

Informe sobre el desarrollo y los supuestos para la realización de escenarios de referencia

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE ESCENARIOS DE EMISIONES DE GEI POR SECTOR Y EVALUACIÓN DE COSTOS DE ABATIMIENTO ASOCIADOS EN COLOMBIA

[Producido por]



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



PARTNERSHIP FOR
MARKET READINESS

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

Septiembre 2020
Revisado: Diciembre 2020



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

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

Directorate of Climate Change and Risk Management
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Calle 37 No. 8 – 40 Bogotá,
www.minambiente.gov.co
COLOMBIA
Director: Mr. José Francisco Charry
E-mail: jcharry@minambiente.gov.co
Coordinator, Low Carbon Development Strategy: Mr. Iván Darío Valencia Rodríguez.
E-mail: IValencia@minambiente.gov.co

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido	I
Lista de figuras	III
Lista de tablas	VI
Lista de acrónimos	IX
CAPITULO 1 Antecedentes	11
CAPITULO 2 Condiciones generales del marco de trabajo para la realización del escenario base Colombiano	13
2.1. Consideraciones generales	13
2.2. Herramienta de construcción de escenarios: LEAP	13
2.3. Formas de energía	15
2.4. Potencial de calentamiento global (GWP AR5) y Factores de emisión	15
2.5. Drivers SOCIOECONÓMICOS y definición de escenarios	18
2.5.1. Escenario R1	20
2.5.2. Escenario R3	23
CAPITULO 3 Metodología sectorial para el escenario base Colombiano	25
3.1. Suministro de Energía: Industrias de energía y generación de electricidad.	25
3.1.1. Generación eléctrica	26
3.1.2. Carbón	34
3.1.3. Producción de petróleo	36
3.1.4. Gas natural	39
3.1.5. Biocombustibles	41
3.2. Demanda de energía	46
3.2.1. Industria	46
3.2.2. Transporte	53
3.2.3. Sector Terciario	71
3.2.4. Residencial	77
3.2.5. Agricultura/Silvicultura/Pesca	87
3.3. Energía: emisiones fugitivas	90
3.4. Procesos Industriales y Uso de Productos (IPPU)	95
3.5. Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra (AFOLU)	107
3.5.1. Agropecuario	107
3.5.2. Uso de Tierras	113
3.6. Residuos	129
CAPITULO 4 Resultados	141
4.1. Principales resultados del escenario Referencia	141
4.2. Suministro de energía: industrias de energía y generación de electricidad	144

4.2.1.	Generación eléctrica	144
4.2.2.	Transformación de combustibles sólidos	148
4.2.3.	Refinación de petróleo	148
4.2.4.	Extracción de combustibles fósiles y refinación de petróleo	148
4.3.	<i>Demanda de energía</i>	149
4.3.1.	Industria	149
4.3.2.	Transporte	152
4.3.3.	Sector terciario	159
4.3.4.	Residencial	161
4.3.5.	Agricultura/silvicultura/pesca	164
4.4.	<i>Energía: emisiones fugitivas</i>	165
4.5.	<i>IPPU</i>	167
4.6.	<i>AFOLU</i>	168
4.6.1.	Agropecuario	170
4.6.2.	Uso de tierras	171
4.7.	<i>Residuos</i>	174
4.8.	<i>Emisiones totales por categoría IPCC a 2030</i>	180
4.9.	<i>Emisiones totales a 2050 por categoría ipcc</i>	192
REFERENCIAS		200
Anexos		202
	<i>Anexo A: Instalación LEAP DEMO</i>	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lógica de modelamiento e interacción en LEAP	14
Figura 2. Interfaz de usuario en LEAP	15
Figura 3. Proyección de población total colombiana 2020 – 2030 para D1 y D2	19
Figura 4. Senda de la tasa de crecimiento potencial para E1, E2, y E3. Período 2020 – 2030	20
Figura 5. (a.) proporción poblacional anual entre urbano y rural, y (b.) personas por hogar.....	21
Figura 6. Proyección de número de hogares en zona urbana, y zona rural	22
Figura 7. Trayectoria de producción primaria de carbón (coal), gas natural (natural gas) y petróleo (crude oil).....	23
Figura 8. Estructura de árbol en el módulo de Transformación en LEAP.....	25
Figura 9. Estructura de energéticos para generación eléctrica reportado en el inventario nacional de GEL	26
Figura 10. Participación de energéticos en la generación eléctrica en el periodo 2016-2050.....	27
Figura 11. Volumen bruto de energía generación por el sistema eléctrico	28
Figura 12. Distribución histórica de la energía generada entre la demanda, las pérdidas y los autoconsumos.....	29
Figura 13. Demanda histórica por tipos en la ZNI.....	30
Figura 14. Generación por fuente en las ZNI en LEAP	31
Figura 15. Consumo de combustible histórico para las plantas térmicas.....	33
Figura 16. Tipos de electricidad de salida en el proceso de Auto y cogeneración	34
Figura 17. Producción histórica de carbón	35
Figura 18. Escenarios de exportación de carbón.	36
Figura 19. Escenarios de producción de petróleo 2018-2050.	37
Figura 20. Participación de derivados en la producción de las refinerías en Colombia	38
Figura 21. Importación de (a.) derivados de petróleo para cubrir la demanda nacional, y (b.) crudo para mantener la mezcla necesaria (pesados/ligeros) en las refinerías.	39
Figura 22. Producción diaria de gas natural.	40
Figura 23. Producción anual de gas natural.	41
Figura 24. Estructura de árbol para la producción de coque y carbón de leña en LEAP.	43
Figura 25. Factores de emisión para producción de carbón de leña.	43
Figura 26. Estructura de árbol para el sector industria en LEAP.	46
Figura 27. Estructura de árbol para las subcategorías del sector industria en LEAP. Izquierda, desagregación por energía útil. Derecha, desagregación por energía final.	48
Figura 28. Estructura del transporte en LEAP.....	53
Figura 29. Estructura del transporte carretero en LEAP.	54
Figura 30. Tecnologías para transporte de carga escenario de referencia en LEAP.....	54
Figura 31. Intensidad energética histórica para segmento de aviación.	58
Figura 32. Proporción de la canasta energética (Fuel share) del segmento de ferrocarriles.....	61
Figura 33. Intensidad energética histórica para el segmento ferroviario.	61
Figura 34. Intensidad energética histórica para segmento de navegación.....	63
Figura 35. Demanda de energía transporte carretero 2010-2018.	65
Figura 36. Proyección de tasa de motorización – Escenario R1.	71
Figura 37. (a) Estructura de árbol para el sector terciario en LEAP. (b) Metodología de cálculo empleada para demanda de energía y emisiones GEI.	72
Figura 38. (a) Estructura del sector residencial en el modelo LEAP, y (b) metodología de cálculo para la estimación de emisiones de GEI mediante el modelo LEAP.	77
Figura 39. Urbanización y tamaño de los hogares.....	80
Figura 40. Acceso a servicios básico de energía en hogares urbanos y rurales	80
Figura 41. Proporción de acceso a electrodomésticos	80

Figura 42. (a) Estructura de árbol para el sector energético: otros en el modelo LEAP & (b) metodología de cálculo para estimar las emisiones de GEI en el modelo LEAP.....	87
Figura 43. Estructura de árbol para emisiones fugitivas en LEAP, categoría IPCC 1B.....	90
Figura 44. Estructura general del sector IPPU en LEAP y sus principales subcategorías	95
Figura 45. Estructura de árbol para subcategorías del sector IPPU en LEAP.	98
Figura 46. Regionalización de la ganadería.	108
Figura 47. Estructura de árbol para el sector AFOLU en LEAP, categoría 3A y 3C.....	109
Figura 48. Cambios relativos en el número histórico y proyectado para el escenario de referencia	111
Figura 49. Datos históricos y proyección de GEI de quema de biomasa (categoría 3C1).	112
Figura 50. Estructura de árbol para principales categorías de uso de tierras en LEAP, Tierras -3B ..	116
Figura 51. Subdivisión de la categoría 3B1a Tierras forestales que permanecen como tales.	118
Figura 52. Áreas históricas y proyectadas de restauración forestal (parte 3B1aii) anual para el período 2000-2030 (total nacional)	121
Figura 53. Áreas históricas y proyectadas de plantación anual de plantaciones forestales comerciales para el período 2000-2030 (total nacional para todas las especies)	121
Figura 54. Estructura de árbol para la categoría reforestación en LEAP	122
Figura 55 Estructura de árbol para la categoría deforestación en LEAP.....	123
Figura 55. Áreas anuales de deforestación observadas y proyectadas (ha/año) Fuente: MinAmbiente e IDEAM.....	124
Figura 57. Estructura de árbol para la categoría tierras de cultivo en LEAP	125
Figura 58. Estructura de árbol para la categoría Pastizales en LEAP	126
Figura 59. Estructura de árbol para la categoría de humedales en LEAP	127
Figura 60. Estructura de árbol para la categoría Asentamientos y Otras tierras en LEAP	128
Figura 61. Estructura de modelado general del sector residuos.....	130
Figura 62. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030)	142
Figura 63 Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2050)	142
Figura 64. Emisiones por asignación ministerial para el periodo 2010-2030.....	143
Figura 65. Energía generada por categoría en electricidad. Fuente: elaboración propia a partir del modelo en LEAP.....	145
Figura 66. Energía proveniente de la capacidad térmica por actividad.....	145
Figura 67. Energía proveniente de la capacidad térmica por tipo de combustible	146
Figura 68. Trayectoria de emisiones resultante el SIN para el escenario de referencia	146
Figura 69. Emisiones agregadas SIN y ZNI para el escenario de referencia	147
Figura 70. Emisiones agregadas SIN y ZNI por tipo de combustible	147
Figura 71. Consumo energético de la industria por subsectores en el escenario de referencia.....	149
Figura 72. Consumo energético de la industria por energéticos en el escenario de referencia.	150
Figura 73. Emisiones CO ₂ eq de la industria por subsector en el escenario de referencia.	150
Figura 74. Emisiones CO ₂ eq de la industria por combustible en el escenario de referencia.	151
Figura 75. Consumo energético del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2030.....	153
Figura 76. Consumo energético del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2050.....	153
Figura 77. Consumo del transporte por energético en el escenario de referencia R2 al 2030.	154
Figura 78. Consumo del transporte por energético en el escenario de referencia R2 al 2050.	154
Figura 79. Emisiones CO ₂ eq del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2030.	155
Figura 80. Emisiones CO ₂ eq del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2050.	156
Figura 81. Emisiones del transporte carretero por tipo de servicio en el escenario de referencia R2 al 2050.	157

Figura 82. Crecimiento de la flota vehicular escenario de referencia.	157
Figura 83. Emisiones del transporte carretero en el escenario de referencia R2 al 2030.	158
Figura 84. Emisiones del transporte carretero en el escenario de referencia R2 al 2050.	158
Figura 85. Distribución de energía final por uso final, sectores comercial y público para 2015-2030.	159
Figura 86. Participación de energéticos en consumo final para el sector residencial urbano y rural en 2015.	162
Figura 87. Emisiones por combustible en el sector agricultura (2015-2050).....	165
Figura 88. extracción de carbón y emisiones fugitivas asociadas.	166
Figura 89. Emisiones fugitivas por sector: Petróleo, gas natural y carbón.	166
Figura 90. Emisiones CO ₂ eq de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos en el escenario de referencia, por subcategoría.	167
Figura 91. Emisiones GEI del sector AFOLU.....	169
Figura 92. Emisiones y absorciones netas de CO ₂ (Gg CO ₂) para las diferentes subcategorías principales de la categoría 3B Tierras. Las absorciones netas son valores negativos.....	172
Figura 93. Emisiones y absorciones de CO ₂ por biomasa en plantaciones forestales.	173
Figura 94. Emisiones y absorciones de CO ₂ (Gg) por las diferentes reservas de carbono (biomasa, suelos) y quemadas de biomasa en la categoría 3B2 Tierras de cultivo.	173
Figura 95. Emisiones por subcategorías principales asociadas al sector residuos [Gg CO ₂ eq]	175
Figura 96. Emisiones por asignación [Gg CO ₂ eq] asociadas al sector residuos	176

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de emisión por combustible y sector.....	16
Tabla 2. Proyecciones de PIB sectoriales modelo MEG4C 2020-2030 para el escenario R1.....	22
Tabla 3. Proyecciones de PIB sectoriales modelo MEG4C 2020-2030 para el escenario R3.....	24
Tabla 4. Desagregación de la estructura en LEAP para Generación eléctrica.....	26
Tabla 5. Expansión de referencia para el periodo 2016-2050.....	27
Tabla 6. Participación por energéticos en la generación entre 2030 y 2050.....	28
Tabla 7. Participación de los recursos en la auto- y cogeneración histórica según BECO.....	29
Tabla 8. Auto y cogeneración capacidad instalada por recurso.....	30
Tabla 9. Datos de actividad para generación eléctrica.....	31
Tabla 10: Relación de energía generada y consumo de combustible en plantas térmicas.....	33
Tabla 11. Intensidad de consumo de combustibles líquidos en minería de carbón.....	35
Tabla 12. Eficiencia global de refinerías.....	38
Tabla 13. Intensidad de gas natural inyectado en la extracción de petróleo.....	39
<i>Tabla 14. Intensidad autoconsumo de gas en la extracción de gas natural.</i>	41
<i>Tabla 15. Mezcla de biocombustibles en diésel y gasolina</i>	42
Tabla 16. Uso de Auto y Cogeneración para la extracción y tratamiento de gas natural y petróleo. 44	
<i>Tabla 17. Intensidad consumo de gas natural para la extracción primaria de gas natural.</i>	44
Tabla 18. Intensidad energética y participación de energéticos asociados a la producción de coque y la refinación de petróleo.	45
Tabla 19. Subcategorías del sector Industria en LEAP.....	46
Tabla 20. Emparejamiento sectorial de la demanda de energía y el PIB con las subcategorías de la IPCC para la categoría 1A2.....	49
Tabla 21. Demanda de energía final a utilizar como nivel de actividad.....	50
Tabla 22. Variables y parámetros utilizados para estimar los niveles de actividad.....	50
Tabla 23. Supuestos de los escenarios de referencia para las variables y parámetros utilizados para estimar los niveles de actividad.....	52
Tabla 24. Datos sobre nivel de actividad sector transporte.....	56
Tabla 25. Canasta energética aviación.....	57
Tabla 26. Diferencias en supuestos de estimación de emisiones entre este ejercicio y BUR2.	58
Tabla 27. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento de aviación.....	59
Tabla 28. Resultados en energía 2010-2014 segmento de aviación.....	59
Tabla 29. Demanda de energía segmento férreo 2010-2014.....	60
Tabla 30. Demanda de diésel corredor Chiriguaná-Belencito.....	60
Tabla 31. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento ferroviario.....	62
Tabla 32. Resultados en energía 2010-2014 segmento ferroviario.....	62
Tabla 33. Canasta energética navegación.....	62
Tabla 34. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmentos marítimo y fluvial.....	63
Tabla 35. Resultados en energía 2010-2014 segmentos marítimo y fluvial.....	63
Tabla 36. Categorías de flota en BUR2, RUNT y ejercicio en LEAP.	64
Tabla 37. Flota a GNV.....	66
Tabla 38. Factores de consumo de combustible por categoría 2010-2014.	66
Tabla 39. Grupos para comparación de demanda de energía por metodologías de abajo hacia arriba y arriba hacia abajo.	67
Tabla 40. Actividad promedio anual de la flota por categoría 2010-2014.....	68
Tabla 41. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento carretero.....	69
Tabla 42. Resultados en demanda de energía 2010-2014 segmento carretero.	69
Tabla 43. Datos de actividad utilizados para la estimación de las emisiones de GEI.....	73
Tabla 44. Intensidad de energía útil por uso final (KJ/COP).....	74

Tabla 45. La combinación de combustibles existente y las eficiencias actuales y potenciales de los dispositivos para Calor directo.....	75
Tabla 46. Distribución y eficiencia técnica actual y potencial por combustible y por dispositivos	75
Tabla 47. Combinación de tecnología y eficiencia utilizada en la iluminación comercial y pública ...	76
Tabla 48. Eficiencia técnica para refrigeración y aire acondicionado.....	76
Tabla 49. Datos de actividad para el sector residencial.....	78
Tabla 50. Intensidad de energía útil en hogares urbanos y rurales (MJ/Hogar)	79
Tabla 51. Participación de combustible (%) y eficiencia (%) para Calor Directo	81
Tabla 52. Combustible y tecnologías usadas para calentamiento de agua.....	82
Tabla 53. Eficiencia por combustible	82
Tabla 54. Tecnologías de iluminación usadas en hogares urbanos y su eficiencia.....	83
Tabla 55. Participación de refrigeradores por nivel de eficiencia	83
Tabla 56. Distribución del stock de refrigeradores por edad, y eficiencia por tamaño.....	84
Tabla 57. Distribución de aire acondicionado por tecnología y eficiencia.....	84
Tabla 58. Eficiencia técnica de la lavadora y proporción de hogares por eficiencia	85
Tabla 59. Eficiencia técnica, intensidad energía útil, y participación tecnología televisores en el sector residencial.	85
Tabla 60. Datos de actividad y fuentes de información para el cálculo de emisiones de GEI.....	88
Tabla 61. Intensidad de energía final por combustible y mix de combustibles	89
Tabla 62. Factores de emisión para minería de carbón.	91
Tabla 63. Factores de emisión emisiones fugitivas.....	92
Tabla 64. Datos de actividad emisiones fugitivas	93
Tabla 65. Factores de pozos asociados a la producción de petróleo y gas natural.	94
Tabla 66. Subcategorías del sector IPPU en LEAP.....	96
Tabla 67. Metodología y fuentes de información para factores de emisión y nivel de actividad utilizados en el inventario nacional de emisiones para la categoría 2 IPPU.....	99
Tabla 68. Fuentes de información	104
Tabla 69. Factores impulsores recomendados para cada nivel de actividad y su correspondiente variable utilizada en LEAP.....	105
Tabla 70. Comparación de emisiones de GEI del sector Agropecuario entre BUR2 y LEAP para el año 2014 (in Tg CO ₂ -eq)	109
Tabla 71. Datos de número de cabezas de ganado del sector ganadería.....	111
Tabla 72. Estructura de las categorías UTCUTS tal como se utiliza en el BUR2 de Colombia. Observaciones: C - Subdivisión de categorías utilizadas específicamente en Colombia; NE – categorías no estimado en el contexto colombiana; D - categorías que clasifican como deforestación (NREF) (Minambiente & IDEAM, 2019).....	113
Tabla 73. Áreas totales de cultivos permanentes serie temporal 2016-2030 (kha).	126
Tabla 74. Nivel de desagregación para el sector residuos en el modelo LEAP.....	130
Tabla 75. Valores DOC y K por zona climática	133
Tabla 76. Distribución de participación para el tratamiento de aguas residuales en LEAP	134
Tabla 77. Datos de actividades para el sector de los residuos sólidos y las aguas residuales	135
Tabla 78. Factores determinantes para el sector residuos	137
Tabla 79. Variables y parámetros que respaldan el cálculo para el sector residuos	137
Tabla 80. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCO ₂ eq.....	141
Tabla 81. Emisiones dióxido carbono por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCO ₂	141
Tabla 82. Emisiones metano por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCH ₄	141
Tabla 83. Emisiones óxido nitroso por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgN ₂ O.....	141
Tabla 84. Emisiones directas GEI por asignación ministerial.....	143
Tabla 85. Emisiones indirectas GEI MinVivienda	143
Tabla 86. Asignaciones en estructura de árbol LEAP para 2030.....	144
Tabla 87. Energía generada por categoría en electricidad (GWh).....	145

Tabla 88. Energía generada por categoría en electricidad a partir de generación térmica (GWh) ..	145
Tabla 89. Energía generada a partir de generación térmica por tipo de combustible (GWh)	146
Tabla 90. Emisiones agregadas SIN y ZNI para el escenario de referencia (Gg CO ₂ eq).....	147
Tabla 91. Emisiones agregadas SIN y ZNI por tipo de combustible (Gg CO ₂ eq)	147
Tabla 92. Emisiones de GEI en GgCO ₂ eq asociadas a la extracción de petróleo y gas natural.	148
Tabla 93. Emisiones de GEI de la categoría 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción estimadas en LEAP para el año 2014 (Gg CO ₂ eq).....	152
Tabla 94. Emisiones de GEI de la categoría 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción del BUR2 para el año 2014 (Gg CO ₂ eq).....	152
Tabla 95. Emisiones transporte escenario de referencia.	155
Tabla 96. Emisiones transporte carretero escenario de referencia.	158
Tabla 97. Consumo sectores comercial y público por energético.	159
Tabla 98. Demanda energética por uso final [TJ]	160
Tabla 99. Emisiones directas GEI para el sector terciario [Gg CO ₂ eq]	160
Tabla 100. Número de Hogares Rurales y Urbanos [Millones].....	161
Tabla 101. Demanda energética por uso final [TJ] para sector residencial	162
Tabla 102. Demanda energética por combustible [TJ]	163
Tabla 103. Emisiones directas GEI en sector residencial [Gg CO ₂ eq]	164
Tabla 104. Demanda energética por combustible [TJ]	165
Tabla 105. Emisiones totales por subcategoría IPCC sector agricultura en GgCO ₂ eq	165
Tabla 106. Emisiones fugitivas en Gg CO ₂ eq asociadas a la extracción de carbón, petróleo y gas natural.	167
Tabla 107. Emisiones de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos en el escenario de referencia, por asignación ministerial [Gg CO ₂ eq].....	168
Tabla 108. Emisiones de GEI de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos calculadas en LEAP para el año 2014 [Gg CO ₂ eq].	168
Tabla 109. Emisiones de GEI de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos del BUR2 para el año 2014 [Gg CO ₂ eq].	168
Tabla 110. Emisiones del sector AFOLU en Gg CO ₂ eq.....	169
Tabla 111. Emisiones del sector AFOLU asignados por los ministerios en Gg CO ₂ eq.....	169
Tabla 112. Emisiones segregadas para la categoría Ganadería en Gg CO ₂ eq	170
Tabla 113. Emisiones segregadas de no-CO ₂ provenientes de la tierra en Gg CO ₂ eq	170
Tabla 114. Detalle emisiones GEI por uso de tierras en GgCO ₂ eq.....	174
Tabla 115. Emisiones por subcategorías principales para el sector residuos [Gg CO ₂ eq]	175
Tabla 116. Emisiones por asignación [Gg CO ₂ eq] asociadas al sector residuos	176
Tabla 117. Emisiones GEI para 2030 por contaminante y asignación [Gg CO ₂ eq]	177
Tabla 118. Emisiones GEI para 2030 por contaminante y asignación [Gg CO ₂ eq]	177
Tabla 119. Emisiones desagregadas para el sector residuos [Gg CO ₂ eq].....	177
Tabla 120. Emisiones anuales de GEI por categoría IPCC con alto nivel de desagregación 2015 – 2030.....	180
Tabla 121. Emisiones quinquenales de GEI por categoría IPCC con alto nivel de desagregación 2015 – 2050.....	192

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
SMBYC	Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono

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

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

Consideraciones iniciales

Este documento es el primer reporte del proyecto “*Update and consolidation of sector GHG emissions scenarios and assessment of associated abatement costs*”. Se presenta la metodología para la construcción de la línea base (o escenario de referencia), que se utilizará también para calcular trayectorias de mitigación y evaluación de opciones de mitigación. Se consignan también los principales resultados de la actualización del escenario de referencia de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel nacional bajo diferentes suposiciones macroeconómicas.

El documento está estructurado como se describe a continuación: en la primera parte del reporte se explica la metodología general que se siguió para diseñar los escenarios de referencia, sectoriales y agregados. Se describen aspectos generales sobre el desarrollo de los escenarios sectoriales y los análisis de consistencia entre sectores, su representación en el modelo “*Low Emissions Analysis Platform*” (LEAP) y finalmente la metodología de estimación de emisiones que se siguió en cada uno de los sectores considerados en el estudio: i) energía (oferta y demanda), ii) procesos industriales y uso de productos, iii) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y iv) residuos.

En la segunda parte del informe se presentan los aspectos metodológicos y supuestos de los escenarios macroeconómicos empleados para la construcción de los escenarios de referencia. Se exponen los supuestos de modelación transversales, los cuales incluyen aspectos como los recursos energéticos presentes en el sistema colombiano con su caracterización y los factores de emisión utilizados para cada fuente de emisión y gas contaminante. En la parte final de la segunda sección se presentan los *drivers* seleccionados en cada sector para proyectar las emisiones al 2030 y al 2050, bajo los dos escenarios macroeconómicos definidos para el estudio.

En la tercera sección del documento se explica para cada uno de los sectores la aproximación metodológica que se siguió para el desarrollo de los escenarios de referencia, y se presenta la información utilizada como insumo para los análisis de emisiones.

Finalmente, en la cuarta sección del documento se presentan los resultados de las emisiones GEI sectoriales y agregadas bajo los escenarios de referencia macroeconómicos de R3, con los análisis respectivos.

Los productos de esta fase del estudio incluyen el presente informe, el desarrollo de los escenarios en LEAP y los archivos de soporte en Excel con datos de entrada utilizados en LEAP.

Escenarios de referencia

Los escenarios de referencia de emisiones gases efecto invernadero (GEI), también conocidos como líneas base de emisiones, se desarrollaron para cada uno de los sectores definidos por la metodología del IPCC 2006 y adoptados por el Gobierno Nacional según los lineamientos definidos en el Segundo

Reporte Bienal de Emisiones (BUR2)¹ (IDEAM et al., 2018): i) energía (oferta y demanda), ii) procesos industriales y uso de productos, iii) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, y iv) residuos.

Las estimaciones proyectadas de emisiones se desarrollaron en LEAP (LEAP, 2020), para esto se diseñó una estructura de modelo considerando las categorías y fuentes de emisión definidas en el BUR2, más las fuentes de emisión según su clasificación por carteras del Gobierno Nacional.

Los análisis de todos los sectores partieron de una revisión de la información oficial disponible para estimar las emisiones GEI del periodo 2010-2014 el cual fue seleccionado como el periodo de calibración del modelo. Se diseñó un formato estandarizado para ser diligenciado por los puntos focales designados por MinAmbiente, asociado a la recopilación de información requerida para la modelación de emisiones de los sectores, así mismo se desarrollaron múltiples reuniones con expertos sectoriales con la finalidad de validar los insumos para el análisis. La información fue analizada y complementada con base en la calidad y grado de desagregación de los datos obtenidos. Según la información disponible, cada sector definió la metodología de estimación de emisiones de GEI a utilizar, y el grado de desagregación para su representación en LEAP.

Se desarrolló un ejercicio de validación de la información y de calibración de los modelos de cada sector teniendo en cuenta los resultados obtenidos en LEAP en cuanto a actividad neta y sus respectivos niveles de emisiones anuales, y su comparación respecto a aquellos reportados para el mismo periodo por fuentes de información oficiales (v.g., Balance energético nacional -BECO, BUR2).

Se avanzó inicialmente en la construcción de escenarios de referencia (R1, R2) con horizonte de modelación 2030 y 2050, los cuales representan diferentes trayectorias de emisiones con base en dos escenarios macroeconómicos y de población suministrados por el Gobierno. En conjunto con los puntos focales designados para cada sector se definieron los principales supuestos de modelación de los escenarios de referencia sectoriales, que dieron como resultado el escenario final R3.

¹ Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)

CAPITULO 2 **CONDICIONES GENERALES DEL MARCO DE TRABAJO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESCENARIO BASE COLOMBIANO**

2.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El proceso de actualización de la NDC se hace en un momento en el que la información está cambiando rápidamente debido a la pandemia por el COVID-19. La estrategia sugerida por Minambiente consiste en trabajar con la información disponible para que el proceso de modelado no se ralentice. De esta manera, el consorcio ha incorporado y reflejado de forma integral estos datos en el proceso de modelación en función de su disponibilidad y alcance.

Los escenarios están diseñados para dar respuesta a dos formas de desagregación: (1.) Por sector cartera (para rastrear por compromisos sectoriales) y (2.) por categoría IPCC, creando marcaciones de las subcategorías de emisiones. Asimismo, ha incluido las tasas de crecimiento sectoriales a partir de la información disponible. Estos escenarios son calculados de la siguiente manera:

- 2010-2014 (datos históricos de acuerdo con disponibilidad de datos, siendo el escenario base entre 2010 y 2013, y 2014 el año de comparación);
- 2015 - 2030 con resolución anual;
- 2030-2050 con una resolución de cada cinco años.

2.2. HERRAMIENTA DE CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS: LEAP

LEAP (Low Emissions Analysis Platform - Plataforma de análisis de bajas emisiones) fue desarrollado en 1980 por el Instituto Ambiental de Estocolmo (SEI por sus siglas en ingles), y ha experimentado una completa transformación desde entonces. En la década de 1990, con la preocupación por el impacto ambiental del crecimiento de los sistemas de energía, LEAP se convirtió en una de las primeras herramientas de modelado de energía para abordar esta preocupación. Posteriormente, a partir del 2000, LEAP aumentó sus capacidades de modelación y el número de usuarios activos llegando a más de 44,000. En 2020, LEAP lanzó una nueva versión incluyendo mejoras como Curvas de abatimiento marginal (MACCs por sus siglas en ingles), impactos medioambientales a la salud y un nuevo módulo de optimización.

LEAP es una herramienta ampliamente utilizada para el análisis de políticas energéticas y acciones de mitigación de emisiones GEI (LEAP, 2020). Sus usuarios incluyen agencias gubernamentales, universidades, ONGs, y empresas consultoras, entre otros. SEI estima que al menos 32 países utilizaron LEAP para crear escenarios de energía y emisiones como base para determinar sus Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional al Cambio Climático (INDC).

LEAP es una herramienta de modelado basada en escenarios la cual puede representar el consumo energético, y la producción o la extracción de recursos en diversos sectores la economía. De la misma manera permite la contabilidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tanto para sectores energéticos como no energéticos. LEAP, al no ser un modelo en sí mismo, pero si una plataforma de modelamiento, este permite la creación de modelos a la medida de las necesidad y disponibilidad de información, cubriendo diversas metodologías de modelamiento (Bottom-up, Top-Down, cambio de flota/existencias). La Figura 1 muestra la lógica de modelamiento y la interacción

de los diferentes módulos y fuentes de información que integran LEAP, al igual que los análisis que permite realizar.

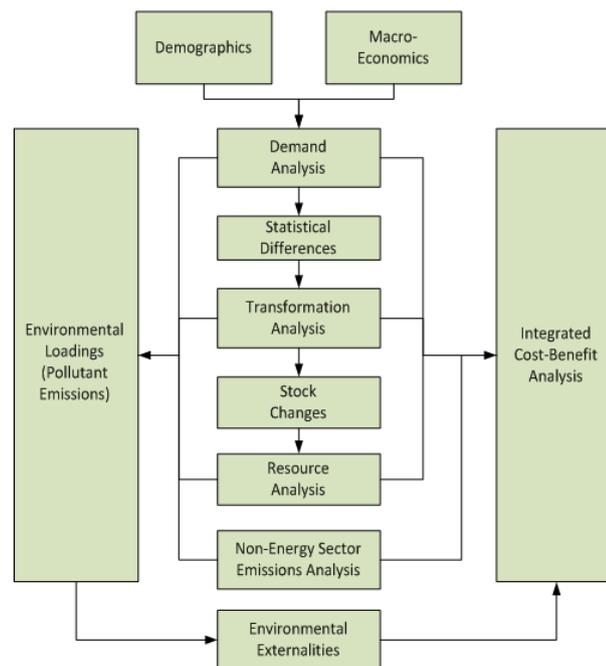


Figura 1. Lógica de modelamiento e interacción en LEAP

Fuente: SEI (<https://leap.sei.org/Default.asp>)

LEAP se basa en el concepto de análisis de escenarios, dichos escenarios permiten evaluar como un sistema energético podría evolucionar con el tiempo, analizando el impacto de políticas y comparando las necesidades energéticas, costos y emisiones de GEI entre ellos. Esto permite proveer información relevante referente al impacto de una política individual, así como las interacciones de un conjunto determinado de políticas y medidas.

LEAP está basado en una estructura de árbol, lo cual ofrece una gran flexibilidad al momento de recrear el modelo de un sistema. Es decir, si bien un sector puede estar muy desagregado debido a que este requiere un análisis más detallado, otros sectores pueden estar más agregados, donde el consumo energético es menos importante, o se cuenta con información limitada. La Figura 2 muestra la interfaz de usuario básica donde se puede ver esta estructura de árbol, al igual que los diferentes módulos de la herramienta (Vista de Resultados, Balance energético, resultado general, etc.)

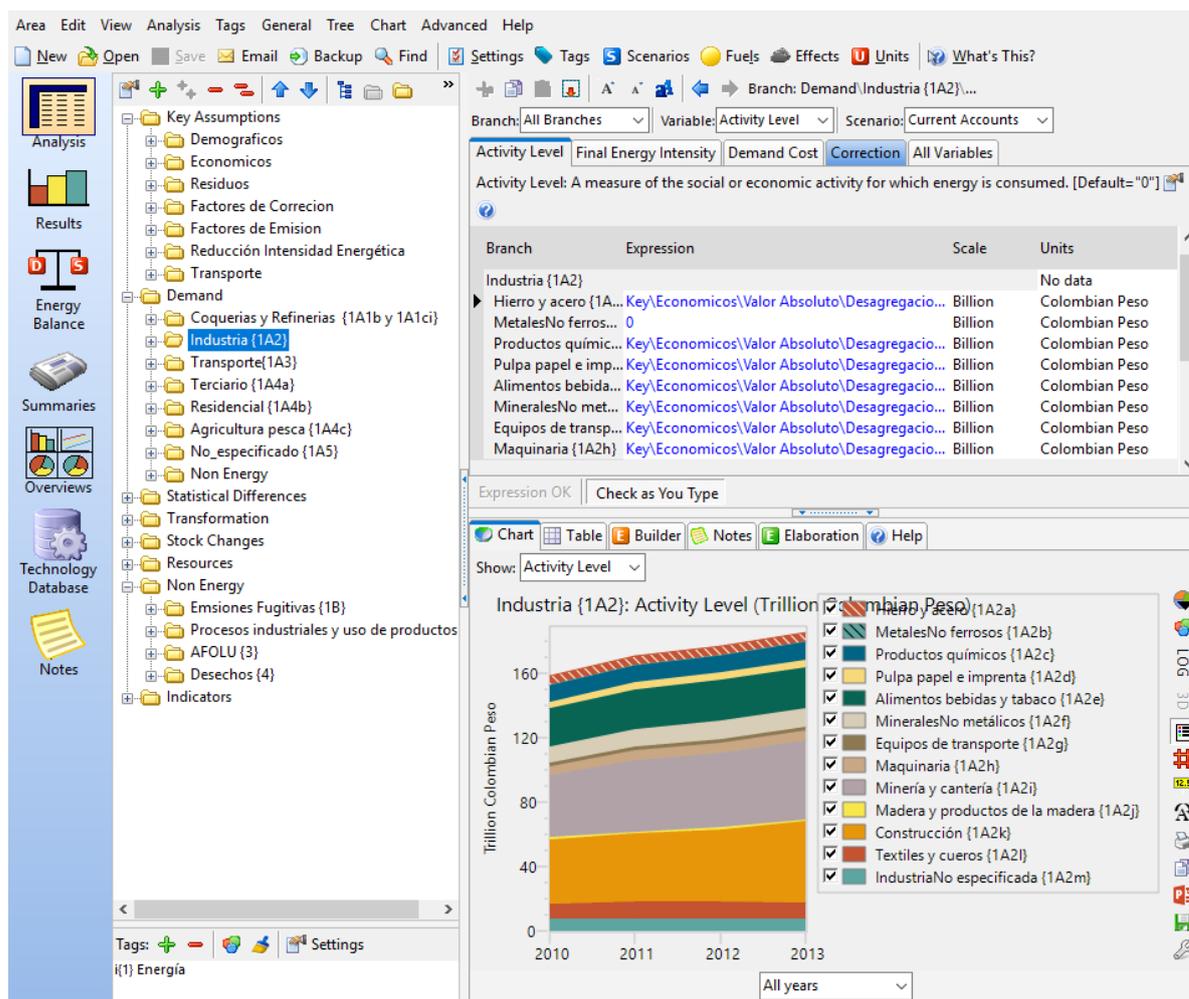


Figura 2. Interfaz de usuario en LEAP
Fuente: elaboración propia

2.3. FORMAS DE ENERGÍA

Para la realización del presente documento se consideraron las siguientes tipologías de combustible según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME): Avigas, Bagazo (Bagasse), Biodiesel, Bioetanol, Biogás, Carbón (coal), Carbón de Leña (Wood charcoal), Combustóleo (Fuel Oil), Coque (coke), Diésel, Diésel Bx, Gas Natural, Gas de Refinería, Gasolina, Gasolina Ex, Gas Licuado del Petróleo (GLP o LGP por sus siglas en inglés), Queroseno (kerosene), Leña (wood), Petróleo (crude oil). También se consideran en el módulo de energía la producción de Coque y de Residuos.

2.4. POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (GWP AR5) Y FACTORES DE EMISIÓN

El potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) con un horizonte de 100 años fue considerado (Myhre et al., 2013), teniendo en cuenta el quinto reporte de evaluación (AR5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2014). Los factores de emisión tenidos en cuenta para la estimación de las emisiones de Gases

Efecto Invernadero (GEI) (IDEAM et al., 2018; IPCC, 2006; Pulido et al., 2019) por combustible y sector se muestran a continuación:

Tabla 1. Factores de emisión por combustible y sector

Combustible	GEI	Unidad	Factor de emisión
Avigas	CH₄	kg/TJ	3.00
	CH₄ Transporte	kg/TJ	0.50
	CO₂	kg/TJ	56.337.80
	N₂O	kg/TJ	0.60
	N₂O Transporte	kg/TJ	2.00
Bagazo	CH₄	kg/TJ	30.00
	CO₂	kg/TJ	112,929.70
	N₂O	kg/TJ	4.00
Biodiesel	CH₄	kg/TJ	3.00
	CO₂	kg/TJ	54.806.50
	N₂O	kg/TJ	0.60
Bioetanol	CH₄	kg/TJ	3.00
	CH₄ Transporte	kg/TJ	18.00
	CO₂	kg/TJ	84,758.10
	N₂O	kg/TJ	0.60
	N₂O Transporte	kg/TJ	-
Biogás	CH₄	kg/TJ	1.00
	CO₂	kg/TJ	84,364.42
	N₂O	kg/TJ	0.10
Carbón	CH₄	kg/TJ	1.00
	CH₄ Industria	kg/TJ	10.00
	CH₄ Residencial	kg/TJ	300.00
	CH₄ Transporte	kg/TJ	2.00
	CO₂	kg/TJ	88,136.00
Carbón de Leña	N₂O	kg/TJ	1.50
	CH₄	kg/TJ	200.00
	CO₂	kg/TJ	112,000.00
Combustóleo	N₂O	kg/TJ	4.00
	CH₄	kg/TJ	3.00
	CH₄ Transporte	kg/TJ	3.00
	CO₂	kg/TJ	80,460.30
	N₂O	kg/TJ	0.60
Coque	N₂O Transporte	kg/TJ	0.60
	CH₄	kg/TJ	1.00
	CH₄ Industria	kg/TJ	10.00
	CO₂	kg/TJ	107,000.00
Diesel	N₂O	kg/TJ	1.50
	CH₄	kg/TJ	3.00

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

Combustible	GEI	Unidad	Factor de emisión
	CH ₄ Ferrocarril	kg/TJ	4.15
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	3.90
	CO ₂	kg/TJ	74,233.40
	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	N ₂ O Ferrocarril	kg/TJ	28.60
	N ₂ O Transporte	kg/TJ	3.90
Diesel Bx	CH ₄	kg/TJ	3.00
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	10.00
	CO ₂	kg/TJ	-
	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	N ₂ O Transporte	kg/TJ	0.60
Gas Natural	CH ₄	kg/TJ	1.00
	CH ₄ Residencial y Agricultura	kg/TJ	5.00
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	92.00
	CO ₂	kg/TJ	55,539.11
	N ₂ O	kg/TJ	0.10
Gas de Refinería	N ₂ O Transporte	kg/TJ	3.00
	CH ₄	kg/TJ	1.00
	CO ₂	kg/TJ	57,600.00
	N ₂ O	kg/TJ	0.10
Gasolina	CH ₄	kg/TJ	3.00
	CH ₄ Motocicleta	kg/TJ	9,60
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	33.00
	CO ₂	kg/TJ	69,323.70
	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	N ₂ O Motocicleta	kg/TJ	0.96
	N ₂ O Transporte	kg/TJ	3.20
Gasolina Ex	CH ₄	kg/TJ	3.00
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	10.00
	CO ₂	kg/TJ	-
	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	N ₂ O Transporte	kg/TJ	0.60
GLP	CH ₄	kg/TJ	1.00
	CH ₄ Comercial	kg/TJ	5.00
	CH ₄ Residencial	kg/TJ	5.00
	CO ₂	kg/TJ	67,185.10
	N ₂ O	kg/TJ	0.10
Queroseno	CH ₄	kg/TJ	3.00
	CH ₄ Residencial	kg/TJ	10.00
	CH ₄ Transporte	kg/TJ	0.50
	CO ₂	kg/TJ	73,939.60

Combustible	GEI	Unidad	Factor de emisión
Leña	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	N ₂ O Transporte	kg/TJ	2.00
	CH ₄	kg/TJ	30.00
	CH ₄ Residencial y Agricultura	kg/TJ	300.00
	CO ₂	kg/TJ	89,525.00
Petróleo	N ₂ O	kg/TJ	4.00
	CH ₄	kg/TJ	3.00
	CO ₂	kg/TJ	77,841.80
Producción Coque	N ₂ O	kg/TJ	0.60
	CH ₄	t/t coque	0.10
Residuos	CO ₂	t/t coque	0.56
	CH ₄	kg/TJ	30.00
	CO ₂	kg/TJ	100,000.00
	N ₂ O	kg/TJ	4.00

Fuente: (IDEAM et al., 2018; IPCC, 2006; Pulido et al., 2019)

2.5. DRIVERS SOCIOECONÓMICOS Y DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

→ Crecimiento demográfico

Las proyecciones de crecimiento demográfico colombiano se basan en información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para dos supuestos (DANE, 2020b) (Figura 3):

- **D1:** proyecciones publicadas por el DANE a 8 de mayo de 2020 (previas a la expedición de la serie 1985-2050 con base en el último censo de 2018), en concordancia con la proyección de población del Plan Energético Nacional 2020-2050 (UPME, 2019a). En este escenario se asume un crecimiento anual promedio de 0.35% (Ver anexos asociados a esta sección).
- **D2:** proyecciones actualizadas de población entre 1985-2050 con base en el último censo de 2018 (DANE, 2020b). En este escenario se asume un crecimiento anual promedio de 0.84% (Ver anexos asociados a esta sección).

