

Informe sobre el desarrollo y supuestos del escenario de mitigación

PMR COLOMBIA: ACTUALIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ESCENARIOS DE EMISIONES DE GEI POR SECTOR Y EVALUACIÓN DE COSTOS DE ABATIMIENTO ASOCIADOS

[Producido por]



Vito: Maarten Pelgrims, Anjana Das, Juan Correa
Universidad de los Andes: Ricardo Morales, Jose Lenin Morillo, Juan Camilo Herrera, Mónica Espinosa, Juan Felipe Mendez, Angela Cadena

[En colaboración con]



Wageningen Research: Jan Peter Lesschen, Eric Arets
CIAT: Ana María Loboguerrero

[Preparado para]

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Departamento Nacional de Planeación
Ministerio de Hacienda y Crédito Público

[Encargo de]



WORLD BANK GROUP



PARTNERSHIP FOR
MARKET READINESS

Banco Mundial bajo el programa Colombia Partnership for Market Readiness (PMR-Colombia)

Noviembre 2020
Revisado: diciembre 2020

Apoyo a actividades clave como parte del proyecto de asistencia técnica Colombia-Partnership for Market Readiness (PMR)

World Bank
Carbon Markets & Innovation Practice,
Climate Change Group,
1818 H Street NW.
Washington DC 20433
UNITED STATES OF AMERICA
Contact: Mr. Marcos Castro R.
E-mail: mcastrorodriguez@worldbank.org

Dirección de Cambio Climático y Gestión de Riesgos
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Calle 37 No. 8 – 40 Bogotá,
www.minambiente.gov.co
COLOMBIA

Director: José Francisco Charry
Correo: jcharry@minambiente.gov.co
Coordinador, Estrategia de desarrollo de bajo carbono: Iván Darío Valencia Rodríguez.
Correo: IValencia@minambiente.gov.co

TABLA DE CONTENIDO

I.	Consideraciones generales.....	11
II.	Emisiones de Gases Efecto Invernadero: escenario de mitigación	11
A.	Definición de escenarios de mitigación (M1 & M3)	11
B.	Escenario de Referencia	12
C.	Resultados escenarios de mitigación y análisis general.....	13
1.	Resultados M1	17
2.	Resultados M3	21
III.	Metodología para la construcción de los escenarios de mitigación en Colombia, suposiciones y resultados.....	23
A.	Suministro energético: industrias de generación de electricidad y energía	23
1.	Generación de electricidad.....	23
2.	Extracción de Carbón	29
3.	Extracción de petróleo y gas natural, y refinación de petróleo.....	30
4.	Gas natural.....	32
5.	Biocombustibles.....	32
B.	Demanda de energía.....	32
1.	Industria.....	32
2.	Transporte	41
3.	Sector terciario y residencial	53
4.	Agricultura/silvicultura/pesca.....	60
5.	Intersectoriales	63
C.	Energía: emisiones fugitivas	65
D.	Procesos industriales y uso de los productos (IPPU)	69
1.	Procesos industriales y uso de los productos (IPPU)	69
E.	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	73
1.	Agricultura	73
2.	Usos de la tierra (3B).....	80
F.	Residuos	86
IV.	Anexos.....	92
A.	Emisiones por categoría IPCC para escenario de referencia [Gg CO ₂]......	92
B.	Emisiones por categoría IPCC para escenario M1 [Gg CO ₂].	92
C.	Emisiones por categoría IPCC para escenario M3 [Gg CO ₂].	92
D.	Potencial por medida de mitigación a 2030 – M1.	93
E.	Potencial adicional por medida de mitigación a 2030 – M3.	94

F.	Información complementaria de medida del sector transporte	95
G.	Detalle de las emisiones de GEI escenario M1 por categoría IPCC.....	100
1.	Emisiones anuales M1 por categoría IPCC 2015 - 2030	100
2.	Emisiones quinquenales M1 por categoría IPCC 2015 - 2050	113
V.	Referencias.....	122

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030).....	13
Figura 2. Emisiones totales de GEI para el escenario de referencia y los escenarios de mitigación M1 y M3.	14
Figura 3. Trayectoria de emisiones proyectada para el escenario de mitigación M1 por sector IPCC. 17	
Figura 4. Participación categoría IPCC y sector energía en el total de reducciones de emisiones proyectadas para el escenario de mitigación M1.	17
Figura 5 Distribución potencial (a) y contribución real (b) escenario de mitigación por categoría IPCC para 2030. Reducciones de emisiones totales en GgCO _{2eq}	19
Figura 6 Proyección de emisiones para el escenario de mitigación M1 desagregado por Ministerio. 19	
Figura 7 Distribución potencial (a) y contribución real (b) escenario de mitigación por asignación ministerial para 2030. Reducciones de emisiones totales en GgCO _{2eq}	20
Figura 8. Potencial de reducción para el escenario M1 por categorías IPCC y asignación ministerial en GgCO _{2eq}	21
Figura 9 Proyección indicativa de emisiones de GEI a 2050.	22
Figura 10 Escenarios de referencia y mitigación para generación eléctrica SIN 2015-2030.	27
Figura 11 Escenarios de referencia y mitigación para generación eléctrica SIN 2010-2050.	28
Figura 12 Perfil de reducción en extracción de carbón.	30
Figura 13 Escenario de referencia y mitigación para la medida de eficiencia energética en refinerías.	32
Figura 14. Participación consumo de carbón en el sector CIIU 2300 de minerales no metálicos: CIIU 2310, Fabricación de vidrio y productos de vidrio. CIIU 2391, Fabricación de productos refractarios. CIIU 2392, Fabricación de materiales de arcilla para la construcción. CIIU 2393, Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana. CIIU 2394, Fabricación de cemento, cal y yeso. CIIU 2395, Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso. CIIU 2396, Corte, tallado y acabado de la piedra. CIIU 2399, Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.	34
Figura 15. Difusión tecnología sector ladrillero y eficiencia resultante.	35
Figura 16. Difusión tecnología en calor directo para la producción de cemento y eficiencia resultante. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 17. Difusión tecnología en calor directo para la medida de eficiencia energética.	37
Figura 18. Ahorros de energía resultado de la medida de eficiencia energética en los escenarios M1 y M3. Ahorro de energía anual esperado del programa EEI es de 1,287 TJ (línea negra punteada).....	38
Figura 19. Ranking de los 10 primeros responsables de emisiones en el sector 1A2 desagregados por subsector\uso\energético. De color marrón están los combustibles sólidos (y líquidos) que fueron priorizados para la política de sustitución.	38
Figura 20. Escenario de referencia y de mitigación M1 de emisiones de GEI para la categoría 1A2 Industria.....	39
Figura 21. Escenario de referencia y de mitigación M3 de emisiones de GEI para la categoría 1A2 Industria.....	40
Figura 22. Ejemplo de categoría “Modal Change” creada para representar modos no motorizados. 44	
Figura 23. Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2030 (según análisis integrado).	48
Figura 24. Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2050 (según análisis integrado).	48
Figura 25 Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2030 (según suma de potenciales individuales).....	49
Figura 26 Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2050 (según suma de potenciales individuales).....	49
Figura 27 Variación demanda energética sectores terciario y residencial debido a la Resolución 0549.	55

Figura 28 Capacidad de los distritos térmicos entre proyectos mixtos y únicamente eléctrico.	56
Figura 29. Reducción de emisiones por la implementación de Distritos Térmicos.	57
Figura 30 Penetración de neveras más eficientes, NAMA neveras.....	58
Figura 31 Resultados en reducción de emisiones a 2030, NAMA neveras.....	58
Figura 32 Perfil de reemplazo de estufas de leña por estufas más eficientes.....	59
Figura 33 Demanda energía agricultura	61
Figura 34 Participación en las proyecciones de reducción de emisiones.....	62
Figura 35 Reducción emisiones escenario con impuesto al carbono para los combustibles cubiertos por el impuesto directamente atribuibles a la variación de la demanda.....	65
Figura 36 Perfil de mitigación a 2030 de emisiones fugitivas.....	68
Figura 37. Factor de emisión de kg N ₂ O por tonelada de ácido nítrico producido en los escenarios de referencia y de mitigación.	70
Figura 38. Factor de emisión de tonelada de CO ₂ por tonelada de Clinker producido en los escenarios de referencia y de mitigación.....	71
Figura 39. Escenario de referencia y de mitigación M1&M3 de emisiones de GEI para la categoría 2 IPPU. La medida denominada Sustitutos SAO es la misma medida Uso productos sustitutos HFC. ...	72
Figura 40 Áreas de implementación de las medidas de secuestro de carbono en la NAMA Ganadería.	75
Figura 41 Remociones de CO ₂ por año para las medidas de secuestro de carbono en la NAMA Ganadería.....	77
Figura 42. Reducción emisiones NAMA Café.....	78
Figura 43. Reducción de emisiones medida mitigación arroz.....	80
Figura 44 Emisiones por restauración ecológica (Gg CO ₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional de los escenarios de mitigación M1 y M3. Las emisiones negativas se relacionan con las absorciones, que son mayores en el M1 que en el escenario de referencia. Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MinAmbiente.	82
Figura 45 Emisiones por deforestación (Gg CO ₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional de los escenarios de mitigación M1 y M3.	83
Figura 46 Áreas de deforestación (ha yr ⁻¹) en el escenario de referencia y por los escenarios de mitigación M1 y M3.....	84
Figura 47 Emisiones por establecimiento de plantaciones forestales comerciales en áreas que no eran bosques antes de la plantación (Gg CO ₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional del escenarios de mitigación M1. Nótese que las emisiones negativas se relacionan con las absorciones, que son mayores en el M1 que en el escenario de referencia.	85
Figura 48 Reducciones agregadas para sector residuos.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCO ₂ eq.	13
Tabla 2 Listado escenarios de medidas de mitigación en LEAP.	14
Tabla 3. Medidas de mitigación no modeladas o modeladas parcialmente.	16
Tabla 4 Escenario de mitigación por sector IPCC en GgCO ₂ eq.	18
Tabla 5 Reducción de emisiones en el escenario de mitigación M1 por Ministerio [GgCO ₂ eq].	20
Tabla 6. Reducción de emisiones en el escenario de mitigación M3 por Ministerio [GgCO ₂ eq].	22
Tabla 7 Medidas de mitigación en generación de electricidad.	23
Tabla 8. Expansión de capacidad en el caso MIX-RES para el periodo 2016-2030	23
Tabla 9. Expansión de capacidad en el caso M3_ELC para el periodo 2016-2030.	24
Tabla 10. Medidas de mitigación por escenario.	25
Tabla 11 Resultados de las medidas de mitigación en generación eléctrica SIN de las medidas que pertenecen al escenario M1.	26
Tabla 12 Resultados de las medidas de mitigación en generación eléctrica SIN de las medidas que pertenecen al escenario M3.	26
Tabla 13 Emisiones reducidas en generación eléctrica SIN por la combinación de medidas.*	26
Tabla 14 Comparación de los escenarios de mitigación en generación SIN respecto al de referencia.	27
Tabla 15 Datos promedio entre 2010-2015 asociados a intensidad energética respecto a producción de carbón [Toneladas].	29
Tabla 16 Resultados de mitigación para extracción de combustibles fósiles y refinación de petróleo.	31
Tabla 17 Fichas compartidas por el MinComercio para las medidas de mitigación concernientes a la demanda de energía en la categoría 1A2 industria.	33
Tabla 18 Supuestos para el potencial de aplicación en las medidas de eficiencia y sustitución energética.	37
Tabla 19 Potencial de mitigación en la categoría 1A2 Industria de las medidas contempladas en el escenario M1 en GgCO ₂ -eq.	39
Tabla 20 Potencial de mitigación en la categoría 1A2 Industria a partir de las medidas contempladas en el escenario M3 en GgCO ₂ -eq.	40
Tabla 21 Medidas de mitigación del sector transporte.	41
Tabla 22 Medidas de mitigación por escenario.	45
Tabla 23 Resultados de las medidas de mitigación de transporte.	45
Tabla 24 Emisiones reducidas en transporte por escenario (según análisis integrado).	46
Tabla 25 Comparación de los escenarios de mitigación en transporte respecto al de referencia (según análisis integrado).	46
Tabla 26 Emisiones reducidas en transporte por escenario (según suma de potenciales individuales).	47
Tabla 27 Comparación de los escenarios de mitigación en transporte respecto al de referencia (según suma de potenciales individuales).	47
Tabla 28 Matriz energética del transporte en escenario de referencia.	50
Tabla 29 Matriz energética del transporte en los escenarios de mitigación.	50
Tabla 30 Usos de electricidad y gas natural para sector terciario y residencial.	54
Tabla 31 Senda de implementación resolución 0549.	54
Tabla 32 Mitigación resolución 0549 de 2015 del Ministerio de vivienda.	55
Tabla 33 Mitigación componente energético distritos térmicos por categoría, unidades: GgCO ₂ -eq.	56
Tabla 34. Reducción emisiones por componente de energía para NAMA neveras.	59
Tabla 35 Reducción anual por implementación de estufas de leña eficientes.	60
Tabla 36 Potencial de los subsectores café y panela.	60
Tabla 37 Resultados mitigación por eficiencia energética en agricultura.	62

Tabla 38 Combustible incluido por sectores modelados en LEAP.	63
Tabla 39 Elasticidad por combustible y sector.	63
Tabla 40 valores del impuesto del escenario b por año.	64
Tabla 41. Reducción emisiones en el escenario del impuesto al carbono por sector en GgCO ₂ -eq	65
Tabla 42 Medidas de mitigación propuestas por el Ministerio de Minas y Energía.	65
Tabla 43 Criterios de modelamiento usados en LEAP para cada medida de mitigación de emisiones fugitivas.....	66
Tabla 44 Resultados de las medidas de mitigación de emisiones fugitivas.....	67
Tabla 45. Fichas compartidas por el Mincomercio, la UTO, y el IDEAM para las medidas de mitigación concernientes a la categoría 2 IPPU.	69
Tabla 46 Potencial de mitigación de las medidas contempladas en los escenarios M1 & M3 en GgCO ₂ eq	72
Tabla 47 Panorama de las medidas de mitigación y su potencial de mitigación para el sector IPCC de agricultura.....	73
Tabla 48 Coeficientes de remoción de CO ₂ para los distintos usos de suelos y eco-región.	76
Tabla 49 Gradualidad del coeficiente de remoción de CO ₂ para el uso del suelo árboles dispersos en potreros en las diferentes ecorregiones.....	76
Tabla 50. Reducción emisiones medida mitigación cacao.....	79
Tabla 51. Reducción emisiones medida mitigación NAMA panela	79
Tabla 52. Aumento de las tasas de absorción para el escenario de mitigación restauración ecológica (Gg CO ₂)	81
Tabla 53. Reducción emisiones medida de reducción de emisiones por deforestación (Gg CO ₂).....	82
Tabla 54. Reducción emisiones medida plantaciones forestal comercial(Gg CO ₂).....	84
Tabla 55 Medidas de mitigación para el sector residuos.	86
Tabla 56 Objetivos propuestos por medida de mitigación en el sector residuos.....	87
Tabla 57 Rellenos incluidos en medidas de mitigación de gestión de biogás y reciclaje.	88
Tabla 58. Trayectoria implementación medida tratamiento biológico mecánico.	89
Tabla 59. Implementación tratamiento mecánico biológico por relleno sanitario.....	89
Tabla 60 Resultados de las medidas de mitigación de residuos.	90

LISTA DE ACRÓNIMOS

AFOLU	Agricultura, Silvicultura y otros Usos del suelo
ANDI	Asociación Nacional de Industriales
ANM	Agencia Nacional de Minería
AR-2	Segundo informe de evaluación del IPCC
AR-5	Quinto informe de evaluación del IPCC
BECO	Balance Energético Colombiano
BEU	Balance de Energía Útil
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EAM	Encuesta Anual Manufacturera
ECV	Encuesta Nacional de Calidad de Vida
FECOC	Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos
FedeArroz	Federación Nacional de Arroceros
Fedegan	Federación Colombiana de Ganaderos
Fenavi	Federación Nacional de Avicultores de Colombia
Finagro	Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario
FMI	Fondo Monetario Internacional
FNC	Fondo Nacional de Cafeteros
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
GEI	Gas Efecto Invernadero
GNV	Gas Natural Vehicular
GWP-AR5	Potencial de calentamiento global (AR5)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IPPU	Procesos industriales y uso de los productos
LEAP	Low Emissions Analysis Platform
LULUCF	Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada
MAC	Costo Marginal de Abatimiento
MACC	Curva de Costo Marginal de Abatimiento
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MADS/Minambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MFMP	Marco Fiscal de Mediano Plazo
MEG4C	Modelo de Equilibrio General Computable Colombiano para Cambio Climático
MinHacienda	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
MinTransporte	Ministerio de transporte
NREF	Nivel de Referencia de Emisiones Forestales
PaM	Políticas y medidas
PEN	Plan Energético Nacional
PMR	Partnership for Market Readiness
PorkColombia	Fondo nacional de la Porcicultura
RETIQ	Reglamento Técnico de Etiquetado
SAO	Sustancias que Agotan la capa de Ozono
SEI	Instituto Ambiental de Estocolmo
SIMCO	Sistema de Información Minero Colombiano
SMBByC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono
SIN	Sistema Integrado Nacional

SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
SUI	Sistema Único de Información de la SSPD
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
UTCUTS	Uso de la Tierra, el Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura
UTO	Unidad Técnica de Ozono
VITO	Instituto Flamenco de Investigación Tecnológica
WB	Banco Mundial
WBCSD	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

I. Consideraciones generales

Este documento hace parte del proyecto “Update and consolidation of sector GHG emissions scenarios and assessment of associated abatement costs”. En el presente documento se encuentra la descripción del enfoque sectorial para el desarrollo de escenarios de mitigación, el análisis de ausencia de información y resultados sectoriales. Así mismo, reflexiones de expertos sectoriales.

El proceso de modelado en la Plataforma de Análisis de Bajas Emisiones (LEAP por sus siglas en inglés) (LEAP, 2020) consistió inicialmente en un intercambio de información que cada ministerio, entidad gubernamental y gobierno local tenía a su disposición. Después de analizar y verificar la información disponible, el consorcio sostuvo reuniones de trabajo con las partes involucradas por parte del gobierno para abordar la metodología de modelación, acordar supuestos cuando estos fueran necesarios, validar el potencial de las medidas de mitigación y su implementación en el modelo LEAP Colombia NDC 2020. Los resultados de este ejercicio de modelación deben ser interpretados teniendo en cuenta que existen incertidumbres asociadas a las diferentes medidas que no pueden ser incluidas en el modelo explícitamente, por lo cual estas deben plantearse mediante escenarios alternativos en una fase posterior una vez se cuente con los análisis de incertidumbre para los casos que lo requieran. De esta manera, el consorcio incorporó de forma integral estos datos en los escenarios de mitigación en función de su disponibilidad y alcance.

II. Emisiones de Gases Efecto Invernadero: escenario de mitigación

A. Definición de escenarios de mitigación (M1 & M3)

Este documento describe el proceso de construcción de dos escenarios de mitigación que fueron implementados en el marco de modelación LEAP. Se describe también el proceso seguido para desarrollar cada escenario y los resultados generados en la modelación. Los escenarios están definidos de la siguiente manera:

- **Escenario M1:** escenario de mitigación generado a partir de la agregación de datos gubernamentales validados con objetivos iniciales a 2030.
- **Escenario M3:** escenario mixto que combina mayores ambiciones gubernamentales y profundización de algunas medidas basadas en juicio de expertos, cuyo objetivo es cerrar la brecha de M1 al objetivo de 2030, con objetivo de la neutralidad de carbono a 2050.

El primer escenario de mitigación considerado (denominado M1) resulta de la agregación de datos gubernamentales y medidas de reducción de emisiones propuestas a nivel ministerial, sectorial y regional. En este marco de trabajo se adelantaron reuniones, sesiones de trabajo y validación sobre las medidas propuestas y su implementación en el modelo LEAP. Para el escenario M1 se utilizó la información que los diferentes ministerios y entidades tenían a su disposición como resultado de análisis y consultorías previas al actual ejercicio de actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). El escenario de mitigación M1 resulta del proceso

descrito y las posibles sinergias que se pueden dar entre las medidas implementadas. Es justamente la posibilidad de representar estas sinergias en LEAP lo que permite un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema (modelo) desde un punto de vista centralizado y consistente. Sin embargo, por esta razón, es posible que los resultados agregados difieran en ciertos casos del potencial individual de las medidas (i.e.: cambios en demanda de electricidad y diversificación de la capacidad de generación).

De forma indicativa y sin ningún carácter formal a nivel del establecimiento de metas, se construyó el segundo escenario de mitigación con mayor ambición. Para dicho escenario se consideró un aumento en la ambición de algunas medidas de mitigación ya incorporadas en el escenario M1. El incremento de ambición aquí mencionado es el resultado de propuestas del consorcio, las cuales no incluyen los análisis y estudios necesarios para determinar el potencial de incremento real y por ende se entienden como posibilidades que deben ser contrastadas con futuros estudios y no como valores respaldados por el consorcio. Adicionalmente, algunas entidades y ministerios suministraron información, u objetivos específicos, que permitieron aumentar las ambiciones para el escenario M3.

Las diferencias que se puedan presentar entre los potenciales de cada medida individual respecto al escenario de referencia pueden diferir del potencial real una vez todas las medidas se integran en los escenarios M1 o M3. Esto aplica en los casos en que las medidas abarcan sectores de forma indirecta, como es el caso de la diversificación de la canasta de generación de electricidad (medida indirecta) y el ahorro de energía por medidas de eficiencia energética o cambio de tecnologías el sector de la demanda. En este caso al disminuir el factor de emisiones del Sistema Integrado Nacional (SIN) por la penetración de energías renovables no convencionales (medida indirecta), el potencial de reducción de medidas de eficiencia energética disminuye (medida directa). Un segundo caso de estas sinergias ocurre cuando las medidas afectan de forma directa el mismo sector o categoría. En este caso el potencial de la integración de las medidas es diferente a la suma de los potenciales individuales. Este es el caso de medidas de transporte, entre otros posibles casos. En el momento de implementar una medida de cambio modal de transporte como el metro en las ciudades principales, siendo esta la medida inicial, las medidas siguientes tendrán un escenario de referencia diferente al inicial. Para este caso particular, una medida adicional como impulsar el uso de bicicletas contará con un número inferior de posibles usuarios que en el caso de no tener el metro como medio de transporte.

Otro efecto que el modelo LEAP-NDC logra capturar es el cambio de actividad en sectores de la cadena de valor relacionados con la producción de algún producto u energético. Por ejemplo, en el caso que se reduzca la demanda de electricidad de forma considerable por medidas de eficiencia en la industria manufacturera, esto tendrá en primer lugar un efecto en el SIN, al reducir el uso de consumo de combustibles fósiles. Adicional a esta disminución, y aunque en una menor medida, se pueden ver efectos en emisiones por consumo de energéticos para extracción de carbón o gas natural, emisiones fugitivas asociadas, y pérdidas en las redes de transmisión y distribución, emisiones de desechos peligrosos asociados a la extracción de hidrocarburos, entre otros efectos que dependen del tipo de medida y de la industria y el energético afectado.

B. Escenario de Referencia

En el marco de este proyecto, se construyó e implementó en LEAP una actualización del escenario de referencia de emisiones de gases efecto invernadero para Colombia. Los detalles de su construcción se encuentran en el documento “Informe sobre el desarrollo y los supuestos para la realización de escenarios de referencia”. En esta sección presentamos los resultados globales del escenario de referencia para una adecuada contextualización de los escenarios de mitigación. El escenario de

referencia estipula emisiones de 345,801 GgCO₂eq para el año 2030, partiendo de un estimativo de 233,586 GgCO₂eq para el año 2015 (ver Tabla 1, y Figura 1).

Tabla 1. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCO₂eq.

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	86,672	88,596	106,469	124,803
i{2} IPPU	9,424	10,665	14,537	18,407
i{3} AFOLU	117,937	170,436	186,447	174,500
i{4} Residuos	19,553	21,600	25,244	28,091
Total	233,586	291,297	332,697	345,801

Fuente: elaboración propia.

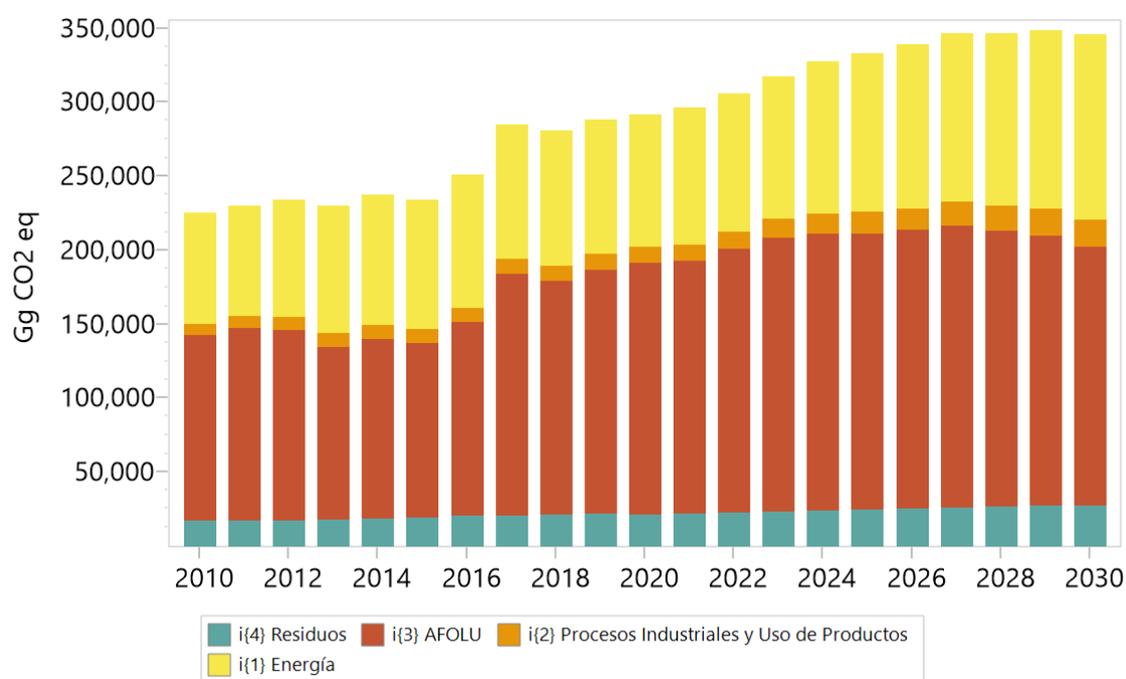


Figura 1. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030).

Fuente: elaboración propia.

C. Resultados escenarios de mitigación y análisis general

El escenario de referencia a 2030 alcanza emisiones totales de gases de efecto invernadero de 345,801 GgCO₂-eq, siendo este un valor tendencial sin ser afectado por ninguna medida de mitigación posterior a 2015. En los escenarios de mitigación M1 y M3, que contemplan para las medidas incluidas en el modelo los objetivos iniciales y objetivos con mayor ambición, se obtienen emisiones por 250,063 GgCO₂-eq y 217,702 GgCO₂-eq respectivamente. La Figura 2 muestra el comportamiento de las emisiones totales en estos escenarios a 2030.

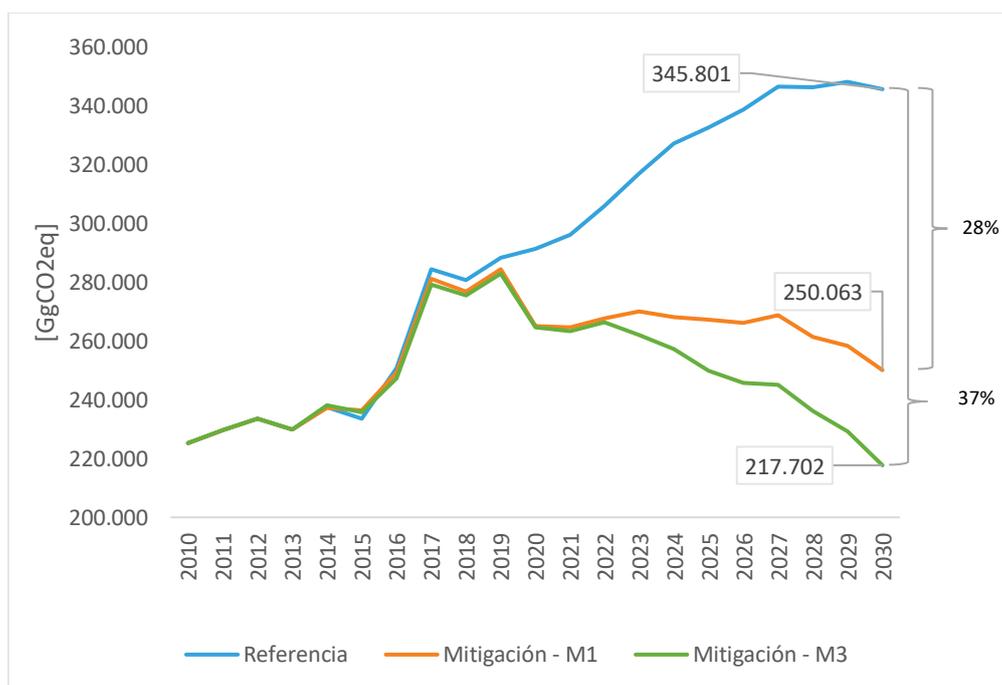


Figura 2. Emisiones totales de GEI para el escenario de referencia y los escenarios de mitigación M1 y M3.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

Debido a que el potencial de ciertas medidas es bastante limitado se decidió agruparlas por afinidad cuando esto fuera posible y pertinente (i.e.: eficiencia energética NAMA Café y NAMA Panela), o desagregarlas cuando la información disponible no permitiera un mejor modelamiento (i.e.: NAMA refrigeración dividida en DT-energía, Neveras- energía y Uso productos sustitutos HFC). Como resultado de esas agrupaciones y estructuración, se modelaron en total 51 escenarios en LEAP para modelar las medidas de mitigación, siendo cada escenario en la mayoría de los casos una medida de mitigación independiente. Esta agrupación fue necesaria únicamente para la modelación en LEAP y el presente reporte, y no afecta la contabilidad de emisiones que se hace por sector a lo largo de la cadena de producción asociada de acuerdo la asignación ministerial y las reglas de contabilidad de emisiones de GEI definidas por el Ministerio de Ambiente. De estas medidas, 45 fueron incluidas en el escenario M1 y 6 medidas adicionales (3 medidas sin información de entrada y 3 medidas con mayor ambición). Para M3 se integran 46 medidas, incluyendo la medida de alumbrado público que en M1 no fue incluida. La Tabla 2 contiene el listado y la nomenclatura utilizada para las medidas de mitigación. Estas incluyen medidas que fueron agregadas en un solo escenario en LEAP o separadas en diferentes escenarios dependiendo de la disponibilidad de la información y el alcance de las medidas de mitigación.

Tabla 2 Listado escenarios de medidas de mitigación en LEAP.

Ministerio	Medida	Categoría IPCC	Subcategoría IPCC	M1	M3
Intersectorial	Impuesto al Carbono	Energía	Demanda Todas	SI	SI
	Reducción de la deforestación	AFOLU	Uso de tierras	SI	SI - Incremento Ambición
MinAgricultura	AMTEC arroz	AFOLU	Uso de tierras	SI	SI

Ministerio	Medida	Categoría IPCC	Subcategoría IPCC	M1	M3
	Eficiencia Agricultura (NAMA Panela y Café)	Energía	Demanda Agricultura	SI	SI
	NAMA Café	AFOLU	Uso de tierras	SI	SI
	NAMA Ganadería	AFOLU	Ganadería	SI	SI
	NAMA Panela	AFOLU	Uso de Tierras	SI	SI
	Plantaciones Forestales	AFOLU	Uso de Tierras	SI	SI
	Cacao	AFOLU	Uso de Tierras	SI	SI
	Tratamiento aguas residuales café y panela	Desechos	Aguas residuales Industriales	SI	SI
	Distritos Térmicos {Energía}	Energía	Demanda Terciario	SI	SI - Incremento Ambición
	Estufas de leña eficientes	AFOLU	Uso de tierras	SI	SI - Incremento Ambición
MinAmbiente	NAMA Neveras {Energía}	Energía	Demanda Residencial	SI	SI - Incremento Ambición
	Uso productos sustitutos HFC*	IPPU	Sustitutos SAO	SI	SI
	Restauración Ecológica	AFOLU	Uso de tierras	SI	SI
	Compresores de viga	Energía	Fugitivas	SI	SI
	Diversificación Capacidad Generación	Energía	Suministro energía	SI	SI
	Eficiencia energética minería	Energía	Suministro energía	SI	SI
MinEnergía	Eficiencia Energética Refinerías	Energía	Suministro energía	SI	SI
	Eficiencia generadores térmicos	Energía	Suministro energía	SI	SI
	Gestión de la demanda	Energía	Demanda Todos	SI	SI
	Optimización en el uso de glicol	Energía	Fugitivas	SI	SI
	Recuperación en tanques de almacenamiento	Energía	Fugitivas	SI	SI
	Cemento sostenible	Energía	Demanda Industria	SI	SI
	Desarrollo Ladrilleras	Energía	Demanda Industria	SI	SI
MinComercio	Eficiencia Industria	Energía	Demanda Industria	SI	SI - Incremento Ambición
	Industria química	IPPU	Industria Química	SI	SI
	TRA logística	Energía	Transporte terrestre	SI	SI
	Sustitución Industria	Energía	Demanda industria	SI	SI - Incremento Ambición
	Nama DOTS Manizales, Cali, Pasto y Bogotá (NAMA TOD)	Energía	Transporte terrestre	SI	NO
	Nama DOTS Manizales, Cali, Pasto y Bogotá 2 (NAMA TOD 2)	Energía	Transporte terrestre	NO	SI - Incremento NAMA_TOD
MinTransporte	Navegación basada en desempeño en el sector de aviación (TRA Aviación)	Energía	Aviación	SI	SI
	Programa de Modernización de Transporte Automotor de Carga (TRA Carga 2)	Energía	Transporte terrestre	SI	SI

Ministerio	Medida	Categoría IPCC	Subcategoría IPCC	M1	M3
	Movilidad eléctrica (TRA Move 1)	Energía	Transporte terrestre	SI	NO
	Movilidad eléctrica 2 (TRA Move 2)	Energía	Transporte terrestre	NO	SI-Incremento TRA Move 1
	Cambio a modo transporte de carga carretero a Fluvial Rio Magdalena (TRA Rio)	Energía	Transporte fluvial	SI	SI
	Transporte Activo y Gestión de la Demanda (TRA Tandem)	Energía	Transporte terrestre	SI	NO
	Transporte Activo y Gestión de la Demanda 2 (TRA Tándem 2)	Energía	Transporte terrestre	NO	SI - Incremento TRA Tándem 1
	Rehabilitación del corredor férreo La Dorada - Chiriguana - Santa Marta (TRA Tren)	Energía	Transporte terrestre y ferroviario	SI	SI
MinVivienda	Aprovechamiento de biogás en rellenos	Desechos	Desechos solidos	SI	SI - Incremento Ambición
	Gestión de biogás en PTARs	Desechos	Aguas residuales	SI	SI - Incremento Ambición
	Quema de biogás en rellenos	Desechos	Desechos solidos	SI	SI - Incremento Ambición
	Reciclaje de papel plástico y vidrio	Desechos	Desechos solidos	SI	SI - Incremento Ambición
	Resolución 0549	Energía	Demanda residencial y terciario	SI	SI - Incremento Ambición
	Sistemas de Tratamiento Mecánico Biológico	Desechos	Desechos solidos	SI	SI - Incremento Ambición
Gobierno Local	Primera línea de metro en Bogotá (TRA Bog_Metro)	Energía	Transporte terrestre y ferroviario	SI	SI
	Regiotram (TRA Bog_Tren)	Energía	Transporte terrestre y ferroviario	SI	SI

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

En la Tabla 3 se muestran las medidas de mitigación no incluidas en el modelo o que se modelaron parcialmente debido a la falta de información al momento de la construcción de los escenarios M1 y M3.

Tabla 3. Medidas de mitigación no modeladas o modeladas parcialmente.

Medida	Categoría IPCC	Subcategoría IPCC	Ministerio	M1	M3
Aprovechamiento metano Hidrocarburos	Energía	Fugitivas	MinEnergía	NO	NO
Alumbrado Público	Energía	Demanda Público	Gobiernos locales	NO	SI - Incremento Ambición
Eficiencia Televisores	Energía	Demanda Residencial	MinEnergía	NO	NO
Aprovechamiento metano minería cielo abierto	Energía	Fugitivas	MinEnergía	SI	SI

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

1. Resultados M1

El escenario de mitigación M1 da como resultado unas emisiones totales estimadas al 2030 de 250,063 Gg CO₂-eq. Esto implica que al incluir en los cálculos la totalidad de medidas estipuladas, el escenario de mitigación M1 representa una disminución de 95,738 GgCO₂ eq en el año 2030 relativo al escenario de referencia. Esto equivale a una reducción del 28% de las emisiones del escenario de referencia.

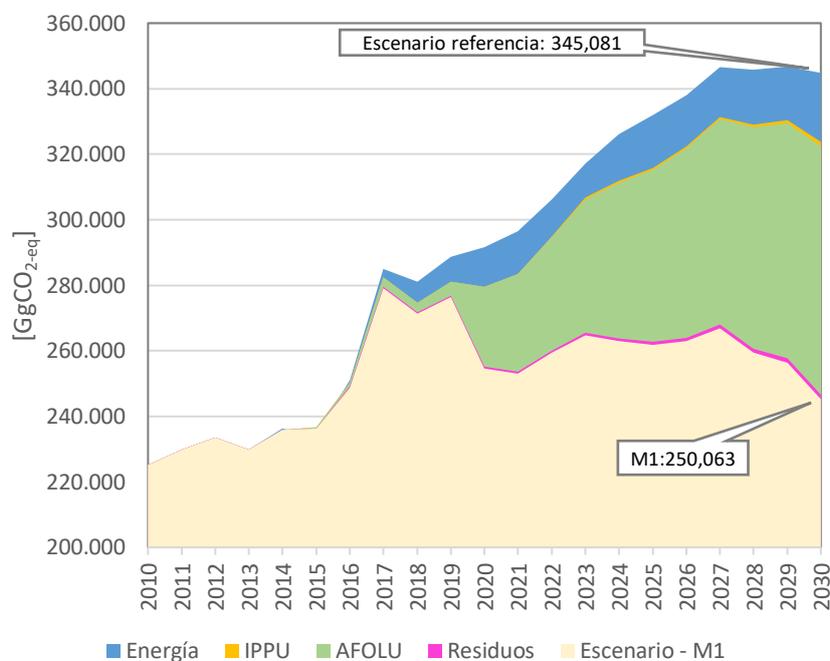


Figura 3. Trayectoria de emisiones proyectada para el escenario de mitigación M1 por sector IPCC.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

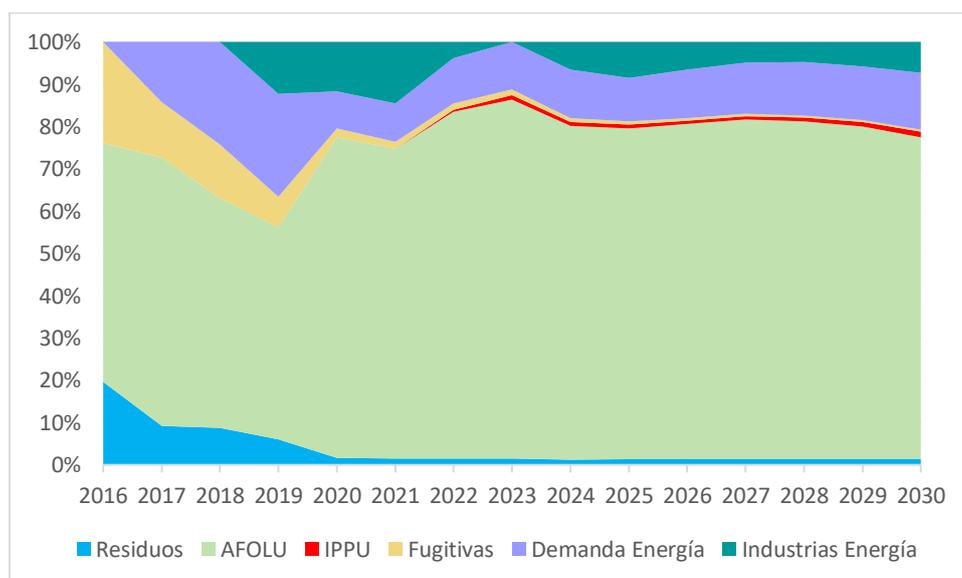


Figura 4. Participación categoría IPCC y sector energía en el total de reducciones de emisiones proyectadas para el escenario de mitigación M1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

Este nivel de ambición es consistente con la meta unilateral e incondicionada de Colombia en la NDC vigente de Colombia, correspondiente a una reducción de 20% relativo a un escenario BAU para el año 2030 lo que equivale a emisiones totales de GEI por 267,000 GgCO_{2-eq}. Así mismo, la trayectoria del escenario M1 para la presente actualización de la NDC se encuentra en medio de la meta condicionada de reducción de 30% (equivalente a 234,000 GgCO_{2-eq}) y la meta no condicionada de 20% de la NDC vigente. Sin embargo, existe una distribución heterogénea en los esfuerzos de mitigación por cada sector, ya que la mayor parte de la reducción de emisiones en el escenario M1 se debe a los esfuerzos en el sector AFOLU (76% de la reducción en emisiones), principalmente la reducción de la deforestación. Dicha reducción es mucho más grande que las medidas de mitigación en los sectores Energía, Residuos e IPPU que presentan potenciales de mitigación más limitados para el año 2030. Estas dos últimas categorías contribuyen con 3% de la reducción de emisiones a 2030.

La Figura 3 y Figura 5 muestran la trayectoria anual de emisiones y la distribución de las mitigaciones entre las categorías IPCC. En esta clasificación el sector AFOLU contribuye con el mayor potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aproximadamente 79% en 2030, principalmente impulsada por la reducción de la deforestación, la cual es una medida intersectorial. La categoría energía (1A-IPCC) representa el 18%. Se hace esta distinción para diferenciar las medidas que afectan la demanda y las medidas que afectan el suministro de energía.

Dada la posibilidad de que medidas individuales repercutan e interactúen con las emisiones de otros sectores, impactando así no solo las categorías IPCC directamente asociadas a su sector sino las emisiones totales (categorías IPCC indirectamente asociadas), el potencial de una medida evaluada individualmente no es necesariamente igual al impacto neto que tiene al permitir que dicha medida interactúe con las demás. La Figura 5 y Tabla 4 muestran el potencial de reducción de emisiones estimadas de forma individual (el potencial calculado sin interacción con otras medidas) y el potencial real en el escenario de mitigación (es decir, integrada con las demás medidas).

Tabla 4 Escenario de mitigación por sector IPCC en GgCO_{2eq}.

Categoría	Potencial individual	Escenario Mitigación	Variación
Energía	21,051	17,233	-18%
IPPU	1,445	1,620	12%
AFOLU	75,819	75,678	0%
Residuos	1,336	1,210	-9%
Total	99,651	95,740	-4%

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

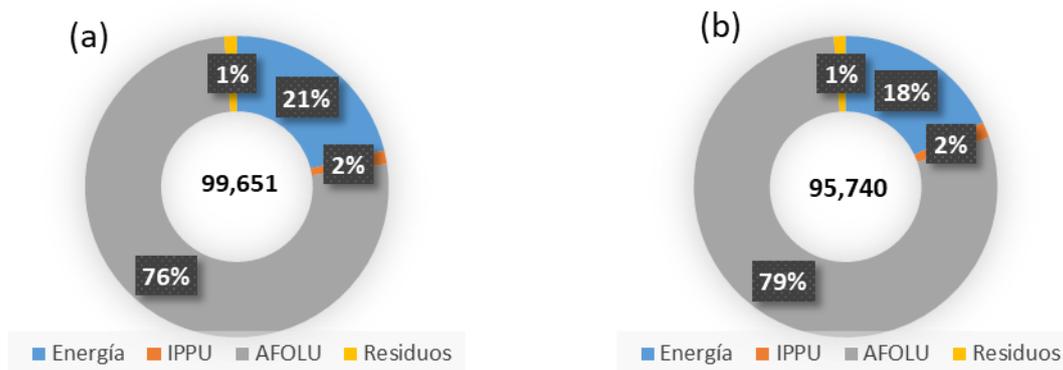


Figura 5 Distribución potencial (a) y contribución real (b) escenario de mitigación por categoría IPCC para 2030. Reducciones de emisiones totales en GgCO_{2eq}.

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

La distribución por ministerio y medidas intersectoriales ofrece una perspectiva diferente a la clasificación por categorías IPCC. La distribución por cartera permite identificar de qué manera los ministerios contribuyen a la reducción de emisiones, especialmente en el caso de medidas que tienen impacto en más de una categoría IPCC. Esto es particularmente relevante en medidas que tienen influencia en varias categorías IPCC, como es el caso de medidas como la NAMA Panela o los distritos térmicos. La Figura 6 muestra esta distribución a lo largo del periodo principal de análisis (2015 – 2030). En este caso las medidas intersectoriales tienen la mayor participación en las reducciones totales, estas medidas intersectoriales incluyen el impuesto al carbono y la reducción de la deforestación.

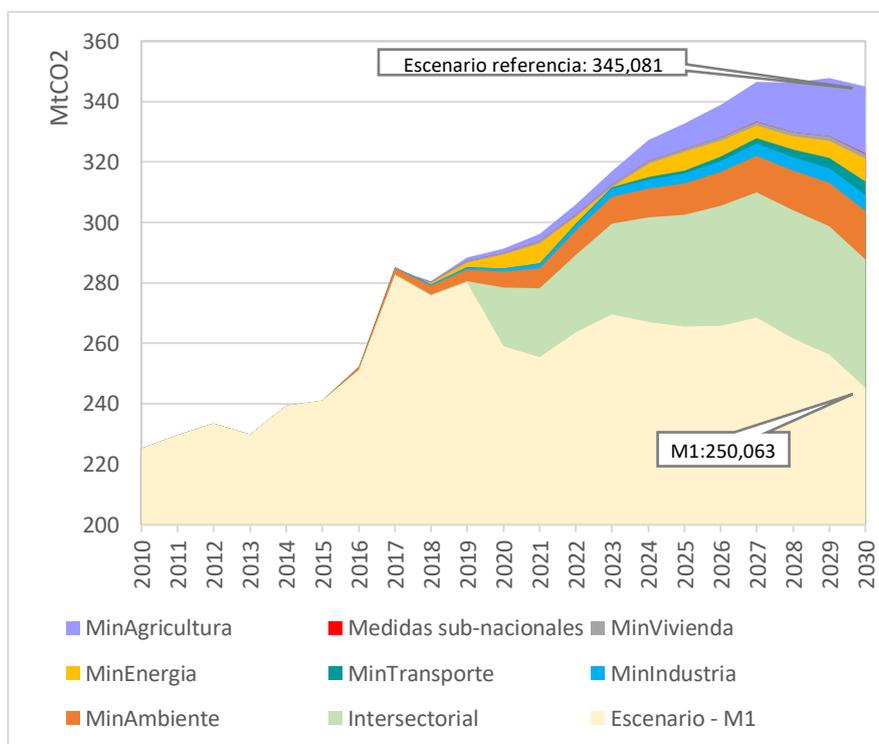


Figura 6 Proyección de emisiones para el escenario de mitigación M1 desagregado por Ministerio.

