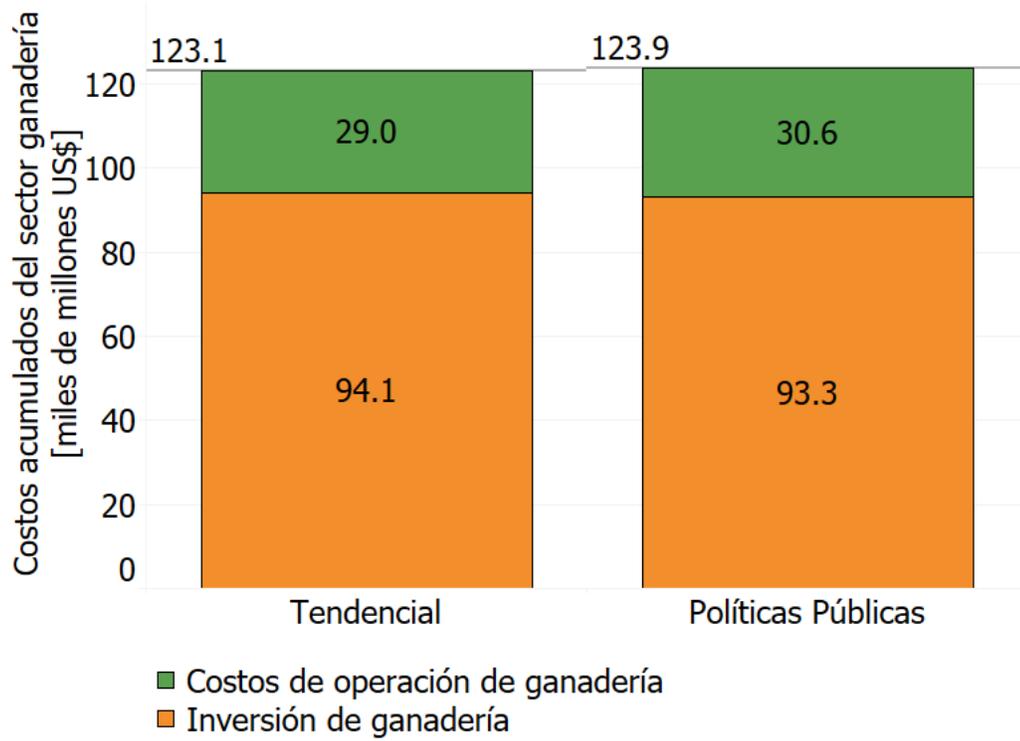
Figura 18. Emisiones por gestión de estiércol por tipo de especie ganadera, escenario y año.



Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 19** detalla los costos acumulados para el periodo 2021-2050, presentados con valores descontados al 2023. Los costos de inversión, representados en barras anaranjadas, abarcan el 93 % del costo total, mientras que los operativos componen el 7 % restante. El escenario de políticas públicas revela costos menores en aproximadamente 800 MUSD, atribuidos al aumento en los rendimientos de las prácticas ganaderas a raíz del cambio de dieta y buenas prácticas ganaderas, tales como . Esta eficiencia resulta en un ahorro significativo en la inversión destinada a la compra de ganado.

Figura 19. Costos totales acumulados para el sector ganadero.



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

Fuente: Elaboración propia

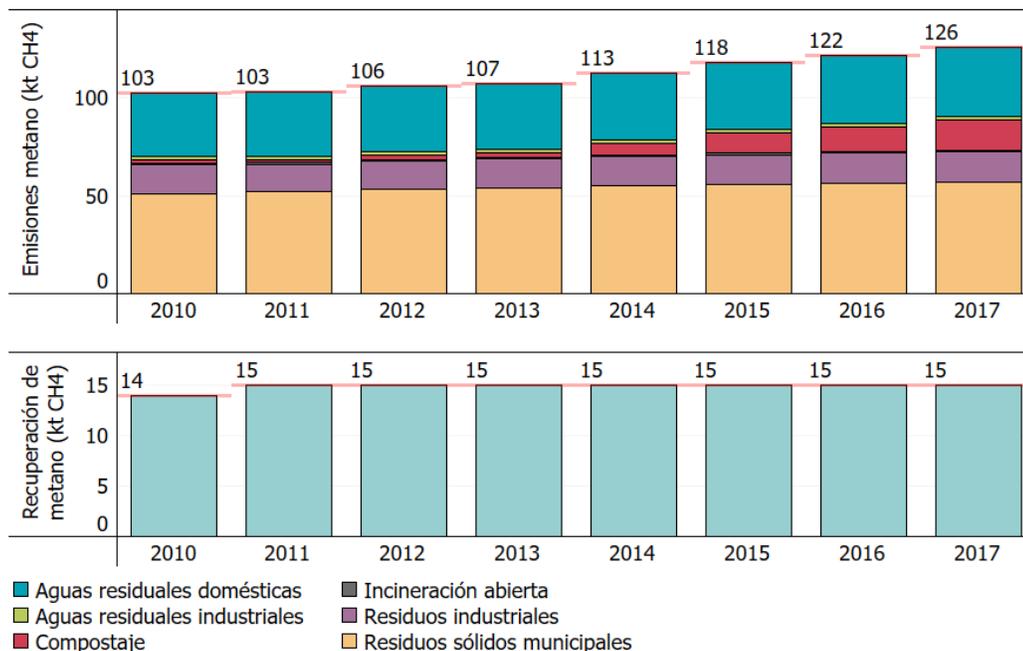
5. Sector Residuos

5.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Residuos

El sector residuos emite, principalmente, gases de CO₂, CH₄ y N₂O. Estas emisiones se contabilizan debido a los tratamientos y eliminación de residuos sólidos y aguas residuales. En Costa Rica, las emisiones provienen de residuos sólidos, el tratamiento biológico de los residuos sólidos, la incineración abierta de residuos, y el tratamiento y eliminación de aguas residuales. Para el 2017 se estimaron 56.37 Gg de CH₄ de las cuales la mayoría provienen del tratamiento de residuos sólidos municipales. Con respecto al año 2016, las emisiones crecieron un 0.9 %, y desde 1990 han aumentado más de 171.7 % (Gobierno de Costa Rica, 2021).

De estas emisiones, la mayor concentración de gases se da en las emisiones de metano, seguidas de las emisiones de N₂O. En la **Figura 20** se puede apreciar que las actividades que más generan emisiones en Costa Rica son la eliminación de residuos sólidos y el tratamiento de aguas residuales, los cuales de 1990 al 2017 han aumentado de manera importante su producción (Gobierno de Costa Rica, 2021).

Figura 20. Emisiones del sector residuos asociadas a CCVC, desagregados por actividad.



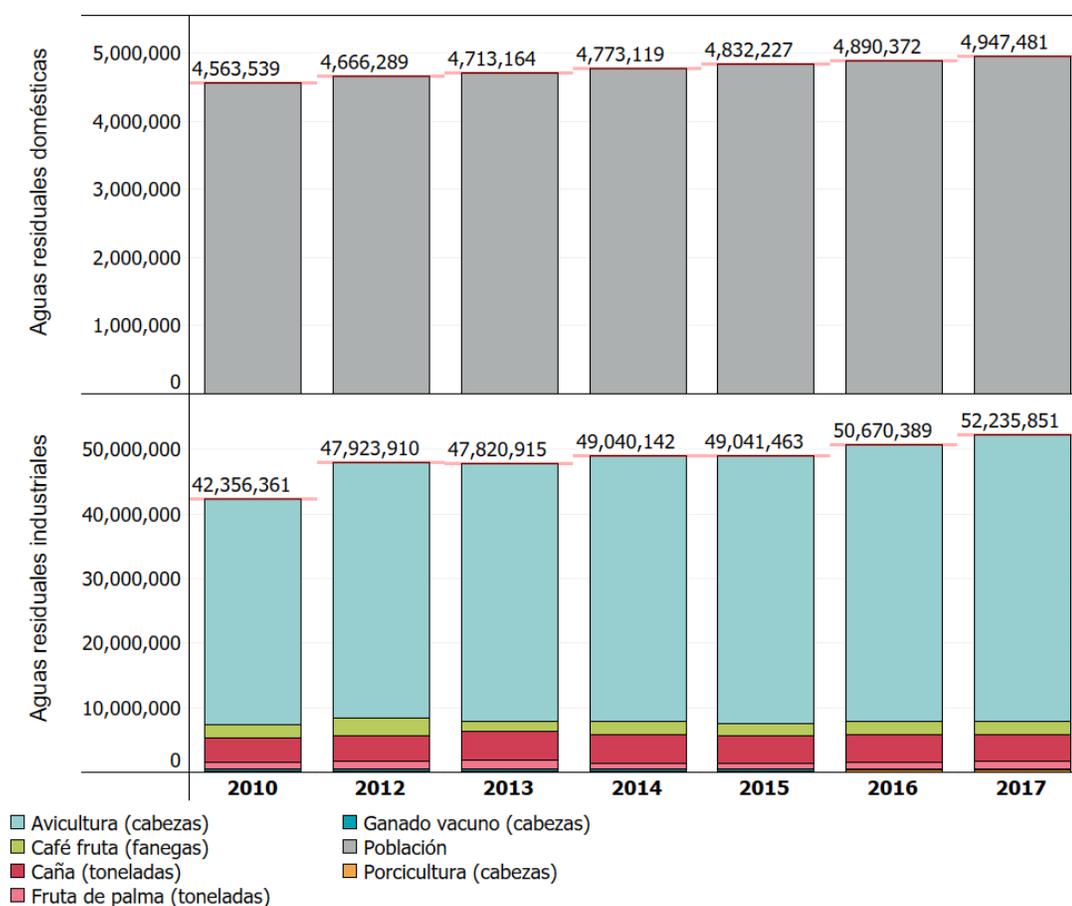
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

A nivel general del sector, todas las actividades han mantenido una tendencia al aumento de emisiones. Las actividades de incineración abierta de los residuos, pero principalmente el tratamiento biológico son los que aportan en menor medida en la cantidad de emisiones. La

evaluación histórica desde 1990 a 2017 deja ver que tanto en la eliminación de desechos sólidos como de tratamiento de aguas residuales han tenido una tendencia de aumento del 171.7% y un 110.3% específicamente. En el caso de los residuos sólidos, se contabilizan las emisiones de GEI generadas durante el tratamiento y eliminación de los desechos sólidos municipales e industriales principalmente en rellenos sanitarios. De igual manera se reporta una recuperación de metano en los sitios de disposición de los residuos. Sin embargo, este dato sólo se ha obtenido de una empresa y se asumió constante en el tiempo (IMN y MINAE, 2021).

En la **Figura 21** se aprecia un crecimiento en la cantidad de aguas residuales tratadas tanto a nivel residencial como industrial. Para el caso de las aguas residuales industriales, se utilizan las actividades que tratan sus aguas de manera anaerobia y que poseen una alta carga en carbono. De las aguas domésticas se tiene los impactos de tratamiento en tanque séptico, sistema centralizado con planta de tratamiento, alcantarillado sin planta, y letrinas. El aumento en la actividad se encuentra asociado al aumento de la población y actividades productivas (IMN y MINAE, 2021).

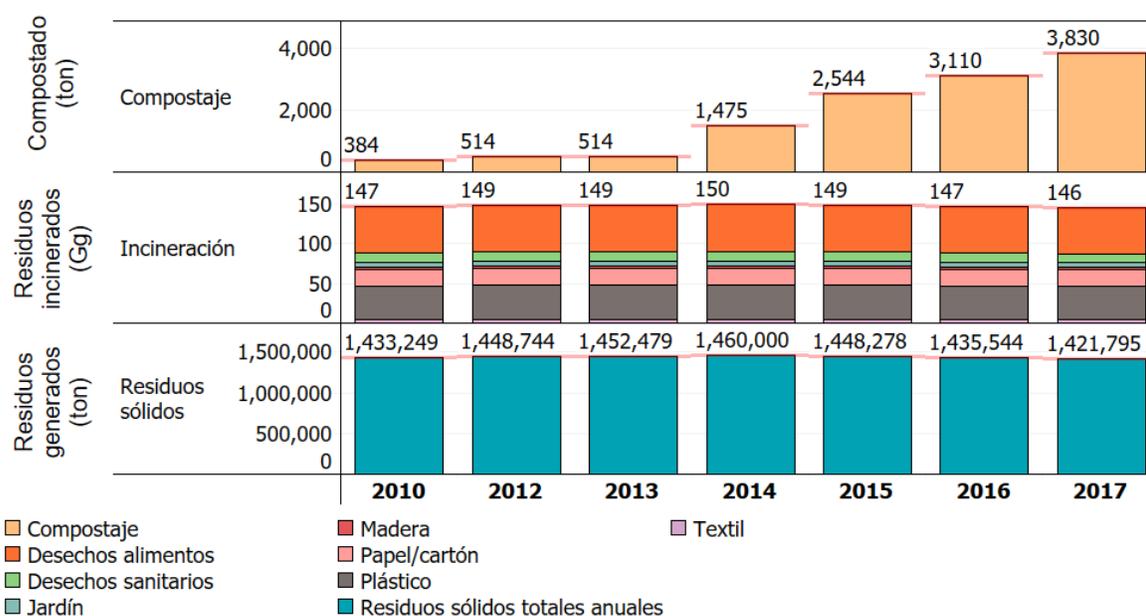
Figura 21. Nivel de actividad por aguas residuales.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

En la **Figura 22** se muestra la actividad correspondiente a la disposición y tratamiento de residuos sólidos. Se puede observar que desde el 2014 ha habido una reducción sostenida en los residuos sólidos totales generados, debido a la entrada de la Ley para la Gestión Integral de Residuos en el 2010 (IMN y MINAE, 2021). La cantidad de residuos incinerados se ha mantenido relativamente constante a lo largo de los años y el compostaje se encuentra en aumento considerable. Sin embargo, la cantidad de residuos compostados aún no es comparable con la cantidad total de residuos generados. Debido a que el compostaje genera muy pocas emisiones en comparación al tratamiento actual en rellenos sanitario (**Figura 20**), es recomendable enfocar esfuerzos en este tipo de alternativas.

Figura 22. Nivel de actividad de la disposición de residuos sólidos.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

En relación con lo anterior, Costa Rica posee una serie de planes y estrategias para reducir o evitar las emisiones de CCVC asociadas al sector energía. A continuación, se muestran estas políticas y las principales acciones asociadas a las emisiones de CCVC.

- 1. Contribución Nacionalmente Determinada (2020):** La contribución de Costa Rica en el área temática de residuos está centrada en la gestión integral de estos, en particular los orgánicos, y en la modernización de su sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en particular en áreas urbanas. Entre sus metas destacan que para el 2025 al menos 10 municipalidades implementen el Plan Nacional de Compostaje. Al 2030 se alcanzará al menos el 50% de cobertura de alcantarillado sanitario en las áreas de alta densidad poblacional, con criterios de

resiliencia al cambio climático. De igual manera, al menos el 50% de las aguas residuales en las áreas de alta densidad poblacional recibirán tratamiento.

2. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016): Este plantea las acciones del sector sobre todo relacionados a la generación de metano por el tratamiento de residuos orgánicos en rellenos sanitarios. Las acciones de este plan están se dividen en tres periodos; 2019-2022, 2023-2030 y 2031-2050. A continuación, se muestran estas acciones:

→ **2019-2022:**

- Lanzar la estrategia nacional de compostaje.
- Gestionar diariamente 3.800 toneladas de residuos sólidos en forma integral.
- Diseñar estrategia NAMA de reducción de emisiones para sector residuos.
- Documentar 4 pilotos de economía circular.

→ **2023-2030:**

- Implementar Fase I de NAMA Residuos.
- Impulsar la implementación de Planes de Gestión de Residuos Municipales y el establecimiento de Programas de Reciclaje en Municipalidades mediante pilotos.
- Mejorar la disponibilidad de datos del sector mediante la mejora en la toma de datos, y alimentación a diversos Sistemas de Información.
- Impulsar inversiones piloto en instalación de centros de recuperación y de transferencia regionales que faciliten la GIR por tipo, instalación de tecnologías para la captura de metano en los rellenos sanitarios, plantas piloto de compostaje (e.g. compost mediante pilas y tambores rotativos, vermicompost) o Modernización de sistemas de recolección, optimización de rutas y mejoras en vehículos de recolección.

→ **2031-2050:**

- Consolidar estrategia de financiamiento para escalar inversiones.
- Masificar el uso de tecnologías más efectivas y consistentes con parámetros ambientales y trayectoria cero emisiones.

Las acciones del Plan de Descarbonización se enfocan en la gestión integrada de los residuos sólidos, haciendo énfasis en la estrategia NAMA como uno de los pilares para la reducción emisiones y transición hacia un modelo de gestión de residuos sostenible. Por otra parte, se proponen condiciones habilitantes que permitan mejorar la gestión integral de residuos sólidos, y líquidos domiciliarios y empresariales como: campañas de divulgación y sensibilización, la formación de capacidades en municipalidades e implementar un modelo piloto de economía circular.