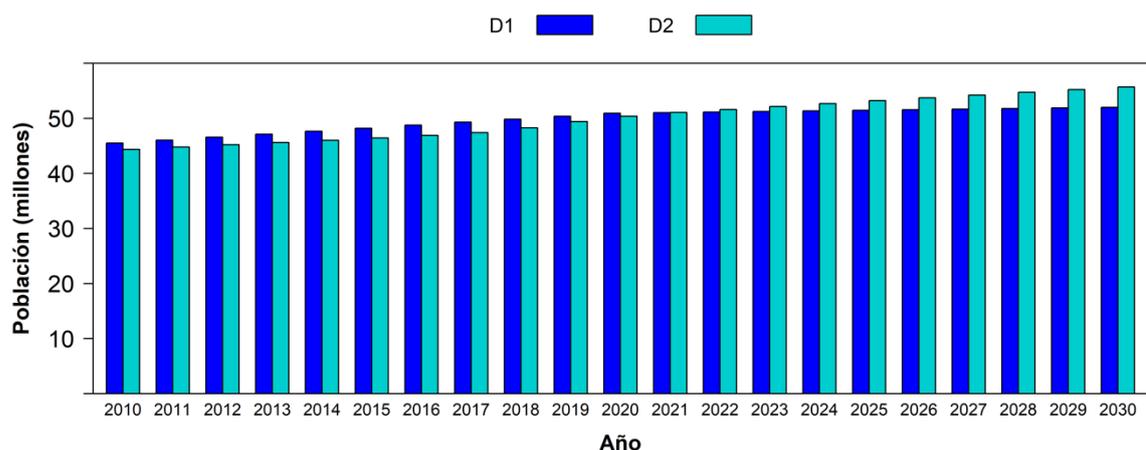


Figura 3. Proyección de población total colombiana 2020 – 2030 para D1 y D2
Fuente: (DANE, 2020b).

→ Proyecciones de PIB sectoriales (crecimiento económico)

Las proyecciones del Producto Interno Bruto (PIB) sectorial se establecen a partir de información secundaria de la Dirección de Ambiente y Desarrollo Sostenible del Departamento Nacional de Planeación (DNP). El PIB sectorial proyectado entre 2020 y el 2030, realizado mediante el Modelo de Equilibrio General Computable Colombiano para el Cambio Climático (MEG4C), tiene en cuenta todas las transacciones realizadas en un año particular (entre sectores económicos, hogares, gobierno nacional y el resto del mundo). MEG4C busca recrear la senda de crecimiento potencial que se establece en el Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) 2020 del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MinHacienda) (Figura 4). A partir de lo anterior, se modelan 17 sectores de la economía: (1.) agricultura, (2.) ganadería, (3.) carbón, (4.) petróleo, (5.) otros minerales, (6.) agro-industria, (7.) recursos naturales procesado, (8.) refinados de petróleo, (9.) industria mano de obra no calificada, (10.) industrias capital y alta tecnología, (11.) electricidad, (12.) gas natural, (13.) agua y alcantarillado, (14.) vivienda, (15.) obras civiles, (16.) transporte, y (17.) servicios. Los sectores anteriormente mencionados son analizados teniendo en cuenta la producción entre el consumo intermedio y el valor agregado (compuesto por trabajo y capital-energía) (DNP, 2020). Se establecen tres supuestos a partir de la información disponible:

- **E1:** Drivers de proyección a partir del MFMP que arroja una tasa de crecimiento anual promedio aproximada de 4% (MinHacienda, 2019). Ver Anexos asociados a esta sección.
- **E2:** Drivers de proyección de crecimiento económico provistos por el DNP. Estos datos son un híbrido entre el marco fiscal 2019 y las proyecciones de crecimiento 2020 - 2021 recientemente publicadas por el Fondo Monetario Internacional (FMI) ajustadas por COVID-19. A partir de allí, el DNP genera proyecciones de crecimiento sectoriales con el modelo MEG4C asumiendo la senda de crecimiento potencial establecida en el MFMP (DNP, 2020). Ver Anexos asociados a esta sección. El MFMP para el año 2020 supone un choque negativo de la productividad laboral por la pandemia global (covid-19) de -5.5% (Figura 4) y una recuperación supuesta en la senda 2021-2030.
- **E3:** Drivers de proyección a partir del MFMP con impactos COVID-19 a partir de lo que se publique por parte del Ministerio de Hacienda en 2020 (incluyendo proyecciones de crecimiento sectoriales correspondientes).

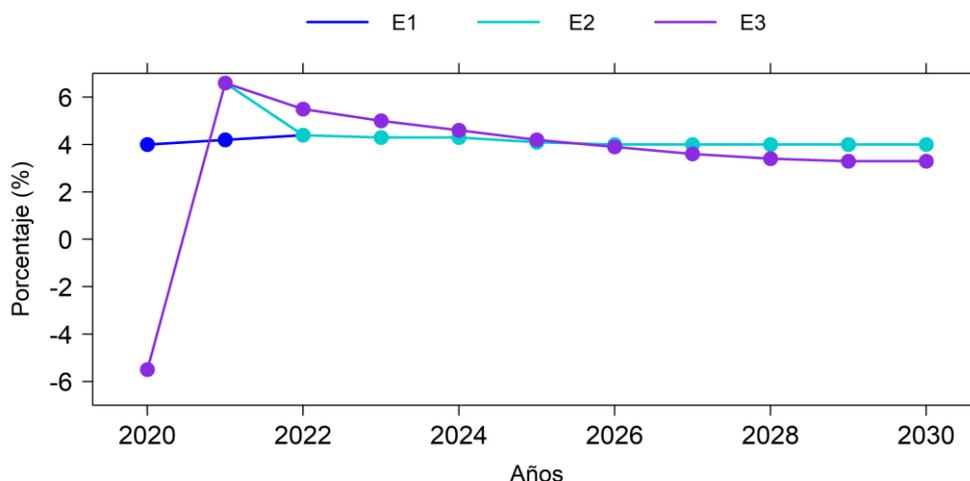


Figura 4. Senda de la tasa de crecimiento potencial para E1, E2, y E3. Período 2020 – 2030
Fuente: MFMP (DNP, 2020).

→ Proyecciones de oferta de hidrocarburos

Las proyecciones de oferta de hidrocarburos se establecen a partir de información secundaria de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) para dos supuestos:

- **H1:** Escenarios de oferta y producción de hidrocarburos sin impactos COVID-19 y sin caída del precio del petróleo de los primeros meses de 2020. Disponibles en las publicaciones de UPME realizadas en 2019 y primeros meses de 2020.
- **H2:** Escenarios de oferta y producción de hidrocarburos con impactos COVID-19 y con caída del precio del petróleo de los primeros meses de 2020. La entrega de información oficial se proyecta para inicios de 2021. Por ende, no se contempla en esta entrega.

A partir de los drivers socioeconómicos se establecen tres (3) escenarios así:

- **R1: (a.)**, versión inicial que se construye a partir D1, E1 y H1. **(b.)**, versión final que se construye a partir D2, E1 y H1.
- **R2: (a.)**, versión inicial que se construye a partir de D1, E2, y H1. **(b.)**, versión final que se construye a partir de D2, E2, H2. R2 es un escenario interino, por lo tanto, no se presenta en detalle en este informe, sino que se transforma en R3.
- **R3:** construida a partir de D2, E3 y H1.

2.5.1. ESCENARIO R1

Este escenario se construyó a partir de las proyecciones publicadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a 8 de mayo de 2020 (D1), con proyecciones que se extienden más allá de 2035 (D2, proyección principal) (DANE, 2020b); drivers de crecimiento económico con la proyección del Marco Fiscal de Mediano Plazo sin impactos COVID-19 (E1); y escenarios de oferta y producción de hidrocarburos sin impactos COVID-19 y caída del precio del petróleo de los primeros meses de 2020 (H1). En resumen, este escenario se construye con los últimos drivers de crecimiento demográfico y económico (incluida la producción de hidrocarburos) disponibles antes de la crisis por la pandemia COVID-19. La construcción de este modelo tiene dos propósitos: (1) servir como referente para determinar, más adelante, el impacto en emisiones que

tuvo esta crisis con el decrecimiento económico esperado y (2) servir como base para poder proceder inmediatamente con la estructuración del modelo, ya que futuras actualizaciones solo requerirán cambios en los datos.

→ **Crecimiento demográfico**

Los datos de crecimiento poblacional muestran una tendencia ascendente a 2050. De este comportamiento se mantiene una proporción urbana en aumento, mientras se reduce la proporción rural (UPME, 2019a). Por otro lado, se visualiza una disminución en el número de personas por vivienda tanto para hogar urbano como rural debido a un cambio en comportamiento (ONU, 2015; UPME, 2019a).

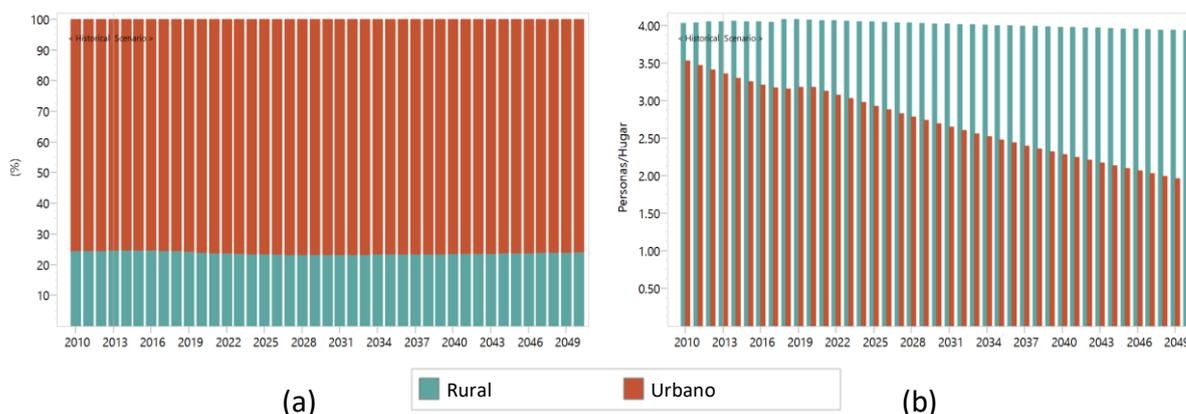


Figura 5. (a.) proporción poblacional anual entre urbano y rural, y (b.) personas por hogar
Fuente: (DANE, 2020b; UPME, 2019a).

Por otro lado, se mantiene un ascenso mantenido en el número de hogares en zona urbana a 2050, mientras que se espera un descenso en el número de hogares en zona rural a mediados del 2034 (UPME, 2019a).

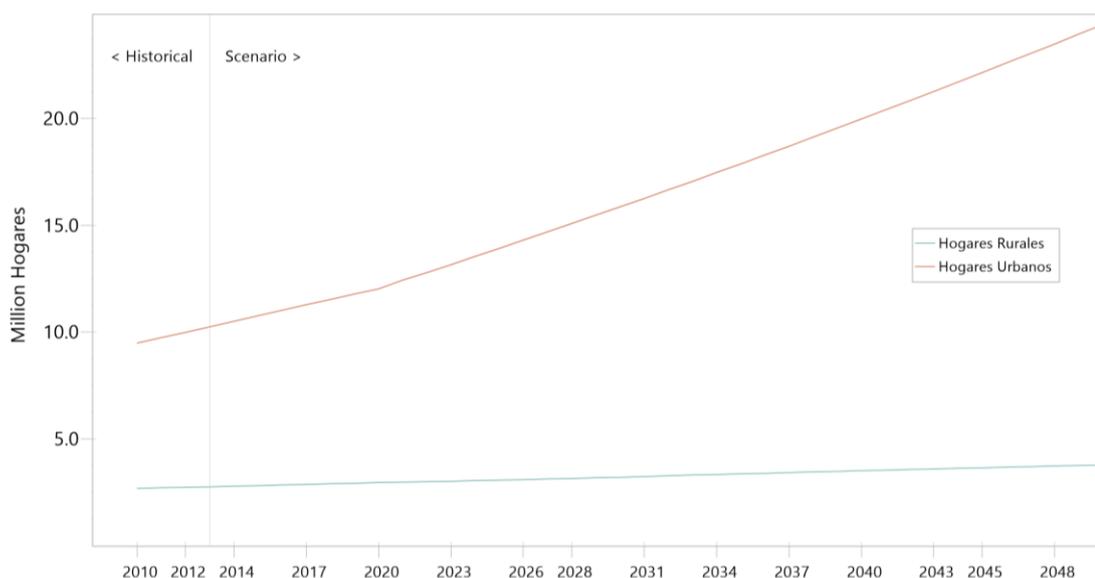


Figura 6. Proyección de número de hogares en zona urbana, y zona rural

Fuente: (DANE, 2020b; UPME, 2019a).

→ Crecimiento económico

Para el escenario R1 el crecimiento económico está en función del MFMP de MinHacienda, el consumo intermedio, y el valor agregado (trabajo, capital-energía) (DNP, 2020) (Ver Anexo asociado a esta sección). Se espera un crecimiento mantenido a 2050 para todos los sectores de la economía acorde al modelo MEG4C del DNP, el cual es un modelo de equilibrio general computable con resultados indicativos sobre la economía colombiana:

Tabla 2. Proyecciones de PIB sectoriales modelo MEG4C 2020-2030 para el escenario R1

Tasa Crecimiento PIB total MFMP 2020	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
4.0%	4.2%	4.4%	4.3%	4.3%	4.1%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Tasa Crecimiento Sectores/Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Agricultura	32,438	33,800	35,287	36,804	38,387	39,961	41,559	43,222	44,951	46,749	48,619
Ganadería	14,224	14,821	15,473	16,139	16,833	17,523	18,224	18,953	19,711	20,499	21,319
Carbón	9,769	10,179	10,627	11,084	11,560	12,034	12,516	13,016	13,537	14,078	14,641
Petróleo	30,912	32,210	33,627	35,073	36,581	38,081	39,605	41,189	42,836	44,550	46,332
Otros minerales	5,313	5,537	5,780	6,029	6,288	6,546	6,808	7,080	7,363	7,658	7,964
Agro-industria	9,962	10,380	10,837	11,303	11,789	12,273	12,764	13,274	13,805	14,357	14,932
Recursos naturales procesados	23,329	24,309	25,378	26,470	27,608	28,740	29,889	31,085	32,328	33,622	34,966
Refinados de petróleo	10,590	11,034	11,520	12,015	12,532	13,046	13,567	14,110	14,675	15,262	15,872
Industria mano de obra no calificada	43,835	45,676	47,686	49,737	51,875	54,002	56,162	58,409	60,745	63,175	65,702

Tasa Crecimiento PIB total MFMP 2020	4.0%	4.2%	4.4%	4.3%	4.3%	4.1%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Tasa Crecimiento Sectores/ Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Industrias capital y alta tecnología	30,973	32,274	33,694	35,143	36,654	38,157	39,683	41,270	42,921	44,638	46,424
Electricidad	16,187	16,867	17,609	18,366	19,156	19,941	20,739	21,568	22,431	23,328	24,262
Gas Natural	3,163	3,296	3,441	3,589	3,743	3,896	4,052	4,214	4,383	4,558	4,740
Agua y alcantarillado	8,402	8,755	9,140	9,534	9,943	10,351	10,765	11,196	11,644	12,109	12,594
Vivienda	28,581	29,782	31,092	32,429	33,824	35,210	36,619	38,084	39,607	41,191	42,839
Obras civiles	31,318	32,633	34,069	35,534	37,062	38,581	40,124	41,729	43,399	45,135	46,940
Transporte	46,256	48,199	50,320	52,484	54,740	56,985	59,264	61,635	64,100	66,664	69,331
Servicios	486,158	506,576	528,866	551,607	575,326	598,915	622,871	647,786	673,697	700,645	728,671

Fuente: (DNP, 2020).

→ Proyección de oferta de hidrocarburos

Las proyecciones de hidrocarburos corresponden a los escenarios suministrados y definidos por el Ministerio de Minas y Energía. Estos se describen de forma más detallada en la sección de transformación (secciones 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4). La Figura 7 muestra las sendas de producción primaria incluidas en el modelo LEAP.

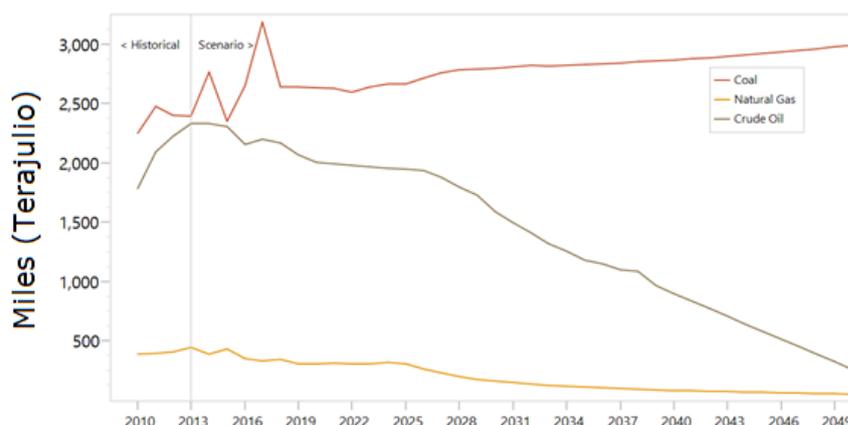


Figura 7. Trayectoria de producción primaria de carbón (coal), gas natural (natural gas) y petróleo (crude oil).

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Minenergía

2.5.2. ESCENARIO R3

En este escenario se consideran las cifras oficiales ajustadas debido al COVID-19. Será parte de la versión 2 de la NDC. Incluirá las proyecciones actualizadas de población que se extienden más allá de 2035 (D2) (DANE, 2020b) como en la versión final de R1 y R2; drivers de proyección a partir del Marco Fiscal de Mediano Plazo con impactos COVID-19 (E3); escenarios de oferta y producción de hidrocarburos (H1) como en R1 y R2.

→ **Crecimiento económico**

Durante el 2020 se presenta un decrecimiento por el COVID-19 y una recuperación desde 2021 por medidas de recuperación propuestas por (DNP, 2020). Para R3 se consideran los resultados más recientes de proyección a partir del MFMP con impactos COVID-19 (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Proyecciones de PIB sectoriales modelo MEG4C 2020-2030 para el escenario R3

Tasa Crecimiento PIB total MFMP 2020	-5.5%	6.6%	5.5%	5.0%	4.6%	4.2%	3.9%	3.6%	3.4%	3.3%	3.3%
Tasa Crecimiento Sectores/ Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Agricultura	39.953	43.669	45.822	47.957	50.029	52.090	54.137	56.108	58.066	60.046	62.100
Ganadería	13.855	14.547	15.080	15.662	16.271	16.894	17.528	18.150	18.778	19.424	20.106
Carbón	8.317	8.625	9.153	9.248	9.513	9.775	10.060	10.353	10.698	11.070	11.487
Petróleo	29.307	32.882	33.458	34.200	35.326	36.477	37.688	38.909	40.228	41.616	43.123
Otros minerales	4.384	5.081	5.493	5.833	6.123	6.402	6.672	6.923	7.164	7.399	7.635
Agro-industria	26.376	31.256	33.691	35.884	37.865	39.796	41.682	43.462	45.196	46.914	48.659
Recursos naturales procesados	16.796	19.383	20.881	22.073	23.093	24.098	25.076	25.999	26.872	27.730	28.592
Refinados de petróleo	9.225	10.471	11.193	11.859	12.458	13.040	13.608	14.143	14.665	15.181	15.705
Industria mano de obra no calificada	15.182	16.777	17.647	18.491	19.297	20.096	20.890	21.652	22.408	23.170	23.960
Industrias capital y alta tecnología	27.221	30.188	32.962	35.239	37.142	38.955	40.692	42.300	43.827	45.304	46.772
Electricidad	14.669	15.975	17.189	18.238	19.166	20.072	20.958	21.792	22.596	23.391	24.196
Gas Natural	2.655	2.862	3.078	3.265	3.431	3.593	3.752	3.901	4.045	4.188	4.332
Agua y alcantarillado	7.699	8.385	8.854	9.293	9.710	10.128	10.546	10.947	11.341	11.738	12.148
Vivienda	25.311	26.855	28.415	29.643	30.754	31.895	33.037	34.147	35.206	36.269	37.361
Obras civiles	26.770	32.178	35.306	37.625	39.503	41.340	43.105	44.747	46.260	47.722	49.158
Transporte	41.364	42.067	43.708	45.382	47.115	48.887	50.686	52.450	54.222	56.034	57.944
Servicios	460.448	487.614	513.019	536.771	559.370	582.024	604.607	626.372	647.794	669.431	691.857

Fuente: (DNP, 2020).

CAPITULO 3 METODOLOGÍA SECTORIAL PARA EL ESCENARIO BASE COLOMBIANO

3.1. SUMINISTRO DE ENERGÍA: INDUSTRIAS DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

→ Estructura general de LEAP sectorial

En LEAP, los sectores de extracción de energía primaria, transformación de combustibles (sólidos y líquidos), y de generación de energía eléctrica se encuentran dentro del módulo Transformación como muestra la Figura 8.

Dado que LEAP permite la creación de diferentes submódulos para representar la oferta de energía, para adecuar esto al contexto colombiano, la estructura principal del módulo Transformación se definió con base en los energéticos que componen en el Balance Energético Colombiano (UPME, 2018) y los procesos de transferencia y conversión entre dichos energéticos.

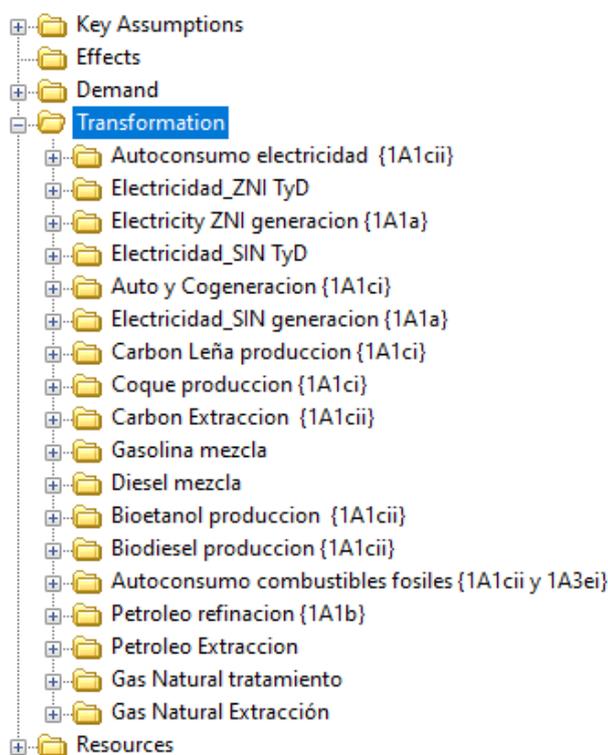


Figura 8. Estructura de árbol en el módulo de Transformación en LEAP
Fuente: elaboración propia.

3.1.1. GENERACIÓN ELÉCTRICA

→ Estructura LEAP sectorial

Como lo muestra la Figura 8, la generación eléctrica en LEAP esta subdividida en actividades que van desde el proceso de producción hasta el proceso de distribución (LEAP, 2020). Además, para ser consistentes con la documentación oficial, esta subdivisión está basada en el Inventario nacional de GEI 2016 (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA., 2016). El cual indica, como lo muestra la Figura 9, que de la categoría 1A, actividades de quema de combustible, se deriva la subcategoría 1A1 de Industrias de la energía, y de esta las actividades 1A1a de producción de electricidad y 1A1c para la auto y cogeneración de electricidad. La actividad 1A1a está dividida en la generación eléctrica en el Sistema Interconectado nacional (SIN) y la generación en Zonas No Interconectadas (ZNI).

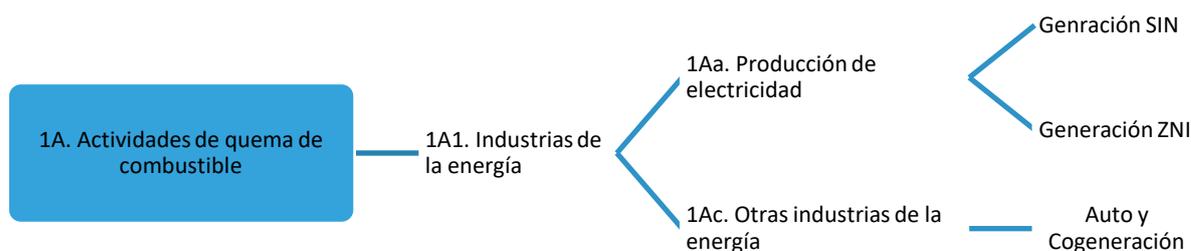


Figura 9. Estructura de energéticos para generación eléctrica reportado en el inventario nacional de GEL

Dicha estructura principal esta desagregada por las actividades específicas de cada subcategoría, como se describe en la Tabla 4, y las cuales corresponden a los módulos señalados en la Figura 9.

Tabla 4. Desagregación de la estructura en LEAP para Generación eléctrica

LEAP categoría	Nivel de desagregación
1Aa. Producción de electricidad. Generación Sistema Interconectado Nacional (SIN).	Autoconsumo del sector Pérdidas en las actividades de transmisión y distribución Capacidad de generación y consumo de combustibles.
1Aa. Producción de electricidad. Generación Zonas No Interconectadas (ZNI).	Pérdidas en las actividades de distribución Capacidad de generación y consumo de combustibles.
1Ac. Otras industrias de la energía. Auto y Cogeneración.	Autoconsumo del sector y en el sector de hidrocarburos. Pérdidas en las actividades de transmisión y distribución Capacidad de generación y consumo de combustibles.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

Para describir este nivel de desagregación, a continuación, se hace un recuento de la metodología, el enfoque para el cálculo de emisiones y la estructura del escenario de referencia para la construcción de los módulos.

Los datos para la modelación para generación eléctrica están soportados en el Plan de Expansión de generación transmisión 2016 (UPME, 2016), en los datos de la actividad de generación eléctrica según los registros de operación histórica del sistema eléctrico de XM, y otra información provista por el Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía). El reporte está acompañado de un archivo de Excel donde se describen los datos utilizados en las proyecciones y de los datos históricos.

Sistema Interconectado Nacional (SIN)

El modelamiento del sistema eléctrico se aborda en dos partes. La primera, donde se replican las características de un escenario de expansión del sistema para el periodo 2016-2030, de acuerdo con las proyecciones de la UPME. La segunda parte, donde se construye un escenario de expansión que prolonga la política de expansión del escenario replicado en el periodo 2030-2050.

En la primera parte, el modelamiento se basa en la información del Plan de Expansión 2016-2030 (UPME, 2016). Este plan cuenta con diferentes escenarios de expansión, entre los cuales el MME definió como referencia el Escenario 1.1. Vale la pena destacar que el escenario de referencia en LEAP es una variante del escenario 1.1, toda vez que este último se ajustó según las recomendaciones del MinEnergía, para disminuir el impacto que tiene la modelación de Hidroituango en el escenario 1.1 dado los retrasos que ha tenido este proyecto. La capacidad de generación para el escenario de referencia en 2030 es como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Expansión de referencia para el periodo 2016-2050

	Hidráulica	Gas	Carbón	Menores	Biomasa	Eólica	Solar	Geotérmica	Otros
2030 (Escenario 1.1) ²	13913	3656	2674	1538	0	362	90.5		88.3
2030	13550	4470	1930	1260	0	362	90.5	0	88.3
2050	19560	6570	4180	2470	900	2150	1450	300	0

*Valores en MW

Para la expansión de capacidad en el periodo 2030-2050, considerando que la incertidumbre aumenta hacia el final del horizonte, se desarrolló una alternativa de expansión con la herramienta de optimización NEMO disponible en LEAP³. La Figura 10 muestra la generación eléctrica del escenario de referencia proyectado a 2050. Se destaca una creciente participación de las fuentes renovables hacia 2050. Los porcentajes de participación de la Figura 10 se muestran en la Tabla 6.

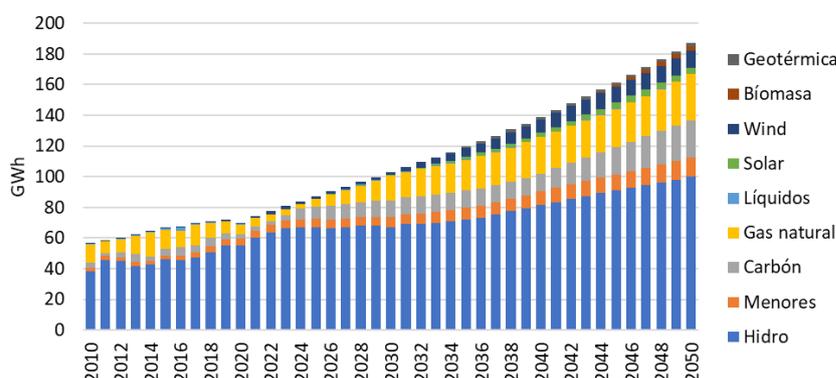


Figura 10. Participación de energéticos en la generación eléctrica en el periodo 2016-2050

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME.

² Para la construcción del escenario de referencia se ajustaron los valores esperados de capacidad de gas natural y carbón del Escenario 1.1, por capacidades que son similares a las que se observaron en el SIN para el periodo 2015-2019. De igual forma se hizo con la tasa de crecimiento de las plantas menores. Esto evita la distorsión que el alto nivel de capacidad a base de carbón del Escenario 1.1 tiene sobre el nivel de emisiones del escenario de referencia. Los valores de referencia para el periodo mencionado se toman de los datos reportados por XM. Fuente: <http://portalbissrs.xm.com.co/oferta/Paginas/Capacidad/capefenetporcom.aspx>

³ El escenario de optimización en NEMO está disponible dentro del modelo en LEAP, como un escenario alternativo llamado "OPT: OPT Expansión Capacidad Generación". Este escenario puede ayudar al lector a replicar los ejercicios de optimización realizados. Sin embargo, este escenario se encuentra deshabilitado por defecto para evitar la sobrecarga en los cálculos generales del modelo.

Tabla 6. Participación por energéticos en la generación entre 2030 y 2050

	Hidráulica	Gas	Carbón	Menores	Biomasa	Eólica	Solar	Geotérmica
2030	65.2%	15.6%	10.6%	6.1%	0	1.8%	0.2%	0
2050	53.4%	16.1%	13%	6.7%	1.8%	5.9%	2.2%	1%

Fuente: elaboración propia a partir de resultados de LEAP.

Es importante tener en cuenta que los requerimientos de energía al SIN son la suma de los requerimientos de la demanda, de los autoconsumos y de las pérdidas de energía en el proceso de transporte y distribución.

Para el periodo de simulación 2014-2030, el modelo en LEAP está calibrado para atender los requerimientos de energía según estos se vean afectados por los drivers económicos, de población, y supuestos principales del escenario de referencia. En este sentido, es importante observar en la Figura 11, que entre los años 2014 y 2050 la demanda en LEAP presenta una buena compatibilidad con la trayectoria del escenario 1.1 UPME en el periodo entre 2016 y 2030. Por lo tanto, el escenario de expansión en LEAP que está basado en el escenario 1.1 también garantiza el cubrimiento de la energía requerida en el horizonte de análisis.

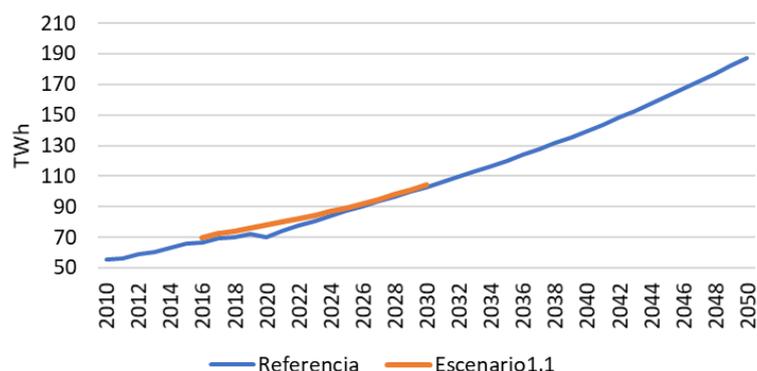


Figura 11. Volumen bruto de energía generación por el sistema eléctrico
Fuente: elaboración propia a partir de información UPME (Plan expansión 2016).

Consumos diferentes a la demanda

En la modelación de la actividad de generación eléctrica se consideran, además, los volúmenes de energía que están destinados para el autoconsumo, y también las pérdidas debido a la transmisión y distribución de la energía.

La Figura 12 muestra la distribución histórica de la energía generada entre la demanda, las pérdidas y los autoconsumos, según el BECO (UPME, 2018). De acuerdo con los datos históricos, el autoconsumo es de aproximadamente 3% de la energía generada, y es un valor que se mantiene constante. De igual forma, las pérdidas de energía se encuentran alrededor del 11% ($\pm 1\%$) de la energía generada.

Dado que los valores históricos de pérdidas y autoconsumo según el BECO (UPME, 2018) son constantes, estos también se mantienen constantes en LEAP.

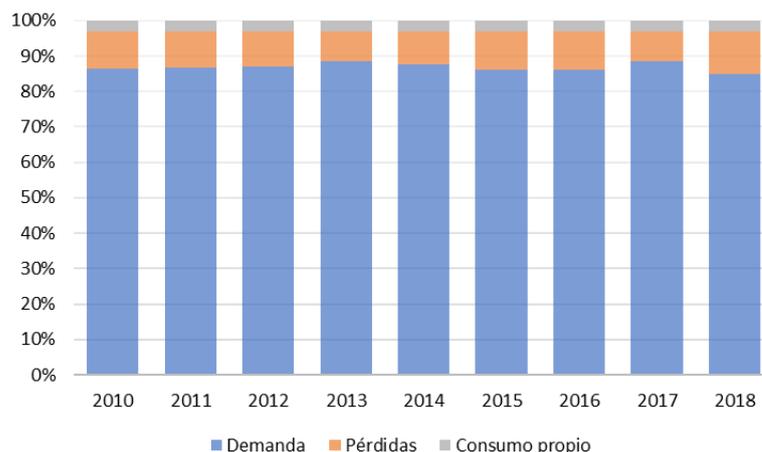


Figura 12. Distribución histórica de la energía generada entre la demanda, las pérdidas y los autoconsumos

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME.

Autogeneración y Cogeneración

La principal fuente de información para modelar esta actividad es el balance energético (UPME, 2018). Las estadísticas energéticas muestran que la electricidad generada por auto- cogeneración se consume principalmente en la extracción de petróleo y gas natural, con aproximadamente el 55% del total generado anualmente. La electricidad restante se consume en la industria y una pequeña porción (5%) es inyectada al SIN.

Como lo muestra la Tabla 7, en la auto- y cogeneración se usa principalmente como combustible el gas natural, petróleo y diésel. Para la calibración del periodo 2010 – 2015, se utilizaron los datos históricos reportados en el BECO y la eficiencia promedio de las plantas según los informes de autogeneración y cogeneración de XM (XM, 2019) y de la UPME (UPME, 2014). Para el escenario de referencia se asumió que la participación de combustibles al final del 2015⁴ se mantiene constante hasta el final del horizonte, igual que la eficiencia de los procesos de generación.

Tabla 7. Participación de los recursos en la auto- y cogeneración histórica según BECO

[%]	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2050
Bagazo	14.9	13.4	13.9	14.2	16.3	16.2	16.2
Carbón	8.9	9.1	9.6	7.9	9.2	9.2	9.2
Gas natural	49	47.5	46.7	48.4	47.5	47.8	47.8
Hidro	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
Oíl	11.9	15.6	15.6	13.1	11.9	11.8	11.8
Diesel	13.4	12.5	12.4	14.4	13.3	13.3	13.3
GLP	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2

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

Adicionalmente, para determinar la capacidad de auto y cogeneración, y así prevenir distorsiones en la electricidad inyectada al SIN, se utilizaron los siguientes supuestos⁵:

⁴ Último año de calibración para el escenario de referencia.

⁵ Aunque estos supuestos no reflejan una realidad técnica, permiten replicar para los datos históricos y proyectados la inyección de energía al SIN por tecnología y/o combustible.

- El factor de disponibilidad de la planta es igual a uno. Esto significa que la planta fue operable el 100% del tiempo a capacidad nominal.
- La capacidad en un respectivo año debe ser mayor o igual a la capacidad del año inmediatamente anterior. Considerando que la electricidad de auto - cogeneración ha venido creciendo durante los últimos 10 años.
- La capacidad instalada por cada recurso aumenta a la misma tasa del PIB Industrial para el periodo 2016 – 2050 (CIU C) para mantener su capacidad de atender la creciente demanda.

La capacidad por tecnología resultante se puede ver en la Tabla 8. Además de lo mencionado anteriormente, se asumió que para el escenario de referencia no existen planes, políticas y/o incentivos para que tecnologías más limpias tengan mayor participación.

Tabla 8. Auto y cogeneración capacidad instalada por recurso

[MW]	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bagazo	67	87.9	97.4	120	146.1	177.7	216.2	263	320
Carbón	60	83.6	92.7	114.2	138.9	169	205.6	250.2	304.4
Gas natural	491.9	555.8	616.1	759	923	1,123	1,367	1,663	2,023
Hidro	13.8	17.8	19.8	24.4	29.6	36.1	43.9	53.4	65
Petróleo	92.7	127.4	141.2	174	211.7	257.6	313.4	381.3	463.9
Solar	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4
Diesel	118.4	124.8	138.4	170.5	207.4	252.3	307	373.5	454.4
GLP	9.9	10.2	11.3	13.9	16.9	20.5	25	30.4	37

Fuente: elaboración propia a partir de información histórica de la UPME.

Zonas No Interconectadas (ZNI)

Para la modelación de las ZNI se consideran tres elementos principales: i) la capacidad instalada y participación de los combustibles en la generación histórica; ii) el consumo de energía eléctrica en las ZNI; y iii) las pérdidas de energía en la actividad. Similar a lo que ocurre en el SIN, el volumen de pérdidas de energía es alto en la distribución.

Dadas las características especiales de estas zonas, la demanda de energía se modela de manera independiente. Desde de la plataforma SUI se descargan los datos de demanda por tipo de consumo, para el periodo de datos históricos en LEAP, como se muestra en la Figura 13.

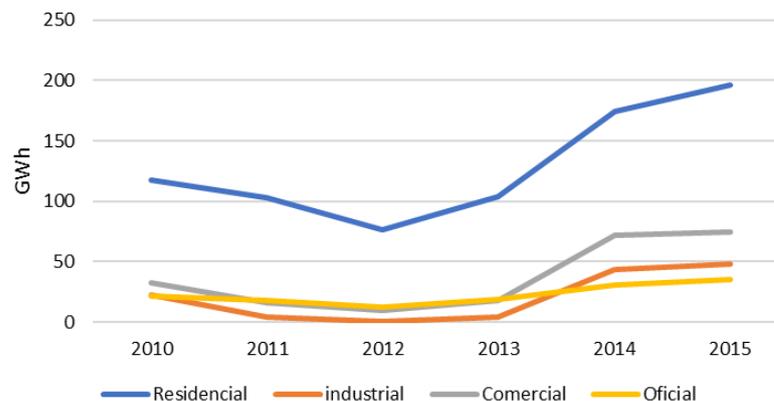


Figura 13. Demanda histórica por tipos en la ZNI

Fuente: SUI.