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

Tabla 5 Reducción de emisiones en el escenario de mitigación M1 por Ministerio [GgCO_{2eq}].

Ministerio	Potencial individual	Escenario Mitigación	Variación
MinAgricultura	22,126	20,510	-7%
MinAmbiente	15,976	10,374	-35%
MinEnergía	7,644	7,995	5%
MinIndustria	5,237	2,905	-45%
MinTransporte	4,520	6,942	54%
MinVivienda	1,426	1,210	-15%
Intersectorial	42,543	45,722	7%
Medidas sub-nacionales	180	0	NA
Total	99,651	95,659	-4%

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

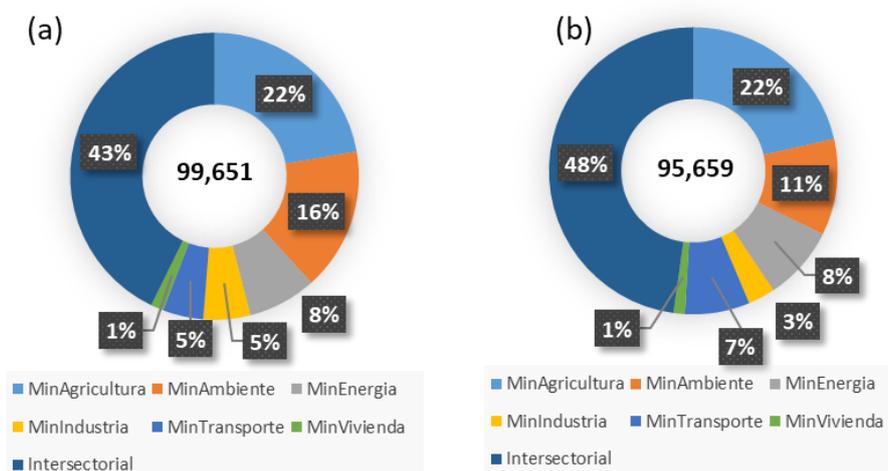


Figura 7 Distribución potencial (a) y contribución real (b) escenario de mitigación por asignación ministerial para 2030. Reducciones de emisiones totales en GgCO_{2eq}.

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

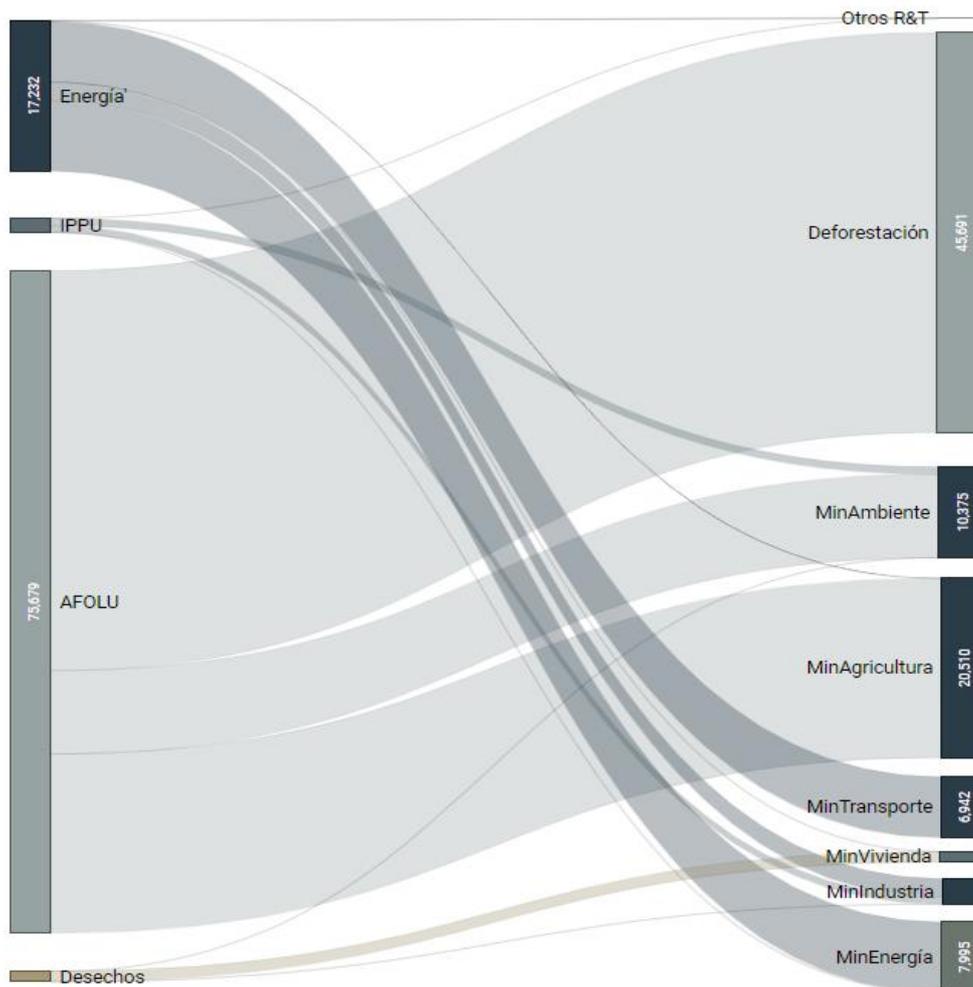


Figura 8. Potencial de reducción para el escenario M1 por categorías IPCC y asignación ministerial en GgCO₂eq.

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

2. Resultados M3

En el escenario de mitigación, el cual incluye una profundización en la ambición o penetración de algunas medidas de mitigación (ver Tabla 2), las emisiones en 2030 son en total 217,702 GgCO₂-eq, reduciendo así 128,099 GgCO₂-eq respecto al escenario de referencia y 32,361 GgCO₂-eq adicionales respecto al escenario de mitigación M1 (ver Figura 2).

En el proceso de actualización de la NDC se incluyó de forma indicativa el periodo 2031-2050 para identificar los retos que Colombia debe enfrentar para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero de forma significativa con el objetivo de alcanzar la carbono neutralidad. Sin embargo, debido a limitantes en la información disponible y la alta incertidumbre que las proyecciones y compromisos a largo plazo conllevan, el modelo construido en este ejercicio implica una tendencia creciente después de 2030. Esta tendencia al aumento se explica principalmente porque para la gran mayoría de medidas de mitigación no existe un objetivo a largo plazo (2050), además de que se requieren acciones adicionales para continuar con una tendencia decreciente, dado que se puede prever que algunas de las actuales medidas de mitigación alcanzaran su límite de mitigación en la

próxima década. La Tabla 6 muestra el potencial de mitigación por asignación ministerial y el potencial agregado una vez las medidas se integran en el escenario M3.

Tabla 6. Reducción de emisiones en el escenario de mitigación M3 por Ministerio [GgCO_{2eq}].

Ministerio	Potencial individual	Escenario Mitigación	Variación
MinAgricultura	28,659	20,510	-28%
MinAmbiente	17,546	15,205	-13%
MinEnergía	11,996	14,881	24%
MinComercio	7,585	4,120	-46%
MinTransporte	5,086	6,335	25%
MinVivienda	1,890	1,840	-3%
Intersectorial	59,425	65,210	10%
Medidas sub-nacionales	207.1	0	NA
Total	132,393	128,101	-3%

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia y resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

La Figura 9 ofrece una visión a largo plazo del 2030 al 2050 continuando con las tendencias principales del modelo entre el periodo 2020 – 2030. Este análisis simple sugiere que se requerirán acciones adicionales, no solamente la profundización o incremento de ambición de las medidas actualmente consideradas, para una trayectoria de emisiones compatible con carbono-neutralidad para el año 2050.

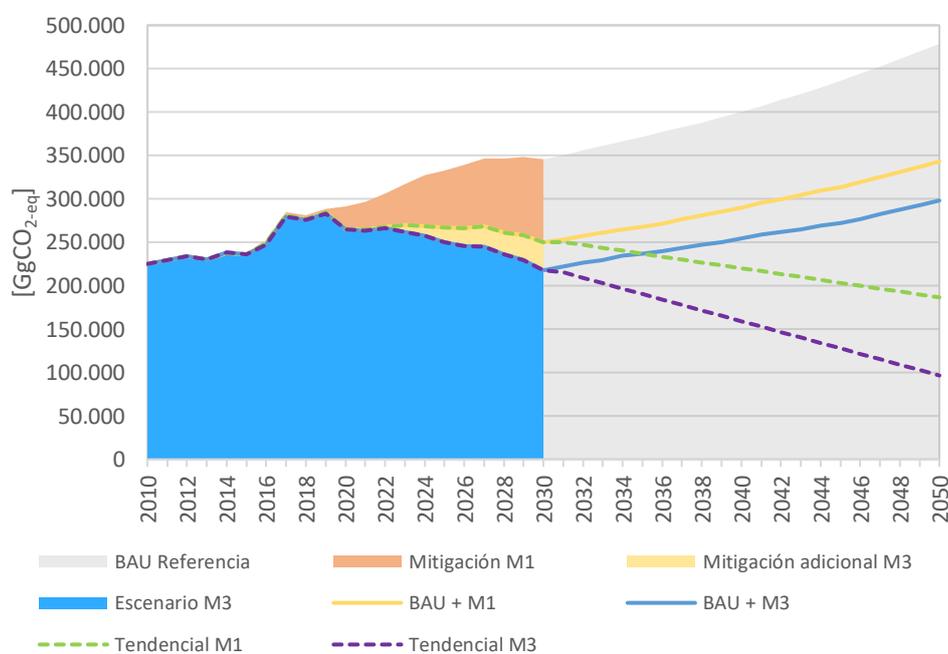


Figura 9 Proyección indicativa de emisiones de GEI a 2050.

Fuente: elaboración propia a partir de resultados del modelo Colombia NDC-LEAP.

III. Metodología para la construcción de los escenarios de mitigación en Colombia, suposiciones y resultados

A. Suministro energético: industrias de generación de electricidad y energía

1. Generación de electricidad

En este sector se evaluaron 4 opciones de mitigación provistas por Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía) (ver Tabla 7).

Tabla 7 Medidas de mitigación en generación de electricidad.

Medida	Nombre en LEAP	Descripción	Categorías IPCC que afecta
Diversificación de la matriz energética	MIX_RES: Diversificación Capacidad Generación	Consiste en la expansión de capacidad del sistema eléctrico, diversificando las fuentes de generación y dándole paso a una mayor presencia de FNCER	Generación de electricidad SIN
Gestión energética	RSP_DMN: Gestión de la demanda	Considera el potencial de los programas que fomentan la participación activa de la demanda.	Generación de electricidad SIN
Eficiencia térmica	EFI_GEN: Eficiencia generadores térmicos	Considera el potencial de reducción de consumo de energía en la generación termoeléctrica	Generación de electricidad SIN
Mayor ambición	M3_ELC: Mayor ambición Generación eléctrica	Promueve una mayor participación de FNCER que los escenarios anteriores	Generación de electricidad SIN

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinEnergía.

La modelación de las medidas de mitigación en LEAP se realizó a través de la definición de la matriz de generación en el SIN y su operación. En la definición de la NDC 2015, la expansión del SIN modelada fue la del escenario 14 del plan de expansión Generación-Transmisión 2014. En este ejercicio, se definen los casos MIX_RES y M3_ELC de expansión.

El caso MIX-RES, para el periodo 2015-2030, se compone de la capacidad instalada en el SIN a 2018, la expansión definida en el Cargo por Confiabilidad (CxC), y otra expansión adicional usada para garantizar la suficiencia del sistema¹. Para el periodo 2030-2050, se desarrolló una propuesta de expansión de capacidad usando el módulo de optimización NEMO de LEAP. La capacidad de generación para el caso MIX-RES a 2030 es como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Expansión de capacidad en el caso MIX-RES para el periodo 2016-2030

	Hidráulica	Gas	Carbón	Menores	Biomasa	Eólica	Solar	Geotérmica	Otros
MIX-RES	13520	4550	1931	980	150	1420	240	0	0
SIN 2018	10974	3360	1643	875		18	9.8		
CxC	1200	802				1172	230		

*Valores en MW

¹ Los principales supuestos de la expansión definida siguen a los supuestos de los análisis energéticos de largo plazo realizados en MPODE por parte de XM.

Fuente: <https://www.xm.com.co/Paginas/Operacion/Planeacion.aspx>

En el caso M3_ELC, para la capacidad instalada del SIN se consideró todas las políticas de crecimiento de participación de FNCER definidas en el país para el periodo 2015-2030, usando como base la expansión resultante en el caso MIX_RES. Vale la pena resaltar que la expansión definida en el caso de las FNCER es de alrededor de 2800 MW a 2030. Para el periodo 2030-2050, este caso cuenta con una propuesta de expansión de capacidad desarrollada con el módulo de optimización NEMO de LEAP, siguiendo una política de crecimiento tendencial de las tecnologías. La capacidad de generación para el caso M3_ELC a 2030 es como se muestra en la Tabla 9².

Tabla 9. Expansión de capacidad en el caso M3_ELC para el periodo 2016-2030

	Hidráulica	Gas	Carbón	Menores	Biomasa	Eólica	Solar	Geotérmica
M3_ELEC	13522	4550	1931	980	150	2223	940	150
SIN 2018	10974	3360	1643	875		18	9.8	
CxC + Subasta	1200	802				1578	565	
2018	10974	3631	1643.9	862.6	1.6	18.4	9.8	
2019	11041		1651	875.6			18	
2020	11112	3718		953	22		28	
2021		3668					96	
2022	12322	4242				293	535	
2023		4390		980		2060	731	
2024	13522							
2028		4550	1931			2223	940	
2029					120			
2030					150			150

*Valores en MW

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

En el caso de la medida RSP_DMN, se identifica el potencial de mitigación por la participación de la activa demanda, como resultado de los programas de gestión energética impulsados por el gobierno. El comportamiento de la curva característica de demanda asociado a dichos programas se modela de acuerdo con los resultados del estudio “Programas RD: potencial de mitigación GEI” desarrollado por Colombia inteligente (Colombia Inteligente, 2018). Los resultados indicados en el mencionado estudio muestran unos desplazamientos horarios de energía en promedio del 2.5 %. En los periodos pico (horas 19 y 20) la disminución de energía es en promedio de 6.9% debido a los programas de respuesta de la demanda. La introducción de la curva de demanda resultante en LEAP, permite evaluar la disminución en el despacho de generación térmica en dichos periodos, por lo tanto, el potencial de reducción de emisiones asociado.

En el caso de la medida EFI_GEN, se evalúan los potenciales de reducción en el consumo de energía para generación termoeléctrica y los potenciales asociados de mitigación. En el caso de la instalación

² La tabla hace una discriminación de las capacidades definidas en los mecanismos de CxC y la subasta de renovables, con el fin de proporcionar claridad del lector. Otras capacidades menores del SIN pueden consultarse en el modelo LEAP. Este escenario no reemplaza de ninguna manera los ejercicios de expansión de capacidad del SIN que realiza la UPME de forma periódica. Sin embargo, dado que estos últimos no se encontraban definidos al momento de realizar el presente análisis, el ejercicio de expansión presentado aquí se construyó según un análisis de suficiencia y operación del sistema sujetos a la demanda resultante de la modelación en LEAP.

de nuevas plantas térmica en el sistema, se consideró que la eficiencia de estas plantas refleja el uso de la mejor tecnología disponible³.

En cuanto a las opciones identificadas para la modernización de equipos y optimización a largo plazo en el consumo de combustibles fósiles, mediante el uso de ciclos combinados con turbinas de gas y de vapor, y la utilización y penetración comercial generalizada de calderas con ciclos de vapor supercríticos o ultra-supercríticos, estas se modelaron aplicando un cambio en la eficiencia en el consumo de energéticos según el estudio desarrollado por el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, 2020). El mencionado estudio, hace una selección de una muestra de las centrales térmica en Colombia para identificar un potencial de ahorro por la gestión de la operación y mantenimiento en dos tipos de ciclos (Rankine regenerativo y Ciclo combinado), con un potencial de ahorro entre 2.7% y 3.6%. Para la modelación en LEAP, dicho potencial de ahorro se aplicó al parque de generación con una vida útil no mayor a 20 años.

Las medidas se agruparon en dos escenarios generales de mitigación (Tabla 2 y Tabla 22). Los 3 primeros casos hacen parte del Escenario M1, mientras que en el escenario M3 se agrupan RSP_DMN, EFI_GEN y se aumenta la ambición de penetración de fuentes renovables.

Tabla 10. Medidas de mitigación por escenario.

Medidas de mitigación	Escenario M1	Escenario M3
MIX_RES	X	
RSP_DMN	X	X
EFI_GEN	X	X
M3_ELC		X

Fuente: elaboración propia a partir de la estructura de LEAP.

Entre otras medidas que no fueron explícitamente consideradas están las listadas a continuación. Estas permitirán definir acciones de mitigación para ampliar el nivel de ambición en reducción de emisiones para el sector.

- Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ)
- Otros equipos eficientes (TV, codificadores y Wifi)
- Eficiencia energética en minería para energía eléctrica
- Autogeneración en hidrocarburos
- Almacenamiento de energía (baterías)
- Gestión de emisiones fugitivas en minería

a) Resultados sectoriales

En la Tabla 11 se presentan los principales resultados de la combinación de las medidas que hacen parte del escenario M1, es decir, MIX_RES, RSP_DMN y EFI_GEN. La tabla muestra la mitigación para el año 2030 y 2050, y la reducción acumulada al 2030 y al 2050. Estos resultados se refieren al cambio en las emisiones directas en la generación de electricidad en el SIN, cuando los tres casos mencionados anteriormente interactúan simultáneamente y se comparan con el escenario de referencia⁴.

³ Las eficiencias de la mejor tecnología disponible se referencian según la literatura internacional. Fuente de información: <https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost>

⁴ El potencial individual de mitigación de cada caso respecto al escenario de referencia puede diferir de los datos aquí reportados. Vale la pena resaltar al lector que la integración de los casos mencionados hace que el SIN opere con un despacho de recursos que responde simultáneamente a la interacción entre la capacidad instalada, la curva de demanda y la eficiencia de las plantas térmicas. Una lectura de potencial individual de mitigación de

Tabla 11 Resultados de las medidas de mitigación en generación eléctrica SIN de las medidas que pertenecen al escenario M1.

Medida	Escenario	Desviación de emisiones (Gg CO ₂ eq)		Mitigación acumulada (Gg CO ₂ eq)	
		2030	2050	2015-2030	2015-2050
MIX_RES	M1	3,922.5	8,414	14,493	128,831.8
RSP_DMN		221.9	2,126	1,621.4	16,630
EFI_GEN		325.7	2,179	1,157.6	24,954

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

Para leer los resultados de la Tabla 11, considere las mitigaciones de los casos RSP_DMN y EFI_GEN una mitigación adicional que se logra con la configuración del sistema eléctrico (capacidad y operación) del caso MIX_RES respecto a una demanda como la del escenario de referencia. En la Tabla 12 se presentan los principales resultados de la combinación de las medidas que hacen parte del escenario M3, es decir, M3_ELC, RSP_DMN y EFI_GEN. De igual forma, para leer los resultados de la Tabla 12, considere las mitigaciones de los casos RSP_DMN y EFI_GEN una mitigación adicional que se logra con la configuración del sistema eléctrico (capacidad y operación) del caso M3_ELC respecto a una demanda como la del escenario de referencia.

Tabla 12 Resultados de las medidas de mitigación en generación eléctrica SIN de las medidas que pertenecen al escenario M3⁵.

Medida	Escenario	Desviación de emisiones (Gg CO ₂ eq)		Mitigación acumulada (Gg CO ₂ eq)	
		2030	2050	2015-2030	2015-2050
M3_ELC	M3	7,315	9,588	47,853	202,076
RSP_DMN		420	2,165	247.3	17,606
EFI_GEN		250	2,085	775.1	22,347

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

En la Tabla 13 se muestran los resultados en reducción de emisiones para las combinaciones de medidas indicadas anteriormente. La mitigación que se alcanzaría en ambas combinaciones es suficiente para lograr el 20% de reducción en el año 2030 propuesto en la NDC vigente. Es importante resaltar que esta comparación se realiza del impacto directo de las medidas con respecto al escenario de referencia. Por lo tanto, cuando las medidas aquí descritas se combinan con las medidas de los otros sectores, la demanda de electricidad cambia, por lo tanto, también cambian los despachos de recursos y por ende los potenciales de mitigación.

*Tabla 13 Emisiones reducidas en generación eléctrica SIN por la combinación de medidas.**

Combinación	Desviación de emisiones (Gg CO ₂ eq)	Mitigación acumulada (Gg CO ₂ eq)
-------------	--	---

*Nota aclaratoria: cada caso respecto al escenario de referencia debe interpretarse con cuidado toda vez que la configuración y capacidad instalada puede conducir a decisiones de despacho diferentes. También, se invita al lector para tener en cuenta que la combinación de estas medidas con las diseñadas en otros sectores también puede modificar los potenciales de mitigación debido a los cambios generales en la demanda.

⁵ Note que no hay diferencias en las medidas RSP_DMN y EFI_GEN entre las combinaciones de la Tabla 11 y Tabla 12. Las diferencias de potenciales de mitigación que se pudieran observar en las dos tablas referenciadas se deben a la respuesta natural de cada caso ante los cambios en las condiciones de operación del sistema. En el escenario M3, los efectos de una mayor eficiencia en la generación térmica se ven reducidos debido a una mayor presencia de renovables, por lo tanto, de un menor despacho de recursos térmicos.

	2030	2050	2015-2030	2015-2050
MIX_RES, RSP_DMN y EFI_GEN	4,470.24	12,721	17,658.17	173,413
M3_ELC, RSP_DMN y EFI_GEN	7,986.77	13,838	48,875.53	242,081

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

Dada la característica propia del sector eléctrico, que responde a las condiciones de la demanda y al mismo tiempo a las acciones que se proponen en cada sector con el potencial para modificarle, se refiere al lector a observar los resultados finales de potencial de mitigación de las medidas cuando estas actúan en integración con todas las medidas de mitigación en los respectivos escenarios M1 y M3.

La combinación de medidas que pertenecen al escenario M3 tienen un potencial de 3.5 millones de toneladas adicionales respecto a la combinación de medidas que pertenecen a M1. Las diferencias más notables entre los dos escenarios se presentan en el mediano plazo. Los porcentajes de reducción para estos años se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 Comparación de los escenarios de mitigación en generación SIN respecto al de referencia.

Escenarios	Diferencias con escenario de referencia			
	Desviación de emisiones		Mitigación acumulada	
	2030	2050	2015-2030	2015-2050
MIX_RES, RSP_DMN y EFI_GEN	25.8%	36.4%	11.0%	27.0%
M3_ELC, RSP_DMN y EFI_GEN	46.2%	39.6%	30.4%	37.8%

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

Como se observa en la Figura 10, hay una diferencia negativa de emisiones entre el escenario de referencia y la combinación de medidas que pertenecen a los escenarios de mitigación en el periodo 2019 y 2022. Esto se debe a que el escenario de referencia, que se desarrolló usando con base el escenario 1.1 del Plan expansión de Generación-Transmisiones 2016 UPME, incluye la entrada en operación de la planta de generación de Hidroituango a partir de 2019. Como resultado, hay una disminución en el uso del recurso térmico los años posteriores a 2019. Por lo tanto, es importante que el lector considere que la incertidumbre es inherente a la construcción de escenarios prospectivos, y en este caso, el escenario de referencia incluye una distorsión que no implica que este tenga una mayor mitigación en el corto plazo.

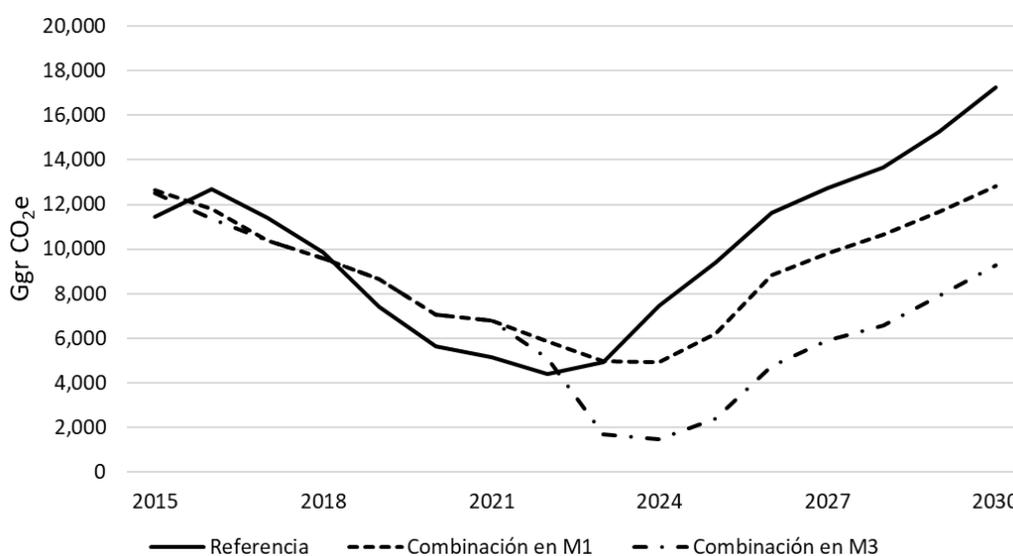


Figura 10 Escenarios de referencia y mitigación para generación eléctrica SIN 2015-2030.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

Como lo muestra la Figura 11, en el largo plazo la reducción de emisiones se mantiene, pero la trayectoria de emisiones sigue una forma creciente, y por lo tanto no consistente con posibles escenarios de carbono-neutralidad de largo plazo.

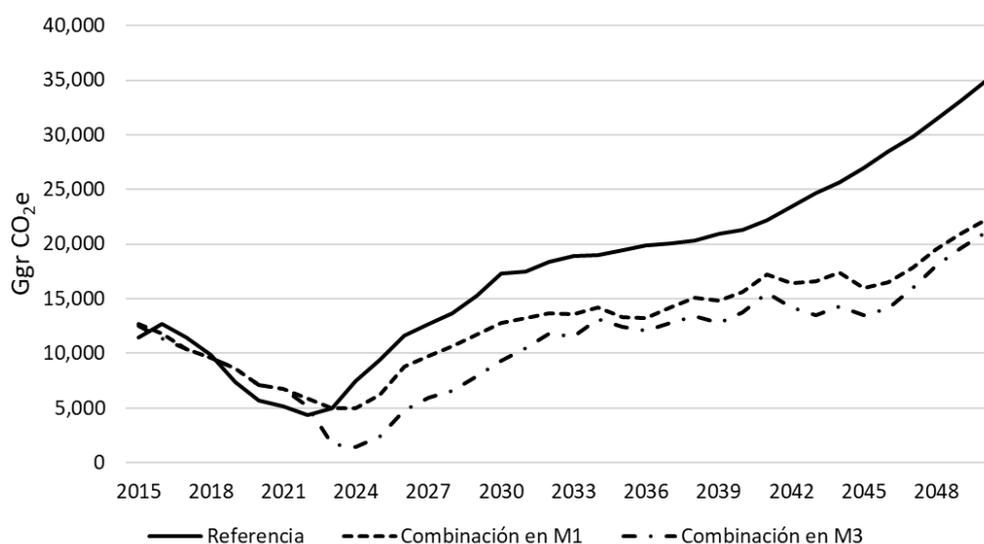


Figura 11 Escenarios de referencia y mitigación para generación eléctrica SIN 2010-2050.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de LEAP.

Con respecto a la modelación de medidas de mitigación en ZNI, dado que no hay una meta específica oficial o información suficiente para plantearlas, estas no quedaron incluidas en la construcción de los escenarios en LEAP.

b) Mensajes finales

- **Ambición en mitigación:** Aunque los escenarios analizados son suficientes para lograr la meta del NDC vigente para 2030, no son suficientes para contener un posible crecimiento de las emisiones en el largo plazo, que podría darse por una mayor demanda eléctrica. La modelación muestra que se requeriría mantener o incrementar la ambición de dichas medidas, además de adoptar medidas adicionales para aumentar la mitigación más allá del 2030. De lo contrario, no se lograría una consistencia con un escenario de carbono neutralidad al 2050.
- **Información:** Aunque existe incertidumbre sobre el desarrollo futuro del proyecto Hidroituango, debido al impacto que este proyecto tiene sobre la trayectoria de emisiones por generación eléctrica, para la construcción de los escenarios de mitigación se consideró que la primera fase de este proyecto (1200 MW) cumple con el cronograma del CxC y entra por etapas a lo largo del 2022. Para la segunda fase del proyecto, se considera su entrada en operación entre 2023 y 2024.
- **Metodología:** La metodología seleccionada para este estudio, fue la de usar como base un escenario de referencia publicado por la UPME en el mismo año de publicación de la NDC 2015. Sin embargo, los supuestos base en el desarrollo de dicho escenario (por ejemplo, la entrada en operación de Hidroituango en 2019) presenta, como es natural, diferencias con la

evolución real del SIN en cuanto a su capacidad instalada y operación. Se recomienda para futuras actualizaciones se utilice como escenario de referencia la información histórica hasta el año de la nueva actualización. De esta forma, se evitan distorsiones en la trayectoria de emisiones para la línea base.

- **Proceso:** Los ejercicios de modelación de escenarios de emisiones GEI exigen procesos de revisión y ajuste continuos. En este sentido es necesario considerar una actualización con una periodicidad igual a la publicación de los últimos escenarios que publique la UPME para la expansión del sistema eléctrico.

2. Extracción de Carbón

El Ministerio de Minas y Energía estableció dentro de su línea estratégica de eficiencia energética una acción de mitigación para minería de carbón, específicamente para minería a cielo abierto. Esta medida identifica el potencial de disminución a nivel nacional partiendo de la experiencia en eficiencia energética en El Cerrejón. La medida se centra en disminuir el consumo de diésel y electricidad. Los datos iniciales son el resultado de una consultoría previa (OPTIM, UNAL-INERCO) los cuales fueron suministrados en Excel y no se contó con el reporte de dicha consultoría, y diferente al ejercicio de actualización de la NDC que se lleva a cabo en este documento. En los archivos de Excel de soporte suministrado por el ministerio se identifica un potencial de ahorro de diésel de 9.9 TJ por año y 12 TJ para electricidad.

Para incluir estos datos en LEAP, dada la diferencia de metodologías y la estructura del modelo fue necesario calcular el potencial de reducción de la intensidad energética respecto a la producción (toneladas carbón). Este ejercicio se realizó con los datos promedio de 2010-2015, como muestra la Tabla 15 para diésel.

Tabla 15 Datos promedio entre 2010-2015 asociados a intensidad energética respecto a producción de carbón [Toneladas].

Uso Diesel	14,478	TJ/año
Ahorros diésel	9.9	TJ/ año
Producción	75,674,276	ton/ año
Valor calorífico carbón	28,760	MJ/ton
Producción	2,176,392	TJ/ año
Intensidad	0.13	MJ/ton
Intensidad energética	6.65E-03	MJ _{diésel} /MJ _{Carbón}
Delta Intensidad	4.55E-06	MJ _{diésel} /MJ _{Carbón}
Intensidad nueva	0.0066478	MJ _{diésel} /MJ _{Carbón}

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía.

En LEAP este valor de intensidad nueva se modificó para la medida de mitigación, disminuyendo así el consumo de Diesel, en el módulo de extracción de carbón (combustibles auxiliares). Dada la carencia de información se asume que esta mejora en la intensidad se mantiene constante después de 2030.

En la información suministrada se identificó que no hay una diferenciación entre el consumo de energía eléctrica para minería de carbón y de otro tipo de minerales. De esta forma se sobreestimó el potencial de ahorro y reducción mitigaciones en los cálculos suministrados. Esto se debe en gran medida a que se tomaron las categorías 23 *Productos minerales no metálicos* y 24 *Productos metalúrgicos básicos* como el total de consumo de electricidad de minería de carbón para la

extrapolación a nivel nacional. No obstante, el Ministerio de Minas y Energía expresó que el consumo de minería de carbón para 2014 y 2015 fue en promedio 1,460 TJ, cifra que es corresponde al 10% del valor usado en las fichas de cálculo originalmente suministradas por el ministerio. Con dicho ajuste se obtendría inicialmente un potencial de mitigación en 2030 de 0.47 GgCO_{2-eq}. En las fichas de Excel suministradas inicialmente el potencial era superior. Por este motivo se requiere una revisión a la estimación del potencial de ahorro de energía eléctrica en minería de carbón, lo cual ajustará el potencial de reducción de emisiones, dado que los datos de consumo suministrados presentaban inconsistencias y no se puede garantizar que el ajuste al consumo de electricidad corrija el error en el cálculo del potencial de disminución en consumo de electricidad.

Esta medida inicia a nivel nacional en 2015 según lo establecido en la ficha mitigación suministrada a través de Google Drive (Medidas mitigación sectoriales\MinEnergía\ FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC 22032020_Medios Implementación (EF).xism), y se asume que se extiende a través de todo el periodo de análisis (2015-2050). En 2030 la medida tiene un potencial de 0.74 GgCO_{2-eq} y una reducción acumulada (2015-2030) de 11.3 GgCO_{2-eq}. La Figura 12 muestra el perfil de reducciones de la medida, este sigue el comportamiento de la extracción de carbón a nivel nacional.

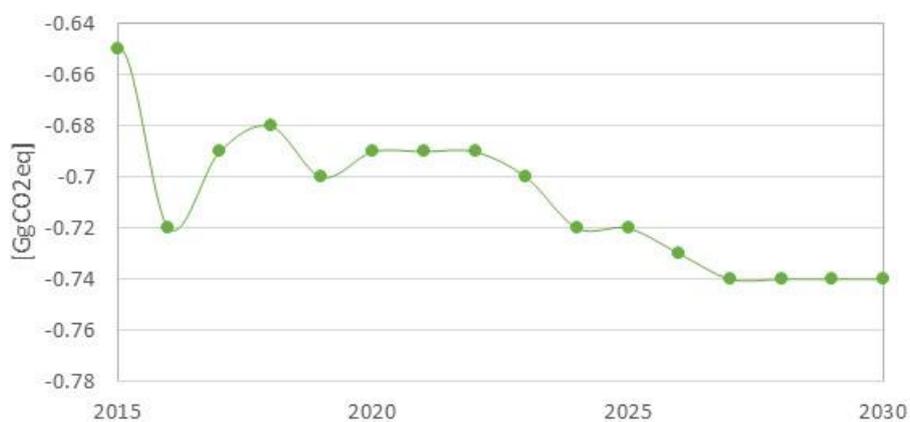


Figura 12 Perfil de reducción en extracción de carbón.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía.

Para una mejora en futuros ejercicios se recomienda validar el consumo de energía eléctrica en minería de carbón, al igual que establecer la senda de mejora en eficiencia energética en términos de consumo de combustible o intensidad energética. En el caso en que los potenciales se establecen en términos de emisiones de gases de efecto invernadero no es posible replicar la medida en ejercicios futuros y la información de entrada y supuestos no son claros para ser comparados con otros análisis. Esto distorsiona la validación posterior y dificulta la replicabilidad de las acciones cuando se construyen líneas base diferentes, como es el caso del escenario de referencia en LEAP y la línea base usada en las fichas de mitigación, con la cual no se contó.

3. Extracción de petróleo y gas natural, y refinación de petróleo

Al igual que se presenta en extracción de carbón, se definió una medida de mitigación relacionada a eficiencia energética para las refinadoras de petróleo. Esta medida está en mayor medida orientada a disminuir el consumo de Gas Natural mediante la mejora de procesos, mantenimientos programados y acciones similares que no requieran cambios en tecnología. La información inicial para esta medida de mitigación se tomó de la hoja "Hidrocarburos OPTIM (Refinería)" del archivo Excel "3. formato presentación hojas de cálculo (EE)" compartido en Google Drive.

Para poder usar la información suministrada fue necesario calcular el ahorro energético a partir de la reducción de CO₂ establecida en dicho archivo. Esto fue necesario ya que la línea base difiere de la establecida en el escenario de referencia desarrollado en LEAP, además la información en potencial de ahorro de energía no fue suministrada. Para obtener el potencial de ahorro en términos de energía se usó el factor de emisiones de gas natural del FECOC (UPME, 2016a).

En LEAP este ahorro de energía se incluyó como una mejora en la intensidad energética: consumo gas natural [TJ] por petróleo refinado [TJ] como se muestra en la Tabla 16. Se asume que esta mejora en eficiencia energética se mantiene constante a partir de 2030.

Tabla 16 Resultados de mitigación para extracción de combustibles fósiles y refinación de petróleo.

Año	Datos suministrados por MinMinas					Mitigación		
	Consumo combustible [MBTU]	Consumo combustible [TJ]	Emisiones Refinerías [MtCO ₂]	FE [tCO ₂ /GJ]	Reducción [MtCO ₂]	Emisiones Refinerías [MtCO ₂]	Consumo combustible [TJ]	Delta intensidad energética
2010	34,128	36,006	4.11	0.11	0.00	4.105	36.006	0.00%
2011	41,701	43,997	5.74	0.13	0.00	5.738	43.997	0.00%
2012	40,171	42,383	5.25	0.12	0.00	5.252	42.383	0.00%
2013	39,858	42,053	4.89	0.12	0.11	4.783	41.110	-2.24%
2014	42,609	44,955	5.53	0.12	0.24	5.285	42.991	-4.37%
2015	47,521	50,137	5.81	0.12	0.42	5.389	46.536	-7.18%
2016	54,664	57,674	7.58	0.13	0.48	7.102	54.002	-6.37%
2017	55,844	58,918	7.80	0.13	0.55	7.255	54.775	-7.03%
2018	55,822	58,895	8.01	0.14	0.61	7.395	54.376	-7.67%
2019	55,844	58,919	8.20	0.14	0.61	7.586	54.503	-7.49%
2020	58,300	61,510	8.16	0.13	0.61	7.549	56.880	-7.53%
2021	57,914	61,103	8.15	0.13	0.61	7.531	56.493	-7.54%
2022	57,930	61,119	8.16	0.13	0.61	7.548	56.518	-7.53%
2023	59,243	62,504	8.16	0.13	0.61	7.542	57.795	-7.53%
2024	60,689	64,031	8.16	0.13	0.61	7.542	59.206	-7.53%
2025	61,583	64,974	8.16	0.13	0.61	7.544	60.079	-7.53%
2026	61,576	64,966	8.16	0.13	0.61	7.543	60.071	-7.53%
2027	61,744	65,143	8.16	0.13	0.61	7.543	60.236	-7.53%
2028	62,124	65,545	8.16	0.12	0.61	7.543	60.607	-7.53%
2029	61,095	64,459	8.16	0.13	0.61	7.543	59.603	-7.53%
2030	61,272	64,645	8.16	0.13	0.61	7.543	59.775	-7.53%

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía.

Estas medidas de eficiencia energética logran contribuir con 639 GgCO₂-eq en 2030. La máxima disminución a la intensidad energética en las refinerías se alcanza en 2020, después de este año se asume que no hay cambio en eficiencia energética y las refinerías producen a una capacidad constante, por lo cual la reducción se mantiene constante, como se muestra en la Figura 13.

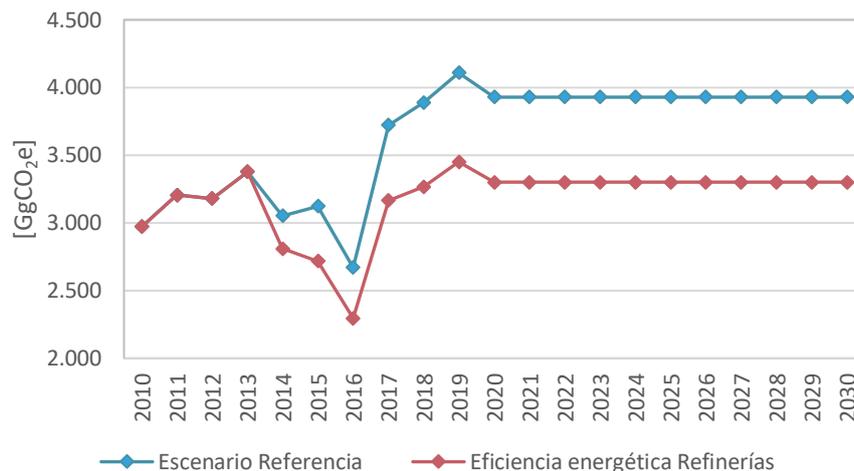


Figura 13 Escenario de referencia y mitigación para la medida de eficiencia energética en refinerías.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía. En este caso se recomienda, al igual que en eficiencia energética en minería de carbón, hacer los análisis en términos energía. Esto debido a que los potenciales en términos de CO₂ no permiten una fácil comparación ni el uso de la información en ejercicios futuros.

4. Gas natural

No hay acciones de mitigación para los procesos de extracción de gas natural. Las medidas de mitigación para esta categoría se abordan de forma indirecta en emisiones fugitivas.

5. Biocombustibles

No hay acciones de mitigación directas para los procesos de producción o mezcla de biocombustibles. Sin embargo, en generación de electricidad y en la categoría de desechos se abordan acciones relacionadas al uso de biomasa y biogás, las cuales no se vincularon en su totalidad al sistema energético en el modelo LEAP debido a la falta de información que permitiera la caracterización de unidades de generación de electricidad asociadas.

B. Demanda de energía

1. Industria

Descripción metodología

La estructura de árbol desarrollada para el sector industria en LEAP con un enfoque de energía útil en el cual los consumos de energéticos se desagregaron por subsector y por uso, se realizó con la intención de facilitar el cálculo de las medidas de mitigación del sector industria. Este enfoque permite focalizar las medidas de mitigación acertadamente en cada uno de los subsectores y en cada uno de los usos y energéticos que son sujetos de la acción de mitigación.

Además, en cada uno de los subsectores y usos se definieron tres tipos de tecnologías con base en el Balance de Energía Útil-BEU (UPME, 2019). Cada una de estas tecnologías le corresponde una

eficiencia energética específica: la eficiencia existente y dos eficiencias de referencia, Mejor eficiencia Colombia y Mejor eficiencia internacional. De este modo, el valor de la eficiencia resultante para cada uno de los subsectores, usos, y energéticos, se calcula como la combinación de las tres eficiencias en mención.

Las medidas de mitigación que se desarrollaron para el sector de demanda de energía en industria son de dos tipos: eficiencia y sustitución energética. Para el primero, se estima primero una meta de eficiencia energética a alcanzar en un año determinado y luego se calcula una senda de difusión en el horizonte de tiempo para la penetración del portafolio de tecnologías que replique la meta de eficiencia energética a lograr. Para el segundo, se define una meta de sustitución de energéticos a lograr en un año específico y al igual que el anterior, se traza una senda de difusión en el tiempo para alcanzar tal meta. De esta forma, las políticas de mitigación se modelan estableciendo metas sensatas de eficiencia/sustitución de energía que son realizables en un horizonte de tiempo plausible.

De las cinco medidas de mitigación compiladas y evaluadas por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo-MinComercio, para el sector 1A2 de industria fueron calculadas tres⁶ de estas, las cuales son mostradas en la Tabla 17.

Tabla 17 Fichas compartidas por el MinComercio para las medidas de mitigación concernientes a la demanda de energía en la categoría 1A2 industria.

Medida mitigación	Archivo ficha
Desarrollo ladrilleras	20200907 DESARROLLO INTEGRAL LADRILLERAS NDC.xlsm
Cemento sostenible	202008 PRODUCCION SOSTENIBLE Cemento Colombia Agosto NDC.xlsx
Eficiencia industria	20200901 EFICIENCIA ENERGETICA DEMANDA INDUSTRIA NDC.xlsx

Fuente: elaboración propia a partir de (MinCIT & MADS, 2020).

Desarrollo ladrilleras

El programa para el desarrollo integral de unidades productivas de producción de ladrillos y de eficiencia energética busca fomentar el desarrollo integral de unidades de producción de ladrillos a través del fortalecimiento de sus capacidades de medición de huella de carbono, gestión de la energía, mejora de procesos, y transferencia de buenas prácticas operativas, fomentando y gestionando procesos de reconversión y mejoras en los hornos en ladrilleras.

El inventario nacional del sector ladrillero colombiano identificó un inventario de 2435 hornos utilizados por las empresas ladrilleras de los cuales el 43% son hornos tipo pampa, 25% de fuego dormido, y 19.6% de colmena (Corporación Ambiental Empresarial CAEM, 2015).

Con base en esta información, el MinComercio consideró intervenciones en un poco menos de 300 unidades productivas en diferentes proyectos de eficiencia energética tales como conversión de horno de fuego dormido, de pampa, y de colmena, por hornos de cámara continuo y mejores prácticas asociadas a la gestión energética (MCIT & MADS, 2020).

Así, esta medida de mitigación se modeló entonces como una mejora en la eficiencia del 18.3% con respecto a la eficiencia existente en el uso de calor directo de la categoría 1A2f-Minerales no metálicos. Teniendo en cuenta que el sector de minerales no metálicos (CIU 2300) está compuesto a

⁶ Respecto a las otras dos medidas evaluadas por el MinComercio, una pertenece a la categoría 2B-Industria Química y la otra a la categoría 1A3-Transporte

su vez por varios subsectores, se estimó la participación en el consumo de energéticos para cada uno de estos con respecto al consumo total del sector de minerales no metálicos utilizando como base la información de la Encuesta Anual Manufacturera que realiza el DANE anualmente, con el fin de enfocar la medida de mitigación únicamente sobre la demanda de energía del subsector ladrillero en mención.

Por ejemplo, para el consumo de carbón, la Figura 14 muestra que en el 2018 el CIIU 2392-Fabricación de materiales de arcilla para la construcción (donde el sector ladrillero se ubica) consumió el 18.9% del total que consumió el CIIU 2300-Minerales no metálicos (DANE, 2018).

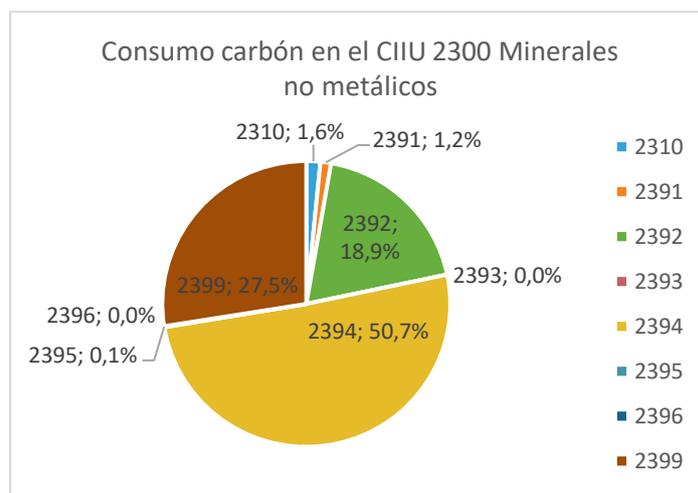


Figura 14. Participación consumo de carbón en el sector CIIU 2300 de minerales no metálicos: CIIU 2310, Fabricación de vidrio y productos de vidrio. CIIU 2391, Fabricación de productos refractarios. CIIU 2392, Fabricación de materiales de arcilla para la construcción. CIIU 2393, Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana. CIIU 2394, Fabricación de cemento, cal y yeso. CIIU 2395, Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso. CIIU 2396, Corte, tallado y acabado de la piedra. CIIU 2399, Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.