3. NAMA Residuos (2020): Esta Estrategia busca una meta de mitigación de 480.000 tCO₂eq. por año en promedio, para esto propone las siguientes acciones.

- Captar y destruir el gas metano en los tres principales rellenos sanitarios.
 - Valorizar (reciclar) materiales secos como plásticos, papel/cartón, metales y vidrio.
 - Implementar compostaje y biodigestión de residuos orgánicos,
 - Evaluar e implementar tecnologías avanzadas de tratamiento y aprovechamiento energético de residuos sólidos.
 - Incentivar el tratamiento de los residuos orgánicos a nivel domiciliar
 - Incentivar el tratamiento de los residuos orgánicos a escala industrial.
 - Impulsar el uso de la biodigestión como método de tratamiento para residuos orgánicos líquidos y sólidos a nivel de grandes o múltiples generadores.
 - Recolectar selectivamente residuos no valorizables y valorizables (orgánicos e inorgánicos) a nivel municipal mediante un esquema de tarifas que permita brindar este servicio público de forma eficiente.
 - Analizar la tarifa municipal cobrada por recolección de residuos sólidos e identificar mejoras en esta para promover una mejora en la gestión.
- 4. Estrategia Nacional de Economía Circular (2023):** Este documento indica que en Costa Rica el 80 % de los residuos generados tienen el potencial para ser reciclados y reincorporados a la economía. Esta Estrategia busca reducir los residuos generados en todas las actividades productivas del país, mediante distintivos, promoción de una industria circular, promoción de ciudades y territorios circulares, centros de innovación y construcción circular.
- 5. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2016-2021 (2016):** Este Plan busca orientar las acciones gubernamentales y privadas para la gestión integral de los residuos en el país.
- 6. Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos 2016-2021 (2016):** Esta es una estrategia enfocada en el reciclaje, se compone de 5 ejes temáticos y busca aumentar en un 15% el porcentaje de residuos sólidos gestionados integralmente (recuperación, recolección, separación, reciclaje y disposición final) para el 2021.
- 7. Plan Nacional de Residuos Marinos 2021-2030 (2021):** Esta Estrategia busca mejorar la gestión de los residuos marinos. Las acciones propuestas se centran en la prevención de la generación de residuos, una gestión integral para los ya producidos, educación, sensibilización e información a la población, compromiso de todos los actores, una normativa adecuada y posible de fiscalizar, el monitoreo del avance del mejoramiento de los ecosistemas marinos y terrestres, todo esto con el acompañamiento de gobiernos amigos y organizaciones internacionales. Entre las acciones se destacan:
- Integrar al 100% al 2030 la gestión de residuos que impactan los ríos y mares en los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos (PMGIRS), de forma intersectorial y en coordinación con otras municipalidades.

- Desarrollar herramientas para fortalecer la gestión de residuos de manejo especial (residuos no tradicionales) tales como vigilancia de botaderos ilegales y aplicación de sanciones.
- Promover incentivos, a nivel municipal, que fomenten la participación de los comercios en acciones de prevención y recuperación de residuos.
- Diseñar y ejecutar sistemas bajo Responsabilidad Extendida del Productor (REP) o modalidades voluntarias para residuos de manejo especial que más impactan los ambientes acuáticos.
- Diseñar y ejecutar proyectos piloto de encadenamientos y economía circular con sectores estratégicos priorizados.
- Desarrollar y aplicar incentivos y eliminar barreras financieras, normativas e institucionales, para el fortalecimiento de las empresas transformadoras de residuos y de recuperación de residuos, en particular los que se extraen de ríos y playas.
- Implementar metodologías para la recolección de datos sobre los residuos no recolectados y que llegan a los océanos, para contar con un análisis periódico de datos.
- Elaborar, divulgar e implementar un protocolo nacional para la gestión de residuos generados en casos de emergencias o desastres naturales, que contaminan ríos y mares.
- Desarrollar estrategias de prevención y gestión de los residuos producidos por transporte marítimo, el sector pesquero, las actividades acuáticas y el turismo.
- Fortalecer los mecanismos de vigilancia, denuncia y seguimiento administrativo para aplicar sanciones a actos ilícitos de descarga de residuos en el mar patrimonial.
- Desarrollar y aplicar un procedimiento para evaluar y auditar la gestión de los residuos de los puertos, muelles y marinas.
- Fortalecer la educación formal y no formal en concientización de los residuos marinos.
- Elaborar propuestas de modificación o actualización de los instrumentos normativos vigentes, para incluir la gestión de residuos marinos, sin contradicciones ni duplicidades.
- Desarrollar investigación en temas tales como: inventario de los residuos marinos, estimación de la cantidad y su composición, su ciclo de vida, su biodegradabilidad o compostabilidad en las condiciones del país, movilización y transporte, los impactos causados por estos y su tasa de acumulación, y cualquier aspecto relacionado con la temática.
- Incorporar en el Sistema Nacional de la Calidad la infraestructura de laboratorios que permita realizar pruebas a los materiales sustitutos del plástico.
- Desarrollar proyectos que promuevan nuevos materiales, productos y tecnologías de recolección y reciclaje.
- Implementar un mecanismo de reconocimientos que promueva la cooperación público-privada, para la recopilación de información.

- Implementar Protocolos Nacionales de Monitoreo Ecológico (PRONAMEC) con nuevos indicadores de contaminación y afectación de la biota por residuos sólidos en los diferentes tipos de ecosistemas marino y costeros
- 8. Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026 (2022):** Entre la meta de este plan se encuentra fortalecer la economía circular y la gestión integral de residuos. Para esto se plantean los siguientes porcentajes acumulados de residuos ordinarios y de manejo especial valorizados, respecto al 2021 (6,75 %):
- 2023: 0.5 %
 - 2024: 9 %
 - 2025: 11%
 - 2026: 12%
- 9. Plan Nacional de Compostaje 2020-2050 (2020):** Establece siete ejes estratégicos para incorporar el uso adecuado y eficiente de los materiales orgánicos, y fomentando la economía circular. Busca mejorar la gestión de residuos y otorgarles valor agregado a las prácticas de compostaje y al uso del compost. Entre sus principales metas está reducir un 50 % del tonelaje de residuos biodegradables destinados a rellenos sanitarios al 2050. Para esto se propone:
- Desarrollar un programa de capacitación nacional sobre compostaje y usos del compost que contemple todos los niveles (casero, comunal, urbano, rural, empresarial, y con especial énfasis el municipal e institucional), e incluya acciones público-privadas.
 - Fortalecer las acciones municipales en compostaje.
 - Fortalecer iniciativas de compostaje en las instituciones del Gobierno Central.
 - Diseñar estrategias que aseguren la sostenibilidad de los aprendizajes y resultados de las diferentes capacitaciones.
 - Establecer un marco jurídico ligado con la reducción de residuos orgánicos en fuente, la generación de abono orgánico y el compostaje.
 - Promover Decretos para el fortalecimiento de las acciones relacionadas con el plan de compostaje.
 - Recopilar y dar seguimiento al comportamiento de la disposición municipal de residuos biodegradables en rellenos sanitarios, centros de acopio centralizados, iniciativas locales y privadas de compostaje.
 - Promover mediante educación, capacitación y sensibilización, la prevención y reducción de la generación de residuos biodegradables, así como su separación y valorización.
 - Fomentar la recolección segregada de Residuos Municipales.
 - Simplificar trámites municipales para empresas e iniciativas de compostaje.
 - Crear reconocimientos e incentivos para que surjan emprendimientos, iniciativas locales y empresas relacionadas al compostaje doméstico o centralizado.
 - Promover sistemas de compostaje doméstico, residencial, comercial, municipal e industrial.

- Vincular escuelas y colegios que generen compost con pequeños agricultores de la comunidad que puedan utilizar el compost en su producción.
- Monitorear la cantidad de emisiones de GEI mitigadas debidas a la gestión de residuos orgánicos.
- Desarrollar estrategias que permitan la sostenibilidad económica del plan de acción de compostaje.

10. Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales 2016-2045: esta política se centra en el tratamiento de las aguas residuales. Entre sus objetivos se destaca que al 2030 se alcanzará al menos el 50% de cobertura de alcantarillado sanitario en las áreas de alta densidad poblacional, con criterios de resiliencia al cambio climático. Para ese mismo año, al menos el 50% de las aguas residuales en las áreas de alta densidad poblacional recibirán tratamiento. Para el 2045, se pretende lograr el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país. Es decir, garantizar que las aguas residuales no afecten al medio ambiente mediante sistemas de tratamiento individuales o colectivos. Para lograr esto se proponen las siguientes acciones:

- Fortalecer procesos institucionales y asignar recursos para garantizar el cumplimiento en el control de los trámites y la construcción de los sistemas de recolección y tratamientos, tanto individuales como colectivos e industriales.
- Crear normas que definan cuotas de reutilización de aguas tratadas en zonas con baja disponibilidad de recursos hídricos y en los sectores industriales de gran demanda de agua donde sea factible tecnológicamente, según las calidades y usos del agua
- Priorizar las inversiones en alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en función de sus efectos sobre el medio ambiente y la población.

En Costa Rica existen metas ambiciosas respecto a la generación de residuos sólidos y, debido a que las principales fuentes de emisión de metano son residuos sólidos municipales e industriales, estrategias como el compostaje y medidas de economía circular como, por ejemplo, simbiosis industriales podrían resultar beneficiosas para reducir emisiones de CCVC. La siguiente actividad más contaminante es el tratamiento de aguas domésticas. En este sentido no se han encontrado acciones enfocadas a este sector, por lo que se recomienda desarrollar planes y estrategias que busquen reducir o eliminar emisiones de metano por aguas residuales residenciales.

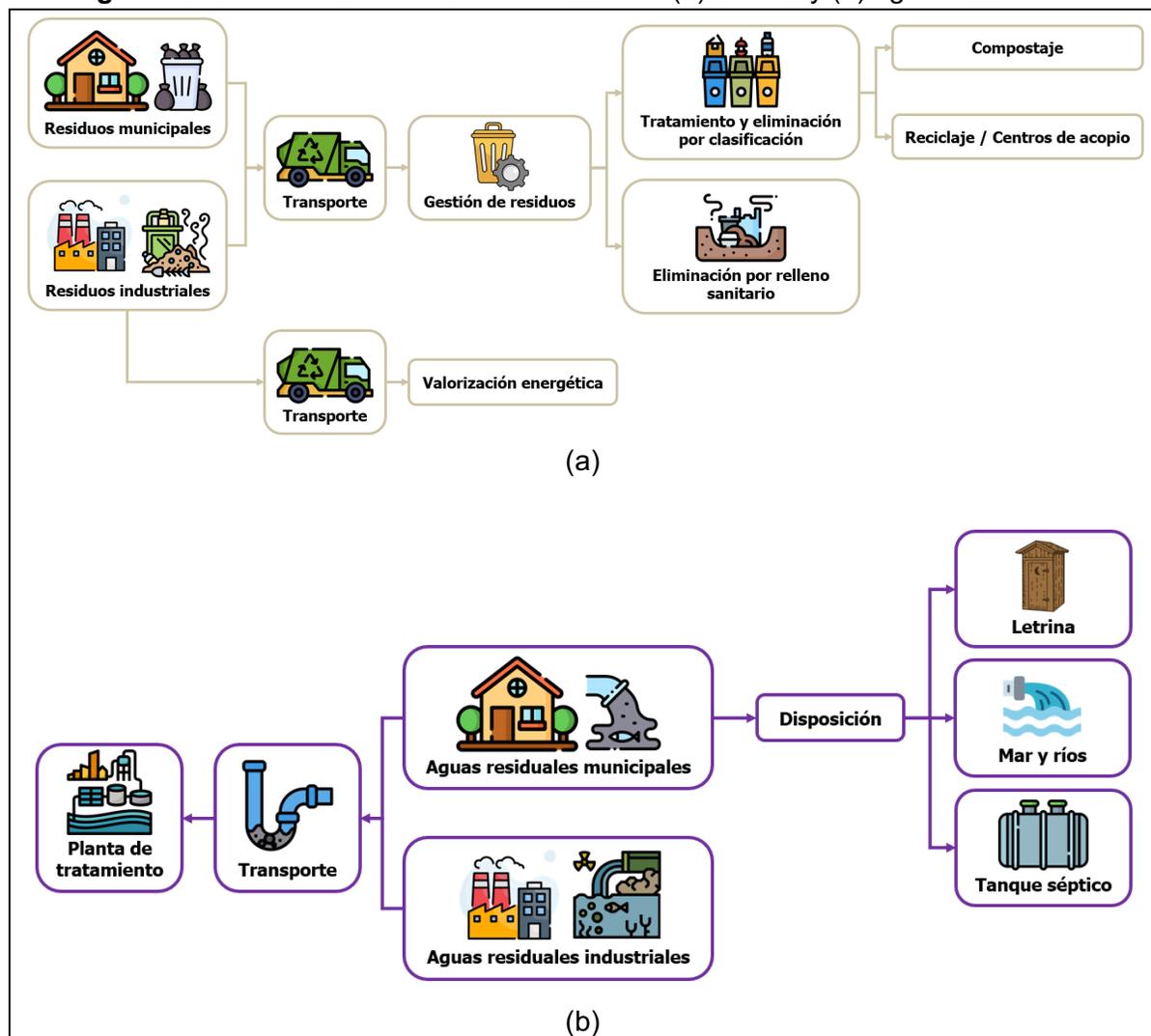
5.2. Cadena de valor del sector residuos

Los residuos en Costa Rica se dividen en dos principales categorías: residuos sólidos y aguas residuales. En la **Figura 23** se muestra la cadena de valor del sector residuos. La **Figura 23** (a) muestra la disposición de los residuos sólidos son generados en los hogares e industrias. Estos residuos se recolectan y envían a su gestión, donde se clasifican y envían a su tratamiento final, ya sea por compostaje, reciclaje, centros de acopio o relleno sanitario.

Por su parte, los residuos industriales también se pueden enviar para su valorización energética.

La **Figura 23** (b) muestra la cadena de valor para el tratamiento de las aguas residuales. En Costa Rica las aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Estas aguas se envían a través de alcantarillados sanitarios hacia plantas de tratamiento especializadas. De igual manera, las aguas domésticas y municipales pueden disponerse de otras maneras, ya sea a través de letrinas, tanques sépticos o desecho directamente en el mar y ríos.

Figura 23. Cadena de valor del sector residuos (a) sólidos y (b) aguas residuales.



Fuente: Elaboración propia.

El **Cuadro 10** **Cuadro 7** y **Cuadro 11** muestran un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. Las políticas públicas que se encontraron para el sector de residuos y aguas residuales son la Contribución Nacionalmente Determinada, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-

2050 (PND), el NAMA Residuos Costa Rica, el Plan Nacional de Compostaje 2020-2050, y la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045. Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Cuadro 10. Acciones de la cadena de valor del subsector de residuos sólidos.

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Residuos municipales e industriales	<p>NAMA Residuos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incentivar el tratamiento de los residuos orgánicos a nivel domiciliario e industrial. • Impulsar el uso de la biodigestión como método de tratamiento para residuos orgánicos líquidos y sólidos a nivel de grandes o múltiples generadores.
Tratamiento y eliminación por clasificación	<p>NAMA Residuos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Valorizar (reciclar) materiales secos como plásticos, papel/cartón, metales y vidrio. • Implementar compostaje y biodigestión de residuos orgánicos. <p>Plan Nacional de Compostaje 2020-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un programa de capacitación nacional sobre compostaje y usos del compost que contemple todos los niveles (casero, comunal, urbano, rural, empresarial, y con especial énfasis el municipal e institucional), e incluya acciones público-privadas. • Establecer un marco jurídico ligado con la reducción de residuos orgánicos en fuente, la generación de abono orgánico y el compostaje. • Monitorear la cantidad de emisiones de GEI mitigadas debidas a la gestión de residuos orgánicos.
Eliminación por relleno sanitario	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar inversiones en centros y tecnología de recuperación de metano en rellenos sanitarios. <p>NAMA Residuos (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Captar y destruir el gas metano en los tres principales rellenos sanitarios.
Valorización energética	<p>NAMA Residuos (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar e implementar tecnologías avanzadas de tratamiento y aprovechamiento energético de residuos sólidos.
Transporte	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modernizar los sistemas de recolección, optimizando rutas y mejoras en vehículos de recolección.
Sistémicas	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la disponibilidad de datos del sector mediante la mejora en la toma de datos, y alimentación a diversos Sistemas de Información.

Cuadro 11. Acciones de la cadena de valor del subsector de aguas residuales.