En el caso de la generación, en 2019 las ZNI contaban con aproximadamente 242 MW (IPSE, 2019) de capacidad instalada, de la cual, 96% correspondía a generación con plantas diésel, mientras que el restante 4% corresponde a fuentes renovables. Para considerar el crecimiento tendencial de las fuentes renovables en estas zonas, se aplica una tasa de crecimiento de 3% a la participación de estas fuentes. La Figura 14 muestra el perfil de generación en las ZNI obtenida en LEAP. El comportamiento creciente al final del horizonte de la demanda en ZNI está sujeta a la tasa de crecimiento de la demanda en hogares rurales.

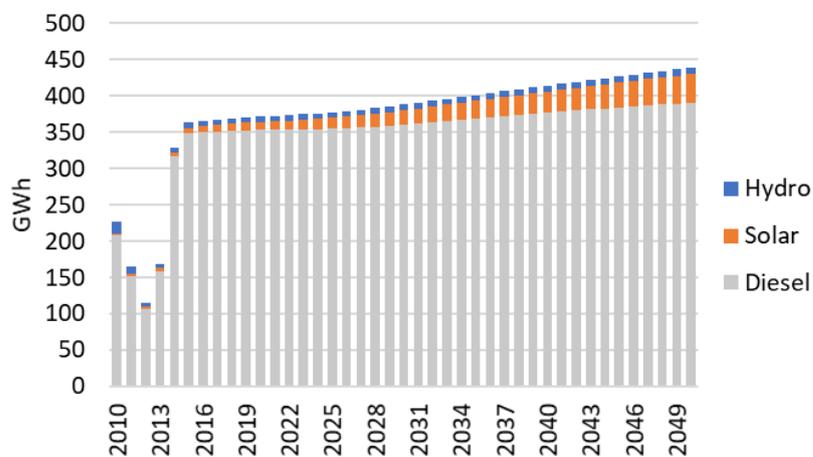


Figura 14. Generación por fuente en las ZNI en LEAP
Fuente: elaboración propia.

→ **Datos de sobre actividades sectoriales**

Dependiendo del nivel de generación, el modelo se desarrolla siguiendo varias fuentes de información. La Tabla 9 muestra para cada categoría de la estructura en LEAP (ver Figura 8), la principal fuente de información utilizada, además de documentos menores e información compartida por el Ministerio de Minas y Energía.

Tabla 9. Datos de actividad para generación eléctrica

LEAP Categoría	Datos de actividad	Fuente
Autoconsumo electricidad	Autoconsumo SIN Hidrocarburos Ext y Transf AG	Balance Energético Colombiano (UPME, 2018).
Electricidad SIN TyD	Pérdidas SIN	Balance Energético Colombiano (UPME, 2018). Informe cogeneradores (XM, 2019).
Auto y Cogeneración	Capacidad	Balance Energético Colombiano (UPME, 2018). Informe Auto-Cogeneración (UPME, 2015). Informe cogeneradores (XM, 2019).
Eficiencia y participación de tecnologías		
Electricidad ZNI	Pérdidas ZNI	Eficiencias teóricas. Monitoreo y fortalecimiento empresarial en la Colombia No Interconectada (IPSE, 2019). Capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en

		sector de industria, petróleo, comercio y público del país (UPME, 2014). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – Plataforma SUI.
	Capacidad	
	Eficiencia y consumo de combustibles	
Electricidad SIN	Capacidad	Plan de Expansión 2016-2030.
	Eficiencia y participación de tecnologías	Escenario 1.1. XM: Reportes de características técnicas de las plantas de generación en el SIN.
	Características técnicas de operación	XM: Reportes de planeamiento de largo plazo.
	Disponibilidad hídrica	UPME: Proyectos de generación.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el consumo de combustible asociado a la generación de electricidad, tanto en el SIN como en las ZNI, está afectado por las eficiencias. Además, el comportamiento de las emisiones se ve directamente influenciado por los fenómenos de variabilidad climática. El fenómeno de El Niño afecta la disponibilidad hídrica, e impone restricciones a la generación de hidroelectricidad, con el consecuente incremento de generación termoeléctrica. El incremento en el uso de combustibles fósiles para la producción de electricidad con plantas térmica conduce a su vez a un aumento de las emisiones del módulo de generación.

El factor de emisión promedio del sistema eléctrico depende de la cantidad de combustible usado en la generación. El cálculo de este factor de emisiones, para cada año, se hace de acuerdo con la siguiente formula:

Ecuación 1. Estimación de emisión por electricidad generada

$$FS = \frac{\sum_i FE_i * (EG_i/\eta_i)}{EG}$$

Donde,

FS: factor de emisión del SIN

FE_i: factor de emisiones de GEI del combustible *i*.

EG_i: electricidad generada con el combustible *i*

EG: electricidad total anual generada

η_i: eficiencia asociada a la generación eléctrica del combustible *i*.

Los factores de eficiencia para el consumo de combustibles pueden obtenerse de dos formas. La primera, un cálculo promedio de las eficiencias teóricas de las plantas térmicas de SIN, con el *Heat rate* de las plantas reportado por XM. El segundo, estimando la eficiencia a partir de los datos históricos de capacidad instalada, tiempo en operación de dicha capacidad, y el consumo por tipo de combustible. Para este último, se usan los datos históricos de consumo por tipo de combustible, los cuales se muestra en la Figura 15.

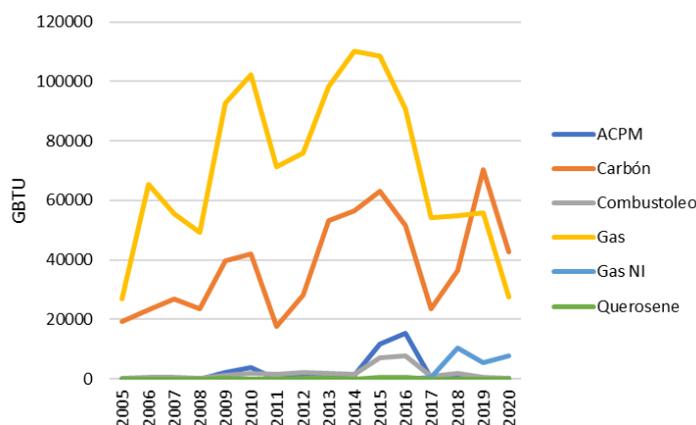


Figura 15. Consumo de combustible histórico para las plantas térmicas
Fuente: elaboración propia a partir de datos de XM.

Mientras que el primer enfoque es más útil para las proyecciones de capacidad instalada, el segundo lo es más para calcular las eficiencias de las plantas considerando las condiciones reales de operación.

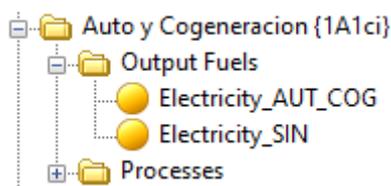
Por lo tanto, para la modelar en LEAP la relación entre la generación de electricidad y el consumo de combustible se utilizan los datos históricos de eficiencia en la transformación (Portal BI - XM), como se muestra en la Tabla 10. La modificación de las eficiencias o la introducción de tecnologías de mayor eficiencia se hace a través de este parámetro. Para replicar el escenario 1.1. y para la proyección de los escenarios de referencia a 2050 estos valores de eficiencia se mantienen constantes.

Tabla 10: Relación de energía generada y consumo de combustible en plantas térmicas.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Diesel			0.39	0.40	0.41	0.43	0.42	0.34	0.29
Carbón	0.38	0.41	0.36	0.36	0.35	0.29	0.31	0.31	0.32
Fuel oíl	0.17	0.24	0.15	0.23	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
Gas	0.40	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.39	0.41	0.44
JetA1			0.27	0.32	0.30	0.32	0.32	0.28	0.26
Mezcla				0.41	0.41	0.40	0.41	0.38	0.33

Fuente: elaboración propia a partir de datos de XM.

En el caso de la auto y cogeneración, teniendo en cuenta que, según los lineamientos del IPCC (IPCC, 2006), las emisiones se deben contabilizar en el sector donde la electricidad es consumida⁶, el dato de actividad en LEAP se definió como la demanda de electricidad de auto y cogeneración y se definió un tipo de electricidad (Electricity_AUT_COG) en el modelo para diferenciarla de la electricidad del SIN. Esto se ilustra en la Figura 16.



⁶ Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2, capítulo 2, Table 2.1. (versión original)

Figura 16. Tipos de electricidad de salida en el proceso de Auto y cogeneración
 Fuente: elaboración propia.

Para simplificar la modelación, el cálculo del factor de emisiones para que refleje cambios en la proporción de combustibles en auto y cogeneración se realiza de acuerdo con las siguientes formulas:

Ecuación 2. Estimación de emisión por electricidad generada según proporción de combustible

$$EM_i = \frac{FE_i * EG * S}{\eta_i}$$

Ecuación 3. Emisiones de GEI asociadas a la auto-cogeneración de electricidad (ACEM)

$$ACEM = EG * \frac{\sum \frac{FE_i S_i}{\eta_i}}{\sum \frac{S_i}{\eta_i}}$$

Ecuación 4. Factor de emisiones promedio para la electricidad proveniente de auto-cogeneración

$$FE_{av} = \frac{ACEM}{EG} = \frac{\sum \frac{FE_i S_i}{\eta_i}}{\sum \frac{S_i}{\eta_i}}$$

Donde,

EM_i : emisiones de GEI del combustible i .

FE_i : factor de emisiones de GIE del combustible i .

EG : electricidad generada con auto y cogeneración.

S : proporción del combustible i en la generación de electricidad AUT-COG.

η_i : eficiencia asociada a la generación eléctrica del combustible i .

$ACEM$: emisiones de GEI asociadas a la auto-cogeneración de electricidad.

FE_{av} : factor de emisiones promedio para la electricidad proveniente de auto-cogeneración.

3.1.2. CARBÓN

La extracción de carbón está asociada con dos categorías de emisiones dentro del marco de referencia del IPCC (IPCC, 2006). La primera obedece a las emisiones resultantes de la quema de combustibles asociados a la extracción (v.g., Diesel, gasolina, carbón y gas natural) sea para generación de energía eléctrica dentro de la categoría Autogeneración del BECO (AUT COG) o para el transporte de materiales o productos, las cuales son contabilizadas en la categoría "1Ac – Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas". La segunda categoría asociada a la minería de carbón dentro del marco de referencia IPCC es "1B1 – Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles sólidos", la cual se describe posteriormente en este documento.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

El uso de diésel y gasolina en la producción de carbón se representó en LEAP mediante factores de intensidad, es decir TJ de combustible usado por TJ de carbón producido (Tabla 11) (UPME, 2018). Esta intensidad se varía durante el periodo 2010-2015 y se mantiene constante para el escenario de

referencia al valor promedio de esta serie histórica. Las emisiones contabilizadas en este módulo integran los factores de emisión descritos en la sección *Factores de Emisión* (Tabla 1).

Tabla 11. Intensidad de consumo de combustibles líquidos en minería de carbón

	Unidades	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010-2015
Producción de carbón 2010-2015	[TJ]	2,138,310	2,467,701	2,579,963	2,471,526	2,553,534	2,490,478	14,701,512
Consumo Gas Natural en minería	[TJ]	-	-	-	-	4,569	3,697	8,266
Consumo Diesel en minería	[TJ]	13,258	13,353	15,206	14,051	15,795	16,640	88,303
Consumo Gasolina en minería	[TJ]	111.7	107.94	106.56	92.14	83.25	82.81	584
Intensidad Gas Natural		-	-	-	-	0.0017895	0.0014845	0.000562
Intensidad Diesel	[TJ/TJ Carbón]	0.0062001	0.0054112	0.0058938	0.0056851	0.0061855	0.0066816	0.006006
Intensidad Gasolina	[TJ/TJ Carbón]	0.000052	0.000044	0.000041	0.000037	0.000033	0.000033	0.000040

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME y Minenergía.

→ Datos sobre actividades sectoriales

La producción de carbón se realiza mediante minería subterránea y minería de superficie. De acuerdo con los datos suministrados por el Ministerio de Minas y Energía⁷- Agencia Nacional de Minería (ANM, 2020), la minería subterránea ha perdido participación dentro de la producción nacional (ver Figura 17), siendo en 2015 el 8.84% de la producción nacional (86.5 Mt). Dado que para el periodo 2004 – 2015 la participación de minería de superficie ha variado entre 90% y 93%, se decidió extender la participación en 2015 para el periodo analizado (2016-2050). El BUR indica que esta participación en 2014 fue del 92%⁸ (IDEAM et al., 2018).

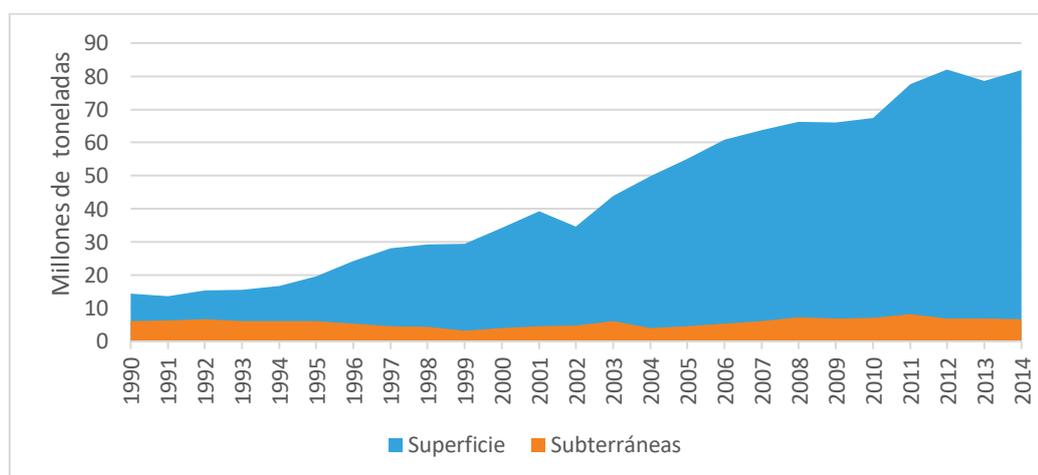


Figura 17. Producción histórica de carbón

Fuente: elaboración propia a partir de información de Minenergía y ANM.

⁷ Los departamentos Cesar, Córdoba, Santander y Guajira corresponden a minería a cielo abierto, los demás a minería subterránea.

⁸ Inventario nacional de GEI para Colombia – BUR, IDEAM-2018. Pg. 87.

En el modelo LEAP-Colombia, la producción nacional es resultado de la demanda interna, calculo endógeno al modelo, y la demanda externa (exportaciones), dato exógeno. Por lo tanto, se incluyen las exportaciones como restricciones a cumplir dentro del balance energético anual en LEAP. De esta manera se logra representar el escenario de referencia definido por la UPME y suministrado por el Ministerio de Minas y Energía. De los tres escenarios posibles (Figura 18) se incluyó en el modelo el escenario medio (Continuidad), el cual contiene proyecciones hasta 2035. Para extender la información hasta 2050 (periodo indicativo dentro de la actualización de la NDC), se acordó extrapolar de forma lineal las exportaciones de carbón. De esta forma se obtienen 97 Mt de carbón en 2030 y 94 Mt en 2050 en el escenario Continuidad.

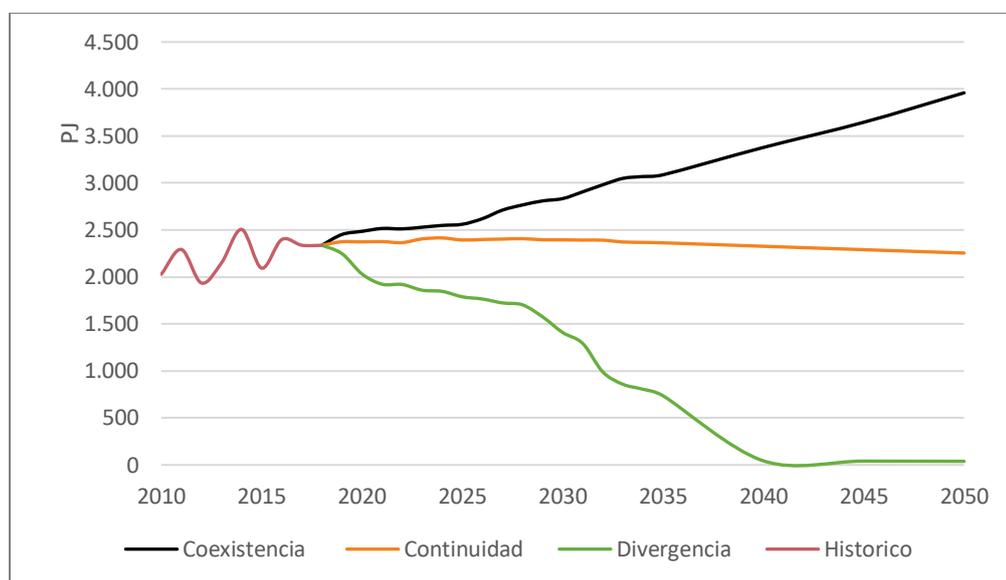


Figura 18. Escenarios de exportación de carbón.

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME y MME.

3.1.3. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO

La extracción de petróleo juega un papel importante para Colombia. Más del 75% de la producción nacional es exportada. En el modelo LEAP se incluyó la producción de petróleo como una restricción a cumplir en el balance energético. Adicionalmente, las reservas se modelaron a partir del primer año del modelo (2010) de tal manera que la producción estuviese limitada por las reservas nacionales y la capacidad de producción nacional prevista en el “Plan de abastecimiento de combustibles líquidos – 2019”. El plan de abastecimiento contempla tres diferentes escenarios a 2038. El Ministerio de Minas y Energía suministró tres escenarios adicionales actualizados a 2020 (ver Figura 19). De estos escenarios se incluyó en LEAP el escenario medio 2020. Para el periodo 2039-2050, se acordó extrapolar de forma lineal las proyecciones oficiales del plan de abastecimiento. Durante este periodo, y sin descubrimiento de reservas adicionales, la producción nacional se extingue y Colombia se convierte en importador neto en el escenario BAU, es decir sin contemplar alternativas tales como electrificación en ciertos sectores, uso de biocombustibles y la penetración de combustibles sintéticos basados en hidrogeno. LEAP da prioridad a suplir la demanda nacional y el excedente es considerado como exportaciones, la suma de estos dos conceptos es equivalente a la producción definida en el Escenario Medio-2020.

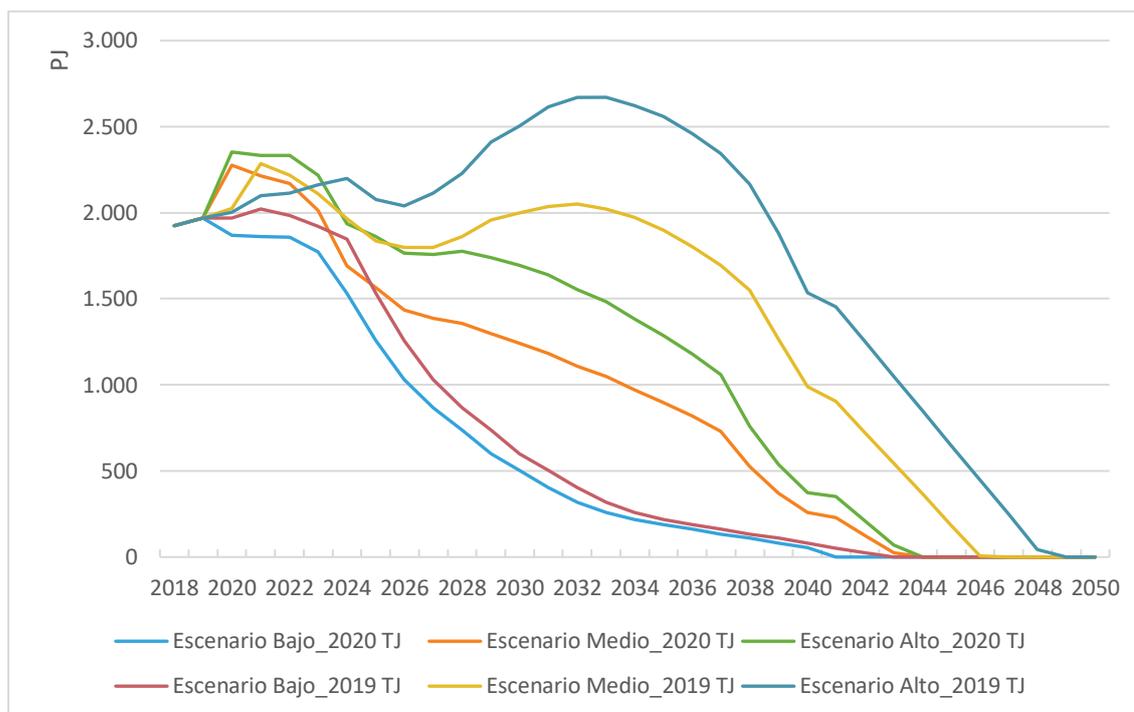


Figura 19. Escenarios de producción de petróleo 2018-2050.
Fuente: elaboración propia a partir de datos suministrados por MME.

No se representó el gas natural reinyectado (Reinyección-GN en el BECO, aunque se incluye en el BECO de forma independiente. De esta manera se obtiene la producción de gas natural fiscalizada como se explica en la sección de gas natural de este documento.

→ Datos sobre actividades sectoriales

El consumo de combustibles para la extracción de petróleo se contabiliza en la categoría *IPCC-1A1cii: Otras industrias de la energía* y se describe en la sección Autoconsumo de este capítulo.

Refinación de petróleo

En Colombia existen dos refinerías actualmente: Cartagena y Barrancabermeja, con una capacidad nominal de 150 kBPD y 250 kBPD, respectivamente⁹ (UPME, 2019b). Sin embargo, en el Plan de abastecimiento se hace una corrección a la carga debido a la calidad del crudo aprovechable. En LEAP esta capacidad se modela en términos de TJ/año, y para el periodo 2010-2018 se ajustó de tal manera que replicase el petróleo refinado de acuerdo con el BECO. En cuanto al periodo 2019-2050, la capacidad se estableció teniendo en cuenta lo provisto en el Plan de abastecimiento (359 kBPD), que es equivalente a 797,697 [TJ/año]. No se contemplan aumentos de la capacidad en el escenario de referencia. La participación de los derivados en la producción de las refinerías (Figura 20) se definió de acuerdo con lo previsto en el “Plan de abastecimiento de combustibles líquidos – 2019”, el cual asume dicha participación constante hasta 2038¹⁰. Adicionalmente, se incluyó el gas de refinería de acuerdo con los datos de consumo suministrados por Minenergía.

⁹ Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos, UPME-2019, pg.: 158 – 162.

¹⁰ Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos, UPME-2019, pg.: 161, 165.

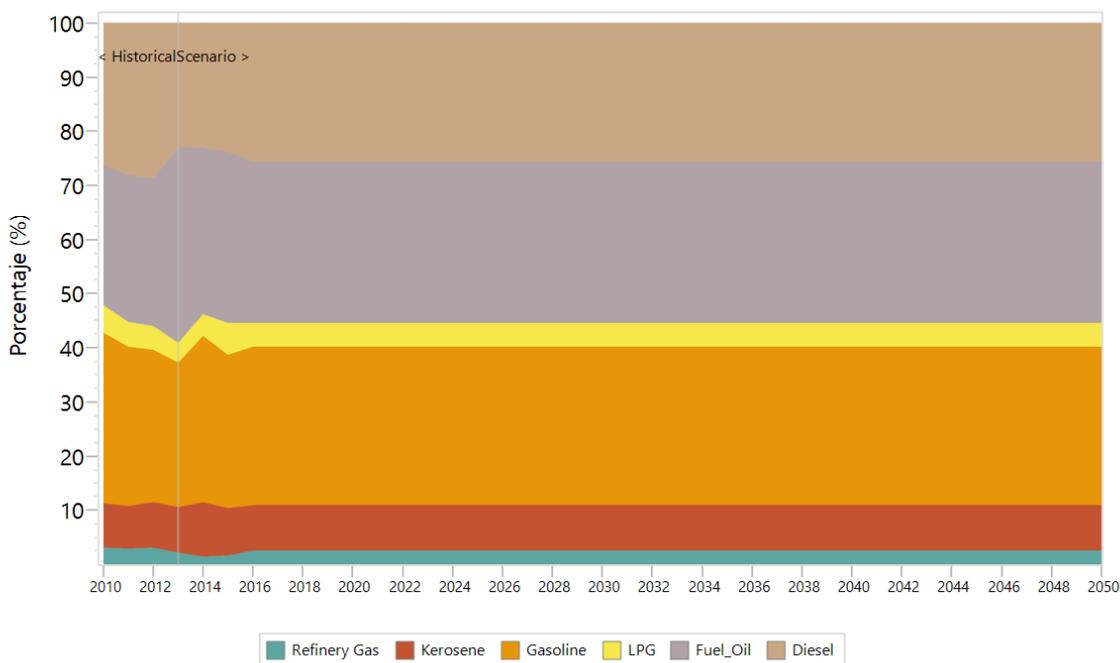


Figura 20. Participación de derivados en la producción de las refinerías en Colombia
Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME y MME.

En LEAP la eficiencia asociada al proceso se ingresa como eficiencia general, es decir la producción total sobre el total de petróleo refinado. Para el periodo 2010-2015, se incluyó en el modelo la eficiencia específica de cada año usando los datos del BECO. Para el periodo 2016-2050, la eficiencia se obtuvo como el promedio ponderado de los valores históricos (2010-2015) y se mantiene constante (UPME, 2018).

Tabla 12. Eficiencia global de refinerías.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016-2050
Eficiencia [%]	72.61	77.74	73.52	86.26	75.92	71.98	76.40

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME y MME.

El “Plan de abastecimiento de combustibles líquidos – 2019” contempla la importación de petróleo para garantizar la operación de las refinerías, además de importaciones de ACPM, gasolina y jet fuel para suplir la demanda nacional¹¹ (Figura 21). En LEAP estos datos se incluyen como objetivo de importaciones o exportaciones, lo cual representa una restricción para el modelo, y garantiza que dichos valores se reflejen en el balance energético anual. En el Plan no se contemplan diferentes escenarios para estas importaciones, por lo cual se decidió incluirlas como escenario único.

¹¹ Plan de Abastecimiento de Combustibles Líquidos, UPME-2019, Graficas 5-8, 5-11, 6-6.

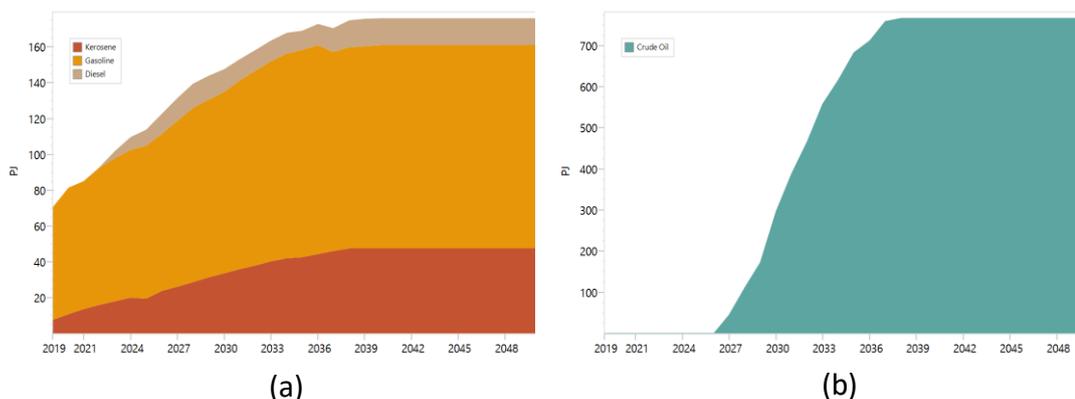


Figura 21. Importación de (a.) derivados de petróleo para cubrir la demanda nacional, y (b.) crudo para mantener la mezcla necesaria (pesados/ligeros) en las refinерías.
Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME.

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

A partir de los datos suministrados por Minenergía referente a la demanda energética de las refinерías se calculó la intensidad energética y la participación de cada combustible asociado a la cantidad de petróleo refinado (Tabla 13), dado que este valor se reporta directamente en el BECO en la categoría *CT Refinerías*.

Tabla 13. Intensidad de gas natural inyectado en la extracción de petróleo.

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010-2015
Petróleo refinado	[TJ]	665,773	679,704	678,037	631,081	548,005	542,085	3,744,685
Consumo energético	[TJ]	51,292	56,459	55,823	55,296	46,670	53,420	318,959
Intensidad energética	[TJ/TJ]	0.077041	0.083064	0.082330	0.087622	0.085163	0.098545	0.085176
Participación								
<i>Diésel</i>	[%]	0.02	0.04	0.06	0.01	0.02	0.02	0.03
<i>Fuel Oil</i>	[%]	5.55	5.65	0.56	0.45	0.03	0.05	2.08
<i>Gas de refinерía</i>	[%]	29.87	28.57	28.52	22.11	13.72	12.75	22.83
<i>GLP</i>	[%]	2.93	2.44	3.80	5.45	7.41	16.20	6.31
<i>Gas Natural</i>	[%]	61.61	63.29	67.05	71.98	78.82	70.97	68.74
<i>Gasolina</i>	[%]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Kerosene y Jet Fuel</i>	[%]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Minenergía en 2020.

3.1.4. GAS NATURAL

La extracción de gas natural en Colombia se da principalmente para suplir la demanda interna. Por lo tanto, a diferencia de la extracción de carbón y petróleo, la restricción en este caso se aplica a las reservas existentes para el periodo de análisis, las cuales se reducirán dependiendo de la demanda interna, y la capacidad de extracción (proyecciones de producción). Las reservas se tomaron del

reporte de producción de gas natural para los próximos 10 años¹² y los consumos históricos (2010 – 2018). Se definieron de esta manera que reservas para el primer año en el modelo en 13,732 [PJ]. Por lo tanto, para suplir la demanda nacional, el modelo LEAP calcula las importaciones necesarias automáticamente, sin tener restricciones de capacidad de importación (capacidad de puertos, gaseoductos y estaciones de regasificación) (LEAP, 2020). La UPME define tres escenarios diferentes en el “*Estudio técnico para el plan de abastecimiento de gas natural -2020*”:

- **Escenario 1:** Declaración producción próximos 10 años.
- **Escenario 2:** Declaración producción próximos 10 años, más nuevos descubrimientos.
- **Escenario 3:** Declaración producción próximos 10 años, más nuevos descubrimientos, más la continuación de Sociedad Portuaria El Cayao, según los escenarios la UPME en el plan de abastecimiento de gas natural (UPME, 2020).

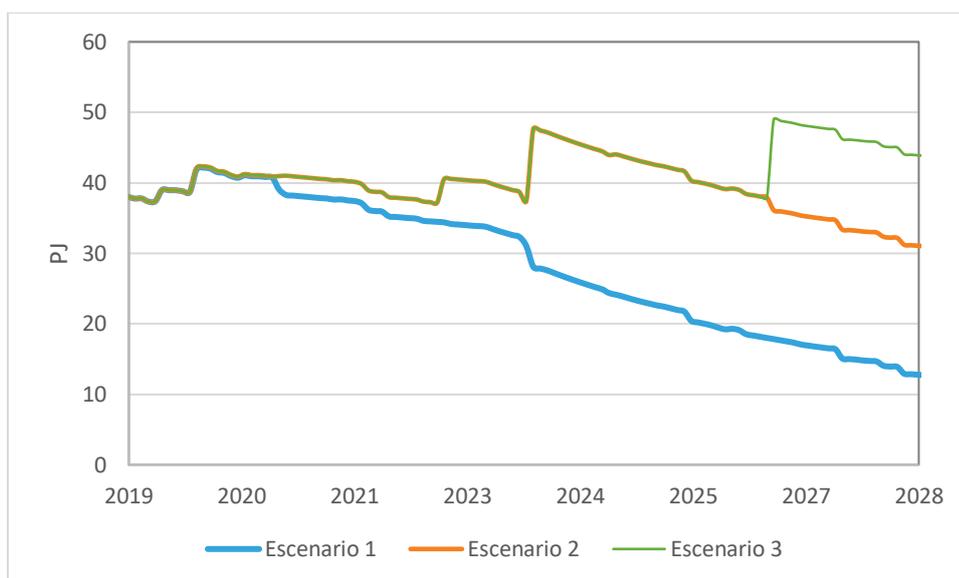


Figura 22. Producción diaria de gas natural.

Fuente: elaboración propia a partir de información de Minenergía.

Para el escenario de referencia, y adicional al “*Estudio técnico para el Plan de abastecimiento de gas natural -2020*”, el Ministerio de Minas y Energía suministró la información del escenario 2 de Declaración de Producción 2019, con valores estimados de producción e importaciones a 2028. Dada la alta incertidumbre respecto a la producción y nuevos hallazgos, se acordó extrapolar linealmente los valores para el periodo 2029 – 2050. Sin embargo, las importaciones en LEAP son diferentes a las contempladas en el plan de suministro de gas, ya que esto depende de la demanda nacional, como se explicó anteriormente.

¹² Información compilada por el Ministerio de Minas y Energía a partir de la información suministrada por los productores de gas natural

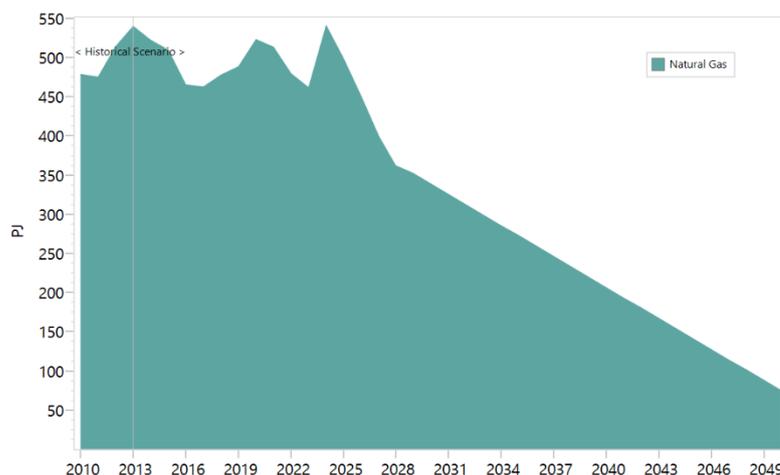


Figura 23. Producción anual de gas natural.

Fuente: elaboración propia a partir de información de Minenergía.

En el BECO se reporta el gas natural no aprovechado (UPME, 2018). Para representar esta categoría en LEAP se creó un módulo de pérdidas (*Gas natural no aprovechado*). Las pérdidas se calcularon utilizando los valores históricos reportados en el BECO: No aprovechado y Extracción primaria. Para el periodo 2010-2015 este valor fluctuó entre 3.8% y 6.3%. Para el periodo 2016-2050 se usó 4.8%, como valor promedio de la serie histórica.

→ Datos sobre actividades sectoriales

Las emisiones asociadas a la extracción de gas se contabilizan en el módulo de Autoconsumo hidrocarburos en LEAP, categoría *Consumo propio sector hidrocarburos (Ext-Transf)* en el BECO. En el modelo se incluyó el factor de intensidad de consumo de gas natural indexado a la producción primaria de gas natural. Los valores para el periodo 2010 – 2015 se ingresaron de forma específica para cada año, mientras que para el periodo 2016 – 2050, se usó el promedio histórico, como se muestra en la Tabla 14 (UPME, 2018).

Tabla 14. Intensidad autoconsumo de gas en la extracción de gas natural.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016-2050
Intensidad [$TJ_{\text{consumo}}/TJ_{\text{Producción}}$]	0.1594	0.1685	0.1557	0.1314	0.1154	0.1125	0.1387

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME.

3.1.5. BIOCOMBUSTIBLES

Se crearon en LEAP dos módulos independientes para la producción de Alcohol Carburante (Bioetanol) y Biodiesel a partir de biomasa. Estos procesos se reportan en el BECO como *CT Plantas de destilación* y *CT Plantas de Biodiesel*, respectivamente (UPME, 2018). Estos módulos se crearon para hacer posible el modelamiento de la mezcla Diesel-Biodiesel y Gasolina-Etanol. La mezcla a nivel nacional para el periodo 2010-2018 se obtuvo de los datos del BECO, usando los valores de la categoría transferencia y la oferta interna bruta. Para el periodo 2019 – 2050, se usó el valor defino por Mintransporte, como se explica en la sección de Transporte.

Tabla 15. Mezcla de biocombustibles en diésel y gasolina

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2015	2015	2015
Diesel Bx	Oferta Interna Bruta [TJ]	244,654	18,292	19,892	20,613	21,137	20,567	20,568	20,569	20,570
	Biodiesel [TJ]	13,712	910	989	1,024	1,050	1,021	1,020	1,020	1,019
	Mezcla [%]	5.6	4.97	4.97	4.97	4.97	4.96	4.96	4.96	4.96
Gasolina Ex	Oferta Interna Bruta [TJ]	176,012	182,610	189,938	198,073	210,918	191,953	210,444	231,933	252,319
	Bioetanol [TJ]	9,794	11,772	12,354	13,173	14,033	15,378	14,695	12,971	19,652
	Mezcla [%]	5.56	6.45	6.5	6.65	6.65	8.01	6.98	5.59	7.79

Fuente: elaboración propia a partir de información de la UPME.

Dado que la proporción de biocombustibles reduce los factores de emisión (FE), se formuló el modelo de tal manera que de forma automática calcule el factor de emisiones del combustible mezclado, Gasolina Ex y Diesel Bx, de acuerdo con la siguiente fórmula. Donde α hace referencia al porcentaje de biocombustible en la mezcla.

Ecuación 5. Factor de emisión para combustible mezclado

$$FE_{Mezcla} = (1 - \alpha) * FE_{ConsbFosil} + \alpha * FE_{Biocombustible}$$

En donde,

FE_{Mezcla} : factor de emisión del combustible mezclado, GgCO₂/TJ

$FE_{ConsbFosil}$: factor de emisión asociado al combustible, GgCO₂/TJ

$FE_{Biocombustible}$: factor de emisión asociado al biocombustible, GgCO₂/TJ

α : porcentaje de biocombustible en la mezcla, proporción

Teniendo en cuenta que en LEAP el contenido energético de los combustibles es un parámetro fijo (potencia calórica o heating value en Inglés), el contenido energético de los combustibles mezclados se fijó según el LHV (Low Heating Value) obtenido con una mezcla de 10%, al ser este el valor esperado para el escenario de referencia y ser en promedio comparable con otros porcentajes de mezcla por debajo del 20%.

Producción de combustibles sólidos

Existen dos clases de producción de combustibles sólidos en Colombia: Coque y Carbón de Leña. La producción coque y carbón de leña se modelaron en el sector de transformación (ver Figura 24), asociando las emisiones de GEI a la producción.

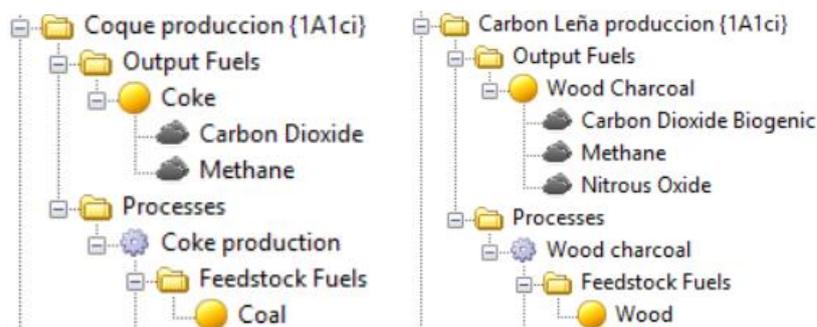


Figura 24. Estructura de árbol para la producción de coque y carbón de leña en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de ambos procesos se calculó, al igual que en otros casos, usando los valores históricos reportados en el BECO. Par el periodo 2010-2015 se usaron los valores históricos extraídos del BECO para ambos procesos. Para el periodo proyectado (2016-2050), se mantiene constante la eficiencia promedio histórica (2010-2015) para producción de carbón de leña (30.04%). Sin embargo, el reporte de producción de coque suministrado por Minenergía la eficiencia se estableció en 65.9% (UPME, 2012).

Las exportaciones de carbón de leña son menores, por lo cual se asumió que se mantendrían al nivel del promedio 2010-2015, 181 TJ/año. Por contrario las exportaciones de coque se asociaron a las proyecciones de producción de carbón metalúrgico, de acuerdo con el escenario de continuidad descrito en la sección “*extracción de carbón*”.