Fuente: elaboración propia a partir de (DANE, 2018).

Con base en la meta de mitigación sectorial para la fabricación de ladrillos y sus supuestos, junto a la eficiencia existente (55%) para el uso de calor directo del sector 1A2f-Minerales no metálicos del BEU (UPME, 2019), se estimó que al 2030 la eficiencia es de 65.10% y extendiéndola al 2050 de 75%. La tasa de crecimiento compuesta anual de la eficiencia al 2030 sería de 1.5% y al 2050 1%. Ver Figura 15.

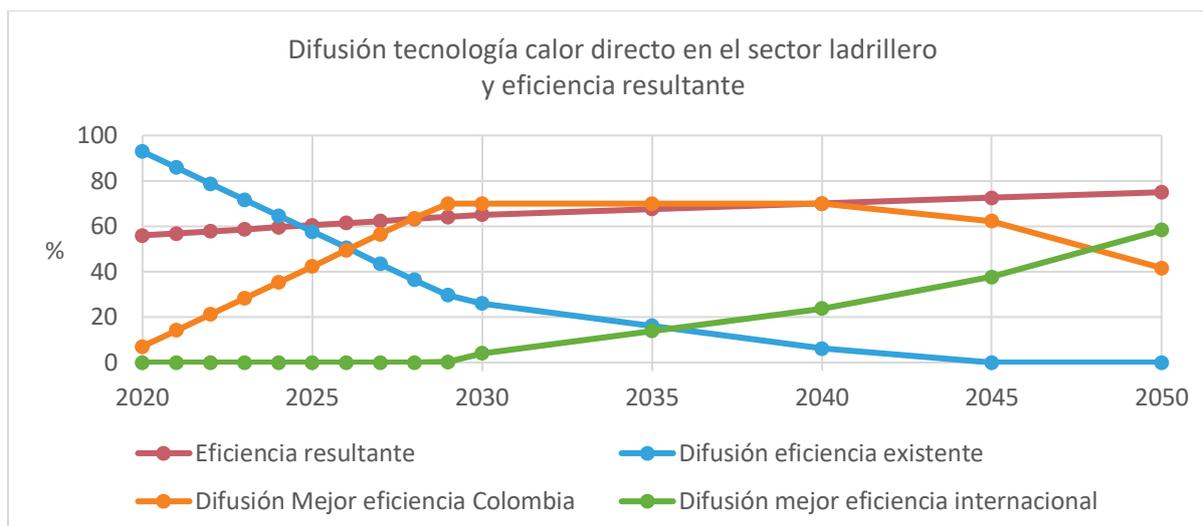


Figura 15. Difusión tecnología sector ladrillero y eficiencia resultante.

Fuente: Elaboración propia.

Cemento sostenible

El programa para promover buenas prácticas en gestión energética y reducción de emisiones con aprovechamiento de materiales en los procesos de la industria cementera busca Identificar, evaluar e implementar estrategias para la mitigación de Gases Efecto Invernadero generados en las etapas de producción de cemento a nivel industrial en Colombia.

Las acciones de mitigación identificadas por la industria cementera están orientadas a la optimización de procesos relacionados con energía térmica y con el aprovechamiento de materiales con valoración energética utilizando la capacidad instalada de la planta para elevar el nivel de coprocesamiento.

Con base en la información sectorial suministrada (MCIT & MADS, 2020), para las emisiones de la categoría 1A2 las medidas contempladas para la industria de cemento están relacionadas a la eficiencia térmica, eficiencia eléctrica y combustibles alternativos. Para los dos primeros se estimó una mejora en eficiencia al 2030 de 6.8% y 1.4% respectivamente. Para el último, se asume una combustión combinada de carbón con residuos que alcanza 15% en el 2030⁷.

Al igual que con la producción de ladrillos, el consumo de energéticos en el CIU 2300 de minerales no metálicos está distribuido entre los diferentes subsectores. Por ejemplo, la producción de cemento que está inmersa en el CIU 2394-Fabricación de cemento, cal y yeso, consume alrededor del 50.7% del total del sector (Ver Figura 14).

Considerando estos supuestos y las eficiencias existentes para los usos de calor directo y fuerza motriz (55% y 81.47% respectivamente) del BEU (UPME, 2019), se estimó que las medidas de eficiencia térmica y eficiencia eléctrica alcanzarán al 2030 una eficiencia de 58.73% y 82.64% respectivamente. Prolongando esta trayectoria al 2050, se estima que las eficiencias térmica y eléctrica alcanzan el nivel de la mejor eficiencia Colombia para los usos de calor directo y fuerza motriz (68% y 94% respectivamente).

⁷ El cobeneficio asociado a las emisiones evitadas por el uso de residuos que corresponde a mitigaciones del sector 4 Residuos, no fue incluido en este informe.

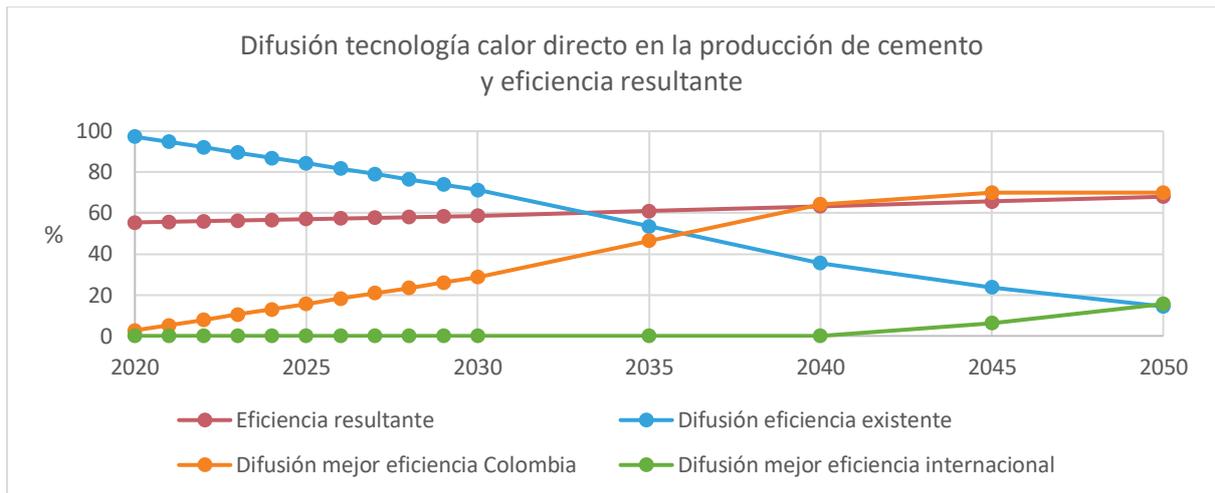


Figura 16. Difusión tecnología en calor directo para la producción de cemento y eficiencia resultante. Fuente: Elaboración propia.

Eficiencia industria

Como una política transversal, la eficiencia energética en la industria busca gestionar y fomentar el escalamiento de acciones encaminados a aumentar la eficiencia energética y sustituir combustibles con factores de emisión altos. Esta política se basa en un conjunto de estrategias complementarias entre las que se cuenta entre otros, la mejora en los sistemas de gestión, mejores prácticas operativas, análisis de datos de los procesos y equipos, reconversión tecnológica, etc.

La ficha sectorial provista por el MinComercio identificó tres políticas transversales a todo el sector industria: Aumento de la eficiencia en equipos de calor directo e indirecto, sustitución energética de combustibles líquidos y sólidos a gas natural, y promoción de gestión de la energía eléctrica en usos de fuerza motriz y otros usos eléctricos (MCIT & MADs, 2020).

Para modelar las medidas de eficiencia energética se planteó el parámetro de Potencial de Aplicación como aquel que evalúa la disposición de la tecnología a ser sujeta a mejoras que incrementen su eficiencia. El Potencial de Aplicación se puede entender como el número de máquinas térmicas o máquinas rotativas que van a ser proclives a mejorar la eficiencia energética de un universo de maquinaria dentro de cada subsector industrial. La ventaja de este parámetro es que permite sopesar de una manera simple, las posibilidades técnicas y económicas que un equipo o proceso sea sujeto de tal intervención.

Los potenciales de aplicación se definen heurísticamente utilizando como base de referencia, el documento del PROURE el cual estableció potenciales de aplicación que rondan entre 40% y 60% para las medidas de eficiencia energética del sector industria en los usos térmicos y eléctricos (UPME, 2016b). Igualmente, para la sustitución energética se asumieron los potenciales de sustitución de combustibles sólidos a gas natural y de combustibles líquidos a gas natural. Para este último, se asume el potencial de líquidos a gas ligeramente mayor debido a la mayor facilidad técnica de acometer tal sustitución en las máquinas térmicas, en contraste con una sustitución de sólidos a gas.

De esta forma, los supuestos para el potencial de aplicación tanto para la medida de eficiencia como de sustitución energética para los escenarios M1 y M3, se muestran en la Tabla 18. Para el escenario M3 de mayor ambición, se asumió que el potencial de aplicación alcanza su máximo teórico.

Tabla 18 Supuestos para el potencial de aplicación en las medidas de eficiencia y sustitución energética.

Medida mitigación Usos / energéticos	Eficiencia energética		Sustitución energética	
	Usos térmicos	Usos eléctricos	Sustitución combustibles sólidos a gas	Sustitución combustibles líquidos a gas
Potencial de aplicación M1	40%	50%	40%	60%
Potencial de aplicación M3	100%	100%	100%	100%

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía.

Igualmente, es necesario definir las metas de eficiencia energética y de sustitución de energéticos. Para el primero, se asumen sendas de difusión de las tecnologías en usos térmicos (calor directo e indirecto) y eléctricos (fuerza motriz, iluminación, refrigeración y aire acondicionado) de tal manera que se alcanza al final del 2050 la mejor eficiencia internacional (Ver ejemplo Figura 17). Para el segundo se asume que hay sustitución de combustibles sólidos y líquidos a gas natural y que esta sustitución es completa e irreversible, es decir, que no hay procesos de combustión combinada o dualidad en el uso de energéticos.

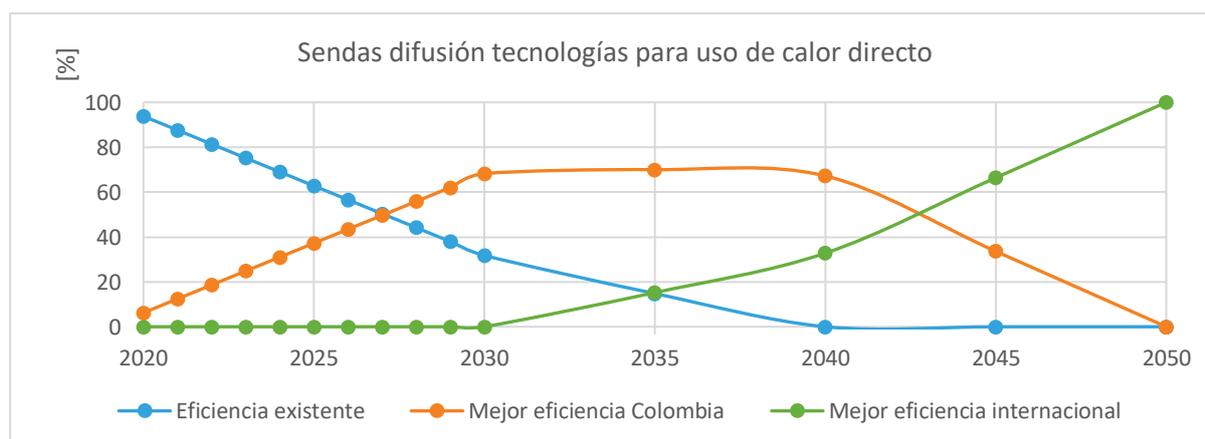


Figura 17. Difusión tecnología en calor directo para la medida de eficiencia energética.

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar los supuestos considerados en la medida de eficiencia energética, se toma como punto de referencia el informe de impacto del programa para la promoción de la Eficiencia Energética Industrial (EEI Colombia) de agosto del 2019, el cual en sus resultados agregados, esperan obtener ahorros de 1,287 TJ por año (ONUDI & UMPE, 2019). En la Figura 18 se observa que esta meta de ahorro del EEI Colombia está alrededor del valor promedio de los ahorros logrados por la medida de eficiencia energética del escenario de mitigación M1, y en el mismo orden de magnitud del escenario M3 aunque por debajo, debido a la mayor ambición de este último escenario.

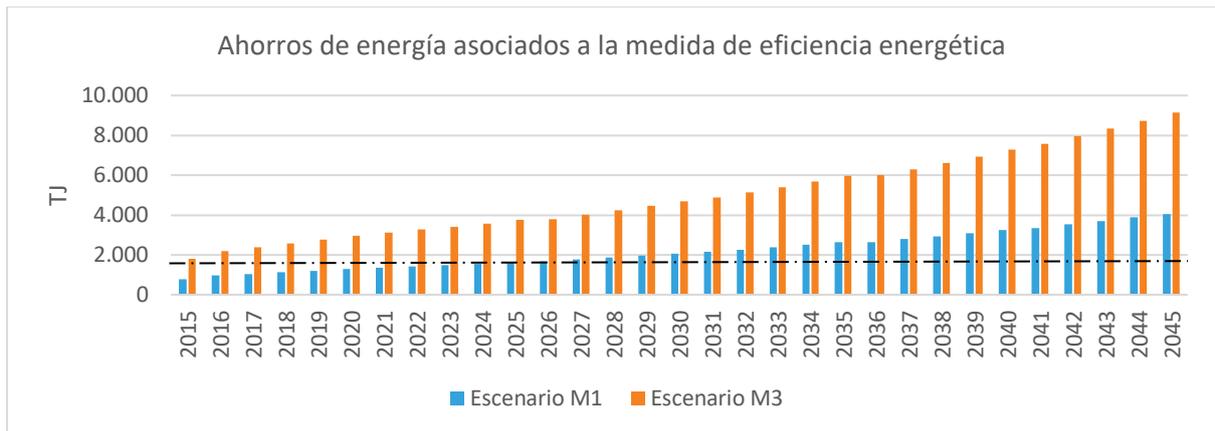


Figura 18. Ahorros de energía resultado de la medida de eficiencia energética en los escenarios M1 y M3. Ahorro de energía anual esperado del programa EEI es de 1,287 Tj (línea negra punteada).

Fuente: elaboración propia a partir de (ONUDI & UMPE, 2019).

La meta de sustitución fue focalizada para los combustibles sólidos y líquidos en aquellos usos que tienen mayor responsabilidad en las emisiones del sector 1A2. De un total de 162 combinaciones de subsector\uso\energético que reportan emisiones, se priorizaron 100 cuyos combustibles son sólidos o líquidos y no pertenecen a los subsectores 1A2i Minería y 1A2k Construcción. La Figura 19 muestra los 10 primeros responsables de emisiones en el sector 1A2 de 162 y aquellos sobre los cuales se realizó la medida de sustitución.

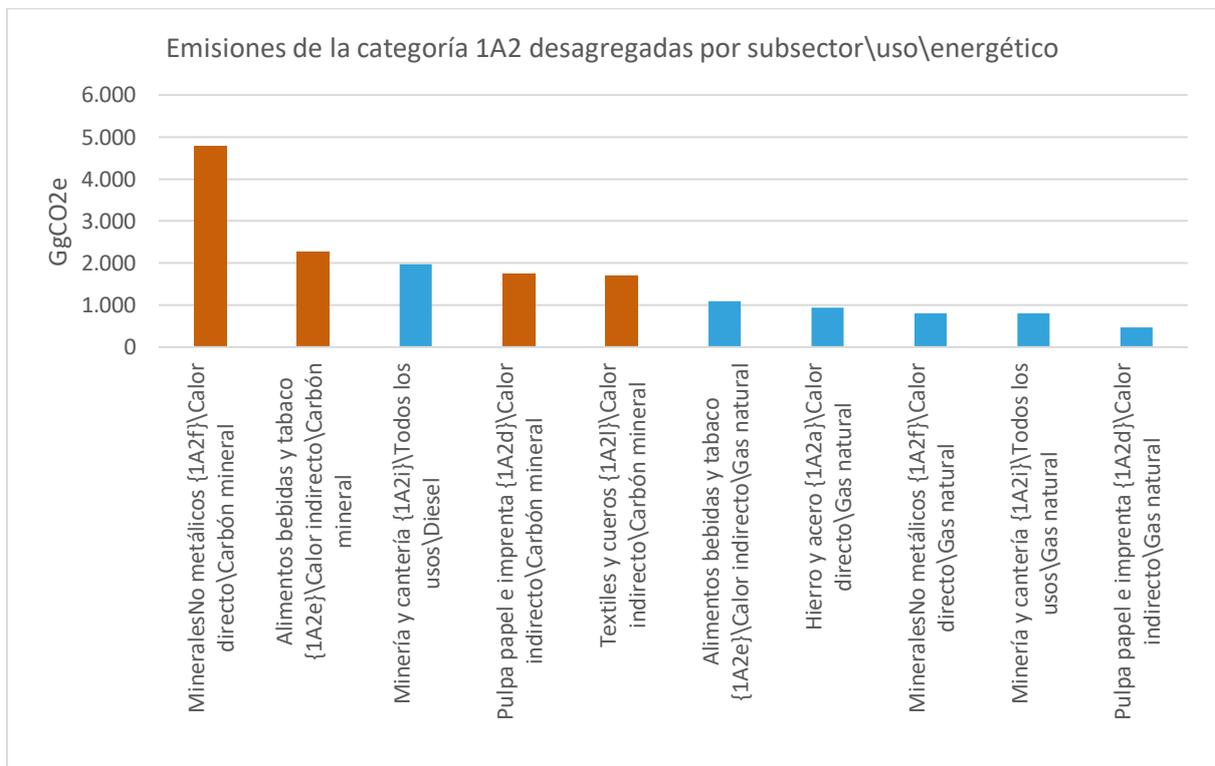


Figura 19. Ranking de los 10 primeros responsables de emisiones en el sector 1A2 desagregados por subsector\uso\energético. De color marrón están los combustibles sólidos (y líquidos) que fueron priorizados para la política de sustitución.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para los subsectores 1A2i Minería y 1A2k Construcción se realizó un enfoque distinto respecto a las medidas de mitigación. Ya que para estos dos sectores no fue posible desagregar las demandas por uso, se estimó en cambio un decrecimiento en la intensidad de energía final que corresponde con las sendas de eficiencia energética supuestas para los demás subsectores. Como resultado, se asumió que la intensidad energética de estos dos sectores decrece a una tasa de -0.4% anual para el escenario M1 y -0.8% para el escenario M3.

Resultados

Como resultado de las medidas de mitigación desarrolladas para la categoría 1A2 Industria (ver Tabla 19), se obtiene en el escenario de mitigación M1 una reducción de emisiones en 2030 con respecto al escenario de referencia de 2,368 GgCO_{2-eq} y en el 2050 10,285 GgCO_{2-eq} (reducción de 11.0% y 25.1% respectivamente). Ver Figura 20.

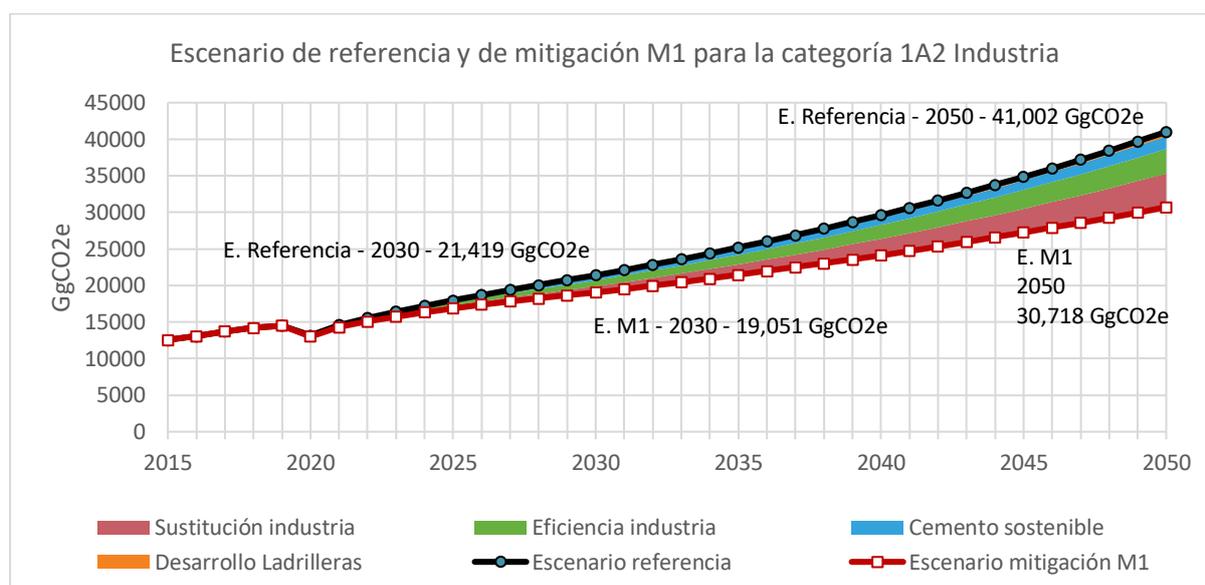


Figura 20. Escenario de referencia y de mitigación M1 de emisiones de GEI para la categoría 1A2 Industria.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19 Potencial de mitigación en la categoría 1A2 Industria de las medidas contempladas en el escenario M1 en GgCO_{2-eq}

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cemento sostenible	0	29,0	238,5	517,6	726,8	993,8	1.308,6	1.690,7
Desarrollo Ladrilleras	0	10,2	85,0	183,3	261,1	360,8	482,9	628,0
Eficiencia industria	0	46,9	382,9	827,8	1.311,7	1.914,1	2.564,1	3.381,3
Sustitución industria	0	45,9	382,7	839,8	1.441,0	2.231,3	3.259,1	4.584,7
Total potencial mitigación	0	132,0	1.089,2	2.368,4	3.740,7	5.500,0	7.614,8	10.284,7

Fuente: elaboración propia.

En cambio, para el escenario de referencia M3 las reducciones en emisiones en 2030 son de 4,059 GgCO_{2-eq} y en 2050 17,766 GgCO_{2-eq} los cuales corresponden con una reducción de 18.9% y 43.3% (Ver Tabla 20). Es de notar la importancia que cobran las medidas de eficiencia y sustitución energética una vez los potenciales de aplicación alcanzan su máximo teórico tal y como se observa en el escenario M3, a comparación de los resultados de M1 para las mismas medidas una vez se asumieron potenciales de aplicación más conservadores. Ver Figura 21

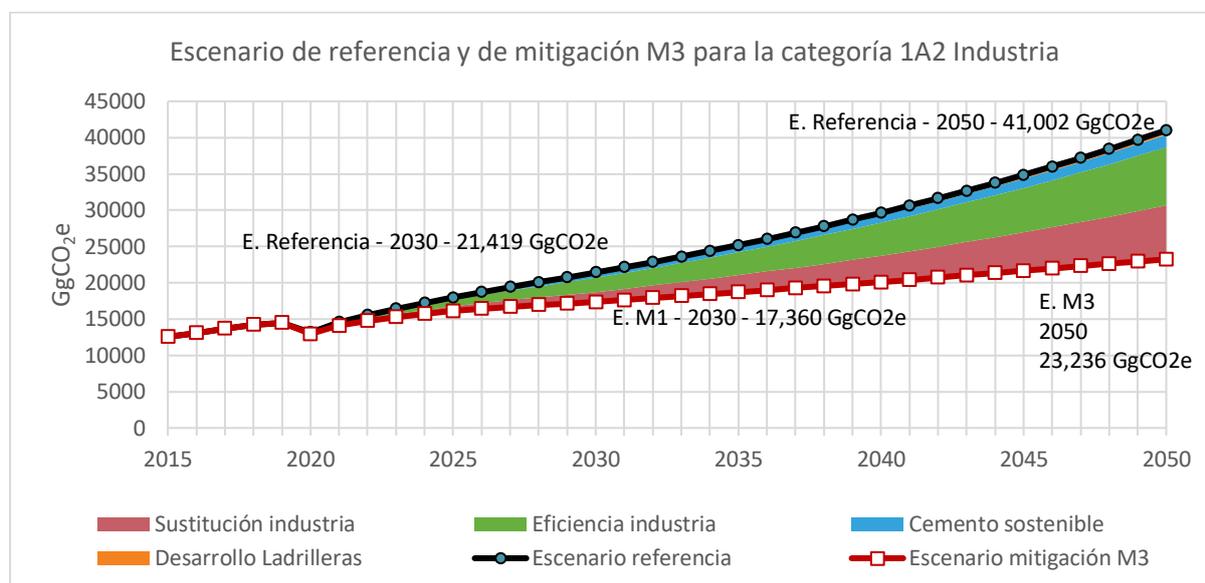


Figura 21. Escenario de referencia y de mitigación M3 de emisiones de GEI para la categoría 1A2 Industria.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20 Potencial de mitigación en la categoría 1A2 Industria a partir de las medidas contempladas en el escenario M3 en GgCO_{2-eq}

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cemento sostenible	0	29,0	238,5	517,6	726,8	993,8	1.308,6	1.690,7
Desarrollo Ladrilleras	0	10,2	85,0	183,3	261,1	360,8	482,9	628,0
Eficiencia industria	0	113,0	924,5	1.996,5	3.151,4	4.583,5	6.110,4	8.024,7
Sustitución industria	0	74,5	620,6	1.361,3	2.335,2	3.614,7	5.278,4	7.423,0
Total potencial mitigación	0	226,7	1.868,6	4.058,6	6.474,5	9.552,8	13.180,4	17.766,5

Fuente: elaboración propia.

La tasa de crecimiento compuesta anual-CAGR de las emisiones de GEI de la categoría 1A2 Industria en el escenario de referencia respecto al 2015 es de 3.6% en el 2030 y 3.4% al 2050. Para el escenario de mitigación M1 la CAGR es de 2.8% al 2030 y 2.6% al 2050, y para el M3 2.2% al 2030 y 1.8% al 2050.

Cabe aclarar que los potenciales de mitigación de la Tabla 19 y la Tabla 20 corresponden únicamente a las reducciones en la categoría 1A2 Industria únicamente, y difieren de los potenciales de mitigación mostrados en el Anexo D y el Anexo E para las mismas medidas de mitigación, puesto que estos últimos incluyen los potenciales de mitigación a lo largo de las diferentes categorías IPCC, incluyendo la categoría 1A2.

2. Transporte

Metodología para evaluar las medidas y construir el escenario de mitigación

En esta sección se presentan las medidas de mitigación de la categoría Transporte (1A3) según la clasificación IPCC.

Se evaluaron 13 opciones de mitigación: siete de Mintransporte, una de MinCIT, dos regionales y tres medidas aumentando la ambición respecto a la propuesta de Mintransporte (Nama Tandem, Nama Move y Nama TOD).

- Medidas de Mintransporte: Nama Move, Programa de chatarrización y renovación de carga, Nama Tandem, Nama TOD, Transporte de carga multimodal: modo férreo, Transporte de carga multimodal: modo fluvial, Navegación basada en desempeño en el sector de aviación.
- Medida de MinCIT: Optimización de la logística de carga.
- Medidas regionales: Primera línea del metro de Bogotá y Regiotram.

En la Tabla 21 se presentan las medidas y sus principales características⁸.

Tabla 21 Medidas de mitigación del sector transporte.

Nombre medida según la ficha (nombre en LEAP)	Descripción	Categorías IPCC que afecta
Movilidad eléctrica (TRA_Move 1)	Nama de transporte eléctrico, consiste en la incorporación de vehículos eléctricos en diferentes categorías de transporte terrestre. Año inicio: 2018. En términos de actividad (VKTs) en 2030 se tiene con electricidad una participación así: Livianos de pasajeros: 22%. Taxis: 5%. Buses: 10%. Camión mediano: 8%.	Livianos de pasajeros: automóviles y taxis. Pesados de pasajeros: buses. Pesados de carga: camión mediano.
No aplica, por ser una medida adicional (TRA_Move 2)	Partiendo de la Nama de transporte eléctrico se modeló un escenario de mayor ambición respecto a TRA_Move 1. Año inicio: 2018. En términos de actividad (VKTs) en 2030 no hay grandes diferencias respecto a la Nama Move 1, los principales cambios se observan entre 2030 y 2050. Con la Nama Move 2 se tiene con electricidad en 2050 una participación así: Livianos de pasajeros: 40%. Taxis: 28%. Buses: 46%. Camión mediano: 63%.	Livianos de pasajeros: automóviles y taxis. Pesados de pasajeros: buses. Pesados de carga: camión mediano.
Programa de Modernización de Transporte	Consiste en desintegrar y renovar los vehículos más antiguos del parque de carga. Afecta camiones con peso bruto vehicular superior a 10.5 toneladas y más de 20 años de antigüedad.	Pesados de carga: camión grande, tractocamión.

⁸ No se incluyeron en los análisis dos medidas que también contaban con ficha de caracterización por restricciones de tiempo: Transmicable y una medida del sector privado (TCC).

Nombre medida según la ficha (nombre en LEAP)	Descripción	Categorías IPCC que afecta
Automotor de Carga (TRA_Carga)	Esta medida incluye la implementación de programa de mejores estándares de rendimiento para toda la flota (camiones grandes y tractocamiones) que ingrese al parque en las siguientes décadas. Año inicio: 2015.	
Nama Tandem -- Transporte Activo y Gestión de la Demanda (TRA_Tandem)	Busca promover el uso de modos no motorizados en el transporte urbano de pasajeros. Año inicio: 2019. Con esta medida se evita en actividad motorizada en 2030 respecto al BAU: Automóviles: 0.6%. Taxis:1.6%. Motocicletas: 0.2%.	Livianos de pasajeros: automóviles, taxis y motocicletas.
No aplica, por ser una medida adicional (TRA_Tandem 2)	Partiendo del escenario TRA_Tandem se modeló un escenario de mayor ambición, teniendo en cuenta que esta Nama se podría escalar a más centros urbanos. Año inicio: 2019. Las principales diferencias respecto a la Nama Tandem se dan después de 2030. Con esta medida se evita en actividad motorizada en 2050 respecto al BAU: Automóviles: 10%. Taxis:6%. Motocicletas: 30%.	Livianos de pasajeros: automóviles, taxis y motocicletas.
Nama DOTS Manizales, Cali, Pasto y Bogotá (TRA_TOD)	La Nama TOD a partir de mejores patrones de uso del suelo en las áreas urbanas busca reducir la actividad de modos motorizados e incentivar el uso de los no motorizados. El piloto inicia en Manizales, Cali, Bogotá, y Pasto. Año inicio: 2021. Con esta medida se evita en actividad motorizada en 2030 respecto al BAU, lo equivalente a dejar de usar flota así: Automóviles: 0.7%. Taxis: 0.6%. Buses:0.4%. Camión mediano: 0.01%:	Livianos de pasajeros: automóviles y taxis. Pesados de pasajeros: buses. Pesados de carga: camión mediano.
No aplica, por ser una medida adicional (TRA_TOD 2)	Partiendo del escenario con la Nama TOD se propuso un escenario de mayor ambición, teniendo en cuenta que esta Nama se podría escalar a más centros urbanos. Año inicio: 2021. Las principales diferencias respecto a la Nama TOD se dan después de 2030. Con esta medida se evita en actividad motorizada en 2050 respecto al BAU, lo equivalente a dejar de usar flota así: Automóviles: 15%.	Livianos de pasajeros: automóviles y taxis. Pesados de pasajeros: buses. Pesados de carga: camión mediano.

Nombre medida según la ficha (nombre en LEAP)	Descripción	Categorías IPCC que afecta
	Taxis: 8%. Buses: 10%. Camión mediano: 14%:	
Rehabilitación del corredor férreo La Dorada - Chiriguana - Santa Marta (TRA_Tren)	Propone reemplazar una proporción de la carga terrestre por tren en el corredor La Dorada-Santa Marta Año inicio: 2021.	Pesados de carga: camión grande, tractocamión. Ferroviario.
Cambio a modo transporte de carga carretero a Fluvial Río Magdalena (TRA_Rio)	Cambio de modo de transporte de carga de carretero a Fluvial usando el río Magdalena. Atrayendo carga del modo carretero al tren con el objeto de mejorar la eficiencia y reducir emisiones de GEI Año inicio: 2016.	Pesados de carga: camión grande, tractocamión. Navegación nacional
Navegación basada en desempeño en el sector de aviación (TRA_Aviación)	Tiene como objetivo mejorar la eficiencia energética de la aviación mediante la aplicación de sistemas de navegación aérea más eficientes. Año inicio: 2015.	Aviación nacional
Optimización de la logística de carga (TRA_Logística)	Busca reducir la actividad del transporte de carga mediante estrategias de optimización de la logística. De acuerdo con la ficha de la medida la disminución de la actividad vehicular se logra a través de acciones que incluyen: optimización de rutas y mayor eficiencia en el uso de los vehículos para transporte de carga. Año inicio: 2017.	Livianos de carga: camperos. Pesados de carga: camiones medianos.
Primera línea de metro en Bogotá (TRA_Bog_Metro)	Propone reducir el uso de modos motorizados de transporte público e individual por transporte masivo eléctrico en Bogotá. Año inicio: 2028.	Livianos de pasajeros: automóviles, taxis y motocicletas. Pesados de pasajeros: buses.
Regiotram (TRA_Bog_Tren)	Propone reducir el uso de modos motorizados de transporte público e individual por transporte masivo eléctrico en Bogotá-Región. Año inicio: 2024.	Livianos de pasajeros: automóviles, taxis y motocicletas. Pesados de pasajeros: buses. Ferroviario.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Mintransporte, MinCIT.

Las medidas se representaron en el modelo LEAP según la definición y alcance previamente establecidos para cada una por Mintransporte, MinCIT y WWF (ver Tabla 19), registradas en las fichas que suministraron como base para este estudio. Específicamente, se partió de la actividad neta (Vehicle-Kilometers Traveled -VKTs) por modo, afectada por cada opción de mitigación. Con esta aproximación se obtiene en los mismos términos información de medidas que fueron originalmente evaluadas bajo diferentes metodologías. Luego los VKTs por modo y tecnología afectados anualmente con cada una de las medidas en los análisis originales se pasaron a unidades equivalente en LEAP⁹. Es decir que en LEAP las medidas no se representan afectando el número de vehículos según la

⁹ Estos análisis para pasar de la información de las fichas de las medidas a la metodología compatible con LEAP Colombia se presentan en los documentos de soporte de los escenarios de mitigación de transporte.

información original de la medida, sino el producto de la flota por la actividad. Así se obtiene el mismo impacto neto entre LEAP y los análisis originales de cada medida de mitigación.

$$VKT_{i,j,n\ ficha} = VKT_{i,j,n\ Leap}$$

$$VKT_{i,j} = N_{i,j} \cdot A_{i,j}$$

Donde:

$VKT_{i,j,n\ ficha}$ = actividad neta de la flota de la categoría i en el año j afectados por la medida n según la ficha.

$VKT_{i,j,n\ Leap}$ = actividad neta de la flota de la categoría i en el año j afectados por la medida en LEAP.

$VKT_{i,j}$ = actividad neta de la flota de la categoría i en el año j.

$N_{i,j}$ = número de vehículos de la categoría i en el año j.

$A_{i,j}$ = actividad de la categoría i en el año j.

LEAP es un modelo tecnológico y por lo tanto la representación de medidas de gestión de la demanda y de cambio modal a modos no motorizados se puede hacer creando tecnologías que representen este comportamiento. Esto aplica para medidas como la Nama DOTs con la cual se busca reducir el uso de los vehículos mediante cambios en los usos del suelo en las áreas urbanas; también para medidas como la Nama Tandem, que busca una sustitución de transporte motorizado por transporte activo. Estas medidas no implican que se elimine flota, sino que se use menos. Se creó la categoría “Modal Change” para representar medidas en las cuales se reduce actividad vehicular. Este modo no consume combustibles ni tiene asociadas emisiones; para simular este efecto se creó el energético “NMT” (non-motorized).

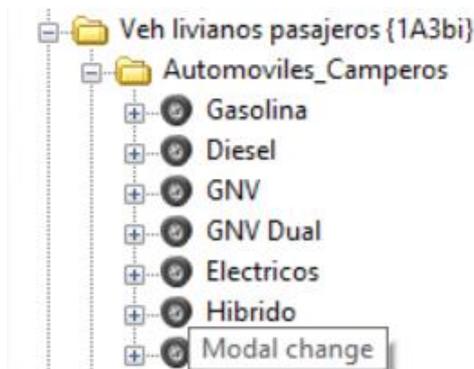


Figura 22. Ejemplo de categoría “Modal Change” creada para representar modos no motorizados.

Fuente: elaboración propia.

La metodología que se utiliza en LEAP para representar la dinámica del transporte y sus emisiones, en la mayoría de los casos difiere de la utilizada las fichas de las medidas. Por esto, a pesar de afectar en LEAP las categorías en la misma magnitud que en los análisis originales no se obtienen exactamente los mismos resultados en reducción de emisiones. Algunos ejemplos de efectos que se consideran en LEAP y que no se tuvieron en cuenta en los análisis originales son:

- Dinámicas de entrada y salida de la flota del parque vehicular: en los análisis base de las fichas de las medidas no se tuvo en cuenta la velocidad de entrada de flota nueva. En LEAP la sustitución de las tecnologías se logra mediante las ventas anuales de flota, o si se requiere una mayor velocidad en la sustitución se simula con la chatarrización de flota y aumentando la tasa de sustitución de la flota para que ingrese la nueva tecnología.
- El impacto de una medida sobre una proporción de la flota afecta esa categoría según el tiempo de vida útil de las tecnologías. En algunos de los análisis de las fichas se considera el

impacto del cambio tecnológico solo el año en que se implementa, y no durante el tiempo de vida útil de los vehículos.

- La flota que ingresa anualmente al parque tiene mejoras tecnológicas respecto a las tecnologías de años anteriores. Este impacto no se tuvo en cuenta en ninguno de los análisis de las fichas.

En este sentido, LEAP permite representar mejor el impacto de las medidas de mitigación. La metodología de modelación basada en *stock* se explica en el manual de LEAP (<https://www.energycommunity.org/Help/leap.htm#t=Concepts%2FIntroduction.htm>).

Las medidas se agruparon en dos escenarios de mitigación (Tabla 22). Dado que las medidas propuestas por Mintransporte, MinCIT y las dos regionales son independientes, todas hacen parte del Escenario M1. La diferencia entre los escenarios M1 y M3 es que en M3 se consideraron tres medidas con un mayor alcance respecto a la propuesta inicial: Nama Move 2, Nama Tandem 2 y Nama TOD 2.

Tabla 22 Medidas de mitigación por escenario.

Medidas de mitigación	Escenario M1	Escenario M3
TRA_Move 1	X	
TRA_Move 2		X
TRA_Carga 2	X	X
TRA_Tandem	X	
TRA_Tandem 2		X
TRA_TOD	X	
TRA_TOD 2		X
TRA_Tren	X	X
TRA_Rio	X	X
TRA_Aviación	X	X
TRA_Logística	X	X
TRA_Bog_Metro	X	X
TRA_Bog_Tren	X	X

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Mintransporte, MinCIT.

Resultados en transporte

En la Tabla 23 se presentan los principales resultados de las medidas de mitigación. Se incluye la mitigación en el año 2030, y la reducción acumulada en los periodos 2015-2030 y 2015-2050.

En 2030 las medidas que aportan la mayor parte de la mitigación son la Nama Move, el programa de renovación y chatarrización de carga y la Nama de logística. Estas tres aportan el 88% de la reducción estimada. Las medidas restantes aportan cada una menos del 3% de la mitigación total.

Tabla 23 Resultados de las medidas de mitigación de transporte.

Medida	Mitigación (Gg CO ₂ -eq)		
	2030	2015-2030	2015-2050
TRA_Move 1	4,042	10,763	249,881
TRA_Move 2	4,145	10,860	344,755
TRA_Carga	1,028	4,602	57,395
TRA_Tandem	126	1,064	3,972

TRA_Tandem 2	646	2,470	54,410
TRA_TOD	159	682	10,198
TRA_TOD 2	159	682	83,107
TRA_Tren	112	741	3,767
TRA_Rio	197	1,661	4,472
TRA_Aviación	12	128	480
TRA_Logística	1,478	14,754	58,573
TRA_Bog_Metro	133	380	3,218
TRA_Bog_Tren	33	159	1,874

Fuente: elaboración propia a partir de las salidas de LEAP Colombia

En la Tabla 24 se muestran las emisiones reducidas en cada escenario de mitigación y en la Tabla 25 se presenta la comparación de las reducciones respecto a las emisiones del escenario de referencia¹⁰.

La suma de los potenciales individuales de las medidas (Tabla 23) y el potencial total bajo los escenarios M1 y M3 cuando se integran en un mismo escenario en LEAP (Tabla 24) son diferentes, debido a la interacción entre medidas en el escenario de mitigación. LEAP permite hacer aproximaciones al impacto de implementar múltiples medidas de manera simultánea cuando las medidas no afectan a un mismo sector. Pero cuando se tienen diferentes medidas afectando un mismo sector y que sean no excluyentes, LEAP tiene limitaciones para calcular dichas interacciones. Para los escenarios M1 y M3 del sector transporte se recomienda tener en cuenta la suma de los potenciales individuales, en vez de los potenciales de los escenarios integrados¹¹. De todas maneras, en los resultados a continuación se presentan ambos ejercicios.

En la Tabla 24 y Tabla 25 se presentan los resultados de los escenarios de mitigación según análisis integrado. En la Tabla 26 y Tabla 27 se muestran los resultados de los escenarios sumando el potencial individual de las medidas.

Tabla 24 Emisiones reducidas en transporte por escenario (según análisis integrado).

Escenarios	Mitigación (Gg CO ₂ -eq)			
	Año 2030	Año 2050	Periodo 2015-2030	Periodo 2015-2050
Escenario M1	6,790	36,859	32,900	477,255
Escenario M3	6,184	47,726	23,992	559,894

Fuente: elaboración propia a partir de las salidas del Modelo LEAP Colombia.

Tabla 25 Comparación de los escenarios de mitigación en transporte respecto al de referencia (según análisis integrado).

Escenarios	Comparación con escenario de referencia			
	Año 2030	Año 2050	Periodo 2015-2030	Periodo 2015-2050
Escenario M1	12.2%	34%	4.8%	20.5%
Escenario M3	11.1%	44%	3.5%	24.1%

Fuente: elaboración propia a partir de las salidas del Modelo LEAP Colombia

¹⁰ La mitigación de M1 y M3 representa el impacto de las medidas que afectan la categoría Transporte (1A3), no se diferencia por la entidad que las implemente.

¹¹ Esto aplica debido a que las medidas incluidas en los escenarios son independientes.

Tabla 26 Emisiones reducidas en transporte por escenario (según suma de potenciales individuales).

Escenarios	Mitigación (Gg CO ₂ -eq)			
	Año 2030	Año 2050	Periodo 2015-2030	Periodo 2015-2050
Escenario M1	7,320	34,934	393,829	7,320
Escenario M3	7,943	36,437	612,051	7,943

Fuente: elaboración propia a partir de las salidas del Modelo LEAP Colombia.

Tabla 27 Comparación de los escenarios de mitigación en transporte respecto al de referencia (según suma de potenciales individuales).

Escenarios	Comparación con escenario de referencia			
	Año 2030	Año 2050	Periodo 2015-2030	Periodo 2015-2050
Escenario M1	13.1%	26%	5.1%	16.9%
Escenario M3	14.2%	47%	5.3%	26.3%

Fuente: elaboración propia a partir de las salidas del Modelo LEAP Colombia

En la Figura 23 y Figura 24 se presentan los escenarios de mitigación para transporte según el análisis integrado de las medidas de mitigación. En la Figura 25 y Figura 26 se muestran los resultados de los escenarios de mitigación según la suma de los potenciales individuales.

Con los resultados de los escenarios integrados se lograría una mitigación respecto al escenario de línea base del 12% y 11% para M1 y M3, respectivamente en el año 2030 (Figura 23)¹². Las diferencias más notables entre los dos escenarios se presentan a largo plazo. Con el escenario M1 se logra una reducción del 34% en 2050 respecto al escenario de referencia (Tabla 25), mientras que con el escenario M3 se logra una mitigación del 44%.

¹² No es posible identificar que efecto específico lleva a una menor mitigación en M3 respecto a M1 en 2030 en la integración de las medidas en LEAP. El impacto de las medidas individuales da un mayor potencial para M3 que para M1 en 2030.

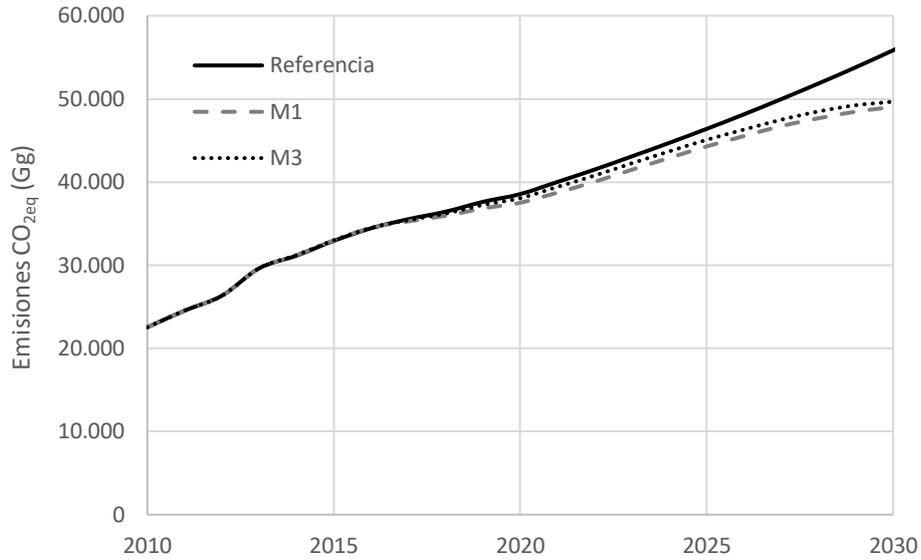


Figura 23. Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2030 (según análisis integrado).

Fuente: elaboración propia.