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
<p>Aguas residuales municipales</p>	<p>Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer procesos institucionales y asignar recursos para garantizar el cumplimiento en el control de los trámites y la construcción de los sistemas de recolección y tratamientos, tanto individuales como colectivos e industriales. • Priorizar las inversiones en alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en función de sus efectos sobre el medio ambiente y la población.
<p>Aguas residuales industriales</p>	<p>Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer procesos institucionales y asignar recursos para garantizar el cumplimiento en el control de los trámites y la construcción de los sistemas de recolección y tratamientos, tanto individuales como colectivos e industriales. • Crear normas que definan cuotas de reutilización de aguas tratadas en zonas con baja disponibilidad de recursos hídricos y en los sectores industriales de gran demanda de agua donde sea factible tecnológicamente, según las calidades y usos del agua • Priorizar las inversiones en alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en función de sus efectos sobre el medio ambiente y la población.
<p>Transporte</p>	<p>Contribución Nacionalmente Determinada (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modernizar el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en particular en áreas urbanas. <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar proyectos de alcantarillado sanitario en 5 sectores prioritarios: Palmares, Ciudad de Jacó Garabito, Golfito y Ciudad de Limón.

Fuente: Elaboración propia

En este sector existe un avance importante en la ambición política de generar acciones y mecanismos para mejorar la gestión de residuos sólidos y los sistemas de aguas residuales. Si bien las ambiciones políticas no se plantean explícitamente en relación directa con la mitigación de contaminantes de vida corta, cabe destacar que las principales metas propuestas en las políticas públicas se alinean de manera precisa con la disminución de emisiones de metano, especialmente en el tema de aguas residuales.

A nivel general del sector, se identifica la reutilización y la valorización de los residuos como la acción que más peso ha tenido en los diferentes instrumentos de política. No obstante, las acciones relacionadas con el compostaje y el reciclaje tienen una viabilidad política media y una viabilidad de costo y magnitud baja, lo cual no representa un panorama óptimo para la mitigación. En palabras de algunas expertas del sector, según el Informe del primer taller de Costa Rica, el compostaje a gran escala no se ha logrado en países con mejores condiciones habilitantes, además de que produce otro tipo de gases. Una problemática relacionada a este sector es que el sistema de reciclaje es desigual en todo el país, ya que depende de cada municipalidad (Sistema Costarricense de Información Judicial, 2017).

Para el año 2019, en Costa Rica se producían diariamente 3,982 toneladas de residuos en Costa Rica, los cuales son gestionados principalmente a través de servicios municipales: 3,132 de residuos se envían a rellenos sanitarios o a vertederos semi-controlados, lo que representa un 78,8% de cobertura⁵. El resto de los materiales se desconoce el paradero. (Soto, 2019, p.15)

Según El Estado de Nación del 2019, entre el 2009 y el 2019, se observó el aumento de empresas y alianzas público-privadas dedicadas al manejo de residuos sólidos, sobre todo relacionado al procesamiento de residuos orgánicos (a través de composteras). A nivel de la gestión municipal de residuos, los datos del informe muestran que existe un aumento en el número de gestores municipales, estadísticas relativas a la generación y composición de los residuos sólidos, entre otros programas relacionados con la buena gestión de los residuos sólidos. Muestra de esto, se da en el aumento de presentación de manera pública de algunas municipalidades (22 de 83 para el 2016), programas de educación o el Programa de Bandera Azul categoría municipalidades (Soto, 2019).

No obstante, el gran obstáculo a nivel de recolección municipal sigue siendo poder mejorar de manera efectiva, la recolección diferenciada de residuos para su posterior revalorización, proceso que sigue con pocos porcentajes de recuperación de residuos. En este punto, también cabe mencionar que el país no ha podido optimizar y modernizar los métodos de recolección, los cuales siguen dependiendo del uso de la fuerza humana, al tiempo que tampoco se ha logrado combinar las diferentes opciones de manejos que involucren el re-

⁵ Esto representa un retroceso, en comparación con el 83% de recolección de residuos de la década pasada, según datos del INEC (Soto, 2019, p.16).

uso, reciclaje, biogasificación, composteo, tratamientos mecanizados y la recuperación energética (Soto, 2019, p.22). El país cuenta con una cantidad importante de materiales revalorizables, no obstante, el país solo cuenta con datos de referencia y con data poco confiable (pp-15).

Si bien existe un mercado de activo en el manejo de subproductos, sobre todo de plástico, papel, y algunos tipos de metales, este mercado no ha sido incorporados en las métricas nacionales. En este punto, existe también problemáticas asociadas al no reconocimiento de los recicladores de base, los cuales son un pilar dentro de la cadena de valor de los residuos, debido a que juegan un rol importante dentro de la separación de residuos locales, por la poca separación en parte de los hogares y comercios (Soto, 2019; Sanabria, 2020).

El país contempla acciones de mitigación con una alta magnitud e impacto de mitigación y con costos medios más favorables como la recuperación de metano por relleno sanitario. En este punto, las medidas más importantes para reducir las emisiones de metano del sector según expertas son la inversión en centros y tecnología de recuperación de metano en rellenos sanitarios y mejorar el acondicionamiento de infraestructura ya existente. No obstante, al igual que las acciones anteriores, estas tienen una viabilidad política y de sostenibilidad baja.

Si bien se destaca el compromiso de Costa Rica en el tema de residuos, existen una contradicción entre estos compromisos y la viabilidad política y de sostenibilidad actual para la implementación de tales acciones. De las 6 medidas analizadas para el sector en el taller, solo el desarrollo de un modelo industrial de revalorización de materiales, flujos energéticos y aguas tuvo respuestas de viabilidad política alta. No obstante, esta acción responde más a una aspiración sistémica que a una acción cuantificable.

Por otro lado, las acciones del sector de residuos requieren de una alta inversión en tecnología e infraestructura, lo cual es una barrera importante si se considera que los resultados de *Informe del Primer Taller* de este proyecto no muestran una ambición política para la lograr la implementación.

Si bien a nivel general el país si ha evidenciado su interés en la mitigación indirecta del metano a través de las acciones antes mencionadas para el sector, las barreras políticas y de sostenibilidad de las acciones pueden mejorar y esto, a su vez, crear mejores condiciones habilitantes para la implementación de acciones en el tema de residuos sólidos, según el *Informe del Primer Taller* de este proyecto.

En el caso de las aguas residuales, para el año 2017, la cobertura de alcantarillado sanitario con saneamiento aumentó a un 14.4 % respecto al 2014 donde se contaba con 4.2 %. No obstante, este porcentaje es bajo en relación con el promedio mundial del 60% (Brenes y Araya, 2019). Si bien Costa Rica goza de un acceso de agua que sobrepasa el 90% de cobertura nacional, el uso de los cuerpos de agua para el depósito de residuos sigue siendo un tema de conflictividad por el poco manejo realizado en el país para las aguas residuales.

Aunque para el año 2017 hubo mejoras relacionadas a la reducción de acueductos contaminados por coliformes fecales, la política pública, específicamente relacionada al tema de gestión de las aguas residuales, sigue teniendo fuertes deficiencias en el manejo de residuos, falta de acciones en adaptación al cambio climático y acciones que contrarresten las prácticas agrícolas que afectan la calidad de los cuerpos de agua (Brenes, Araya, 2019).

5.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC

En esta subsección se describen las condiciones planteadas para el escenario de políticas públicas. Para definir estas condiciones se agruparon las acciones descritas en las políticas públicas en “medidas de mitigación”, a las cuales se les asoció un “supuesto” que corresponde a los valores numéricos utilizados para simular cada medida.

Para el sector de residuos se enfoca en implementar medidas como promover la adopción de nuevas tecnologías en el tratamiento de residuos, la disminución en la generación de estos, y consecuentemente, la reducción de emisiones de metano. La gestión adecuada de aguas residuales evita la contaminación del agua y captura el metano, previniendo mayores emisiones al ambiente. El **Cuadro 12** destaca medidas y supuestos basados en políticas y planes que tienen objetivos concretos para reducir emisiones de CCVC.

Cuadro 12. Supuestos considerados para el sector de residuos.

Medida de mitigación	Supuesto	Referencia
Adopción de compostaje	Reducción del 50 % del tonelaje de residuos biodegradables destinados a rellenos sanitarios al 2050.	Plan Nacional de Compostaje
Recuperación y manejo de metano	La recuperación de metano de los vertederos (RCH ₄) alcanzará el 40% para 2050.	Victor-Gallardo et al., 2022
Adopción sistema integrado de gestión de desechos	Aumentar en un 15% el porcentaje de residuos sólidos gestionados integralmente (recuperación, recolección, separación, reciclaje y disposición final) al 2026.	Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) 2016-2021
Reducción de residuos generados en la fuente	La generación de residuos sólidos per cápita (GSW) disminuye un 1.5 % anualmente.	Estrategia de desarrollo con Bajas Emisiones para Guatemala
Desarrollo de modelo para adopción de economía circular	Porcentaje acumulado de residuos ordinarios y de manejo especial valorizados: 2021: 6.75 % 2023: 8% 2024: 9%	Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026

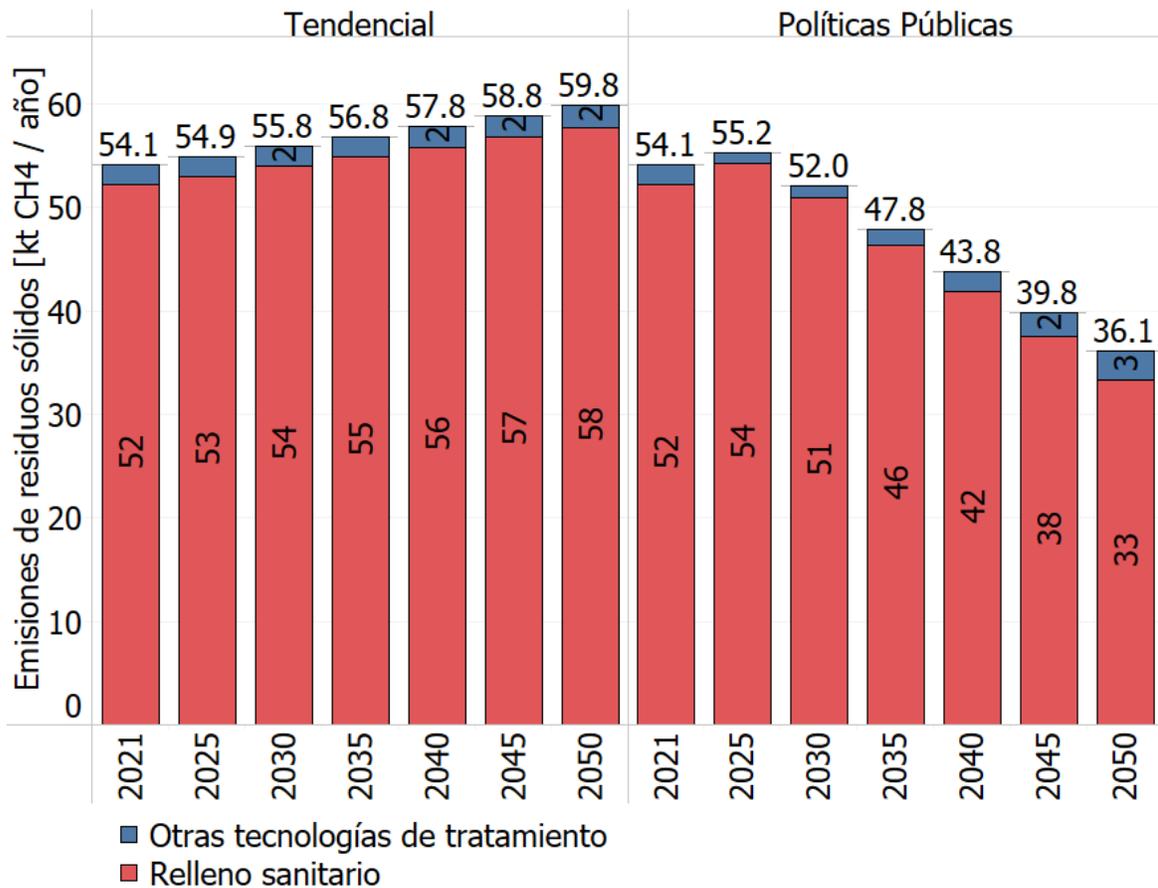
Medida de mitigación	Supuesto	Referencia
	2025: 11% 2026: 12%	
Adopción de alcantarillado sanitario	Al 2040 100% de cobertura del alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales en las áreas de alta densidad poblacional.	Plan Nacional de Descarbonización 2018-2051

Fuente: Elaboración propia

5.4. Resultados de modelación para el sector Residuos

En esta subsección se exponen los resultados obtenidos para el sector residuos, incluyendo residuos sólidos y aguas residuales. La **Figura 24** ilustra las emisiones de metano agrupadas como las emisiones que provienen de relleno sanitario y otras tecnologías de tratamiento (p.e. reciclaje, compostaje y no gestionados). El escenario tendencial muestra un incremento de las emisiones con los años, ocasionado por el aumento demográfico. Por otro lado, el escenario de políticas públicas muestra una disminución de emisiones en los residuos sólidos, esto es consecuencia de la política pública de reducción de la tasa de generación de residuos per cápita, ya que va a causar una disminución de las toneladas de residuos sólidos generados en el país. Adicionalmente, las medidas de implementación de compostaje y reciclaje también favorecen la reducción de emisiones.

Figura 24. Emisiones de metano para el sector de residuos sólidos por año y escenario.



Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 25** presenta el detalle de la distribución de las otras tecnologías de tratamiento (no gestionados, compostaje e incineración) agrupadas para la **Figura 24**. En esta ilustración se presenta las emisiones de metano categorizadas por fuente, considerando que:

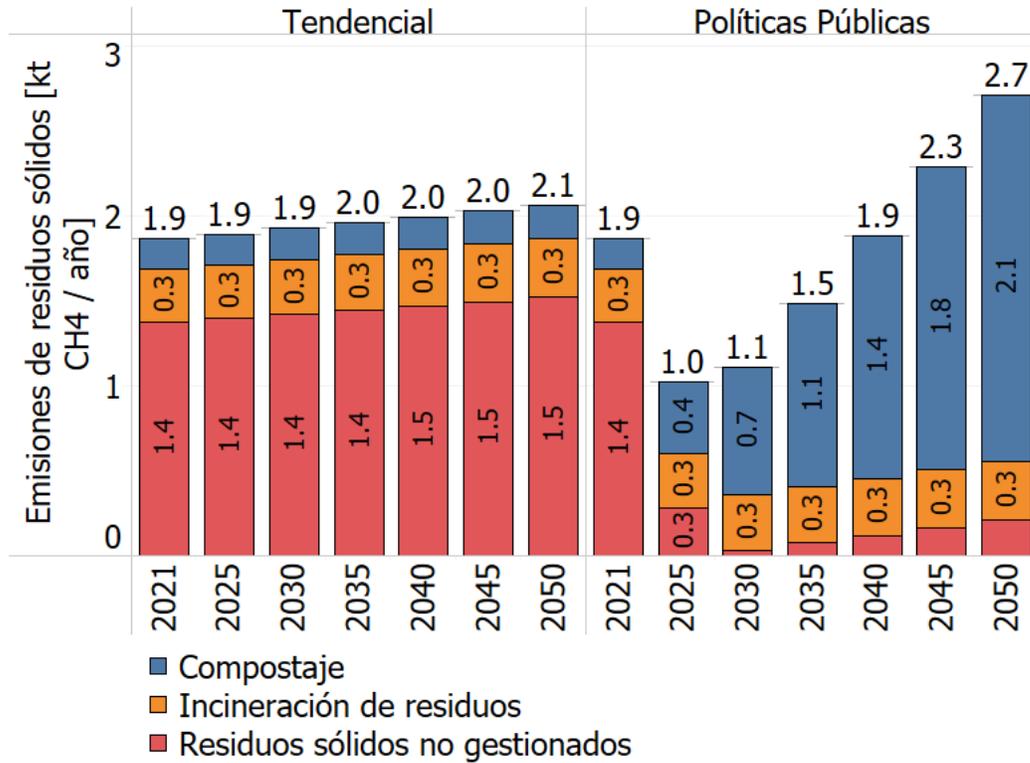
- Los residuos sólidos no gestionados aparecen en amarillo.
- El compostaje se representa en morado.
- La incineración de residuos se visualiza en anaranjado.

Para el escenario tendencial se muestra un crecimiento progresivo en las emisiones de todas las tecnologías, que es respuesta del aumento natural de la población. Mientras que el escenario de políticas públicas muestra una reducción de las emisiones durante los primeros 5 años, especialmente de los residuos no gestionados. Esto se debe a la política de aumento del 15% de los residuos gestionados integralmente para el 2026.

Las emisiones por compostaje muestran un incremento importante con los años, debido a que hay un aumento en el uso de esta tecnología. A pesar de esto, las emisiones por tratamiento de residuos a través de compostaje siguen siendo más bajas que si se enviaran

estos a rellenos sanitarios. Mientras tanto, las emisiones de incineración son relativamente similares en ambos escenarios estudiados.