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

Los datos de actividad para esta categoría son la producción de coque y la producción de carbón de leña, los cuales responden a la demanda de estos combustibles definida en otros sectores (i.e.: Industria Residencial), y en menor medida a las exportaciones. Los factores de emisión por defecto (Nivel 1) de producción de coque se obtuvieron de las guías IPCC 2006, volumen 3, capítulo 4 (IPCC, 2006). Cuadro 4.1 y 4.2 (0,56 t_{CO2}/t_{COQUE} y 0,1 g_{N2O}/t_{COQUE}). En cuanto a las emisiones relacionadas con la producción de carbón de leña, estas se calcularon según los lineamientos del IPCC, en el cual se tiene en cuenta la eficiencia y los factores de emisión de leña y carbón de leña. Cabe resaltar que las emisiones de CO₂ se contabilizan en el sector AFOLU, dependiendo el sector del que provenga la biomasa usada, en este caso leña. De forma informativa en LEAP se incluye CO₂ biogénico (CO₂ asociado a biomasa), el cual se contabiliza de forma separada a las emisiones de CO₂, y no genera doble contabilidad.

Tabla I-14. Factores por defecto de emisiones para la producción de carbón vegetal (kg/TJ)

Componente	Factores por defecto de emisión respecto al uso de leña (kg/TJ)	Factores por defecto de emisión respecto al carbón vegetal producido (kg/TJ)
CH ₄	300	1000
N ₂ O	NAV	NAV
NO _x	5	10
CO	2000	7000
NM _{VO} C	600	1700
SO ₂	NAV	NAV

(a) Asumiendo 1 kg de carbón vegetal producido a partir de 6 kg de leña y un contenido energético para la leña y carbón vegetal de 15 y 30 MJ/kg respectivamente. 1 TJ de carbón vegetal producido equivale a 3TJ de leña.

Figura 25. Factores de emisión para producción de carbón de leña.

Fuente: Adaptación de (IPCC, 2006). Volumen 3, capítulo 4.

Autoconsumo

Consumo propio, o autoconsumo, se reporta en el BECO (2018) y está asociado a la extracción y tratamiento de combustibles fósiles. El gas natural es consumido directamente, mientras que el diésel, la gasolina, el petróleo y otros combustibles están asociados indirectamente a través de la electricidad producida en auto y cogeneración. Las emisiones de esta categoría se incluyen dentro de la categoría IPCC “1A1cii Otras industrias de la energía”. En promedio el 55% de la electricidad de auto y cogeneración es consumida en la extracción y tratamiento de combustibles fósiles, por lo tanto, se utilizó el promedio 2010-2015 para el periodo proyectado (2016-2050), pero se asume que esta proporción varía con la extracción primaria de petróleo y gas natural. De la misma manera se calculó la intensidad de auto y cogeneración (electricidad) asociada con la extracción de petróleo y gas natural, como se muestra en las Tabla 16 y Tabla 17. De esta forma, se modela el consumo de electricidad de auto y cogeneración dependiendo de los escenarios de extracción de petróleo y gas natural, los cuales tienden a decrecer. Finalmente, las emisiones dependen de la mezcla de combustibles fósiles usados en estos procesos, como se explica en la sección Autogeneración y Cogeneración.

Tabla 16. Uso de Auto y Cogeneración para la extracción y tratamiento de gas natural y petróleo.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016-2050
Auto y Cogeneración [TJ]	27,999	27,138	27,811	27,448	30,311	30,508	-
Autoconsumo [TJ]	14,816	15,094	15,655	16,068	16,512	16,845	-
Participación [%]	52.92	55.62	56.29	58.54	54.48	55.22	55.48
Extracción petróleo y gas natural [TJ]	2,899,988	3,146,399	3,200,257	3,297,575	3,166,979	3,142,398	-
Intensidad [TJ _{AutCog} /TJ _{Extracción}]	0.005109	0.004797	0.004892	0.004873	0.005214	0.00536	0.00504

Fuente: (UPME, 2018).

Tabla 17. Intensidad consumo de gas natural para la extracción primaria de gas natural.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016-2050
Consumo propio gas natural [TJ]	44,358	42,506	45,268	37,635	32,746	31,620	-
Producción primaria gas natural [TJ]	1,153,939	1,112,846	1,096,848	1,053,823	966,537	908,194	-
Intensidad [TJ _{GasNatural} /TJ _{Extracción}]	0.03844	0.038196	0.041271	0.035713	0.03388	0.034816	0.03721

Fuente: (UPME, 2018).

Adicional a la categoría “consumo propio” reportada en el BECO, se reporta consumo de combustibles y electricidad para coquerías y refinerías. Estos consumos se reflejan en la sección de demanda en LEAP. Haciendo uso de los datos históricos del BECO se calculó el factor de intensidad energética relacionado a la carga de crudo en las refinerías y el insumo de carbón en coquerías. Finalmente se calculó la participación de cada energético respecto al consumo total. Partiendo de datos suministrados por Minambiente y Minenergía, se asumió que la mayoría de los combustibles se usan en las refinerías. Sin embargo, teniendo en cuenta que el BECO reporta el consumo de estas dos actividades de manera agregada, se decidió calcular el consumo de electricidad a prorrata de la energía procesada (carbón y petróleo). Para el periodo 2016 – 2050, se usó como factor y participación de combustible el promedio del periodo 2010 – 2015. La Tabla 18 muestra la

información usada para el cálculo del consumo asociados a la producción de coque y la refinación de petróleo.

Tabla 18. Intensidad energética y participación de energéticos asociados a la producción de coque y la refinación de petróleo.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Consumo [TJ]	Gas Natural	24,328	28,397	30,119	31,355	28,414	30,220	172,834
	Leña	0	0	0	0	5	11	16
	Gas Refinería ¹³	15,505	15,460	14,990	14,332	12,445	12,311	85,044
	Petróleo	5	3	2	2	0	0	12
	Diesel	10	23	32	5	8	11	89
	Electricidad SIN	271	389	817	789	571	573	3,411
	Auto y Cogeneración	2,737	2,874	2,398	2,473	2,673	2,702	15,857
	Fuel Oil	2,849	3,190	315	250	13	28	6,644
	LPG	1,503	1,377	2,121	3,013	3,460	8,656	20,131
	Gasolina	1	1	1	1	2	3	10
	Kerosene	0	0	0	1	0	0	1
Transformación [TJ]	Petróleo refinado	665,773	679,704	678,037	631,081	548,005	542,085	3,744,686
	Carbón en coquerías	96,494	85,078	96,382	101,976	105,434	97,959	583,323

Fuente: MinAmbiente, (UPME, 2018).

¹³ Dato suministrado por el Ministerio de Ambiente para el periodo 2010 -2012. Lo valores para 2013 -2015 se calcularon con base en el uso de los años anteriores.

3.2. DEMANDA DE ENERGÍA

3.2.1. INDUSTRIA

→ Estructura LEAP sectorial

La estructura sectorial para clasificar las emisiones provenientes de la demanda de energía del sector Industria en LEAP, sigue la clasificación del IPCC (IPCC, 2006) y la categoría 1A2 de Industrias manufactureras y de la construcción, tal como se muestra en la Figura 26.

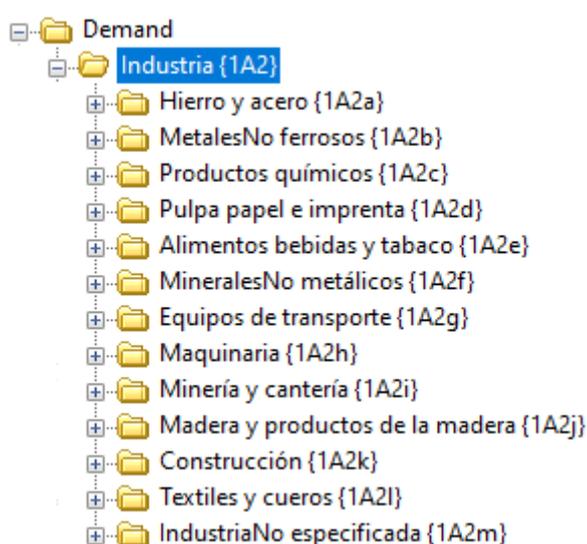


Figura 26. Estructura de árbol para el sector industria en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

Las ramificaciones para cada una de las subcategorías de la Figura 26 fueron definidas con base en la fuente de información disponible. Para aquellos sectores con los que se cuenta con información del balance de energía útil BEU, la demanda de energía fue desagregada por usos y por energético. Para los sectores restantes, la demanda de energía fue desagregada únicamente por energético con base en el BECO (Ver sección de *Datos sobre actividades sectoriales* en las páginas siguientes para mayor explicación). La estructura de las subcategorías de menor orden de la Tabla 19 se repite en cada una de las subcategorías superiores, tal como se muestra en la Figura 27.

Tabla 19. Subcategorías del sector Industria en LEAP

Subcategoría 1 ^{er} orden	Subcategoría 2 ^o orden	Subcategoría 3 ^{er} orden	Subcategoría 4 ^o orden
1A2a Hierro y acero		Bagazo	Eficiencia existente
		Carbón mineral	
1A2b Metales no ferrosos	Calor directo	Gas natural	Mejor eficiencia Colombia
		Leña	
1A2c Productos químicos	Calor indirecto	Petróleo	Mejor eficiencia internacional
1A2d Pulpa papel e imprenta	Otros	Residuos	
		Carbón leña	
		Coque	

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

Subcategoría 1 ^{er} orden	Subcategoría 2 ^o orden	Subcategoría 3 ^{er} orden	Subcategoría 4 ^o orden
1A2e Alimentos bebidas y tabaco		Diesel oil	
1A2f Minerales no metálicos		Auto & cogeneración	
1A2g Equipos de transporte		Electricidad	
1A2h Maquinaria		Fuel oil	
1A2j Madera y productos de la madera		GLP	
1A2l Textiles y cueros		Gasolina	
1A2m Industria no especificada		Jet fuel	
	Fuerza motriz		Eficiencia existente
	Refrigeración	Auto & cogeneración	Mejor eficiencia
	Aire acondicionado	Electricidad	Colombia
	Iluminación		Mejor eficiencia internacional
1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	Todos los usos	Bagazo	
1A2k Construcción		Carbón mineral	
		Gas natural	
		Leña	
		Petróleo	
		Residuos	
		Carbón leña	
		Coque	NA
		Diesel oil	
		Auto & cogeneración	
		Electricidad	
		Fuel oil	
		GLP	
		Gasolina	
		Jet fuel	

Fuente: elaboración propia.

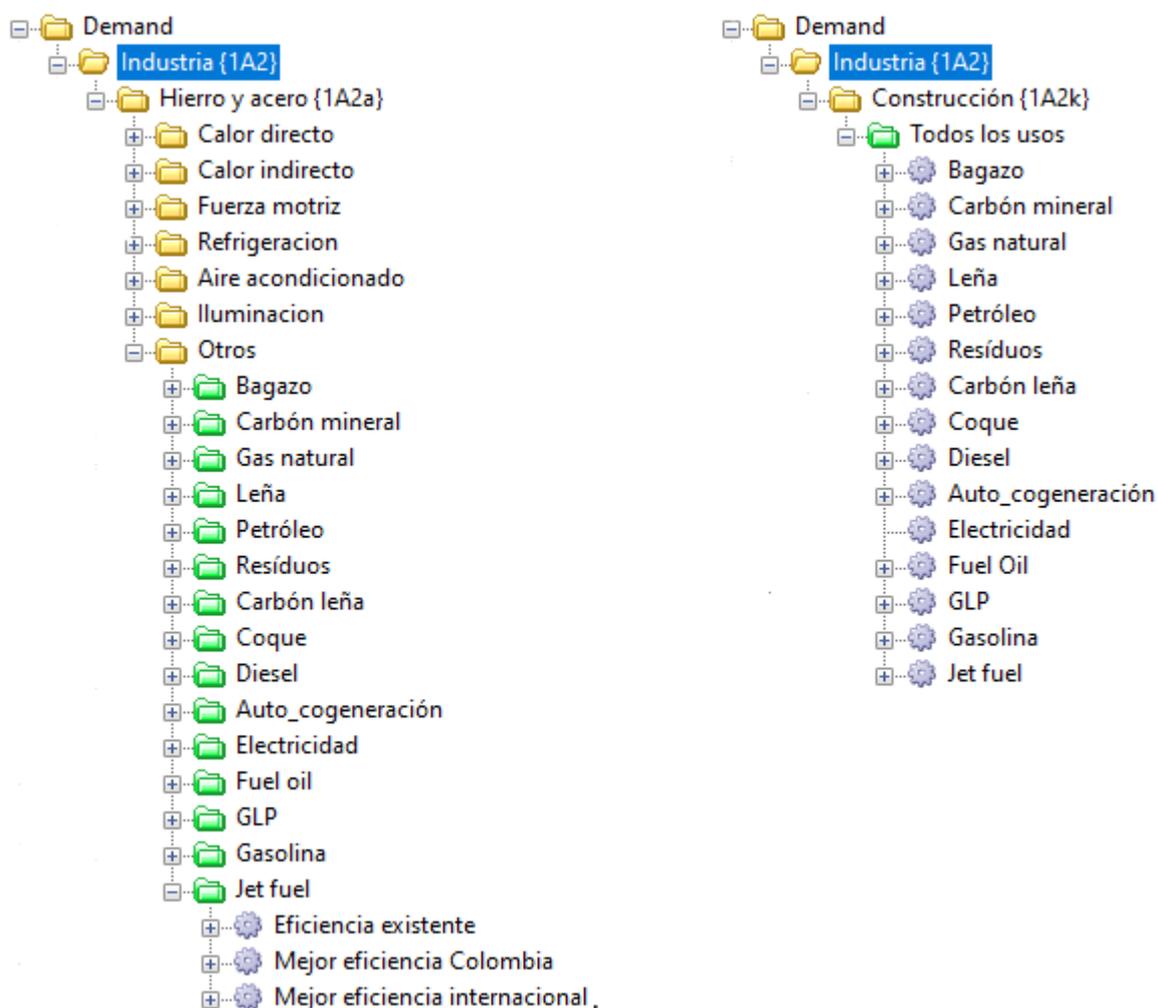


Figura 27. Estructura de árbol para las subcategorías del sector industria en LEAP. Izquierda, desagregación por energía útil. Derecha, desagregación por energía final.

Fuente: elaboración propia.

→ Datos sobre actividades sectoriales

Para estimar las emisiones en cada una de las subcategorías, es necesario asignar primero los niveles de actividad en cada una de éstas. Es decir, realizar un emparejamiento tanto de las demandas de energía final sectoriales estimadas por la UPME en el balance de energía (BECO) como de la producción de la industria en Colombia reportada por el DANE según CIU Rev.4, frente a las subcategorías de la IPCC bajo las cuales el IDEAM reporta los inventarios de GEI. (Ver Tabla 20).

Tabla 20. Emparejamiento sectorial de la demanda de energía y el PIB con las subcategorías de la IPCC para la categoría 1A2.

Categoría y subcategorías IPCC	Demanda energía final UPME – Balance Energético Colombiano (BECO)	PIB DANE -Secciones CIIU Rev. 4 A.C. 12 agrupaciones	PIB DANE-Divisiones CIIU Rev. 4 A.C. 60 agrupaciones
1A2. Industrias manufactureras y de la construcción	CF Industrial	C	
1A2a. Hierro y acero	24 Productos metalúrgicos básicos	C	050, 051
1A2b. Metales no ferrosos	NA	NA	NA
1A2c. Productos químicos	20 Sustancias y productos químicos 21 Productos farmacéuticos	C	045 - 047
1A2d. Pulpa, papel e imprenta	17 Papel y cartón 18 Impresión	C	041, 042
1A2e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	10 Productos alimenticios 11 Elaboración de bebidas 12 Productos de tabaco	C	023 - 025, 026, 027, 028, 032, 035, 029, 030, 031, 033, 034, 036
1A2f. Minerales no metálicos	23 Productos minerales no metálicos	C	049
1A2g. Equipo de transporte	29 Vehículos automotores, remolques y semirremolques 30 Otros tipos de equipo de transporte	C	054
1A2h. Maquinaria	25 Productos elaborados de metal (No maquinaria y equipo) 26 Productos informáticos, electrónicos y ópticos 27 Aparatos y equipo eléctrico 28 Maquinaria y equipo n.c.p.	C	052, 053, 057
1A2i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería	CF Minero	B	017-022
1A2j. Madera y productos de la madera	16 Maderas	C	040
1A2k. Construcción	CF Construcciones	F	067, 068, 069
1A2l. Textiles y cueros	13 Productos textiles 14 Prendas de vestir 15 Marroquinerías	C	037, 038, 039

Categoría y subcategorías IPCC	Demanda energía final UPME – Balance Energético Colombiano (BECO)	PIB DANE -Secciones CIU Rev. 4 A.C. 12 agrupaciones	PIB DANE-Divisiones CIU Rev. 4 A.C. 60 agrupaciones
1A2m. Industria no especificada	22 Productos de caucho y de plástico 31 Muebles, colchones y somieres 32 Otras industrias manufactureras	C	048, 055, 056

Fuente: (DANE, 2020a; IPCC, 2019; UPME, 2018). NA: No disponible

Con este emparejamiento sectorial, se asigna por un lado la demanda de energía final para cada subcategoría, energético y año para los cuales el BECO tiene información disponible (UPME, 2018), y, por otro lado, el producto interno bruto PIB por cada subcategoría y año acorde a las cuentas nacionales del DANE.

Para las subcategorías que existe información del Balance Energético Útil (BEU) (UPME, 2019c), es posible realizar un análisis de energía útil y una desagregación más extensa que permite estimar como nivel de actividad para el cálculo de emisiones, la demanda de energía final por cada subcategoría, uso, energético y año (ver $E_{final}^{subcat,uso,energético,año}$ en la Tabla 21 y Tabla 22).

Tal desagregación fue realizada para todas las subcategorías con excepción de Minería (1A2i) y Construcción (1A2k) por no contar con información en el BEU. Para estos dos últimos sectores se realiza un análisis de energía final en el que el nivel de actividad para el cálculo de emisiones es la demanda de energía final para cada subcategoría, energético y año según el BECO (ver $E_{final}^{subcat,energético,año}$ en la Tabla 21 y Tabla 22).

Por tanto, la demanda de energía final a utilizar como nivel de actividad para el cálculo de emisiones se expresa en la Tabla 21 en función de las variables y parámetros de la Tabla 22, tanto para el análisis de energía final como el análisis de energía útil.

Tabla 21. Demanda de energía final a utilizar como nivel de actividad

Expresión nivel de actividad	
Análisis Energía final	$E_{final}^{subcat,energético,año} = \text{Nivel de actividad}_{subcat,año} \cdot \text{Participación de combustible}_{subcat,año} \cdot \text{Intensidad de energía}_{subcat,año}$
Análisis Energía útil	$E_{final}^{subcat,uso,energético,año} = \text{Nivel de actividad}_{subcat,año} \cdot \text{Nivel de actividad}_{subcat,uso,año} \cdot \text{Intensidad de energía útil}_{subcat,uso,año} \cdot \text{Eficiencia}_{subcat,uso,año}$

Fuente: elaboración propia a partir del IPCC (2006).

Tabla 22. Variables y parámetros utilizados para estimar los niveles de actividad.

Variable LEAP	Valor	Fuente	Análisis energía final	Análisis energía útil
$\text{Nivel de actividad}_{subcat,año}$	$PIB_{subcat,año}$	DANE(2020)	✓	✓

Variable LEAP	Valor	Fuente	Análisis energía final	Análisis energía útil
<i>Nivel de actividad</i> _{subcat,uso,año}	$\frac{E_{final,subcat,uso,año}}{E_{final,subcat,año}}$	BECO(2018) UPME(2019)		✓
<i>Nivel de actividad</i> _{subcat, uso, energético, año}	$\frac{E_{final,subcat,uso,energético,año}}{E_{final,subcat,uso,año}}$	UPME(2019)		✓
<i>Eficiencia</i> _{subcat,uso,año}	$\frac{E_{útil,subcat,uso,año}}{E_{final,subcat,uso,año}}$	UPME(2019)		✓
<i>Intensidad de energía útil</i> _{subcat,uso,año}	$PIB_{subcat,año} \cdot \frac{E_{final,subcat,uso,año}}{E_{final,subcat,año}}$ $= \frac{E_{final,subcat,año}}{PIB_{subcat,año}} \cdot \eta_{subcat,uso,año}$	DANE(2020) BECO(2018) UPME(2019)		✓
<i>Intensidad de energía final</i> _{subcat, año}	$\frac{E_{final,subcat,año}}{PIB_{subcat,año}}$	DANE(2020) BECO(2018)	✓	
<i>Participación de combustible</i> _{subcat, año}	$\frac{E_{final,subcat,energético,año}}{E_{final,subcat,año}}$	BECO(2018)	✓	

Nota: *PIB*, Producto Interno Bruto. *Efinal*, Demanda energía final. *Eútil*, Demanda energía útil. η , eficiencia
Fuente: (DANE, 2020a; UPME, 2018, 2019c).

Para el objeto de este estudio, se estimaron tres eficiencias para caracterizar la tecnología para cada uso y subcategoría. Siguiendo las definiciones del Balance de Energía Útil de la UPME, las eficiencias estimadas fueron: Eficiencia existente, Mejor Eficiencia Colombia, y Mejor Eficiencia internacional. La primera se refiere a la eficiencia promedio de las tecnologías que actualmente están instaladas, mientras que la segunda y la tercera indican los promedios de mejores tecnologías a nivel nacional y en el exterior respectivamente.

El resultado de estimar los datos de actividad con base en la metodología anteriormente expuesta se encuentra en la hoja de cálculo anexa a este informe asociada con esta sección.

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Factores determinantes

Para estimar las emisiones por combustión estacionaria del sector industria se utiliza un método de nivel 2 siguiendo las directrices del IPCC, en la medida en que los factores de emisión de los energéticos utilizados son específicos del país (Tabla 1).

Ecuación 6. Emisiones de GEI procedentes de la combustión estacionaria

$$Emisiones_{GEI} = Consumo_{combustible_i} * Factor_{de\ emisión_{GEI,i}}$$

Donde,

$Emisiones_{GEI}$: emisión del GEI analizado, Gg contaminante

$Consumo_{combustible_i}$: consumo de combustible i, TJ

$Factor_{de\ emisión_{GEI,combustible}}$: emisión por consumo de combustible i, Gg contaminante/TJ

Escenario de referencia (línea base)

Para la construcción de los escenarios de referencia del sector industria, se utiliza un conjunto de supuestos para cada una de las variables de la Tabla 22.

La Tabla 23 contiene los supuestos utilizados para la construcción de los escenarios de referencia para los horizontes de tiempo al 2030 y al 2050.

Tabla 23. Supuestos de los escenarios de referencia para las variables y parámetros utilizados para estimar los niveles de actividad

Variable LEAP	Análisis energía final	Análisis energía útil	Supuesto escenario referencia al 2030	Supuesto escenario referencia al 2050
<i>Nivel de actividad</i> _{subcat,año}	✓	✓	Crece con las tasas de crecimiento sectoriales del PIB del numeral 2.5 de este informe	Crece con las tasas de crecimiento sectoriales del PIB del numeral 2.5 de este informe
<i>Nivel de actividad</i> _{subcat,uso,año}		✓	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo
<i>Nivel de actividad</i> _{subcat, uso, energético, año}		✓	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo
<i>Eficiencia</i> _{subcat,uso,año}		✓	Se asume igual a la eficiencia existente durante el horizonte de tiempo	Se asume igual a la eficiencia existente durante el horizonte de tiempo
<i>Intensidad de energía útil</i> _{subcat,uso,año}		✓	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo
<i>Intensidad de energía final</i> _{subcat, año}	✓		Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo
<i>Participación de combustible</i> _{subcat, año}	✓		Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo	Igual al último año de datos disponible y constante durante el horizonte de tiempo

3.2.2. TRANSPORTE

→ Estructura LEAP sectorial

El transporte hace parte de los sectores de consumo final de energía, junto con industria, sector terciario, residencial, agricultura, pesca y otros. Los cuatro segmentos principales del transporte según el BUR2 son: aviación civil, transporte carretero o terrestre, ferrocarriles y navegación. Adicionalmente se tiene una categoría “otros” en donde se agrupa lo relacionado con transporte por tubería (gasoductos y oleoductos) y transporte todoterreno (o fuera de la vía)¹⁴. En esta sección del documento se presenta la metodología utilizada para los cuatro primeros segmentos.

La estructura en LEAP (Figura 28) se desarrolló siguiendo las categorías definidas en el BUR2 (IDEAM et al., 2018) para reporte de emisiones de este sector. En la siguiente figura se presenta la estructura principal del sector en LEAP con la numeración correspondiente al reporte del inventario nacional de emisiones.

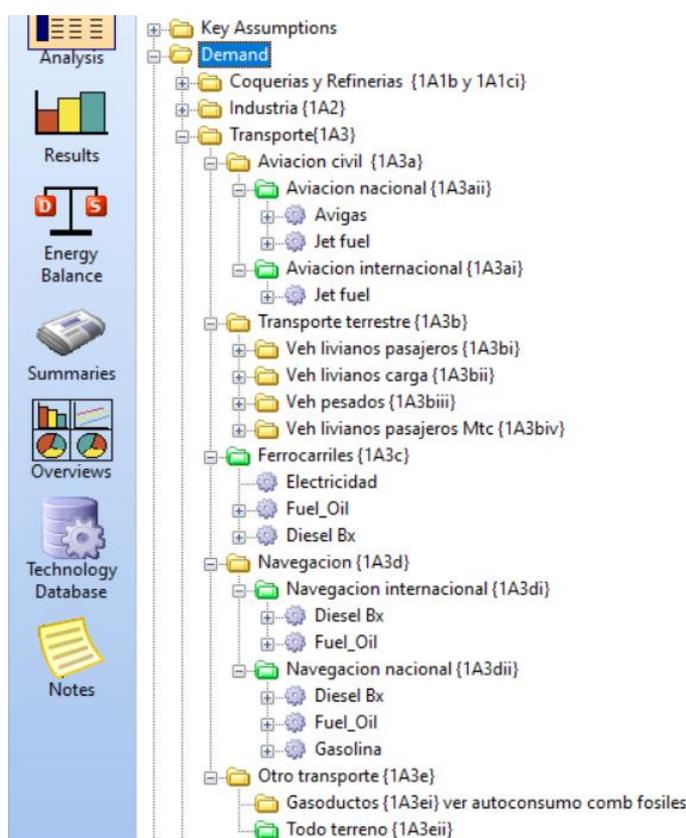


Figura 28. Estructura del transporte en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

La desagregación de aviación y navegación en un componente nacional y uno internacional, responde a las reglas de contabilidad de emisiones para inventarios nacionales, según las cuales las emisiones por actividades internacionales se estiman y se reportan, pero no se suman en las emisiones del inventario nacional.

¹⁴ La categoría “otro transporte” se abordó desde el sector de industria manufacturera; y el transporte por tubería se incluyó en el módulo de transformación (ver Autoconsumo Tubería).

Transporte carretero está desagregado en más niveles según como se muestra en la siguiente figura (Figura 29). Cada una de estas a su vez incluye una desagregación según las tecnologías existentes (ver ejemplo para carga en la Figura 30).

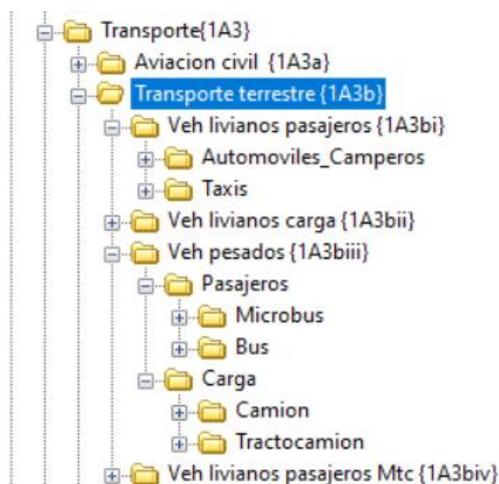


Figura 29. Estructura del transporte carretero en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

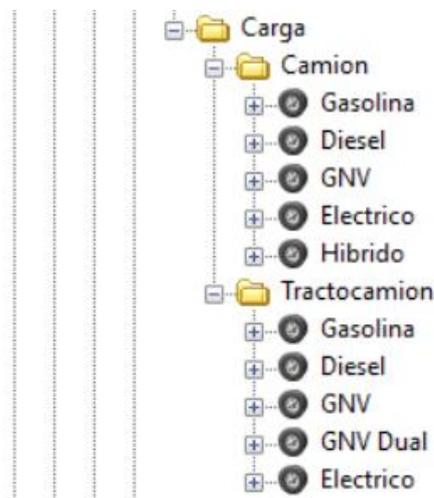


Figura 30. Tecnologías para transporte de carga escenario de referencia en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

→ **Reglas de cálculo de los GEI por sector**

Los subsectores de aviación, ferroviario, marítimo y fluvial se modelaron en función de la intensidad energética (TJ/PIB) con información agregada de consumo anual de energía por tipo de energético (Ecuación 7). Para este sector se seleccionó una aproximación de arriba hacia abajo porque en la información disponible no se incluye la cantidad de fuentes de emisión, sus características y nivel de actividad, necesarias para modelar los subsectores con una aproximación de abajo hacia arriba.

Ecuación 7. Estimación de GEI para transporte aéreo, ferroviario, marítimo y fluvial

$$E_{CO_2eq,i} = \sum_{e,c} D_{e,i} * FE_{e,c}$$

$$D_{e,i} = I_{e,i} \cdot PIB_i$$

$$I_{e,i} = \frac{d_{e,i}}{PIB_i}$$

Donde,

$E_{CO_2eq,i}$: emisiones CO_{2eq} en el año i.

$D_{e,i}$: demanda del energético e en el año i.

$FE_{e,c}$: factor de emisión del contaminante c, para el energético e.

$I_{e,i}$: intensidad energética (TJ/PIB).

PIB_i : PIB del año i.

$d_{e,i}$: consumo de energía por energético y uso en el año i.

La estimación de emisiones a partir de consumos netos de energía es el nivel 1 definido por el IPCC para inventarios de emisiones por combustión de energía y es el utilizado actualmente para estimar el inventario de emisiones GEI del transporte (Ecuación 7) (IPCC, 2006).

Por su parte, el segmento carretero se modeló más desagregado, considerando el tamaño de la flota vehicular, factores de rendimiento del combustible por tipo de flota e información de actividad anual promedio (Ecuación 8).

Ecuación 8. Estimación de GEI para categorías de transporte carretero

$$E_{CO_2eq,i} = \sum_t \sum_e D_{e,i,t} * FE_{e,c}$$

$$D_{e,i,t} = N_{e,i} \cdot FA_{e,i} \cdot FC_{t,i}$$

Donde,

$E_{CO_2eq,i}$: emisiones CO_{2eq} en el año i.

$D_{e,i}$: demanda del energético e en el año i para la categoría de transporte t.

$FE_{e,c}$: factor de emisión del contaminante c, para el energético e.

$N_{e,i}$: tamaño de la flota de la categoría t en el año i.

$FA_{e,i}$: factor de actividad promedio por vehículo de la categoría t en el año i.

$FC_{t,i}$: factor de consumo de combustible promedio por vehículo de la categoría t en el año i.

Esta metodología es nivel 2 según los lineamientos para inventarios del IPCC, y es más detallada que la que se usa actualmente en la estimación de los inventarios nacionales de emisiones GEI (nivel 1 para transporte). La metodología nivel 2 permite identificar y entender mejor los factores determinantes del consumo de energía en cada categoría del segmento carretero y por tanto sus emisiones GEI asociadas. A pesar de las ventajas de una mayor desagregación en cuanto a los que análisis que se pueden hacer relacionados con estrategias de reducción de emisiones GEI, la **información del sector** disponible para la modelación del segmento carretero genera múltiples retos en la estructuración y calibración del modelo. Para futuros ejercicios se debe tener en cuenta que el nivel de desagregación del transporte carretero dentro del modelo nacional debe ser consistente con la calidad de la información disponible para abrir la modelación en más niveles. Esto incluye garantizar la consistencia entre una aproximación de abajo hacia arriba y una de arriba hacia abajo. Por ejemplo, si se cuenta con datos generados para una ciudad específica, se requiere saber qué porcentaje de la flota nacional se puede modelar con dichas características. Las características estimadas para muestras específicas no necesariamente son representativas de la flota nacional.

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

Para la estimación de emisiones GEI de todos los segmentos se utilizaron los factores de emisión de CO₂ por tipo de combustible según el BUR2, así como característicos de los combustibles nacionales (IDEAM, 2018). Los factores de emisión de N₂O y CH₄ son los propuestos en la metodología del IPCC adoptados por Colombia en el BUR2. Los valores para cada energético se presentan en la Sección 2.4 de este informe.

Para los sectores de consumo final de energía, el Balance Energético Colombiano (BECO) (UPME, 2018) es la fuente oficial de información de demanda anual por energético. La información del BECO se complementó con otras fuentes de información según como se presenta en la siguiente tabla. En algunos casos el BECO no reporta todos los energéticos empleados por los segmentos (v.g., ferroviario), y en otros casos se buscó información complementaria para representar las categorías en el modelo LEAP en un mayor nivel de desagregación¹⁵.

Tabla 24. Datos sobre nivel de actividad sector transporte.

Categoría en LEAP	Datos sobre nivel de actividad	Fuentes de información
Aviación civil	Demanda anual de energía por tipo de energético.	- Balance Energético Colombiano (BECO), serie 2010-2014.
	Distribución de consumo de energía entre aviación nacional e internacional.	- Información sobre vuelos nacionales e internacionales de Ecopetrol y la Aerocivil suministrada para este estudio por el equipo del Ministerio de Transporte. La información es del periodo 2010-2019.
Transporte terrestre	Tamaño anual de flota por tipología y energético.	- Reportes anuales “El Transporte en Cifras” del Ministerio de Transporte, serie 2010-2014 (Ministerio de Transporte, 2019).
		- Base de datos RUNT 2015.
	- Base de datos RUNT 2019, facilitada para este estudio por equipo del Ministerio de Transporte. Se utilizó como fuente de información complementaria sobre edad de la flota por tipología.	
	Factores de actividad promedio de la flota por categoría vehicular.	- Información sobre flota eléctrica suministrada para este estudio por equipo del Ministerio de Transporte, periodo 2010-2014.
		- Estadísticas sobre flota convertida a gas natural (Naturgas, 2020).
		- Factores estimados en estudios previos de transporte carretero a nivel nacional (Cadena et al., 2016).

¹⁵ Anexo a este documento se entrega una carpeta con todos los archivos de soporte de la información, y tres archivos Excel con la memoria de cálculos.

Categoría en LEAP	Datos sobre nivel de actividad	Fuentes de información
		<ul style="list-style-type: none"> - Información suministrada por Mintransporte sobre categoría de carga para este estudio. - Revisión de valores según literatura internacional. La fuente de valores específicos se presenta en el anexo en Excel. - Factores reportados por categoría vehicular en el Balance de Energía Útil de la UPME (UPME, 2019c).
	Demanda anual de energía por tipo de energético.	- Balance Energético Colombiano (BECO), serie 2010-2014.
Ferrocarriles	Demanda anual de energía por tipo de energético.	<ul style="list-style-type: none"> - Balance Energético Colombiano (BECO), serie 2010-2014. - Información utilizada por el IDEAM en la elaboración del BUR2, suministrada por Minambiente para este estudio. - Información de demanda de energía para el corredor Chiriguana-Santa Marta para el periodo 2010-2014 suministrada por Mintransporte para este estudio.
	Demanda anual de energía por tipo de energético.	- Balance Energético Colombiano (BECO), serie 2010-2014.
Navegación	Distribución de consumo de energía entre navegación nacional e internacional.	- Información del BUR2 suministrada para este estudio por el equipo Minambiente.

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Aviación

Las emisiones del sector aviación se estimaron en función de la intensidad energética del sector (TJ/PIB). Para estimar la intensidad se consideró el consumo de energía por energético, por uso para aviación nacional o internacional, según lo reportado por la Aerocivil y Ecopetrol, suministrado por Mintransporte para este estudio. El producto interno bruto nacional anual corresponde a los datos transversales para el modelo (ver LEAP y Sección 2.5).

En la Tabla 25 se presenta la canasta energética del periodo 2010-2014 y en la Figura 31 la intensidad energética.

Tabla 25. Canasta energética aviación.

Tipo aviación	Energético	2010	2011	2012	2013	2014
		Participación (%)				
Internacional	Jet fuel	100	100	100	100	100

Nacional	Avigas	1.52	1.43	1.41	1.35	1.30
	Jet fuel	98.48	98.57	98.59	98.65	98.70

Fuente: elaboración propia a partir de los datos suministrados por Mintransporte para este estudio.

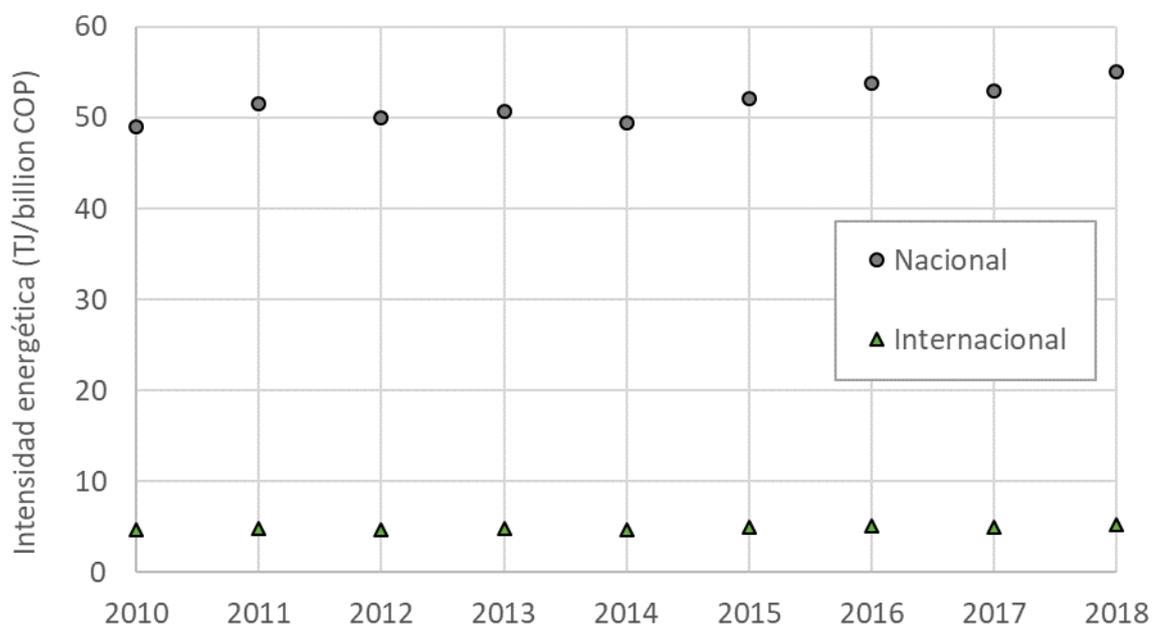


Figura 31. Intensidad energética histórica para segmento de aviación.

Fuente: elaboración propia.

Los supuestos de este ejercicio difieren de los utilizados para la elaboración del BUR2. Las diferencias se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 26. Diferencias en supuestos de estimación de emisiones entre este ejercicio y BUR2.

	BUR2	Este ejercicio
Demanda total	El consumo total de energía es el reportado en el balance energético nacional (BEN) serie 2010-2014 (versión 2018) (Ver Tabla 28).	El consumo total de energía es el reportado por Ecopetrol y Aerocivil, suministrado por Mintransporte para este estudio.
Matriz	<ul style="list-style-type: none"> - Todo el consumo de avigas se asigna a vuelos nacionales. - Del consumo total de jet fuel el 48.71% se asigna a aviación nacional, y el restante a aviación internacional. Según el BUR2 estos porcentajes se obtienen a partir de datos históricos sobre despegues nacionales e internacionales compilados por la Aerocivil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Todo el consumo de avigas se asigna a vuelos nacionales. - Del consumo total de jet fuel, el 98.6% se asigna a aviación nacional y el restante a aviación internacional. Esto según registros de Aerocivil y Ecopetrol para el periodo 2017-2019.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados en emisiones de este ejercicio no son directamente comparables con el total de emisiones presentado en el BUR2, debido al cambio en la fuente de información utilizada.

En las siguientes tablas se presenta la comparación de resultado de este ejercicio en emisiones respecto al BUR2 y en consumo neto de energía respecto al BECO.

Tabla 27. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento de aviación.