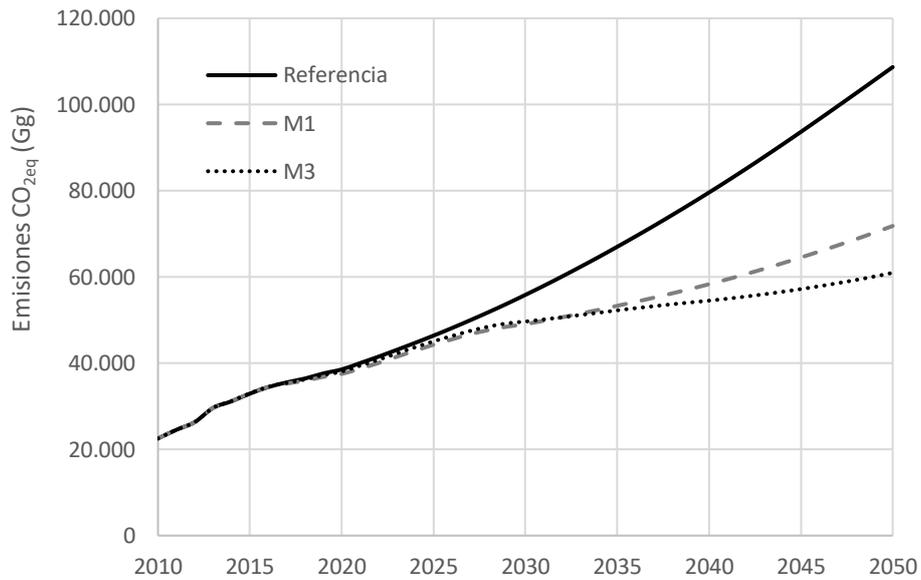


Figura 24. Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2050 (según análisis integrado).

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, el resultado de los escenarios de mitigación cuando se suma el potencial individual de las medidas lleva a una desviación del 13% y del 14% en 2030 para M1 y M3 respectivamente. En 2050 se alcanza una reducción del 26% con M1 y del 47% con M3.

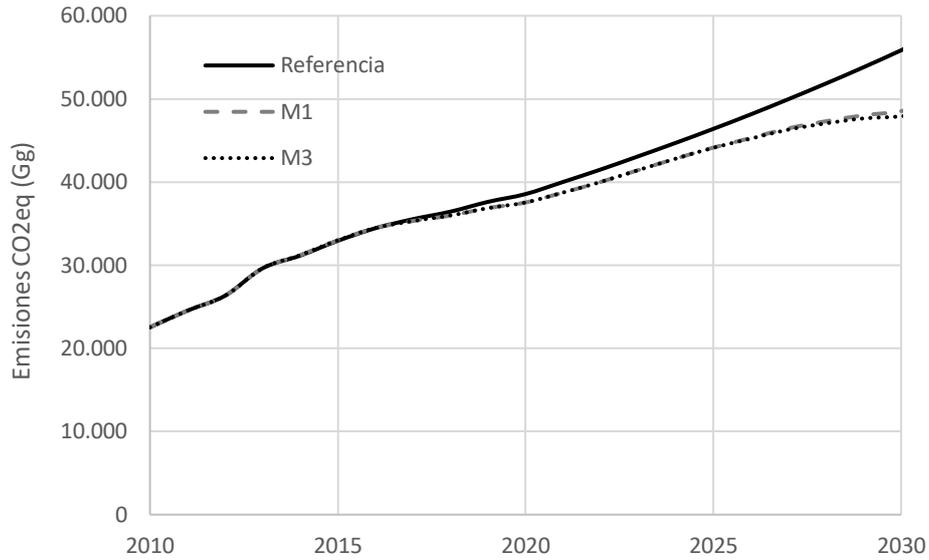


Figura 25 Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2030 (según suma de potenciales individuales).

Fuente: elaboración propia.

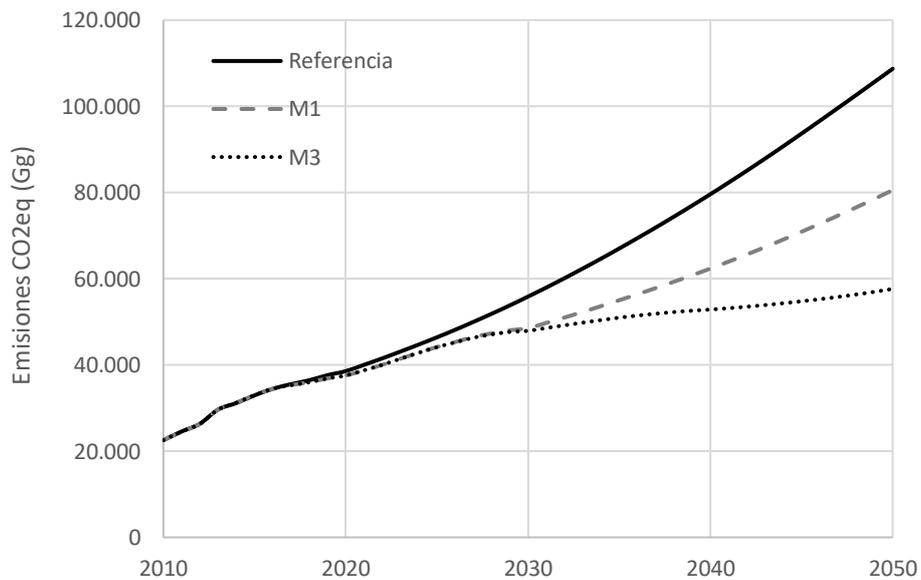


Figura 26 Escenarios de referencia y mitigación para transporte 2010-2050 (según suma de potenciales individuales).

Fuente: elaboración propia con salidas de LEAP.

No es posible determinar de manera directa el impacto de la integración sobre el potencial de cada una de las medidas. Para el escenario M1 la diferencia en 2030 es del 8% entre las medidas integradas y la suma del potencial individual. El potencial de las medidas integradas es menor en 540 Gg en 2030,

respecto al impacto cuando se suman los potenciales individuales¹³. El impacto de la integración afecta en mayor medida el potencial del Escenario M3 el cual se reduce en 28% en 2030, respecto al potencial de las medidas modeladas de manera independiente.

Con los escenarios de mitigación se reduce la demanda de energía del todo el sector transporte: con M1 hay una disminución del 11% en 2030 y con M3 del 10%. Al 2050 se reduce en 27% la demanda con M1 y 35% con M3. El principal cambio generado en la matriz energética del transporte es un aumento de la participación de la electricidad para sustituir el uso de diésel y gasolina (Tabla 28 y Tabla 29). En el Escenario de Referencia la electricidad tiene una participación inferior al 1% en 2030 y 2050. Con el escenario M1 la participación es del 1.4% en 2030 y aumenta al 7.6% en 2050. Con el escenario M3 la participación en 2030 es de 1.4% y del 11.6% en 2050.

Tabla 28 Matriz energética del transporte en escenario de referencia.

Energético	Escenario de Referencia				
	2015	2020	2030	2040	2050
Natural Gas	6.1%	5.4%	4.2%	3.4%	3.0%
Gasoline Ex	38.3%	39.8%	39.6%	37.8%	35.5%
Diesel Bx	44.8%	45.7%	46.6%	49.3%	51.9%
Fuel_Oil	1.4%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Kerosene	9.3%	8.6%	9.2%	9.0%	9.1%
Electricity_SIN	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Avgas	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

Fuente: Modelo LEAP.

Tabla 29 Matriz energética del transporte en los escenarios de mitigación.

Energético	Escenario de Mitigación M1					Escenario de Mitigación M3				
	2015	2020	2030	2040	2050	2015	2020	2030	2040	2050
Natural Gas	6.0%	5.4%	4.1%	3.6%	3.2%	6.0%	5.3%	4.0%	3.8%	3.6%
Gasoline Ex	38.2%	40.0%	39.0%	33.1%	28.1%	38.2%	39.4%	37.9%	32.7%	28.6%
Diesel Bx	44.9%	45.3%	44.8%	46.3%	48.1%	44.9%	46.1%	46.1%	44.3%	41.4%
Fuel_Oil	1.4%	0.3%	0.3%	0.4%	0.4%	1.4%	0.3%	0.3%	0.4%	0.5%
Kerosene	9.3%	8.9%	10.3%	11.5%	12.5%	9.3%	8.8%	10.2%	12.1%	14.1%
Electricity_SIN	0.1%	0.1%	1.4%	5.0%	7.6%	0.1%	0.1%	1.4%	6.7%	11.6%
Avgas	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

Fuente: Modelo LEAP.

Los escenarios evaluados no cambian la trayectoria creciente de las emisiones del transporte, y por lo tanto no son consistentes con escenarios de carbono-neutralidad de largo plazo.

Se identifican acciones de mitigación adicionales a las incluidas en M3 que se podrían evaluar, relacionadas con gestión de la demanda, cambio modal y nuevas y mejores tecnologías. Estas opciones adicionales hacen parte de un escenario de mayor ambición y es el tipo de acciones que se requieren para armonizar las metas de mediano plazo con las de largo plazo, según las trayectorias de escenarios requeridos por la ciencia consistentes con los escenarios para no exceder un incremento de 1.5°C -2°C (IPCC, 2014).

¹³ Los análisis de los escenarios con potenciales individuales y con integración de medidas se presentan en los archivos de soporte de los escenarios de mitigación de transporte.

En transporte de pasajeros carretero se observa lo siguiente:

- Las medidas evaluadas en M3 sobre uso de mejores tecnologías cubren menos del 50% de la flota. Se puede aumentar la ambición incrementando la velocidad de entrada de estas medidas, y con otras opciones de mejoras tecnológicas (v.g., implementación de estándares de rendimiento de combustible en todas las categorías) para el parque que ingresará en los próximos años, así como el uso de otros energéticos.
- Las medidas evaluadas en M3 sobre reducción del uso de modos motorizados afectan menos del 30% de la actividad proyectada. En gestión de la demanda se cuenta con diferentes tipos de intervenciones posibles, como por ejemplo ampliar la cobertura de medidas de mejor uso del suelo a más centros urbanos del país, implementar opciones como cobros por congestión y zonas de bajas emisiones para desincentivar el uso de modos privados y de tecnologías altamente contaminantes.
- En particular se observa que en M1 no hay acciones para reducir de manera decidida el crecimiento de la participación de modos privados (vehículos livianos y motocicletas) en el transporte de pasajeros, lo que conlleva de manera indirecta impactos negativos sobre el uso de los modos públicos colectivos y masivos. Para el caso de Colombia estudios previos muestran la importancia de mantener una distribución modal en donde predominen los modos no motorizados (bicicleta, caminata) y transporte público colectivo y masivo en los viajes urbanos, como una medida fundamental para escenarios de transporte urbano de bajo carbono (Bataille et al., 2020; Espinosa et al., 2019).

En transporte de carga:

- Las medidas incluidas en M1 y M3 implican una mejora significativa en los estándares de consumo de combustible para los camiones grandes y tractocamiones que ingresarán en los próximos años. Pero con las medidas de cambio modal no se reduce en más del 10% la actividad de éstos.
- En cuanto a camiones medianos, con las medidas del escenario M3 se mejora la tecnología del 60% de la flota. Pero no se reduce en más del 11% la actividad de estos vehículos respecto al escenario de referencia.
- Por su parte, la actividad de las camionetas se reduce en 18% en los escenarios M1 y M3, pero no se consideran mejoras tecnológicas para estos vehículos respecto al escenario de referencia.
- Se podría lograr mayor mitigación ampliando las medidas de mejora de rendimiento del combustible a toda la flota de carga que ingresará al parque en los próximos años, y a través de nuevas tecnologías (como electricidad en los segmentos urbanos). Esto en adición a una mayor sustitución de transporte carretero interurbano por férreo y fluvial.

En transporte de pasajeros interurbano:

- En M1 y M3 se consideran reducciones en consumo de combustible en aviación por mejores patrones de manejo.
- Para el mediano plazo se podría abordar, como complemento, opciones sobre cambio modal; por ejemplo, trenes interurbanos para sustituir viajes en modos con mayor intensidad de carbono.

En cuanto a tecnologías en escenarios de largo plazo (hacia 2050 y más adelante) estudios internacionales sugieren una participación mayoritaria de la electricidad en los segmentos urbanos de pasajeros y carga; e hidrógeno y biocombustibles de última generación en viajes interurbanos; para aviación los biocombustibles se plantean como una de las alternativas de mayor viabilidad (European Union, 2019; Staffell et al., 2019; Un-Noor et al., 2017).

El potencial de estas opciones de mitigación adicionales podría llevar a una trayectoria de emisiones plana o decreciente entre el 2030 y 2050. Es importante mencionar que, si la implementación de las medidas no inicia en la década siguiente, cambiar la trayectoria de las emisiones en transporte más adelante implicaría acciones disruptivas y por lo tanto mayores costos de mitigación.

Mensajes finales

- **Ambición en mitigación:** Los escenarios analizados no permiten lograr la meta de reducción de emisiones del 20% en 2030 en el sector transporte y a largo plazo no cambian la trayectoria creciente de las emisiones. Al 2030 se logra una reducción del 13% con el escenario M1 y del 14% con el M3 (según escenarios de suma de potenciales individuales).
- **Información y aproximación metodológica:** Los análisis de las medidas de mitigación suministrados en los formatos por Mintransporte, MinCIT y WWF se realizaron con supuestos macroeconómicos, metodologías de estimación y supuestos de cálculo que no son consistentes entre sí, ni consistentes con los supuestos del escenario de referencia definido para este estudio. Se recomienda para análisis futuros analizar las medidas de mitigación bajo una misma metodología y con supuestos que estén en línea con los empleados en la línea base de emisiones.

Se presentan limitaciones para representar en un modelo agregado y nacional, y con todos los sectores de la economía, medidas que son muy específicas y cuyos parámetros de modelación no coinciden con las condiciones promedio del sector a nivel nacional. La recomendación es utilizar diferentes tipos de aproximaciones para complementar con análisis más específicos, por ejemplo: el potencial de mitigación (y la costo-eficiencia) de una nueva tecnología depende de las características del segmento que esté reemplazando. Se recomienda desarrollar análisis más específicos para el transporte público y transporte de carga que den cuenta del impacto de una misma medida sobre diferentes sistemas, ciudades, tipos de flota (edad, tecnología) y condiciones de operación. En un modelo tan agregado como el actual no es posible representar dichas diferencias.

Los resultados de los análisis específicos se pueden integrar en LEAP con medidas más agregadas, de mayor magnitud. De lo contrario, se requiere abrir muchas más ramas en LEAP y esto no es recomendable (y por capacidad de los modelos) en este tipo de análisis agregados.

Para ejercicios futuros se recomienda desarrollar escenarios futuros de partición modal por tipo de servicio (pasajeros y carga); y en el caso del transporte de pasajeros urbano, tener en cuenta la interacción entre los modos privados y los públicos. Esta es información muy relevante para entender los escenarios y medidas del transporte. En este estudio se utilizó como insumo la información generada en análisis previos.

Se recomienda utilizar análisis complementarios para entender mejor la interacción entre las medidas de mitigación. LEAP permite hacer algunos análisis, como por ejemplo ver el impacto de una mayor demanda de energía en un sector, en la generación eléctrica. Pero no es una herramienta que permita evaluar interacciones entre medidas dentro de un mismo sector, solo permite hacer algunas aproximaciones sobre dichos efectos.

Se recomienda complementar los análisis de modelos técnicos, con modelos económicos que permitan evaluar el impacto de las medidas de mitigación de una manera más integral y entender los efectos que tienen las medidas para un modo sobre otros modos de transporte

(v.g., efecto rebote, incentivos o desincentivos para usar ciertos modos, interacciones entre modos).

- **Proceso y metodología general:** desarrollar el escenario de referencia y de manera aislada haber desarrollado las medidas de mitigación, generó múltiples limitaciones y reprocesos. Se recomienda para ejercicios futuros desarrollar el escenario de referencia y luego sobre este y con la misma metodología representar las medidas de mitigación.
- Los ejercicios de modelación de escenarios de emisiones GEI exigen procesos de revisión y ajuste continuos. En este sentido es necesario considerar los requerimientos técnicos y los tiempos en los procesos de toma de decisiones en las carteras involucradas.
- LEAP es un modelo muy útil para evaluar el impacto de opciones de mitigación bajo múltiples escenarios (v.g., cómo cambia el potencial de mitigación ante diferentes escenarios de desarrollo económico, cómo cambia la costo-efectividad de las medidas en diferentes escenarios de precios de los energéticos). Se recomienda aprovechar el modelo para este tipo de análisis, que son muy útiles para entender las ventajas y desventajas de diferentes escenarios.
- Ejercicios como el desarrollado en LEAP implican incertidumbre en los resultados, asociados a la información de entrada, metodología de modelación, supuestos de largo plazo de los escenarios, entre otros. Se recomienda tener en cuenta este tipo de limitaciones en los procesos de toma de decisiones.

3. Sector terciario y residencial

Para los sectores terciario (comercial e institucional) y residencial se establecen dos líneas estratégicas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda (MinVivienda, 2015), y la estrategia de sustitutos de Sustancias Agotadoras de Ozono (SAO) y refrigeración del Ministerio de Ambiente. Adicionalmente, por parte del Ministerio de Ambiente, se establece el aumento a la implementación de estufas de leña más eficientes, las cuales reducirán el consumo de leña en el sector residencial rural. Para este reporte no se incluyó dentro del modelo LEAP la información relacionada a eficiencia energética para el consumo de electricidad en televisores, la cual es definida por el Ministerio de Minas y Energía y asociada al sistema de etiquetado RETIQ. Esto se debe a las fechas en las que la información estuvo disponible. Sin embargo, el modelo se desarrolló de tal manera que el ahorro definido por el ministerio se puede traducir en la penetración de una tecnología más eficiente en ejercicios futuros. Finalmente, las medidas de alumbrado público no se incluyeron debido a inconsistencias en la información disponible y las dificultades de expresar dichas medidas a nivel nacional. No obstante, al igual que otros casos, se incluyó la posibilidad de considerar esta medida en el modelo LEAP una vez se obtenga la información necesaria.

Los archivos de soporte para estas medidas fueron las fichas de mitigación y los archivos de soporte comparados a través de Google Drive e incluidos en los anexos de este documento (ANEXOS_mitigación\Demanda Energía\Sector terciario y residencial\):

- NAMA Refrigeración domestica - desagregación SAO-Eficiencia energética vRevisada.xlsm
- DISTRITOS TERMICOS v2020.xlsm

a) Resolución 0549

La primera línea estratégica abarca el consumo de electricidad y gas natural para ciertos usos finales tanto en el sector terciario como en el residencial, como se muestra en la Tabla 30. El potencial de ahorro por sector aplica únicamente para consumo energético asociado al área nueva construida siguiendo la senda de implementación que se muestra en la Tabla 31.

Tabla 30 Usos de electricidad y gas natural para sector terciario y residencial.

	Electricidad	Gas Natural
Terciario	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación • Aire acondicionado • Ventiladores • Bombas de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento agua
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento agua • Iluminación • Aire acondicionado • Ventiladores 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento agua

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinVivienda.

Tabla 31 Senda de implementación resolución 0549.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Electricidad	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%	65%	80%	100%	100%	100%	100%
Gas Natural	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%	65%	80%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de información suministrada por MinVivienda.

Teniendo en cuenta que se encontraron inconsistencias en la información suministrada en lo referente a la intensidad energética (kWh/m²/año) la cual no especificaba que tipo de consumos se incluían, lo cual llevaba a una sobreestimación del potencial de ahorro energético identificado en la ficha de mitigación. Para poder incluir un potencial asociado a la nueva área construida, teniendo en cuenta un aumento de consumo de energía de las edificaciones existentes debido al aumento de equipos como neveras, televisores, lavadoras, entre otros, fue necesario usar varios supuestos para definir el área inicial sobre la cual calcular la intensidad energética y proyectar el crecimiento de demanda atribuible exclusivamente al área nueva. Esto se puede ver en detalle en el archivo Excel incluido en los anexos de este documento (M1_Potencial Resolución 549+GN.XLSX).

Para incluir en LEAP el efecto de la Resolución 0549, fue necesario construir una línea base del incremento anual del área asociada a las edificaciones residenciales, comerciales y públicas. Se identificó una intensidad energética (MJ/m²/año) para calcular el potencial de ahorro, teniendo en cuenta la senda de implementación de la resolución 0549 de 2015 y el potencial esperado de ahorro energético definido para el sector residencial y el sector terciario, 24.7% y 32.5% respectivamente para el caso de los consumos asociados a electricidad. En cuanto al ahorro de gas natural, se prevé que el consumo será remplazado con energía solar. Finalmente, se distribuyó dicho potencial entre los usos finales que abarca la resolución proporcionalmente al consumo en el escenario de referencia, obteniendo así una penetración de la tecnología más eficiente (Mejor Eficiencia en Colombia) para cada uso final de acuerdo con las eficiencias definidas en el Balance de Energía Útil. Para el caso de calentamiento de agua con gas natural, el cual se prevé sea reemplazado con tecnologías solares, se creó una tecnología en LEAP la cual usa únicamente energía solar para suplir la demanda de

calentamiento de agua. El análisis externo para la modelación de esta medida se encuentra en el archivo “Potencial Resolución 0549” dentro de los anexos entregados al final de esta consultoría.

La implementación de la Resolución 0549 logra obtener una reducción en emisiones de 94 GgCO_{2-eq} en 2030, de los cuales 6 GgCO_{2-eq} son directos (gas natural) y 88 GgCO_{2-eq} son indirectos (producción de electricidad y emisiones fugitivas). Estas reducciones en emisiones están asociadas a un ahorro en energía eléctrica y gas natural, en conjunto con un aumento de consumo de energía solar (calentadores solares) como se ve en la Figura 27.

Tabla 32 Mitigación resolución 0549 de 2015 del Ministerio de vivienda.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mitigación GgCO _{2-eq}	21.5	29.9	37.5	46.1	58.7	64.2	76.6	66.4	72.4	81.5	94	94.7	90.6	93.8

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinVivienda.

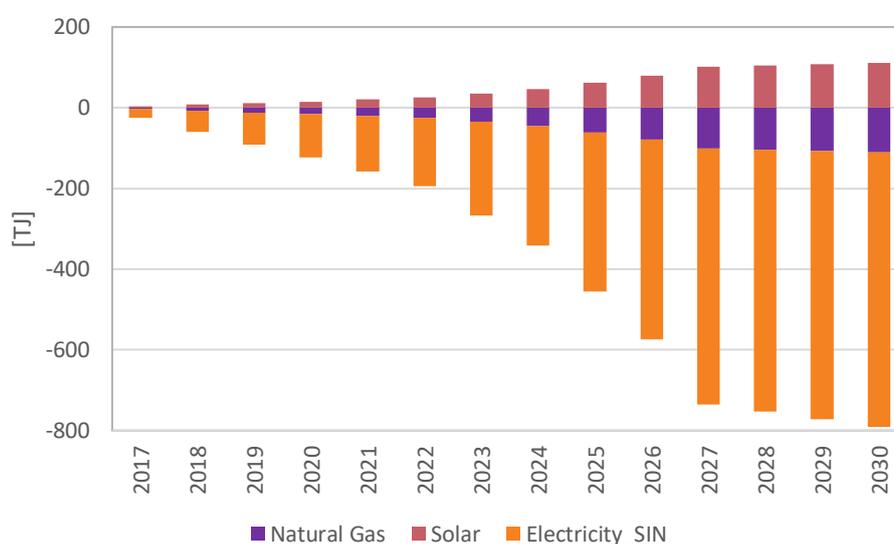


Figura 27 Variación demanda energética sectores terciario y residencial debido a la Resolución 0549.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinVivienda.

Para el caso de escenario con aumento de ambición (M3) se incluyó la vivienda VIS y se asumió que la senda de implementación de la medida sería diferente, alcanzado el 100% en 2023 (50% e 2021 y 75% en 2022), lo cual dio como resultado un aumento de reducción de emisiones de 6.8 GgCO_{2-eq}, alcanzando un total de 101 GgCO_{2-eq}.

Con el fin de dar una mejor trazabilidad a los consumos y facilitar futuros ejercicios, se recomienda validar la base de datos del área construida al año base, mismo año en que se define la intensidad energética (MJ/m²/año). Así mismo, se recomienda que el estudio de intensidad energética se haga diferenciando entre los usos finales abarcados por la resolución y aquellos que no, al igual que entre energía eléctrica y gas natural, y finalmente por tipo de edificación.

b) Refrigeración

La segunda medida de mitigación, impulsada por Min Ambiente, abarca la reducción de emisiones asociadas al uso de productos sustitutos HFC y refrigeración, e incluye dos sub-medidas: NAMA Neveras y Distritos Térmicos. Dichas medidas buscan disminuir la demanda de energía al aumentar la

eficiencia de los equipos (cambio de equipos por tecnologías más eficientes) y reducir a su vez el uso de refrigerantes agotadores de la capa de ozono. La medida de reducción del uso de SAO Y sustancias sustitutas con alto potencial de calentamiento global (GWP), se describe en la sección IPPU-2F, en esta sección se aborda únicamente el componente energético de estas medidas.

La modelación de distritos térmicos requirió la creación de una tecnología nueva (rama en LEAP) dentro de la categoría refrigeración del sector terciario. Asociando la capacidad de los distritos térmicos en toneladas de refrigeración (TR/año) y el consumo energético (MJ/TR). De esta manera se reduce el consumo de aires acondicionados (escenario de referencia), los cuales se ven reemplazados por los distritos térmicos. Se realizó una distinción entre proyectos mixtos (electricidad y gas natural) y proyectos únicamente eléctricos (Figura 28). Siendo La Alpujarra el único distrito térmico mixto contemplado en la medida de mitigación se incluyó en el modelo el consumo total de electricidad y gas natural asociado a su funcionamiento. A diferencia de la ficha de mitigación suministrada, la cual usa el factor de emisiones del sistema interconectado nacional (SIN) para proyectos MDL definido por la UPME, LEAP tiene únicamente en cuenta las emisiones resultantes del proceso de despacho basado en costo marginal que realiza para el módulo de producción de energía eléctrica, esto está alineado con la contabilidad de emisiones de GEI, puesto que el factor de emisiones MDL se debe usar únicamente para la evaluación de medidas de mitigación. Los resultados de reducción total de emisiones (directas e indirectas) se muestra en la Tabla 33.

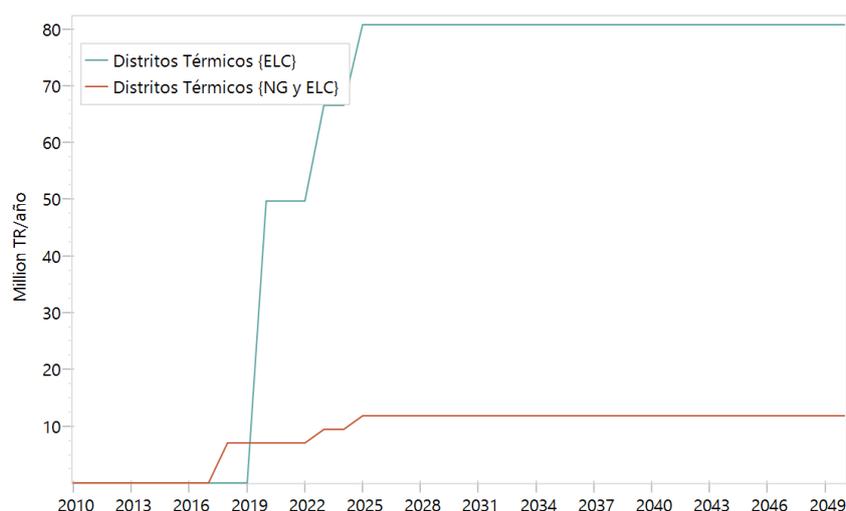


Figura 28 Capacidad de los distritos térmicos entre proyectos mixtos y únicamente eléctrico.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

La implementación de distritos térmicos tiene afectaciones a lo largo de la cadena de suministro de energía. Esto se evidencia en el modelo LEAP al verificar los cambios en módulos como la extracción de carbón o gas natural y las emisiones fugitivas asociadas, ya que se requiere una menor generación en el SIN, disminuyendo principalmente el uso de plantas térmicas. Los resultados se muestran en la Tabla 33. La mitigación total producto de la implementación de distritos térmicos se muestra en la Figura 29.

Tabla 33 Mitigación componente energético distritos térmicos por categoría, unidades: GgCO₂-eq.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Terciario	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.22	-1.63	-1.63	-2.04	-2.04	-2.04	-2.04	-2.04	-2.04
Electricidad SIN	4.27	3.89	23.03	23.03	22.59	30.62	21.33	24.53	23.36	22.95	22.96	21.45	21.6
Carbón Extracción	0.02	0.02	0.11	0.11	0.1	0.14	0.03	0.02	-	-	-	-	-
Autoconsumo HC	-0.13	0.02	0.34	-0.05	0.09	0.03	1.48	0.75	0.37	-0.09	-0.01	-0.15	-0.05

Autoc. Tuberías	-0.02	0	0.05	-0.01	0.01	0	0.2	0.1	0.04	-0.02	0	-0.02	-0.01
Emisiones Fugitivas	0.05	0.05	0.32	0.31	0.3	0.42	0.08	0.04	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Total	2.98	2.76	22.62	22.18	21.88	29.58	21.5	23.41	21.74	20.8	20.88	19.22	19.49

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

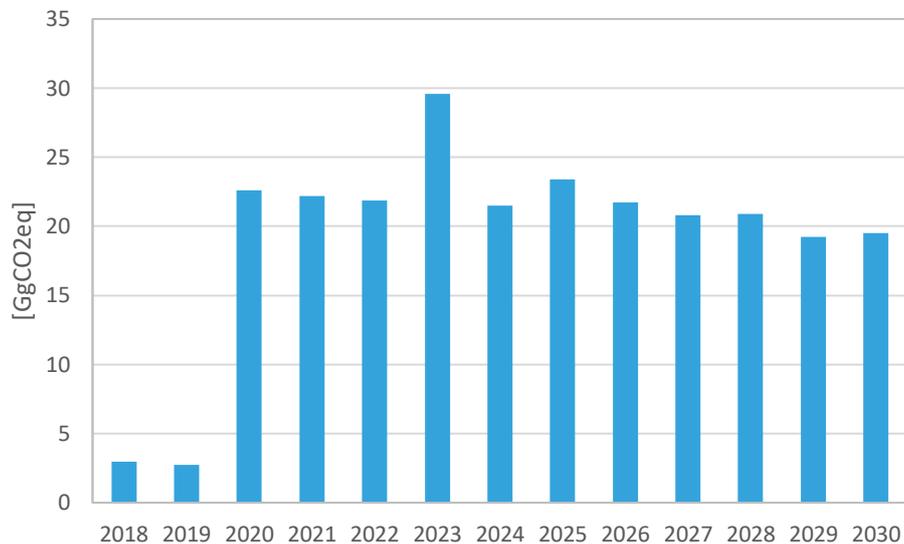


Figura 29. Reducción de emisiones por la implementación de Distritos Térmicos.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

El componente de energía de la NAMA de refrigeración se modeló como una penetración de la mejor tecnología en Colombia, con una ganancia en eficiencia aproximadamente del 52%. En los supuestos de la ficha se asumió que en promedio un millón de neveras con un mejor refrigerante (R600a) entrarían al mercado, alcanzando así un recambio total en 2035 (ver Figura 30), teniendo en cuenta que a 2030 se tendrá un acumulado aproximado de 16 millones de neveras las cuales alcanzan a cubrir el 79% de las neveras existentes. Para esto se tuvo en cuenta, adicionalmente, una vida útil de 20 años. Las neveras más eficientes que se asumen entran en mercado incluyen la demanda de hogares nuevos, el cambio de neveras antiguas y el reemplazo de 300,000 neveras en un periodo de 3 años, según lo definido en la NAMA Neveras.

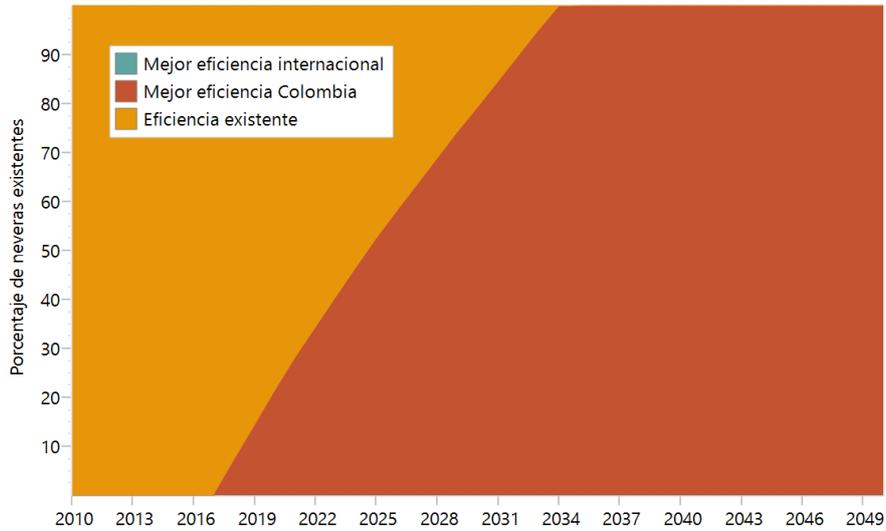


Figura 30 Penetración de neveras más eficientes, NAMA neveras.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

La penetración de neveras más eficientes se da tanto en el sector residencial urbano como rural, esto debido a que en LEAP se modelaron el número de hogares con nevera, lo cual facilitó el cálculo. Para el periodo 2030 – 2050 se asume que el recambio de las neveras al finalizar su vida útil se da por neveras con una eficiencia igual (categorías A y B del RETIQ). Los resultados para el componente de energía de esta medida de mitigación se presentan en la Tabla 34. El potencial de mitigación varía anualmente en concordancia con la capacidad de generación eléctrica instalada por tecnología y el despacho realizado en LEAP. A 2030 se obtiene una reducción acumulada de 25,027 GgCO_{2-eq}, mientras que a 2050 esta es de 125,345 GgCO_{2-eq}.

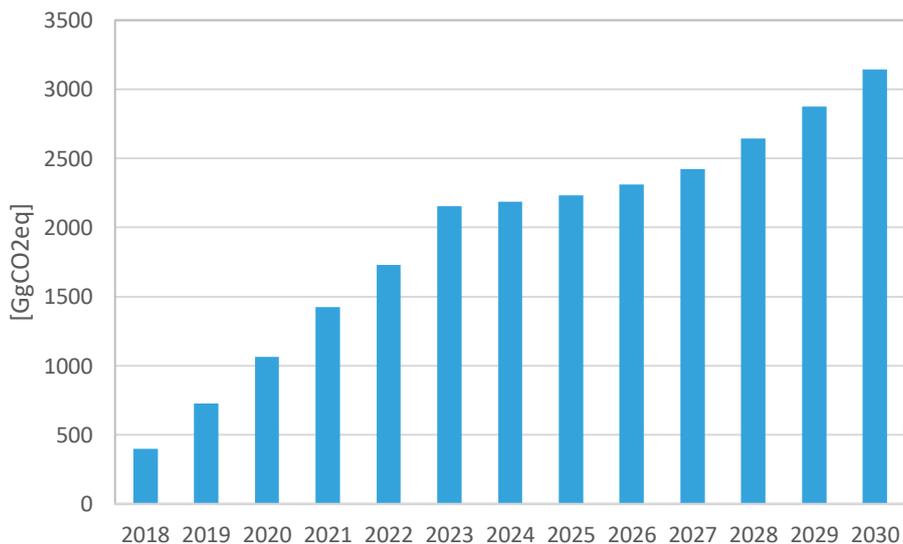


Figura 31 Resultados en reducción de emisiones a 2030, NAMA neveras.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

Tabla 34. Reducción emisiones por componente de energía para NAMA neveras.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Electricidad SIN	386	707	1,031	1,389	1,671	2,125	2,074	2,125	2,219	2,384	2,614	2,860	3,134
Carbón Extracción	2	3	5	6	7	10	6	4	2	1	0	0	-
Autoconsumo HC	3	3	10	6	25	-7	78	82	76	33	26	14	9
Autoc. Tuberías	0	0	1	1	3	-1	10	11	10	4	3	2	1
Emisiones Fugitivas	6	11	15	19	21	29	19	12	6	2	1	0	-
Total	397	725	1,062	1,422	1,728	2,156	2,187	2,234	2,313	2,424	2,644	2,876	3,143

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

c) Estufas de leña eficientes

La modelación de la medida de mitigación que contempla el reemplazo de estufas de leña tradicionales con estufas más eficientes, impulsada por Min Ambiente, debe tener en cuenta las diferencias metodológicas entre IDEAM (consumo kg/cápita) y la UPME (energía) que se describe en el reporte de construcción del modelo y del escenario de referencia. Esta diferencia obedece al consumo per cápita y región, y el crecimiento poblacional que maneja el IDEAM, y los supuestos de consumo energético que implemente la UPME para construir el balance energético nacional y los resultados del balance de energía útil. En LEAP, se definieron para el escenario de referencia tres niveles de eficiencia de las estufas a leña. Además de esto, en el modelo se calcula el número de hogares que usan estufas de leña en el sector residencial rural. Por ende, se definió una variable en LEAP la cual refleja la cantidad de estufas más eficientes en este sector. El programa de reemplazo de estufas eficientes tiene como objetivo alcanzar 770,000 estufas en 2030, esto significa que se reemplazarán 650,000 estufas adicionales respecto al escenario de referencia como muestra la Figura 32. Como se describió en la Tabla 2, el escenario de mitigación M3 contempla un incremento en el objetivo de estufas eficientes a 2030, pasando de 770,000 a 1,077,000.

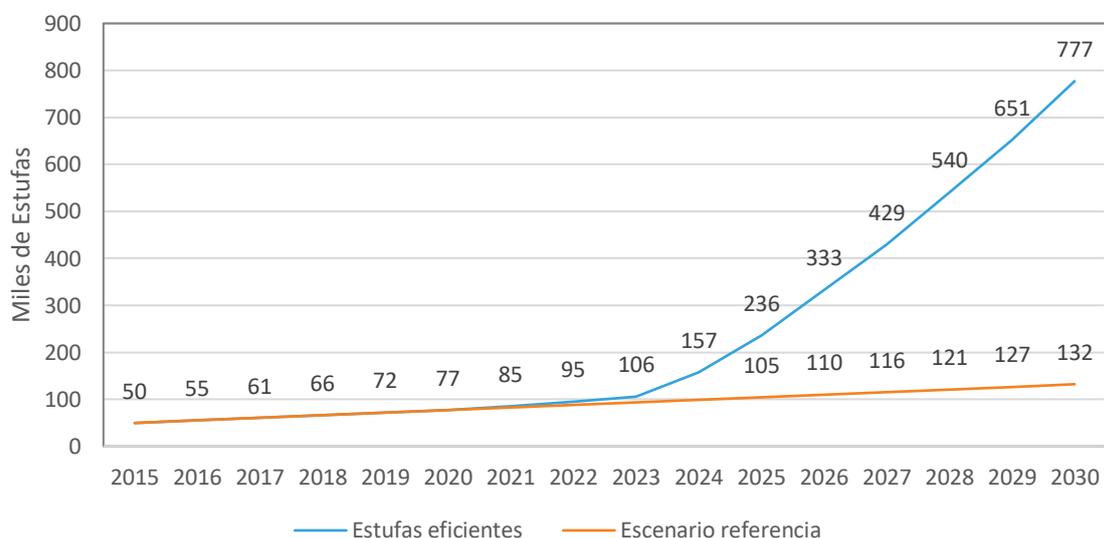


Figura 32 Perfil de reemplazo de estufas de leña por estufas más eficientes.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

Las emisiones se contabilizan en el sector AFOLU, categoría *Tierras forestales que permanecen como tales Bosque natural {3B1ai}*, como se explica en la sección explicativa del escenario de referencia. Este aumento en el número de estufas significa una reducción de 1,564 GgCO_{2-eq} en 2030 por reducciones en el consumo de leña. La Tabla 35 muestra la reducción anual desde 2021 a 2030. En el

escenario de mayor ambición, las emisiones en 2030 se reducen adicionalmente 728 GgCO_{2-eq}, alcanzando un total de 2,292 GgCO_{2-eq}.

Tabla 35 Reducción anual por implementación de estufas de leña eficientes.

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Mitigación Estufas Eficientes GgCO _{2-eq}	7	17	30	140	319	540	761	1,017	1,273	1,564

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

4. Agricultura/silvicultura/pesca

El Ministerio de Agricultura definió dos medidas asociadas a la eficiencia energética del sector agricultura. Estas medidas se definen en la NAMA Café y la NAMA Panela, y abarcan cambios en motores Diesel por motores eléctricos, un aumento en el uso de biomasa para procesos que requieren energía térmica cambios en tecnologías asociadas al proceso, entre otras medidas. Para mayor detalle ver los archivos de soporte en los anexos de este documento. Cada una de ellas abarca un número más amplio de medidas de mitigación y sectores (i.e.: AFOLU, residuos).

Los datos de entrada para estas medidas se encuentran en las fichas de mitigación y los archivos de soporte compartidos con el consorcio a través de Google Drive.

- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC Medios Implementación - café v4.xlsm
- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC Medios Implementación PANELA 06092020.xlsm

En LEAP este sector se modeló basado en la intensidad de energía final, siendo así impulsado por el PIB asociado. Adicionalmente, se dividió esta intensidad en usos térmicos, de electricidad y de combustibles líquidos. Esto facilitó la distribución de los potenciales de ahorro energético establecidos en las fichas.

Finalmente, se modificó la intensidad energética en LEAP teniendo en cuenta el potencial de cada subsector (café y panela) como se ve en la Tabla 36 para 2030. Estos valores son extraídos del potencial identificado para cada medida y por energético, comparados con el consumo del escenario de referencia (ver archivo Eficiencia energética Agricultura y aguas residuales - Versión Final.xlsx incluido en los anexos de este documento). Se asume que esta intensidad energética se mantendrá constante para el periodo 2030-2050. Se evidenció una diferencia entre los energéticos reportados en el BECO y los reportados en las fichas, como es el uso de llantas para producción de energía térmica. Dicho componente no se reporta en BECO para el sector agricultura lo cual genera diferencias con el Balance Energético Colombiano.

Tabla 36 Potencial de los subsectores café y panela.

Parámetro	Actividad Unidades	2030
PIB	Actividad [T COP]	81.48
Demanda Línea Base	Eléctrica [TJ]	3,545
	Térmica [TJ]	23,127
	Móvil [TJ]	5,315

Parámetro	Actividad Unidades	2030
Intensidad Línea Base	Eléctrica [MJ/COP]	0.0435
	Térmica [MJ/COP]	0.2838
	Móvil [MJ/COP]	0.0652
Ahorro Café	Eléctrica [TJ]	-
	Térmica [TJ]	-89.31
	Móvil [TJ]	90.28
Variación Intensidad	Eléctrica [MJ/COP]	-
	Térmica [MJ/COP]	-0.00110
	Móvil [MJ/COP]	0.00111
Ahorro Panela	Eléctrica [TJ]	-84
	Térmica [TJ]	497
	Móvil [TJ]	59
Variación Intensidad	Eléctrica [MJ/COP]	-0.001025
	Térmica [MJ/COP]	0.006093
	Móvil [MJ/COP]	0.00072
Intensidad Nueva	Eléctrica [MJ/COP]	0.04452
	Térmica [MJ/COP]	0.27881
	Móvil [MJ/COP]	0.06340
Demanda Nueva	Eléctrica [TJ]	3,628
	Térmica [TJ]	22,719
	Móvil [TJ]	5,166
Ahorro Energía	Eléctrica [TJ]	- 84
	Térmica [TJ]	407
	Móvil [TJ]	149

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAgricultura.

En la Figura 33 se puede observar como el cambio de energético principal, en este caso un incremento de consumo de electricidad y una reducción en diésel, residuos de llantas, y gas natural, aunque representa un limitado ahorro de energía (Tabla 36), resultan en una reducción neta de las emisiones. Comparando los consumos del escenario de referencia y los consumos con las medidas de eficiencia energética en agricultura. Adicionalmente, los cambios en la canasta energética del sector agricultura tienen efectos en los sectores de la cadena de suministro de dichos energéticos, obteniendo así una reducción en otros sectores como muestra la Tabla 37. La Gráfica muestra este comportamiento de forma anual. Sectores como las emisiones fugitivas o autoconsumos se ven afectados al aumentar el consumo de energía eléctrica, por otra parte en la reducción de consumo de leña tiene un impacto en las emisiones contabilizadas en AFOLU.

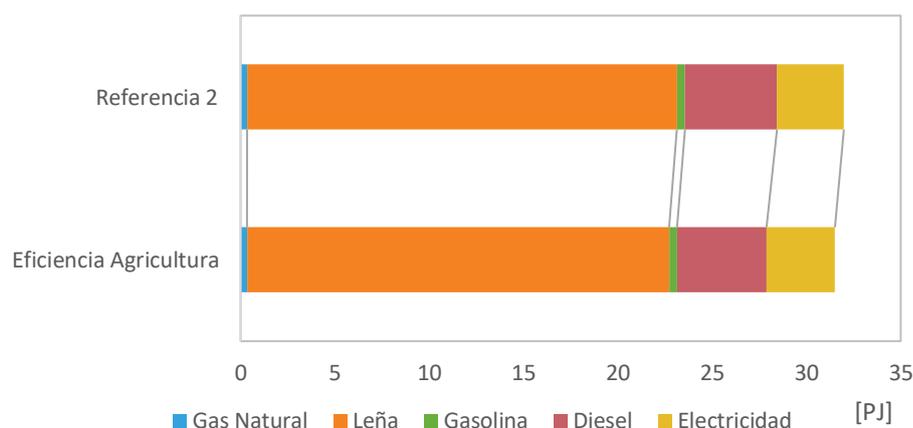


Figura 33 Demanda energía agricultura

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAgricultura.

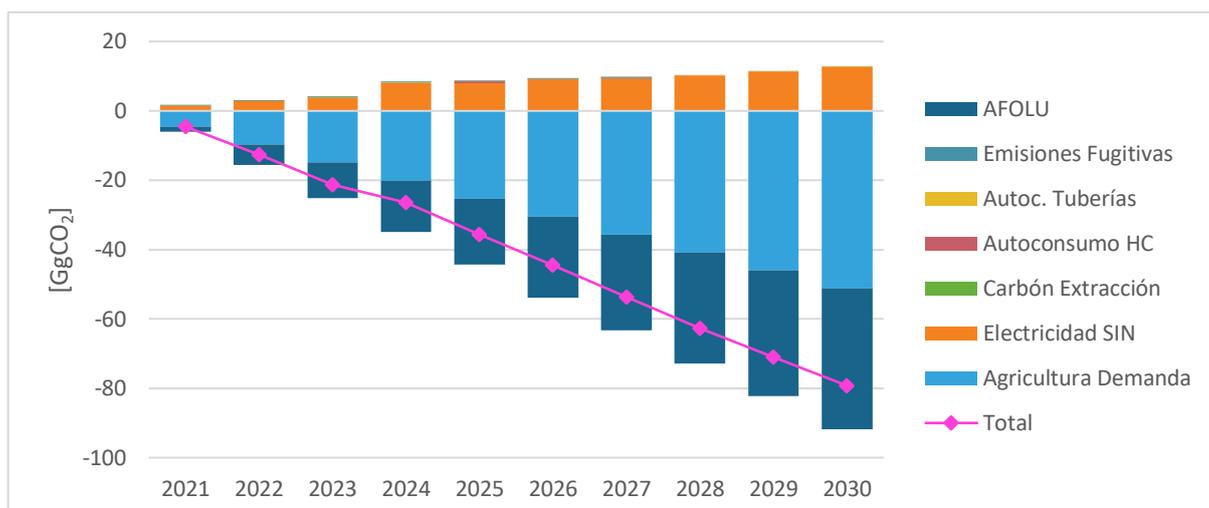


Figura 34 Participación en las proyecciones de reducción de emisiones.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAgricultura y MinAmbiente.