Figura 25. Emisiones de metano para otras tecnologías de tratamiento de residuos sólidos.

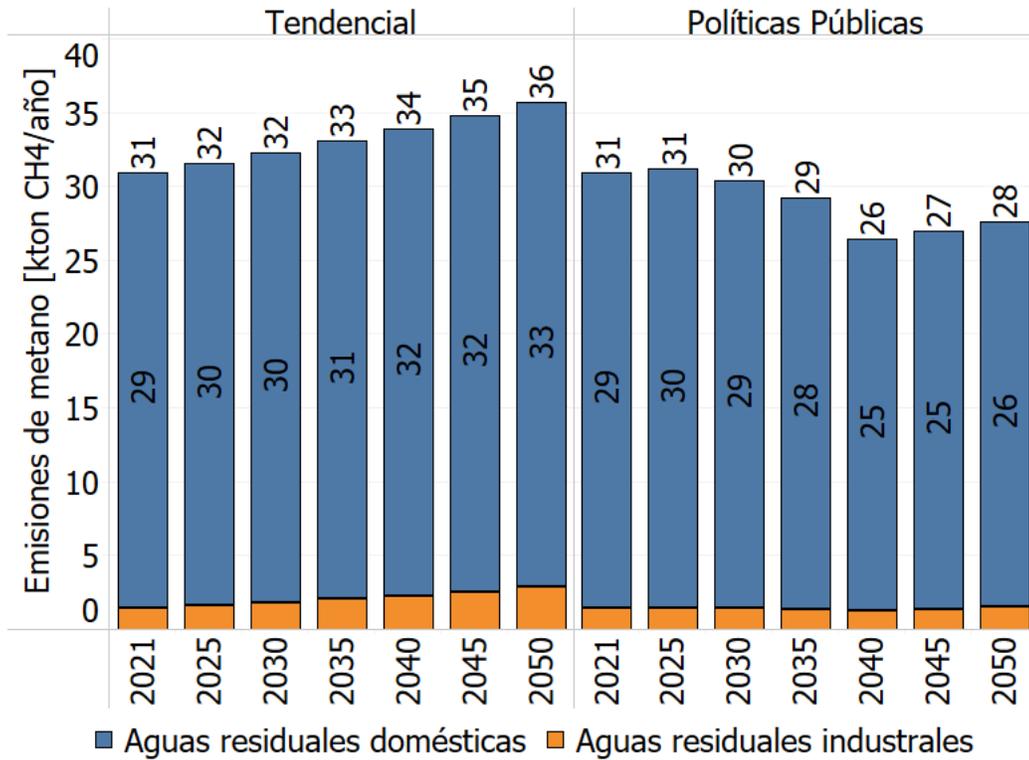


Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 26** presenta las emisiones debidas a aguas residuales domésticas (en azul) y aguas industriales (en anaranjado). Para ambos escenarios se muestra un incremento progresivo, esto se debe al aumento de la población. El escenario de políticas públicas muestra una reducción de las emisiones por tratamiento de aguas residuales, esto se debe al aumento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales para el 2040.

Para las aguas residuales industriales, se tiene un aumento de emisiones al incrementar la cantidad de aguas tratadas. Este aumento se debe a que estas aguas industriales poseen una alta carga de carbono y, además, utilizan sistemas de tratamiento anaeróbicos, que convierten eficientemente la carga de carbono en gases, en comparación con su descarga en ríos. Aunque esto incrementa las emisiones, la posible implementación de recuperación de metano permitiría aprovechar estos gases para generar calor o energía, beneficiando a la misma industria y generando una reducción de emisiones de metano.

Figura 26. Emisiones de metano por aguas residuales según el escenario.



Fuente: Elaboración propia.

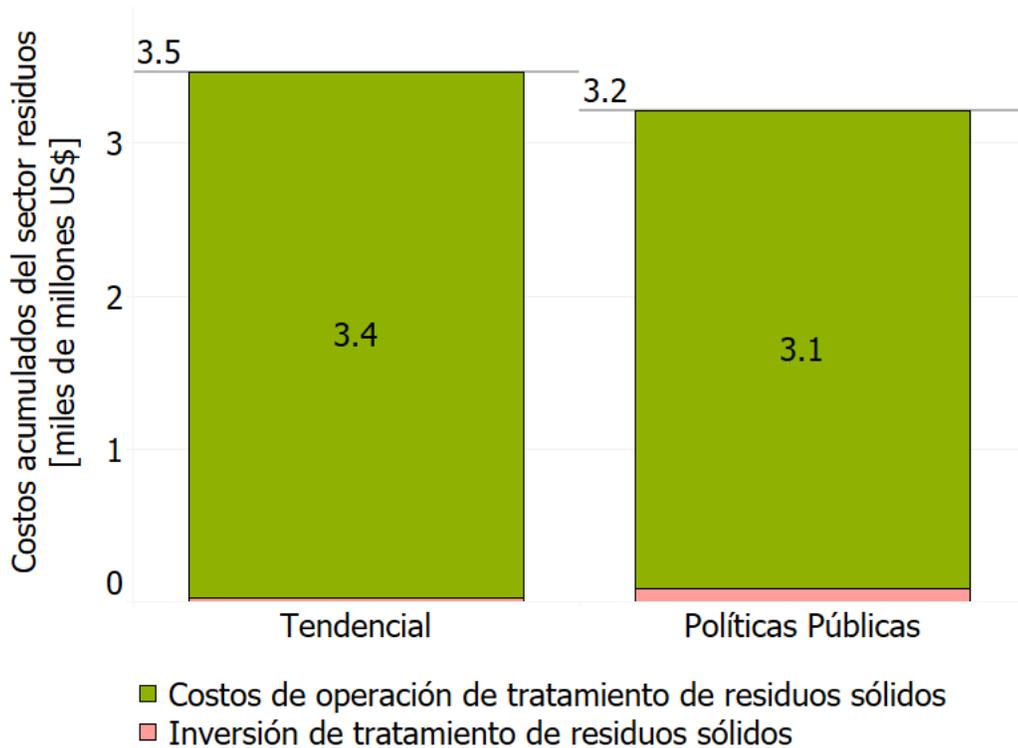
La **Figura 27** desglosa los costos acumulados entre 2021 y 2050, considerando valores descontados al 2023. En esta se observa que los costos operativos de residuos sólidos (mostrados con una barra de color verde oscuro) disminuyen en cerca de 500 MUSD en el escenario de políticas públicas en relación con el tendencial. Tal descenso se debe a la aplicación de políticas orientadas a una menor generación de residuos per cápita y, por ende, menos residuos por tratar. Además, este efecto se ve amplificado por un incremento en las prácticas de compostaje y reciclaje, métodos de tratamiento de residuos que resultan ser menos costosos que el uso de rellenos sanitarios.

En la **Figura 28** se muestran los costos del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. La inversión para el tratamiento de aguas industriales en el escenario de políticas públicas (ilustrado en azul) aumenta aproximadamente 3,000 MUSD, en comparación con el tendencial. Los costos variables (evidenciados en barras celestes) incrementan levemente en comparación al escenario tendencial. Este incremento se debe principalmente al aumento de la cobertura de tratamiento de aguas residuales industriales, lo que conlleva una necesidad creciente tanto en inversión de capital como en gastos operativos asociados a esta ampliación.

La inversión destinada al tratamiento de aguas domésticas, representada en anaranjado fuerte, muestra un incremento ligero de aproximadamente 400 MUSD, en comparación con

el escenario tendencial. Tanto los costos variables, ilustrados mediante barras verde, como los costos fijos, representados en anaranjado claro, son levemente mayores en el escenario de políticas públicas frente al tendencial. Sin embargo, ambos tienen una magnitud menor a 1 MUSD. Este incremento en los costos se debe principalmente a la necesidad de implementar nuevas infraestructuras, con el fin de alcanzar una cobertura completa y eficaz en el tratamiento de las aguas residuales. Al comparar con los costos del tratamiento de aguas residuales industriales, se destaca que los costos para las aguas residuales domésticas son menores, debido a su actual mayor nivel de cobertura.

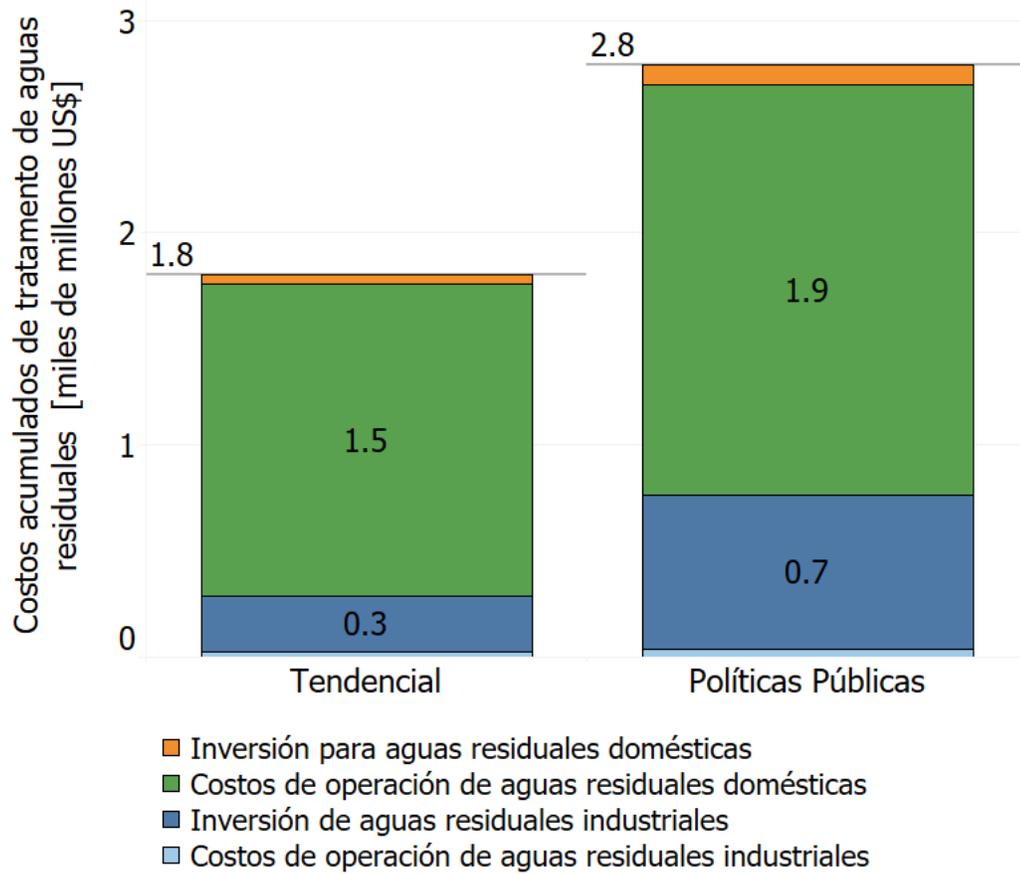
Figura 27. Costos totales acumulados para residuos sólidos.



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Costos totales acumulados para aguas residuales.



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

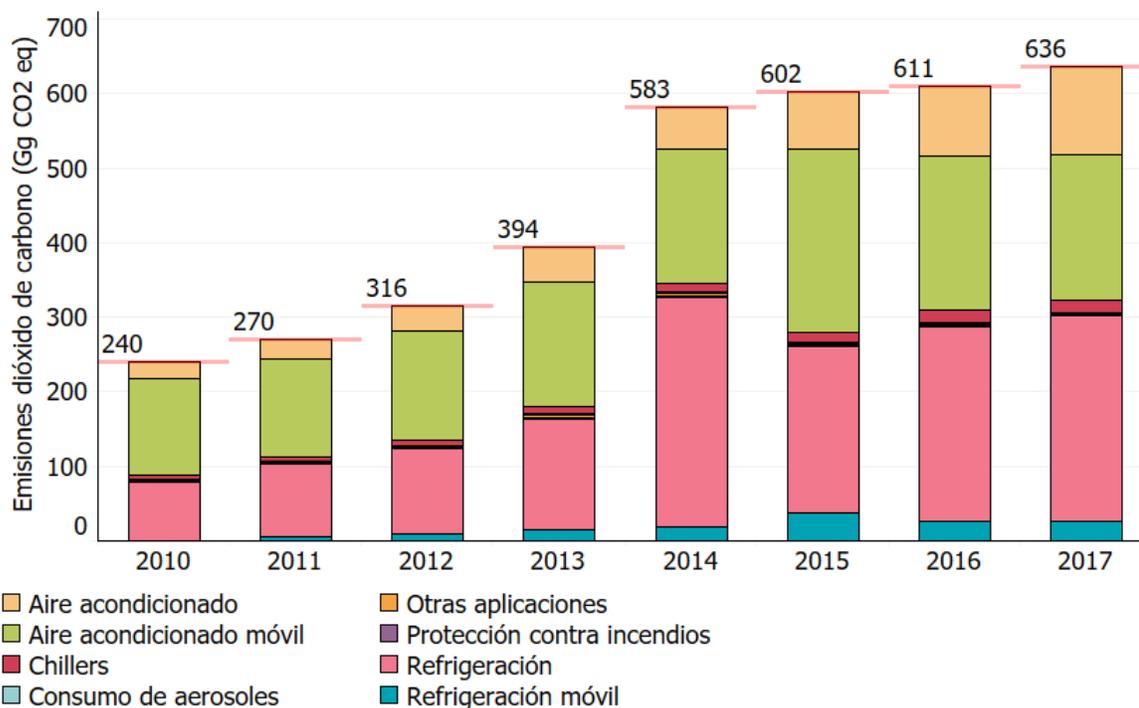
Fuente: Elaboración propia

6. Sector Refrigeración

6.1. Emisiones de CCVC y políticas públicas actuales en el sector Refrigeración

En Costa Rica las emisiones de HFC se dan por refrigeración y aire acondicionado, aerosoles, protección contra incendios, y otros usos de HFC. En el 2017 se reportó la emisión de 633.7 Gg de CO_{2eq} provenientes de este sector. En la **Figura 29**, se aprecia que las actividades de refrigeración contribuyen en mayor medida a las emisiones, siendo responsables de un 43.7 % en el 2017, seguida de los aires acondicionados móviles, con un 30.9 %. Según los datos del inventario, las emisiones por refrigeración se han multiplicado 28 veces desde 1999. De igual manera, se indica que el aumento en las emisiones en el 2014 se da por la liberación del remanente de los gases en los equipos que cumplieron su ciclo de vida. (Gobierno de Costa Rica, 2021).

Figura 29. Emisiones por el uso de refrigerantes asociadas a CCVC.

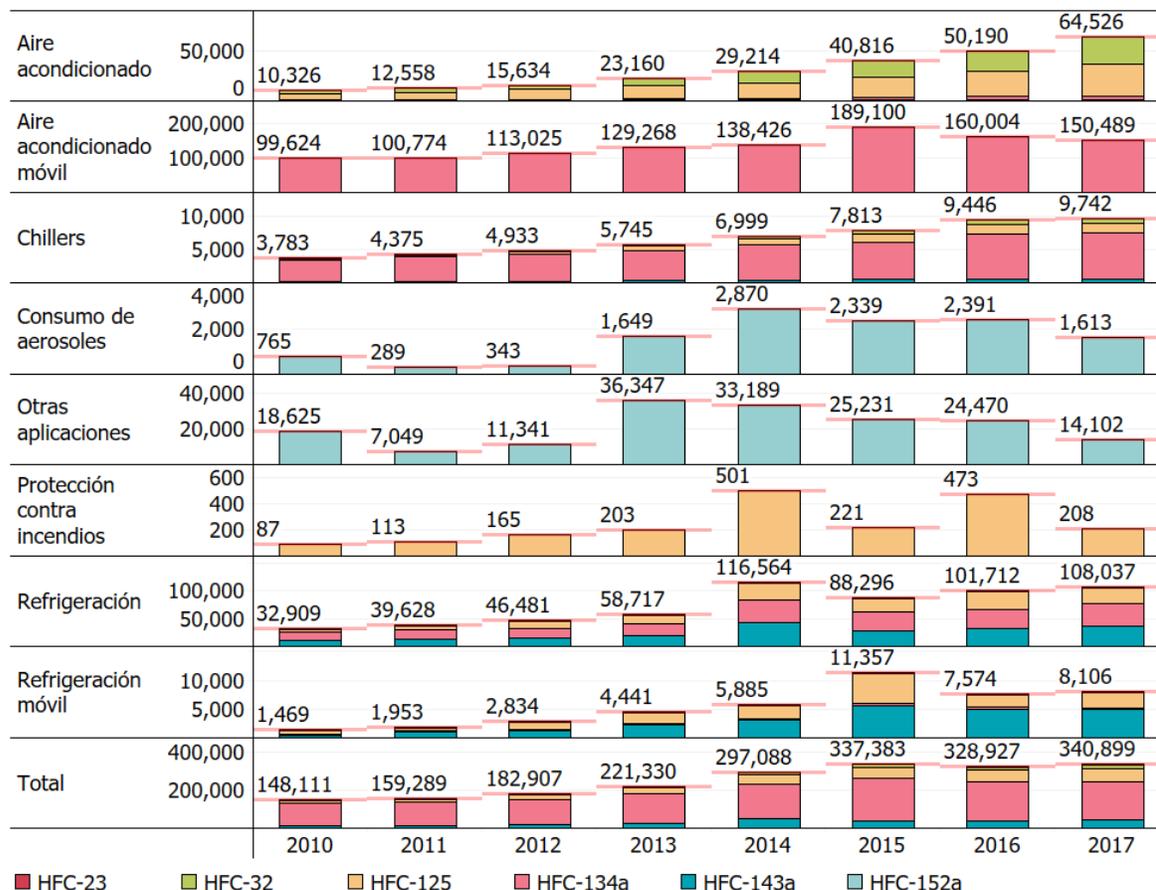


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

La **Figura 30** muestra el nivel de actividad e importación de los refrigerantes utilizados en el país desde el 2010. En esta se puede apreciar un claro aumento en el nivel de uso de refrigerantes en cada actividad relacionada con el sector. El aumento del uso de refrigerantes está relacionado al aumento de la población en el país y las temperaturas cada vez más elevadas. En este sector, cabe destacar que los refrigerantes que se utilizan en el país

reportan un elevado potencial de calentamiento (desde 140 hasta 11,700 PCG) lo cual incrementa considerablemente su efecto negativo sobre el medio ambiente.