Sector	Año	Emisiones CO ₂ eq (Gg/año)		
		BUR2	Este ejercicio	Diferencia
Aviación nacional	2010	1,170	2,332	-99%
	2014	1,957	2,872	-47%
Aviación internacional	2010	1,053	220	79%
	2014	1,357	271	80%
Aviación total	2010	2,223	2,552	-14.8%
	2014	3,314	3,143	5.1%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 28. Resultados en energía 2010-2014 segmento de aviación.

Sector	Año	Demanda energía (TJ/año)		
		BECO	Este ejercicio	Diferencia
Aviación nacional	2010	n.	31,425	n.a
	2014	n.d	38,673	n.a
Aviación internacional	2010	n.d	2,951	n.a
	2014	n.d	3,642	n.a
Aviación total	2010	29,882	34,376	-15.0%
	2014	44.551	42,315	5.0%

Nota: n.d., no disponible. n.a, no aplica.

Fuente: elaboración propia.

Para el escenario de referencia se supuso que este sector crece teniendo en cuenta la tasa de crecimiento del PIB nacional (Ecuación 9).

Ecuación 9. Crecimiento de la demanda

$$D_{e,i+1} = D_{e,i} \cdot (1 + TC_{PIB,i+1})$$

Donde,

$D_{e,i}$: es la demanda del energético e en el año i.

$TC_{PIB,i+1}$: es la tasa de crecimiento del PIB total en el periodo.

En el escenario de línea base se mantuvo constante la participación relativa de aviación nacional/internacional hasta el año 2050, respecto a los valores del año 2014. También se supuso constante la canasta de energéticos durante el periodo de análisis.

No hace parte del escenario de referencia la información histórica de demanda total de energía del periodo 2015-2019, porque el consumo de energía reportado en para este periodo ya refleja el resultado de diferentes intervenciones en reducción de emisiones GEI (v.g., la medida de mitigación del sector de aviación sobre mejores patrones de conducción inició en 2015).

Ferrovionario

Las emisiones del sector ferroviario se estimaron en función de la intensidad energética del sector (ver Ecuación 7). Se utilizó como base de los cálculos el consumo energético por tipo de combustible. Para la electricidad se utilizó la información del BECO. Para diésel y fuel oil se utilizaron los datos de consumo que sirvieron como base para el BUR2, suministrados por Minambiente para este estudio, dado que el BECO únicamente reporta electricidad para este segmento (ver Tabla 29).

Tabla 29. Demanda de energía segmento férreo 2010-2014.

Año	Demanda total modo férreo (TJ)			Total (TJ)
	Diésel	Fuel oil	Electricidad	
2010	1,440	108	253	1,801
2011	1,601	120	261	1,982
2012	1,650	123	271	2,044
2013	1,649	123	295	2,068
2014	922	69	307	1,298

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del BECO y datos utilizados como base para la elaboración del BUR2 suministrados por Minambiente para este estudio.

Se recibió información adicional de Mintransporte sobre demanda de energéticos de tres corredores: Bogotá-Belencito, La Dorada-Chiriguaná y Chiriguaná-Santa Marta. La información de los dos primeros corresponde al año 2019, por lo que no fue incluido en el periodo de calibración de este estudio que corresponde al periodo 2010-2014. Los datos del corredor Chiriguaná-Santa Marta incluyen información del periodo 2010-2014 (ver Tabla 30). Esta demanda está incluida en el total utilizado en el BUR2, el cual según el Informe de Inventario Nacional (NIR-BUR2) (IDEAM, 2018) fue estimado con estadísticas totales de carga de este modo del periodo 2006-2014.

Tabla 30. Demanda de diésel corredor Chiriguaná-Belencito.

Año	Diesel	
	gal/año	TJ/año
2010	105,076	14.6
2011	85,350	11.9
2012	64,494	9.0
2013	44,445	6.2
2014	35,153	4.9

Fuente: elaboración propia a partir de los datos suministrados por Mintransporte para este estudio.

En la Figura 32 se presenta la canasta energética y en la Figura 33 se muestra la intensidad energética para el periodo 2010-2014.¹⁶ De acuerdo con la serie de PIB y de demanda de energía hay una reducción de la intensidad energética del 40% en el año 2014, respecto al periodo 2010-2013. Esto genera un cambio importante en la trayectoria de las emisiones entre los años anteriores al 2014 y los posteriores.

¹⁶ Esto es una gráfica generada en LEAP. Todos los datos de insumo están disponibles en el modelo. Información adicional de soporte está en los anexos: ver Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDES\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_no carretero.

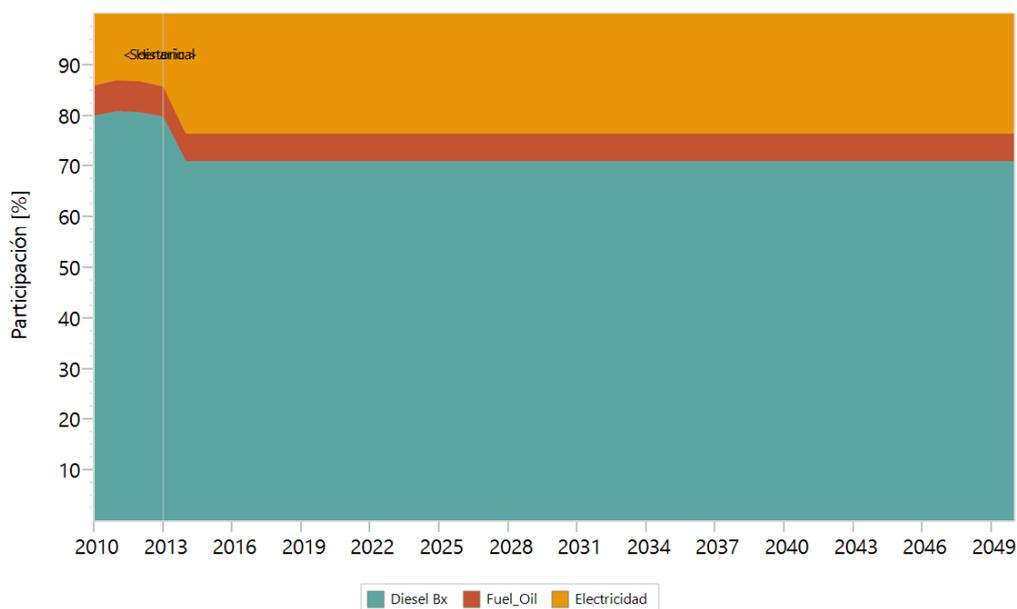


Figura 32. Proporción de la canasta energética (Fuel share) del segmento de ferrocarriles.
Fuente: elaboración propia.

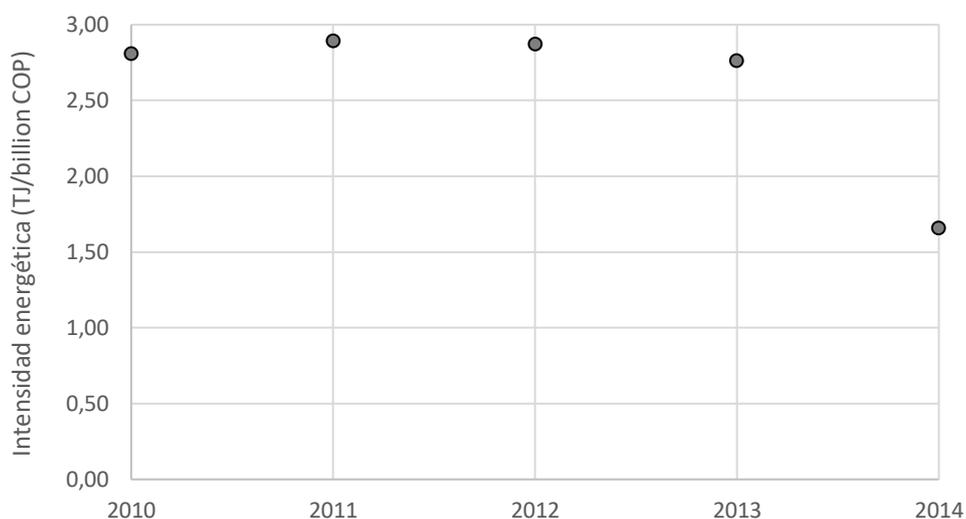


Figura 33. Intensidad energética histórica para el segmento ferroviario.
Fuente: elaboración propia¹⁷.

En las tablas a continuación se muestra la comparación de los resultados obtenidos para el periodo 2010-2014. Se comparan las emisiones respecto al BUR2, y el consumo neto de energía respecto al BECO.

¹⁷ Información de soporte está en los anexos: ver Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDES\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_no carretero.

Tabla 31. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento ferroviario.

Sector	Año	Emisiones CO ₂ eq (Gg/año)		
		BUR2	Este ejercicio	Diferencia
Ferroviario	2010	128	126	2%
	2014	82	80	2%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32. Resultados en energía 2010-2014 segmento ferroviario.

Sector	Año	Demanda energía (TJ/año)		
		BECO + insumos BUR2	Este ejercicio	Diferencia
Ferroviario	2010	1,801	1,799	0.1%
	2014	1,298	1,297	0.0%

Fuente: elaboración propia.

En el escenario de referencia se supone: i) este sector crece a la misma tasa del PIB nacional, y ii) se mantiene constante la participación relativa de los energéticos hasta el final del horizonte de análisis respecto a los valores del año 2014.

Marítimo y fluvial

Las emisiones de los segmentos marítimo y fluvial se estimaron en función de la intensidad energética (ver Ecuación 7). Se utilizó como base de los cálculos el consumo energético por tipo de combustible reportado en el BECO. Se distribuyó entre transporte nacional e internacional según los supuestos del BUR2, que son los siguientes:

- El consumo total de energía por tipo de combustible es el reportado en el BECO (UPME, 2018).
- El 31.9% del diésel (marítimo + fluvial) es para transporte nacional.
- El 100% de la gasolina (marítimo + fluvial) es para transporte nacional.
- El 66.3% del fuel oil (marítimo + fluvial) es para transporte internacional.

En la Tabla 33 se presenta la canasta energética del periodo 2010-2014 y en la Figura 34 la intensidad energética. Para este segmento, también se observa un cambio importante en la intensidad energética entre los años anteriores al 2014 y los posteriores según las series históricas de PIB y demanda de energía.

Tabla 33. Canasta energética navegación.

Tipo	Energético	2010	2011	2012	2013	2014
		Participación (%)				
Internacional	Diesel	98.9	100	98.9	86.5	24.3
	Fuel oil	1.1	0.0	1.1	13.5	75.7
Nacional	Diesel	84.3	93.5	91.1	86.1	55.4
	Gasolina	15.5	6.5	8.7	10.8	3.6
	Fuel oil	0.2	0.0	0.3	3.2	41.1

Fuente: (UPME, 2018) y reglas de asignación del BUR2.

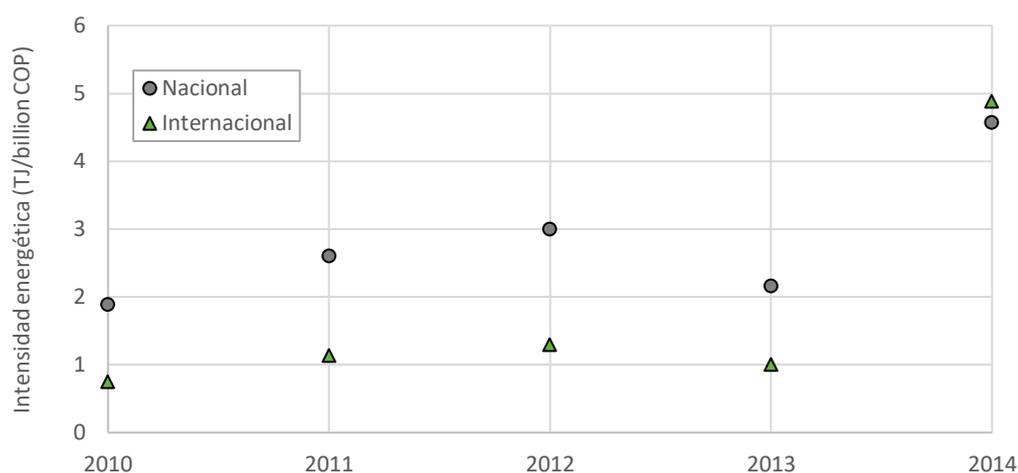


Figura 34. Intensidad energética histórica para segmento de navegación.

Fuente: elaboración propia¹⁸.

Los resultados en consumo total de energía de este ejercicio son consistentes con los presentados en el BECO (versión 2018) para el periodo 2010-2014. El total de emisiones obtenido coincide con el presentado en el BUR2 para 2014, pero difiere con el de 2010. De acuerdo con la información suministrada por IDEAM los porcentajes entre navegación nacional e internacional son los mismos para 2010 y 2014, por lo que la diferencia estaría en los valores de demanda de energía reportados para el año 2010 entre las versiones del BECO 2018 y la utilizada como base para el inventario de emisiones en el año 2010. Los resultados de este ejercicio y su comparación con fuentes oficiales se presentan a continuación.

Tabla 34. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmentos marítimo y fluvial.

Sector	Año	Emisiones CO _{2e} (Gg/año)		
		BUR2	Este ejercicio	Diferencia
Navegación nacional	2010	63	91	-44%
	2014	256	269	-5%
Navegación internacional	2010	50	37	25%
	2014	290	286	1%
Navegación total	2010	113	128	-13.4%
	2014	546	555	-1.7%

Tabla 35. Resultados en energía 2010-2014 segmentos marítimo y fluvial.

Sector	Año	Demanda energía (TJ/año)		
		BECO	Este ejercicio	Diferencia
Navegación nacional	2010	n.d	1,210	n.a
	2014	n.d	3,580	n.a
Navegación internacional	2010	n.d	487	n.a
	2014	n.d	3,822	n.a
Navegación total	2010	1,698	1,696	0.1%
	2014	7,398	7,401	-0.1%

¹⁸ Información de soporte está en los anexos: ver Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDES\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_no carretero.

Nota: n.d., no disponible. n.a, no aplica.

Para el escenario de referencia se supuso que este sector crece según la tasa de crecimiento del PIB nacional (ver Ecuación 8). Para el escenario de línea base se mantuvo constante la participación relativa de la navegación nacional/internacional, respecto a los valores del año 2014. También se mantuvo constante la canasta de energéticos hasta el año 2050.

Transporte carretero

En LEAP las emisiones GEI del transporte carretero se estiman anualmente para cada categoría vehicular con base en:

- flota vehicular: stock de flota, ventas anuales y salida de flota por edad;
- actividad vehicular: factor de actividad anual promedio por vehículo (km/veh-año);
- consumo de combustible: factor promedio de consumo de combustible por vehículo, según tipología y energético.

En el manual de LEAP se puede consultar la formulación de los cálculos de emisiones bajo la metodología de transporte basada en *stock* (LEAP, 2020).

En la siguiente tabla se presenta la asignación que se hace en el BUR2 según la tipología de la flota en las categorías de reporte de emisiones GEI y su correspondiente categoría de flota del RUNT. Esta categorización se utilizó para la modelación en LEAP, como se señala en las columnas en color gris de la

Tabla 36.

Tabla 36. Categorías de flota en BUR2, RUNT y ejercicio en LEAP.

Asignación categorías BUR2			Asignación categorías RUNT		Estructura en LEAP			
Clasificación en inventario GEI - BUR2	Descripción categoría BUR2	Flota según BUR2	Flota	Servicio	Agregación	Correspondencia con categorías RUNT		
						Tipología	Servicio	
1A3bi Automóviles	Vehículos de transporte de pasajeros con capacidad para 12 personas o menos.	Automóviles, camperos, taxis.	Automóviles	Particular Oficial	Automóviles, camperos Taxis	Automóviles y camperos	Oficial	
			Camperos				Diplomático	
			Taxis			Particular		
1A3bii Camiones para servicio ligero	Vehículos de transporte de carga ligera, con peso menor a 3900 kg.	Camionetas	Camionetas	Particular Oficial	Camionetas	Camionetas	Oficial Público Diplomático Particular	
1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses	Transporte de carga pesada y autobuses que transportan más de 12 personas. Peso mayor de 3900 kg.	Microbús, bus, buseta, articulado. Camión y tractocamión.	Microbús	Particular Oficial	Carga	Camiones	Camiones	Oficial público Diplomático Particular
			Bus			Tractocamiones	Tractocamiones y volquetas	
			Buseta Articulado: n.d Camión Tractocamión			Pasajeros	Microbús Bus	
1A3biv Motocicletas	Todo vehículo motorizado diseñado para viajar con no más de 3 ruedas en contacto con el pavimento y que pese menos de 680 kg.	Motocicletas, ciclomotores y motocarros.	Motocicletas, motocarros y triciclos	Particular Oficial	Motocicletas	Motocicletas	Oficial Público Diplomático Particular	

Nota: n.d., no disponible. En campo "clase vehículo" no se discrimina por tipo de buses

Fuente: elaboración propia.

Los supuestos específicos y las fuentes de información utilizados para modelar cada categoría se especifican a continuación¹⁹.

Flota vehicular:

- El periodo de calibración es 2010-2014. La flota total anual es la que se registra en las Estadísticas del Transporte (Ministerio de Transporte, 2019).
- Se utilizó información histórica de *stock* y ventas anuales hasta el año 2014.

Demanda anual de energía por energético:

- El BECO segmento carretero serie 2010-2014 se utilizó como referencia para el consumo total de energía.
- En la información del BECO se observa que la demanda de energía en transporte carretero en el año 2014, y los años posteriores, tiene un comportamiento diferente respecto a la trayectoria 2010-2013 (ver carga y pasajeros en la Figura 35). No se observa un cambio en las tendencias históricas del tamaño de flota en esos años que explique el cambio observado en los consumos energéticos. Esto sugiere que los factores de uso de la flota de carga y pasajeros cambiaron significativamente en el periodo en referencia, o que hubo modificaciones en la metodología del BECO a partir del año 2014. Esto implica que el resultado de la calibración del modelo es uno si se toman los datos 2010-2013 y otro si se toman los datos del 2014. En este caso se buscó el mejor ajuste posible teniendo en cuenta el consumo de los años más recientes. A esto se debe la diferencia en los resultados obtenidos en LEAP para el año 2010 respecto a los registros del BECO.

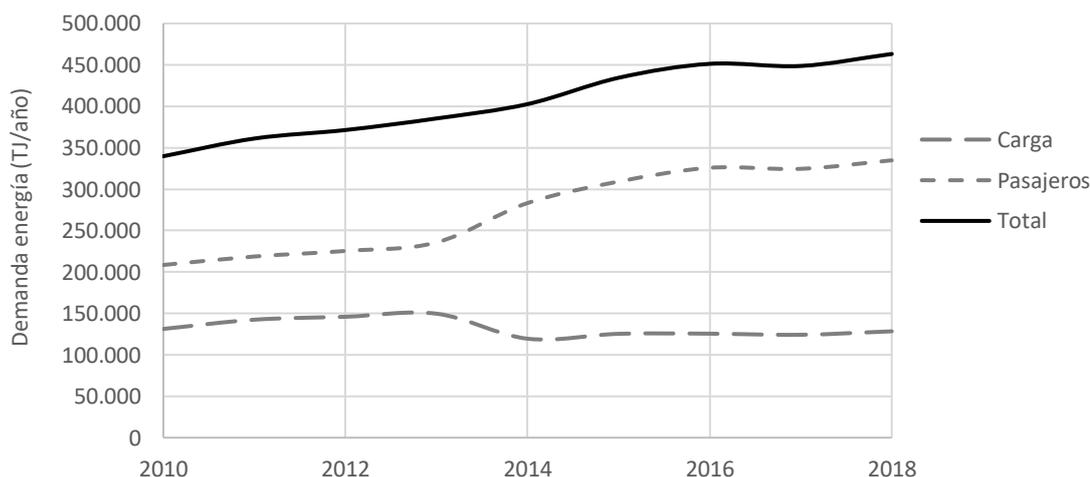


Figura 35. Demanda de energía transporte carretero 2010-2018.
Fuente: elaboración propia con base en BECO²⁰.

¹⁹ Información de soporte está en los anexos: ver Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDÉS\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_carretero.

²⁰ Ver BECO en Anexos Transporte\Informacion Oficial\1 Referencia\Informacion UPME

Distribución de la flota de cada categoría:

- La distribución de la flota de cada categoría por energético se determinó a partir de los registros del RUNT.
- Con la información del RUNT se definieron dos curvas para la modelación en LEAP para cada una de las siguientes categorías: vehículos livianos de pasajeros, motocicletas, vehículos livianos de carga, buses y camiones. Una curva representa la edad del stock en el año base, la otra representa las curvas de salida de la flota en función de su edad (ver curvas resultantes en el modelo LEAP).
- La información sobre flota reconvertida a GNV se obtuvo de las estadísticas del gremio del gas (Naturgas, 2020).
- La flota total a GNV difiere entre los registros del RUNT y las estadísticas de reconversión que reporta el gremio (Tabla 37). Para la línea base se adicionó la flota GNV reconvertida a la flota a GNV reportada por el RUNT.

Tabla 37. Flota a GNV.

Flota a GNV	Flota a GNV (dedicada y dual)	Flota reconvertida a GNV
Fuente de información	RUNT	Naturgas
Flota 2010 (stock)	82,344	321,768
Flota 2014 (stock)	104,526	459,803

Fuente: elaboración propia a partir del RUNT y (Naturgas, 2020).

Factores promedio de consumo de combustible por categoría:

- Se utilizaron las siguientes fuentes de información:
 - o Base de datos para inventarios de emisiones de fuentes móviles de la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2019).
 - o Base de datos *Fuel Economy* del departamento de Energía y la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USDE-EPA, 2020).
 - o Para buses y microbuses se utilizó la compilación desarrollada en dos estudios previos nacionales (Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016) y se complementó con información de la Agencia Ambiental Europea (EEA, 2019).
 - o Para motocicletas y motocarros se usaron valores de estudios locales (Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016; UPME, 2019c).
 - o Para el sector de carga se utilizaron datos de diferentes fuentes: estudios previos locales (Cadena et al., 2016); datos de la base *Fuel Economy* del departamento de Energía y la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USDE-EPA, 2020); y datos provistos por el equipo de Mintransporte, que corresponden a los estimados recientemente en dicha entidad como referencia para el programa de renovación de carga²¹.

Los datos de entrada seleccionados para cada categoría y energético se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 38. Factores de consumo de combustible por categoría 2010-2014.

Clase de vehículo	Gas natural	Diesel	Gasolina
Unidades	MPG ge	MPG de	MPG ge
Automóvil - Campero	18.2	21.6	19.3
Bus	5.2	6.1	5.1
Camión mediano	5.8	8.8	7.9

²¹ Ver Drive\Medidas mitigación sectoriales\MinTransporte\Ficha NDC Renovación de carga.

Clase de vehículo	Gas natural	Diesel	Gasolina
Camión grande	3.9	5.9	5.3
Camioneta	18.2	21.6	19.3
Microbús	11.9	13.9	12.5
Motocicleta	n.a	75.5	57.3
Taxi	18.2	21.6	19.3
Tractocamión	3.5	5.3	4.7

MPG ge: millas por galón de gasolina equivalente (u.s MPG ge); MPG de: millas por galón de diésel equivalente (u.s MPG de).

Fuente: elaboración propia con base en Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016; EEA, 2019; UPME, 2018; USDE-EPA, 2020 e información para carga suministrada por Mintransporte para este estudio del programa de renovación de flota.

Factor de actividad anual por categoría:

- Información por categoría y energético según la herramienta de transporte del Balance de Energía Útil (UPME, 2019c). Esta herramienta hace una recopilación de información de diferentes fuentes.
- Se utilizó la compilación desarrollada en dos estudios previos nacionales (Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016).
- Para el sector de carga se utilizaron los datos de actividad promedio anual para camiones y tractocamiones con edad superior a 20 años, provistos por el equipo de Mintransporte, que corresponden a los estimados recientemente en dicha entidad como referencia para el programa de renovación de carga. Con esta información se calibraron las curvas de actividad de la flota en función de la edad (ver categorías de carga mediana y pesada en el modelo LEAP Colombia).

A partir de la calibración del modelo para el segmento carretero, se generó un nuevo conjunto de datos de actividad. La calibración del segmento carretero se realizó para cada categoría por iteración, partiendo de los valores mencionados anteriormente, hasta encontrar los valores de actividad de la flota de tal manera que los resultados en demanda de energía fueran consistentes entre los cálculos de abajo hacia arriba (partiendo del stock de flota) y los cálculos de arriba hacia abajo, según la demanda anual de energía por energético reportada en el BECO.

Una dificultad en este ejercicio de comparación es que las categorías del BECO para reportar la información de demanda de energía son diferentes a las utilizadas en el inventario nacional de emisiones. Para este estudio la comparación se realizó según como se presenta en la Tabla 39, siguiendo las reglas de asignación que se presentan en el NIR-BUR2. Esta clasificación tiene las siguientes limitaciones: i) supone que todos los buses son para uso en transporte público; ii) supone que toda la flota de vehículos livianos de pasajeros y motocicletas son para uso privado.

Tabla 39. Grupos para comparación de demanda de energía por metodologías de abajo hacia arriba y arriba hacia abajo.

Grupos de comparación	Clasificación del inventario GEI - BUR2	Categorías de comparación del BECO
Grupo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Categoría: 1A3bi Automóviles Subcategoría: Automóviles y camperos • Categoría: 1A3biv Motocicletas 	<ul style="list-style-type: none"> • Pasajeros privado urbano • Pasajeros privado interurbano
	<ul style="list-style-type: none"> • Categoría: 1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses Subcategoría: Pasajeros • Categoría: 1A3bi Automóviles Subcategoría: Taxis 	<ul style="list-style-type: none"> • Pasajeros público urbano • Pasajeros público interurbano

Grupos de comparación	Clasificación del inventario GEI - BUR2	Categorías de comparación del BECO
Grupo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Categoría: 1A3biii Camiones para servicio pesado y autobuses Subcategoría: Carga • Categoría: 1A3bii Camiones para servicio ligero 	<ul style="list-style-type: none"> • Carga urbana • Carga interurbana

Fuente: elaboración propia.

La información resultante para la modelación de cada categoría en LEAP en cuanto actividad se presenta en la Tabla 44. Es importante tener en cuenta la manera en que se interpreta dicha información. Esos valores representan un valor medio de la actividad de cada segmento según las condiciones actuales de tamaño de flota registrada en el RUNT y el consumo de energía nacional reportado en el BECO. Los valores presentados en la Tabla 40 tienen sentido si se analizan en conjunto con el *stock* de flota, para obtener información sobre los vehículos-kilómetros (VKTs) totales y su distribución por energético. Por ejemplo, los factores de actividad de flota de buses no representan la actividad del transporte público en una ciudad específica. En este caso ese valor medio representa lo que se obtiene con un factor de rendimiento promedio, si toda la flota registrada como “bus” en el RUNT se usará en la misma proporción, con el límite superior de consumo dado por la demanda de energía reportada en el BECO.

Tabla 40. Actividad promedio anual de la flota por categoría 2010-2014.

Clase de vehículo	Factor de actividad anual promedio (km/veh)		
	Gas natural	Diesel	Gasolina
Automóvil - Campero	5,800	12,000	5,500
Bus	90,000	54,000	2,000
Camión mediano	40,000	30,000	5,000
Camión grande²²	40,000	30,000	5,000
Camioneta	6,300	10,000	5,000
Microbús	90,000	36,000	4,000
Motocicleta	n.a	13,000	7,200
Taxi	87,000	60,000	40,000
Tractocamión	56,800	77,000	5,000

Fuente: elaboración propia con base en Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016; UPME, 2018, información para carga suministrada por Mintransporte para este estudio del programa de renovación de carga; y según resultados de calibración de aproximaciones de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo.

Las limitaciones en cuanto a la calidad de la información sobre rendimiento y actividad de la flota junto con las dificultades de atribuir a la flota del RUNT el consumo de energía de las categorías del BECO, se reflejan en una alta incertidumbre en la asignación de emisiones dentro de las categorías del transporte carretero.

²² Para los camiones medianos, grandes y tractocamiones se adicionaron curvas que representan el cambio en la actividad en función de la edad del vehículo. Esta información se ajustó según los valores de actividad reportados por Mintransporte en los análisis del programa de renovación y chatarrización, según los cuales un camión con edad superior a 20 años tiene una actividad promedio de 20,793 kms/veh-año y un tractocamión de 62,157 kms/veh-año. Estas curvas se adicionaron para poder representar mejor la medida de mitigación sobre el programa de chatarrización y renovación.

En la estimación de emisiones GEI del sector carretero los datos sobre actividad y rendimiento son fundamentales. En particular, en la información disponible a nivel nacional sobre rendimiento, se siguen evidenciando grandes vacíos:

- Los valores provienen de diferentes fuentes de información, que no necesariamente son comparables, pues los valores se obtienen con diferentes metodologías.
- La información disponible no es representativa de la flota a nivel nacional, sino de casos muy específicos.
- En general la información nacional disponible no es explícita sobre las condiciones específicas de la flota (año modelo, tecnología), ni sobre otros aspectos como las condiciones de operación.

En las siguientes tablas se presenta el resumen de resultados de este ejercicio y su comparación con las emisiones reportadas en el BUR2 y la demanda de energía reportada en el BECO para el mismo periodo.

Como ya se mencionó en la información del BECO se observan cambios significativos en las tendencias de consumo energético de los grupos de transporte carretero entre los años que se requieren para calibrar el modelo. Se observa un comportamiento hasta el año 2013 y otro completamente diferente en los años posteriores. Para representar este segmento en LEAP se tuvo en cuenta en la calibración la dinámica que ha tenido el sector después del 2014, razón por la cual se obtiene un mejor ajuste para el 2014 que para el 2010.

Tabla 41. Resultados en emisiones GEI 2010-2014 segmento carretero.

Sector	Año	Emisiones CO ₂ eq (Gg/año)		
		BUR2	Este ejercicio	Diferencia
Total carretero	2010	22,998	19,987	13%
	2014	26,416	29,941	-6%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 42. Resultados en demanda de energía 2010-2014 segmento carretero.

Sector	Año	Demanda energía (TJ/año)		
		BECO	Este ejercicio	Diferencia
Total carretero	2010	339,731	315,811	15.7%
	2014	402,656	403,378	-1.3%

Fuente: elaboración propia.

Principales supuestos para el escenario de referencia transporte carretero

- Rendimiento del combustible: se supuso un rendimiento constante entre 2010-2014 y una mejora del 1% anual equivalente entre el 2015 y el 2030 en la flota nueva que ingresa cada año (excepto para el transporte de carga que se explica más adelante). Esto para

representar la mejora en las tecnologías de los vehículos aun en ausencia de estándares de rendimiento de combustible. Es un valor conservador teniendo en cuenta:

- para el grupo de países emergentes se dio una mejora del 1,2% anual entre 2005 y 2017 (IEA, 2019);
 - la mejora propuesta para la flota en el escenario de referencia también se considera un valor conservador teniendo en cuenta que los valores de consumo de combustible utilizados en el año base son representativos de flota con año modelo alrededor de 2010-2015 según las fuentes de información de referencia (ver valores y fuentes en la Tabla 38).
 - para los camiones y tractocamiones se utilizó un rendimiento constante entre 2010-2014 y una mejora del 0.5% anual equivalente entre el 2015 y el 2030 en la flota nueva que ingresa cada año, teniendo en cuenta las mejoras reportadas en mercados similares a nivel global (ICCT, 2016).
- Crecimiento de la flota: se supuso que la flota vehicular total aumenta según la tasa de crecimiento del PIB:
 - la flota de transporte privado, específicamente motocicletas y vehículos livianos de pasajeros se modeló en función del crecimiento de las tasas de motorización²³. Para proyectar las tasas de motorización se utilizó una función Gompertz según la cual el crecimiento de la flota es función del ingreso per cápita, entre otros factores (Dargay et al., 2007). Para este estudio se utilizó la misma función de dos estudios previos para Colombia (Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016), se consideró información histórica hasta el año 2018 para su calibración, y se utilizó una tasa de saturación de 700 vehículos por cada mil habitantes. Esto implica que la velocidad con la cual ha venido creciendo el parque de vehículos livianos de pasajeros, en especial de las motocicletas se desacelera en las siguientes décadas. La tasa de saturación fue acordada en los estudios previos de soporte para la Estrategia Colombiana de Bajo Carbono y NDC 2015 (Behrentz et al., 2014; Cadena et al., 2016) por un grupo de expertos²⁴. Dicha tasa de saturación tiene en cuenta las políticas en movilidad sostenible que se han venido implementando en diferentes ciudades del país desde hace más de una década, las cuáles dan prioridad al transporte público y los modos no motorizados. En la Figura 36 se presenta como ejemplo la tasa resultante bajo el Escenario R1.
 - la flota de transporte de carga crece en función del PIB total (misma Ecuación 9 pero aplicada a la flota).
 - la proyección de la flota de transporte público responde a las metas en cobertura de este segmento en los viajes urbanos. Se proyectó la actividad y la flota teniendo en cuenta la participación del transporte público según el estudio de base de la NDC 2015 (Cadena et al., 2016), con la finalidad de tener consistencia entre la proyección del transporte público y el privado.

²³ Ver Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDES\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_carretero.

²⁴ Otro escenario posible es el de crecimiento de la flota de motocicletas con mayor tasa de saturación, pero ese escenario sería contrario a las metas existentes en participación del transporte público.

- Actividad de la flota por vehículo: se supuso constante el factor de actividad promedio por vehículo durante todo el periodo de análisis para todas las categorías excepto para la flota de carga (camiones medianos, grandes y tractocamiones)²⁵.
- Matriz energética: se supuso constante durante todo el periodo de análisis.

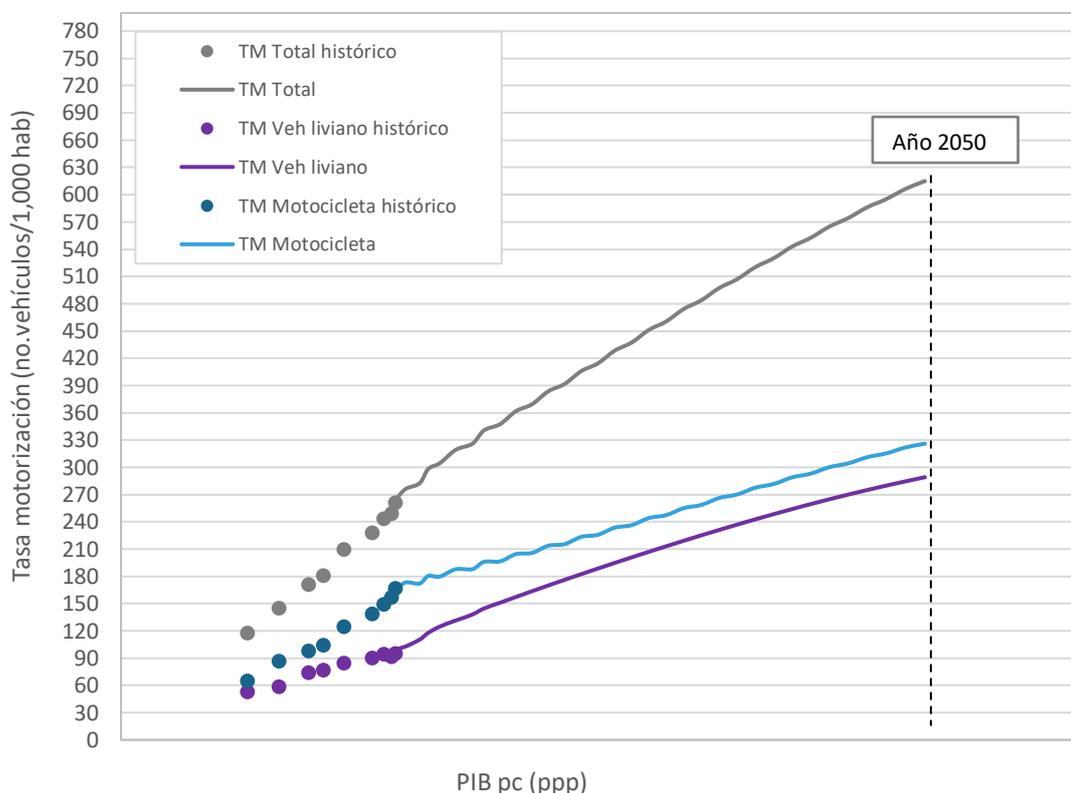


Figura 36. Proyección de tasa de motorización – Escenario R1.

Fuente: elaboración propia²⁶.

La flota vehicular del escenario de referencia se presenta en la Sección 4.3 junto con los otros resultados de transporte.

3.2.3. SECTOR TERCIARIO

→ Estructura LEAP sectorial

El modelo LEAP se utiliza para evaluar la demanda de combustible y posteriormente las emisiones. La estructura de este sector en el modelo LEAP se presenta en la Figura 37.

²⁵ Para la flota de carga se utilizaron curvas de uso de la flota en función de la edad. Esto para poder representar de mejor manera la medida de mitigación correspondiente al programa de chatarrización y renovación. Ver Tabla 40.

²⁶ Ver cálculos y fuentes en Anexos Transporte\Soporte VITO UNIANDÉS\1 Referencia. Archivo Excel: Leap_soporte_carretero.

El modelo LEAP calcula la necesidad de energía del sector de la demanda de año en año multiplicando la actividad (demanda de servicios energéticos) por la intensidad energética para todos los usos finales (LEAP, 2020; Nieves et al., 2019). La predicción de las tasas de crecimiento de las actividades o de la intensidad energética es exógena a LEAP. El programa de demanda utiliza el enfoque de análisis de uso final (LEAP, 2020). Dado que la proyección de la demanda de energía es para 2030 y luego se extiende hasta 2050, es necesario incluir el impacto del cambio tecnológico en el uso de la energía y la mejora de la eficiencia de los equipos, dispositivos, máquinas y procesos que entrarían en el país. La demanda de energía y el método de cálculo de las emisiones en LEAP para este sector se presenta en la Figura 37.

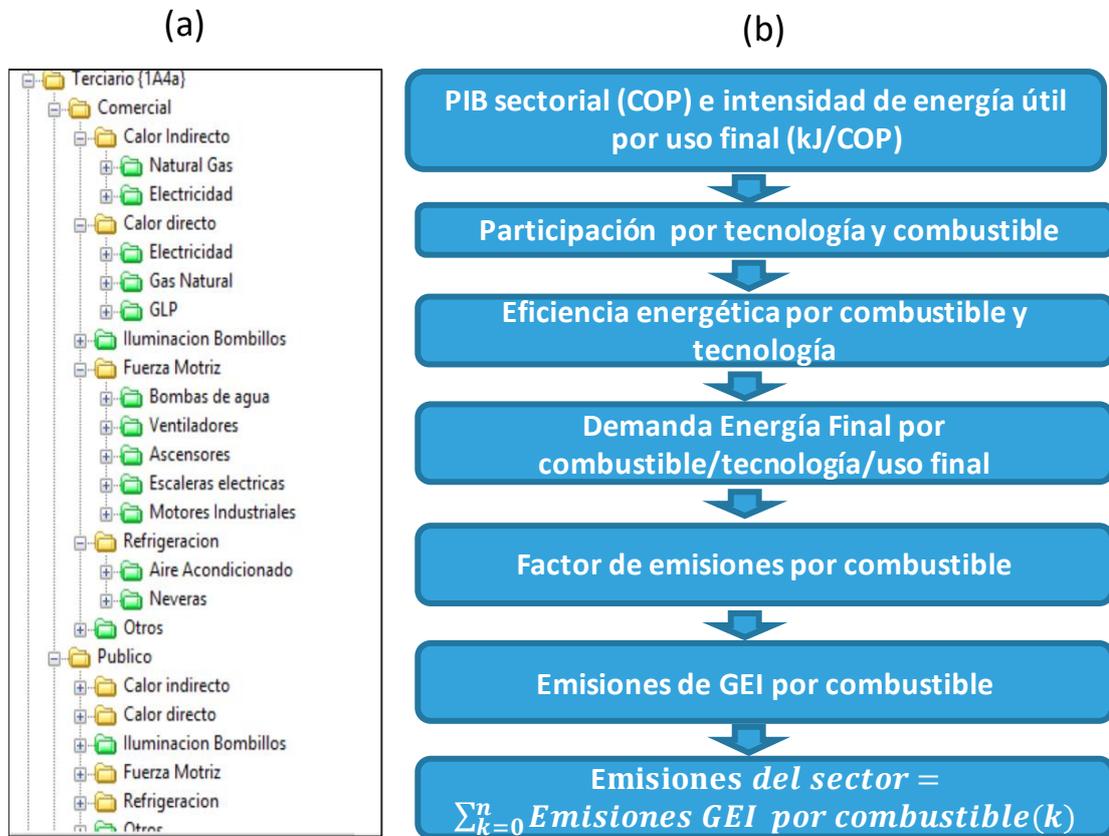


Figura 37. (a) Estructura de árbol para el sector terciario en LEAP. (b) Metodología de cálculo empleada para demanda de energía y emisiones GEI.