Tabla 37 Resultados mitigación por eficiencia energética en agricultura.

Categoría	2030
Agricultura Demanda	51
Electricidad SIN	-12
Autoconsumo HC	-0.04
Autoc. Tuberías	-0.005
Emisiones Fugitivas	-0.003
AFOLU	40.65
Total	79.82

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAgricultura.

Mensajes finales

Para obtener una mejor caracterización de los potenciales de reducción de la demanda de energía en agricultura se recomienda se defina de mejor manera la participación de cada sub sector dentro del PIB de agricultura, teniendo en cuenta que este es principal factor impulsador de este sector en el modelo LEAP.

Se recomienda validar con la UPME el balance energético de este sector, ya que en el BECO no se contempla el uso de residuos como fuente de energía para este sector, mientras que la NAMA café y la NAMA panela cuentan con estos residuos dentro de su canasta energética.

Finalmente, debido a la pequeña participación de estas medidas en el potencial nacional de reducciones, y que solo se contaba con la información de la NAMA café y NAMA Panela al momento de la elaboración de esta consultoría, es necesario definir líneas estratégicas que abarquen todo el sector agricultura y pesca, definiendo así el potencial dentro del sector (i.e.: uso de biomasa disponible, uso de calor residual, etc).

5. Intersectoriales

El impuesto al carbono establece elasticidades¹⁴ por combustibles, y en algunos casos por sector. Como resultado de una consultoría realizada por Ricardo Energy & Environment se obtuvieron dichas elasticidades, y se identificaron los sectores donde el impuesto aplica a los diferentes combustibles como muestra la Tabla 38. Para este ejercicio se usaron las elasticidades medias del rango resultado de la consultoría para el impuesto al carbono (ver Tabla 39).

Tabla 38 Combustible incluido por sectores modelados en LEAP.

Combustible	Sectores LEAP						
	Industria.	Transportes.	Agricultura.	Residencial.	Terciario.	Refinerías.	Petroquímicas
Gasolina	Incluido	Incluido	Incluido				
ACPM	Incluido	Incluido	Incluido			Incluido	
Kerosene y Jet Fuel		Incluido					
Fuel oil		Incluido					
GLP (no residencial)	Incluido						
Gas natural regulado				No incluido	No incluido		
Gas natural Transporte		No incluido					
Gas natural Industria	Incluido						
Gas natural (refinerías)						Incluido	
Gas natural (petroquímica)							Incluido
No incluido		No incluido					
Incluido		Incluido					

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

Tabla 39 Elasticidad por combustible y sector.

Combustible y sector	Elasticidad
Elasticidad Gasolina	-0.39
Elasticidad Diesel	-0.21
Elasticidad Keroseno y Combustóleo	-0.37
Elasticidad GLP	-0.68
Elasticidad Gas Natural Petroquímicas	-0.29
Elasticidad Gas Natural Regulado	-0.32
Elasticidad Gas Natural Industria	-0.51

Fuente: elaboración propia a partir de información del Informe PRELIMINAR Actividad 4_ Impuesto Carbono¹⁵, e información disponible de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

¹⁴ Variación porcentual de la demanda de un combustible específico (TJ) como resultado de variaciones porcentuales en el precio del mismo ($\$/TJ$).

¹⁵ Consultoría para la evaluación del mecanismo colombiano de compensación del impuesto al carbono establecido en el Decreto 926 de 2017 y resultados generales del impuesto al carbono establecido en la Ley 1819 de 2016, Ricardo Energy & Environment.

De los escenarios propuestos en el Informe Preliminar Impuesto Carbono, documento compartido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se tomaron los valores del impuesto del escenario b, los cuales se presentan en la Tabla 44. Estos valores se indexaron US\$₂₀₁₅, valor definido para los precios de combustibles y los costos para esta actualización de la NDC. Los precios de combustibles se afectaron teniendo en cuenta los factores de emisión de cada combustible cómo se expresa en la siguiente formula:

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo del precio de combustibles.

$$Precio_{i,Impuesto}[US\$/GJ] = Precio_i[US\$/GJ] + Impuesto[US\$/tCO_2] * FE_i[tCO_2/GJ]$$

Donde,

FE_i : factor de emisión de GEI del combustible i

En LEAP se incluyeron variables para las diferentes elasticidades y el impuesto, de manera que los precios del escenario con impuesto se construyen con base en los precios definidos para el escenario de referencia. Finalmente, se asume, por indicación del grupo de trabajo del impuesto al carbono, que no se espera un reemplazo de consumo con otro energético en primera instancia. Es decir, se prevé una reducción en la demanda de cada combustible de forma independiente en respuesta al cambio de precio. Dicha disminución, siendo limitada por la baja elasticidad, se asocia inicialmente a cambios en comportamiento, mejoras en procesos, mejoras en mantenimientos, y otras acciones que no requieran un cambio de tecnología.

Tabla 40 valores del impuesto del escenario b por año.

	2017	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Impuesto (USD/tCO ₂)	4.25	4.78	4.97	5.16	5.38	5.59	5.81	6.05	6.28	6.54	6.80	7.08

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinAmbiente.

Para poder modelar esta medida en LEAP fue necesario modificar varios parámetros dependiendo del sector: intensidad energética, kilometraje, y la participación por combustible. Si bien el modelo es capaz de manejar diferentes elasticidades durante el periodo de análisis (2015-2050), y que en el Informe del impuesto al carbono se definen elasticidades diferentes en función del tiempo de implementación del impuesto (corto, mediano y largo plazo), se utilizó la elasticidad media como se mencionó anteriormente. Adicionalmente, se resalta el hecho que las elasticidades para ciertos combustibles no diferencian su uso final, sea este transporte o generación de energía eléctrica entre otros, por lo cual se sugiere en un futuro se amplíe el análisis del impacto del impuesto por subsectores. Esto asociado a que para sectores como, por ejemplo, la producción de amoníaco el uso de gas natural como materia prima no respondería a cambios en precio como lo harían otros sectores de la industria que usen dicho gas natural para procesos de térmicos como el secado.

La Figura 36 muestra los cambios en emisiones asociadas a los combustibles que son afectados por la implementación del impuesto al carbono, obteniendo en 2030 una reducción en emisiones equivalente a 734 GgCO_{2-eq}. La Tabla 41 muestra como los cambios en demanda tienen un efecto indirecto en emisiones de procesos en la cadena de suministro de estos combustibles, como los consumos de energía asociados a extracción y las emisiones fugitivas.

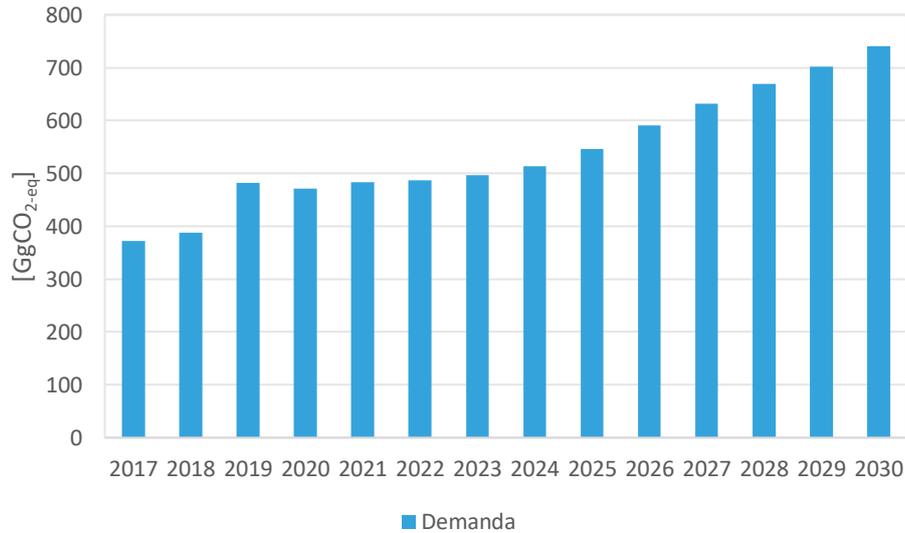


Figura 35 Reducción emisiones escenario con impuesto al carbono para los combustibles cubiertos por el impuesto directamente atribuibles a la variación de la demanda.

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

Tabla 41. Reducción emisiones en el escenario del impuesto al carbono por sector en GgCO_{2-eq}

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Demanda	372	387	482	471	484	487	496	514	546	591	632	670	702	740
Transformación	31	-8	13	-6	0	-1	-1	912	263	750	873	788	76	-9
Fugitivas y desechos	2	2	3	2	2	2	2	42	2	38	31	31	3	3
Total	405	382	498	467	486	488	497	1,468	811	1,378	1,536	1489	782	734

C. Energía: emisiones fugitivas

El Ministerio de Minas y Energía en su línea estratégica para emisiones fugitivas definió cinco medidas de mitigación. Si bien las cinco medidas de mitigación se incluyeron en el modelo LEAP, solo se recibió información para cuatro de ellas (Tabla 42)

Tabla 42 Medidas de mitigación propuestas por el Ministerio de Minas y Energía.

Medida	Incluida en LEAP	Información suministrada
Optimización en el uso de glicol	Si	Si
Recuperación en tanques de almacenamiento	Si	Si
Compresores de viga	Si	Si
Aprovechamiento metano minería cielo abierto	Si	No
Aprovechamiento metano Hidrocarburos	Parcial	No

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinEnergía.

Las medidas de mitigación se describen en la ficha de mitigación “FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC 22032020_Medios Implementación (EF)” y en los archivos de soporte, los cuales se encuentran en la carpeta de Google Drive que se estableció para el intercambio de información para esta consultoría.

- Emisiones de CH₄ y Producción crudo_gas_rjp_v4 (EF).xlsx
- Medidas_Hidrocarburos.xlsx
- Resultados análisis de sensibilidad.xlsx

Al igual que en otros sectores la información original requirió ser ajustada debido a diferencias con la estructura y metodología usada en LEAP, o debido a información incompleta o sin un soporte claro. En su mayoría el potencial de cada medida fue suministrado en términos de emisiones, lo cual dificulta la comparación y replicabilidad de las medidas de mitigación. La Tabla 43 describe los criterios de modelamiento usados en LEAP para cada medida de mitigación.

Tabla 43 Criterios de modelamiento usados en LEAP para cada medida de mitigación de emisiones fugitivas.

Medida	Supuestos y limitantes	Formulación
Optimización en el uso de glicol	En los archivos de soporte se hace uso de un factor (0.059) para el cálculo del potencial de mitigación, del cual no se especifica su significado, unidades u origen.	$EF_{nuevo} = EF * (1 - 34\% * FR)$ <p><i>Donde:</i> <i>EF:</i> Factor de Emisión <i>FR:</i> Factor de reducción (no especificado)</p>
Recuperación en tanques de almacenamiento	En los archivos de soporte (medida 66) se asumió como línea base el total de las emisiones fugitivas, lo cual sobre estimaba el valor calculado. Para esto fue necesario ajustar el potencial a la categoría 1B2ai: Venteo-Transporte, manteniendo la trayectoria de potencial definida.	$EF_{nuevo} = EF * (1 - OR)$ <p><i>Donde:</i> <i>EF:</i> Factor de Emisión <i>OR:</i> Objetivo de reducción.</p>
Compresores de viga	Para la captura de gas normalmente emitido fue necesario cambiar la cantidad de gas en venteo\producción (1B2ai). Esto se logra cambiando el factor de emisión asociado a la extracción de petróleo (m ³). Este potencial se reportó originalmente en tCO ₂ e, por lo cual fue necesario recalcular la activada asociada y definir este potencial respecto a la producción proyectada, obteniendo así una reducción promedio a partir de 2020.	$EF_{nuevo} = EF - \left(\frac{R_{CH4}}{PP} \right)$ <p><i>Donde:</i> <i>EF:</i> Factor de Emisión. <i>R_CH4:</i> Reducciones anuales de metano en Gg. <i>PP:</i> Producción de petróleo en m³.</p>
Aprovechamiento de gas para	La consultoría adicional identificó un potencial a 2030 de 651 GgCO ₂ . Esta medida se menciona, sin embargo, su	

Medida	Supuestos y limitantes	Formulación
generación de energía eléctrica	modelamiento es no se incluyó en LEAP debido a la fecha en que se expresó la posibilidad de ser incluida teniendo en cuenta la infamación disponible.	

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinEnergía.

En LEAP cada una de estas acciones se modeló de forma independiente, creando una variable asociada en la rama *Key Assumptions*. Se asumió que los valores de reducción se mantendrán constantes después de 2030 y por ende las emisiones están asociadas a la producción de petróleo y gas natural. Los resultados de las acciones de mitigación se presentan en la Tabla 44 de manera independiente, mientras que la Figura 36 muestra su perfil de mitigación a 2030. Dos de estas medidas no presentan potencial debido a que no se incluyeron debido a que la información no era disponible al momento de realizar la modelación (ver Tabla 3).

Tabla 44 Resultados de las medidas de mitigación de emisiones fugitivas.

Medida	Mitigación (Gg CO ₂ e)		
	2030	2015-2030	2015-2050
Optimización en el uso de glicol	69.0	1,413.6	2,153.8
Recuperación en tanques de almacenamiento	2.5	24.2	42.1
Compresores de viga	321.3	7,194.0	9,458.7
Aprovechamiento metano minería cielo abierto	NA	NA	NA
Aprovechamiento metano Hidrocarburos*	NA	NA	NA

**MinEnergía estima un potencial a 2030 de 651 GgCO₂-eq.*

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinEnergía.

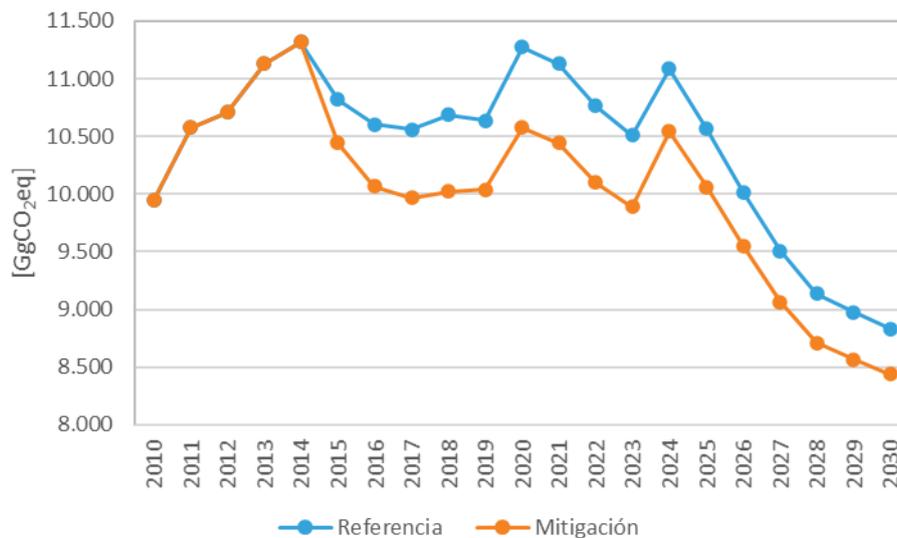


Figura 36 Perfil de mitigación a 2030 de emisiones fugitivas.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinEnergía.

De forma indicativa se presenta a continuación una lista de medidas para la categoría de emisiones fugitivas, la cual puede ser tenida en cuenta para aumentar la ambición en dicho sector.

Mensajes Finales

- **Ambición en mitigación:** Las medidas de mitigación analizadas no logran obtener una disminución de emisiones fugitivas la cual permita alcanzar una reducción en esta categoría comparable con el 20% en 2030 que se planteó inicialmente a nivel nacional. Este sector depende directamente de las actividades de extracción de carbón, gas natural y petróleo, por lo cual limita en cierta medida su campo de acción. No obstante se recomienda se exploren medidas de mitigación adicionales las cuales permitan contribuir al cumplimiento de la meta de la NDC vigente en 2030.
- **Información:** La información suministrada por el Ministerio de Minas y Energía en los formatos dispuestos por el Ministerio de Ambiente, al igual que los documentos soporte no contaban con toda la información técnica que explicara los potenciales allí descritos. Dichos potenciales se expresan en emisiones (tCO₂) lo cual dificulta su comparación y replicabilidad en ejercicios distintos al planteado en dichos documentos. Dicho esto, fue necesario usar supuestos como por ejemplo los datos de actividad (históricos y línea base en LEAP) o intensidad energética (BECO e información de actividad del Ministerio de Minas y Energía). Si bien se logró hacer la representación de las medidas en el modelo, se recomienda una mejor documentación y nivel de detalle en los documentos de soporte.
- **Metodología:** La metodología usada para las emisiones fugitivas hace referencia al Nivel 1 de las guías IPCC. Para aumentar la ambición e identificar las secciones en la cadena de producción que presentan un potencial más alto, el levantamiento de información es fundamental y pertinente. Esto llevaría a un nivel de detalle más elevado (Nivel 2 o 3 IPCC), permitiendo la implementación de medidas como la detección de fugas en tubería o un conocimiento real del gas venteado. Dicho esto, para este estudio se modificaron los factores de emisión estándar, como se explicó anteriormente.

- **Proceso:** El modelamiento en LEAP, si bien afecta los factores de emisiones, se ve afectado por actividades en otros sectores (i.e.: transporte, generación de electricidad). Esto requiere un proceso de revisión y validación continuo de los resultados, el cual no tuvo lugar para la construcción de este reporte debido a los tiempos de entrega.

D. Procesos industriales y uso de los productos (IPPU)

1. Procesos industriales y uso de los productos (IPPU)

a) Descripción metodología

El enfoque en el que se modelaron las emisiones de GEI de la categoría 2 de Procesos Industriales y Uso de Productos-IPPU fue dual. Por un lado, para las categorías 2A a 2D el IDEAM estimó y compiló series de tiempo tanto de niveles de actividad como de factores de emisión que fueron ingresados en LEAP para cada una de las subcategorías con el fin de calcular las emisiones respectivas en cada subcategoría, mientras que para el sector 2F, se ingresaron a LEAP directamente las emisiones de los sustitutos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono dentro de su respectiva subcategoría, más los cálculos y parámetros de niveles de actividad y factores de emisión para llegar a tales resultados seguirán en las hojas de cálculo donde fueron estimadas por los autores (i.e. Unidad Técnica de Ozono-UTO y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM).

La modelación de las medidas de mitigación se realiza siguiendo el mismo enfoque. Aquellas que pertenecen a las categorías 2A a 2D pueden ser modeladas directamente en LEAP por medio de modificaciones a los niveles de actividad o a los factores de emisión. Las demás medidas de mitigación de la categoría 2F, en cambio, deben ser calculadas por fuera de LEAP con el fin de encontrar la reducción de emisiones correspondiente que son finalmente introducida en LEAP.

Las medidas de mitigación modeladas para el sector 2 IPPU fueron compiladas y evaluadas por el MinComercio, la UTO, y el IDEAM. La Tabla 45 muestra las tres medidas de mitigación calculadas en LEAP con la respectiva información suministrada para ello.

Tabla 45. Fichas compartidas por el Mincomercio, la UTO, y el IDEAM para las medidas de mitigación concernientes a la categoría 2 IPPU.

Medida mitigación	Archivo ficha
Óxido nítrico Industria química	20200907 ABATIMIENTO OXIDO NITROSO SECTOR QUIMICO NDC.xlsm
Cemento sostenible	202008 PRODUCCION SOSTENIBLE Cemento Colombia Agosto NDC.xlsx
Uso productos sustitutos HFC	UTO 2F Escenario de mitigación Uso productos Sustitutos HFC IPCC ReV. UTO v2.xlsx IPPU_2F_Escenario Mitigación R2_31.08.2020.xlsx

Fuente: elaboración propia a partir de (MCIT & MADS, 2020).

b) Óxido nítrico Industria química

Esta medida explora la Implementación de tecnologías para el abatimiento de emisiones de N₂O en la producción de químicos y de materias primas de fertilizantes. En particular, GEI generados en las

etapas de producción de ácido nítrico en las facilidades de empresas químicas en Colombia. El ácido nítrico es un insumo vital en la producción de fertilizantes nitrogenados entre otros, el cual es comúnmente fabricado bajo la síntesis de Ostwald. Un subproducto en la producción de ácido nítrico es el óxido nitroso.

En el marco de la agenda de trabajo que hace parte de las acciones del MinComercio para el cumplimiento de la NDC de Colombia, se espera que la reducción de emisiones en la producción de ácido nítrico por IPPU sea el resultado de la implementación de la agenda público privada hacia la transición de la industria química. Para ello, se ha identificado la tecnología terciaria basada en la descomposición catalítica donde el gas que sale de la columna de absorción se trata para convertir el N_2O en nitrógeno y oxígeno con una eficiencia de más del 80% (Ehrt & Velez Haller, 2018).

Esta reducción de emisiones se traduce en LEAP como una reducción en el factor de emisión del óxido nitroso con respecto al factor del escenario de referencia tal y como se observa en la Figura 37. El factor de emisión en el escenario de mitigación pasa de 7.6 kg N_2O /ton ácido nítrico producido a 1.5 a partir del año 2023.

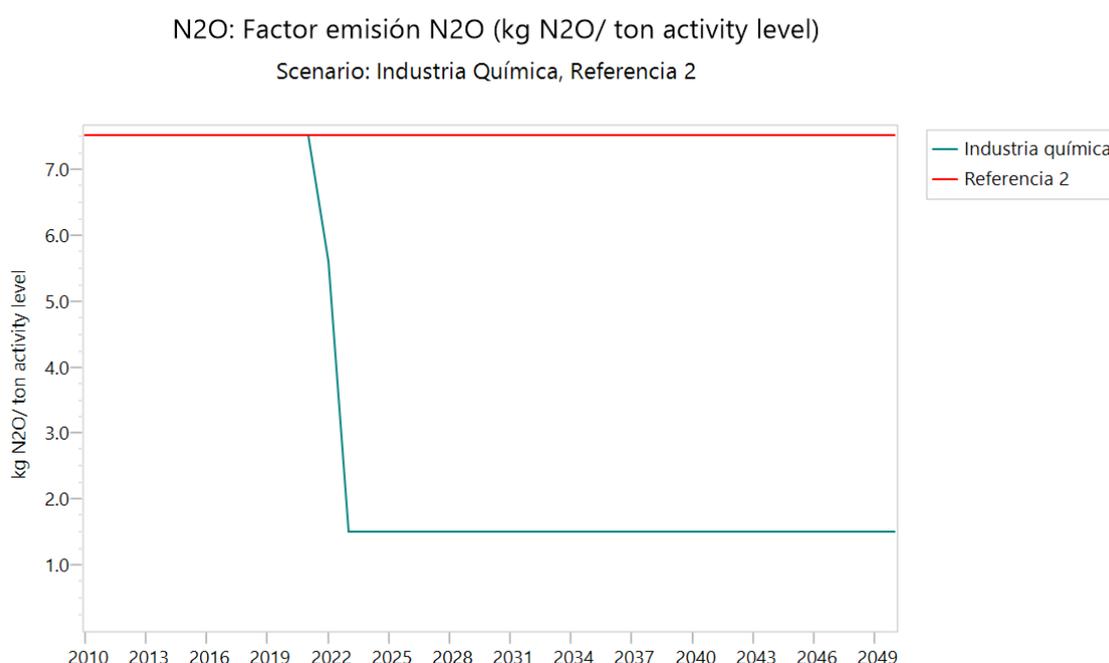


Figura 37. Factor de emisión de kg N_2O por tonelada de ácido nítrico producido en los escenarios de referencia y de mitigación.

Fuente: elaboración propia.

c) Cemento sostenible

Siguiendo la misma medida de cemento sostenible delineada en el capítulo de la categoría 1A2 Industria, ésta contempla también la reducción de emisiones de CO_2 asociadas a la calcinación de compuestos carbonatados para la producción de Clinker a través de la reducción adicional del contenido de Clinker en el cemento mediante el uso de cenizas volantes, puzolanas naturales, escorias granuladas u otros materiales que son detallados en la ficha entregada por el MinComercio (MCIT & MADS, 2020).

Contando con que exista la disponibilidad de recursos para sostener la oferta de materiales y minerales que faciliten la reducción del factor Clinker, la medida contempla en particular una reducción en emisiones de 2.7% respecto a la línea de referencia. En consecuencia, esta medida de mitigación se modela en LEAP como una reducción en el valor del factor de emisión de 0.537 ton CO₂/tonelada Clinker a un valor de 0.5224 en el año 2030 siguiendo una senda lineal en la reducción. Ver Figura 38.

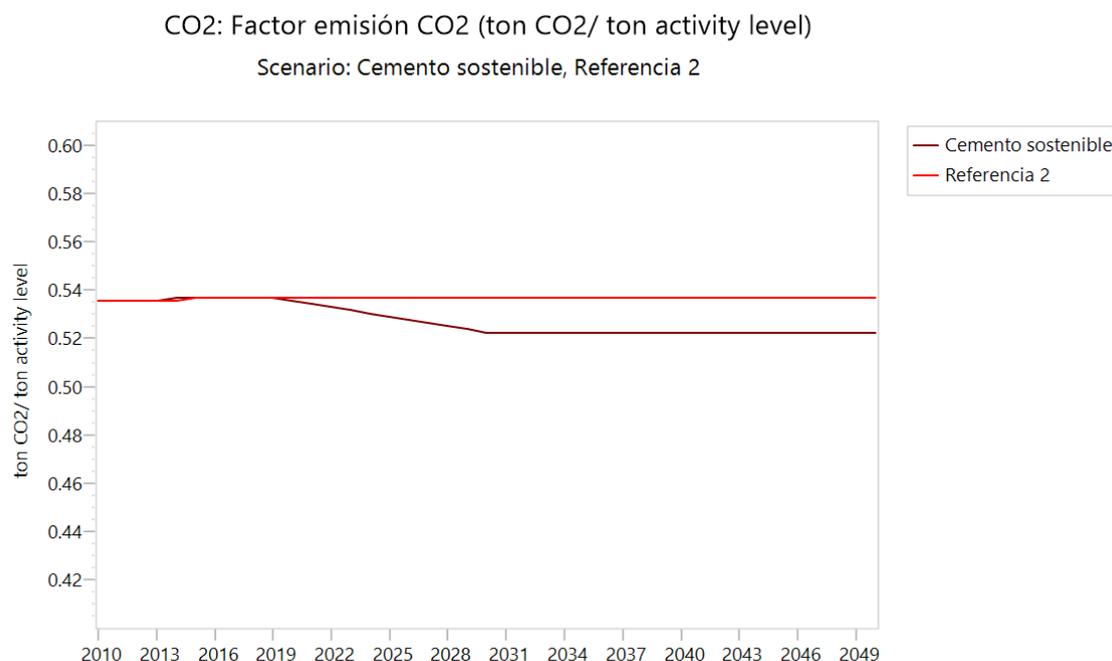


Figura 38. Factor de emisión de tonelada de CO₂ por tonelada de Clinker producido en los escenarios de referencia y de mitigación.

Fuente: elaboración propia.

d) Uso productos sustitutos HFC

Esta medida busca disminuir de manera escalonada las emisiones de GEI por la reducción del uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (HFC) que son de alto potencial de calentamiento global, mediante programas o proyectos que promuevan el uso de productos sustitutos de los hidrofluorocarbonos (HFC) con menor potencial de calentamiento global, así como la gestión ambientalmente adecuada al final de la vida útil de los HFCs y la disposición de éstos con el fin de evitar la liberación a la atmosfera de tales sustancias.

En particular, esta medida es una sombrilla que recolecta los potenciales en la reducción de GEI de las siguientes actividades contempladas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: i) Acción Nacionalmente Apropiada - NAMA de refrigeración doméstica, actualmente en implementación, ii) Promoción de Distritos Térmicos para la sustitución de sistemas de enfriamiento en ciudades, iii) Promoción de la gestión ambientalmente adecuada de bancos de productos sustitutos a las sustancias que agotan la capa de ozono (HFC) al final de su vida útil, iv) y otras acciones adicionales que contribuyan a la reducción de emisiones de CO₂ por el uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (HFC) (MADS, 2020). Estas medidas aportan a la medida sombrilla, pero no son las únicas que la conforman, por lo cual el MinAmbiente identificará otras acciones para el cumplimiento de la meta de la Enmienda de Kigali.

Esta medida sombrilla contempla reducción en las emisiones a la atmosfera de todos los sustitutos de las sustancias agotadoras de la capa de ozono en cada uno de los subsectores de la categoría 2F (refrigeración y aire acondicionado, agentes espumantes, protección contra incendios, aerosoles, solventes, otras aplicaciones). Las series de tiempo de reducción de emisiones de cada una de estas sustancias fueron calculadas por la UTO y el IDEAM, y entregadas al consorcio para su modelación en LEAP.

Finalmente, es relevante anotar que las medidas de mitigación de Uso productos sustitutos HFC, así como la de cemento sostenible y ácido nítrico, contemplaron reducciones en las emisiones de GEI en un horizonte de tiempo hasta el año 2030. Como consecuencia, del año 2030 en adelante no se modelaron más reducciones en las emisiones de GEI para éstas o alguna otra medida de mitigación. Igualmente, las medidas examinadas no tienen esfuerzos de mitigación diferenciados en los escenarios de mitigación M1 y M3, y por el contrario, son iguales.

e) Resultados

Como resultado de las medidas de mitigación desarrolladas para la categoría 2 IPPU, se obtiene en el escenario de mitigación una reducción de emisiones al 2030 con respecto al escenario de referencia de 1,620 GgCO₂e o 9.1% (Ver Tabla 46), potencial de mitigación que se replica al 2050 debido a que las medidas de mitigación modeladas para esta categoría no tienen esfuerzos adicionales de reducción de emisiones más allá del año 2030. Ver Figura 39.

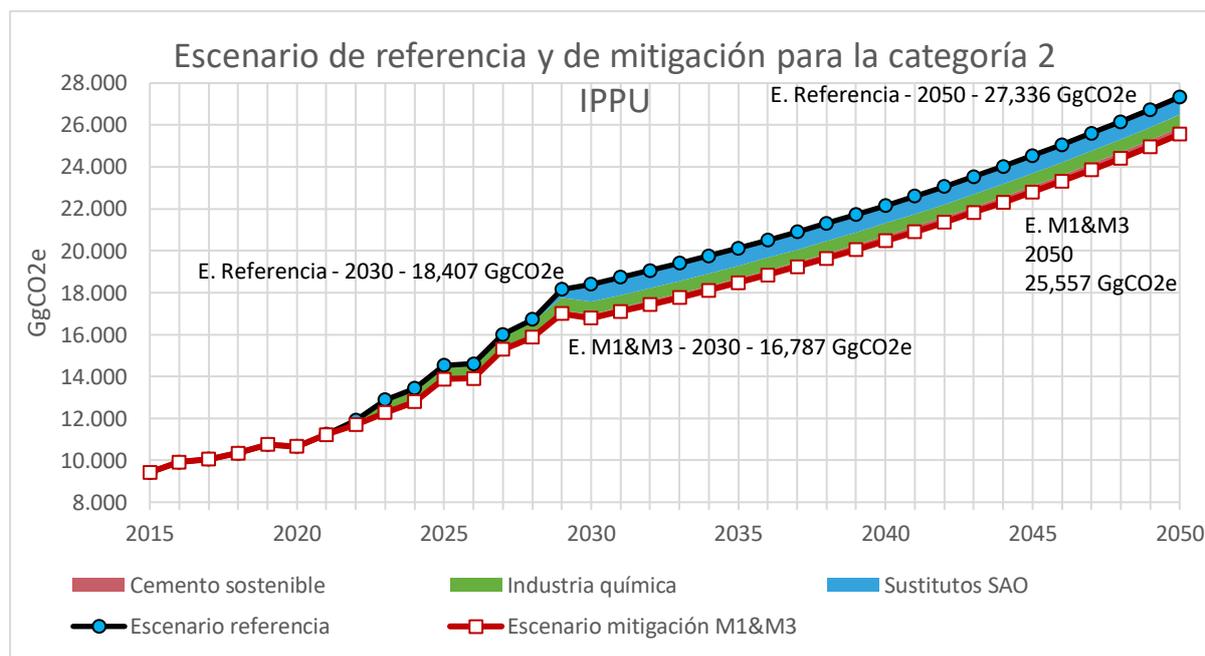


Figura 39. Escenario de referencia y de mitigación M1&M3 de emisiones de GEI para la categoría 2 IPPU. La medida denominada Sustitutos SAO es la misma medida Uso productos sustitutos HFC.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 46 Potencial de mitigación de las medidas contempladas en los escenarios M1 & M3 en GgCO₂eq

	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Cemento sostenible	0	9,6	79,9	174,9	205,7	241,9	284,6	334,7

Industria química	0	0,0	585,3	599,5	599,5	599,5	599,5	599,5
Uso productos sustitutos HFC	0	0,0	0,0	845,2	845,2	845,2	845,2	845,2
Total potencial mitigación	0	9,6	665,3	1.619,6	1.650,4	1.686,6	1.729,3	1.779,4

Fuente: elaboración propia.

Es de resaltar el potencial de mitigación de la medida de Uso productos sustitutos HFC que es considerable en magnitud, pero solo es notoria a partir del año 2029 en adelante. La tasa de crecimiento compuesta anual-CAGR de emisiones de GEI del escenario de referencia respecto al 2015 es de 4.6% en el 2030 y 3.1% al 2050, y para el escenario de mitigación M1&M3 la CAGR es de 3.9% al 2030 y 2.9% al 2050.

E. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)

1. Agricultura

Para el sector agrícola se han modelado 5 medidas de mitigación en LEAP para el escenario M1. Es importante precisar que desde el equipo del MADR se entregó información de un escenario bastante optimista para estas 5 medidas. Es así como M1 plantea un escenario ambicioso por parte del sector. El escenario M3 aumenta aún más esta ambición al incluir un mayor número de hectáreas para plantaciones forestales (46,000 has/año). Para las emisiones de CH₄ y N₂O es probable que haya un potencial de mitigación adicional, por ejemplo con la implementación de especies forrajeras mejoradas con la capacidad de inhibir la nitrificación, o aditivos que pueden reducir emisiones de CH₄ de fermentación entérica. Es necesario contar con una mayor disponibilidad de datos que permita una adecuada cuantificación de este potencial para el país, al igual que con un análisis que explore posibles compensaciones de estas medidas con respecto a la productividad agrícola o ganadera.

Para los siguientes rubros se proporcionó información sobre medidas de mitigación: NAMA Ganadería, NAMA Café, Cacao, Arroz y NAMA Panela. Además, se incorporó una medida de mitigación de Forestal Comercial, que está bajo la responsabilidad del Ministerio de Agricultura, pero esta medida se describe más a fondo en la parte forestal. La modelización de las medidas de mitigación se describe en este Capítulo. La Tabla 47 ofrece una visión general de las medidas de mitigación y su potencial de mitigación para 2030.

Tabla 47 Panorama de las medidas de mitigación y su potencial de mitigación para el sector IPCC de agricultura

Medida de mitigación	Emisión relativa	Sector IPCC	Reducción de GEI en 2030 (Gg CO ₂ eq/año)
NAMA Ganadería	N ₂ O, CH ₄	3A1, 3C4, 3C5	140
NAMA Ganadería	C en biomasa	3B3a, 3B1aii	10886
NAMA Café	N ₂ O, C en biomasa	3C4, 3C5, 3B2	285
Cacao	C en biomasa	3B2aiii	165
Arroz	N ₂ O	3C4, 3C5	84
NAMA Panela	C en biomasa	3B1bi	21
Total Agricultura			11576

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Ministerio de Agricultura.

a) NAMA Ganadería

Descripción

El objetivo de esta NAMA es reducir las emisiones de GEI generados en la producción ganadera e incrementar las remociones de carbono de los agro-ecosistemas dedicados a la ganadería, por medio de un ordenamiento ambiental y productivo a nivel regional, intensificando la producción de los sistemas ganaderos mediante la implementación de Sistemas Silvopastoriles Intensivos y No intensivos, así como el manejo sostenible del sistema para aumentar la eficiencia, promoviendo la conservación y/o restauración de ecosistemas naturales ubicados dentro de las fincas ganaderas a través de la liberación de áreas de pastoreo con fines de restauración, conservación y preservación, incentivando el aprovechamiento de la energía contenida en los residuos generados en subastas ganaderas y plantas de beneficio relacionado con el manejo del estiércol y otros residuos y orientando la optimización de la logística para comercializar leche cruda. El universo de fincas es de 66.051 y las que serán objeto de intervención son 25.170 en el escenario optimista.

Estructuración en LEAP

En esta medida de mitigación, el hato ganadero se desvía ligeramente del escenario de referencia. En primer lugar, se prevé una disminución en el número de bovinos, pero en el período 2028-2030 se prevé un aumento en el número de animales en comparación con el escenario de referencia. Estos cambios obedecen al análisis de tendencias de mercado y económicas realizadas por el gremio ganadero al año 2030 y la desviación es bastante pequeña (máximo del 0.27% en 2030). Debido a que no es claro el motivo por el cual estos números son diferentes al del escenario de referencia, se decidió mantener el número de ganado igual al del escenario de referencia. La NAMA Ganadería consta de una serie de medidas que se incluyen en LEAP:

- Reducción de las emisiones de CH₄ por fermentación entérica
- Reducción de las emisiones de N₂O por el uso reducido de fertilizantes nitrogenados
- Secuestro de carbono en suelos y biomasa procedente de una serie de medidas

La mayor parte del potencial de mitigación proviene de esta última categoría, que por lo tanto se explicará con más detalle.

Fermentación entérica

Para la fermentación entérica se utilizaron los datos suministrados por el equipo de la NAMA Ganadería sostenible- Fedegan. El ejercicio consistió en aplicar una reducción del factor de emisión de CH₄, basado en los resultados del modelo Ruminant. Esta reducción del 0,55% en 2030, es la que se ha implementado en los cálculos del LEAP. El modelo Ruminant está diseñado para predecir el consumo potencial, la digestión y el rendimiento animal de rumiantes individuales, que consumen forrajes, granos y otros suplementos (Herrero et al., 1999). Los análisis subsecuentes para la estimación de emisiones se elaboran representando cada conglomerado tipo finca o una finca modal, que representa desde uno hasta n predios.

Se caracterizaron los diferentes tipos de animales, dependiendo de la orientación, nivel de intensificación de las fincas y las dietas ofrecidas. Posteriormente se usó el modelo dinámico VirtualHerd para predecir la estructura, productividad y tamaño del hato. La integración de Ruminant y VirtualHerd se realiza por medio de la herramienta SIDESS (*Sustainable Intensification Decision Support System*). La información de salida de la plataforma incluye datos económicos, reproductivos, productivos, balance de emisiones y producción de biomasa a nivel de predio, conglomerado, región y país, calculados anualmente en un periodo de tiempo de diez años.

Fertilización Nitrogenada

La reducción resultante de las emisiones de N₂O procedentes de la fertilización en el sector ganadero fue del 4.7% en 2030. Para la implementación en LEAP primero se determinó la proporción de ganado bovino en las emisiones totales de fertilización con nitrógeno, que es de aproximadamente el 27% (el total en el escenario de referencia de 3C4 y 3C5 para fertilizantes es de 2500 Kton en 2030). Para simular esta reducción de emisiones, la cantidad de uso de fertilizantes N se redujo en un 1.27% para el año 2030.

Secuestro de carbono

Para aumentar el secuestro de carbono, se han propuesto siete medidas diferentes en la NAMA Ganadería:

- Restauración de bosque (liberación de área)
- Bancos mixtos de forraje
- Cercas vivas
- Praderas mejoradas
- Setos forrajeros
- Sistemas Silvopastoriles (SSP) intensivos
- Árboles dispersos en potrero

La primera medida forma parte de la categoría 3B1bii (Pastizales convertidos en tierras forestales) del IPCC, todas las demás medidas se notifican en la categoría 3B3a (Pastizales que permanecen como tales). Para cada una de estas medidas se proporcionó el área propuesta de implementación utilizando datos del escenario optimista (Figura 40). El área total acumulada para restauración en 2030 es de 68 mil ha, principalmente en la región de la Orinoquia. Dado lo anterior, el potencial de mitigación de esta medida se ha asignado en LEAP a esta región. Los factores de secuestro de carbono de la restauración se tomaron del escenario de referencia, siendo 13 toneladas de CO₂/ha/año para la biomasa, de 9.1 toneladas de CO₂/ha/año para los suelos y de 0.65 toneladas de CO₂/ha/año para la materia orgánica muerta (MOM). Para las otras medidas se proporcionaron coeficientes de eliminación de carbono, a menudo específicos de la región. Sobre la base de estos datos, se calculó el potencial total de secuestro de carbono y se añadió en LEAP a las categorías respectivas del IPCC.

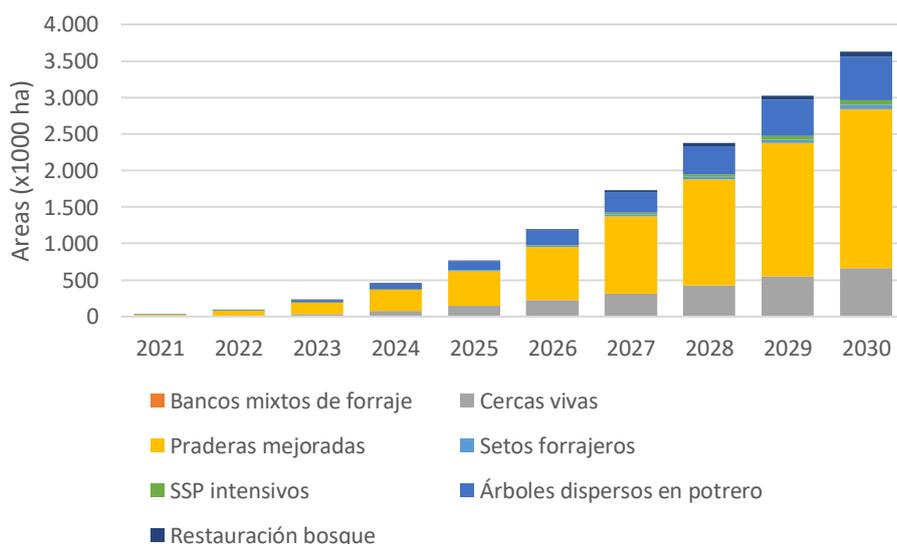


Figura 40 Áreas de implementación de las medidas de secuestro de carbono en la NAMA Ganadería.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Ministerio de Agricultura.

En cuanto a los coeficientes de remoción de CO₂, se usaron los valores obtenidos en el marco de investigaciones desarrolladas dentro del Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible para los diferentes usos del suelo (ver Tabla 48). Para el arreglo árboles dispersos en potreros, se emplearon valores graduales según la madurez de la medida, diferenciados según ecorregión (ver Tabla 48).

Tabla 48 Coeficientes de remoción de CO₂ para los distintos usos de suelos y eco-región.

Ecorregión	Remoción de CO ₂ anual por hectárea (t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹)				
	Praderas mejoradas	SSPi	Setos forrajeros	Bancos mixtos de forraje	Cercas vivas
Altiplano Cundiboyacense	0.296	8.9	6.2	3.86	2.9
Amazonia	0.296	11.5	9.1	3.88	3.7
Antioquia y Eje Cafetero	0.296	8.9	6.2	3.86	2.9
Caribe Húmedo	0.296	21.6	19.5	5.5	8.5
Caribe Seco	0.296	21.6	19.5	5.5	8.5
Magdalena Medio	0.296	21.6	19.5	5.5	8.5
Orinoquia	0.296	11.5	9.1	3.88	3.7
Santanderes	0.296	21.6	19.5	5.5	8.5
Suroccidente	0.296	8.9	6.2	3.86	2.9
Suroriente	0.296	11.5	9.1	3.88	3.7

Fuente: Información suministrada por el equipo de la NAMA GANADERIA y validada por MADR e IDEAM.

Tabla 49 Gradualidad del coeficiente de remoción de CO₂ para el uso del suelo árboles dispersos en potreros en las diferentes ecorregiones.

Ecorregión	Remoción de CO ₂ anual por hectárea (t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹)									
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Altiplano Cundiboyacense	0.165	0.495	1.16	1.99	2.21	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Amazonia	1.08	2.16	3.25	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Antioquia y Eje Cafetero	0.528	1.056	1.58	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Caribe húmedo	1.1	2.2	3.3	4.4	11	11	11	11	11	11
Caribe seco	0.55	1.65	3.3	5.5	8.25	11	11	11	11	11
Magdalena medio	1.1	2.2	3.3	4.4	11	11	11	11	11	11
Orinoquia	1.08	2.16	3.25	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Santanderes	0.165	0.495	1.16	1.99	2.21	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Suroccidente	0.165	0.495	1.16	1.99	2.21	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Suroriente	1.08	2.16	3.25	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4

Fuente: Información suministrada por el equipo de la NAMA GANADERIA y validada por MADR e IDEAM.

La mayor parte del potencial de mitigación proviene de árboles dispersos en potrero y cercas vivas y bosque de restauración. El potencial total de mitigación de las medidas de secuestro de carbono aumenta hasta 10886 Gg CO₂ por año en 2030. Esta cantidad de secuestro de carbono es mucho mayor en comparación con las reducciones de emisiones de CH₄ y N₂O (140 Gg CO₂e/año) de la NAMA Ganadería.

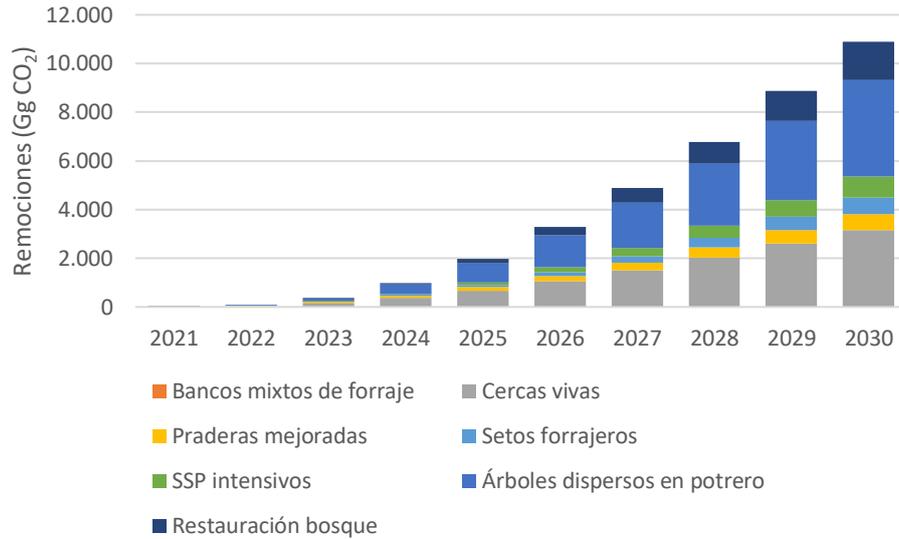


Figura 41 Remociones de CO₂ por año para las medidas de secuestro de carbono en la NAMA Ganadería.