Figura 30. Nivel de actividad relacionada a gases refrigerantes [kg].



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe del Inventario Nacional 1990-2017 (2021).

Según el Plan Nacional de Energía 2015-2030, uno de los usos más importantes de HFC en el sector residencial del país es la refrigeración. En el sector de comercio y servicios predominan los aires acondicionados y refrigeración. Mientras que en el sector industrial unos de los usos dominantes son la refrigeración y el aire acondicionado.

En relación con lo anterior, Costa Rica posee una serie de planes y estrategias para reducir o evitar las emisiones de CCVC asociadas al uso de refrigerantes. A continuación, se muestran estas políticas y las principales acciones asociadas a las emisiones de CCVC:

- 1. Contribución Nacionalmente Determinada (2020):** en este documento se reafirman los compromisos de la Enmienda de Kigali del Protocolo de Montreal para reducir los hidrofluorocarbonos (HFC) y promover los refrigerantes de bajo poder de

calentamiento global, así como desarrollar y actualizar estándares y regulaciones relacionadas a la eficiencia energética de equipos de refrigeración y aire acondicionado para el 2030.

2. Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016): En el eje de desarrollo de edificaciones de diversos usos (comercial, residencial, institucional) bajos estándares de alta eficiencia y procesos de bajas emisiones. Para esto se plantean las siguientes acciones:

→ **2023-2030:**

- Promover la aplicación de prácticas de eficiencia energética en edificaciones existentes.
- Impulsar el uso de equipos eficientes, equipos solares, equipos de refrigeración y aire acondicionados naturales o con bajo PCG (acordes con Enmienda de Kigali) en edificaciones existentes.
- Apoyar la implementación del Reglamento Técnico de Eficiencia Energética y Etiquetado para la Regulación de Refrigeradores, Refrigeradores-Congeladores y Congeladores.
- Tener al menos 1 proyecto piloto de sustitución a refrigerantes naturales implementado en el sector industrial.
- Alinear incentivos fiscales (importación) para promover el uso de refrigerantes naturales y los equipos que los utilicen y desincentivar el uso de refrigerantes con alto Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Elaborar reglamentación para la disposición adecuada de refrigerantes y equipos asociados.

3. Plan Nacional de Energía 2015-2030 (2015): Este plan tiene como uno de sus objetivos elevar la eficiencia energética de los procesos y equipos, para lograr una sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones. Específicamente en relación con refrigerantes se mencionan las siguientes acciones:

- Elaborar reglamentos técnicos para la eficiencia de equipos. El de refrigeración residencial para el 2015, el de refrigeración comercial para el 2016, y el de aires acondicionados para el 2017.
- Establecer sellos de eficiencia energética. De refrigeración residencial para el 2016, y de refrigeración comercial y aires acondicionados para el 2017.

4. Estrategia Nacional de Economía Circular (2023): En uno de sus ejes, esta Estrategia busca impulsar la adopción de una economía circular a lo largo de toda la industria de la construcción e infraestructura para impactar positivamente la eficiencia en el uso de los recursos. En su eje industrial, se enfoca en la descarbonización del sector y la adopción de patrones de producción-consumo sostenible. Este documento posee acciones que se pueden aplicar al uso eficiente de refrigerantes o aire acondicionado, o a la producción de equipos de refrigeración y su disposición final, como las que se mencionan a continuación:

- Definir criterios, lineamientos y políticas de construcción sostenible privada para el 2030.
- Desarrollar un modelo industrial de revalorización de materiales, flujos energéticos y aguas, con capacitación y acompañamiento a los implementadores.
- Promover el ecodiseño de partes, productos y empaques (durabilidad, adaptabilidad, compatibilidad y estandarización), modelos de supraciclaje⁶ (up-cycling).

5. Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026 (2022): Entre las metas relacionadas a este sector, para el 2026 se plantear un consumo total de sustancias agotadoras de la capa de ozono de 46,892.95 kg.

En Costa Rica, las emisiones de HFC están principalmente asociadas al uso de refrigerantes en hogares, comercio e industrias; y el aire acondicionado, en vehículos, comercios e industria. Según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (2017), el sector comercial es el que consume mayor cantidad de refrigerantes (Gobierno de Costa Rica, 2021). Si bien en sus políticas se encuentran metas asociadas al uso de refrigerantes más ambientalmente amigables y elevar la eficiencia energética de los equipos, no se cuenta con acciones concretas o un plan específico para refrigerantes, que indique cómo se van a realizar estas transiciones. Debido a lo anterior, es recomendable impulsar su creación e implementación.

6.2. Cadena de valor del sector Refrigerantes

En el país, las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC) se generan a partir del uso de refrigerantes en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, aerosoles, protección contra incendios y otros usos, como la transferencia de flúor al vidrio para mejorar sus propiedades mecánicas. La **Figura 31** muestra la cadena de valor para este sector. Para empezar, se importan los refrigerantes al país y se instalan los equipos de refrigeración. En este punto es importante resaltar que los equipos generan fugas de gases de efecto invernadero con su uso. Por último, y luego de finalizada su vida útil, se retiran los equipos y se llevan a su disposición final.

⁶ El supra reciclaje o upcycling, consiste en aprovechar productos, residuos o materiales para obtener un producto con un mayor valor sobre el producto inicial sin un costo ecológico. Este proceso se encuentra ligado a la economía circular (Fernandez y Santos, 2021).

Figura 31. Cadena de valor del sector refrigerantes.



Fuente: Elaboración propia.

El **Cuadro 13** muestran un resumen de las principales acciones de políticas públicas y estrategias del país que se dirigen a cada unidad de la cadena de valor. Las políticas públicas que se encontraron para el sector de refrigerantes son la Contribución Nacionalmente Determinada, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (PND), Plan Nacional de Energía 2015-2030, Estrategia Nacional de Economía Circular y el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2023-2026. Estas fueron seleccionadas por poseer acciones y metas relacionadas directa o indirectamente con la mitigación de CCVC.

Cuadro 13. Acciones de la cadena de valor del subsector de refrigerantes.

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas
Importación de HFC	<p>Contribución Nacionalmente Determinada (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover los refrigerantes de bajo poder de calentamiento global. <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016)</p> <ul style="list-style-type: none"> Impulsar uso de equipos de refrigeración y aire acondicionados naturales o con bajo PCG.
Capacidad instalada	<p>Contribución Nacionalmente Determinada (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar y actualizar estándares y regulaciones relacionadas a la eficiencia energética de equipos de refrigeración y aire acondicionado para el 2030. <p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050 (2016)</p> <ul style="list-style-type: none"> Etiquetado para la Regulación de Refrigeradores Elaborar reglamentación para la disposición adecuada de refrigerantes y equipos asociados. <p>Plan Nacional de Energía 2015-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> Elaborar reglamentos técnicos para la eficiencia de equipos.

Retiro de equipo	Sin medidas directas para CCVC.
Disposición de equipos viejos	Estrategia Nacional de Economía Circular <ul style="list-style-type: none"> • Promover modelos de supra reciclaje (up-cycling).
Planificación	Estrategia Nacional de Economía Circular <ul style="list-style-type: none"> • Definir criterios, lineamientos y políticas de construcción sostenible privada. • Desarrollar un modelo industrial de revalorización de materiales, flujos energéticos y aguas, con capacitación y acompañamiento a los implementadores. • Promover el ecodiseño de partes, productos y empaques (durabilidad, adaptabilidad, compatibilidad y estandarización). Plan Nacional de Energía 2015-2030 <ul style="list-style-type: none"> • Establecer sellos de eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia

Las políticas públicas de Costa Rica relacionadas a refrigerantes se encuentran enfocadas en la sustitución de estas sustancias por opciones naturales. En el 2020, se impulsaron dos proyectos piloto para utilizar refrigerantes naturales en la industria de alimentos (Gobierno de la Costa Rica, 2020). Por otro lado, el Instituto Tecnológico de Costa Rica recomienda el uso de refrigerantes naturales como el amoniaco (La República, 2019). Según lo anterior, en el país ya existen iniciativas para la transición al uso de sustancias más sostenibles, por lo que se recomienda impulsar este tipo de proyectos. De igual manera, se recomienda eliminar los incentivos indirectos a equipos ineficientes y sustancias con PCG elevado y desarrollar proyectos relacionados con la disposición de los equipos, como crear centros de acopio y reciclaje de refrigerantes, e identificar posibles alternativas de regeneración de gases refrigerantes.

Para evaluar el funcionamiento de los equipos, se propone un desarrollar un sistema de recolección de datos robusto, en el que se incluya la eficiencia energética y la carga del gas refrigerante. En cuanto al aire acondicionado de los carros, se propone crear un registro para tener una línea base de consumo de refrigerantes por vehículos, e identificar oportunidades de mejora (PNUD, 2020). En políticas internacionales se ha encontrado iniciativas como la implementación de incentivos a consumidores residenciales y comerciales para la compra de equipos de alta eficiencia. (Ministerio de la Presidencia de Panamá, 2022).

6.3. Escenario de políticas públicas para mitigar los CCVC

En esta subsección se describen las condiciones planteadas para el escenario de Políticas públicas. Para definir estas condiciones se agruparon las acciones descritas en las políticas públicas en “medidas de mitigación”, a las cuales se les asoció un “supuesto” que corresponde a los valores numéricos utilizados para simular cada medida.

Para el sector refrigerantes se consideran específicamente el Manual de Refrigerantes con Bajo Potencial de Calentamiento Global del Ministerio de Agricultura y Ganadería y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La meta es disminuir el consumo de HFC paulatinamente en el período de análisis. En el **Cuadro 14** destaca los supuestos extraídos de este manual, para la reducción de HFC en el país.

Cuadro 14. Supuestos considerados para el sector de refrigerantes.

Medida de mitigación	Supuesto	Referencia
Reducción de consumo de HFC	Se proyecta una reducción paulatina del consumo de HFC de la siguiente manera: 2025: 10% 2035: 30% 2040: 50% 2045: 80%	Manual Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global

Fuente: Elaboración propia

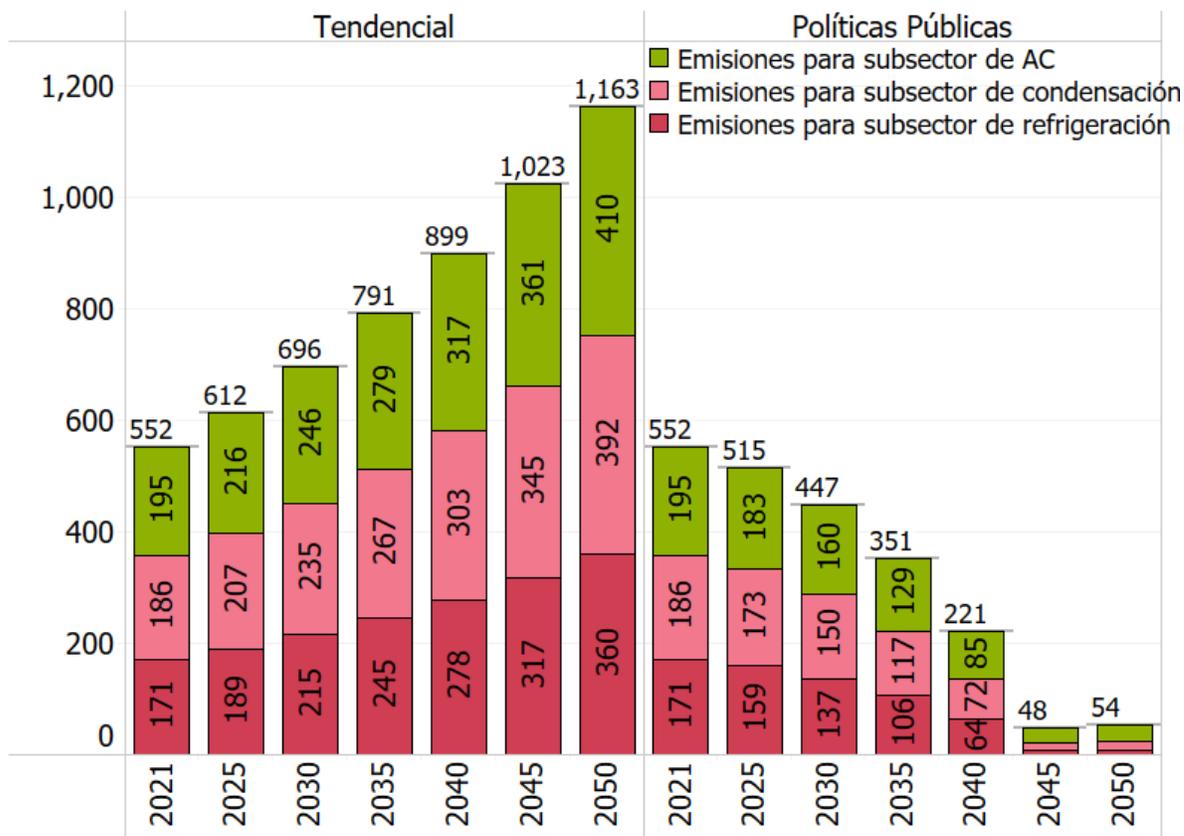
6.4. Resultados de modelación para el sector Refrigerantes

En la siguiente sección, se analizan detalladamente los resultados derivados de los diferentes escenarios en el ámbito de la refrigeración. La **Figura 32** ilustra las emisiones de este sector, diferenciadas por subsector:

- El subsector de aires acondicionados (AC) se representa en verde.
- El subsector dedicado a refrigeración se muestra en rojo.
- El subsector de condensación aparece en color rosado.

El escenario tendencial muestra un incremento de emisiones a lo largo de los años, esto debido al aumento de la demanda de sustancias HFC's. Por otro lado, el escenario de políticas públicas destaca cómo la implementación de medidas, como la sustitución HFC's por refrigerantes naturales (refrigerantes con un PCG bajo), pueden traducirse en una significativa disminución de emisiones con el paso del tiempo. En términos concretos, para refrigeración, se alcanza una reducción de 1,109 kton CO₂eq para el año 2050.