Fuente: elaboración propia.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

Este sector se incluye en la categoría "1.A.4 Otros" del IPCC/BUR2 y en la subcategoría "1.A.4.a. Comercial/Institucional". Las emisiones incluyen las emisiones generadas por la quema de combustible en instalaciones comerciales e institucionales, clasificadas según los códigos CIU Revisión 3 de 50 a 93 (Pulido et al., 2019). Incluye tiendas, hoteles, bares, oficinas de correos, telecomunicaciones, servicios financieros, inmuebles, actividades informáticas, administración pública, educación, servicios sociales y de salud y actividades recreativas. Este sector, también

conocido como el sector terciario, consumió alrededor del 5% del total de la demanda final de energía en 2015, según se informa en el informe BECO (año 2015).

Según el informe del IPCC, volumen 2, capítulo 2 (IPCC, 2006), las emisiones se estiman con la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Estimación de GEI por quema de combustible en sector terciario

$$Emisiones_{GEI} = Consumo_{combustible_i} * Factor_{de\ emisión_{GEI,combustible}}$$

Donde,

$Emisiones_{GEI}$: emisión del GEI analizado, Gg contaminante

$Consumo_{combustible_i}$: consumo de combustible i, TJ

$Factor_{de\ emisión_{GEI,i}}$: emisión por consumo de combustible i, Gg contaminante/TJ

El BUR2 de Colombia estimó las emisiones de CO₂ con una metodología de Nivel 2 y las de otros GEI con una metodología de Nivel 1. En la siguiente tabla se definen los datos de actividad de este sector (IDEAM et al., 2018). Los factores de emisión de GEI para combustibles colombianos (FECOC) pueden encontrarse en la Tabla 1.

Tabla 43. Datos de actividad utilizados para la estimación de las emisiones de GEI

Categoría	Datos de actividades
1A4a Comercial / Institucional	Consumo de combustibles fósiles y biomasa en el sector comercial e institucional

Fuente: elaboración propia.

→ **Datos sobre actividades sectoriales y metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Las futuras emisiones del sector están directamente relacionadas con las interacciones que resultan de la dinámica de cambio de la demanda de energía en el sector. El PIB es el principal impulsor del crecimiento de la demanda de energía en este sector y, por consiguiente, de las emisiones de GEI. Debido a la variación en el patrón de consumo (y también para captar algunas medidas de mitigación en el escenario de mitigación), la evaluación del PIB y la demanda de energía de este sector se ha desglosado en dos subsectores, 1) comercial y 2) público. El sector comercial incluye negocios, turismo, hoteles, etc., mientras que el sector público incluye servicios públicos como oficinas gubernamentales, servicios públicos, escuelas, hospitales, etc.

Los usos finales considerados para ambos subsectores son: calefacción directa, calefacción indirecta, iluminación, refrigeración, fuerza motriz (bombeo de agua, ascensores, escaleras mecánicas, etc.) y otros aparatos (ordenadores, impresoras etc.).

Para calcular la intensidad energética útil por sus usos finales en estos dos subsectores, los datos del PIB para el año 2015 se obtienen de las estadísticas de la cuenta nacional del DANE. La intensidad energética útil por uso final para el año 2015 se calcula dividiendo el consumo de energía útil por el

uso final obtenido del Balance Energético Útil para 2015 de la UPME²⁷ (UPME, 2019c) con el respectivo PIB sectorial de ese año y presentado en la Tabla 44. Para la estimación de la demanda de combustible por uso final, se ha supuesto que la intensidad energética útil de un uso final determinado es la misma para el año de proyección y se ha multiplicado por el PIB proyectado del sector respectivo, como se presenta en el capítulo 2. En las siguientes secciones se describen los supuestos sobre el combustible, la tecnología, la eficiencia, etc., según el uso final para derivar la demanda final de combustibles.

Tabla 44. Intensidad de energía útil por uso final (KJ/COP)

Uso final	Comercial	Público
Calor indirecto	0.0143	0.0488
Calor directo	0.0068	0.0024
Bombillas iluminación	0.0034	0.0009
Fuerza motriz	0.0033	0.0019
Refrigeración		
Aire acondicionado	0.0128	0.0046
Frigorífico	0.0010	0.0003
Otros	0.0039	0.0054

Nota: Constantes en 2015

Fuente: (UPME, 2019c).

Calor directo

La electricidad, el gas natural y el GLP se utilizan para la calefacción directa, con el gas natural dominando con el 47,2%, seguido por el GLP con un aporte del 42,47%. La electricidad representa el 10,4% restante. La eficiencia media (2015) de los equipos utilizados para Calor directo basada en diferentes combustibles, obtenida a partir del balance de energía útil (BEU) de la UPME, se presenta en la Tabla 45. Esta tabla también presenta la posible mejora de la eficiencia de los dispositivos en el futuro de acuerdo con el BEU de la UPME en dos categorías: 1) Mejor eficiencia Colombia y 2) Mejor eficiencia internacional, las cuales se modelan para captar la futura mejora de la eficiencia. Sin embargo, debido a la falta de información sobre la futura mejora de la eficiencia en esta categoría de uso final, se supone que la actual combinación de combustibles y la eficiencia existente se mantendrán para esta categoría de uso final hasta 2050.

²⁷UPME 2019, Primer balance de Energía útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética. Resumen Ejecutivo BEU Sector Residencial y Terciario. Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá 2019.

Tabla 45. La combinación de combustibles existente y las eficiencias actuales y potenciales de los dispositivos para Calor directo.

Combustible	Proporción (%)		Eficiencia existente (%)	Mejor eficiencia Colombia (%)	Mejor eficiencia internacional (%)
	Comercial	Público			
Electricidad	10.36	100	56.66	90	99
Gas natural	47.17	0	40	45	50
GLP	42.47	0	42	47	50

Fuente: (UPME, 2019c).

Calor Indirecto

Sólo se utiliza gas natural para el Calor Indirecto. Sin embargo, la electricidad se modela ya que podría ser un combustible potencial para su uso futuro. Así mismo, como la electricidad no se utiliza ahora en este sector, se utilizan los datos de eficiencia del sector residencial. Los tipos de combustibles y la eficiencia técnica (2015) de los dispositivos utilizados para Calor Indirecto se presentan en la Tabla 46. Similar al Calor directo, la presente tabla también brinda dos posibles categorías de eficiencia, 1) Mejor eficiencia Colombia y 2) Mejor eficiencia internacional que podría lograrse en el futuro mediante políticas y medidas apropiadas. Sin embargo, debido a la falta de información, se supone que la eficiencia de 2015 continuará tanto para el sector comercial como para el público hasta 2050.

Tabla 46. Distribución y eficiencia técnica actual y potencial por combustible y por dispositivos

Tecnología por eficiencia	Gas natural		Electricidad	
	Proporción (%)	Eficiencia (%)	Proporción (%)	Eficiencia (%)
Eficiencia existente	100	70	100	80
Mejor eficiencia Colombia		80		87
Mejor eficiencia internacional		84		95

Fuente: (UPME, 2019c).

Iluminación

La cuota de tecnología en el alumbrado comercial y público se muestra en la Tabla 47 junto con su eficiencia. Una mayor proporción de tecnología de iluminación eficiente como el LED, reducirá la demanda de electricidad y, por lo tanto, las emisiones de GEI. Sin embargo, la penetración de la tecnología requiere de políticas y condiciones de mercado favorables. Como consecuencia de la falta de información, se ha supuesto que la combinación y la eficiencia de la tecnología existente continúan en ambos sectores, el comercial y el público. Se consideró que las bombillas incandescentes cesarán su participación en 2022 y serán reemplazadas por LFC, teniendo en cuenta las existencias remanentes en el mercado.

Tabla 47. Combinación de tecnología y eficiencia utilizada en la iluminación comercial y pública.

Tecnología	Proporción tecnológica (%)		Lumen/Vatio	Eficiencia (fracción)
	Comercial	Público		
Dialítica	0.08	0.0	80	0.12
Fluorescente T12	3.58	14.0	45	0.07
Fluorescente T15	32.03	1.0	100	0.15
Fluorescente T8	19.07	48.9	80	0.12
Halógena	3.85	2.9	18	0.03
Haluro metálico	9.80	1.5	80	0.12
Incandescente	2.86	6.1	14	0.02
LED	12.57	0.4	80	0.12
LFC	9.66	11.8	40	0.06
Vapor de mercurio	0.65	0.8	34.5	0.05
Vapor_Sodio_Alta	3.05	0.1	98	0.14
Vapor_Sodio_Baja	2.80	12.6	200	0.29

Fuente: (UPME, 2019c).

Fuerza motriz

Incluye el consumo de electricidad para el bombeo de agua, ascensores, escaleras mecánicas, etc. La intensidad de la energía útil estimada utilizando el BEU de la UPME se presenta en la Tabla 44. Se estima que la eficiencia media actual de los motores utilizados en los sectores comercial y público es del 68%. De manera similar a otros usos finales, se modelan dispositivos con dos posibles niveles de eficiencia más altos, 1) Mejor eficiencia Colombia (eficiencia 83%) y 2) Mejor eficiencia internacional (eficiencia 88%). Sin embargo, debido a la falta de información sobre la penetración de tecnologías eficientes en el futuro, se supone que la eficiencia actual (2015) continuará hasta 2050.

Refrigeración

La refrigeración incluye las neveras y el aire acondicionado. La intensidad energética útil para estos dos usos se presenta en la Tabla 48 y la misma en el uso comercial y público. De manera similar a otros usos finales descritos anteriormente, se modelan tres tipos de eficiencia para estos dos dispositivos (neveras y aire acondicionado) para captar las posibilidades futuras de mejora de la eficiencia para estos dos usos finales. La eficiencia media actual de las neveras y del aire acondicionado es, respectivamente, del 25% y del 29%. Sin embargo, la adopción de tecnologías eficientes requiere de políticas y medidas. Debido a la falta de información sobre las políticas futuras, se supone que la eficiencia actual continuará hasta 2050 para ambos usos finales.

Tabla 48. Eficiencia técnica para refrigeración y aire acondicionado.

Eficiencia de los equipos	Eficiencia técnica (%)	
	Refrigeración	Aire acondicionado
Eficiencia existente	25	29
Mejor eficiencia Colombia	30	45

Mejor eficiencia internacional	50	61
---------------------------------------	----	----

Fuente: (UPME, 2019a, 2019c).

Otros aparatos

Los otros aparatos incluyen todos los dispositivos que no están incluidos arriba. Incluye ordenador, impresora y otros equipos de oficina. La intensidad media de la energía útil se presenta en la Tabla 44. La eficiencia media estimada utilizando los datos del BEU y el Balance Energético Final de la UPME es de 0,33 y se utiliza para calcular la demanda de electricidad.

3.2.4. RESIDENCIAL

→ Estructura LEAP sectorial

La estructura de este sector en el modelo LEAP se muestra en la *Figura 38a*. La metodología básica para la demanda de combustible seguida de la estimación de GEI dentro del modelo LEAP se presenta en la *Figura 38b*.

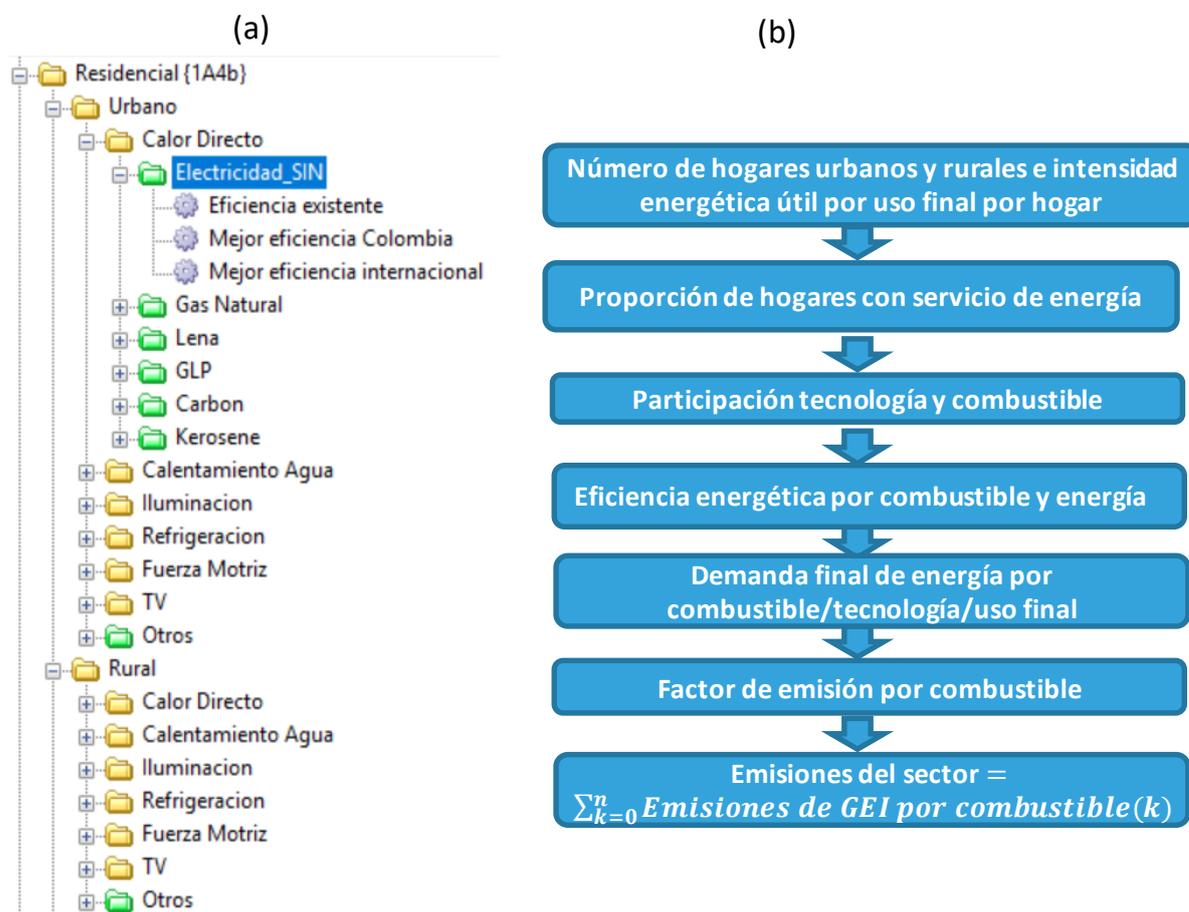


Figura 38. (a) Estructura del sector residencial en el modelo LEAP, y (b) metodología de cálculo para la estimación de emisiones de GEI mediante el modelo LEAP.

Fuente: elaboración propia.

→ **Reglas de cálculo de los GEI por sector**

Según lineamientos del IPCC y el documento BUR2, este sector pertenece a la categoría 1.A.4 Otros y a la subcategoría 1.A.4.b. Residencial. Las emisiones asociadas con este sector son aquellas provenientes de quema de combustibles en los hogares. Como se reporta en el estudio realizado por el IDEAM (Pulido et al., 2019), las emisiones de CO₂ fueron estimadas a partir de una metodología nivel 2, mientras que las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) fueron calculados a partir de una metodología nivel 1. Las reglas de cálculo para este sector siguen la misma metodología del sector terciario (ver Ecuación 10. Estimación de GEI por quema de combustible en sector terciario).

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

La conceptualización de estimación de GEI para este sector, utilizadas en el BUR2, se plasma en la Ecuación 10 ya presentada. Los datos de actividad son definidos a continuación:

Tabla 49. Datos de actividad para el sector residencial

Categoría	Dato de actividad
1A4b Residencial	Consumo de combustibles fósiles y biomasa en el sector residencial.
	Consumo de leña en el sector residencial rural.

Fuente: elaboración propia.

Similar al sector terciario, las emisiones futuras de este sector están directamente relacionadas con las interacciones que resultan de la dinámica del cambio en las demandas de energía en el sector. La demanda de combustibles en este sector se estima mediante el modelo LEAP, y luego el factor de emisiones por combustibles (ver Capítulo 2) se usa para estimar las emisiones de GEI. Para este sector, la población sigue siendo el impulsor de la demanda de combustible y, por lo tanto, de las emisiones de GEI.

Sin embargo, como los patrones de consumo según el uso final y los combustibles varían entre los hogares rurales y urbanos, la demanda de combustibles se evaluó por separado para los hogares rurales y urbanos y luego multiplicado por el factor de emisión respectivo. Vale mencionar que también se consideran hogares en áreas no interconectadas (ZNI) (IPSE, 2019).

Los usos finales considerados hacen referencia a: calentamiento directo, calentamiento indirecto, iluminación, refrigeración, potencia motriz (lavadora, ventilador), televisión y otros electrodomésticos (horno microondas, batidora, tostadora, computadora, etc.).

Debido al largo horizonte temporal de análisis (hasta 2050), para capturar la evolución en los cambios de estilo de vida, la demanda de energía útil por hogar ha sido el punto de partida. Además, para capturar el desarrollo futuro de la sustitución de combustible y los cambios en las tecnologías, cada uso final se ha desglosado por los combustibles y las tecnologías que se utilizan ahora y posiblemente en el futuro.

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Como se explica en la sección del sector terciario, LEAP calcula el requerimiento de energía del sector de demanda año a año multiplicando la actividad (demanda del servicio de energía) por la intensidad de energía para todos los usos finales (LEAP, 2020). La predicción de las tasas de crecimiento de las actividades o la intensidad energética es exógena a LEAP.

Las estadísticas sobre hogares rurales y urbanos para el año 2015 se obtienen de la base de datos DANE. Por otro lado, el BEU de UPME para el sector residencial en el año 2015 proporciona un consumo de energía útil por uso final para los hogares rurales y urbanos. El consumo de energía útil por uso final a nivel rural o urbano se divide por el número respectivo de hogares rurales y urbanos para estimar la intensidad de energía útil para varios usos finales. Estos datos a su vez son usados para la proyección de demanda de energía útil. La Tabla 50 presenta la intensidad energética útil para diversos usos finales en hogares rurales y urbanos. Debido a la falta de disponibilidad de información sobre el desarrollo futuro de la intensidad de energía útil, se asumió que estos números continuarán hasta 2050 para el cálculo de la demanda de energía útil. Para proyectar el número de hogares rurales y urbanos hasta 2050 utilizados para la proyección de la demanda de energía, el crecimiento poblacional (descrito en el capítulo 2) fue utilizado como punto de partida (driver). Otros insumos relacionados al crecimiento urbano y rural, el tamaño de los hogares urbanos y rurales en Colombia se obtuvieron del Plan Energético Nacional 2020²⁸ (UPME, 2019a) (Figura 39).

Tabla 50. Intensidad de energía útil en hogares urbanos y rurales (MJ/Hogar)

Uso final	Urbano	Rural
Calor Directo	2,446	2,661
Calentador de agua	918	917
Iluminación	57	40
TV	92	52
Aire Acondicionado	3,599	3,599
Neveras	403	403
Lavadora	119	119
Ventiladores	49	64.5
Otros electrodomésticos y dispositivos electrónicos	294	206

Fuente: (UPME, 2019a, 2019c)

²⁸UPME, Plan Energético Nacional (PEN) 2020- 2050.

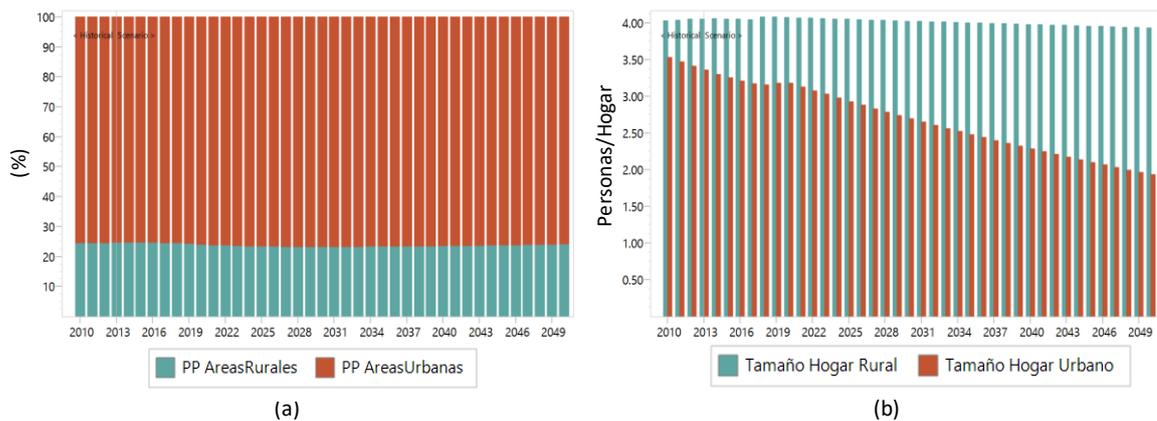


Figura 39. Urbanización y tamaño de los hogares
Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

El acceso a diversos servicios o electrodomésticos de energía es un determinante importante del consumo de energía en el sector residencial (Figura 40). Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (2015), el 97.2% de hogares urbanos y el 97.5% de rurales tienen instalaciones de cocina en sus hogares, mientras que la proporción de hogares con calentador de agua es 24.5% y 4.1%, respectivamente (DANE, 2015). Si bien parece que los hogares han alcanzado niveles óptimos en lo que respecta a las instalaciones de cocina, existe la posibilidad de un mayor aumento en los servicios de calefacción de agua en los hogares. Sin embargo, debido a la falta de información, se asumió que el mismo nivel de acceso continuará durante las proyecciones a 2050. En el caso de la televisión, según la misma encuesta, el 92% de los hogares cuentan con televisor en casa y se proyecta que para 2030, alrededor del 94% de los hogares tendrán televisión, alcanzando el 97% de cobertura en 2050.

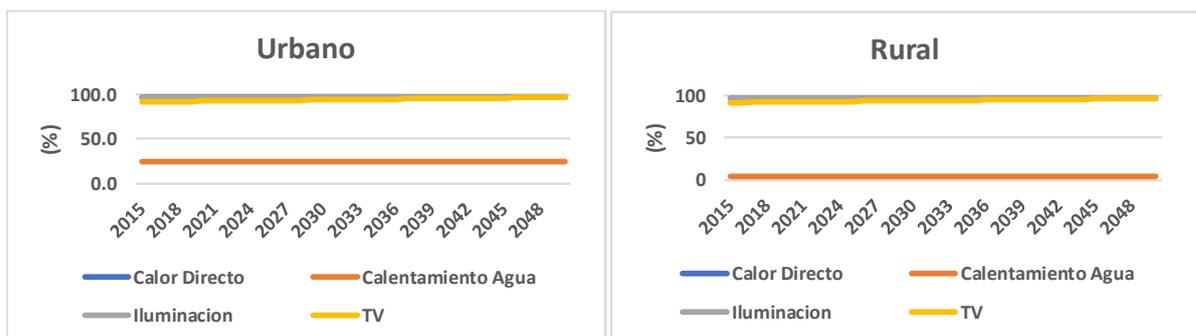


Figura 40. Acceso a servicios básico de energía en hogares urbanos y rurales
Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

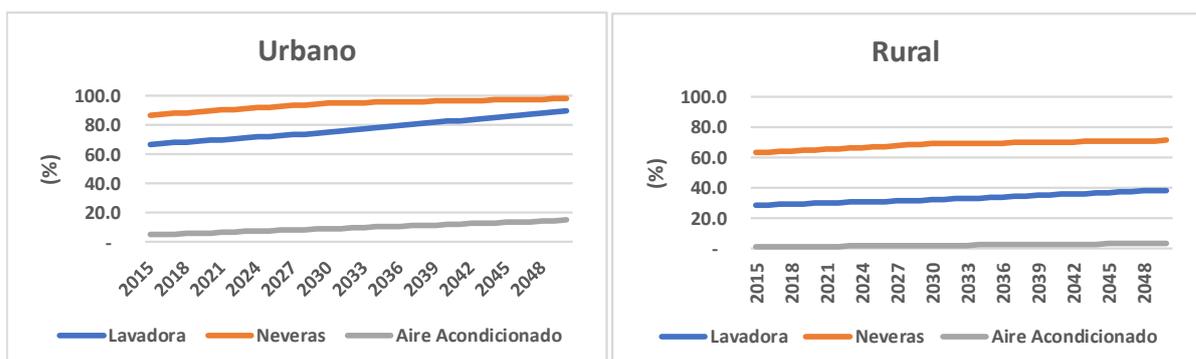


Figura 41. Proporción de acceso a electrodomésticos
Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

Según la encuesta, alrededor del 87%, 67% y 5% de los hogares urbanos poseen refrigerador, lavadora y equipos de aire acondicionado, mientras que las cifras respectivas para hogares rurales son 63.3%, 28.8 % y 1.2% (DANE, 2015). Sin embargo, con el aumento de los ingresos en el tiempo, la proporción de acceso a estos bienes en los hogares aumentarán. Por lo tanto, con base a consultas con expertos en el tema, se asume un mayor acceso a estos elementos en los hogares urbanos y rurales, como se muestra en la Figura 41.

Según el informe del Balance Energético Colombiano de UPME, la eficiencia técnica de la tecnología de uso final se diferencia en tres categorías, 1) eficiencia promedio utilizada actualmente (2015), la mejor tecnología de Colombia (categoría A de RETIQ (Reglamento Técnico de Etiquetado) y mejor tecnología disponible (BAT, por sus siglas en inglés) a nivel internacional. Se espera que, en un horizonte temporal de 35 años, la eficiencia de la tecnología de uso final pase de la eficiencia promedio actual a la mejor eficiencia de Colombia y finalmente a la BAT. Sin embargo, debido a la falta de información, se asume que la eficiencia promedio actual de todas las tecnologías de uso final continuará hasta 2050. En las siguientes secciones, se describen las suposiciones y el enfoque clave de uso final que se han modelado en LEAP.

Calor Directo

La distribución de combustibles utilizados para “Calor directo” varía en las zonas urbanas y rurales (obtenida de la base de datos de balance energético de UPME) (Tabla 51). Sin embargo, mientras que el gas natural presenta la mayor proporción asociada al calor directo en las áreas urbanas, en los hogares rurales la mayor proporción es liderada por la leña seguido por el GLP.

Es muy probable que la participación y distribución de combustibles cambie en el futuro, pero debido a la falta de disponibilidad de información, se asume que la misma combinación de combustible continuará hasta 2050. La Tabla 50 presenta las eficiencias técnicas actuales y de dos niveles superiores de los dispositivos basados en estos combustibles. En el caso de la leña, la eficiencia actual es de 3%, para gas natural y GLP es de 42% , mientras que para electricidad alcanza un 73%. Los dispositivos basados en leña tienen potencial para mejorar su eficiencia hasta en un 50%. Como se indicó en la sección anterior, se asume que la eficiencia actual de los combustibles continuará hasta 2050 para efectos del cálculo de la demanda final de combustible.

Tabla 51. Participación de combustible (%) y eficiencia (%) para Calor Directo

Combustible	Mix de combustible Calor Directo (%)		Eficiencia (%) por combustible		
	Urbano	Rural	Eficiencia existente	Mejor eficiencia Colombia	Mejor eficiencia internacional
Electricidad SIN	8.2	5.1	73.0	79.0	86.0
Gas Natural	73.1	1.5	42.0	50.0	60.0
Leña	1.1	44.7	3.0	20.0	50.0
GLP	16.2	39.5	42.0	50.0	60.0
Carbón	1.2	7.4	30.0	40.0	60.0
Queroseno	0.1	1.7	38.0	45.0	55.0

Fuente: (UPME, 2019a, 2019c)

Calentador de Agua

Según la Encuesta Nacional de Calidad de Vida, el 94,2% de los hogares urbanos con instalaciones para el calentamiento de agua usan electricidad, los hogares restantes usan gas natural (DANE, 2015)

(Tabla 51). Debido a la falta de red de suministro de gas natural en las zonas rurales, los hogares usan electricidad para calentar el agua. Varias tecnologías eléctricas de calentamiento de agua están disponibles. Sin embargo, alrededor del 92.1% de los hogares urbanos usan ducha eléctrica para calentar el agua, seguido por el 5.2% que utilizan calentadores de paso, mientras que los hogares restantes usan calentadores eléctricos (tipo tanque) (Tabla 52). Debido a la falta de información, se asume la misma distribución de tecnologías para hogares rurales. Para la proyección, se asumió que la misma proporción en tecnologías en los hogares urbanos y rurales continuará hasta 2050.

Tabla 52. Combustible y tecnologías usadas para calentamiento de agua

Combustible/tecnología	Urbano	Rural
Contribución por combustible (%)		
Gas natural	5.76	0
Electricidad	94.24	100
Contribución por tecnología (%)		
Gas natural		
<i>Gas natural (calentador de tanque y de paso)</i>	100	0
Electricidad		
<i>Electricidad (calentador de tanque)</i>	2.7	2.7
<i>Electricidad (calentador de paso)</i>	5.2	5.2
<i>Electricidad (ducha)</i>	92.1	92.1

Fuente: (DANE, 2015).

El BEU de la UPME y otros documentos²⁹ reportaron el nivel de eficiencia existente por combustible utilizado en áreas rurales y urbanas para calentar el agua. También informo los niveles potenciales de eficiencia que indican la oportunidad de mejora y reducción en el consumo de energía (Tabla 53). Sin embargo, debido a la falta de información sobre las medidas de mejora de la eficiencia, se asumió que el nivel de eficiencia actual continuará para la estimación futura de la demanda de combustible.

Tabla 53. Eficiencia por combustible

	Gas natural		Electricidad	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Eficiencia existente	83.0	83.0	80.0	80.0
Mejor eficiencia - Colombia	87.0	87.0	87.0	87.0
Mejor eficiencia - internacional	95.0	95.0	95.0	95.0

Fuente: (UPME, 2019a, 2019c).

Iluminación

La intensidad energética útil para la iluminación en hogares urbanos y rurales se presenta en la Tabla 50. La combinación de tecnologías para iluminar hogares urbanos está disponible a partir de datos de encuestas (Tabla 53). La eficiencia técnica medida (lumen/vatio) para las tecnologías de iluminación se obtiene de las fuentes publicadas. La encuesta de calidad de vida reporto que el número de horas promedio de iluminación por día para los hogares urbanos es de 4.1 horas. Con

²⁹UPME 2019, Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las Perdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética, Resumen Ejecutivo BEU Sector Residencial y Terciario, Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá 2019.

estos supuestos, la demanda final de electricidad para iluminación en hogares urbanos se proyecta hasta 2050. Para hogares rurales, en ausencia de información detallada para calcular la demanda final de electricidad, se utilizó el balance de energía útil de la UPME. Se consideró que las bombillas incandescentes cesarán su participación en 2022 y serán reemplazadas por LFC, teniendo en cuenta las existencias remanentes en el mercado.

Tabla 54. Tecnologías de iluminación usadas en hogares urbanos y su eficiencia

Tecnología	Proporción (%) de iluminación en hogares	Eficiencia (Lumen/vatio)
Incandescente 60W	17.8	14.0
Incandescente 50W	1.6	14.0
Fluorescente	3.1	40.0
LFC	72.4	50.0
Tecnología LED	5.1	80.0

Fuente: (UPME, 2019c).

Refrigeración

La intensidad de energía útil anual para la refrigeración en hogares urbanos y rurales se muestra en la Tabla 50. La proporción por nivel de eficiencia (zona rural y urbana) y eficiencia por tipo de tecnología según el balance de energía útil de la UPME, se presenta en la Tabla 55. La eficiencia promedio del refrigerador utilizado en los hogares urbanos y rurales es del 14%, mientras que existe una posibilidad de mejora del 30% si todos los refrigeradores presentan un nivel de eficiencia A, como se define en RETIQ, y más del 50% si la mejor tecnología disponible internacionalmente se adopta. Al calcular la demanda de electricidad para la refrigeración en hogares urbanos y rurales, se asume que el nivel de eficiencia actual continuará hasta 2050, ya que la información sobre el programa de mejora de la eficiencia no está disponible.

Tabla 55. Participación de refrigeradores por nivel de eficiencia

Tecnología	Proporción (%) por nivel de eficiencia		Eficiencia (%)
	Urbano	Rural	
Eficiencia existente	100	100	14
Mejor eficiencia - Colombia	-	-	30
Mejor eficiencia internacional	-	-	50

Fuente: (UPME, 2019c).

La Encuesta Nacional de Calidad de Vida proporciona una distribución por edades de las existencias de refrigeradores en el país como se presenta en la Tabla 56. Según la encuesta, los refrigeradores pequeños, medianos y grandes representan el 34%, 54% y 12% del stock total, respectivamente. El consumo anual de electricidad por tamaño se presenta en la Tabla 56. Estas características se han modelado, pero no se han utilizado para la proyección de la demanda, sin embargo, se pueden activar para analizar medidas de mitigación centradas en el reemplazo de refrigeradores viejos por otros más eficientes.

Tabla 56. Distribución del stock de refrigeradores por edad, y eficiencia por tamaño

Rango de edad	Distribución (%) del stock de refrigeradores por edad	Consumo de electricidad anual (kWh) por hogar		
		Pequeña	Mediana	Grande
menor de 1 año	6.0	562.1	754.8	971.6
entre 1 y 5 años	48.0	622.3	835.1	1,076.0
entre 6 y 10 años	29.0	682.6	915.4	1,180.4
entre 11 y 15 años	9.0	742.8	999.7	1,284.8
entre 16 y 20 años	5.0	803.0	1,080.0	1,389.2
mayor a 20 años	3.0	883.3	1,188.4	1,525.7

Fuente: (DANE, 2015).

Aire acondicionado

La intensidad energética útil por hogar urbano y rural se presenta en la Tabla 50. Se modelaron tres tipos de tecnologías en aire acondicionado para hogares: mini split, pared o ventana y central. La proporción de hogares urbanos y rurales por tecnología y eficiencia técnica se presenta en la Tabla 57. La eficiencia promedio actual es del 30% teniendo en cuenta que los hogares usan tecnologías de aire acondicionado con eficiencia promedio, sin posibilidad de acceso a uno más eficiente. Para estimar la demanda de electricidad asociado a aire acondicionado, se asumió que los hogares continúan usando el aire acondicionado de eficiencia promedio hasta 2050 ya que no hay información disponible sobre la posibilidad de acceso a aire acondicionado de mayor eficiencia

Tabla 57. Distribución de aire acondicionado por tecnología y eficiencia

Tecnología	Proporción de hogares que utilizan alguna tecnología (%)		Eficiencia técnica (%) de tecnologías de aire acondicionado			Adopción de tecnología eficiente por hogar (%)		
	Urbano	Rural	Eficiencia existente	Mejor eficiencia Colombia	Mejor eficiencia internacional	Eficiencia existente	Mejor eficiencia Colombia	Mejor eficiencia internacional
Mini Split	57.0	57.0	30	41	65	100	-	-
Pared o ventana	35.0	37.0	30	41	65	100	-	-
Central	8.0	6.0	30	41	65	100	-	-

Fuente: (DANE, 2015).

Fuerza Motriz

Fuerza motriz incluye lavadoras y ventiladores eléctricos. La demanda de electricidad para estos usos finales se estima por separado.

Lavadora

El consumo de electricidad por hogar urbano y rural se presenta en la Tabla 50. Como se muestra en la Figura 41, actualmente aproximadamente el 67% y el 28.8% de los hogares urbanos y rurales poseen lavadora (DANE, 2015). Sin embargo, se asume que esta proporción aumentará en el futuro con el incremento de ingresos (Figura 41). La eficiencia promedio existente de la máquina utilizada es del 22%, y como se informa en el balance de energía útil de UPME, existe un aumento potencial en la eficiencia (Tabla 58). Para estimar la demanda de electricidad, se asume que la eficiencia existente para la máquina de lavado continuará hasta 2050, ya que la información sobre el ingreso de la máquina de lavado de mayor eficiencia no está disponible.

Tabla 58. Eficiencia técnica de la lavadora y proporción de hogares por eficiencia

	Eficiencia existente	Mejor eficiencia Colombia	Mejor eficiencia internacional
Proporción de hogares (%)			
<i>Urbano</i>	100	-	-
<i>Rural</i>	100	-	-
Eficiencia técnica (%)	22.0	33.0	50.0

Fuente: (UPME, 2019c).

Ventilador eléctrico

Actualmente, el 39% y el 29.8% de los hogares urbanos y rurales tienen ventiladores, respectivamente. La intensidad energética útil por hogar urbano y rural se presenta en la Tabla 50. La eficiencia promedio actual es del 32%, con una mejora potencial de la eficiencia del 42% (si se implementa la mejor tecnología - colombiana) y más del 67% si la mejor tecnología disponible internacional se incorpora en el mercado colombiano. Para estimar la demanda de electricidad de los ventiladores en los hogares rurales y urbanos, se asumió que el número de hogares que poseen ventiladores aumentará en el horizonte temporal hasta 2050, sin embargo, la eficiencia promedio actual se mantiene ya que la información sobre la mejora futura de la eficiencia no está disponible.

Televisores

La intensidad energética y la distribución de televisores por tecnología se presenta en la Tabla 59. Dicha distribución se obtuvo de la encuesta de calidad de vida y el balance energía útil (UPME, 2019). Se validó con la UPME que se asume que el porcentaje de hogares aumentará de 92% en 2015 a 97% en 2050, teniendo en cuenta la una alta incertidumbre, cambios en comportamientos sociales y la composición de los hogares.

Tabla 59. Eficiencia técnica, intensidad energía útil, y participación tecnología televisores en el sector residencial.

Sector	Tecnología	Participación	Intensidad energética (MJ/Hogar)	Eficiencia Actual (%)	Mejor Eficiencia Colombia (%)	Mejor Eficiencia Internacional (%)
Urbano	CRT	56.7%	91	6	NA	NA
	LED/LCD	43.3%		20	35	70
Rural	CRT	80.0%		6	NA	NA
	LED/LCD	20.0%		20	35	70

Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos del BEU (UPME, 2019c).

Otros electrodomésticos y dispositivos electrónicos

Otros electrodomésticos y dispositivos electrónicos incluyen los consumos no asignados a las categorías anteriores. Dicho consumo incluye microondas, tostadora, secador de cabello, computadora, impresora, celulares, etc. La intensidad de energía útil promedio para todos estos dispositivos se estableció en 294 MJ para hogar urbano y 206 MJ para hogar rural (Tabla 50). Utilizando la energía útil y el balance final de energía según información de la UPME, la eficiencia promedio se calculó en 57.8% y se usó para calcular la demanda final de electricidad para esta categoría hasta 2050.

3.2.5. AGRICULTURA/SILVICULTURA/PESCA

→ Estructura LEAP sectorial

La Figura 42 (a) presenta la estructura de este sector tal y como se utiliza en el modelo LEAP (LEAP, 2020).

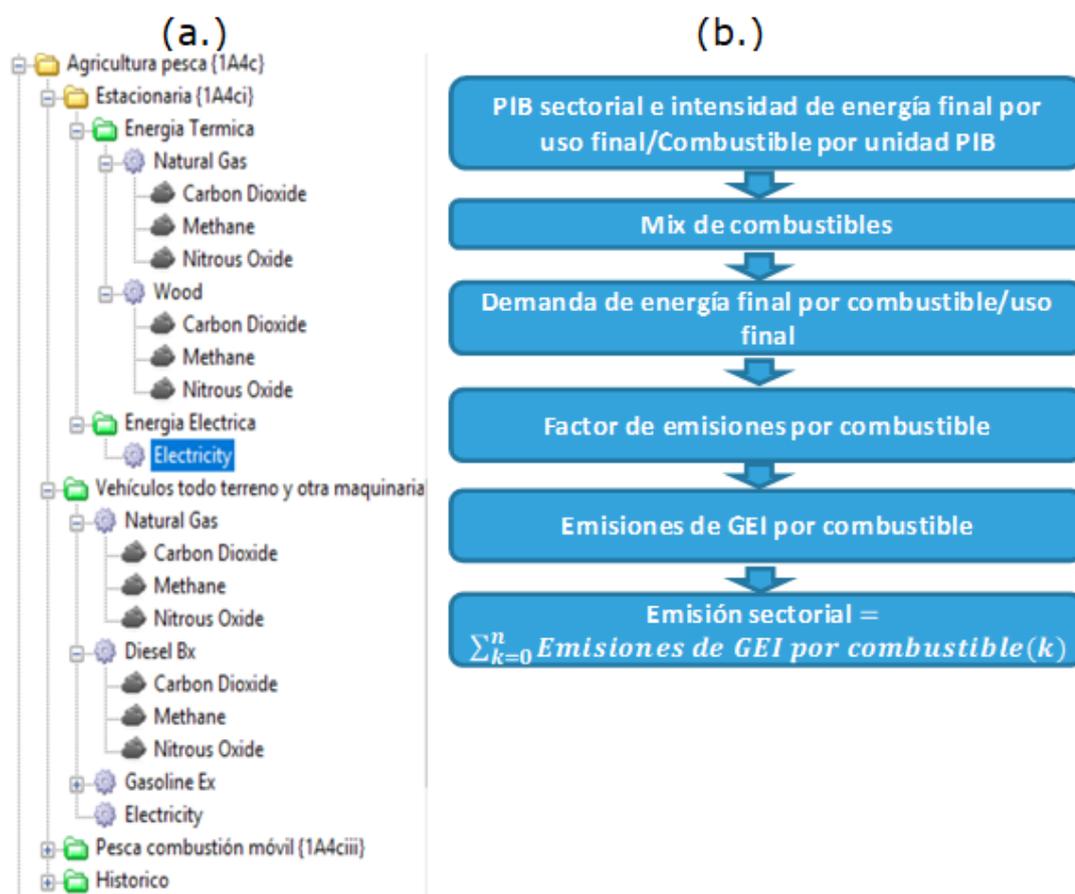


Figura 42. (a) Estructura de árbol para el sector energético: otros en el modelo LEAP & (b) metodología de cálculo para estimar las emisiones de GEI en el modelo LEAP.