Fuente: elaboración propia.

b) NAMA Café

Descripción

El objetivo de la NAMA Café es proponer e implementar estrategias para la mitigación de GEI generados en las etapas de producción, cosecha y postcosecha del café de Colombia a nivel de finca. La NAMA Café define las siguientes medidas y acciones de mitigación al cambio climático en la producción de café:

1. Implementar sistemas agroforestales en los predios donde se cultiva el café: reestructurar áreas establecidas con café a libre exposición solar en zonas marginales para el cultivo mediante la implementación de sistemas agroforestales.
2. Optimizar las prácticas en el proceso de postcosecha del café y cambio de combustibles en secadores mecánicos de café.
3. Aumento de las densidades de siembra de cultivos a libre exposición.
4. Uso eficiente de fertilizantes: Fomentar las mejores prácticas de aplicación de fertilizantes.

Estructuración en LEAP

Para AFOLU sólo son pertinentes las medidas relacionadas con la reducción de la fertilización nitrogenada y los sistemas sostenibles de café agroforestal que corresponden con a las acciones 1 y 3. Los demás componentes de la NAMA se describen en la sección de tratamiento de aguas residuales y en el de demanda energética del sector agricultura y pesca. La transformación de los cafetales monocultivos en sistemas agroforestales sostenibles que comprenden grandes árboles de sombra conduce a un secuestro de carbono adicional. El área total del café permanece constante como en el escenario de referencia. Para esta medida de mitigación se utiliza el escenario optimista en el que 12500 ha pasan de exponerse libremente a un sistema de semi-sombreado. Así mismo, 12500 ha pasan de exponerse libremente a un sistema de sombreado para 2027. El área anual que cambia es de aproximadamente 1250 ha por año, el cual se ha extrapolado a 2030. Plantaciones semi-sombreadas secuestran 0.5 toneladas C/ha/año más en comparación con las plantaciones expuestas, y plantaciones sombreadas secuestran 1.0 toneladas C/ha/año más.

Para la fertilización se asume una reducción en comparación con el escenario de referencia (BAU). Se hace una distinción entre urea (utilizada principalmente) y otros fertilizantes N. El contenido N de urea es del 46% y para los otros fertilizantes N se utiliza el 21%. El ahorro total de nitrógeno como fertilizante para 2030 es de aproximadamente 36.000 toneladas N. Esta información se ha obtenido del escenario de referencia, y las reducciones de emisiones conexas se han calculado en LEAP. El potencial total de mitigación del NAMA Café en el sector AFOLU se estima en 285 Gg CO₂-eq/año en 2030. En este potencial previsto nos está incluyendo la consideración de energía ni el tratamiento de aguas residuales.

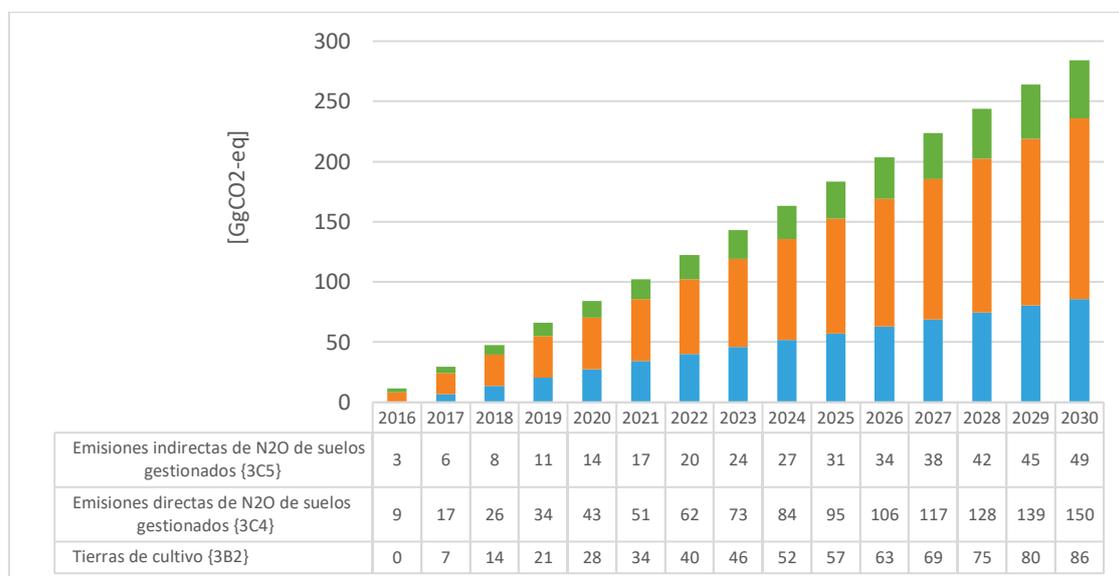


Figura 42. Reducción emisiones NAMA Café

Fuente: elaboración propia.

c) Cacao

Descripción

La medida espera que con el aumento de áreas dedicadas al cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales (SAF), así como con la renovación y rehabilitación se incremente el stock de C y se absorba CO₂ proveniente de otras fuentes de emisiones. Según el estudio realizado por CIAT - USDA (2019) se estiman 31.475 ha para renovación y rehabilitación, sin embargo, en línea con el plan nacional cacaoero se plantea la renovación de 80.000 ha y adicionalmente la proyección de 150.000 ha en SAF. Dado que para el sector productivo solamente el 7.6% de las unidades productivas utilizan fertilizantes químicos y el 6.5% aplican fertilizantes orgánicos (CIAT – USDA. 2019), no se tuvo en cuenta el uso de fertilizantes en la cuantificación de reducción de emisiones. Así mismo, dentro de las acciones planteadas no se analizaron proyecciones para sistema postcosecha y beneficio de cacao.

Estructuración en LEAP

Para estimar las emisiones y absorciones en tierras de cultivo que permanecen (subcategoría 3B2a) se emplearon valores de biomasa aérea y subterránea, densidades de siembra y fracción de carbono para la biomasa correspondiente al cultivo de cacao. Para estimar las absorciones por SAF maderables se estimó la biomasa arriba del suelo con ecuación alométrica empleada para árboles maderables. Los factores de emisión y remoción para estimar los cambios en las existencias de carbono incluyen existencia de biomasa y/o tasa de crecimiento y pérdidas de biomasa aplicable a sistemas de cultivo agroforestales. La biomasa total es el resultado de la suma de la biomasa aérea y abajo del suelo.

Sobre la base de los datos en la ficha, la cantidad de CO₂ de secuestro de la renovación y rehabilitación de plantaciones de cacao es de 2.6 toneladas de CO₂/ha/año. En el caso de SAF con maderables, el secuestro medio es de 13.4 toneladas de CO₂/ha/año. El secuestro adicional de estas dos medidas se ha añadido al escenario de referencia para la categoría 3B2aiii del IPCC. El potencial total de mitigación de estas medidas se estima en 165 Gg CO₂-eq/año en 2030.

Tabla 50. Reducción emisiones medida mitigación cacao.

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reducciones [GgCO ₂ -eq]	128	0	155	156	158	159	160	161	162	163	164	165

Fuente: elaboración propia.

d) NAMA Panela

Descripción

La NAMA Panela busca apoyar intervenciones para reducir la producción de GEI a través de transferencias de tecnología alternativa, mejoras en las prácticas de producción de panela, la restauración de sistemas naturales, el desarrollo de capacidades y la validación de un monitoreo, reporte y verificación para el sistema productivo. En el componente asociado al cultivo, la NAMA busca incentivar el uso eficiente de fertilizantes sintéticos, la disminución de las quemadas, así como menor gasto energético en el laboreo del suelo. Adicionalmente se asocia un componente de restauración de plantaciones forestales aledañas a las zonas de producción panelera. Se tiene prevista la reconversión ecológica de 1500 trapiches con 800 ha de restauración como compensación a la deforestación histórica.

Estructuración en LEAP

Para AFOLU sólo se tiene en cuenta la restauración de la tierra, los demás componentes de la NAMA se describen en la sección de tratamiento de aguas residuales y en la de demanda energética del sector agricultura y pesca. A la fecha, no se dispone de más información para modelar la reducción del uso de fertilizantes y la quema de residuos de cultivos en la producción de caña panelera. Según la NAMA Panela, se restaurarán 800 ha y se plantarán 80 ha de bosque por año a partir de 2021. En términos de coherencia para desarrollar el ejercicio, los factores de secuestro de carbono para la restauración se alinearon con los valores de LEAP desde el escenario de referencia. Las áreas adicionales de restauración (acumuladas de 80 ha en 2021 a 800 ha en 2030) se añadieron a la categoría IPCC 3B1bi (Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales). Debido a que la producción de panela se está llevando a cabo principalmente en la Zona Andina, se tomó esta región para obtener los datos utilizados en el ejercicio. Basado en los datos del escenario de referencia, la ganancia media de biomasa para la forestación (restauración) en la Zona Andina es de 14.8 toneladas de CO₂/ha/año. Para los suelos este valor es de aproximadamente 8.2 toneladas de CO₂/ha/año y para MOM 0.4 toneladas CO₂/ha/año. El potencial de mitigación de esta parte de restauración de la NAMA Panela es de aproximadamente 21 Gg CO₂-eq/año en 2030. Este potencial de mitigación no incluye medidas en relación a energía y tratamiento de aguas residuales.

Tabla 51. Reducción emisiones medida mitigación NAMA panela

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reducciones [GgCO ₂ -eq]	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	18.9	21.0

Fuente: elaboración propia.

e) Arroz

Descripción

El método AMTEC es un modelo de transferencia de tecnología basado en la sostenibilidad y la responsabilidad social que propende por la organización, la competitividad y la rentabilidad del productor, implementando tecnologías en forma integral masiva para aumentar los rendimientos y reducir los costos de producción en el cultivo del arroz. El método incluye las siguientes medidas:

1. Manejo de consumo volumétrico de agua: Reducir la profundidad de la lámina de agua en arrozal AWD (Alternate Wet-Dry) (reducción de CH₄)
2. Reducción de uso de fertilizantes de sistema productivo: Menor densidad de siembra requiriendo menos fertilizantes. La densidad de siembra del cultivo está relacionada con el uso de fertilizantes nitrogenados por unidad de área (reducción en N₂O)
3. Manejo de residuos de cosecha: Descomposición de residuos en lugar de quema física incluyendo labranza mínima y aprovechamiento del tamo (menos materia orgánica en agua para producción de CH₄ incrementando la cantidad de carbono en suelo).

Estructuración en LEAP

Aunque en la descripción del método AMTEC Arroz se incluyen acciones de la gestión de la lámina de agua y la gestión de residuos de cultivos, no se desagregaron datos de actividad para estas dos acciones, por lo cual, la modelación en LEAP solo incluyó acciones de reducción en el uso de fertilizantes, y las emisiones N₂O relacionadas, mas no la reducción de emisiones de CH₄ del arroz. El área donde se implementa AMTEC aumenta del 55% en 2015 al 80% en 2030. El ahorro de fertilizante N aumenta de 4200 toneladas N en 2015 a 15200 toneladas N en 2030. Este número se ha deducido del escenario de referencia en LEAP, y la reducción de emisiones relacionada se ha calculado automáticamente basada en estos datos. El potencial de mitigación del ahorro de fertilizantes N como parte de la medida AMTEC Arroz se estima en 84 Gg CO₂e para 2030.

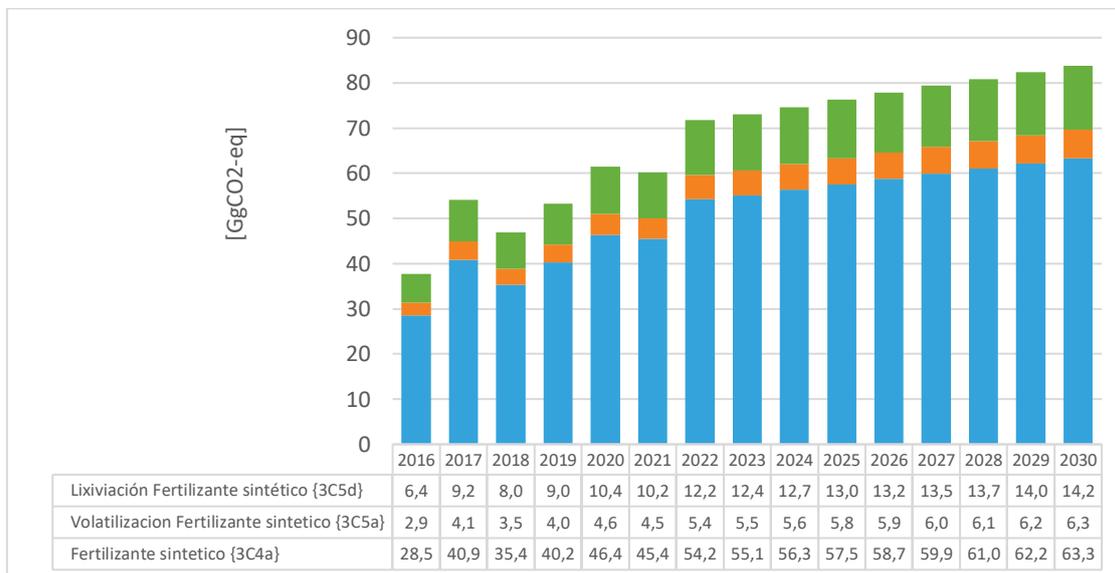


Figura 43. Reducción de emisiones medida mitigación arroz.

Fuente: elaboración propia.

2. Usos de la tierra (3B)

Todas las medidas de mitigación consideradas para el uso de la tierra y la silvicultura se concentran en cambios en los datos de la actividad. Las medidas de mitigación incluyen:

- Aumento de la restauración ecológica: la restauración de bosques y la reforestación de nuevos bosques se incrementará en comparación con el escenario base.
- Reducción de emisiones por deforestación: se reducen las tasas de deforestación siguiendo las ambiciones incluidas en el NREF.
- Plantación forestal comercial: mayor establecimiento de plantaciones forestales en áreas que no eran bosques antes de la plantación.

Para estas medidas, todos los demás parámetros, como los factores de emisión y absorción para diferentes regiones y los cambios en el uso de la tierra, siguen siendo los mismos que en el escenario de referencia. En las fichas solo se consideran las áreas totales. Sin embargo, la distribución relativa de estas áreas totales en las regiones Amazónica, Andina, Caribe, Orinoquía y Pacífico y cambios de uso de suelo es la misma que para el escenario de referencia. Por ejemplo, si en el escenario de referencia la deforestación a tierras de cultivo en la región Andina contribuye con el 10% del área total de deforestación, también contribuye con el 10% del área total de deforestación en el escenario de mitigación.

a) Restauración Ecológica

El Plan Nacional de Restauración 2015-2035 (PNR 2015) tiene como objetivo restaurar 1.000.000 de hectáreas para el 2035. Esta medida de mitigación busca incrementar el número de hectáreas en restauración ecológica para el 2030 de acuerdo con el PNR. Además, se evalúa el efecto de un escenario M3 de gran ambición. En este escenario M3 a partir de 2023, la tasa de forestación anual es de 68684 ha /año (era 31297 ha / año en M1).

Durante los primeros 20 años después de la reforestación o forestación, los aumentos de las existencias de carbono en el bosque en crecimiento y las absorciones asociadas de CO₂ se informan en la sub-categoría 3B1aii (Tierras forestales que permanecen como tales (Cambio de existencias)) y la categoría 3B1b (Tierras convertidas en tierras forestales). Después de estos 20 años, las unidades de tierra se registran en Tierras forestales que permanecen como tales (Bosque natural) (categoría 3B1ai) para las cuales se asume que no hay incrementos netos en las reservas de carbono. Si bien este supuesto puede ser correcto para los bosques maduros, debe considerarse una estimación conservadora para las unidades de tierra reforestada.

Para el 2030, las absorciones en M1 ascienden a 14,066 Gg de CO₂, las cuales representan 10404 Gg más que en el escenario de referencia (Figura 44, Tabla 52) y en M3 aumentan aún más a 20599 Gg de CO₂ constituyendo 16937 Gg más que en el escenario de referencia (Figura 44, Tabla 52).

Tabla 52. Aumento de las tasas de absorción para el escenario de mitigación restauración ecológica (Gg CO₂)

Escenario	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
M1	1022	2173	2562	3103	4162	5231	6313	6807	7310	7819	8328	8844	9359	9882	10404
M3	1022	2173	2562	3103	4162	5231	6313	7624	8944	10269	11594	12927	14258	15598	16937

Fuente: elaboración propia.

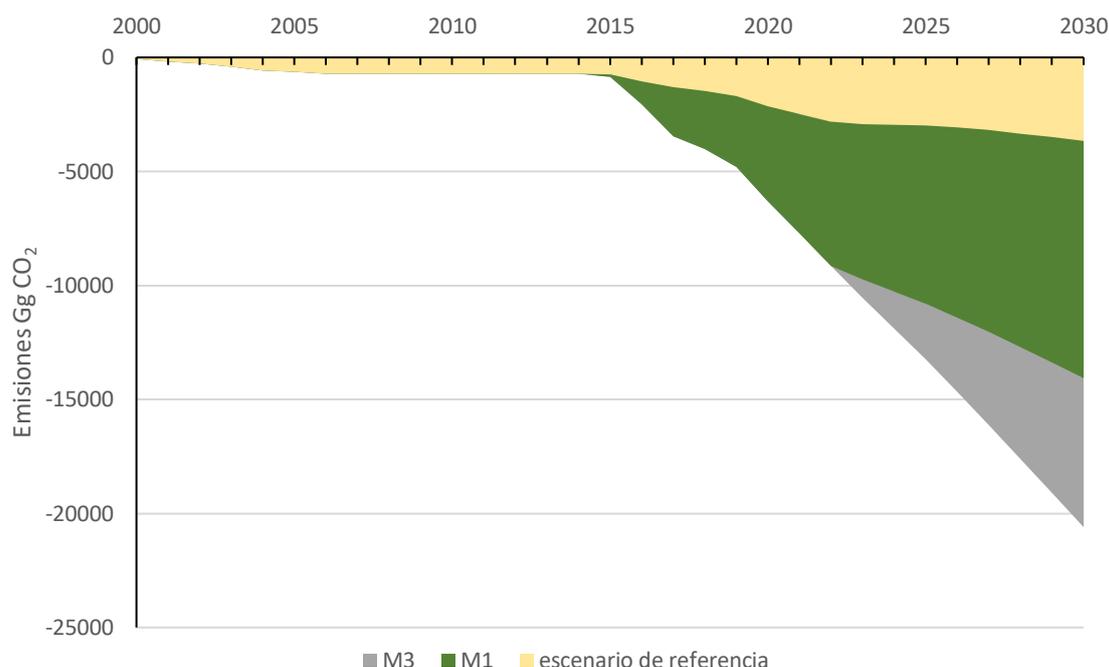


Figura 44 Emisiones por restauración ecológica (Gg CO₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional de los escenarios de mitigación M1 y M3. Las emisiones negativas se relacionan con las absorciones, que son mayores en el M1 que en el escenario de referencia. Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MinAmbiente.

En LEAP, las emisiones y absorciones netas calculadas por subcategorías de uso del suelo, por región y por reserva de carbono se incluyen de forma similar como en el escenario de referencia.

b) Reducción de emisiones por deforestación

La medida de reducción de emisiones por deforestación es una medida de responsabilidad intersectorial. Para estimar la mitigación de emisiones asociadas a reducciones en la deforestación se elaboran dos escenarios de mitigación. El M1 y, además, un escenario M3 con mayor ambición. En el escenario M1, el área anual de deforestación disminuye a 150 kha/año en 2022 y luego disminuye linealmente hasta 96 kha/año en 2030 (según el NREF). El M3 para la deforestación significa que para 2025 se incluye una ambición adicional de reducir el área deforestada a 100 kha/año, que luego disminuye linealmente a aproximadamente 50 kha/año en 2030.

Para el 2030, las emisiones netas por deforestación en el escenario M1 disminuyen a 45,414 Gg CO_{2-eq}, lo cual representa 41,969 Gg menos que en el escenario de referencia (Figura 45) y en M3 se reduce aún más a 28,200 Gg CO_{2-eq} constituyendo 59,183 Gg CO_{2-eq} menos que en el escenario de referencia (Tabla 56).

Tabla 53. Reducción emisiones medida de reducción de emisiones por deforestación (Gg CO₂)

Escenario	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
M1	0	0	0	15128	19035	22430	25219	29602	33280	36243	38513	40140	41198	41776	41969
M3	0	0	0	15128	19035	22430	25219	33728	41535	48614	51904	54528	56558	58079	59183

Fuente: elaboración propia.

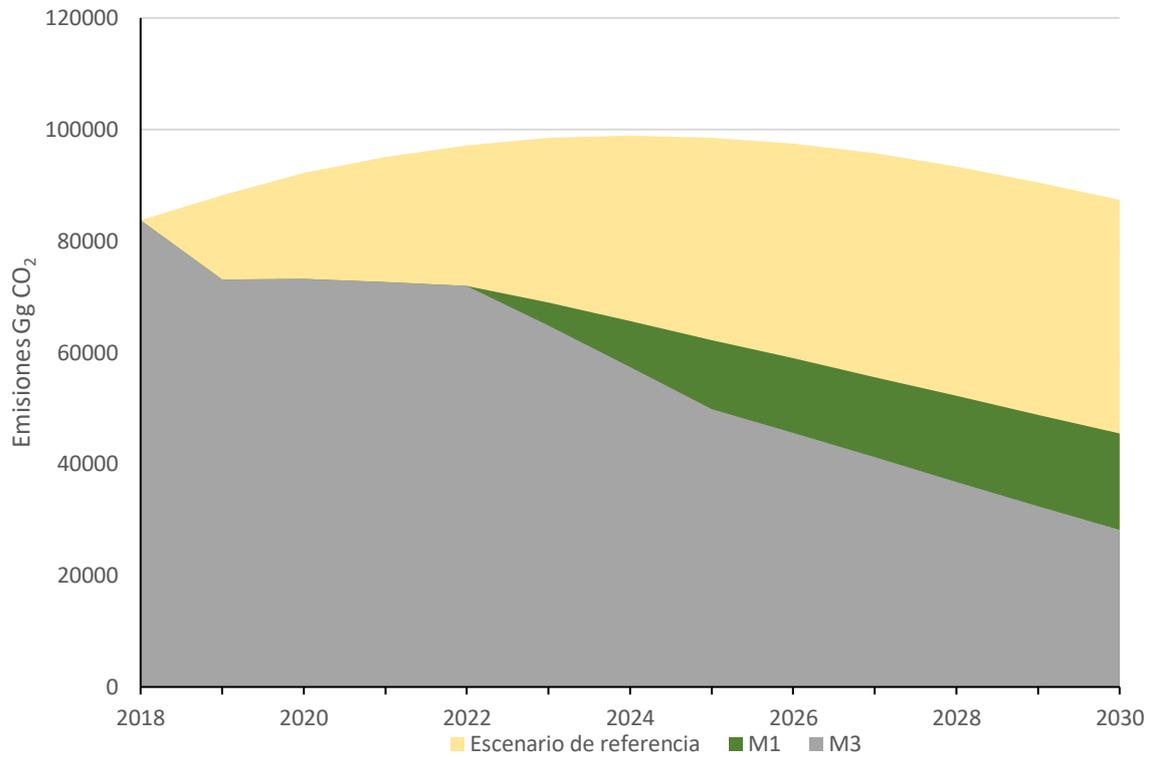


Figura 45 Emisiones por deforestación (Gg CO₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional de los escenarios de mitigación M1 y M3.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MinAmbiente.

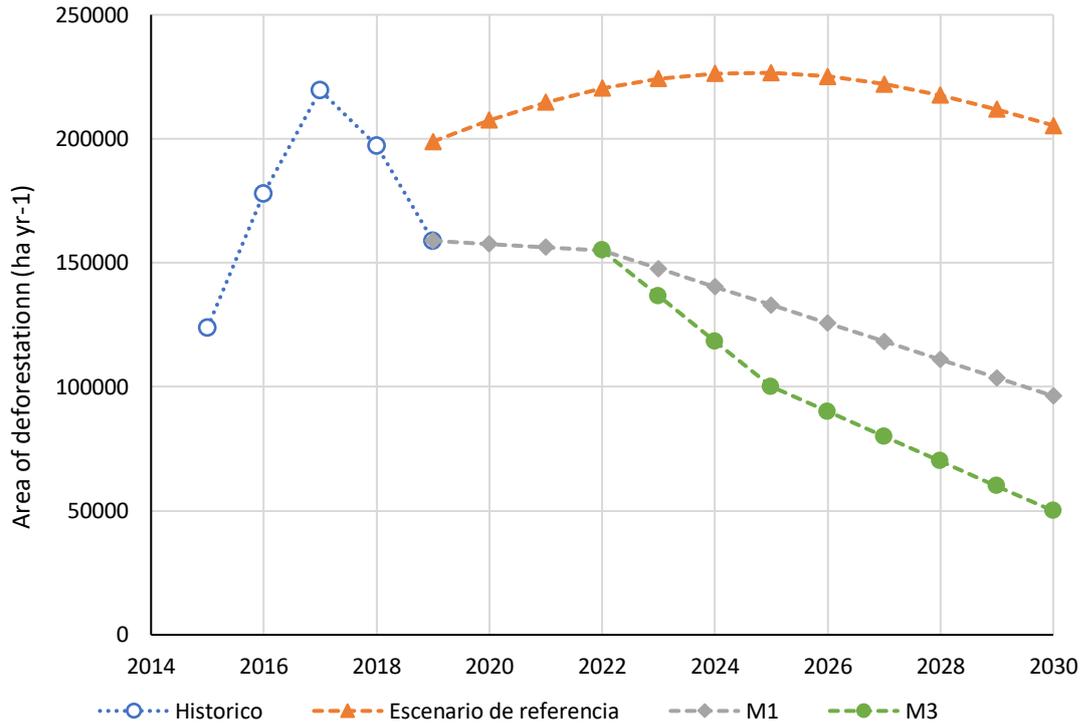


Figura 46 Áreas de deforestación (ha yr⁻¹) en el escenario de referencia y por los escenarios de mitigación M1 y M3.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MinAmbiente.

c) Plantación forestal comercial

En el escenario de mitigación de 2021 en adelante, la tasa de establecimiento de plantaciones forestales comerciales en áreas que no eran bosques antes de la plantación aumenta en 15466 ha por año en comparación con el escenario de referencia (11835 ha / año).

Para el 2030, las absorciones en M1 ascienden a 13880 Gg de CO₂, que es 10336 Gg más que en el escenario de referencia (ver Figura 47).

Tabla 54. Reducción emisiones medida plantaciones forestal comercial(Gg CO₂)

Escenario	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
M1	197	635	198	783	1176	1946	2762	3562	5217	5581	6631	7460	8724	9429	10336

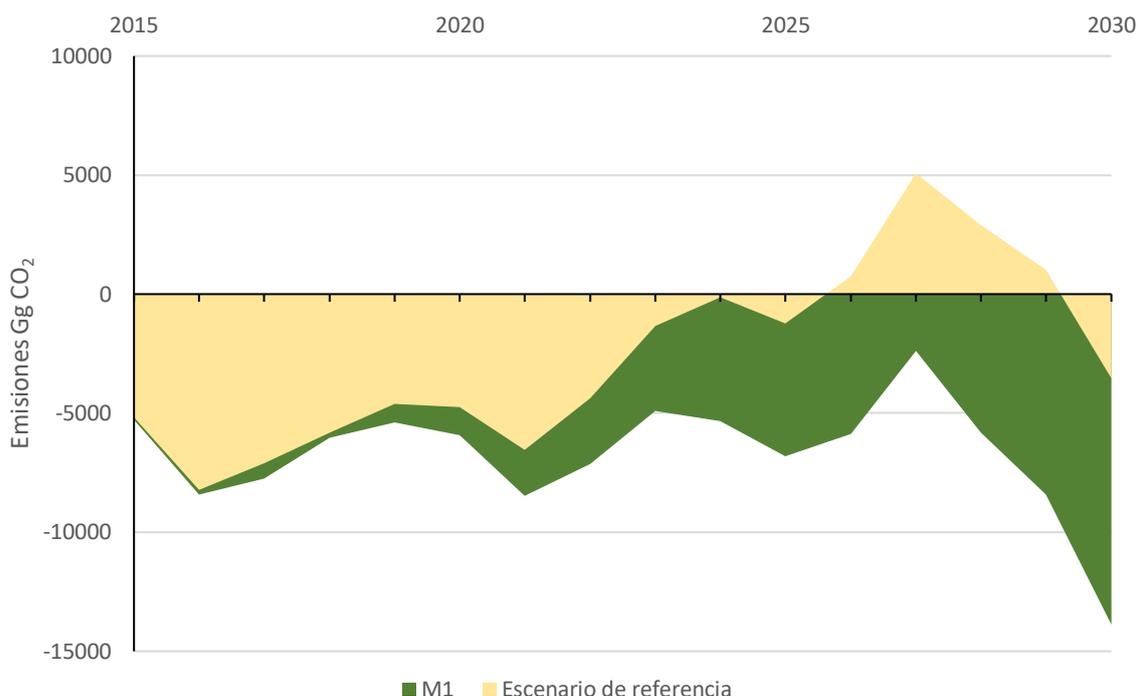


Figura 47 Emisiones por establecimiento de plantaciones forestales comerciales en áreas que no eran bosques antes de la plantación (Gg CO₂) en el escenario de referencia y el efecto adicional del escenarios de mitigación M1. Nótese que las emisiones negativas se relacionan con las absorciones, que son mayores en el M1 que en el escenario de referencia.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MADS.

Las emisiones alcanzan su punto máximo en 2027 porque, por coincidencia, un gran número de plantaciones llegarán al final de un ciclo de tala y serán cosechadas. Este momento depende del momento de la plantación y del ciclo de tala de la especie que se está recolectando.

Mensajes Finales

Ambición en mitigación:

Los análisis sugieren que el sector AFOLU cumpliría un papel fundamental para alcanzar las metas de la NDC, en particular la reducción de la deforestación. Esta medida recoge acciones de varios sectores, lo que exige el compromiso de una multitud de actores y factores que obedecen a la oferta y a la demanda sean considerados. De manera similar, será imperativo continuar con análisis que permitan un mejor entendimiento de los *drivers* de deforestación en el país para así poder generar e implementar los incentivos necesarios bajo un enfoque de sistemas de uso del suelo sostenibles. La ganadería también representa un subsector importante para alcanzar las metas de mitigación presentadas en este estudio. Los datos suministrados para la elaboración de este análisis de mitigación llevan a un escenario bastante optimista en relación a la implementación de las medidas incorporadas.

Información:

En gran medida, la información utilizada para desarrollar este estudio se apoyó en los datos generados para la formulación de las diferentes NAMAS que el país ha priorizado para el sector AFOLU. Es

importante considerar que dicha información se ha elaborado por una diversidad de instituciones y consultores que no siempre han considerado los mismos supuestos al interior de sus cálculos. Lo anterior dificulta una aproximación consistente que tenga en cuenta de manera holística consideraciones en relación al uso del suelo en el país. De igual manera, es importante continuar con la generación de información donde aún existen brechas como es el caso de arroz, uso de fertilizantes en panela y desagregación geográfica para las medidas de mitigación en relación a los usos de la tierra. En particular, para el análisis de arroz, no fue posible incluir acciones de la gestión de la lámina de agua y la gestión de residuos de cultivos debido a la falta de desagregación de los datos de actividad para estas dos acciones. Otro factor limitante en cuanto a la información se relaciona con el tema de costos para las medidas de mitigación del sector AFOLU. Dada la importancia de este sector para alcanzar la meta de mitigación del país, se sugiere reforzar esfuerzos para contar con costos claros que permitan tomar decisiones en cuanto a la implementación de las medidas de mitigación en el sector.

Metodología:

La metodología utilizada en este estudio se apoyó en el modelo LEAP para poder incorporar los diferentes sectores de la economía y tener una contabilidad coherente de las emisiones para los escenarios de referencia y mitigación. Sin embargo, es muy importante resaltar que LEAP no se desarrolló con el objetivo de poder modelar el sector AFOLU y por lo tanto la mayor parte de los ejercicios en relación a este sector fueron elaborados en hojas de Excel. Lo anterior cobra relevancia en el momento de actualizar los resultados del modelo LEAP ya que deberá tenerse en cuenta que para el sector AFOLU los cálculos no serán actualizados automáticamente.

Proceso:

El estudio se hubiera beneficiado de contar con más tiempo para revisar los datos suministrados por el MADR, MADS, IDEAM y las diferentes consultorías que aportaron los datos provenientes de las NAMAS. En algunas ocasiones emergieron grandes confusiones debido a la falta de claridad en los supuestos utilizados para llegar a los datos que fueron compartidos con nosotros. Al igual que para el caso de transporte, la metodología con respecto a construir primero un escenario de referencia y luego de manera aislada analizar las diversas medidas de mitigación generó confusión y limitó el alcance del ejercicio. La metodología para calcular el escenario de referencia debe ser consistente con la metodología utilizada para el desarrollo de los escenarios de mitigación.

F. Residuos

Se modelaron siete medidas de mitigación asociadas a la categoría IPCC 4. Residuos, las cuales son iniciativas del Ministerio de Vivienda (5 medidas) y el Ministerio de Agricultura (2 medidas). En la Tabla 55 se presentan las medidas de mitigación y los sectores que se ven afectados.

Tabla 55 Medidas de mitigación para el sector residuos.

Sector	Medida de Mitigación
Residuos Sólidos ¹⁶	Medida 1. Sistemas de Tratamiento Mecánico Biológico - TMB
	Medida 2. Captación, conducción y quema de biogás en rellenos sanitarios
	Medida 3. Aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios

¹⁶ La NAMA de residuos sólidos municipales se encuentra en proceso de evaluación del potencial de mitigación con acciones priorizadas en el PIGCCS. Cuando se cuente con mejor información esta podrá ser incorporada al modelo LEAP para la actualización de la NDC o en su reporte bienal.

Sector	Medida de Mitigación
	Medida 4. Reciclaje (papel, cartón, plástico, vidrio y otros inertes)
Aguas residuales	Medida 1: Gestionar y promover sistemas de captación, conducción, quema y aprovechamiento de biogás en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs)
	Medida 2. Tratamiento de aguas NAMA Café
	Medida 3. Tratamiento de aguas NAMA Panela

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por MinVivienda, MinAgricultura y MinAmbiente.

La información se tomó de las fichas de mitigación compartidas en Google Drive. En la mayoría de las medias, el objetivo se expresó en términos de actividad (i.e.: porcentaje de gas quemado en rellenos, porcentaje de reciclaje de materiales), mientras que otras medidas se expresaron en potencial de ahorro. Esta última metodología desasocia la reducción de datos de actividad o factores impulsores (i.e.: población), sin embargo se incluyen en modelo debido a que se expresó por parte los autores originales que obedece a potenciales técnicos obtenidos con visitas a campo, como por ejemplo la quema de metano en PTARs.

Fuentes de Información:

- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC VASB.xlsm
- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC_Reciclaje.xlsm
- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC Medios Implementación PANELA 06092020.xlsm
- FORMATO RASTREO DE MEDIDAS NDC Medios Implementación - café v4.xlsm
- Ajuste uso y aprovechamiento CH4 en rellenos.xls
- Aguas residuales domésticas.xls
- Ajuste residuos solidos.xls

En LEAP las medidas de mitigación se incluyeron modificando ciertos parámetros que influyen en cálculo de emisiones como son la cantidad de residuos sólidos o la cantidad de metano recuperado, los cuales se ven afectados por el objetivo definido para cada medida (ver Tabla 56). En el caso de aprovechamiento de metano, el biogás generado se vinculó al módulo de transformación, poniendo a disposición del sistema energético este nuevo recurso bien sea para autogeneración o generación conectada al SIN. Para el periodo indicativo a 2050 se mantienen los porcentajes y los potenciales definidos a 2030. Para el sector de desechos no se manejaron supuestos adicionales, esto debido a la estructura del modelo el cual permite usar porcentajes que afectan el nivel de actividad, siendo este la cantidad de desechos que se depositan en los rellenos sanitarios, la cantidad tratada en tratamiento biológico mecánico (componente comida y jardín), la cantidad de plástico y papel que se recicla y no alcanza a llegar a los rellenos sanitarios, el porcentaje de metano capturado y quemado o aprovechado, la distribución de tratamiento de las aguas residuales o la cantidad de emisiones de metano reducidas en el tratamiento de aguas residuales industriales. El componente de tratamiento de aguas residuales incluido en la NAMA Panela no se incluye en el modelo debido a que la información no estaba disponible al momento de la modelación de las medidas de mitigación. Los valores específicos para cada año se consignan en las fichas de las medidas de mitigación y los archivos Excel de actualización que se recibieron por parte de los ministerios y que se anexan a este documento (Anexos mitigación\F.Residuos) .

Tabla 56 Objetivos propuestos por medida de mitigación en el sector residuos.

Medida de Mitigación	Parámetro afectado en LEAP	Unidad	Objetivos		
			2020	2025	2030

Sistemas de Tratamiento Mecánico Biológico	Cantidad de residuos sólidos (comida y jardín)	[%]	1%	3%	5%
Quema de biogás en rellenos*	Recuperación metano	[%]	-	1%	2%
Quema de biogás en relleno sanitario Doña Juana	Recuperación metano	[%]	17%	21%	26%
Aprovechamiento de biogás	Uso metano	[%]	-	-	-
Aprovechamiento de biogás en relleno sanitario Doña Juana	Uso metano	[%]	0%	0.40%	0.6%
Reciclaje (papel, cartón, plástico, vidrio y otros inertes)	Cantidad de residuos sólidos (componentes reciclados)	[%]	2%	8%	14%
Gestión de biogás en PTARs	Distribución de tratamiento de aguas por tecnología (nivel nacional)	[%]	1%	2%	3%
Tratamiento de aguas NAMA Café¹⁷	Recuperación metano	[GgCO ₂ e]	0.0005	0.00136	0.00456
Tratamiento de aguas NAMA Panela	Recuperación metano	[GgCO ₂ e]	-	-	-

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y MinAmbiente.

En LEAP se incluyó desde el modelamiento del escenario de referencia la modelación individual de 43 rellenos sanitarios para la categoría (4A1) y zonas climáticas para otras categorías (4A2, 4B). Esto permitió que estas medidas se enfocaran en rellenos y zonas específicas, como muestra la Tabla 57. Esto se ve reflejado en un cambio de actividad al nivel del tipo de desecho (i.e.: plástico, papel, comida). En el caso de tratamiento biológico se reduce la cantidad de residuos que llega a los rellenos sanitarios y aumenta la cantidad tratada para compostaje, tomando únicamente los componentes comida y jardín de cada relleno que se ve afectado. De la misma manera, debido a la medida de reciclaje, se tiene únicamente en cuenta papel, plástico, y otros inertes, disminuyendo la cantidad de residuos que se depositan finalmente en los rellenos sanitarios incluidos en dicha medida. Los resultados agregados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero se presentan en la Tabla 60.

Tabla 57 Rellenos incluidos en medidas de mitigación de gestión de biogás y reciclaje.

Relleno Sanitario	Gestión Biogás	Tratamiento Biológico	Reciclaje
Parque ambiental la Pradera	X	X	X
Parque ambiental Loma de los cocos	X	X	X
Parque ambiental los Pocitos	-	X	-
Parque ecológico Reciclante	X	-	X
Parque industrial la Miel	X	-	X
Relleno sanitario Doña Juana	X	X	X
Relleno sanitario Andalucía	X	-	X
Relleno sanitario Antanas	X	-	X
Relleno sanitario el Carrasco	X	X	X
Relleno sanitario el Oasis	X	-	X
Relleno sanitario Guayabal	X	X	X
Relleno sanitario la Esmeralda	X	-	X
Relleno sanitario la Glorita	X	X	X
Relleno sanitario Loma grande	X	X	X
Relleno sanitario los Corazones	X	-	X
Relleno sanitario nuevo Mondoñedo	X	X	X
Relleno sanitario Pírgua	X	-	X
Relleno sanitario regional Colomba el Guabal	X	X	X

¹⁷ NAMA Panela y NAMA Café incluidas en tratamiento de aguas residuales industriales

Relleno Sanitario	Gestión Biogás	Tratamiento Biológico	Reciclaje
Relleno sanitario Palangana	X	-	X
Relleno sanitario Presidente	-	X	-
Antioquía (4A1b)	-	-	X

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y con validación MinAmbiente y MinVivienda.

Le penetración de la medida de tratamiento biológico mecánico sigue la ruta indicada en la Tabla 58. Los únicos rellenos que inician en 2020 son Doña Juana y Parque Ambiental la Pradera, los otros rellenos sanitarios inician a aplicar esta medida en 2025.

Tabla 58. Trayectoria implementación medida tratamiento biológico mecánico.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Implementación	1.0%	1.4%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y con validación MinAmbiente y MinVivienda.

Tabla 59. Implementación tratamiento mecánico biológico por relleno sanitario.

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA	1.0%	1.4%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
PARQUE AMBIENTAL LA PRADERA	1.0%	1.4%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO REGIONAL COLOMBA-EL GUABAL	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
PARQUE AMBIENTAL LOS POCITOS	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
PARQUE AMBIENTAL LOMA DE LOS COCOS	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO NUEVO MONDOÑEDO	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO EL CARRASCO	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO GUAYABAL	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO LA GLORITA	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO PRESIDENTE	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%
RELLENO SANITARIO LOMA GRANDE	-	-	-	-	-	3.0%	3.4%	3.8%	4.2%	4.6%	5.0%

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM y con validación MinAmbiente y MinVivienda.

El cambio en la participación de sistemas anaeróbicos con recuperación de metano en la medida “Gestión metano PTARs” se debe al incremento en la capacidad de tratamiento, el cual se da en diferentes fases:

- **2020:** Inicio de operación de PTAR Aguas Claras en el AMVA, que complementa la cobertura de la PTAR San Fernando.
- **2021:** Entrada en operación de PTAR Salitre Fase II (complementaria a la Fase I de PTAR Salitre) en Bogotá.
- **2023 y 2025:** Inicio de operaciones de 4 PTAR incluidas en el programa SAVER del MVCT.

- **2026:** Inicio de operación de la PTAR Canoas, que completa el tratamiento de aguas residuales de Bogotá llegando al 100% junto con la PTAR Salitre (Fase I y II); y 100% de cobertura de la población del municipio de Soacha.

Tabla 60 Resultados de las medidas de mitigación de residuos.

Medida	Mitigación (Gg CO ₂ e)		
	2030	2015-2030	2015-2050
Aprovechamiento de biogás en rellenos	20.0	376	605
Gestión metano en PTARs	17.9	122	504
Quema de biogás en rellenos	997.6	20,255	31,763
Reciclaje de papel plástico y vidrio	159	3,290	5,975
Sistemas de Tratamiento Mecánico Biológico	137	505	5,732
Tratamiento aguas residuales café y panela	5	76	122

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM, MinVivienda, MinAgricultura, y MinAmbiente.

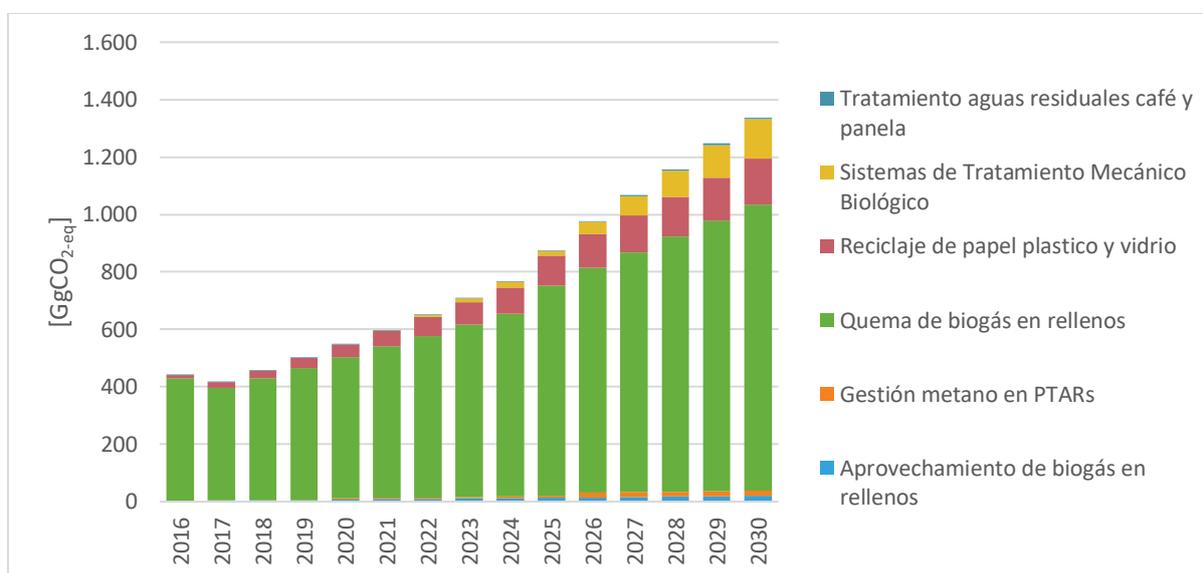


Figura 48 Reducciones agregadas para sector residuos.

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por IDEAM, MinVivienda y MinAmbiente.

Mensajes Finales

- **Ambición en mitigación:** Las medidas de mitigación incluidas logran obtener una disminución de emisiones del 5%, la cual dista del 20% en 2030 que se planteó inicialmente a nivel nacional en la NDC vigente. La ambición de las medidas refleja la información disponible y se prevé que aumente con información que los ministerios están recopilando y validando al momento de elaborar este documento. Este sector depende directamente del crecimiento poblacional, por ende, las actividades de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales, si bien son limitadas, deben prever el crecimiento de la actividad y contemplar medidas lo suficientemente ambiciosas para mantener el impacto a largo plazo (2050). Además de vincular de forma más directa el uso de los residuos en generación de energía o en una economía circular, minimizando así el uso de energía convencional.

- **Información:** La información suministrada para la modelación de estas medidas ha sido actualizada parcialmente, principalmente los objetivos de reciclaje, quema de metano en rellenos y la distribución de tratamiento de aguas. Al momento de la modelación de las medidas de mitigación en LEAP, se expresó por parte del Ministerio de Vivienda qué información actualizada y más confiable iba a estar disponible como producto de trabajos propios y otras consultorías. Esta información puede enriquecer el modelo y por ende los resultados aquí obtenidos. Como es el caso de la cantidad de biogás usado para producir energía eléctrica y la capacidad de dicha planta de generación asociada a ciertos rellenos sanitarios.
- **Metodología:** La metodología implementada en LEAP permite una contabilidad a nivel de relleno y componente de residuos, esto facilitó que el reciclaje de papel, plásticos e inertes afectara únicamente la cantidad de residuos asociada a estas categorías. Este fue el mismo caso del tratamiento mecánico de componentes biológicos. Finalmente, el nivel de detalle en el modelo permite la inclusión de diferentes medidas de mitigación, realizando diferentes niveles de diferenciación.
- **Proceso:** Debido a que los residuos depositados en los diferentes rellenos y/o zonas climáticas es una variable externa y no vinculada a variables principales (población nacional, PIB) es pertinente que en los procesos de mitigación se valide que estas variables completamente exógenas al modelo no se ven afectadas.