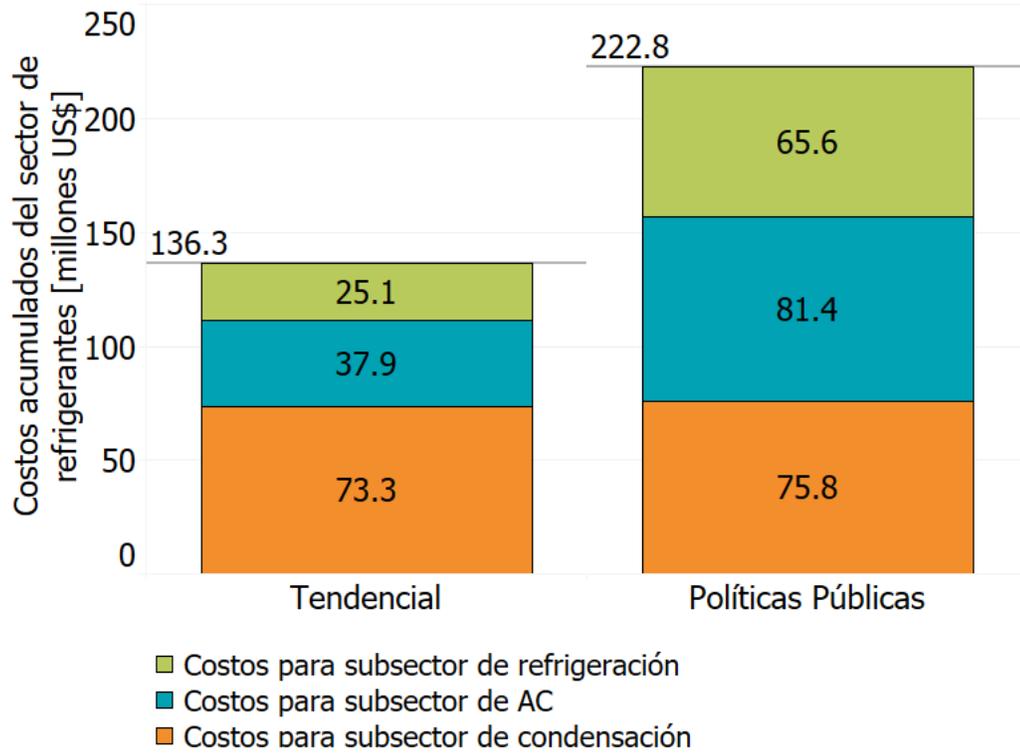
Figura 32. Emisiones del sector de refrigerantes por escenario y año.



Fuente: Elaboración propia

La **Figura 33** presenta un desglose de los costos acumulados asociados a la importación de refrigerantes, con valores descontados al 2023. En el escenario de políticas públicas, se observa un incremento de 46 MUSD, respecto al tendencial. Este aumento se asocia con la transición de refrigerantes HFC a alternativas naturales, como: HFO-1234yf, HC-290, y HC-600a.

Figura 33. Costos totales acumulados del sector de refrigerantes por escenario



Nota: los costos son descontados al 2023 con una tasa del 5%.

Fuente: Elaboración propia

7. Referencias

- Aguado, M., & Fernández-González, J. M. (2011). Life cycle assessment of a municipal solid waste incinerator in Spain. *Waste Management & Research*, 29(5), 480-494. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3155/1047-3289.61.5.480>
- Basma, H., & Rodríguez, F. (2022). Fuel cell electric tractor-trailers: Technology overview and fuel economy. www.theicct.org
- Brenes, M., Chacón, A (2023). Costa Rica aprovecha eficazmente el recurso hídrico, pero no logra controlar los impactos negativos de su uso intensivo. Programa Estado de la Nación. Recuperado de <https://estadonacion.or.cr/costa-rica-aprovecha-eficazmente-el-recurso-hidrico-pero-no-logra-controlar-los-impactos-negativos-de-su-uso-intensivo/>
- Cámara de Industrias de Costa Rica. (2022). Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. Recuperado de https://cicr.com/wp-content/uploads/2022/10/Est_Na_Plan_Accion_Hidrogeno_Verde_CR_220921.pdf
- CCAC (2019). Reducing methane emissions from Mexico's oil and gas sector. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/reducing-methane-emissions-mexicos-oil-and-gas-sector>.
- CCAC (2023). Methane Roadmap Action Programme (M-RAP). Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/methane-roadmap-action-programme-m-rap>
- CCAC (Julio, 2023). Colombia - Deliver a national roadmap to reduce SLCPs from open burning. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/colombia-deliver-national-roadmap-reduce-slcp-open-burning>
- CCAC (Julio, 2023). Costa Rica - Deliver National SLCP Plan and National Methane Roadmap . Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/costa-rica-deliver-national-slcp-plan-and-national-methane-roadmap>
- CCAC (Julio, 2023). Enhancing NDC ambition and scaling up action in Peru's municipal solid waste sector. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/enhancing-ndc-ambition-and-scaling-action-perus-municipal-solid-waste-sector>
- CCAC (Julio, 2023). Trinidad and Tobago: estimating the public health benefits of integrated climate and clean air actions. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/projects/trinidad-and-tobago-estimating-public-health-benefits-integrated-climate-and-clean-air>
- CCAC. (2019). The contribution of short-lived climate pollutants to the Sustainable Development Goals. Retrieved Enero 27, 2020. Recuperado de <https://ccacoalition.org/en/content/contribution-short-lived-climatepollutants-sustainable-development-goals>
- CCAC. (Julio, 2023). Climate and Clean Air Coalition. Recuperado de <https://ccacoalition.org/en/content/about>
- CCAC. (Diciembre del 2023). Climate and Clean Air Coalition. Recuperado de <https://www.ccacoalition.org/es/content/short-lived-climate-pollutants#Impacts>
- CONARROZ. (2021). Informe anual estadístico periodo 2020-2021. Conarroz.com. <https://www.conarroz.com/estadisticasarroceras.php>

- Consejo Nacional de Rectores (CONARE). (2018). Informe Estado de la Nación, Capítulo 6: Transporte y movilidad: retos en favor del desarrollo humano [2018]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12337/2989>
- Consejo Nacional de Rectores (CONARE). (2023). Informe Estado de la Nación [2023]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12337/8603>
- Correal, M. C., Faleiro, C., Piamonte, C., Rihm, J. A., & Zambrano, M. (2023). Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs (Defra). (2014). Greenhouse Gas Inventories for England, Scotland, Wales, and Northern Ireland: 1990-2000 Appendices 7-10. United Kingdom. Recuperado de https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/empire/ghg/ukghgi_90-00_appendices_7-10.pdf
- Díaz, M., Contreras, C., Rebolledo, M., Tatis, A., & Barrantes, V. (2023). Actualización del estudio sobre el uso de sustancias HFC y alternativas en Panamá 2021. Undp.org. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-06/undp-pa-kigali-minsa-2023.pdf>
- DIGECA. (2021). Enmienda Kigali. Digeca.go.cr. <http://www.digeca.go.cr/enmienda-kigali>
- Dirección de Cambio Climático. (2019). NAMA Residuos. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/NAMA-Residuos-Solidos.pdf>
- Dirección de Cambio Climático. (2021). Costa Rica actualizó datos de emisiones y escenarios climáticos ante ONU. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/costa-rica-actualizo-datos-de-emisiones-y-escenarios-climaticos-ante-onu/#:~:text=Como%20parte%20de%20la%20cuarta,pa%C3%ADs%20entre%201990%20y%202017.>
- EA. (2022). Global Hydrogen Review 2022. www.iea.org/t&c/
- EPA. (2021). Regulatory Impact Analysis for Phasing Down Production and Consumption of Hydrofluorocarbons (HFCs). Epa.gov. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/ria-w-works-cited-for-docket.pdf>
- EPERLab-UCR. (2020a). OSeMOSYS-CR v2 — OSeMOSYS-CR-v2 0.1 documentation. Readthedocs.io. <https://osemosys-cr-v2.readthedocs.io/en/latest/>
- EPERLab-UCR. (2020b). The OSeMOSYS-CR model — OSeMOSYS-CR 1.0.a documentation. Readthedocs.io. <https://osemosys-cr.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- European Environment Agency (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019#additional-files>
- European Investment Bank (EIB). (2013). Calculation of GHG Emissions in Waste and Waste-to-Energy. JASPERS Working Papers. <https://jaspers.eib.org/LibraryNP/JASPERS%20Working%20Papers/Calculation%20of%20GHG%20Emissions%20in%20Waste%20and%20Waste-to-Energy>

- Fernandez, N., Santos, M (2021). Upcycling en la Moda: Sostenibilidad en las empresas del sector textil. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/51427/TFG-E-1243.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gobierno de Costa Rica. (2015). Plan Nacional de Energía 2015-2030. Recuperado de https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2018/08/VII_Plan_Nacional_de_Energia_2015-2030.pdf
- Gobierno de Costa Rica. (2016). Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) 2016-2021. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/planes-y-politicas-institucionales/planes-institucionales/estrategias-planes-institucionales/729-estrategia-nacional-de-reciclaje-2016-2021/file>
- Gobierno de Costa Rica. (2016). Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/planes-y-politicas-institucionales/planes-institucionales/planes-planes-institucionales/714-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
- Gobierno de Costa Rica. (2018). Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (2019). Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030. Recuperado de <https://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/No%20DE-41579/Version1/PlanTranspElect.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (2020). Contribución Nacionalmente Determinada 2020. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/01/Contribucion-Nacionalmente-Determinada-de-Costa-Rica-2020-Version-Completa.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (2020). Principales avances del Plan Nacional de Descarbonización. Recuperado de <https://www.presidencia.go.cr/comunicados/2020/02/principales-avances-del-plan-nacional-de-descarbonizacion/>
- Gobierno de Costa Rica. (2021). Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI). Recuperado de <https://minae.go.cr/organizacion/vicegestionestrategica/SEPLASA/Documentos/ENREI-FINAL.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (2021). Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 1990-2017. Primera Edición. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/06/InventarioGEI2017.pdf>
- Gobierno de Costa Rica. (2022). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP). Recuperado de https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP_Documento-2022-2026_VC.pdf
- Hyundai. (2023). XCIENT Fuel Cell.
- IEA. (2023). Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions. www.iea.org

- INEC. (2022). Encuesta Nacional Agropecuaria. INEC. <https://inec.cr/estadisticas-fuentes/encuestas/encuesta-nacional-agropecuaria>
- Clean Cooking Alliance [CCA] (2023). Introductory Framework for Measurement, Reporting, and Verification. Recuperado de: [Introductory Framework for Measurement, Reporting, and Verification for Clean Cooking Energy Initiatives | Climate & Clean Air Coalition \(ccacoalition.org\)](https://climateandcleanaircoalition.org/introductory-framework-for-measurement-reporting-and-verification-for-clean-cooking-energy-initiatives)
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2023). Plan de Expansión de la Generación 2022-2040. Recuperado de <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/741c8397-09f0-4109-a444-bed598cb7440/Plan+de+Expansio%CC%81n+de+la+Generacio%CC%81n+2022-2040.pdf?MOD=AJPERES&CVID=osLqnZB>
- IPCC. (2006). Directrices de la IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. [iges.or.jp. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf)
- IPCC. (2022). Global Warming of 1.5°C. En Global Warming of 1.5°C. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- La Vanguardia (2019). ¿Qué son las COP y para qué han servido?. Recuperado de [¿Qué son las COP y para qué han servido? \(lavanguardia.com\)](https://lavanguardia.com)
- MIDEPLAN. (2014). Plan Nacional de Logística de Cargas 2014-2024. Recuperado de <http://10.1.0.234:8080/handle/123456789/91>
- MIDEPLAN. (2018). Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública del Bicentenario 2019-2022. Recuperado de https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/1072_0.pdf
- MIDEPLAN. (2022). Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública 2023-2026. Recuperado de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/PNDIP%202023-2026%20Main.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2015). NAMA Ganadería Bovina en Costa Rica. Recuperado de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10885.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). Plan Nacional de Agricultura Familiar. Recuperado de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cos208015.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2022). NAMA Arroz. Recuperado de <https://www.mag.go.cr/asuntos-internacionales/Inf-final-NAMA-Arroz-2022.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). Plan de Intervenciones Estratégicas 2019-2022. Recuperado de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E14-11089.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2020). Manual: “Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global”. Recuperado de [https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/user_upload/SPODS Costa Rica Refrigerantes con bajo potencial de Calentamiento Global.pdf](https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/user_upload/SPODS_Costa_Rica_Refrigerantes_con_bajo_potencial_de_Calentamiento_Global.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2020). Primer Plan Nacional de Compostaje 2020-2050, MINAE. Recuperado de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/05/Plan-Nacional-de-Compostaje-2020-2050.pdf>

- Ministerio de la Presidencia (2022). Estrategia Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía. Recuperado de https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29549_B/91962.pdf
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2011). Plan Nacional de Transporte 2011-2035. Recuperado de <https://repositorio-snp.mideplan.go.cr/bitstream/handle/123456789/90/PP.062.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Salud Costa Rica. (2022). Ticos aumentan el reciclaje de residuos ordinarios en un 71% con respecto al 2020. Ministerio de Salud Costa Rica. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/prensa/52-noticias-2022/1478-ticos-aumentan-el-reciclaje-de-residuos-ordinarios-en-un-71-con-respecto-al-2020>
- Ministerio de Salud. (2021). Plan Nacional de Residuos Marinos 2021-2030. Recuperado de http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/pnrm_2021-2030.pdf
- North Carolina Forest service. (2023). North Carolina Forest service prescribed burning rates for calendar year 2023. Ncforestservice.gov. https://www.ncforestservice.gov/Managing_your_forest/pdf/Burning%20rates.pdf
- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). (Agosto, 2023.). Reporte de Balance Energético. Recuperado de <https://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/ReporteBalanceEnergetico.aspx?or=600&ss=2&v=1>
- Pasamontes, S., Monge, D (2022). Más y mejor recurso humano para el agro. Programa Estado de la Nación. Recuperado de <https://estadonacion.or.cr/mas-y-mejor-recurso-humano-para-el-agro/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Gobierno de la República de Panamá (2020). Plan de Gestión para la Eliminación de Hidrofluorocarbonos (HCFC) en Panamá, Etapa II. Recuperado de <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/PAN/PRODOC%20PS97006%20HCFC%20Panam%C3%A1-Etapa%20II.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Salud y Unidad de Ozono (2020). Plan de Enfriamiento de Panamá. Recuperado de <https://www.undp.org/es/panama/publications/plan-de-enfriamiento-de-panam%C3%A1>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2021). Evaluación de resultados, lecciones aprendidas y provisión de recomendaciones técnicas para el despliegue de buses eléctricos. Recuperado de <https://energia.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/03/4.D6-Assessment-of-results-for-e-bus-deployment-FINAL.pdf>
- Programa Estado de la Nación (2023). Estado de la Nación 2023. Capítulo 4. Armonía con la naturaleza. Recuperado de <https://estadonacion.or.cr/?informes=informe-estado-de-la-nacion-2023>
- Rico, J. (2021). Aspectos técnicos de cinco NAMA de América Latina. CATIE. Recuperado de Aspectos_tecnicos_de_cinco_NAMA_de_America_Latina.pdf (catie.ac.cr)

- RITEVE. (2022). Riteve presentó los datos de la RTV del 2021. Recuperado de <https://www.rtv.co.cr/riteve-presento-los-datos-de-la-rtv-del-2021/#:~:text=La%20antig%C3%BCedad%20promedio%20del%20parque,1%25%20otras%20fuentes%20de%20energ%C3%ADa.>
- Rodríguez-Arce, M., Angulo-Paniagua, J., Víctor-Gallardo, L., Quirós-Tortós, J., Alexander, K., & Howells, M. (2023). Integrated clew framework to support ndc updating process: The case of Costa Rican. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4591007>
- Sanabria, W (2020). Mercados Invisibles: El Sector Informal de la Gestión de Residuos Sólidos Valorizables. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11457/Walter_Sanabria_Mercados_invisibles...pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Secretaria Nacional de Energía (SNE) (2020), Agenda de Transición Energética, Gaceta Oficial Digital, del 26 de noviembre de 2020. Recuperado de https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29163_B/81944.pdf
- Sistema Costarricense de Información Judicial. (2017). Reglamento municipal para la Valorización el Aprovechamiento Energético con Residuos Sólidos Municipales. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC¶m2=1&nValor1=1&nValor2=83569&nValor3=107481&strTipM=TC&lResultado=8&nValor4=1&strSelect=sel
- Soto, S (2019). Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica. Programa Estado de la Nación. Recuperado de <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/7818>
- Stockholm Environment Institute., Climate & Clean Coalition. (2022). National Planning on SLCPs - Celebrating National Planning Achievements: Setting the stage for implementation.
- U.S. Department Of State. (2022). Global Methane Pledge: From Moment to Momentum. Office of the Spokesperson. Recuperado de <https://www.state.gov/global-methane-pledge-from-moment-to-momentum/>
- United Nations Environment Programme (2022). Is Natural Gas a Good Investment for Latin America and the Caribbean? From Economic to Employment and Climate Impacts of the Power Sector. Recuperado de <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/40923>
- United Nations. (2022). World Population Prospects 2022. Population.un.org. <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/188>
- USAID. (2019). Estrategia Nacional de Desarrollo con Bajas Emisiones. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00X395.pdf
- Vogt-Schilb, A., Jaramillo, M., Víctor-Gallardo, L., Quirós-Tortós, J., & Rodríguez-Zúñiga, M. (2021). *Impacto fiscal de la descarbonización del transporte en Costa Rica y opciones de política para manejarlo.* <https://doi.org/10.18235/0003402>

8. Apéndices

8.1. Matriz de las acciones políticas identificadas que se asocian a mitigación de CCVC

Cuadro 15. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022; BID, 2015, Alcaldía de Panamá & BID, 2016, Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2020).