Fuente: elaboración propia.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

Las emisiones de GEI en este sector incluyen las emisiones de quema de combustibles utilizados en la agricultura, la silvicultura, la pesca y las industrias pesqueras, como las granjas piscícolas. Este sector pertenece a la categoría IPCC 1A4c. La Ecuación 10 fue aplicada. La intensidad de energía final para cada uno de estos usos de combustible en 2015 se calcula dividiendo el consumo de energía final con el PIB, tal y como se presenta en la Tabla 50. Para proyectar la demanda de energía final por combustible hasta 2050, se asume que la intensidad de energía final permanecerá igual hasta 2050. La intensidad de energía final se multiplica con el PIB agrícola proyectado y luego, si es necesario, se distribuye a través de diferentes combustibles utilizando su participación (Ver Tabla

50). Las proyecciones para el PIB agrícola en diferentes escenarios se presentan en el Capítulo 2. Las emisiones de GEI para todo el sector se calculan multiplicando la demanda de combustible por el factor de emisión tal y como se reporta en el capítulo 2, posteriormente se suman las emisiones reportadas por contaminante en el sector. Esta metodología se presenta en la Figura 42(b).

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

Los datos de actividad en concordancia con la estimación de emisiones en el BUR2 son los siguientes (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019):

Tabla 60. Datos de actividad y fuentes de información para el cálculo de emisiones de GEI

Categoría reportada en BUR2	Dato de actividad	Fuente de información
1A4c	Consumo de combustibles fósiles y biomasa en el sector agrícola en fuentes estacionarias	BECO - UPME
1 A4 Otros sectores	Consumo de combustibles fósiles en el transporte terrestre	
1A4ci Estacionario		
1A4c	Porcentajes de distribución de combustible por tipo de vehículo	BECO - UPME
Agricultura/silvicultura/pesca/industrias pesqueras		

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Como se indicó para otros sectores, las emisiones futuras del sector están directamente relacionadas con las interacciones que resultan de la dinámica del cambio en las demandas de energía en este sector. El uso de energía en este sector está directamente relacionado con la producción del sector (medida en términos de PIB en este análisis). Para ello se ha utilizado el PIB sectorial asociado al sector agrícola como driver. El consumo de energía en 2015 en este sector se informa en el BECO y ha sido el punto de partida.

En 2015, según BECO, la agricultura consumió el 1.6% del total energético nacional (UPME, 2018). Como se informó en la Tabla 60, el uso estacionario de la energía incluye la energía térmica utilizada para el secado de cultivos, el procesamiento, etc., y la electricidad utilizada para el bombeo de agua, y otros equipos mecánicos. De acuerdo con los datos de BECO en 2015 el gas natural y quema de leña se consume para la producción de energía térmica. Los datos de consumo de electricidad en BECO se utilizan para las actividades mencionadas anteriormente.

El BECO también reporta sobre el consumo de gasolina y diésel en esencia usado para el transporte, sin embargo, parte de estos combustibles pueden llegar a ser consumidos por maquinaria agrícola en la preparación de la tierra.

Tabla 61. Intensidad de energía final por combustible y mix de combustibles

Ítem	Unidad	Dato
Energía térmica		
Intensidad de energía final	KJ/COP (PIB sector agricultura)	0.3003
Mix de combustibles		
<i>Gas natural</i>	%	1.1
<i>Quema de leña</i>	%	98.9
<i>Solar</i>	%	-
Energía eléctrica		
Intensidad de energía final	KJ/COP (PIB sector agricultura)	0.0427
Combustible de Motor		
Intensidad de energía final	KJ/COP (PIB sector agricultura)	0.0959
Mix de combustibles		
<i>Gas natural</i>	%	-
<i>Diesel Bx</i>	%	93.1
<i>Gasolina Ex</i>	%	6.9
<i>Electricidad</i>	%	-

Fuente: (UPME, 2018).

3.3. ENERGÍA: EMISIONES FUGITIVAS

→ Estructura LEAP sectorial

Las emisiones fugitivas en LEAP se modelaron dentro de la categoría de sectores no energéticos. La estructura de árbol de esta categoría sigue la misma estructura definida por el IPCC como se puede ver en la Figura 43. Dentro de cada categoría se contabilizan las emisiones fugitivas asociadas a la minería carbón (superficie y subterráneo); y la extracción, tratamiento, transporte, distribución, y almacenamiento de petróleo y gas natural.

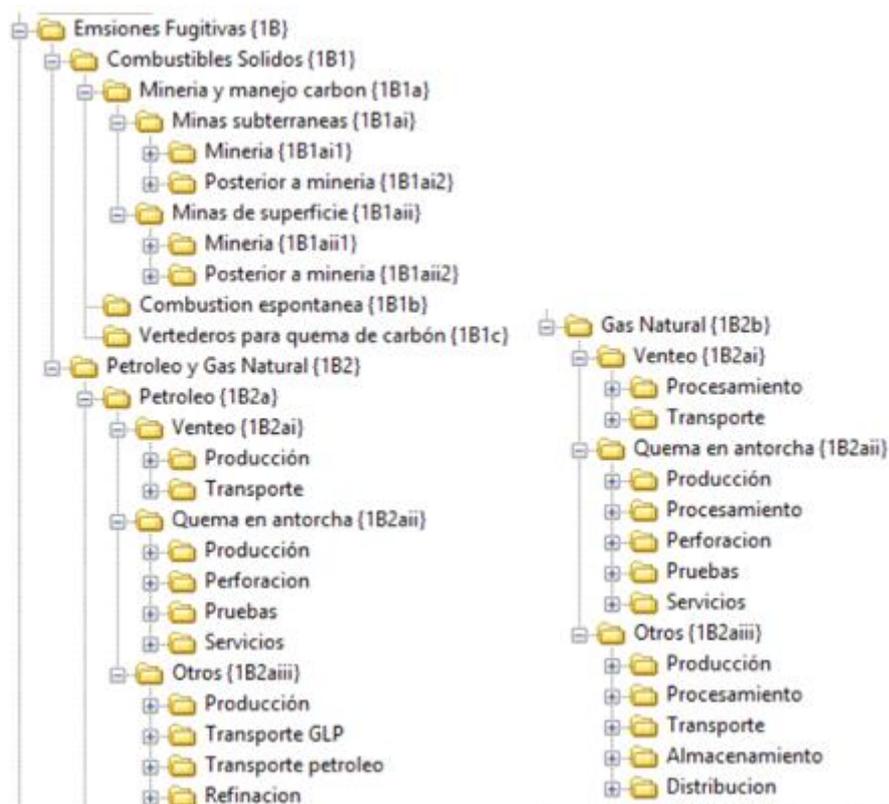


Figura 43. Estructura de árbol para emisiones fugitivas en LEAP, categoría IPCC 1B.

Fuente: elaboración propia.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

La metodología empleada para el cálculo de emisiones de GEI es la misma usada en el BUR2 (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019), la cual hace referencia a lo estipulado por la IPCC en el Volumen 2, Capítulo 4 (IPCC, 2006). En el caso de minería de carbón se usa la Ecuación 11 y la Ecuación 12.. Para las emisiones de CO₂ asociadas a la minería subterránea se usó la metodología IPCC-Nivel . En cuanto las emisiones de metano (CH₄), se calculó el factor de emisiones promedio a partir de la información del suministrada por Minenergía. La Tabla 62 muestra los factores de emisión usados en esta categoría.

Ecuación 11. Estimación de las emisiones procedentes de las minas de carbón subterráneas para nivel 1 y 2, con ajuste para utilización o quema en antorcha del metano

$$Emisiones_{CH_4} = Emisiones\ de\ la\ extracción_{CH_4} + Emisiones\ posteriores\ a\ la\ extracción_{CH_4} - CH_4\ recuperado$$

Ecuación 12. Método de promedio global – extracción subterránea -antes de realizar ajustes para utilización de metano o quema en antorcha (extracción y post-extracción)

$$Emisiones_{CH_4} = \text{Factor de emisión}_{CH_4} * \text{Producción de carbón} * \text{factor de conversión}$$

Donde,

Emisiones de CH₄: emisiones fugitivas a calcular, Gg/año

Factor de emisión de CH₄: factor de emisión, m³/tonelada

Producción de carbón: producción de carbón por minería subterránea y por minería de superficie diferenciados, toneladas/año

Factor de conversión: densidad del CH₄. Convierte el volumen de CH₄ en la masa de CH₄. Se toma la densidad a 20°C y una presión de 1 atmósfera. Tiene un valor de 0.67*10⁻⁶ Gg/m³.

Tabla 62. Factores de emisión para minería de carbón.

Departamento	Minería		Post-minería		Producción (2012-2019)
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	
Cundinamarca	0.077	13.03	0.018	3.909	19,714,835
Boyacá	0.077	7.17	0.018	2.151	19,440,429
N Santander	0.077	7.17	0.018	2.151	17,912,909
Antioquia	0.077	2.93	0.018	0.879	1,946,025
V Cauca	0.077	2.93	0.018	0.879	288,430
Cauca	0.077	2.93	0.018	0.879	298,197
Casanare	0.077	1.95	0.018	0.585	17,719
Promedio Subterránea	0.077	8.926	0.018	2.678	59,618,543
Cesar	-	0.89	-	0.267	382,751,357
La Guajira	-	0.89	-	0.267	258,241,395
Santander	-	0.40	-	0.120	1,304,941
Córdoba	-	0.59	-	0.177	2,814,035
Promedio Superficie	-	0.888	-	0.266	645,111,727

Fuente: (IDEAM et al., 2018; IPCC, 2006; Pulido et al., 2019)

Las emisiones fugitivas asociadas a la extracción de petróleo y gas natural se dividen principalmente en venteo, quema en antorcha y otros (i.e.: producción, transporte, refinación). Para el cálculo de emisiones fugitivas se empleó la metodología IPCC-Nivel 1, Ecuación 13 y Ecuación 14.

Ecuación 13. Estimación de las emisiones fugitivas procedentes de un segmento de la industria

$$E_{gas, \text{ segmento de la industria}} = A_{\text{segmento de la industria}} * FE_{gas, \text{ segmento de la industria}}$$

Ecuación 14. Total de emisiones fugitivas procedentes de los segmentos de la industria

$$E_{gas} = \sum_{\text{segmento de la industria}} E_{gas, \text{ segmento de la industria}}$$

Donde,

$E_{gas, \text{ segmento de la industria}}$: emisiones anuales, Gg

$FE_{gas, \text{ segmento de la industria}}$: factor de emisión, Gg/unidad de actividad

$A_{\text{segmento de la industria}}$: valor de la actividad, unidades de actividad

Se excluyen los sectores que no se desarrollan en el país y aquellos para los que no hay información disponible. Los segmentos del sector incluidos en el modelo LEAP concuerdan con los segmentos contemplados por el reporte BUR2, como muestra la Tabla 63, la cual incluye adicionalmente los factores de emisión empleados en el cálculo de las emisiones fugitivas de estos sectores.

Tabla 63. Factores de emisión emisiones fugitivas.

		<i>Unidad</i>	CO₂	CH₄	N₂O	
Petróleo	Venteo	Producción	Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	0.1125	0.855	0
		Transporte	Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	0.0023	0.025	0
	Quema en Antorchas	Producción	Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	0.0295	0.00076	0.025
		Perforación	Gg/10 ⁶ m ³ pozo perforado	0.9	0.2965	0
		Pruebas	Gg/10 ⁶ m ³ pozo perforado	79.5	0.4505	0.000584
		Servicios	Gg/10 ⁶ m ³ pozo en producción	0.01695	0.955	0
	Otros	Exploración	Gg/10 ⁶ m ³ pozo explorado	0	0	0
		Producción y Refinación	Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	2.150	0.102	0
		Transporte GLP	Gg/10 ⁶ m ³ GLP	0.43	0	0.0000022
		Transporte Petróleo	Gg/10 ⁶ m ³ petróleo (tuberías)	0.00049	0.054	0
Refinación		Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	0	0,218	0	
Distribución derivados		Gg/10 ⁶ m ³ petróleo	0	0	0	
Gas natural	Venteo	Procesamiento	Gg/10 ⁶ m ³ gas crudo	106.5	0	0
		Transporte	Gg/10 ⁶ m ³ gas comercializable	0.0052	0.392	0
	Quema en Antorchas	Producción	Gg/10 ⁶ m ³ gas	1.4	0.00088	0.000025
		Procesamiento	Gg/10 ⁶ m ³ gas crudo	2.15	0.0014	0.0000295
		Perforación	Gg/10 ⁶ m ³ pozo perforado	0.9	0.2965	0
		Pruebas	Gg/10 ⁶ m ³ pozo perforado	79.5	0.4505	0.000584
		Servicios	Gg/10 ⁶ m ³ pozo en producción	0.01695	0.955	0
	Otros	Exploración	Gg/10 ⁶ m ³ pozo explorado	0	0	0
		Producción	Gg/10 ⁶ m ³ gas	0.097	9.9936	0
		Procesamiento	Gg/10 ⁶ m ³ gas crudo	0.25	0.79	0
		Transporte	Gg/106m3 gas comercializable	0.00144	0.633	0
		Almacenamiento	Gg/106m3 gas comercializable	0.000185	0.0415	0
Distribución		Gg/10 ⁶ m ³ ventas de servicios	0.0955	1.8	0	

Fuente: (IDEAM et al., 2018; IPCC, 2006; Pulido et al., 2019).

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

Los datos de actividad de las emisiones fugitivas están asociados con la extracción de carbón, petróleo y gas natural, los cuales se encuentran en la rama principal *Transformación* en LEAP. La extracción primaria de estos combustibles depende de las exportaciones (dato exógeno) y la demanda interna (dato endógeno). La Tabla 64 describe los datos de actividad usados en el cálculo de emisiones fugitivas, la fuente de la información histórica y el dato de actividad dentro del modelo LEAP.

Tabla 64. Datos de actividad emisiones fugitivas

Categoría	Dato de actividad	Fuente	Comentarios
Minería de carbón	Extracción primaria de carbón	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Exportaciones de carbón y demanda interna (resultado del modelo) 	La actividad de minería de carbón se divide en subterránea y de superficie, como se explicó en la sección de Extracción de Carbón. Se mantiene constante la participación de minería subterránea en 7% hasta 2050.
	Extracción primaria de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Exportaciones de petróleo y demanda interna (resultado del modelo) 	Las exportaciones están definidas por el escenario del Plan de Abastecimiento de combustibles líquidos – 2019.
Petróleo venteo	Petróleo transportado en camiones cisterna	Dato extraído de las emisiones reportadas en el BUR2.	Se calculó el porcentaje de petróleo transportado en camiones respecto al producción primaria (aprox. 23%). Esta proporción se mantiene constante en 2016-2050.
	Extracción primaria de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Producción primaria LEAP 	Ver Petróleo venteo.
Petróleo quema en antorcha	Pozos perforados	Ministerio de Minas y Energía	En 2014 se perforaron 113 pozos. Se calculó un factor respecto a la producción primaria de petróleo, el cual se mantuvo fijo para el periodo 2016 -2050.
	Pozos en producción	Ministerio de Minas y Energía	En 2014, 37 pozos estaban en producción. Se calculó un factor respecto a la producción primaria de petróleo, el cual se mantuvo fijo para el periodo 2016 -2050.
Otros Petróleo	Extracción primaria de petróleo	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Producción primaria LEAP 	Ver Petróleo venteo.
	Transporte GLP	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Producción primaria LEAP 	Se asume que todo el GLP producido se contabiliza en esta categoría.
	Transporte por oleoductos	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO • 2016 – 2050: Producción primaria LEAP 	Se asume que la totalidad del petróleo extraído se transporta en oleoductos, aunque sea por pequeños tramos.
	Petróleo refinado	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO 	En LEAP el petróleo refinado depende de la demanda de

		<ul style="list-style-type: none"> • 2016 – 2050: Petróleo refinado para cubrir la demanda en LEAP. 	derivados y la capacidad de las refinerías.
	Gas crudo	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO tratamiento de gas • 2016 – 2050: Tratamiento de gas LEAP 	En LEAP el valor depende de la demanda.
	Gas comercializable	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO, oferta interna bruta. • 2016 – 2050: LEAP, Producción primaria – reinyecciones. 	En LEAP se calcula con los resultados del año anterior al no poder hacer referencia a resultados del mismo año.
Gas natural venteo y quema en antorcha	Pozos perforados	Dato extraído del BUR usando el total de emisiones reportado y los factores de emisión.	Se asume que en 2014 se perforaron aproximadamente 45 pozos. Se calculó un factor respecto a la producción primaria de gas natural, el cual se mantuvo fijo para el periodo 2016 -2050.
	Pozos en producción	Dato extraído del BUR usando el total de emisiones reportado y los factores de emisión.	Se asume que, en 2014, aproximadamente 30 pozos estaban en producción. Se calculó un factor respecto a la producción primaria de gas natural, el cual se mantuvo fijo para el periodo 2016 -2050.
Otros (gas natural)	Gas crudo	BECO	Ver gas natural venteo
	Gas comercializable	BECO	Ver gas natural venteo.
	Producción de gas	<ul style="list-style-type: none"> • 2010 – 2015: BECO, extracción primaria • 2016 – 2050: LEAP, Producción primaria 	
	Distribución de gas	BECO	Se asume que el gas comercializable abarca esta categoría.

Fuente: elaboración propia.

→ Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis

Para el escenario de referencia se establecieron factores asociados a la producción, para el caso del número de pozos explorados o en servicio (Tabla 65). Esto es, que el número de pozos explorados o en servicio, o la cantidad de petróleo o gas natural transportado varían dependiendo de la producción y/o demanda nacional. Los datos de actividad dependen principalmente de los escenarios de producción y exportaciones de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) y de la demanda interna resultante de los módulos de demanda (residencial, transporte, industria).

Tabla 65. Factores de pozos asociados a la producción de petróleo y gas natural.

	Año	Pozos	Producción [TJ]	[No Pozos/PJ producción]
Pozos perforados Petróleo	2010	112	1,746,049	0.064145
	2011	126	2,033,552	0.061961
	2012	73	2,103,409	0.034706
	2013	71	2,243,752	0.031643
	2014	113	2,200,443	0.051353
	2015	25	2,234,204	0.011190
	2016-2050			
Pozos en operación Petróleo	2010	32	1,746,049	0.018327
	2011	32	2,033,552	0.015736

	Año	Pozos	Producción [TJ]	[No Pozos/PJ producción]
	2012	32	2,103,409	0.015213
	2013	32	2,243,752	0.014262
	2014	32	2,200,443	0.014543
	2015	32	2,234,204	0.014323
	2016-2050	32.0	2,093,568	0.01528
Pozos perforados	2014	45	428,698	0.104969
Gas Natural	2016-2050	45.0	428,698	0.104969
Pozos en operación	2014	19	428,698	0.044320
Gas Natural	2016-2050	19.0	428,698	0.044320

Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME, BUR2.

3.4. PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS (IPPU)

→ Estructura LEAP sectorial

Las categorías y subcategorías de emisiones del IPCC para el sector de Procesos Industriales y Uso de Productos son bastante extensas. Por ende, la estructura de este sector en LEAP se basa únicamente en las subcategorías del IPCC para las cuales se ha reportado información.

Las subcategorías de primer orden que hacen parte de esta estructura son las mismas que fueron reportadas en el segundo informe bienal de actualización BUR2. Ver Figura 44

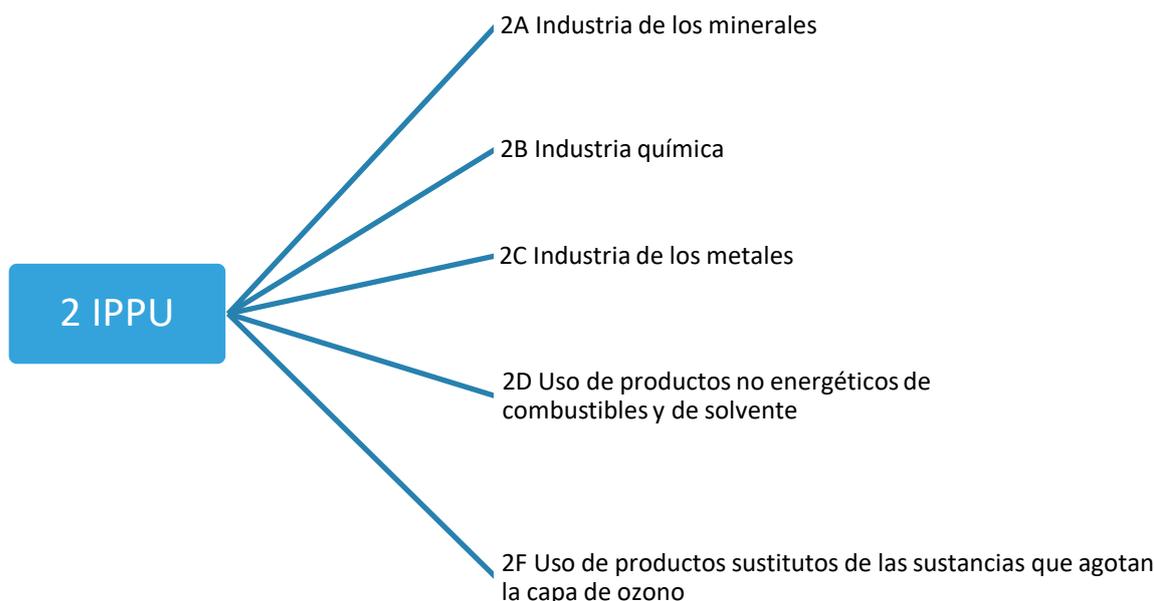


Figura 44. Estructura general del sector IPPU en LEAP y sus principales subcategorías
Fuente: elaboración propia.

Cada una de estas subcategorías se extiende en posteriores ramificaciones las cuales se muestran en detalle en la Figura 45 y Tabla 66.

Tabla 66. Subcategorías del sector IPPU en LEAP

Subcategoría 1er orden	Subcategoría 2o orden	Subcategoría 3er orden	Subcategoría 4o orden
2A Industria de los minerales	2A1 Producción de cemento		
2A Industria de los minerales	2A2 Producción de cal	Cal viva producida	
2A Industria de los minerales	2A2 Producción de cal	Cal hidráulica producida	
2A Industria de los minerales	2A2 Producción de cal	Cal dolomita producida	
2A Industria de los minerales	2A3 Producción de vidrio	Vidrio plano producido	
2A Industria de los minerales	2A3 Producción de vidrio	Botellas producidas	
2A Industria de los minerales	2A3 Producción de vidrio	Fibra de vidrio producida	
2A Industria de los minerales	2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos	2A4d Otros (especificar)	Ceniza de sosa consumida
2B Industria Química	2B1 Producción de amoníaco		
2B Industria Química	2B2 Producción de ácido nítrico		
2B Industria Química	2B4 Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico		
2B Industria Química	2B8 Producción petroquímica y de negro de humo	2B8b Etileno	
2B Industria Química	2B8 Producción petroquímica y de negro de humo	2B8c Dicloruro de etileno y monómero cloruro de vinilo	
2B Industria Química	2B8 Producción petroquímica y de negro de humo	2B8f Negro de humo	
2C Industria de los metales	2C1 Producción de hierro y acero	Cantidad producida por Horno básico de oxígeno BOF	
2C Industria de los metales	2C1 Producción de hierro y acero	Cantidad producida por Horno de arco eléctrico EAF	
2C Industria de los metales	2C1 Producción de hierro y acero	Producción de Sinterizado	
2C Industria de los metales	2C2 Producción de ferroaleaciones	Ferróniquel producido	
2D Uso de productos no energéticos de	2D1 Uso de lubricantes	Cantidad de aceites consumida	

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

Subcategoría 1er orden	Subcategoría 2o orden	Subcategoría 3er orden	Subcategoría 4o orden
combustibles y de solvente			
2D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	2D1 Uso de lubricantes	Cantidad de grasas consumida	
2D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	2D2 Uso de cera de parafina		
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	2F1ai Refrigeración industria manufacturera
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	2F1aii Refrigeración residencial
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	2F1aiii Refrigeración comercial
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	2F1aiv Aire acondicionado estacionario
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1b Refrigeración y Aire acondicionado móvil	2F1bi Refrigeración móvil (transporte refrigerado) industria manufacturera
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F1 Refrigeración y aire acondicionado	2F1b Refrigeración y Aire acondicionado móvil	2F1bii Aire acondicionado móvil
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F2 Agentes espumantes		
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F3 Protección contra incendios		
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F4 Aerosoles		
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F5 Solventes		
2F Uso de productos sustitutos SAO	2F6 Otras aplicaciones		

Fuente: elaboración propia.

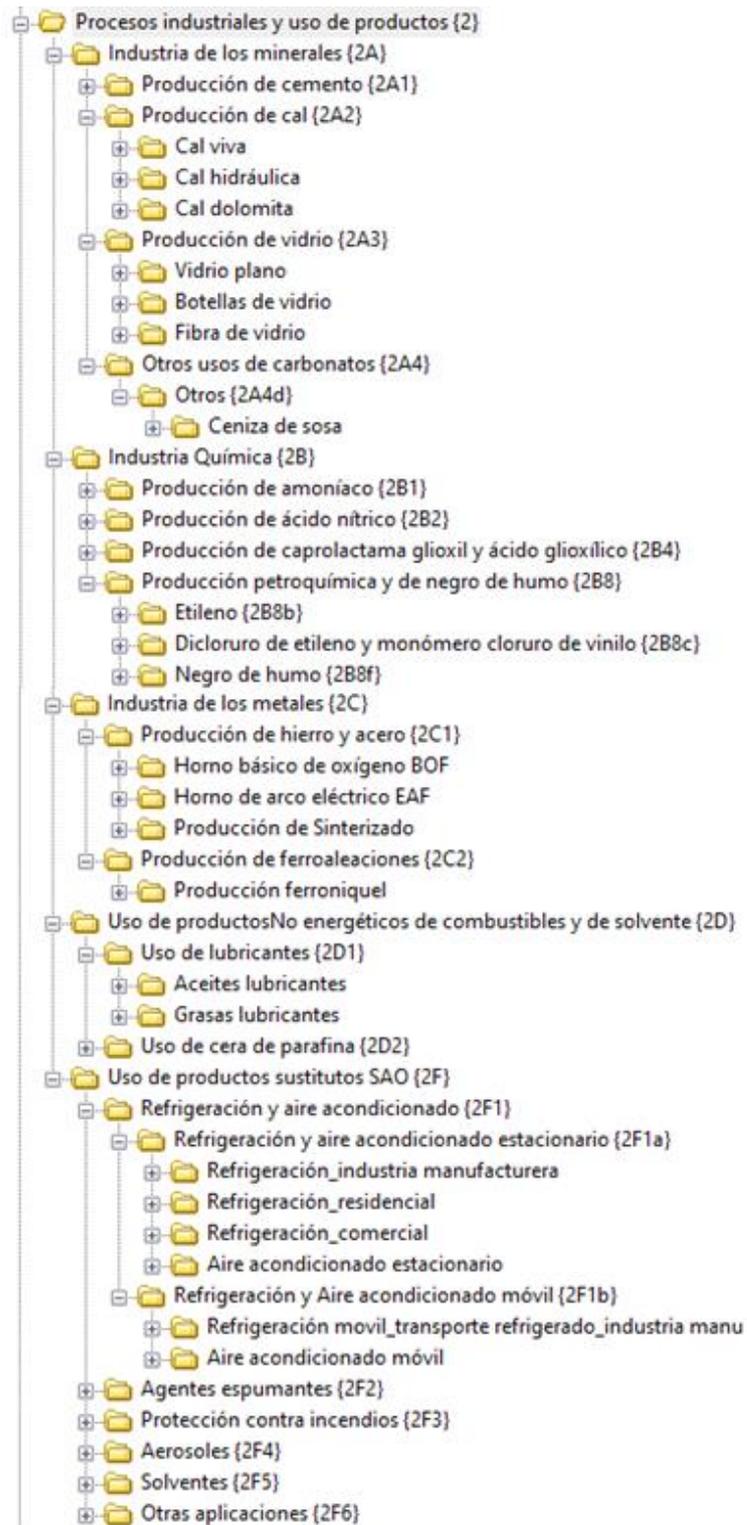


Figura 45. Estructura de árbol para subcategorías del sector IPPU en LEAP.

Fuente: elaboración propia.

→ **Reglas de cálculo de los GEI por sector**

Para la elaboración del inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero y el BUR2 para la categoría 2 IPPU, los autores, el IDEAM junto a la Unidad Técnica de Ozono, estimaron las emisiones de: CO₂, CH₄, N₂O y HFCs para cada subcategoría examinando múltiples fuentes para los niveles de actividad, utilizando en su mayoría metodologías de nivel 1 IPCC y factores de emisión propios o de las directrices de la IPCC del 2006 para la elaboración de inventarios. Ver Tabla 67.

Tabla 67. Metodología y fuentes de información para factores de emisión y nivel de actividad utilizados en el inventario nacional de emisiones para la categoría 2 IPPU.

	Subcategoría	GEI	Metodología	Fuente información factor de emisión	Fuente información dato de actividad
2A. Industria de los minerales	2A1. Producción de cemento	CO ₂	Nivel 2	WBCSD.	SIMCO – UPME.
	2A2. Producción de cal, 2.A.4 Otros usos de carbonatos en los procesos (2A4b Otros usos de la ceniza de sosa)	CO ₂	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 2. Cuadros 2.4 y 2.1	EAM – DANE
	2A3. Producción de vidrio	CO ₂	Nivel 2	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 2 Cuadro 2.6	EAM – DANE
2B. Industria Química	2B1. Producción de amoníaco	CO ₂	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 3. Cuadro 3.1.	ANDI – Cámara Procultivos y empresas del sector
	2B2. Producción de ácido nítrico, 2B4. Producción de caprolactama	N ₂ O	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 3. Cuadro 3.3.	ANDI – Cámara Procultivos y empresas del sector
	2B8. Producción petroquímica y de negro de humo - 2B8 Producción de etileno	CO ₂ , CH ₄	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 3. Cuadro 3.14	ECOPETROL

Subcategoría	GEI	Metodología	Fuente información factor de emisión	Fuente información dato de actividad
2B8. Producción petroquímica y de negro de humo - 2B8c Producción de cloruro de vinilo, -2B8f Negro de humo	CO ₂ , CH ₄	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 3. Cuadros 3.17 y 3.23	EAM – DANE
2C. Industria de los metales				
2C1. Producción de hierro y acero	CO ₂ , CH ₄	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 4. Cuadro 4.1	SIMCO - UPME WSA
2C2. Producción de ferroaleaciones	CO ₂	Nivel 1	CERROMATOS O S.A.	SIMCO – UPME CERROMATOS O S.A.
2D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente				
2D1. Uso de lubricantes, 2D2. Uso de cera de parafina	CO ₂	Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 5. Cuadro 5.2 y numeral 5.3.2.2	EAM – DANE
2F. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono				
2F1. Refrigeración y aire acondicionado	HFC-23, HFC-32, HFC-125, HFC-134a, HFC-143a, R-116	Nivel 1a	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 7. Anexo 1	UTO – MADS
2F2. Espumas	HFO 1336 mzz, HFC-245fa, HFC365mfc, HFC-227ea	Nivel 1a	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 7. Anexo 1	UTO – MADS
2F3. Protección contra incendios	HFC-125, HFC-227ea	Nivel 1a	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 7. Anexo 1	UTO – MADS
2F4. Aerosoles 2F5. Solventes	HFC - 134a, HFC365mfc, HFC-245fa, HFC-43-10mee	Nivel 1a	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 7. Anexo 1	UTO – MADS

Subcategoría	GEI	Metodología	Fuente información factor de emisión	Fuente información dato de actividad
2F6. Otras aplicaciones	HFC-152a	Nivel 1a	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 7. Anexo 1	UTO – MADS

Fuente: (IDEAM, 2018; Pulido et al., 2019).

En concreto, los autores del BUR2 (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019) utilizaron las siguientes ecuaciones como parte de la metodología para estimar las emisiones en cada subcategoría:

Ecuación 15. Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker

$$Emisiones_{CO_2} = M_{cl} * EF_{cl} * CF_{ckd}$$

Donde,

$Emisiones_{CO_2}$: emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

M_{cl} : peso (masa) de Clínter producida, toneladas

EF_{cl} : factor de emisión para el clínker, toneladas de CO₂/toneladas de clínker

CF_{ckd} : factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión

Ecuación 16. Emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal

$$Emisiones_{CO_2} = \sum_i (EF_{cal,i} * M_{l,i})$$

Donde,

$Emisiones_{CO_2}$: emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

$EF_{cal,i}$: factor de emisión por tipo de cal, toneladas de CO₂/toneladas de cal

$M_{l,i}$: Producción de cal de tipo i, toneladas

Ecuación 17. Emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio

$$Emisiones_{CO_2} = \sum_i [M_{g,i} * EF_i * (1 - CR_i)]$$

Donde,

$Emisiones_{CO_2}$: emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

$M_{g,i}$: masa de vidrio fundido de tipo i (v.g., flotado, recipiente, fibra de vidrio, entre otros), toneladas

EF_i : factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo i, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio

CR_i : proporción de cullet para la fabricación de vidrio del tipo i, fracción

Ecuación 18. Emisiones basadas en la masa de los carbonatos consumidos

$$Emisiones_{CO_2} = M_c * EF$$

Donde,

$Emisiones_{CO_2}$: emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M_c : masa de carbonato consumido, toneladas

EF : factor de emisión

Ecuación 19. Emisiones de CO₂ provenientes de la producción de amoníaco

$$Emisiones_{CO_2} = AP * FR * CCF * FOC * \frac{44}{12} - R_{CO_2}$$

Donde,

AP: Producción de amoníaco, toneladas

FR: requisito de combustibles por unidad de salida, GJ/toneladas de amoníaco producido

CCF: factor del contenido de carbono del combustible, kgC/GJ

FOC: factor de oxidación de carbono del combustible, fracción

R_{CO₂}: CO₂ recuperado para utilización en un proceso secundario, kg

Ecuación 20. Emisiones de N₂O de la producción de ácido nítrico

$$Emisiones_{N_2O} = EF * NAP$$

Donde,

EF: factor de emisión de N₂O, kg N₂O/toneladas de ácido nítrico producido

NAP: producción de ácido nítrico, toneladas

Ecuación 21. Ecuaciones de N₂O de la producción de caprolactama

$$Emisiones_{N_2O} = EF * CP$$

Donde,

EF: factor de emisión de N₂O, kg N₂O/toneladas de caprolactama producido

CP: producción de caprolactama, toneladas

Ecuación 22. Emisiones en industria petroquímica

$$Emisiones_{CO_2} = PP_i * EF_i * \frac{GAF}{100}$$

Donde,

PP_i: producción anual de la sustancia petroquímica primaria i, toneladas

EF: factor de emisión de CO₂, kg CO₂/tonelada de producto producido

GAF: factor de ajuste geográfico para el factor de emisión de CO₂ de nivel 1 para el etileno, porcentaje

Ecuación 23. Emisiones de CO₂ provenientes de la producción de hierro y acero

$$Emisiones_{CO_2} = BOF * EF_{BOF} + EAF * EF_{EAF} + SI$$

Donde,

BOF: cantidad de acero crudo producido en BOF (alto horno), toneladas

EF_{BOF}: factor de emisión de CO₂, kg CO₂/tonelada de acero producido

EAF: cantidad de acero crudo producido en EAF (arco eléctrico), toneladas

EF_{EAF}: factor de emisión de CO₂, kg CO₂/tonelada de acero producido

SI: emisiones de CO₂ asociado a la cantidad de sinterizado producido nacionalmente

Ecuación 24. Emisiones de CO₂ para la producción de ferroaleaciones

$$Emisiones_{CO_2} = \sum_i (MP_i * EF_i)$$

Donde,

MP_i : producción de la ferroaleación de tipo i (ferroníquel), toneladas

EF_i : factor de emisión de CO₂, toneladas de CO₂/tonelada de ferroaleación producida

Ecuación 25. Emisiones de CO₂ para lubricantes

$$Emisiones_{CO_2} = LC * CC_{lubricante} * ODU_{lubricante} * \frac{44}{12}$$

Donde,

LC : consumo total de lubricantes, TJ

$CC_{lubricante}$: contenido de carbono de los lubricantes, toneladas de C/TJ

$ODU_{lubricante}$: factor ODU (basado en la composición por defecto de aceites y grasas), fracción

$\frac{44}{12}$: factor de conversión de C en CO₂

Ecuación 26. Emisiones de CO₂ para ceras

$$Emisiones_{CO_2} = PW * CC_{cera} * ODU_{cera} * \frac{44}{12}$$

Donde,

PW : consumo total de ceras, TJ

CC_{cera} : contenido de carbono de las ceras, toneladas de C/TJ

ODU_{cera} : factor ODU de la cera, fracción

$\frac{44}{12}$: factor de conversión de C en CO₂

Ecuación 27. Emisiones de una sustancia química de una aplicación con bancos para sustitutos SAO

$$Emisiones\ anuales = consumo\ neto * EF_{PA\ compuesto} + total\ sustancia\ química\ en\ banco * EF_B\ compuesto$$

Donde,

consumo neto: consumo neto para la aplicación

EF_{PA compuesto}: factor de emisión compuesto para la aplicación, para el primer año

total sustancia química en banco: banco de la sustancia química para la aplicación

EF_{B compuesto}: factor de emisión compuesto para la aplicación (para el banco)

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

A partir de las metodologías empleadas para estimar las emisiones de GEI en el sector de Procesos Industriales y Uso de Productos en los inventarios nacionales, el IDEAM ha estimado y compilado series de tiempo de niveles de actividad y factores de emisión para las categorías 2A a 2D de tal manera que el cálculo de emisiones de gases efecto invernadero para cada una de las subcategorías es el resultado de la multiplicación simple de los dos parámetros en mención.

De esta manera, la modelación de GEI para estos subsectores en LEAP es simple y transparente y permite como se muestra más adelante, imputar correctamente los drivers de crecimiento sobre los niveles de actividad.

Para el caso de la subcategoría 2F de sustitutos SAO, el IDEAM junto a la Unidad Técnica de Ozono de Minambiente suministraron las series de tiempo de emisión de las respectivas sustancias para cada subcategoría hasta el año 2030. Por tanto, la modelación en LEAP consiste solamente en ingresar las emisiones de tales sustancias dentro de su respectiva subcategoría, más los cálculos y parámetros para llegar a éstas seguirán en las hojas de cálculo donde fueron estimadas por los autores (i.e. Unidad Técnica de Ozono).

Tabla 68. Fuentes de información

Subcategoría	Contenido de la fuente de información	Archivo fuente
2A Industria de los minerales 2B Industria Química 2C Industria de los metales 2D Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	Series de tiempo de niveles de actividad y factores de emisión. Recomendación de factores impulsores.	IPPU_BD NDC Esc Ref_22.05.2020.xlsx
2A Industria de los minerales 2B Industria Química	Retroalimentación de la industria referente a niveles de actividad del escenario de referencia para las subcategorías 2A1, 2B1 y 2B2.B2. Revisión del factor de emisión de producción de ácido nítrico 2B2.	Retroalimentación Cemento, Amoniaco y Ácido Nítrico 10.07.2020.xlsx
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	Series de tiempo de emisiones de las sustancias que hacen parte de los sustitutos SAO para un horizonte de tiempo hasta el 2030. Escenario R1	IPPU_2F_Escenario Referencia_09.06.2020.xlsx
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	Series de tiempo de emisiones de las sustancias que hacen parte de los sustitutos SAO para un horizonte de tiempo hasta el 2030. Escenario R2.	IPPU_2F_Escenario Referencia R2_20.07.2020.xlsx

Fuente: elaboración propia.

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Para construir el escenario de referencia de las emisiones por IPPU, se adoptaron dos enfoques. Para aquellas subcategorías las cuales el IDEAM suministró las series de tiempo para los escenarios R1 y R2 de nivel de actividad o emisiones hasta el 2030 (Subcategorías 2A1, 2B1, 2B2, y 2F), los datos fueron ingresados textualmente a LEAP y los valores más allá del 2030 se asumieron constantes e iguales al último valor reportado.