IV. Anexos

A. Emisiones por categoría IPCC para escenario de referencia [Gg CO₂].

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	86,672	88,596	106,469	124,803
i{2} IPPU	9,424	10,665	14,537	18,407
i{3} AFOLU	117,937	170,436	186,447	174,500
i{4} Residuos	19,553	21,600	25,244	28,091
Total	233,586	291,297	332,697	345,801

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

B. Emisiones por categoría IPCC para escenario M1 [Gg CO₂].

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	89,690	87,245	94,988	107,570
i{2} IPPU	9,424	10,655	13,872	16,787
i{3} AFOLU	117,684	146,081	134,034	98,822
i{4} Residuos	19,551	21,084	24,450	26,882
Total	236,350	265,065	267,344	250,061

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

C. Emisiones por categoría IPCC para escenario M3 [Gg CO₂].

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	89,099	87,102	92,817	100,017
i{2} IPPU	9,424	10,655	13,872	16,787
i{3} AFOLU	117,684	146,042	118,941	74,644
i{4} Residuos	19,524	20,951	24,233	26,252
Total	235,732	264,751	249,863	217,700

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

D. Potencial por medida de mitigación a 2030 – M1.

Ministerio - Responsable	MEDIDA	2030 [GgCO _{2eq}]
Gobiernos locales	TRA Bog_ Metro	91
	TRA Bog_ Tren	88
Intersectorial	Impuesto al Carbono	734
	Reducción de la deforestación	41,809
MinAgricultura	AMTEC Arroz	84
	Cacao	165
	Eficiencia Agricultura	80
	NAMA Café	284
	NAMA Ganadería	11,151
	NAMA Panela	21
	Plantaciones Forestales	10,336
	Tratamiento aguas residuales café y panela	5
MinAmbiente	Distritos Térmicos {Energía}	19
	Estufas de leña eficientes	1,564
	NAMA Neveras {Energía}	3,143
	Restauración Ecológica	10,404
	Uso productos sustitutos HFC	845
MinEnergía	Compresores de viga	321
	Diversificación Capacidad Generación	3,917
	Eficiencia Energética Refinerías	639
	Eficiencia energética minería	1
	Eficiencia generadores térmicos	1,197 ¹⁸
	Gestión de la demanda	1,497
	Optimización en el uso de glicol	69
MinIndustria	Recuperación en tanques de almacenamiento	3
	Cemento sostenible	710
	Desarrollo Ladrilleras	192
	Eficiencia industria	1,376
	Industria química	600
MinTransporte	Sustitución industria	882
	TRA Logística	1,478
	NAMA_TOD	159
	TRA Aviación	12
	TRA Carga 2	1,028
	TRA Move 1	2,886
	TRA Rio	197
	TRA Tandem	126
TRA Tren	112	
MinVivienda	Aprovechamiento de biogás en rellenos	20
	Gestión metano en PTARs	18
	Quema de biogás en rellenos	998
	Reciclaje de papel plástico y vidrio	159
	Resolución 0549	94
	Sistemas de Tratamiento Mecánico Biológico	137
TOTAL		99,651

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

¹⁸ En generación eléctrica, los potenciales individuales de cada medida de mitigación puede variar cuando se combina con otras, debido a la respuesta de sistema eléctrico para ajustarse a características de despacho o a demanda diferentes.

E. Potencial adicional por medida de mitigación a 2030 – M3.

MEDIDA	Incremento Ambición	Potencial respecto al escenario referencia [GgCO2e]	Aumento respecto a M1 [GgCO2e]
Mayor Ambición Alumbrado Público	De 0% a 25% luminarias LED a 2030	27	27
Mayor Ambición Aprovechamiento biogás rellenos	De 0% a 3% en 2030 20% adicional en Doña Juana a 2030	220	200
Mayor Ambición Eficiencia Industria	Mayor tasa de penetración de mejor eficiencia Ver sección Industria	3,159	1,794
Mayor Ambición Estufas Leña ¹⁹	De 770,000 a 1,077,000 estufas eficientes en 2030	2,292	728
Mayor Ambición Generación Eléctrica ²⁰	Mayor penetración de FERNC Ver sección generación eléctrica	8,070	4,153
Mayor Ambición Gestión biogás PTARs	Aumento participación digestor anaeróbico con recuperación en (de 3.9% a 5%) en urbano con alcantarillado y 10% a 2050.	22	4
Mayor Ambición Quema biogás rellenos	De 2% a 4% a 2030 y 10% a 2050 25% adicional en relleno sanitario Doña Juana a 2030	1,345	347
Mayor Ambición Reciclaje	De 15% a 22% a 2030 y 50% a 2050 en reciclaje de papel, vidrio, plástico y otros inertes.	186	26
Mayor Ambición Reducción Deforestación ²¹	Objetivo de 50kHa en 2030. En M1 el objetivo es 94kHa.	58,691	16,882
Mayor Ambición Resolución 0549	Inclusión de Vivienda VIS e implantación de la resolución 100% de viviendas nuevas a partir de 2022.	102	8
Mayor Ambición Restauración Ecológica ²²	Ver sección AFOLU	16,937	6,533
Mayor Ambición Sustitución Industria	Mayor tasa de sustitución de combustibles fósiles . Ver sección Industria.	1,436	553

¹⁹ Medida de mitigación acogida por Min Ambiente para su incremento de ambición para la NDC (1,077,000 estufas de leña eficiente a 2030).

²⁰ Medida de mitigación acogida por Min Energía para su incremento de ambición para la NDC incrementando la participación de FERNC. Este potencial recoge la integración de las medidas propuestas en generación eléctrica, y la interacción de las mismas con otras medidas de mitigación que puedan afectar la demanda de electricidad.

²¹ Medida de mitigación acogida por de forma intersectorial para su incremento de ambición para la NDC. Objetivo de 50 kHa para la reducción de la deforestación en 2030.

²² Medida de mitigación acogida por Min Agricultura para su incremento de ambición para la NDC.

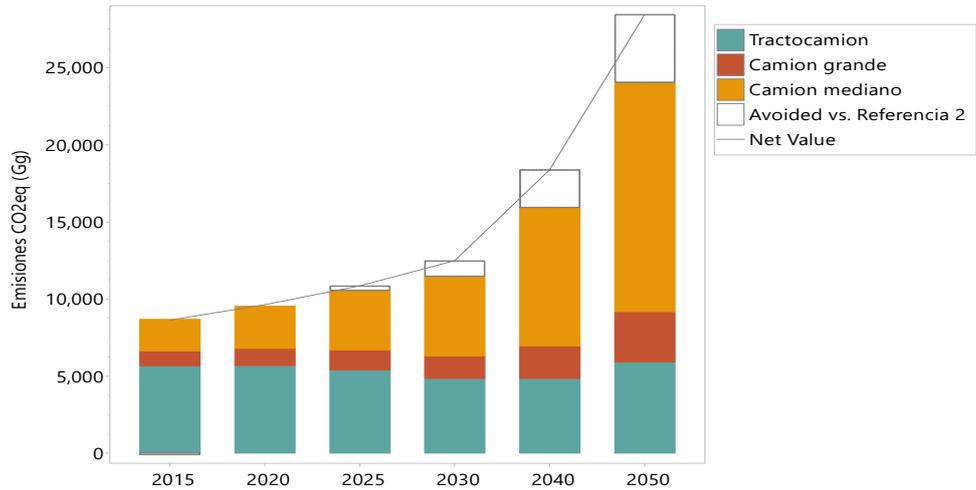
Mayor Ambición Tratamiento Mecánico	De 9% a 15% en 2030, y 30% en 2050, para la cantidad de residuos tratados e los rellenos sanitarios seleccionados.	215	78
Mayor Ambición distritos térmicos	20% mayor capacidad distritos nuevos (100 % eléctricos)	23	4
Mayor ambición NAMA Neveras	Alcanzar el 100% de neveras más eficientes en 2030 en lugar de 2035.	3,982	838
NAMA_TOD 2	Partiendo del escenario con la Nama TOD se propuso un escenario de mayor ambición, teniendo en cuenta que esta Nama se podría escalar a más centros urbanos. La mayor diferencia es después de 2030. Se aumenta gradualmente para sustituir modos motorizados al 2050: 15% livianos, 8% taxis, 10% buses, 14% camiones medianos.	159	0.0002
TRA Move 2	En términos de actividad (VKTs) en 2030 no hay grandes diferencias respecto a la Nama Move 1, los principales cambios se observan entre 2030 y 2050. Se aumenta gradualmente para lograr en 2050 en modos eléctricos: 40% en livianos, 28% taxis, 46% en buses y 63% en camiones medianos.	2,932	46
TRA Tandem 2	Partiendo del escenario de la Nama Tandem se modeló un escenario de mayor ambición, teniendo en cuenta que esta Nama se podría escalar a más centros urbanos. Las principales diferencias respecto a la Nama Tandem se dan después de 2030. Se aumenta gradualmente para sustituir al 2050 en modos no motorizados: 10% livianos, 6% taxis, 30% motocicletas.	646	520

Fuente: elaboración propia a partir de información de ministerios y entidades del Gobierno Nacional de Colombia.

F. Información complementaria de medida del sector transporte

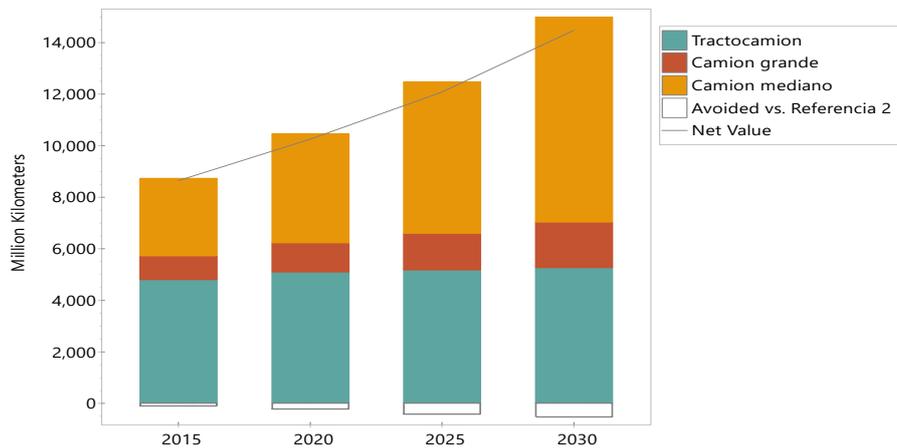
- **Programa de chatarrización y renovación del transporte de carga**

Esta medida se modeló considerando la tasa de renovación de la flota y su efecto sobre todo el *stock*, el efecto de la edad sobre la actividad vehicular, una mayor eficiencia en la carga transportada en los camiones nuevos respecto a los antiguos, y estándares de consumo de combustible mejores para toda la flota nueva como parte del programa. Los parámetros de modelación están en el escenario en LEAP y se presentan en los archivos de soporte de los escenarios de mitigación de transporte. Aquí se presentan algunos de los resultados más importantes de la medida.



Gráfica 1. Emisiones evitadas con la medida respecto al escenario de referencia.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.

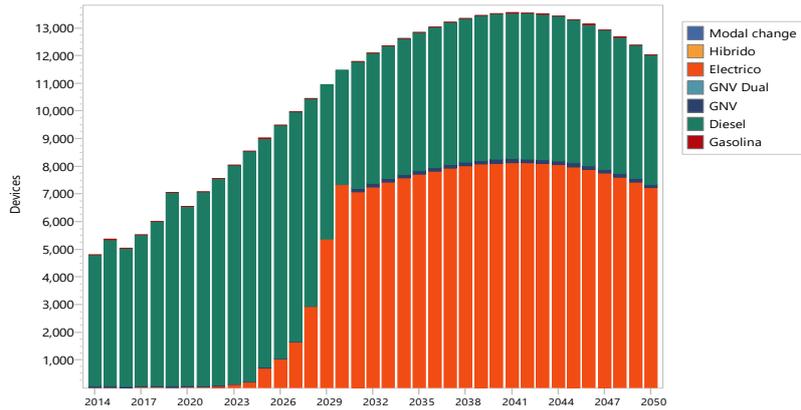


Gráfica 2. Diferencia en la actividad neta de la flota entre el escenario con medida y el de referencia.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.

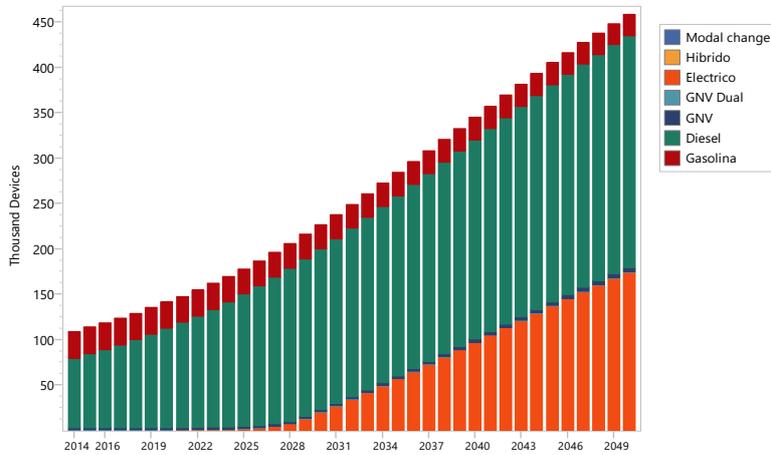
- **Nama Move 1**

Se presenta a continuación cómo cambian las ventas de flota anualmente con la medida y su resultado en el stock. Los parámetros de modelación están en el escenario en LEAP y se presentan en los archivos de soporte de los escenarios de mitigación de transporte.



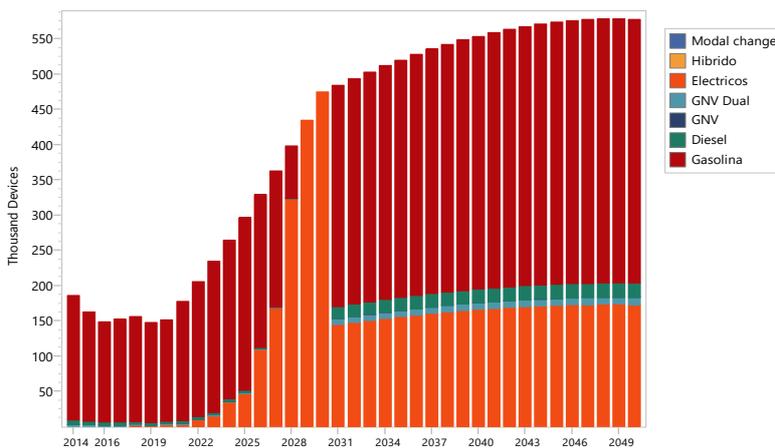
Gráfica 3. Ventas anuales de buses.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.



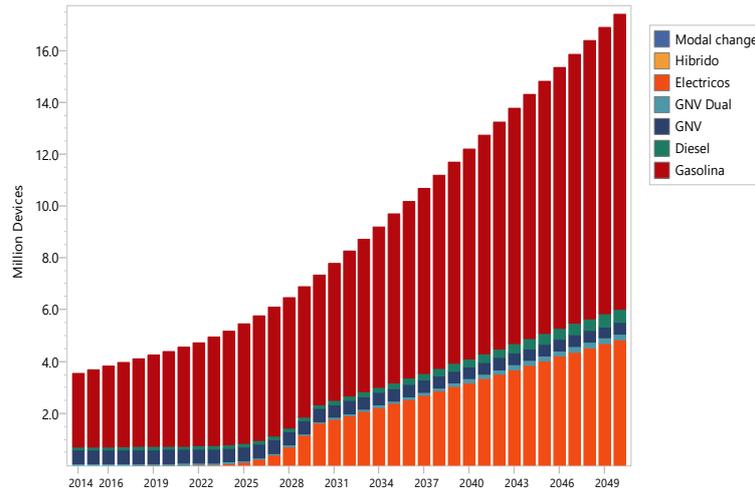
Gráfica 4. Stock de buses.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.



Gráfica 5. Ventas anuales de vehículos livianos de pasajeros.

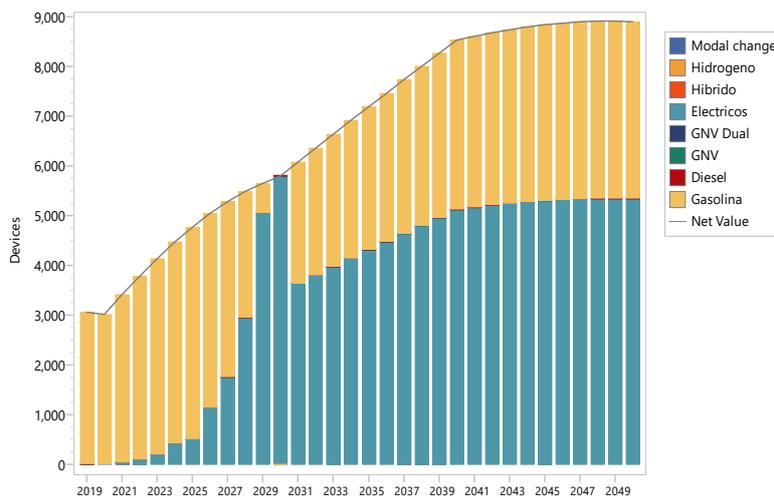
Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.



Gráfica 6. Stock de vehículos livianos de pasajeros.

La representación de esta medida en LEAP, al igual que el resto, y como se explicó en la metodología se basa en sustituir con electricidad los mismos VKTs que propone la ficha original. **Se presenta como ejemplo el segmento de livianos, que es la gráfica anterior:** En el escenario de referencia en LEAP en 2030 se tiene 1,37 millones de vehículos livianos eléctricos, con un factor de actividad promedio anual de 5.500 km/año-veh. Esto en actividad sustituida con electricidad es equivalente a tener 40.720 vehículos livianos oficiales con un factor de actividad de 20.874 km/año-veh más 400.000 vehículos livianos privados con un factor de actividad 16.740 km/año-veh. De esta manera se obtiene en LEAP la misma actividad neta sustituida y por lo tanto un potencial de mitigación muy similar respecto al presentado en la ficha. Para el año 2030 en la ficha se presenta un potencial de 4.2 millones de toneladas reducidas, en LEAP da 4.02 millones de toneladas reducidas, una diferencia del 5%. En el año 2030 la medida implica un aumento de demanda de electricidad por transporte de 9,765 TJ respecto al escenario de referencia.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.



Gráfica 7. Ventas anuales de taxis.

Fuente: Salida modelo LEAP Colombia.

G. Detalle de las emisiones de GEI escenario M1 por categoría IPCC

1. Emisiones anuales M1 por categoría IPCC 2015 - 2030

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO ₂ eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
TOTAL NACIONAL	236,355	249,330	281,177	276,860	284,440	265,066	264,729	267,674	270,030	268,203	267,346	266,199	268,748	261,394	258,316	250,063
1 - Energía	89,696	89,662	90,338	90,295	91,115	87,331	90,893	90,348	90,799	91,843	95,105	97,042	99,917	100,570	104,186	107,627
1.A Actividades de quema de combustible	78,812	79,048	79,777	79,585	80,465	76,078	79,765	79,619	80,332	80,865	84,668	87,188	90,582	91,602	95,312	98,901
1.A.1 Industrias de la energía	24,936	23,142	22,464	20,965	20,491	16,876	17,688	15,210	13,562	11,737	13,299	13,861	15,375	14,880	17,173	19,469
1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal	15,136	13,538	12,677	11,048	9,977	6,722	6,827	4,735	3,494	1,247	2,663	3,566	5,414	5,677	8,320	10,470
1A1ai Generación de electricidad	15,136	13,538	12,677	11,048	9,977	6,722	6,827	4,735	3,494	1,247	2,663	3,566	5,414	5,677	8,320	10,470
1A1ai1 Generación de electricidad (Sistema interconectado nacional)	14,918	13,319	12,459	10,831	9,759	6,504	6,608	4,515	3,274	1,026	2,441	3,343	5,190	5,452	8,093	10,242
1A1ai2 Generación de electricidad (Zona no interconectada)	218	219	218	217	218	218	219	220	220	221	222	223	224	225	227	228
1A1aii Generación combinada de calor y energía (CHP)	NO															
1A1aiii Plantas generadoras de energía (CHP)	NO															
1A1b Refinación de petróleo	2,717	2,296	3,167	3,269	3,454	3,303	3,303	3,303	3,302	3,302	3,302	3,302	3,303	3,303	3,303	3,303
1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	7,083	7,308	6,620	6,648	7,060	6,851	7,558	7,172	6,766	7,188	7,334	6,993	6,658	5,900	5,550	5,696
1A1ci Manufactura de combustibles sólidos	1,391	1,081	1,108	1,135	1,169	1,132	1,125	1,162	1,211	1,319	1,412	1,499	1,582	1,656	1,727	1,802
Coque	1,376	1,071	1,100	1,127	1,161	1,124	1,117	1,154	1,203	1,311	1,404	1,491	1,573	1,647	1,718	1,793
Carbón de leña	15	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9
1A1cii Otras industrias de la energía	5,692	6,227	5,512	5,513	5,891	5,719	6,433	6,010	5,555	5,869	5,922	5,494	5,076	4,244	3,823	3,894
1A1cii1 Otras industrias de la energía (Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural)	4,574	5,000	4,323	4,333	4,699	4,544	5,250	4,839	4,366	4,677	4,729	4,301	3,875	3,036	2,598	2,660
1A1cii2 Otras industrias de la energía (Producción de carbón)	1,118	1,227	1,189	1,180	1,192	1,175	1,183	1,171	1,189	1,192	1,193	1,193	1,201	1,208	1,225	1,234
1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción	12,563	13,068	13,591	14,096	14,345	12,901	14,180	14,989	15,685	16,309	16,872	17,379	17,849	18,286	18,719	19,160
1A2a Hierro y acero	619	730	685	637	637	573	633	678	717	751	781	807	831	855	878	902
1A2b Metales no ferrosos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1A2c Productos químicos	822	904	695	729	733	659	729	778	821	859	894	926	956	984	1,012	1,040
1A2d Pulpa, papel e imprenta	1,478	1,446	1,484	1,618	1,698	1,522	1,676	1,782	1,873	1,954	2,025	2,090	2,150	2,205	2,259	2,314
1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	2,415	2,593	2,744	2,757	2,822	2,508	2,739	2,887	3,010	3,111	3,195	3,265	3,324	3,375	3,422	3,469
1A2f Minerales no metálicos	4,537	4,819	4,173	4,127	4,139	3,708	4,081	4,336	4,556	4,748	4,919	5,075	5,217	5,348	5,474	5,604
1A2g Equipo de transporte	28	29	24	26	27	24	27	28	30	31	33	34	35	36	37	38
1A2h Maquinaria	97	91	121	128	126	113	125	133	140	146	152	157	161	166	170	174
1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	941	1,322	1,649	1,952	2,020	1,874	2,050	2,108	2,160	2,227	2,297	2,362	2,433	2,500	2,578	2,658
1A2j Madera y productos de la madera	28	20	21	19	18	16	18	19	20	21	22	23	23	24	25	25
1A2k Construcción	611	191	174	216	212	188	210	226	238	248	258	267	275	283	290	298

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1A2l Textiles y cueros	825	764	1,465	1,480	1,501	1,348	1,487	1,584	1,669	1,744	1,811	1,873	1,931	1,985	2,037	2,090
1A2m Industria no especificada	162	159	356	407	412	368	405	430	451	469	485	500	513	525	537	548
1.A.3 Transporte	33,455	34,978	35,648	36,274	37,204	37,904	39,167	40,415	41,796	43,258	44,671	45,859	47,012	47,836	48,568	49,159
1A3a Aviación civil	3,117	3,283	3,280	3,494	3,600	3,400	3,624	3,824	4,016	4,200	4,377	4,548	4,712	4,872	5,033	5,199
1A3aii Aviación de cabotaje	3,117	3,283	3,280	3,494	3,600	3,400	3,624	3,824	4,016	4,200	4,377	4,548	4,712	4,872	5,033	5,199
1A3b Transporte terrestre	29,378	30,676	31,458	32,032	32,795	33,694	34,615	35,696	36,897	38,101	39,274	40,307	41,313	42,037	42,640	43,025
1A3bi Automóviles	9,312	9,653	9,924	10,142	10,307	10,528	10,792	11,098	11,435	11,783	12,153	12,470	12,738	12,807	12,782	12,754
1A3bi1 Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	No detalles															
1A3bi2 Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	No detalles															
1A3bii Camiones para servicio ligero	1,553	1,681	1,731	1,743	1,762	1,808	1,891	2,008	2,132	2,263	2,401	2,546	2,697	2,854	3,016	3,186
1A3bii1 Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	No detalles															
1A3bii2 Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	No detalles															
1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses	14,297	14,826	14,998	15,203	15,623	16,025	16,371	16,813	17,355	17,900	18,399	18,814	19,268	19,661	20,049	20,237
1A3biv Motocicletas	4,216	4,516	4,805	4,944	5,103	5,333	5,561	5,777	5,975	6,155	6,321	6,477	6,610	6,715	6,793	6,848
1A3bv Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	NE															
1A3bvi Catalizadores basados en urea	NE															
1A3c Ferrocarriles	77	78	78	78	80	75	138	145	152	158	168	178	188	217	223	230
1A3d Navegación marítima y fluvial	420	464	381	252	260	246	262	277	323	333	341	363	384	406	427	449
1A3dii Navegación marítima y fluvial nacional	420	464	381	252	260	246	262	277	323	333	341	363	384	406	427	449
1A3e Otro tipo de transporte	463	477	451	418	469	489	528	473	408	466	511	463	415	304	245	256
1A3ei Transporte por gasoductos	463	477	451	418	469	489	528	473	408	466	511	463	415	304	245	256
1A3eii Todo terreno	NO															
1.A.4 Otros sectores	7,858	7,860	8,074	8,250	8,425	8,397	8,730	9,005	9,289	9,561	9,826	10,089	10,346	10,600	10,852	11,113
1A4a Comercial / Institucional	1,059	1,084	1,113	1,153	1,200	1,151	1,207	1,269	1,331	1,391	1,448	1,504	1,557	1,609	1,662	1,717
1A4b Residencial	5,057	5,153	5,248	5,344	5,439	5,537	5,672	5,797	5,924	6,047	6,167	6,288	6,409	6,530	6,652	6,774
1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	1,742	1,623	1,713	1,753	1,786	1,709	1,851	1,939	2,034	2,123	2,211	2,297	2,380	2,461	2,538	2,622
1A4ci Estacionaria	1,423	1,381	1,458	1,493	1,521	1,456	1,577	1,652	1,733	1,809	1,884	1,957	2,028	2,097	2,163	2,234
1A4cii Vehículos todo terreno y maquinaria	319	242	255	260	265	253	274	287	301	314	327	340	352	364	375	388
1A4cii Pesca	IE															
1.A.5 No especificado	NO															
1A5a Estacionario	NO															
1A5b Móvil	NO															
1A5bi Móvil (componente aviación)	NO															
1A5bii Móvil (componente del sector marítimo y fluvial)	NO															
1A5biii Móvil (otros)	NO															
1A5c Operaciones multilaterales	NA															
1.B Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustible	10,884	10,614	10,561	10,710	10,650	11,253	11,128	10,729	10,467	10,978	10,437	9,854	9,335	8,968	8,874	8,726

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1.B.1 Combustibles sólidos	3,396	3,721	3,632	3,651	3,700	3,646	3,668	3,635	3,689	3,700	3,702	3,702	3,724	3,748	3,803	3,830
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón	3,396	3,721	3,632	3,651	3,700	3,646	3,668	3,635	3,689	3,700	3,702	3,702	3,724	3,748	3,803	3,830
1B1ai Minas subterráneas	1,598	1,751	1,709	1,718	1,741	1,716	1,726	1,711	1,736	1,741	1,742	1,742	1,752	1,764	1,789	1,802
1B1ai1 Minería	1,229	1,347	1,315	1,322	1,339	1,320	1,328	1,316	1,335	1,339	1,340	1,340	1,348	1,357	1,376	1,386
1B1ai2 Emisiones posteriores a la minería	369	404	394	396	402	396	398	395	401	402	402	402	404	407	413	416
1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas	NE															
1B1ai4 Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2	NE															
1B1aii Minas de superficie	1,798	1,970	1,923	1,933	1,959	1,930	1,942	1,924	1,953	1,959	1,960	1,960	1,972	1,984	2,014	2,028
1B1aii1 Minería	1,383	1,515	1,479	1,487	1,507	1,485	1,494	1,480	1,502	1,507	1,508	1,508	1,517	1,526	1,549	1,560
1B1aii2 Emisiones posteriores a la minería	415	455	444	446	452	445	448	444	451	452	452	452	455	458	465	468
1B1b Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	NE															
1B1c Transformación de combustibles sólidos	NE															
1.B.2 Petróleo y gas natural	7,488	6,893	6,929	7,059	6,950	7,607	7,460	7,094	6,778	7,278	6,735	6,152	5,611	5,220	5,071	4,896
1B2a Petróleo	2,261	2,127	2,171	2,152	1,923	2,241	2,186	2,145	1,997	1,701	1,581	1,461	1,414	1,386	1,331	1,280
1B2ai Venteo	1,454	1,332	1,358	1,340	1,192	1,403	1,366	1,339	1,241	1,044	965	885	854	835	799	765
1B2aii Quema en antorcha	411	385	392	387	344	406	395	387	359	302	279	256	247	242	231	221
1B2aii1 Todos los demás	396	410	421	425	387	432	425	419	397	355	337	320	313	309	301	294
1B2aii11 Exploración	NE															
1B2aii12 Producción y refinación	301	281	286	283	252	296	289	283	262	221	204	187	181	177	169	162
1B2aii13 Transporte	9	9	9	9	8	9	9	9	8	7	6	6	5	5	5	5
1B2aii14 Refinación	86	120	126	133	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
1B2aii15 Distribución de productos de petróleo	NE															
1B2aii16 Otros	NO															
1B2b Gas Natural	5,227	4,766	4,758	4,907	5,027	5,366	5,274	4,949	4,781	5,577	5,154	4,691	4,197	3,834	3,740	3,616
1B2bi Venteo	203	171	178	180	193	201	202	196	194	222	211	201	189	181	181	181
1B2bii Quema en antorcha	191	174	173	179	183	196	192	179	173	202	185	169	150	136	133	128
1B2biii Todos los demás	4,833	4,421	4,407	4,548	4,651	4,969	4,880	4,574	4,414	5,153	4,758	4,321	3,858	3,517	3,426	3,307
1B2biii1 Exploración	NE															
1B2biii2 Producción	3,999	3,651	3,633	3,752	3,836	4,109	4,027	3,764	3,624	4,246	3,914	3,534	3,138	2,846	2,764	2,660
1B2biii3 Procesamiento	11	7	9	8	10	10	11	12	12	13	14	15	15	16	17	18
1B2biii4 Transmisión y almacenamiento	102	104	110	111	113	109	115	119	124	128	131	135	139	142	146	149
1B2biii5 Distribución	721	659	655	677	692	741	727	679	654	766	699	637	566	513	499	480
1B2biii6 Otros	NO															
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NA															
1.C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO															
1.C.1 Transporte de CO2	NO															
1C1a Gasoductos	NA															
1C1b Embarcaciones	NA															
1C1c Otros	NA															
1.C.2 Inyección y almacenamiento	NA															

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
1C2a Inyección	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C2b Almacenamiento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.C.3 Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2 - Procesos Industriales y Uso de Productos	9,425	9,922	10,052	10,348	10,747	10,656	11,227	11,702	12,272	12,803	13,872	13,909	15,289	15,877	16,995	16,785
2.A - Industria de los minerales	4,797	4,587	4,521	4,565	4,589	4,139	4,583	4,897	5,178	5,430	5,664	5,884	6,093	6,290	6,482	6,680
2.A.1 - Producción de cemento	4,525	4,298	4,230	4,283	4,305	3,882	4,299	4,593	4,855	5,091	5,309	5,515	5,709	5,893	6,072	6,257
2.A.2 - Producción de cal	131	133	134	130	131	118	131	140	149	156	163	170	177	183	189	195
2.A.3 - Producción de vidrio	83	95	88	85	86	78	86	92	98	103	108	112	116	120	124	128
2.A.4 - Otros usos de carbonatos en los procesos	58	61	69	67	67	61	67	72	76	80	84	87	91	94	97	100
2A4a Cerámicas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A4b Otros usos de la ceniza de sosa	58	61	69	67	67	61	67	72	76	80	84	87	91	94	97	100
2A4c Producción de magnesia no metalúrgica	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A4d Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.A.5 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B - Industria Química	913	972	1,101	1,126	1,146	1,132	1,184	1,052	707	732	753	775	792	808	824	839
2.B.1 - Producción de amoníaco	152	154	183	183	183	183	183	183	183	184	184	184	184	184	184	184
2.B.2 - Producción de ácido nítrico	528	518	590	608	625	643	661	505	139	143	146	150	150	150	150	150
2.B.3 - Producción de ácido adípico	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.4 - Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.5 - Producción de carburo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.6 - Producción de dióxido de titanio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.7 - Producción de ceniza de sosa	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.8 - Producción petroquímica y de negro de humo	233	300	328	335	338	306	340	364	385	405	423	441	458	474	490	505
2B8a Metanol	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8b Etileno	71	85	80	82	83	75	83	89	94	99	103	108	112	116	120	123
2B8c Dicloruro de etileno y monómero cloruro de vinilo	109	113	123	126	127	115	128	137	145	152	159	166	172	178	184	190
2B8d Óxido de etileno	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8e Acrilonitrilo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8f Negro de humo	53	102	125	127	128	116	129	138	146	154	161	167	174	180	186	192
2B8g Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B.9 - Producción fluoroquímica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2B9a Emisiones de productos derivados	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B9b Emisiones fugitivas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B.10 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.C - Industria de los metales	1,646	1,493	1,585	1,584	1,607	1,454	1,614	1,728	1,831	1,925	2,013	2,096	2,175	2,250	2,325	2,401
2.C.1 - Producción de hierro y acero	900	739	735	734	745	674	748	801	849	892	933	972	1,008	1,043	1,078	1,113
2.C.2 - Producción de ferroaleaciones	746	754	850	850	862	780	866	927	982	1,033	1,080	1,124	1,167	1,207	1,247	1,288
2.C.3 - Producción de aluminio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.4 - Producción de magnesio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5 - Producción de plomo	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2.C.6 - Producción de zinc	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
2.C.7 - Otros	NA															
2.D - Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	21	22	21	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24	25	25	25
2.D.1 - Uso de lubricantes	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.D.2 - Uso de cera de parafina	21	22	20	21	21	22	22	22	23	23	23	23	23	24	24	24
2.D.3 - Uso de solventes	NA															
2.D.4 - Otros	NA															
2.E - Industria electrónica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.E.1 - Circuitos integrados o semiconductores	NO															
2.E.2 - Pantalla plana tipo TFT	NO															
2.E.3 - Celdas fotovoltaicas	NO															
2.E.4 - Fluidos de transferencia térmica	NO															
2.E.5 - Otros	NO															
2.F - Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	2,048	2,848	2,824	3,051	3,383	3,908	3,823	4,002	4,532	4,692	5,418	5,130	6,205	6,504	7,339	6,840
2.F.1 - Refrigeración y aire acondicionado	1,948	2,745	2,712	2,936	3,258	3,776	3,700	3,878	4,399	4,532	5,247	4,957	6,012	6,311	7,139	6,619
2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	1,607	2,160	2,243	2,457	2,742	3,266	3,210	3,369	3,915	4,033	4,695	4,485	5,439	5,698	6,472	6,021
2F1ai Refrigeración y aire acondicionado estacionario - industria manufacturera	490	598	694	783	891	1,019	1,021	1,085	1,343	1,379	1,621	1,588	1,944	1,937	2,232	2,079
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - residencial	301	471	406	409	434	422	400	410	376	385	416	346	415	476	513	459
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - comercial	534	693	765	859	977	1,255	1,251	1,335	1,593	1,653	1,971	1,903	2,345	2,325	2,649	2,456
Aire acondicionado estacionario	282	398	378	406	440	570	538	539	603	616	687	648	735	960	1,078	1,027
2F1b Aire acondicionado móvil	341	585	469	479	516	510	490	509	484	499	552	472	573	613	667	598
2F1bi Refrigeración móvil (transporte refrigerado) - industria manufacturera	47	67	66	72	81	85	84	89	102	105	122	115	141	143	163	150
2F1bii Aire acondicionado móvil	294	518	403	407	435	425	406	420	382	394	430	357	432	470	504	448
2.F.2 - Agentes espumantes	-	-	0	0	0	5	5	7	7	7	7	8	8	9	9	9
2.F.3 - Protección contra incendios	5	6	8	10	12	14	15	17	18	37	39	30	39	30	42	71
2.F.4 - Aerosoles	94	95	102	104	112	111	100	97	105	113	122	131	142	150	145	137
2.F.5 - Solventes	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
2.F.6 - Otras aplicaciones	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.G - Manufactura y utilización de otros productos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.G.1 - Equipos eléctricos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2G1a Manufactura de equipos eléctricos	NA															
2G1b Uso de equipos eléctricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2G1c Eliminación de equipos eléctricos	NA															
2.G.2 - SF6 y PFCs de otros usos de productos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2G2a Aplicaciones militares	NA															
2G2b Aceleradores	NA															
2G2c Otros (especificar)	NA															

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
2.G.3 - N2O de usos de productos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2G3a Aplicaciones médicas	NA	NA														
2G3b Propulsor para productos presurizados y aerosoles	NA	NA														
2G3c Otros (especificar)	NA	NA														
2.G.4 - Otros	NA	NA														
2.H - Otros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.H.1 - Industria de pulpa y el papel	NA	NA														
2.H.2 - Industria de la alimentación y bebidas	NA	NA														
2.H.3 - Otros	NA	NA														
3 - Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la Tierra	117,682	129,504	160,110	155,163	161,033	146,084	140,712	143,015	143,713	139,721	134,042	130,361	128,160	119,075	110,795	98,825
3.A - Ganadería	39,372	39,709	41,437	45,930	47,212	48,719	48,314	51,375	53,564	54,171	54,432	54,725	55,082	55,482	55,918	56,300
3.A.1 - Fermentación entérica	36,140	36,414	37,964	42,300	43,357	44,741	44,260	47,165	49,204	49,691	49,842	50,019	50,252	50,524	50,836	51,085
3A1a Total Ganado Bovino	36,054	36,324	37,863	42,196	43,233	44,616	44,133	47,036	49,074	49,558	49,707	49,882	50,113	50,383	50,693	50,939
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	1,614	1,190	1,853	2,056	2,095	2,154	1,979	2,111	2,204	2,223	2,227	2,232	2,240	2,250	2,261	2,269
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	5,576	5,218	5,784	6,786	6,972	7,417	6,846	7,304	7,622	7,689	7,702	7,719	7,745	7,781	7,819	7,848
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	7,445	7,502	7,777	8,697	9,012	9,032	9,095	9,707	10,129	10,219	10,236	10,260	10,294	10,338	10,390	10,428
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	923	943	949	1,058	1,139	1,167	1,128	1,206	1,260	1,271	1,272	1,275	1,279	1,283	1,291	1,297
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	2,123	2,052	2,102	2,529	2,744	2,872	2,605	2,780	2,903	2,927	2,935	2,940	2,951	2,962	2,977	2,989
3A1avi Ganado Bovino Terneras de reemplazo	8,233	8,348	8,823	9,653	9,617	10,063	10,066	10,740	11,209	11,308	11,327	11,353	11,393	11,440	11,497	11,540
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	8,645	9,583	8,974	9,746	9,901	10,173	10,560	11,267	11,758	11,863	11,883	11,910	11,951	11,999	12,061	12,105
3A1b Búfalos	447	474	587	643	679	645	719	761	802	844	886	928	969	1,011	1,053	1,094
3A1c Ovinos	185	201	205	220	213	236	242	251	260	270	279	288	297	307	316	325
3A1d Caprinos	155	157	160	140	141	145	165	166	168	169	170	172	173	175	176	177
3A1e Camellos	NA	NA														
3A1f Caballos	611	562	550	566	610	603	621	635	649	664	678	692	706	721	735	749
3A1g Mulas y asnos	97	94	99	102	110	109	107	108	110	111	112	113	115	116	117	118
3A1h Porcinos	86	90	101	104	124	125	127	129	130	133	135	137	139	141	143	146
3A1hi Porcinos < 6 meses	34	39	38	39	46	46	47	48	48	49	50	51	51	52	53	54
3A1hii Porcinos > 6 meses	52	51	63	65	78	79	80	81	82	84	85	86	88	89	90	92
3A1j Otros	Na	Na														
3.A.2 - Gestión de estiércol	3,232	3,295	3,473	3,630	3,855	3,978	4,054	4,210	4,360	4,480	4,590	4,706	4,830	4,958	5,082	5,215
3A2a Total Ganado Bovino	910	871	958	1,055	1,080	1,114	1,096	1,158	1,210	1,226	1,232	1,239	1,251	1,263	1,267	1,276
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	143	103	165	185	188	192	177	188	196	199	199	199	201	201	201	203
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	127	118	131	155	158	168	155	167	175	176	176	177	178	178	178	179
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	126	126	134	148	153	154	153	165	174	176	176	176	176	177	177	177
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	19	20	19	22	22	24	22	23	25	25	25	25	25	25	25	25
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	32	30	33	43	45	47	43	45	47	48	48	48	48	50	50	50
3A1avi Ganado Bovino Terneras de reemplazo	124	124	133	146	147	153	155	163	172	173	173	174	176	176	177	177
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	139	154	146	157	159	164	171	182	190	192	192	193	194	196	196	197
3A2b Búfalos	7	8	9	11	11	11	11	13	13	13	15	15	16	17	17	18
3A2c Ovinos	31	34	35	37	36	40	41	42	43	46	47	48	50	52	53	55

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3A2d Caprinos	34	36	36	31	31	32	37	37	38	38	38	38	39	39	39	39
3A2e Camellos	NA															
3A2f Caballos	120	110	108	111	120	119	122	124	127	130	133	136	138	142	144	146
3A2g Mulas y asnos	8	8	9	9	10	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
3A2h Porcinos	112	117	131	135	161	162	165	167	169	173	175	178	180	183	186	189
3A1hi Porcinos < 6 meses	44	51	49	51	60	60	61	62	62	64	65	66	66	68	69	70
3A1hii Porcinos > 6 meses	68	66	82	84	101	102	104	105	107	109	110	112	114	115	117	119
3A2j Otros	2,210	2,307	2,384	2,440	2,614	2,702	2,793	2,885	2,981	3,081	3,183	3,289	3,399	3,512	3,629	3,750
3.B - Tierra	61,421	72,671	99,742	90,289	94,707	78,117	73,129	72,250	70,615	65,905	59,861	55,783	53,113	43,522	34,692	22,227
3.B.1 - Tierras forestales	32,701	35,828	48,108	43,994	45,870	36,449	32,460	32,288	32,683	30,328	26,810	25,489	26,649	20,743	15,653	7,692
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	33,347	37,218	50,354	46,590	48,938	40,442	37,321	38,013	38,779	36,781	33,669	32,892	34,669	29,485	25,141	17,934
3B1ai Tierras forestales que permanecen como tales(Bosque natural)	19,310	19,231	19,478	19,673	19,877	20,000	20,259	20,456	20,665	20,785	20,841	20,867	20,898	20,899	20,909	20,902
Biomasa	17,769	17,690	17,937	18,132	18,336	18,459	18,718	18,915	19,124	19,244	19,300	19,326	19,357	19,358	19,368	19,361
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541
3B1aia Tierras forestales que permanecen como tales (Regeneración+ convertidas en otras tierras boscosa)	19,328	26,405	38,615	32,940	34,447	26,361	25,538	24,686	23,022	21,334	19,634	17,903	16,158	14,403	12,652	10,912
Biomasa	18,827	25,683	37,764	32,220	33,693	25,789	24,985	24,152	22,523	20,871	19,205	17,511	15,801	14,083	12,367	10,663
MOM	501	722	851	720	754	572	553	534	499	463	429	392	357	320	285	249
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1aiaa Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)	-5,291	-8,418	-7,739	-6,023	-5,386	-5,919	-8,476	-7,129	-4,908	-5,338	-6,806	-5,878	-2,387	-5,817	-8,420	-13,880
Biomasa	-5,291	-8,418	-7,739	-6,023	-5,386	-5,919	-8,476	-7,129	-4,908	-5,338	-6,806	-5,878	-2,387	-5,817	-8,420	-13,880
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1b Tierras convertidas en tierras forestales	-646	-1,390	-2,246	-2,596	-3,068	-3,993	-4,861	-5,725	-6,096	-6,453	-6,859	-7,403	-8,020	-8,742	-9,488	-10,242
3B1bi Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-128	-163	-202	-217	-241	-284	-316	-344	-349	-345	-341	-352	-367	-388	-410	-433
Biomasa	-92	-114	-141	-152	-168	-195	-215	-235	-238	-233	-226	-232	-240	-254	-269	-284
MOM	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-5	-6	-7	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7
Suelos	-34	-47	-58	-62	-70	-85	-96	-103	-104	-106	-109	-114	-120	-127	-134	-142
3B1bia Pastizales convertidos en tierras forestales	-483	-1,110	-1,832	-2,126	-2,525	-3,304	-4,040	-4,772	-5,098	-5,415	-5,785	-6,271	-6,828	-7,481	-8,161	-8,845
Biomasa	-336	-774	-1,281	-1,486	-1,765	-2,309	-2,829	-3,346	-3,576	-3,787	-4,030	-4,346	-4,701	-5,119	-5,553	-5,989
MOM	-8	-18	-30	-34	-41	-55	-65	-77	-83	-90	-97	-106	-119	-134	-149	-164
Suelos	-139	-318	-521	-606	-719	-940	-1,146	-1,349	-1,439	-1,538	-1,658	-1,819	-2,008	-2,228	-2,459	-2,692
3B1biaa Humedales convertidos en tierras forestales	-11	-18	-25	-30	-34	-43	-52	-62	-65	-67	-69	-73	-78	-81	-85	-90
Biomasa	-7	-12	-17	-20	-23	-29	-35	-41	-43	-44	-45	-47	-50	-52	-54	-58
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2
Suelos	-4	-6	-8	-10	-11	-14	-17	-21	-22	-22	-23	-24	-26	-27	-29	-30
3B1biva Asentamientos convertidos en tierras forestales	-9	-18	-29	-35	-39	-52	-62	-72	-75	-78	-83	-87	-92	-98	-103	-108
Biomasa	-4	-9	-14	-17	-19	-26	-32	-37	-39	-40	-42	-44	-46	-49	-52	-54
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Suelos	-5	-9	-15	-18	-20	-26	-30	-35	-36	-38	-40	-42	-45	-48	-50	-53
3B1bv Otras tierras convertidas en tierras forestales	-15	-81	-158	-188	-229	-310	-391	-475	-509	-548	-581	-620	-655	-694	-729	-766
Biomasa	-7	-35	-68	-81	-99	-133	-167	-203	-217	-233	-247	-264	-278	-295	-310	-326
MOM	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-7	-7	-7
Suelos	-8	-45	-89	-106	-128	-175	-221	-267	-287	-310	-328	-350	-371	-392	-412	-433
3.B.2 - Tierras de cultivo	-264	-153	264	-24	-48	-80	-722	-972	-1,193	-1,086	-1,453	-1,433	-1,932	-1,517	-1,410	-2,367
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-2,562	-2,818	-2,659	-2,774	-2,897	-2,680	-3,214	-3,352	-3,421	-3,117	-3,287	-3,111	-3,508	-2,986	-2,774	-3,634
Biomasa	-4,255	-4,511	-4,352	-4,467	-4,590	-4,373	-4,907	-5,045	-5,114	-4,810	-4,980	-4,804	-5,201	-4,679	-4,467	-5,327
MOM	NA	NA														
Suelos	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693
3B2b Tierras convertidas en tierras de cultivo	2,298	2,665	2,923	2,750	2,849	2,600	2,492	2,380	2,228	2,031	1,834	1,678	1,576	1,469	1,364	1,267
3B2bi Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	2,298	2,665	2,923	2,750	2,849	2,600	2,492	2,380	2,228	2,031	1,834	1,678	1,576	1,469	1,364	1,267
Biomasa	891	1,215	1,436	1,238	1,303	1,035	1,031	1,028	985	944	904	864	824	784	743	703
MOM	23	31	33	28	30	23	24	24	23	23	22	20	20	18	18	17
Suelos	1,384	1,419	1,454	1,484	1,516	1,542	1,437	1,328	1,220	1,064	908	794	732	667	603	547
3B2bii Pastizales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA														
MOM	NA	NA														
Suelos	NA	NA														
3B2biii Humedales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA														
MOM	NA	NA														
Suelos	NA	NA														
3B2biv Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA														
MOM	NA	NA														
Suelos	NA	NA														
3B2bv Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA														
MOM	NA	NA														
Suelos	NA	NA														
3.B.3 - Pastizales	25,488	31,151	46,898	42,139	44,405	37,716	37,302	36,781	34,993	32,566	30,596	27,840	24,521	20,446	16,656	13,139
3B3a Pastizales que permanecen como tales	-14	-55	-213	-434	-511	-582	-748	-948	-1,327	-2,112	-2,399	-3,567	-5,130	-7,411	-9,385	-11,181
Biomasa	-2,010	-2,051	-2,209	-2,430	-2,507	-2,578	-2,736	-2,918	-3,258	-3,957	-4,117	-5,122	-6,492	-8,543	-10,279	-11,854
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,988	1,970	1,931	1,845	1,718	1,555	1,362	1,132	894	673
3B3b Tierras convertidas en pastizales	25,502	31,206	47,111	42,573	44,916	38,298	38,050	37,729	36,320	34,678	32,995	31,407	29,651	27,857	26,041	24,320
3B3bi Tierras forestales convertidas en pastizales	25,502	31,206	47,111	42,573	44,916	38,298	38,050	37,729	36,320	34,678	32,995	31,407	29,651	27,857	26,041	24,320
Biomasa	16,797	21,906	36,911	31,883	33,576	26,601	26,340	26,037	24,683	23,299	21,892	20,468	19,033	17,596	16,162	14,741
MOM	367	489	710	612	644	511	507	501	478	453	429	405	379	354	330	306
Suelos	8,338	8,811	9,490	10,078	10,696	11,186	11,203	11,191	11,159	10,926	10,674	10,534	10,239	9,907	9,549	9,273