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas	Oportunidad de mejora
Pasajero	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover la intermodalidad. Implementar campañas de comunicación, información y educación a los usuarios. Promover la movilidad sostenible (activa) en ciudades. 	<p>Relación indirecta con CCVC</p>
	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> Informar al consumidor sobre transporte eléctrico. 	<p>Desincentivo del uso del transporte privado:</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover el trabajo a distancia, para reducir la necesidad de trasladarse, pues estos traslados se suelen hacer en medios individuales. Crear propuestas y espacios seguros y atractivos que promuevan la movilización enfocada en las personas, por ejemplo, días de la semana donde no se puede utilizar el carro, y se promueve caminar o utilizar bicicletas. <p>Incentivo social del uso del transporte público o integrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> Crear y promocionar una cultura de movilidad activa. Educar a la población para erradicar el acoso callejero e impulsar el uso de transporte público y movilidad activa.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Implementar pagos con tarjetas o pago electrónico en el transporte público, para volver este medio de transporte más atractivo.
- Licitación y operación e implementación del Tren Eléctrico entre Cartago, San José, Heredia y Alajuela.
- Implementar plan transformativo para escalar transporte público urbano cero emisiones.
- Desplegar proyectos a escala, cero emisiones, en transporte público y movilidad compartida: flotas de buses, taxis, tren dentro y fuera del GAM.

Plan Nacional de Transporte 2011-2035

- Apoyar la renovación progresiva de flotas de autobuses.

Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030

- Gestionar alianzas público-privadas para la participación de diferentes actores para el desarrollo de autobuses eléctricos.
- Incorporar la operación del tren eléctrico en la GAM.

Plan Nacional de Energía 2015-2030

- Implementar el programa de alquiler de bicicletas.

Relación directa con CCVC**Desincentivo del uso del transporte de combustión fósil:**

- Implementar buses rurales eléctricos.

Relación indirecta con CCVC**Incentivo económico del uso del transporte público o integrado:**

- Implementar incentivos económicos para el uso del transporte público, por ejemplo, descuentos para estudiantes, canjes de material reciclable por viajes en metro o bus, acceso gratuito a internet en el transporte público, compensaciones por el uso del transporte público o movilidad activa, entre otras.

Incentivo social del uso del transporte público o integrado:

- Adaptar el transporte público para personas con movilidad reducida y limitaciones físicas, como de visión.
- Crear secciones del tren o buses que sean exclusivas para mujeres, aumentando la sensación de seguridad en estos medios de transporte.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Desarrollar infraestructura para movilidad eléctrica, como estaciones de recarga.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)

- Desarrollar diagnósticos de vulnerabilidad y riesgo ante amenazas asociadas al clima en el 100% de la infraestructura pública vital y crítica asociada a la red vial nacional.

Plan Nacional de Transporte 2011-2035

- Desarrollar normativa técnica de referencia, para planificación, estudio y diseño de infraestructura de transporte.
- Desarrollar una red vial estratégica, de alta capacidad y tomando en cuenta distribuidores regionales.
- Crear una Red Arterial Metropolitana de la GAM y Moín-Limón.
- Mejorar y reconstruir la red vial: drenaje transversal y longitudinal, construcción de puentes, acceso a otros puertos y aeropuertos.
- Crear infraestructuras y equipamientos interprovinciales para el transporte público: estaciones y refugios en ruta e información de servicio.
- Crear infraestructuras metropolitanas para el transporte ferroviario, como la malla básica y estaciones de pasajeros.

Relación directa con CCVC:

Desarrollo de infraestructura para transporte público y movilidad activa:

- Desarrollar una interconexión y continuidad vial, considerando también las zonas rurales.

Relación indirecta con CCVC:

Desincentivo del uso del transporte privado:

- Crear zonas de estacionamiento pagas, para desincentivar el uso del transporte privado individual.

Incentivo social del uso del transporte público o integrado:

- Organizar rutas de transporte de empleados de empresas.
- Fomentar modelos de ciudad densos y compactos.
- Aumentar la seguridad en las zonas de movilización ciudadana.
- Colocar puestos de seguridad en las vías de tránsito público y ciclovías.

Desarrollo de infraestructura para transporte público y movilidad activa:

- Involucrar municipalidades para la construcción de aceras y ciclovías.
- Adaptar la infraestructura del transporte público para personas con movilidad reducida y limitaciones físicas.

Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030

- Instalar y operar una red de centros de carga.
- Definir y establecer alianzas con operadores de autobuses para la construcción de la infraestructura de recarga.
- Elaborar especificaciones técnicas para transporte público y su infraestructura.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

- Definir la cantidad y ubicación de estaciones de recarga vehicular mínimas.

Plan Nacional de Energía 2015-2030

- Crear infraestructura que brinde seguridad y comodidad a peatones y ciclistas en las zonas urbanas del país.
- Implementar la sectorización de rutas de la GAM. Adopción de carriles exclusivos y terminales de intercambio de pasajeros.
- Desarrollar un mapa del sistema integrado de transporte público y facilitar su acceso por medio de aplicaciones para celulares.

**Importación
vehículos**

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Ampliar oferta de vehículos eléctricos.

**Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030
(2019)**

- Crear normativa de importación de vehículos eficientes y prohibición de vehículos livianos de combustión interna.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Implementar políticas para desincentivar y reducir la compra y el uso de vehículos de combustión interna, hacia una meta de cero ventas de esta tecnología.
- Establecer normativa para que las adquisiciones de vehículos livianos del Estado sean eléctricas o cero emisiones.

Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019)

- Crear incentivos económicos para facilitar la adquisición de vehículos eléctricos: exoneración de impuestos y centros de carga, beneficios en las declaraciones de renta, y líneas de financiamiento.
- Aplicar criterios de evaluación de compras del sector público un 10% a proveedores que ofrezcan vehículos eléctricos.
- Incorporar en los criterios de evaluación de las compras del sector público un 10% adicional a los proveedores que ofrezcan vehículos eléctricos. Actualizar el Plan.
- Crear convenios marco con proveedores de vehículos eléctricos para los sistemas de compra del Estado.
- Elaborar un procedimiento para que las nuevas concesiones de taxis incluyan como requisito al menos el 10% de unidades eléctricas.

Relación directa con CCVC:

Incentivo económico del uso de vehículos eléctricos:

- Crear convenios con proveedores de vehículos eléctricos para sistemas de compra del Estado.
- Aplicar exoneración para ensamblaje y producción de vehículos eléctricos.
- Estudiar la viabilidad de la producción y ensamblaje de tecnologías de transporte eléctrico.

Desincentivo del uso del transporte de combustión fósil:

- Crear políticas para desincentivar y reducir la compra de vehículos de combustión interna.

Incentivo económico del uso de vehículos eléctricos:

- Incentivar la paridad de precio de vehículos eléctricos, para impulsar su compra sobre vehículos de combustión interna.
- Crear planes de financiamiento y seguros favorables para vehículos eléctricos.

Relación indirecta con CCVC:

Incentivo social del uso de vehículos eléctricos:

- Asegurar el conocimiento técnico de gestores de compras y operación de vehículos eléctricos, para impulsar las ventas de vehículos eléctricos.

Operación vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear incentivos no económicos para el uso de vehículos eléctricos: logo distintivo de vehículos eléctricos, uso de espacios azules en parqueos públicos, y exoneración de parquímetros. <p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar el proyecto NAMA "Green Hydrogen" para transporte. 	<p>Relación directa con CCVC:</p>
Inspección vehículos	<p>Incentivo económico del uso de vehículos eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear un cronograma de renovación de la flota, en coordinación con concesiones. • Exonerar parquímetros municipales para vehículos eléctricos. • Realizar un análisis tarifario de la incorporación de vehículos eléctricos. <p>Incentivo social del uso de vehículos eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar especificaciones técnicas de la infraestructura de recarga. • Crear alianzas con operadores de autobuses para construir infraestructura de recarga. <p>Relación directa con CCVC:</p> <p>Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección vehicular considerando emisiones <p>Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actualizar normativa para el control de emisiones de la flota vehicular. 	

Mantenimiento vehicular	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ampliar oferta de sistemas de soporte como talleres especializados. 	<p>Relación directa con CCVC:</p>
Retiro vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030 (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar e implementar programas de manejo de residuos de baterías utilizadas en vehículos eléctricos y otros repuestos de los vehículos eléctricos. 	<p>Relación indirecta con CCVC:</p>

Incentivo social del uso de vehículos eléctricos:

- Capacitar a los trabajadores en reparación y mantenimiento de vehículos eléctricos.
- Crear una hoja de ruta para gestión eficiente de baterías.

Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos y transporte público:

- Crear/actualizar normativa y esquemas para la disposición final de vehículos.
- Crear un programa de chatarrización para transporte público.

Incentivo social y económico del uso de vehículos eléctricos y transporte público:

- Identificar oportunidades para reutilizar el cuerpo y piezas de los vehículos retirados, dentro de un esquema de economía circular, por ejemplo, para repuestos, construcción de cabinas, entre otros.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Elaborar visión transformativa a escala para el transporte público rural de cero emisiones, con planes piloto de buses rurales eléctricos.
- Definir una visión transformativa para futuros usos de hidrógeno y pilas de combustible como complemento de otras tecnologías cero emisiones.
- Impulsar paridad de precio con una reforma fiscal verde y precios al carbono.
- Incrementar las inversiones para masificar la electro-movilidad cero emisiones en el transporte de pasajeros, carga y vehículos livianos.
- Consolidar modelos de ciudades resilientes y orientadas a cero emisiones: compactas, orientadas al transporte público y a usos no motorizados.
- Impulsar la adaptación a retos demográficos (considerar las implicaciones de tener una población que envejece y requiere modalidades específicas de transporte).
- Facilitar líneas de crédito bancarias para adquirir vehículos eléctricos.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)

- Crear una instancia que dé seguimiento al diseño e implementación de medidas de adaptación para el Sector de Obras Públicas y Transportes.

Relación directa con CCVC:

Incentivo social del uso de vehículos eléctricos, transporte público o integrado:

- Aplicar las acciones planteadas para las zonas urbanas también en zonas rurales.

Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos:

- Establecer un programa de electrificación de transporte público: tarifas, financiamiento y contratos de concesión.
- Crear un plan de electrificación de transporte de estudiantes, trabajadores y turistas.

Relación indirecta con CCVC:

Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos, transporte público o integrado:

- Elaborar/actualizar un plan de seguridad vial.

- Incorporar el cambio climático en el ciclo de vida de proyectos para el sector de infraestructura y transporte.

Plan Nacional de Transporte 2011-2035

- Crear las condiciones para Plataformas Logísticas Ferroviarias: estudio, diseño, expropiación de terrenos, licitación, construcción, explotación y conservación de la Plataforma.
- Ajustar la infraestructura (vial, portuaria y aeroportuaria y logística) a estándares internacionales.

Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030

- Actualizar el Plan de Expansión de la Generación Eléctrica para incorporar la demanda futura por transporte eléctrico.
- Desarrollar capacidades e industria del transporte eléctrico en el país.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

- Fomentar programas de inversión en hidrógeno.
- Desarrollar talleres para la elaboración de proyectos bancables de hidrógeno.
- Eliminar subsidios a los combustibles fósiles.
- Solicitar acceso a fondos climáticos que permitan establecer líneas de crédito con condiciones atractivas para el hidrógeno en Costa Rica.

- Promover tasas de interés preferenciales y mayores plazos de financiamiento para el desarrollo de proyectos de hidrógeno.

Cuadro 16. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022; BID, 2015, Alcaldía de Panamá; & BID, 2016, Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe, 2020).

Unidad de la cadena de valor	Acciones concretas de las políticas públicas	Oportunidad de mejora
B . i . e . n . e		
Tecnología	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aprobar un estándar de eficiencia y reducción de emisiones para camiones de carga, con un calendario y metas intermedias. • Implementar proyectos piloto de electrificación e hidrógeno para transporte de carga. 	
Infraestructura / Desarrollo urbano	<p>Plan Nacional de Transporte 2011-2035</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conservar y rehabilitar los puertos de navegación. • Mejorar y ampliar la Terminal de Contenedores de Moín. 	<p>Relación directa con CCVC:</p> <p>Desarrollo de infraestructura para transporte de carga:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una interconexión y continuidad vial, considerando también las zonas rurales.
Importación vehículos	<p>Plan Nacional de Transporte Eléctrico 2018-2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actualizar la regulación para la importación de vehículos de carga nuevos y usados. 	

Relación directa con CCVC:

Incentivo económico del uso de camiones eléctricos:

- Crear convenios con proveedores de vehículos eléctricos para sistemas de compra del Estado.
- Aplicar exoneración para ensamblaje y producción de vehículos eléctricos.
- Estudiar la viabilidad de la producción y ensamblaje de tecnologías de transporte eléctrico.

Desincentivo del uso del transporte de combustión fósil:

- Crear políticas para desincentivar y reducir la compra de vehículos de combustión interna.

Incentivo económico del uso de camiones eléctricos:

- Incentivar la paridad de precio de vehículos eléctricos, para impulsar su compra sobre vehículos de combustión interna.
- Crear planes de financiamiento y seguros favorables para vehículos eléctricos.

Relación indirecta con CCVC:

Incentivo social del uso de camiones eléctricos:

- Asegurar el conocimiento técnico de gestores de compras y operación de vehículos eléctricos, para impulsar las ventas de vehículos eléctricos.

Operación vehículos	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Tren Eléctrico Limonense de Carga (TELCA) en operación. <p>Plan Logística de Cargas 2014-2034</p> <ul style="list-style-type: none"> Limitar el acceso de los camiones de carga a centros urbanos. Reforzar control de emisiones. 	<p>Relación directa con CCVC:</p> <p>Incentivo económico del uso de camiones eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Crear un cronograma de renovación de la flota, en coordinación con concesiones. <p>Incentivo social del uso de camiones eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar especificaciones técnicas de la infraestructura de recarga.
Inspección vehículos		<p>Relación directa con CCVC:</p> <p>Incentivo regulatorio del uso de camiones eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Inspección vehicular considerando emisiones <p>Incentivo regulatorio del uso de vehículos eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Actualizar normativa para el control de emisiones de la flota vehicular.
Mantenimiento vehicular		<p>Relación directa con CCVC:</p> <p>Incentivo social del uso de camiones eléctricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacitar a los trabajadores en reparación y mantenimiento de vehículos eléctricos. Crear una hoja de ruta para gestión eficiente de baterías.

Relación indirecta con CCVC:

Incentivo regulatorio del uso de camiones:

- Crear/actualizar normativa y esquemas para la disposición final de camiones.
- Crear un programa de chatarrización para camiones.

Incentivo social y económico del uso de camiones eléctricos:

- Identificar oportunidades para reutilizar el cuerpo y piezas de los camiones retirados (economía circular), por ejemplo, para repuestos, construcción de cabinas, entre otros.

Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050

- Estudiar la viabilidad de electrificar el transporte de carga con hidrógeno en el corto y mediano plazo.
- Desplegar regulaciones, incentivos, procesos de información y financiamiento consolidado para tecnologías cero emisiones para transporte de carga.

Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

- Habilitar estímulos fiscales para el uso de hidrógeno en el transporte de carga.

Plan Logística de Cargas 2014-2034

- Generar datos para mejorar la planificación del transporte de carga.
- Reforzar la infraestructura logística para incrementar la eficiencia en el trasiego de mercancías, considerando la participación público-privada.

Cuadro 17. Acciones de políticas públicas y oportunidades de mejora identificadas para la cadena de valor del sector transporte público y privado (MOPT, 2011; MIDEPLAN, 2014; Gobierno de Costa Rica, 2015; Gobierno de Costa Rica, 2018; Gobierno de Costa Rica, 2019; Gobierno de Costa Rica, 2020; Gobierno de Costa Rica, 2022; Cámara de Industrias de Costa Rica, 2022).

Unidad de la cadena de valor

Acciones concretas de las políticas públicas

<p>Importación de tecnologías</p>	<p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solicitar acceso a fondos climáticos que permitan establecer líneas de crédito con condiciones atractivas para el hidrógeno en Costa Rica. • Promover tasas de interés preferenciales y mayores plazos de financiamiento para el desarrollo de proyectos de hidrógeno. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar tecnología de red inteligente para la gestión de la demanda de los vehículos eléctricos.
<p>Mantenimiento</p>	
<p>Retiro de tecnologías</p>	

<p>Uso fuente de energías renovables</p>	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> Continuar las inversiones para satisfacer la demanda eléctrica, manteniendo una matriz diversificada y renovable baja en emisiones. <p>Plan de Expansión de la Generación 2022-2040</p> <ul style="list-style-type: none"> Instalar 1 775 MW de energía solar y eólica en el país al 2040, para asegurar una oferta eléctrica renovable. <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> Incorporar comercialmente al 2027 el aporte de 55 MW de energía geotérmica, y adherirla a la matriz eléctrica en la Región Chorotega para aumentar la resiliencia de la región a través de la diversificación de la matriz energética. Incorporar 25 MW de energía solar a la matriz eléctrica en la Región Chorotega para diversificar la matriz energética. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> Planificar el sistema eléctrico nacional considerando los recursos energéticos renovables distribuidos. Implementar un procedimiento para el monitoreo y la gestión de los recursos energéticos distribuidos (GD, almacenamiento de energía, otros).
<p>Uso fuente de energías fósiles</p>	<p>Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde</p> <ul style="list-style-type: none"> Eliminar subsidios a los combustibles fósiles.