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3B3bii Tierras de cultivo convertidas en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B3biii Humedales convertidos en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B3biv Asentamientos convertidos en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B3bv Otras tierras convertidas en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3.B.4 - Humedales	718	941	759	712	767	707	697	689	672	650	474	458	437	416	360	337
3B4a Humedales que permanecen como tales	159	159	159	159	194	194	192	192	192	192	35	35	35	35	0	0
Difusión {CO2}	114	114	114	114	139	139	138	138	138	138	25	25	25	25	-	-
Difusión {CH4}	45	45	45	45	55	55	54	54	54	54	10	10	10	10	-	-
3B4b Tierras convertidas en humedales	559	782	600	553	573	513	505	497	480	458	439	423	402	381	360	337
3B4bi Tierras forestales convertidas en humedales	559	782	600	553	573	513	505	497	480	458	439	423	402	381	360	337
Biomasa	342	543	357	302	313	246	243	242	232	223	214	206	199	192	185	176
MOM	9	14	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	5	4
Suelos	208	225	234	243	252	260	255	248	242	229	219	212	198	184	170	157
3B4bii Tierras de cultivo convertidas en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B4biii Pastizales convertidos en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B4biv Asentamientos convertidos en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B4bv Otras tierras convertidas en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3.B.5 - Asentamientos	337	446	526	491	521	465	458	452	435	409	385	364	364	358	356	352
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	337	446	526	491	521	465	458	452	435	409	385	364	364	358	356	352
3B5bi Tierras forestales convertidas en Asentamientos	337	446	526	491	521	465	458	452	435	409	385	364	364	358	356	352
Biomasa	190	281	348	301	318	253	252	251	241	230	220	208	199	187	176	165
MOM	3	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Suelos	144	159	172	185	198	208	202	197	190	175	161	152	161	168	177	184
3B5bii Tierras de cultivo convertidas en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B5biii Pastizales convertidos en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B5biv Humedales convertidos en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B5bv Otras tierras convertidas en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3.B.6 - Otras tierras	2,441	4,458	3,187	2,977	3,192	2,860	2,934	3,012	3,025	3,038	3,049	3,065	3,074	3,076	3,077	3,074
3B6a Otras tierras que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B6b Tierras convertidas en otras tierras	2,441	4,458	3,187	2,977	3,192	2,860	2,934	3,012	3,025	3,038	3,049	3,065	3,074	3,076	3,077	3,074
3B6bi Tierras forestales convertidas en otras tierras	2,441	4,458	3,187	2,977	3,192	2,860	2,934	3,012	3,025	3,038	3,049	3,065	3,074	3,076	3,077	3,074
Biomasa	1,869	3,621	2,247	1,925	2,013	1,593	1,581	1,574	1,508	1,448	1,390	1,335	1,282	1,229	1,175	1,121
MOM	48	91	54	47	50	39	39	38	36	35	34	32	31	30	29	28
Suelos	524	746	886	1,005	1,129	1,228	1,314	1,400	1,481	1,555	1,625	1,698	1,761	1,817	1,873	1,925
3B6bii Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B6biii Pastizales convertidos en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B6biv Humedales convertidos en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3B6bv Otras tierras convertidas en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3.C - Fuentes agregadas y emisiones de no CO2 provenientes de la tierra	16,889	17,124	18,931	18,944	19,114	19,248	19,269	19,390	19,534	19,645	19,749	19,853	19,965	20,071	20,185	20,298
3.C.1 - Emisiones por quema de biomasa	931	931	931	931	932	959	987	1,015	1,042	1,069	1,096	1,124	1,152	1,178	1,205	1,233
3C1a Emisiones del quemado de biomasa en Tierras forestales	632	632	632	632	632	651	671	691	711	730	750	770	790	809	829	849
3C1b Emisiones del quemado de biomasa en Tierras de cultivo	270	270	270	270	270	278	286	293	300	308	315	322	330	337	344	351
3C1c Emisiones del quemado de biomasa en Pastizales	29	29	29	29	30	30	30	31	31	31	31	32	32	32	32	33
3C1d Emisiones del quemado de biomasa en Otras tierras	NA															
3.C.2 - Encalado	NA															
3.C.3 - Aplicación de urea	NA															
3.C.4 - Emisiones directas de N2O de suelos gestionados	11,817	11,899	13,324	13,338	13,383	13,427	13,481	13,519	13,570	13,621	13,671	13,720	13,774	13,825	13,879	13,933
3C4a Fertilizante sintético	1,623	1,641	1,662	1,659	1,687	1,714	1,752	1,774	1,808	1,842	1,875	1,909	1,947	1,981	2,019	2,057
3C4b Fertilizante orgánico	41	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43
3C4c Residuos de cultivo	153	188	168	170	172	174	176	177	179	181	183	184	186	188	190	192
3C4d Mineralización	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470
3C4e Gestión de suelos histosoles	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782
3C4f Orina y estiércol de animales en pastoreo	7,748	7,776	9,200	9,215	9,230	9,245	9,259	9,274	9,289	9,303	9,318	9,332	9,346	9,361	9,375	9,389
3.C.5 - Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados	2,331	2,351	2,656	2,658	2,672	2,683	2,699	2,710	2,726	2,741	2,756	2,770	2,786	2,800	2,816	2,832
3C5a Volatilización Fertilizante sintético	162	164	166	166	169	171	175	177	181	184	188	191	195	198	202	206
3C5b Volatilización Fertilizante orgánico	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
3C5c Volatilización Orina y estiércol en pastoreo	775	778	920	921	923	924	926	927	929	930	932	933	935	936	937	939
3C5d Lixiviación Fertilizante sintético	365	369	374	373	380	386	394	399	407	414	422	430	438	446	454	463
3C5e Lixiviación Fertilizante orgánico	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3C5f Lixiviación residuos de cultivo	34	42	38	38	39	39	39	40	40	41	41	41	42	42	43	43
3C5g Lixiviación Mineralización	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
3C5h Lixiviación Orina y estiércol en pastoreo	872	875	1,035	1,037	1,038	1,040	1,042	1,043	1,045	1,047	1,048	1,050	1,051	1,053	1,055	1,056
3.C.6 - Emisiones indirectas de N2O de gestión de estiércol	1,033	1,048	1,092	1,203	1,262	1,308	1,299	1,375	1,435	1,458	1,474	1,492	1,510	1,529	1,550	1,569
3C6a Total Ganado Bovino	778	783	810	912	940	975	954	1,019	1,065	1,075	1,077	1,080	1,084	1,088	1,093	1,097
3C6ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	NE															
3C6aia Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	NE															
3C6aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	NE															

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3C6aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	NE															
3C6av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	NE															
3C6avi Ganado Bovino Terneras de remplazo	NE															
3C6avii Ganado Bovino Ganado de engorde	NE															
3C6b Búfalos	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3C6c Ovinos	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3C6d Caprinos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
3C6e Camellos	NA															
3C6f Caballos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
3C6g Mulas y asnos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3C6h Porcinos	87	91	103	106	125	130	135	140	146	152	158	164	171	178	185	192
3C6hi Porcinos < 6 meses	32	37	36	37	43	45	46	48	50	52	54	56	59	61	63	66
3C6hii Porcinos > 6 meses	55	54	67	69	82	85	89	92	96	100	104	108	112	117	122	126
3C6j Otros	160	166	171	176	188	194	201	207	214	220	228	236	243	251	260	268
3.C.7 - Cultivo de arroz	777	895	928	814	865	871	803	771	761	756	752	747	743	739	735	731
3C7a Cultivo de arroz riego	498	523	532	491	496	560	528	537	532	532	532	532	532	532	532	532
3C7b Cultivo de arroz seco	279	372	396	323	369	311	275	234	229	224	220	215	211	207	203	199
4 - Residuos	19,550	20,321	20,761	21,135	21,633	21,083	21,982	22,680	23,326	23,927	24,451	24,956	25,452	25,935	26,405	26,882
4.A - Eliminación de desechos sólidos	10,092	10,028	10,572	10,763	11,075	11,167	11,292	11,429	11,569	11,710	11,785	11,887	11,988	12,089	12,187	12,279
4.A.1 Sitios gestionados de eliminación de desechos	9,393	9,396	9,992	10,220	10,571	10,695	10,846	11,006	11,166	11,324	11,415	11,531	11,645	11,757	11,865	11,967
4A1a Rellenos regionales	8,152	8,110	8,546	8,849	9,219	9,355	9,513	9,676	9,838	9,996	10,092	10,209	10,323	10,434	10,539	10,638
4A1b Relleno sanitario local _ planta integral _ celda de contingencia	1,241	1,286	1,446	1,371	1,352	1,340	1,333	1,330	1,328	1,328	1,323	1,322	1,322	1,323	1,326	1,329
4.A.2 Sitios no gestionados de eliminación de desechos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.A.3 Sitios no categorizados de eliminación de desechos	699	632	580	543	504	472	446	423	403	386	370	356	343	332	322	312
4.B - Tratamiento biológico de los desechos sólidos	0	0	0	0	0	3	4	6	7	9	23	26	29	33	36	40
4.C - Incineración e incineración abierta de desechos	732	747	744	762	777	793	804	813	820	825	833	839	847	854	862	869
4.C.1 Incineración de desechos	65	73	63	69	67	69	70	71	71	68	68	67	68	68	69	69
4.C.2 Incineración abierta de desechos	667	674	681	693	710	724	734	742	749	757	765	772	779	786	793	800
4.D - Tratamiento y eliminación de aguas residuales.	8,726	9,546	9,445	9,610	9,781	9,120	9,882	10,432	10,930	11,383	11,810	12,204	12,588	12,959	13,320	13,694
4.D.1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2,297	2,321	2,347	2,388	2,444	2,488	2,521	2,549	2,575	2,600	2,627	2,641	2,667	2,690	2,714	2,737
Urbano	1,193	1,205	1,219	1,240	1,269	1,290	1,307	1,321	1,334	1,347	1,361	1,363	1,377	1,388	1,401	1,413
Rural	597	604	610	621	636	648	657	664	671	678	685	691	698	704	710	716
N2O	507	512	518	527	539	550	557	564	570	575	581	587	592	598	603	608
4.D.2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	6,429	7,225	7,098	7,222	7,337	6,632	7,361	7,883	8,355	8,783	9,183	9,563	9,921	10,269	10,606	10,957
Aceites vegetales	18	18	17	18	18	16	18	19	21	22	23	24	24	25	26	27
Café	384	414	407	414	421	380	421	451	478	503	526	548	565	585	604	625
Carne y avicultura	259	266	262	266	271	245	271	291	308	324	339	353	366	379	391	404
Jabones y detergentes	4	5	5	5	5	4	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
Malta y cerveza	171	176	173	176	179	162	180	192	204	214	224	233	242	250	259	267
Otros alimentos	786	968	951	968	983	888	986	1,056	1,119	1,177	1,230	1,281	1,330	1,376	1,421	1,468

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Otras bebidas	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	5
Plásticos y resinas	10	11	11	11	11	10	11	12	13	13	14	14	15	16	16	17
Procesamiento pescado	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6
Almidón	2,641	2,845	2,794	2,843	2,888	2,611	2,898	3,104	3,289	3,458	3,615	3,765	3,907	4,043	4,177	4,314
Azúcar	329	287	282	287	292	264	293	314	332	349	365	380	395	409	422	436
Sustancias químicas orgánicas	962	1,362	1,338	1,361	1,383	1,250	1,388	1,486	1,575	1,656	1,731	1,803	1,871	1,936	2,000	2,066
Frutas vegetales y jugos	81	106	105	106	108	98	108	116	123	129	135	141	146	151	156	161
Vino y vinagre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Productos lácteos	136	134	132	134	136	123	137	146	155	163	171	178	184	191	197	204
Pulpa y papel	559	532	522	532	540	488	542	580	615	646	676	704	730	756	781	807
Refinación alcohol	82	94	92	94	95	86	96	103	109	114	119	124	129	134	138	143
4.E - Otros	NA															
5 - Otros	NA															
5.A - Emisiones indirectas de N2O de la deposición atmosférica de nitrógeno como NOx y NH3	NA															
5.B - Otros	NA															

2. Emisiones quinquenales M1 por categoría IPCC 2015 - 2050

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO ₂ eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
TOTAL NACIONAL	236,355	265,066	267,346	250,063	267,660	289,785	313,602	343,135
1 - Energía	89,696	87,331	95,105	107,627	117,038	129,918	143,547	161,763
1.A Actividades de quema de combustible	78,812	76,078	84,668	98,901	109,186	123,209	137,584	156,361
1.A.1 Industrias de la energía	24,936	16,876	13,299	19,469	21,430	25,814	28,705	34,186
1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal	15,136	6,722	2,663	10,470	12,733	17,520	20,525	25,770
1A1ai Generación de electricidad	15,136	6,722	2,663	10,470	12,733	17,520	20,525	25,770
1A1ai1 Generación de electricidad (Sistema interconectado nacional)	14,918	6,504	2,441	10,242	12,497	17,277	20,274	25,512
1A1ai2 Generación de electricidad (Zona no interconectada)	218	218	222	228	236	243	251	258
1A1aii Generación combinada de calor y energía (CHP)	NO							
1A1aiii Plantas generadoras de energía (CHP)	NO							
1A1b Refinación de petróleo	2,717	3,303	3,302	3,303	3,302	3,302	3,302	3,302
1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	7,083	6,851	7,334	5,696	5,395	4,992	4,878	5,114
1A1ci Manufactura de combustibles sólidos	1,391	1,132	1,412	1,802	2,339	2,751	3,206	3,659
Coque	1,376	1,124	1,404	1,793	2,330	2,742	3,197	3,650
Carbón de leña	15	8	8	9	9	9	9	9
1A1cii Otras industrias de la energía	5,692	5,719	5,922	3,894	3,056	2,241	1,672	1,455
1A1cii1 Otras industrias de la energía (Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural)	4,574	4,544	4,729	2,660	1,803	970	388	163
1A1cii2 Otras industrias de la energía (Producción de carbón)	1,118	1,175	1,193	1,234	1,253	1,271	1,284	1,292
1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción	12,563	12,901	16,872	19,160	21,836	24,886	28,408	32,410
1A2a Hierro y acero	619	573	781	902	1,046	1,210	1,398	1,612
1A2b Metales no ferrosos	-	-	-	-	-	-	-	-
1A2c Productos químicos	822	659	894	1,040	1,204	1,395	1,623	1,889
1A2d Pulpa, papel e imprenta	1,478	1,522	2,025	2,314	2,630	2,991	3,414	3,894
1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	2,415	2,508	3,195	3,469	3,741	4,016	4,304	4,570
1A2f Minerales no metálicos	4,537	3,708	4,919	5,604	6,527	7,600	8,858	10,335
1A2g Equipo de transporte	28	24	33	38	43	50	57	66
1A2h Maquinaria	97	113	152	174	199	228	261	297
1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	941	1,874	2,297	2,658	3,064	3,533	4,073	4,695
1A2j Madera y productos de la madera	28	16	22	25	30	35	41	48
1A2k Construcción	611	188	258	298	343	396	457	526
1A2l Textiles y cueros	825	1,348	1,811	2,090	2,390	2,732	3,122	3,565
1A2m Industria no especificada	162	368	485	548	619	700	800	913
1.A.3 Transporte	33,455	37,904	44,671	49,159	53,321	58,267	64,410	71,682
1A3a Aviación civil	3,117	3,400	4,377	5,199	6,115	7,193	8,461	9,952
1A3aai Aviación de cabotaje	3,117	3,400	4,377	5,199	6,115	7,193	8,461	9,952
1A3b Transporte terrestre	29,378	33,694	39,274	43,025	46,192	49,971	54,732	60,349
1A3bi Automóviles	9,312	10,528	12,153	12,754	12,680	12,535	12,389	12,180
1A3bi1 Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	No detalles							
1A3bi2 Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	No detalles							
1A3bii Camiones para servicio ligero	1,553	1,808	2,401	3,186	4,223	5,577	7,286	9,283
1A3bii1 Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales	No detalles							
1A3bii2 Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales	No detalles							
1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses	14,297	16,025	18,399	20,237	22,250	24,891	28,120	31,861
1A3biv Motocicletas	4,216	5,333	6,321	6,848	7,039	6,968	6,937	7,025
1A3bv Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	NE							
1A3bvi Catalizadores basados en urea	NE							
1A3c Ferrocarriles	77	75	168	230	271	318	375	443

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1A3d Navegación marítima y fluvial	420	246	341	449	582	686	796	922
1A3dii Navegación marítima y fluvial nacional	420	246	341	449	582	686	796	922
1A3e Otro tipo de transporte	463	489	511	256	161	99	46	16
1A3ei Transporte por gasoductos	463	489	511	256	161	99	46	16
1A3eii Todo terreno	NO							
1.A.4 Otros sectores	7,858	8,397	9,826	11,113	12,599	14,242	16,061	18,083
1A4a Comercial / Institucional	1,059	1,151	1,448	1,717	2,020	2,376	2,794	3,286
1A4b Residencial	5,057	5,537	6,167	6,774	7,495	8,239	9,000	9,778
1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	1,742	1,709	2,211	2,622	3,084	3,627	4,267	5,019
1A4ci Estacionaria	1,423	1,456	1,884	2,234	2,628	3,091	3,636	4,277
1A4cii Vehículos todo terreno y maquinaria	319	253	327	388	456	536	631	742
1A4cii Pesca	IE							
1.A.5 No especificado	NO							
1A5a Estacionario	NO							
1A5b Móvil	NO							
1A5bi Móvil (componente aviación)	NO							
1A5bii Móvil (componente del sector marítimo y fluvial)	NO							
1A5biii Móvil (otros)	NO							
1A5c Operaciones multilaterales	NA							
1.B Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustible	10,884	11,253	10,437	8,726	7,852	6,709	5,963	5,402
1.B.1 Combustibles sólidos	3,396	3,646	3,702	3,830	3,887	3,944	3,983	4,009
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón	3,396	3,646	3,702	3,830	3,887	3,944	3,983	4,009
1B1ai Minas subterráneas	1,598	1,716	1,742	1,802	1,829	1,856	1,874	1,886
1B1ai1 Minería	1,229	1,320	1,340	1,386	1,407	1,428	1,442	1,451
1B1ai2 Emisiones posteriores a la minería	369	396	402	416	422	428	432	435
1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas	NE							
1B1ai4 Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2	NE							
1B1aii Minas de superficie	1,798	1,930	1,960	2,028	2,058	2,088	2,109	2,123
1B1aii1 Minería	1,383	1,485	1,508	1,560	1,583	1,606	1,622	1,633
1B1aii2 Emisiones posteriores a la minería	415	445	452	468	475	482	487	490
1B1b Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	NE							
1B1c Transformación de combustibles sólidos	NE							
1.B.2 Petróleo y gas natural	7,488	7,607	6,735	4,896	3,965	2,765	1,980	1,393
1B2a Petróleo	2,261	2,241	1,581	1,280	961	367	181	184
1B2ai Venteo	1,454	1,403	965	765	553	159	36	38
1B2aii Quema en antorcha	411	406	279	221	160	46	10	11
1B2aiii Todos los demás	396	432	337	294	248	162	135	135
1B2aiii1 Exploración	NE							
1B2aiii2 Producción y refinación	301	296	204	162	117	34	8	8
1B2aiii3 Transporte	9	9	6	5	4	1	0	0
1B2aiii4 Refinación	86	127	127	127	127	127	127	127
1B2aiii5 Distribución de productos de petróleo	NE							
1B2aiii6 Otros	NO							
1B2b Gas Natural	5,227	5,366	5,154	3,616	3,004	2,398	1,799	1,209
1B2bi Venteo	203	201	211	181	179	180	183	188
1B2bii Quema en antorcha	191	196	185	128	103	79	55	31
1B2biii Todos los demás	4,833	4,969	4,758	3,307	2,722	2,139	1,561	990
1B2biii1 Exploración	NE							
1B2biii2 Producción	3,999	4,109	3,914	2,660	2,142	1,623	1,104	586
1B2biii3 Procesamiento	11	10	14	18	22	26	31	36
1B2biii4 Transmisión y almacenamiento	102	109	131	149	172	197	227	262
1B2biii5 Distribución	721	741	699	480	386	293	199	106
1B2biii6 Otros	NO							
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NA							
1.C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO							
1.C.1 Transporte de CO2	NO							
1C1a Gasoductos	NA							
1C1b Embarcaciones	NA							
1C1c Otros	NA							

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1.C.2 Inyección y almacenamiento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C2a Inyección	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C2b Almacenamiento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.C.3 Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2 - Procesos Industriales y Uso de Productos	9,425	10,656	13,872	16,785	18,478	20,468	22,804	25,555
2.A - Industria de los minerales	4,797	4,139	5,664	6,680	7,857	9,243	10,871	12,788
2.A.1 - Producción de cemento	4,525	3,882	5,309	6,257	7,359	8,656	10,182	11,977
2.A.2 - Producción de cal	131	118	163	195	229	270	317	373
2.A.3 - Producción de vidrio	83	78	108	128	151	178	209	246
2.A.4 - Otros usos de carbonatos en los procesos	58	61	84	100	118	139	163	192
2A4a Cerámicas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A4b Otros usos de la ceniza de sosa	58	61	84	100	118	139	163	192
2A4c Producción de magnesia no metalúrgica	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2A4d Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.A.5 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B - Industria Química	913	1,132	753	839	928	1,034	1,156	1,300
2.B.1 - Producción de amoníaco	152	183	184	184	184	184	184	184
2.B.2 - Producción de ácido nítrico	528	643	146	150	150	150	150	150
2.B.3 - Producción de ácido adípico	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.4 - Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.5 - Producción de carburo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.6 - Producción de dióxido de titanio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.7 - Producción de ceniza de sosa	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.8 - Producción petroquímica y de negro de humo	233	306	423	505	594	700	822	966
2B8a Metanol	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8b Etileno	71	75	103	123	145	171	201	236
2B8c Dicloruro de etileno y monómero cloruro de vinilo	109	115	159	190	223	263	309	363
2B8d Óxido de etileno	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8e Acrilonitrilo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B8f Negro de humo	53	116	161	192	226	266	312	367
2B8g Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B.9 - Producción fluoroquímica	0	0	0	0	0	0	0	0
2B9a Emisiones de productos derivados	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2B9b Emisiones fugitivas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.B.10 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.C - Industria de los metales	1,646	1,454	2,013	2,401	2,826	3,323	3,909	4,597
2.C.1 - Producción de hierro y acero	900	674	933	1,113	1,310	1,540	1,812	2,131
2.C.2 - Producción de ferroaleaciones	746	780	1,080	1,288	1,516	1,783	2,097	2,466
2.C.3 - Producción de aluminio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.4 - Producción de magnesio	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.5 - Producción de plomo	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2.C.6 - Producción de zinc	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.C.7 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.D - Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	21	23	24	25	27	28	28	30
2.D.1 - Uso de lubricantes	0	1	1	1	2	2	2	3
2.D.2 - Uso de cera de parafina	21	22	23	24	25	26	26	27
2.D.3 - Uso de solventes	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.D.4 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.E - Industria electrónica	0	0	0	0	0	0	0	0
2.E.1 - Circuitos integrados o semiconductores	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.E.2 - Pantalla plana tipo TFT	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.E.3 - Celdas fotovoltaicas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.E.4 - Fluidos de transferencia térmica	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.E.5 - Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.F - Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	2,048	3,908	5,418	6,840	6,840	6,840	6,840	6,840
2.F.1 - Refrigeración y aire acondicionado	1,948	3,776	5,247	6,619	6,619	6,619	6,619	6,619
2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	1,607	3,266	4,695	6,021	6,021	6,021	6,021	6,021
2F1ai Refrigeración y aire acondicionado estacionario - industria manufacturera	490	1,019	1,621	2,079	2,079	2,079	2,079	2,079

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - residencial	301	422	416	459	459	459	459	459
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - comercial	534	1,255	1,971	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Aire acondicionado estacionario	282	570	687	1,027	1,027	1,027	1,027	1,027
2F1b Aire acondicionado móvil	341	510	552	598	598	598	598	598
2F1bi Refrigeración móvil (transporte refrigerado) - industria manufacturera	47	85	122	150	150	150	150	150
2F1bii Aire acondicionado móvil	294	425	430	448	448	448	448	448
2.F.2 - Agentes espumantes	-	5	7	9	9	9	9	9
2.F.3 - Protección contra incendios	5	14	39	71	71	71	71	71
2.F.4 - Aerosoles	94	111	122	137	137	137	137	137
2.F.5 - Solventes	0	1	2	3	3	3	3	3
2.F.6 - Otras aplicaciones	1	1	1	1	1	1	1	1
2.G - Manufactura y utilización de otros productos	0	0	0	0	0	0	0	0
2.G.1 - Equipos eléctricos	0	0	0	0	0	0	0	0
2G1a Manufactura de equipos eléctricos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2G1b Uso de equipos eléctricos	-	-	-	-	-	-	-	-
2G1c Eliminación de equipos eléctricos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.G.2 - SF6 y PFCs de otros usos de productos	0	0	0	0	0	0	0	0
2G2a Aplicaciones militares	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2G2b Aceleradores	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2G2c Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.G.3 - N2O de usos de productos	0	0	0	0	0	0	0	0
2G3a Aplicaciones médicas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2G3b Propulsor para productos presurizados y aerosoles	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2G3c Otros (especificar)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.G.4 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.H - Otros	0	0	0	0	0	0	0	0
2.H.1 - Industria de pulpa y el papel	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.H.2 - Industria de la alimentación y bebidas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2.H.3 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3 - Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la Tierra	117,682	146,084	134,042	98,825	102,589	106,834	111,319	116,108
3.A - Ganadería	39,372	48,719	54,432	56,300	58,374	60,602	62,987	65,565
3.A.1 - Fermentación entérica	36,140	44,741	49,842	51,085	52,445	53,836	55,246	56,681
3A1a Total Ganado Bovino	36,054	44,616	49,707	50,939	52,299	53,690	55,100	56,535
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	1,614	2,154	2,227	2,269	2,317	2,366	2,416	2,466
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	5,576	7,417	7,702	7,848	8,013	8,181	8,356	8,534
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	7,445	9,032	10,236	10,428	10,647	10,874	11,104	11,340
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	923	1,167	1,272	1,297	1,322	1,351	1,379	1,410
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	2,123	2,872	2,935	2,989	3,050	3,117	3,182	3,251
3A1avi Ganado Bovino Terneras de remplazo	8,233	10,063	11,327	11,540	11,783	12,033	12,289	12,549
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	8,645	10,173	11,883	12,105	12,363	12,624	12,890	13,162
3A1b Búfalos	447	645	886	1,094	1,303	1,512	1,720	1,929
3A1c Ovinos	185	236	279	325	372	418	464	510
3A1d Caprinos	155	145	170	177	184	192	199	206
3A1e Camellos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3A1f Caballos	611	603	678	749	820	891	963	1,034
3A1g Mulas y asnos	97	109	112	118	125	131	138	144
3A1h Porcinos	86	125	135	146	146	146	146	146
3A1hi Porcinos < 6 meses	34	46	50	54	54	54	54	54
3A1hii Porcinos > 6 meses	52	79	85	92	92	92	92	92
3A1j Otros	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
3.A.2 - Gestión de estiércol	3,232	3,978	4,590	5,215	5,929	6,766	7,741	8,884
3A2a Total Ganado Bovino	910	1,114	1,232	1,276	1,323	1,372	1,422	1,472
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	143	192	199	203	207	212	217	221
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	127	168	176	179	184	188	191	194
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	126	154	176	177	181	184	189	194
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	19	24	25	25	26	26	26	27

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	32	47	48	50	50	51	52	53
3A1avi Ganado Bovino Terneras de remplazo	124	153	173	177	180	183	187	190
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	139	164	192	197	201	204	209	214
3A2b Búfalos	7	11	15	18	21	25	28	32
3A2c Ovinos	31	40	47	55	62	70	78	85
3A2d Caprinos	34	32	38	39	41	43	44	46
3A2e Camellos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3A2f Caballos	120	119	133	146	160	175	189	203
3A2g Mulas y asnos	8	10	10	10	10	11	12	13
3A2h Porcinos	112	162	175	189	189	189	189	189
3A1hi Porcinos < 6 meses	44	60	65	70	70	70	70	70
3A1hii Porcinos > 6 meses	68	102	110	119	119	119	119	119
3A2j Otros	2,210	2,702	3,183	3,750	4,417	5,205	6,130	7,223
3.B - Tierra	61,421	78,117	59,861	22,227	23,655	25,114	26,619	28,176
3.B.1 - Tierras forestales	32,701	36,449	26,810	7,692	9,120	10,579	12,084	13,641
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	33,347	40,442	33,669	17,934	19,362	20,821	22,326	23,883
3B1ai Tierras forestales que permanecen como tales(Bosque natural)	19,310	20,000	20,841	20,902	22,330	23,789	25,294	26,851
Biomasa	17,769	18,459	19,300	19,361	20,789	22,248	23,753	25,310
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541	1,541
3B1aii Tierras forestales que permanecen como tales (Regeneración+ convertidas en otras tierras boscosa)	19,328	26,361	19,634	10,912	10,912	10,912	10,912	10,912
Biomasa	18,827	25,789	19,205	10,663	10,663	10,663	10,663	10,663
MOM	501	572	429	249	249	249	249	249
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1aiii Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)	-5,291	-5,919	-6,806	-13,880	-13,880	-13,880	-13,880	-13,880
Biomasa	-5,291	-5,919	-6,806	-13,880	-13,880	-13,880	-13,880	-13,880
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1b Tierras convertidas en tierras forestales	-646	-3,993	-6,859	-10,242	-10,242	-10,242	-10,242	-10,242
3B1bi Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-128	-284	-341	-433	-433	-433	-433	-433
Biomasa	-92	-195	-226	-284	-284	-284	-284	-284
MOM	-2	-4	-6	-7	-7	-7	-7	-7
Suelos	-34	-85	-109	-142	-142	-142	-142	-142
3B1bii Pastizales convertidos en tierras forestales	-483	-3,304	-5,785	-8,845	-8,845	-8,845	-8,845	-8,845
Biomasa	-336	-2,309	-4,030	-5,989	-5,989	-5,989	-5,989	-5,989
MOM	-8	-55	-97	-164	-164	-164	-164	-164
Suelos	-139	-940	-1,658	-2,692	-2,692	-2,692	-2,692	-2,692
3B1biii Humedales convertidos en tierras forestales	-11	-43	-69	-90	-90	-90	-90	-90
Biomasa	-7	-29	-45	-58	-58	-58	-58	-58
MOM	0	0	-1	-2	-2	-2	-2	-2
Suelos	-4	-14	-23	-30	-30	-30	-30	-30
3B1biv Asentamientos convertidos en tierras forestales	-9	-52	-83	-108	-108	-108	-108	-108
Biomasa	-4	-26	-42	-54	-54	-54	-54	-54
MOM	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Suelos	-5	-26	-40	-53	-53	-53	-53	-53
3B1bv Otras tierras convertidas en tierras forestales	-15	-310	-581	-766	-766	-766	-766	-766
Biomasa	-7	-133	-247	-326	-326	-326	-326	-326
MOM	0	-2	-6	-7	-7	-7	-7	-7
Suelos	-8	-175	-328	-433	-433	-433	-433	-433
3.B.2 - Tierras de cultivo	-264	-80	-1,453	-2,367	-2,367	-2,367	-2,367	-2,367
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-2,562	-2,680	-3,287	-3,634	-3,634	-3,634	-3,634	-3,634
Biomasa	-4,255	-4,373	-4,980	-5,327	-5,327	-5,327	-5,327	-5,327
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693	1,693
3B2b Tierras convertidas en tierras de cultivo	2,298	2,600	1,834	1,267	1,267	1,267	1,267	1,267

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
3B2bi Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	2,298	2,600	1,834	1,267	1,267	1,267	1,267	1,267
Biomasa	891	1,035	904	703	703	703	703	703
MOM	23	23	22	17	17	17	17	17
Suelos	1,384	1,542	908	547	547	547	547	547
3B2bii Pastizales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B2biii Humedales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B2biv Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B2bv Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3.B.3 - Pastizales	25,488	37,716	30,596	13,139	13,139	13,139	13,139	13,139
3B3a Pastizales que permanecen como tales	-14	-582	-2,399	-11,181	-11,181	-11,181	-11,181	-11,181
Biomasa	-2,010	-2,578	-4,117	-11,854	-11,854	-11,854	-11,854	-11,854
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	1,996	1,996	1,718	673	673	673	673	673
3B3b Tierras convertidas en pastizales	25,502	38,298	32,995	24,320	24,320	24,320	24,320	24,320
3B3bi Tierras forestales convertidas en pastizales	25,502	38,298	32,995	24,320	24,320	24,320	24,320	24,320
Biomasa	16,797	26,601	21,892	14,741	14,741	14,741	14,741	14,741
MOM	367	511	429	306	306	306	306	306
Suelos	8,338	11,186	10,674	9,273	9,273	9,273	9,273	9,273
3B3bii Tierras de cultivo convertidas en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B3biii Humedales convertidos en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B3biv Asentamientos convertidos en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B3bv Otras tierras convertidas en pastizales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3.B.4 - Humedales	718	707	474	337	337	337	337	337
3B4a Humedales que permanecen como tales	159	194	35	0	0	0	0	0
Difusión {CO2}	114	139	25	-	-	-	-	-
Difusión {CH4}	45	55	10	-	-	-	-	-
3B4b Tierras convertidas en humedales	559	513	439	337	337	337	337	337
3B4bi Tierras forestales convertidas en humedales	559	513	439	337	337	337	337	337
Biomasa	342	246	214	176	176	176	176	176
MOM	9	7	6	4	4	4	4	4
Suelos	208	260	219	157	157	157	157	157
3B4bii Tierras de cultivo convertidas en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MOM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Suelos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B4biii Pastizales convertidos en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B4biv Asentamientos convertidos en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B4bv Otras tierras convertidas en humedales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3.B.5 - Asentamientos	337	465	385	352	352	352	352	352
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	337	465	385	352	352	352	352	352
3B5bi Tierras forestales convertidas en Asentamientos	337	465	385	352	352	352	352	352
Biomasa	190	253	220	165	165	165	165	165
MOM	3	4	4	3	3	3	3	3
Suelos	144	208	161	184	184	184	184	184
3B5bii Tierras de cultivo convertidas en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B5biii Pastizales convertidos en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B5biv Humedales convertidos en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B5bv Otras tierras convertidas en Asentamientos	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3.B.6 - Otras tierras	2,441	2,860	3,049	3,074	3,074	3,074	3,074	3,074
3B6a Otras tierras que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B6b Tierras convertidas en otras tierras	2,441	2,860	3,049	3,074	3,074	3,074	3,074	3,074
3B6bi Tierras forestales convertidas en otras tierras	2,441	2,860	3,049	3,074	3,074	3,074	3,074	3,074
Biomasa	1,869	1,593	1,390	1,121	1,121	1,121	1,121	1,121
MOM	48	39	34	28	28	28	28	28
Suelos	524	1,228	1,625	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925
3B6bii Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B6biii Pastizales convertidos en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B6biv Humedales convertidos en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B6bv Otras tierras convertidas en otras tierras	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Suelos	NA							
3.C - Fuentes agregadas y emisiones de no CO2 provenientes de la tierra	16,889	19,248	19,749	20,298	20,560	21,118	21,713	22,367
3.C.1 - Emisiones por quema de biomasa	931	959	1,096	1,233	1,233	1,233	1,233	1,233
3C1a Emisiones del quemado de biomasa en Tierras forestales	632	651	750	849	849	849	849	849
3C1b Emisiones del quemado de biomasa en Tierras de cultivo	270	278	315	351	351	351	351	351
3C1c Emisiones del quemado de biomasa en Pastizales	29	30	31	33	33	33	33	33
3C1d Emisiones del quemado de biomasa en Otras tierras	NA							
3.C.2 - Encalado	NA							
3.C.3 - Aplicación de urea	NA							
3.C.4 - Emisiones directas de N2O de suelos gestionados	11,817	13,427	13,671	13,933	14,061	14,399	14,755	15,129
3C4a Fertilizante sintético	1,623	1,714	1,875	2,057	2,106	2,368	2,647	2,947
3C4b Fertilizante orgánico	41	42	43	43	44	44	45	46
3C4c Residuos de cultivo	153	174	183	192	200	209	218	227
3C4d Mineralización	470	470	470	470	470	470	470	470
3C4e Gestión de suelos histosoles	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782
3C4f Orina y estiércol de animales en pastoreo	7,748	9,245	9,318	9,389	9,459	9,526	9,593	9,657
3.C.5 - Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados	2,331	2,683	2,756	2,832	2,865	2,967	3,073	3,186
3C5a Volatilización Fertilizante sintético	162	171	188	206	211	237	265	295
3C5b Volatilización Fertilizante orgánico	8	8	9	9	9	9	9	9
3C5c Volatilización Orina y estiércol en pastoreo	775	924	932	939	946	953	959	966
3C5d Lixiviación Fertilizante sintético	365	386	422	463	474	533	596	663
3C5e Lixiviación Fertilizante orgánico	9	9	10	10	10	10	10	10
3C5f Lixiviación residuos de cultivo	34	39	41	43	45	47	49	51
3C5g Lixiviación Mineralización	106	106	106	106	106	106	106	106
3C5h Lixiviación Orina y estiércol en pastoreo	872	1,040	1,048	1,056	1,064	1,072	1,079	1,086
3.C.6 - Emisiones indirectas de N2O de gestión de estiércol	1,033	1,308	1,474	1,569	1,684	1,816	1,968	2,149
3C6a Total Ganado Bovino	778	975	1,077	1,097	1,120	1,144	1,168	1,193
3C6ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	NE							
3C6aaii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	NE							
3C6aaiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	NE							
3C6aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	NE							
3C6av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	NE							
3C6avi Ganado Bovino Terneras de remplazo	NE							
3C6avii Ganado Bovino Ganado de engorde	NE							
3C6b Búfalos	1	1	2	2	3	3	3	4
3C6c Ovinos	1	2	2	2	3	3	3	4
3C6d Caprinos	1	1	2	2	2	2	2	2
3C6e Camellos	NA							
3C6f Caballos	4	4	4	5	5	6	6	7
3C6g Mulas y asnos	1	1	1	1	1	1	1	1
3C6h Porcinos	87	130	158	192	234	285	347	421
3C6hi Porcinos < 6 meses	32	45	54	66	80	98	119	144
3C6hii Porcinos > 6 meses	55	85	104	126	154	187	228	277
3C6j Otros	160	194	228	268	316	372	438	517
3.C.7 - Cultivo de arroz	777	871	752	731	717	703	684	670
3C7a Cultivo de arroz riego	498	560	532	532	521	509	492	480
3C7b Cultivo de arroz secano	279	311	220	199	196	194	192	190
4 - Residuos	19,550	21,083	24,451	26,882	29,594	32,600	35,951	39,721
4.A - Eliminación de desechos sólidos	10,092	11,167	11,785	12,279	12,921	13,545	14,128	14,676
4.A.1 Sitios gestionados de eliminación de desechos	9,393	10,695	11,415	11,967	12,645	13,293	13,893	14,453
4A1a Rellenos regionales	8,152	9,355	10,092	10,638	11,292	11,912	12,484	13,019
4A1b Relleno sanitario local _ planta integral _ celda de contingencia	1,241	1,340	1,323	1,329	1,353	1,381	1,409	1,434
4.A.2 Sitios no gestionados de eliminación de desechos	0	0	0	0	0	0	0	0

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
4.A.3 Sitios no categorizados de eliminación de desechos	699	472	370	312	276	252	235	223
4.B - Tratamiento biológico de los desechos sólidos	0	3	23	40	41	43	44	45
4.C - Incineración e incineración abierta de desechos	732	793	833	869	902	925	950	973
4.C.1 Incineración de desechos	65	69	68	69	71	69	74	82
4.C.2 Incineración abierta de desechos	667	724	765	800	831	856	876	891
4.D - Tratamiento y eliminación de aguas residuales.	8,726	9,120	11,810	13,694	15,730	18,087	20,829	24,027
4.D.1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2,297	2,488	2,627	2,737	2,841	2,928	2,997	3,048
Urbano	1,193	1,290	1,361	1,413	1,466	1,512	1,547	1,573
Rural	597	648	685	716	744	766	784	798
N2O	507	550	581	608	631	650	666	677
4.D.2 Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	6,429	6,632	9,183	10,957	12,889	15,159	17,832	20,979
Aceites vegetales	18	16	23	27	32	37	44	52
Café	384	380	526	625	736	866	1,019	1,200
Carne y avicultura	259	245	339	404	475	559	658	774
Jabones y detergentes	4	4	6	7	8	10	11	13
Malta y cerveza	171	162	224	267	314	370	435	512
Otros alimentos	786	888	1,230	1,468	1,727	2,031	2,389	2,811
Otras bebidas	3	3	4	5	6	7	8	10
Plásticos y resinas	10	10	14	17	20	23	27	32
Procesamiento pescado	4	4	5	6	7	8	10	12
Almidón	2,641	2,611	3,615	4,314	5,075	5,969	7,021	8,259
Azúcar	329	264	365	436	513	603	709	834
Sustancias químicas orgánicas	962	1,250	1,731	2,066	2,430	2,858	3,362	3,954
Frutas vegetales y jugos	81	98	135	161	190	223	263	309
Vino y vinagre	0	0	0	0	0	0	0	0
Productos lácteos	136	123	171	204	239	282	331	390
Pulpa y papel	559	488	676	807	949	1,116	1,313	1,544
Refinación alcohol	82	86	119	143	168	197	232	273
4.E - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5 - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5.A - Emisiones indirectas de N2O de la deposición atmosférica de nitrógeno como NOx y NH3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5.B - Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

V. Referencias

- Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT. (2020). *Estimación de la muestra y validación del nivel de confianza del potencial de ahorro y representatividad de los resultados ante el universo de las centrales de generación térmica en Colombia*. Barranquilla.
- Colombia Inteligente. (2018). *Respuesta de la demanda: Estrategia para la mitigación de GEI*. Bogotá, D.C.
- Corporación Ambiental Empresarial CAEM. (2015). *Inventario nacional del sector ladrillero colombiano*. Bogotá D.C.
- DANE. (2018, December 6). Encuesta anual manufacturera (EAM). Retrieved November 17, 2020, from DANE website: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>
- Herrero, M., Fawcett, R. H., & Dent, J. B. (1999). Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. *Agricultural Systems*, 62(3), 169–188. Retrieved from <https://econpapers.repec.org/RePEc:eee:agsys:v:62:y:1999:i:3:p:169-188>
- LEAP. (2020). LEAP User Guide. Retrieved August 16, 2020, from Low Emissions Analysis Platform (LEAP) website: <https://leap.sei.org/help/leap.htm#t=Concepts%2FIntroduction.htm>
- MCIT, & MADS. (2020). *Formato para la caracterización de las medidas sectoriales de la NDC*. Bogotá, D.C.
- MinVivienda. (2015). Resolución 549 de 2015. In *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/Resolucionesvivienda/0549-2015.pdf>
- ONU DI, & UMPE. (2019). *Informe de Impacto Programa EEI Colombia Agosto 2019*. Bogotá D.C.
- UPME. (2016a). Calculadora factores de emisión de los combustibles Colombianos - FECOC. Retrieved November 11, 2020, from http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html
- UPME. (2016b). *Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022*. Bogotá D.C.
- UPME. (2016c). Plan de Expansión de Referencia Generación-Transmisión 2016-2030. In *Unidad de Planeación Minero Energética UPME*.
- UPME. (2019). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética*. Bogotá D.C., Colombia.