<p>Proceso de producción</p>	<p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar normativas de equipos y sistemas de las empresas para lograr la interoperabilidad. • Mantener la flexibilidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con la entrada de nuevas energías renovables variables (ERV). • Continuar con la integración de generación distribuida y almacenamiento de energía de forma segura en la red. • Incorporar en la operación del sistema eléctrico, los servicios auxiliares ofrecidos por los recursos energéticos distribuidos. • Capacitar al personal de empresas de energía eléctrica en redes inteligentes.
<p>Distribución de energía</p>	<p>Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer el despliegue masivo de una red eléctrica inteligente “smart grid” para mejorar precios por almacenamiento, con lo que se manejaría la demanda. <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contar con una red de monitoreo automatizada para registrar variaciones de los niveles de conductividad eléctrica en la región Central y Huetar Norte. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar esquemas tarifarios que incluyan incentivos para las empresas distribuidoras, basado en resultados y casos de éxito por inversión en red inteligente. • Gestionar las pérdidas eléctricas y los sistemas de alumbrado público mediante las redes inteligentes.

Consumo (mercado)	<p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dotar a la red eléctrica de inteligencia para mejorar su operación técnica mediante la automatización y el acceso a los datos de la red y de los usuarios. • Estandarizar la operación de las redes inteligentes y la gestión de datos para garantizar la calidad del servicio, la comunicación y la ciberseguridad. • Conocer el perfil de carga de los vehículos eléctricos en el sector residencial mediante la medición inteligente, con el avance en la instalación de los medidores inteligentes. • Incluir la demanda de vehículos eléctricos en el plan de expansión de la generación eléctrica y transmisión. • Desarrollar tarifas horarias para usuarios residenciales y no residenciales para incentivar la gestión de la demanda utilizando la información disponible de los medidores inteligentes. • Brindar a los usuarios el acceso a la información de la medición inteligente para la gestión de su demanda. • Desarrollar servicios para facilitar la eficiencia energética y la gestión de la demanda en los sectores de consumo mediante las funciones disponibles por la medición inteligente.
Acciones sistémicas	<p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026 (NAP)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conformar alianzas público-privadas para mejorar y escalar prácticas productivas adaptadas a reducir pérdidas, daños y asegurar la continuidad de servicios, como la energía. <p>Estrategia Nacional de Redes Eléctricas Inteligentes 2021-2031 (ENREI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Establecer normativas sobre las características técnicas mínimas y de comunicación de equipos y sistemas de medición, transmisión y almacenamiento de datos. • Promover tarifas que propicien la adecuada integración de los recursos energéticos distribuidos considerando la sostenibilidad del modelo eléctrico costarricense. • Generar las condiciones para desarrollar el conocimiento científico y tecnológico sobre las redes eléctricas inteligentes. • Actualizar las normativas de calidad, continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico basándose en los nuevos datos de red inteligente.

8.2. Datos de actividad y supuestos del crecimiento tendencial

El escenario *Tendencial*, pretende representar las emisiones de CCVC y costos de continuar con las prácticas de consumo energético, gestión de residuos, producción agrícola y uso de refrigerantes bajo las cuales el país se ha desarrollado históricamente. Esto dejando de lado las intenciones que poseen las políticas de mitigación y otras políticas asociadas que el país posee para mitigar sus emisiones.

Para llevar a cabo la simulación del escenario BAU y otros escenarios, es necesario caracterizar los patrones de consumo energético, manejo de residuos, producción agrícola y uso de refrigerantes bajo los que Costa Rica se desarrolla. El crecimiento económico del país y comportamiento demográfico corresponden a datos de actividad generales que permiten modelar estos escenarios. Para cuantificar el crecimiento económico se utiliza el Producto Interno Bruto. Este dato fue consultado para el año 2021 de la base de datos del Banco Mundial. Los años posteriores a este año base hasta el año 2050, se proyectaron asumiendo un crecimiento anual del 2.6%.

El comportamiento demográfico se caracteriza por medio de la población en el año base y una estimación de la población para el año 2050. Para el año 2021 el Banco Mundial, reportó que Costa Rica se conformaba de 5,153,957 habitantes. La estimación de la población para el año 2050 se toma del escenario de crecimiento poblacional promedio proyectado por las Naciones Unidas (2022), el cual reporta que la población será aproximadamente de 5,700,000 de habitantes para el 2050.

8.2.1. Prospectivas y costos en el sector Energía y transporte

El sector energético comprende todos los intercambios energéticos que posee el país, tales como: importación de combustibles, exportación de energía, consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles en el sector transporte, entre otros. Para generar las tendencias de demanda del sector energético se tomó en cuenta:

- *Prospectiva del sector energético (no transporte)*
 - La proyección de la demanda energética se realiza con base en el comportamiento del PIB proyectado. Para relacionar estas variables se calibran las intensidades energéticas y la demanda porcentual eléctrica por sector. La intensidad energética (IE) se calibra como el cociente entre la demanda energética por sector (S) y el PIB para el año base (t), como se muestra en la ecuación (1).

$$IE(S, t) = \frac{\text{Demanda energética sectorial [PJ]}}{\text{PIB}(t)[MUSD]} \quad (1)$$

- La demanda energética sectorial para los años de calibración se toma del balance energético de Costa Rica presentado por OLADE-SIELAC. En los años futuros las intensidades energéticas pueden reducirse progresivamente. La demanda porcentual eléctrica por sector se estimará

con los valores del balance energético, y son constantes en todos los años de simulación.

- *Prospectiva del sector eléctrico*
 - La generación eléctrica se calibra con la capacidad instalada para el año 2021, esta información fue consultada de las estadísticas reportadas por OLADE-SIELAC. Esta generación satisface la demanda generada en el punto anterior que corresponde al vector de electricidad.

- *Prospectiva del sector transporte*

Parte del consumo energético se debe al uso de combustibles en el sector transporte. El comportamiento del sector transporte se rige por la flota vehicular, los combustibles utilizados, las distancias recorridas, y la eficiencia de consumo de combustibles. La flota vehicular fue aproximada a partir de la información presentada en el estudio de Vogt-Schlib et al (2021) sobre la flota vehicular en el país y los kilómetros recorridos por vehículo del anuario vehicular 2021 de RITEVE.

La eficiencia de consumo de combustibles se toma como referencia los valores presentados en la documentación del modelo OSeMOSYS-CR (2020b). El Cuadro 18 muestra la eficiencia de consumo de combustible utilizada, considerando que esta es constante en todos los años.

Cuadro 18. Eficiencia de consumo de combustible por tipo de vehículo y combustibles en MJ/km.

Tipo de vehículo	Gasolina	Diesel
SUV and Minivan	2.5	2.8
PickUp Privado	2.9	3.1
Carga liviana	2.4	3.3
Motocicleta	1.2	3.1
Bus	2.6	9.4
Bus Turismo	2.6	10.3
Minibus	15.1	5.8
Minibus Turismo	8.0	5.0
Coach Turismo	8.0	5.0
Taxi	2.9	2.1
Rail	8.0	0.9
Carga pesada	1.1	12.8
Vagoneta	1.1	12.8
Camión Adral	1.1	12.8
Camión PickUp	2.9	2.7
Camión Panel	6.1	5.7
Camión liviano	5.2	5.4

Fuente: Elaboración propia.

- *Costos*

Los costos capitales unitarios y costos operativos fijos utilizados son los reportados en el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (NREL, 2022). Los costos de los combustibles parten de las estadísticas del WEO y proyecciones a 2024 del CME Group, (2023) y el World Economic Outlook (IMF, 2022) y luego para el periodo 2025-2050 se obtienen del WEO (AIE, 2022). Los costos de flota vehicular se toman de reporte de GreenLAC & GIZ (2023), Basma & Rodríguez (2022), Hyundai (2023) y IEA (2023) para vehículos eléctricos y IEA (2022) para vehículos de hidrógeno.

- *Emisiones*

Las emisiones de este sector se estiman de acuerdo con la metodología del INGEI, como el producto de cantidad de combustible por el factor de emisión correspondiente. Los factores de emisión utilizados para este cálculo son tomados del mismo inventario de gases de Costa Rica.

8.2.2. Prospectivas y costos en el sector Agricultura y Ganadería

El sector agricultura comprende las actividades de crecimiento de ganadería, siendo esta la actividad que históricamente ha contribuido mayoritariamente en las emisiones de este sector. Para describir este sector por medio del modelo y estimar el impacto de este sector en emisiones de metano es necesario cuantificar los siguientes datos de actividad:

- Las cabezas de ganado bovino y porcino se tomaron de la Encuesta Nacional Agropecuaria del INEC, para el año 2021. En el caso de los otros tipos de ganado se asume un crecimiento del 5% respecto a los valores reportados en el INGEI. La población de ganado para años futuros no se encuentra disponible en la bibliografía, por lo que se proyecta de acuerdo con el crecimiento del PIB per cápita. El **Cuadro 19** muestra las cabezas de ganado utilizadas para el año de calibración.

Cuadro 19. Cabezas de ganado por especie bajo crecimiento del PIB per cápita.

Tipo	2021
Vacunos	1,024,837
Ganado Lechero	262,632
Bovino doble propósito	334,258
Ovinos	51,350
Porcinos	354,209
Caballos	134,265
Mulas	5,615
Caprinos	16,404
Búfalos	5,051

Fuente: Elaboración propia

- Para obtener datos de actividad sobre el área de cultivo de arroz, según el tipo de cultivo, se recurrió al Informe Anual Estadístico de CONARROZ. En cuanto a las áreas destinadas a la quema de biomasa y residuos agrícolas, se realizaron estimaciones basadas en la información proporcionada por el INGEI. Estas estimaciones tomaron en cuenta un incremento total de 5% desde el año 2017 hasta el 2021.

- *Costos*

Los costos unitarios de cada tecnología modelada en el sector de ganadero se tomaron de Rodríguez-Arce et al (2023), correspondientes al cuidado y compra de ganado. Los costos del cultivo de arroz se consultaron del informe anual estadístico 2020-2021 de CONARROZ, y la quema de residuos agrícolas se consultaron de las tarifas del servicio de *North Carolina Forest Service*.

- *Emisiones*

La estimación de emisiones se realiza por medio del producto de los datos de actividad y factores de emisión. Los factores de emisión utilizados son los reportados por el INGEI para cada tipo de ganado, para fermentación entérica y gestión de estiércol. Los factores de emisión para cultivo de arroz se tomaron de las Directrices del IPCC 2006, y para las quemas de residuos agrícolas y pastizales se consultaron del INGEI.

8.2.3. Prospectivas y costos en el sector Residuos

El sector de residuos sólidos y aguas residuales está fuertemente ligado con el crecimiento demográfico y la gestión de residuos específica del país. Para relacionar estos con las emisiones de CCVC se siguió la metodología que se muestra en el INGEI, y los factores de emisión utilizados fueron tomados de esta misma fuente.

- *Datos del sector residuos*

Para cuantificar los niveles de actividad de los residuos sólidos se hace uso de la tasa de generación de residuos. Este parámetro se reporta en dos fuentes bibliográficas. Primeramente, se halló el histórico entre 1990 y 2017 en el INGEI siendo el valor del 2017 de aproximadamente 0.7 kg/persona/día. Y como segunda fuente, un reporte del Ministerio de Salud, donde se indica que la tasa de generación para el 2021 es de 0.8 kg/persona/día. Este segundo fue utilizado como constante para hacer la proyección de generación de residuos, ya que es un parámetro más actualizado. Asimismo, se esta fuente se extrajo la disposición de residuos en el 2021, en el **Cuadro 20** se resume esta información.

Cuadro 20. Porcentajes de tratamiento de residuos sólidos en el país para el 2021

Tratamiento	Porcentaje
Relleno sanitario	79.21
Reciclaje	3.95
Compostaje	2.70
Incineración de residuos	2.98
Residuos sólidos no gestionados	11.15

Fuente: Elaboración propia

La composición de los residuos sólidos generados es importante en labores de modelación ya que permite definir los límites máximos de ciertas actividades de economía circular (reciclaje de inorgánicos y aprovechamiento de residuos orgánicos mediante tratamiento biológico). Sin embargo, esta variable cuenta con alto grado de incertidumbre a futuro pues es altamente dependiente del comportamiento de la población. Para definir estos límites se toma la composición promedio presentada en el INGEI.

- *Costos*

Los costos unitarios de cada tecnología modelada en el sector de residuos son tomados del estudio Sostenibilidad financiera de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, y se consideran constantes en todo el horizonte de simulación, con excepción de los rellenos sanitarios en los que se prevé un aumento del 50 % para el 2030, posterior a este año se considera constante. En el **Cuadro 21** se muestran los valores utilizados para el 2012.

- *Emisiones*

La estimación de emisiones se realiza por medio del producto de los datos de actividad y factores de emisión. Los factores de emisión utilizados son los reportados en el INGEI, y pueden consultarse en el **Cuadro 22**.

Cuadro 21. Resumen de los costos unitarios para las tecnologías de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales.

Tecnología	Costo unitario de capital (M\$/Mt)	Costo unitario fijo (M\$/Mt)	Costo unitario variable (M\$/Mt)
Reciclaje	76	0	65
Digestión anaeróbica	378	0	65
Compostaje	155	0	47.5
Relleno sanitario	166	11	70
Vertedero	0	0	0
Tratamiento de aguas residuales	72	3	4.4

Nota: los costos para aguas residuales son en \$/persona

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22. Resumen de parámetros de factor de emisión para el sector residuos.

Tecnología	Unidades	Factor de emisión
Relleno sanitario	kton CH ₄ / kton residuo-año	50
Reciclaje	-	0

Compostaje	kg CH4/ t residuo en base húmeda	4
Incineración de residuos	kg/t residuo	6.5
Incineración abierta de residuos	kg/t residuo	6.5
Residuos sólidos no gestionados	Gg CH4/Gg residuo-año	7.6

Fuente: INGEI

- *Datos aguas residuales*

Las aguas residuales se caracterizan por medio de la carga orgánica que presente en ellas, ya que, dependiendo de esta cantidad, así serán las emisiones generadas. El DBO per cápita es un parámetro que permite realizar esta estimación, este valor se reportado en el INGEI, donde se menciona que este parámetro es 62 g/persona/día, el cual se considera como valor de calibración y se mantiene constante a lo largo de todos los años de simulación. Los porcentajes de tratamientos de aguas residuales se toma de la Memoria Institucional 2021 de Acueductos y Alcantarillados. Estos datos se muestran en el **Cuadro 23**.

Cuadro 23. Porcentajes de tipo de tratamiento para aguas residuales en Costa Rica en 2021

Tecnología	Porcentaje de tratamiento
Tanque séptico	76
Alcantarillado	22
Letrina	1.1
No tiene	12

Para aguas industriales, se consideraron las mismas actividades económicas que incluye el INGEI, esto debido a que estas son las que poseen una mayor carga orgánica en sus aguas residuales. Asimismo, se siguió la metodología y los factores de emisión para cuantificar sus emisiones de metano.

8.2.1. Prospectivas y costos en el sector Refrigerantes

En el sector de refrigerantes se hace énfasis en el uso/importación de HFCs en el país, como la fuente de emisiones por el uso de estas sustancias. Para hacer las estimaciones necesarias se utilizan los siguientes datos:

- *Datos del sector de refrigerantes*

Para cuantificar la actividad de los refrigerantes se consideró las toneladas de refrigerante importado durante el 2021, estos datos fueron proporcionados por la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA), del Ministerio de Salud. El tonelaje de refrigerantes importados se proyecta a lo largo del horizonte de simulación para que tengan un crecimiento acorde al PIB per cápita. Para el escenario Tendencial se considera que las importaciones mantienen la misma proporción a lo largo de los años.

- *Emisiones*

La estimación de emisiones se realiza por medio del producto de los datos de actividad, los potenciales de calentamiento global y un factor de fugas. Los factores de emisión utilizados son los reportados en por DIGECA (2021) para cada refrigerante. El factor de fugas se asume con un valor de 50%, y se considera constante para todos los años.

- *Costos*

Los precios de importación de los refrigerantes se tomaron del estudio Actualización del estudio sobre el uso de sustancias HFC y alternativas en Panamá 2021 y *Regulatory Impact Analysis for Phasing Down Production and Consumption of Hydrofluorocarbons (HFCs)* de EPA (2021).



LaRutadelClima