Para las otras subcategorías, el IDEAM entregó la recomendación de los factores impulsores o drivers de crecimiento a utilizar para determinar el crecimiento del nivel de actividad en cada subcategoría. La Tabla 69 contiene las recomendaciones para cada subcategoría y la variable que fue utilizada como driver de crecimiento en LEAP.

Tabla 69. Factores impulsores recomendados para cada nivel de actividad y su correspondiente variable utilizada en LEAP

Subcategoría IPCC	Nivel de actividad	Factor impulsor recomendado	Variable utilizada en LEAP
2.A.2 - Producción de cal	Cal viva producida	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.A.2 - Producción de cal	Cal hidráulica producida	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.A.2 - Producción de cal	Cal Dolomita producida	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.A.3 - Producción de vidrio	Vidrio plano producido	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.A.3 - Producción de vidrio	Botellas producidas	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.A.3 - Producción de vidrio	Fibra de vidrio producida	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2A4d Otros (especificar)	Ceniza de sosa consumida	Tasa de crecimiento en el consumo	Tasa de crecimiento del sector de Minerales no metálicos
2.B.4 - Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico	Caprolactama producida	NA	
2B8b Etileno	Etileno producido	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Productos químicos
2B8c Dicloruro de etileno y monómero cloruro de vinilo	Dicloruro de etileno producido	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Productos químicos
2B8f Negro de humo	Negro de humo producido	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Productos químicos
2.C.1 - Producción de hierro y acero	Cantidad producida por Horno básico de oxígeno BOF	Tasa de crecimiento en la producción	Tasa de crecimiento del sector de Hierro y acero

Subcategoría IPCC	Nivel de actividad	Factor impulsor recomendado	Variable utilizada en LEAP
2.C.1 - Producción de hierro y acero	Cantidad producida por Horno de arco eléctrico EAF	Tasa de crecimiento en VA / PIB / producción	Tasa de crecimiento del sector de Hierro y acero
2.C.1 - Producción de hierro y acero	Producción de Sinterizado	Tasa de crecimiento en la producción	Tasa de crecimiento del sector de Hierro y acero
2.C.2 - Producción de ferroaleaciones	Ferróníquel producido	Tasa de crecimiento en la producción de níquel	Tasa de crecimiento de la producción de níquel ³⁰
2.D.1 - Uso de lubricantes	Cantidad de aceites consumida	Tasa de crecimiento en el consumo	Tasa de crecimiento del sector de Productos químicos
2.D.1 - Uso de lubricantes	Cantidad de grasas consumida	Tasa de crecimiento en el consumo	Tasa de crecimiento del sector de Productos químicos
2.D.2 - Uso de cera de parafina	Cantidad de cera de parafina consumida (velas)	Tasa de crecimiento de la población	Tasa de crecimiento de la población

Fuente: elaboración propia.

³⁰ Modelo de oferta y demanda 2018-2035 de Níquel en el escenario Continuidad. UPME (2019)

3.5. AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA (AFOLU)

En el caso del sector AFOLU, el trabajo para las proyecciones en LEAP se dividió entre lo agropecuario (categoría 3A del IPCC, Ganadería y 3C, Fuentes agregadas y emisiones de no-CO₂ provenientes de la tierra) y el uso de la tierra (categoría 3B del IPCC). Este fue un proceso metodológico que permitió cubrir los diferentes enfoques de información debido al amplio campo de trabajo y manejo de datos. Por ejemplo, las características de las emisiones son diferentes, en el caso de uso de la tierra se producen absorciones y se reportan los cambios en los depósitos de carbono. Por otro lado, en el caso del componente agropecuario, se elaboraron proyecciones hasta 2050, mientras que en el caso del uso de la tierra se elaboraron proyecciones hasta 2030 por disponibilidad de datos (v.g., para la importante categoría de deforestación). A continuación se describe de forma más detallada como se abordó el sector agropecuario y el uso de la tierra.

3.5.1. AGROPECUARIO

→ Estructura LEAP sectorial

Las emisiones procedentes del componente agropecuario se notifican en dos categorías principales: 3A emisiones relacionadas con la ganadería y 3C fuentes agregadas y emisiones de no CO₂ provenientes de la tierra. Las emisiones relacionadas con el ganado comprenden las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica (3A1) y las emisiones de N₂O y CH₄ procedentes de la gestión del estiércol (3A2). La ganadería es la principal categoría que contribuye a estas emisiones, especialmente por medio de la fermentación entérica. En el caso del ganado se ha desarrollado una estructura más detallada para 10 regiones ganaderas, ya que la gestión de los hatos, los alimentos balanceados y el estiércol es diferente en estas regiones. 10 regiones fueron definidas buscando características homogéneas, basado en variables climáticas, edafológicas, tecnológicas y agro ecosistémicas (Figura 46).

Para cada región se ha desarrollado factores de emisión de CH₄ específicos para las 7 categorías de ganado (Vacas de alta producción, Vacas de baja producción, Vacas para producción de carne, Toros utilizados con fines reproductivos, Terneros predestetos, Terneras de remplazo y Ganado de engorde), tanto para la fermentación entérica como para la gestión del estiércol. El resto de las fuentes de emisión se notifican a nivel nacional, como se muestra en la Figura 47.

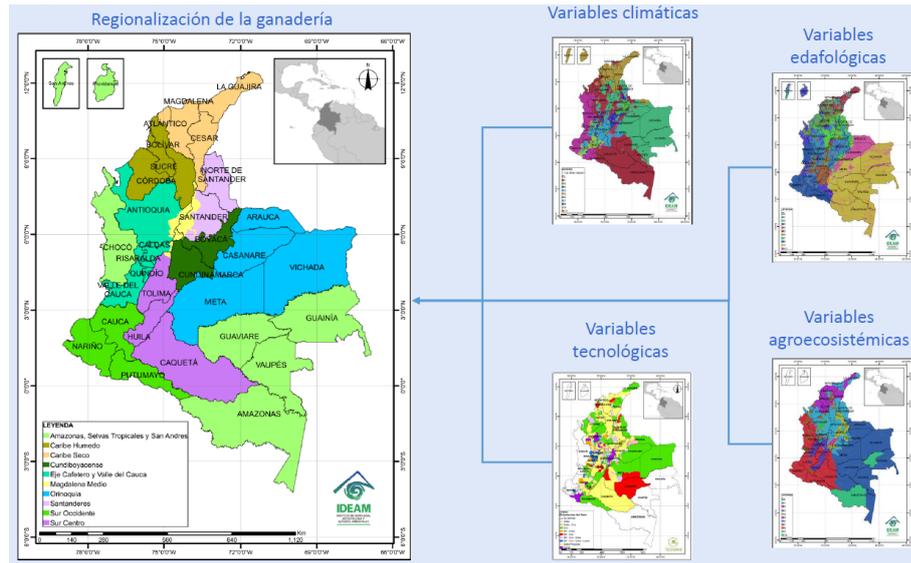


Figura 46. Regionalización de la ganadería.

Fuente: (IDEAM, 2020)

Para las fuentes agregadas y emisiones de no-CO₂ provenientes de la tierra (3C) se incluyen las siguientes fuentes de emisión:

3C1: emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la combustión de biomasa (las emisiones de CO₂ procedentes de incendios forestales se notifican en el apartado 3B).

3C4: emisiones directas de N₂O procedentes de la fertilización.

3C5: emisiones indirectas de N₂O procedentes de la fertilización.

3C6: emisiones indirectas de N₂O procedentes de la gestión del estiércol.

3C7: emisiones de CH₄ procedentes del cultivo de arroz.

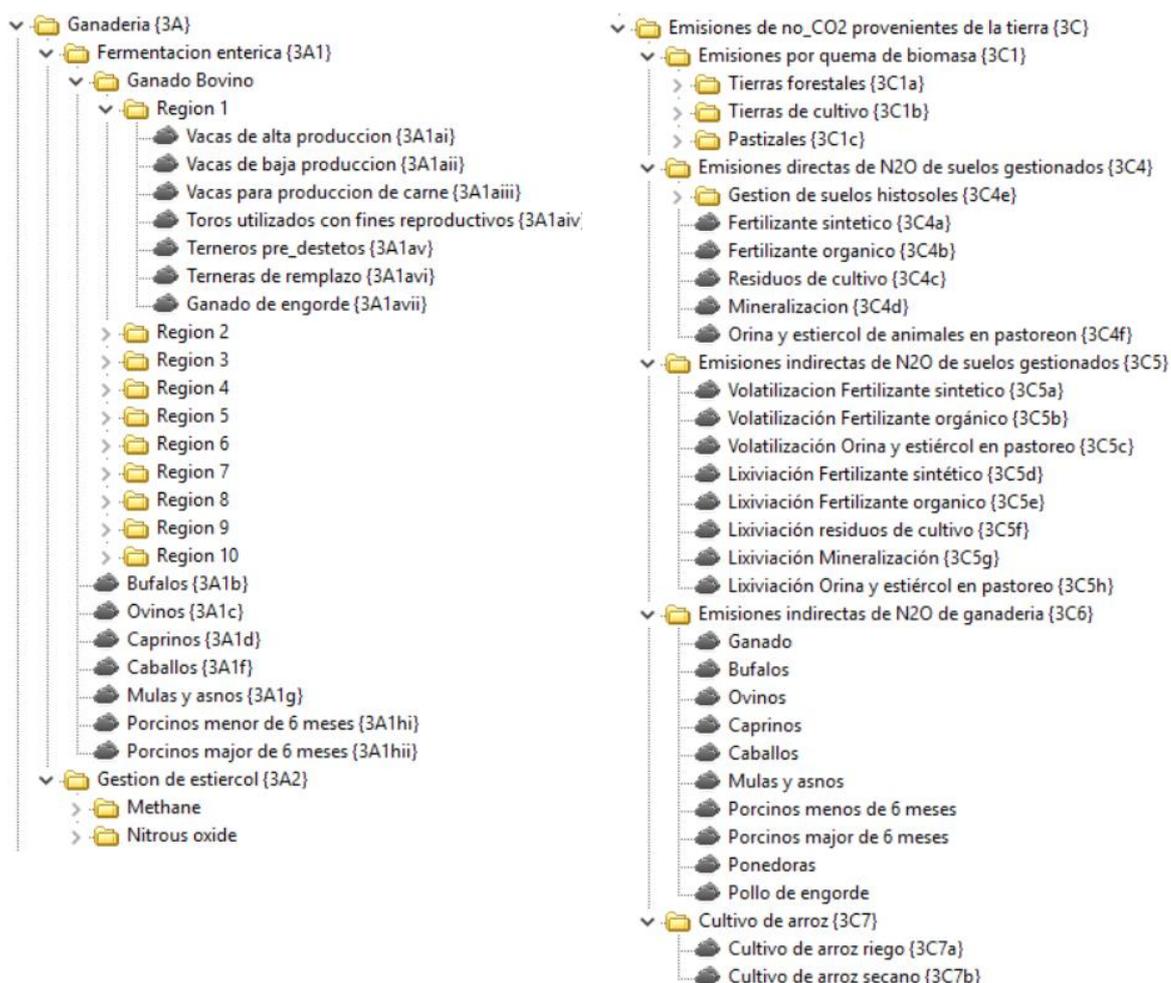


Figura 47. Estructura de árbol para el sector AFOLU en LEAP, categoría 3A y 3C
Fuente: elaboración propia.

Todas las fuentes de emisión del componente agropecuario que se incluyen en el BUR2 también se incluyen en el escenario de referencia en LEAP. Colombia no informa sobre las categorías de encalado (3C2) y aplicación de urea (3C3) debido a la falta de datos de actividad. Por lo tanto, estas categorías no se incluyen en el escenario de referencia. Aunque la estructura es similar a la establecida en el BUR2, los valores entre LEAP y BUR2 no se pueden comparar directamente por las siguientes razones. Primero, en el escenario de referencia en LEAP se usaron los nuevos valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP) según el IPCC AR5, que son 28 para CH₄ y 265 para N₂O, mientras que en el BUR2 los valores son 21 para CH₄ y 310 para N₂O (IPCC AR2). Segundo, debido a nuevas fuentes de información, nuevas metodologías fueron usadas teniendo en cuenta los lineamientos del gobierno. Por ejemplo, se presentaron cambios para la fermentación entérica (3A1) y las emisiones de N₂O y CH₄ procedentes de la gestión del estiércol (3A2). Asimismo, nuevos datos de alimentación animal y sistemas de gestión del estiércol fueron usados, dando como resultado nuevos factores de emisión. La comparación para el año 2014 se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 70. Comparación de emisiones de GEI del sector Agropecuario entre BUR2 y LEAP para el año 2014 (in Tg CO₂-eq)

Sector	Fuente de emisión	BUR2 (2014)	LEAP 2014 (GWP AR2)	LEAP 2014 (GWP AR5)
3A1	Fermentación entérica	20.6	27.0	36.0
3A2	Gestión del estiércol	2.2	3.1	3.1

3C1	Combustión de biomasa	1.1	1.1	1.3
3C4	Emisiones directas de N ₂ O	15.3	15.3	13.1
3C5	Emisiones indirectas de N ₂ O	3.1	3.1	2.6
3C6	emisiones indirectas de N ₂ O gestión del estiércol	0.4	1.2	1.1
3C7	Cultivo de arroz	0.5	0.5	0.7
3A+3C	Total agropecuario	43.2	51.3	57.9

Fuente: elaboración propia a partir del BUR2.

→ Reglas de cálculo para estimación de GEI por sector

Los cálculos para la estimación de emisiones en LEAP son relativamente sencillos para el sector agrícola, ya que la información proporcionada por MinAgricultura y MinAmbiente abarca datos de actividad y factores de emisión fijos a lo largo del tiempo. Parte de los factores de emisión son nivel 1 según las directrices del IPCC 2006. Los factores de emisión para la fermentación entérica del ganado y la gestión del estiércol se basan en un enfoque de nivel 2, tal y como se aborda en la NAMA Ganadería Bovina Sostenible. Para el enfoque de nivel 2, se han determinado factores de emisión específicos para 10 regiones ganaderas, de acuerdo con las diferencias de productividad, ingesta de alimentos y sistemas de almacenamiento del estiércol. Abajo esta como ejemplo la ecuación de cálculo para estimar las emisiones de fermentación entérica. Estos factores de emisión para las categorías Fermentación entérica y las emisiones de N₂O y CH₄ procedentes de la gestión del estiércol son diferentes en comparación con el BUR2 debido a cambios en los sistemas de gestión del estiércol y el manejo de alimentación animal.

Ecuación 28. Emisiones de fermentación entérica

$$Emisiones_{CH_4} = \sum_i (N_{ra} * EF_{ra})$$

Donde,

$Emisiones_{CH_4}$: emisiones de CH₄ proveniente de fermentación entérica, kg CH₄.

N_{ra} : número de cabezas por cada región (r) y categoría animal (a)

EF_{ra} : factor de emisión por cada región (r) y categoría animal (a), kg CH₄ por cabeza.

Las emisiones indirectas de N₂O relacionadas con el uso de la tierra se calculan directamente sobre la base de los datos de fertilización, utilizando los factores por defecto del IPCC para la volatilización y la lixiviación (IPCC, 2006). Los detalles y datos de los cálculos que se han usado en LEAP se encuentran en los anexos asociados a esta sección (Ver sección AFOLU). Para un mayor detalle en las reglas de cálculo, se pueden consultar reportes a nivel nacional (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019).

→ Datos sobre actividades sectoriales

Para la actualización de la NDC, se han construido espacios de trabajo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR o Minagricultura), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS o Minambiente) con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC). Además los siguientes subsectores representativos hicieron parte de la validación de información: ICA, UPRA, FINAGRO, FEDEARROZ,

FENAVI, PORKOLOMBIA, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.

Conjuntamente se elaboraron proyecciones basadas en datos históricos, donde el número de animales y el uso de fertilizantes fueron los principales datos de actividad. Para aves, un crecimiento de 4% por año fue usado, basado en los datos históricos y expectativas de FENAVI. Para porcinos, un crecimiento de 1.5% por año hasta 2030 fue usado, basado en las expectativas de PorkColombia, mientras que para el periodo 2030-2050 el número de 2030 fue usado. La Tabla 71 presenta las proyecciones por cada categoría de ganadería, y la Figura 48 ofrece una visión general del número de animales proyectado, agregado a las principales categorías de ganado. Más detalles pueden consultarse en Anexos.

Tabla 71. Datos de número de cabezas de ganado del sector ganadería

Categoría LEAP	Tipo de proyección	Fuente de datos
Ganado (3A1a 3A2a)	Linear	Regresión basado en datos de NAMA Ganadería Sostenible de FEDEGAN (2010-2019)
Búfalo (3A1b 3A2b)	Linear	Regresión de tendencias históricas (2005-2020)
Ovinos (3A1c 3A2c)	Linear	Regresión de tendencias históricas (2012-2020)
Caprinos (3A1d 3A2d)	Linear	Regresión de tendencias históricas (2012-2017)
Caballos (3A1f 3A2f)	Linear	Regresión de tendencias históricas (2016-2020)
Mulas y asnos (3A1g3A2g)	Linear	Regresión de tendencias históricas (2011-2020)
Porcinos (3A1h 3A2h)	Incremento 1.5% anual hasta 2030	Proyección de PorkColombia
Aves (3A2j)	Incremento 4% anual	Proyección de FENAVI

Fuente: elaboración propia

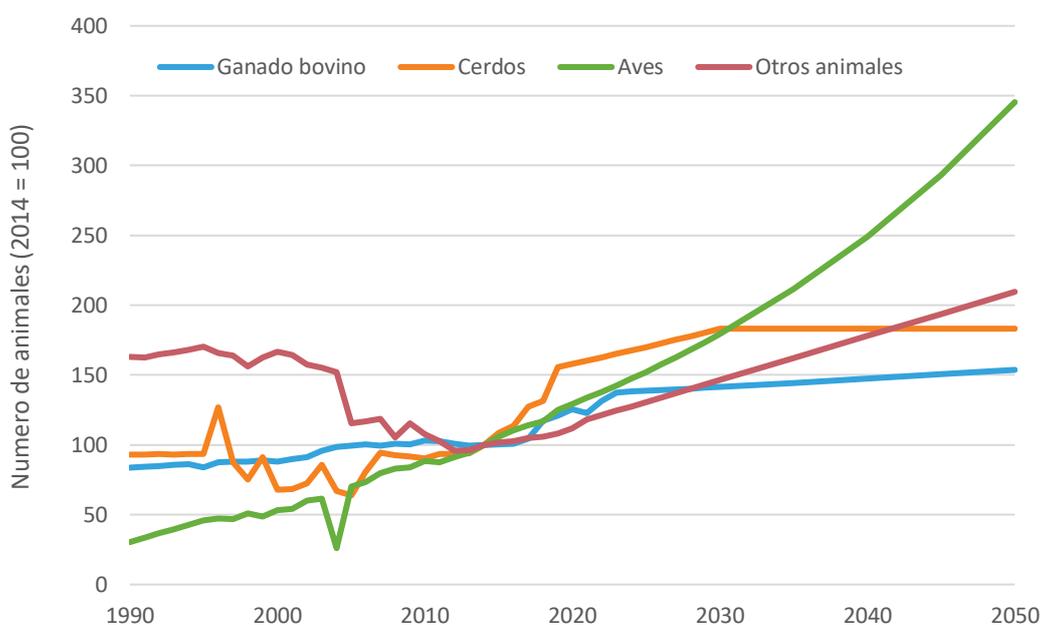


Figura 48. Cambios relativos en el número histórico y proyectado para el escenario de referencia
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Minagricultura.

Para la categoría ‘Emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la combustión de biomasa’ (3C1) se realizó una nueva proyección teniendo en cuenta los datos históricos a nivel departamental. El promedio de las tierras quemadas del periodo 2005-2014 fue usado ya que para años previos no se contó con información completa. Este promedio fue incrementado en 1% anual para biomasa en tierras de cultivos y biomasa en pastizales, 3% anual para tierras forestales (debido al incremento anual en los últimos años en quemas). Con los factores de emisiones y ecuaciones establecidas en las directrices del IPCC en 2006 (contemplados en el BUR2) (Pulido et al., 2019), se calcularon los GEI (Figura 49). Los datos pueden encontrarse en la sección de anexos asociados a esta sección (Anexo - 3B-3C1 Quema de Biomasa -Ajustado_27-8-2020.xlsx).

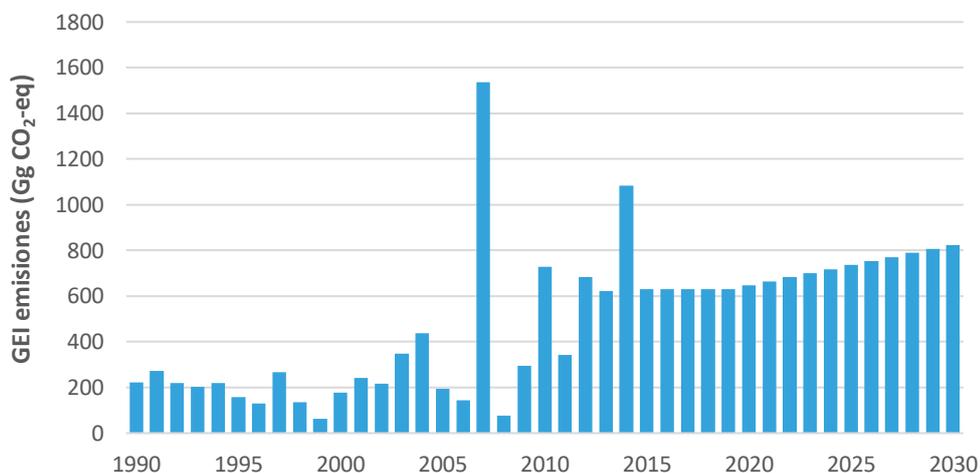


Figura 49. Datos históricos y proyección de GEI de quema de biomasa (categoría 3C1).
Fuente: elaboración propia a partir de (Pulido et al., 2019)

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Los datos de actividad fueron suministrados por los respectivos ministerios Colombianos y sus entidades adscritas (Minagricultura, Minambiente e IDEAM). Los factores de emisión para el escenario de referencia se fijaron a lo largo del tiempo teniendo en cuenta los lineamientos del IPCC-BUR2 (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019). Para el sector agropecuario el factor que más influye en el cálculo de las emisiones es el número de animales, especialmente la cantidad de ganado, y de fertilizantes.

La función de los consultores era principalmente la de comprobar los datos, aplicar la estructura en el modelo LEAP y comprobar la coherencia de los resultados. Con respecto a este último punto se realiza la siguiente observación: Las proyecciones de número de animales fue basada en las tendencias históricas y validados con representantes de diferentes sectores. Sin embargo, para la categoría 3C4 “Emisiones directas de N₂O procedentes de la fertilización” no se presentó esta validación y probablemente se pueda mejorar la interacción con las proyecciones de número de animales. Por ejemplo, la cantidad de fertilizante orgánico que se utiliza es sólo una pequeña fracción del total de nitrógeno aportado por la fertilización, sin embargo, en las proyecciones esta cantidad se mantiene más o menos constante, mientras que el número de animales está aumentando considerablemente. Así las cosas, se recomienda una mejor armonización entre las categorías 3A y 3C.

3.5.2. USO DE TIERRAS

→ Estructura LEAP sectorial

La categoría 3B del IPCC (Tierras) forma parte del sector AFOLU (3). Este sector no está representado en la aplicación básica de LEAP (modelo energético) y, por lo tanto, se incorpora manualmente a la estructura de LEAP como parte de la sección no energética.

Según la tipología de la CMNUCC (IPCC, 2006), el sector 3B abarca las emisiones y absorciones de CO₂ relacionadas con el Uso de la Tierra, el Cambio de Uso de la Tierra y la Silvicultura (UTCUTS). Se estructura en seis categorías de uso de la tierra: 3B1 Tierras forestales, 3B2 Tierras de cultivo, 3B3 Pastizales, 3B4 Humedales, 3B5 Asentamientos y 3B6 Otras tierras. Cada una de estas categorías de uso de la tierra se divide a continuación en dos subcategorías: a) la tierra que permanece en el mismo uso principal de la tierra, o b) cada uno de los otros tipos de uso de la tierra convertidos al uso principal de la tierra. Por ejemplo, 3B Tierras forestales se subdivide en:

- 3B1a Tierras forestales que permanecen como tales
- 3B1b Tierras convertidas en tierras forestales
 - 3B1bi Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales
 - 3B1bii Pastizales convertidos en tierras forestales
 - 3B1biii Humedales convertidos en tierras forestales
 - 3B1biv Asentamientos convertidos en tierras forestales
 - 3B1bv Otras tierras convertidas en tierras forestales

Para las demás categorías de utilización de la tierra se utiliza la misma estructura; las tierras que permanecen en las mismas categorías de utilización de la tierra y las tierras convertidas a la categoría de tierra. Durante un período de transición de 20 años las unidades de tierra se etiquetan en emisiones en la categoría "convertida a" y después de esos 20 años las unidades de tierra convertidas se notificarán en la categoría de uso de la tierra "que permanecen como tales" (ver Tabla 72).

Tabla 72. Estructura de las categorías UTCUTS tal como se utiliza en el BUR2 de Colombia.
Observaciones: C - Subdivisión de categorías utilizadas específicamente en Colombia; NE – categorías no estimado en el contexto colombiana; D - categorías que clasifican como deforestación (NREF) (Minambiente & IDEAM, 2019)

Categoría	Observaciones
3B1 Tierras forestales	
3B1a • Tierras forestales que permanecen como tales	
3B1ai - Tierras forestales que permanecen como tales (Bosque natural)	C
3B1aia - Tierras forestales que permanecen como tales (Stock Change)	C
3B1aiaa - Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)	C
3B1b • Tierras convertidas en tierras forestales	
3B1bi - Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	
3B1bii - Pastizales convertidos en tierras forestales	
3B1biii - Humedales convertidos en tierras forestales	
3B1biv - Asentamientos convertidos en tierras forestales	
3B1bv - Otras tierras convertidas en tierras forestales	
3B2 Tierras de cultivo	
3B2a • Tierras de cultivo que permanecen como tales	
3B2ai - Cultivo de café	C
3B2aia - Palma	C

Categoría		Observaciones
3B2aiii	- Cacao	C
3B2aiv	- Aguacate	C
3B2av	- Caucho	C
3B2avi	- Mango	C
3B2avii	- Limón	C
3B2aviii	- Mandarina	C
3B2aix	- Naranja	C
3B2ax	- Tangelo	C
3B2axi	- Otro	C
3B2b	• Tierras convertidas en tierras de cultivo	
3B2bi	- <i>Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo</i>	D
3B2bii	- Pastizales convertidos en tierras de cultivo	NE
3B2biii	- Humedales convertidos en tierras de cultivo	NE
3B2biv	- Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	NE
3B2bv	- Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	NE
3B3	Pastizales	
3B3a	• Pastizales que permanecen como tales	
3B3b	• Tierras convertidas en pastizales	
3B3bi	- <i>Tierras forestales convertidas en pastizales</i>	D
3B3bii	- Tierras de cultivo convertidas en pastizales	NE
3B3biii	- Humedales convertidos en pastizales	NE
3B3biv	- Asentamientos convertidos en pastizales	NE
3B3bv	- Otras tierras convertidas en pastizales	NE
3B4	Humedales	
3B4a	• Humedales que permanecen como tales	
3B4b	• Tierras convertidas en humedales	
3B4bi	- <i>Tierras forestales convertidas en humedales</i>	D
3B4bii	- Tierras de cultivo convertidas en humedales	NE
3B4biii	- Pastizales convertidos en humedales	NE
3B4biv	- Asentamientos convertidos en humedales	NE
3B4bv	- Otras tierras convertidas en humedales	NE
3B5	Asentamientos	
3B5a	• Asentamientos que permanecen como tales	NE
3B5b	• Tierras convertidas en asentamientos	
3B5bi	- <i>Tierras forestales convertidas en Asentamientos</i>	D
3B5bii	- Tierras de cultivo convertidas en Asentamientos	NE
3B5biii	- Pastizales convertidos en Asentamientos	NE
3B5biv	- Humedales convertidos en Asentamientos	NE
3B5bv	- Otras tierras convertidas en Asentamientos	NE
3B6	Otras tierras	
3B6a	• Otras tierras que permanecen como tales	
3B6b	• Tierras convertidas en otras tierras	
3B6bi	- <i>Tierras forestales convertidas en otras tierras</i>	D
3B6bii	- Tierras de cultivo convertidas en otras tierras	NE
3B6biii	- Pastizales convertidos en otras tierras	NE
3B6biv	- Humedales convertidos en otras tierras	NE
3B6bv	- Otras tierras convertidas en otras tierras	NE

Fuente: elaboración propia.

A partir de las necesidades concretas, las categorías principales pueden subdividirse a su vez en categorías específicas, por ejemplo, para representar las diferencias en los tipos de uso de la tierra

entre las regiones geográficas, o las diferentes especies o cultivos. En la Tabla 72 las subdivisiones específicas utilizadas en Colombia se indican con "C" en la columna de observaciones. En este informe seguimos las definiciones de las diferentes categorías de uso de la tierra según se definen en el BUR2 (IDEAM et al., 2018).

La Figura 50 ofrece una visión general de la estructura de las principales categorías incluidas en la aplicación de la utilización de la tierra en el modelo LEAP. Estas categorías principales se describen con más detalle a continuación, teniendo en cuenta que la estructura se asemeja lo máximo posible a las categorías y la estructura utilizada en el BUR2 (IDEAM et al., 2018).

Siguiendo la estructura del IPCC, en el BUR2 la conversión de tierras forestales a otras categorías de uso de la tierra se distribuye en las otras categorías de uso de la tierra, como sigue (ver Tabla 72);

- Los cambios entre la cobertura del bosque natural y otras coberturas clasificadas como tierras forestales en el país (ej: plantaciones forestales y arbustales) se incluye en 3B1a_{ii} Tierras forestales que permanecen como tales (stock change);
- 3B2_{bi} Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo se incluye en 3B2 Tierras de cultivo;
- 3B3_{bi} Tierras forestales convertidas en pastizales se incluye en 3B3 Pastizales;
- 3B4_{bi} Tierras forestales convertidas en humedales se incluye en 3B4 Humedales;
- 3B5_{bi} Tierras forestales convertidas en Asentamientos se incluye en 3B5 Asentamientos;
- 3B6_{bi} Tierras forestales convertidas en Otras tierras se incluye en 3B6 Otras tierras.

Sin embargo, debido a que la deforestación es una actividad importante que contribuye a las emisiones nacionales de GEI con connotaciones transectoriales, las conversiones de tierras forestales a otras categorías de uso de la tierra en la estructura del modelo LEAP se incluyen explícitamente en una categoría independiente denominada "Deforestación". Aunque esta es diferente a la estructura del IPCC y a la que se sigue en el BUR2, es consistente con las proyecciones del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) (Minambiente & IDEAM, 2019).

En este momento no hay suficiente información de línea de base, escenarios de línea de base, datos de actividad y factores de emisión disponibles para la inclusión de la dinámica del carbono en los siguientes ecosistemas en la NDC: Páramos, vegetación arbustiva de transición entre bosques altoandinos y páramos, manglar, pastos marinos y arbolado urbano.

Para la actualización de la NDC, se han construido las proyecciones de datos de actividad juntos con el IDEAM, MinAmbiente, MADS, UPME (datos para leña), DANE (datos para leña), MADR (datos para tierras cultivos), FEDECAFÉ (datos para tierras cultivos, café) y FEDEPALMA (datos para tierras cultivos, palma). En las siguientes secciones se ofrecen más datos específicos de las diferentes categorías de uso de la tierra.



Figura 50. Estructura de árbol para principales categorías de uso de tierras en LEAP, Tierras -3B

Fuente: elaboración propia.

→ Reglas de cálculo de los GEI por sector

El cálculo básico multiplica los datos de actividad (unidades de superficie o cambio de superficie) por un factor de emisión que indica los cambios en las reservas de carbono en los siguientes depósitos de carbono: biomasa viva aérea y subterránea (biomasa); materia orgánica muerta (MOM) y suelo (suelo; tanto suelos minerales como suelos orgánicos). En los casos en que los depósitos de carbono aumentan, por ejemplo, como resultado del crecimiento de la biomasa, esto resulta en la absorción de CO₂ de la atmósfera. Cuando las reservas de carbono disminuyen, se producen emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Los cambios en el uso de la tierra generalmente resultan en pérdidas abruptas de las reservas de carbono de biomasa y MOM. Los cambios en las reservas de carbono en los suelos minerales suelen ser más graduales y se supone que cambiarán durante un período de transición de 20 años (IPCC, 2006). Además, el drenaje de suelos orgánicos cultivados da como resultado emisiones graduales de CO₂ como resultado de la oxidación de la materia orgánica del suelo.

Las proyecciones de los datos de actividad y los factores de emisión fueron suministradas por el IDEAM. Todos los cálculos de las emisiones y absorciones fueron elaborados por el personal del IDEAM. En este proyecto se analiza e implementa esta información en el modelo LEAP.

→ **Datos de actividades sectoriales y metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

En los siguientes párrafos, proporcionaremos para cada una de las categorías de FOLU una descripción de los datos de actividad utilizados, factores de emisión y metodología relevante para evaluar el escenario de referencia.

3B1 Tierras forestales

Como ya se ha mencionado, la categoría 3B1, Tierras forestales, se subdivide en dos subcategorías principales;

- 3B1a Tierras forestales que permanecen como tales y
- 3B1b Tierras convertidas en tierras forestales.

3B1a Tierras forestales que permanecen como tales

La categoría de uso de la tierra 3B1a Tierras forestales que permanecen como tales se subdivide de nuevo en tres categorías diferentes (ver Figura 51):

- 3B1ai - Tierras forestales que permanecen como tales (Bosque natural)³¹
- 3B1aii Tierras forestales que permanecen como tales (stock change)
- 3B1aiii Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)

³¹ Definición de bosque natural: Tierra ocupada principalmente por árboles que puede contener arbustos, palmas, guaduas, hierbas y lianas, en la que predomina la cobertura arbórea con una densidad mínima del dosel de 30%, una altura mínima del dosel (in situ) de 5 metros al momento de su identificación, y un área mínima de 1.0 ha. Se excluyen las coberturas arbóreas de plantaciones forestales comerciales, cultivos de palma, y árboles sembrados para la producción agropecuaria (IDEAM., 2018).

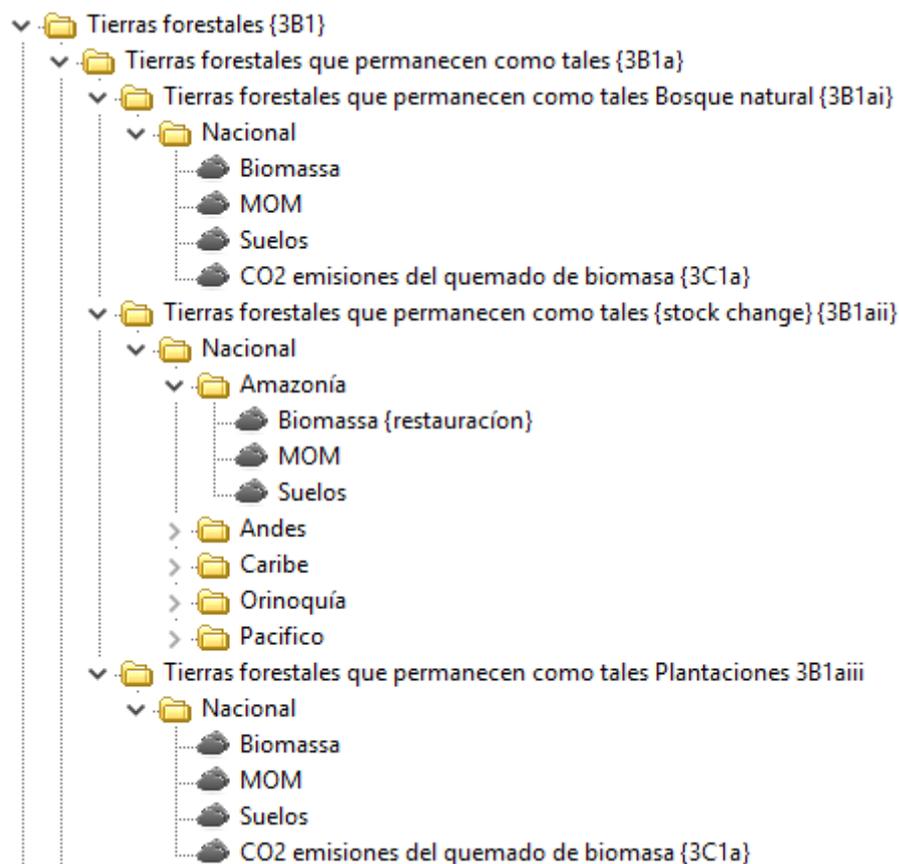


Figura 51. Subdivisión de la categoría 3B1a Tierras forestales que permanecen como tales.
Fuente: elaboración propia.

3B1ai Tierras forestales que permanecen como tales (Bosque natural)

El supuesto para esta categoría es que en la base las reservas forestales de carbono están en equilibrio (las emisiones y la absorción son iguales), y que las absorciones que ocurren por bosques naturales que permanecen como tales son primordialmente naturales y no antropogénicas. Sin embargo, las emisiones asociadas a la pérdida de reservas de carbono resultantes de la recolección de madera para combustible (leña) se incluyen en esta categoría. Estas emisiones no fueron consideradas en la NDC 2015.

Biomasa

En las proyecciones de emisiones de biomasa se considera únicamente las emisiones asociadas a la extracción de leña. Los emisiones totales de la extracción de leña de todos los sectores se basan en la demanda de energía de la leña evaluada en el sector de Energía. Esta demanda de energía se convierte en cantidad de leña utilizando información sobre poderes caloríficos (16.993 GJ/ton, fuente UPME) y contenido de carbono de la biomasa (0.47 ton C/ton biomasa seca peso). Luego se descartó la serie temporal de consumo de leña en hogares rurales calculada por proyección en términos de energía, y se sustituyó por la aproximación bottom-up descrita a continuación:

El consumo de leña por parte de la población rural se proyectó utilizando los porcentajes de consumo de leña suministrados por los Planes de Energización Rural-PERS vigentes hasta el momento y suministrados por la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME y proyecciones de DANE sobre la población rural hasta 2030. La información se presenta únicamente a nivel nacional. Los cálculos son suministrados por el IDEAM, con la entrada de estos datos del DANE y la UPME.

El Anexo de Excel “3B1ai TFPT (leña) - escenario mitigación - censo2018vs2_20200828.xlsx” contiene la información de estimación y proyección de emisiones asociadas al consumo de leña en áreas rurales como factor de degradación del bosque.

- Datos de actividad (DA): Población rural proyectada a 2030: se presenta la información de datos de actividad de población rural por departamento a partir del censo del DANE del año 2018 para la serie temporal 1985-2050 .
- DA-Población consume leña: se presenta la información de población rural que consume leña a partir de los datos de la hoja anterior y de los porcentajes de consumo de leña suministrados por los Planes de Energización Rural-PERS vigentes hasta el momento y suministrados por la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME.
- Factores de Emisión (FE): se incluyen los factores por consumo de leña disponibles para siete departamentos del país para los cuales se cuenta con información de PERS, e información nacional a partir del promedio de los datos presentados para los departamentos disponibles.
- Emisiones departamentales: Se presenta la estimación de emisiones de CO₂ en giga gramos (Gg), asociadas al consumo de leña, por departamento para la serie temporal 1980-2030.
- Emisiones con proyección de estufas: Se presenta la estimación de emisiones de CO₂ en Gg, incluyendo los datos de reducción de emisiones por uso de estufas ecoeficientes, asumiendo una tasa de implementación de 5500 estufas ecoeficientes al año a partir del año 2007.

Los siguientes supuestos fueron usados para el cálculo:

- Número de personas por familia: 3.6
- Consumo Leña (Ton/hab/año): 1.40
- Eficiencia consumo leña estufas eficientes: 0.25
- Factor de carbono: 0.47

NOTA: Las emisiones provenientes del uso de leña como combustible (i.e. reducción de reservas de carbono en estas tierras de bosques) se reportan aquí y no se contabilizan en el sector de Energía. En el sector de la energía estas emisiones se proporcionan como elemento informativo

Materia orgánica muerta (MOM)

Emisiones y absorciones de MOM no son estimadas.

Suelos

Las emisiones relacionadas a los suelos hacen referencia a suelos orgánicos, resultantes del drenaje de este (ver anexo de Excel “Suelos orgánicos NDC_20200701.xlsx” (Fuente: IDEAM). Estos datos son solo a escala nacional.

CO₂ emisiones del quemado de biomasa

Emisiones de CO₂ resultantes de la quema de biomasa (v.g., incendios forestales). Para las tierras forestales, las tierras de cultivo y los pastizales, las emisiones se calculan con base en las proyecciones de áreas de incendios para un gran número de regiones geográficas. Para cada región, las proyecciones se basan en las áreas históricas promedio quemadas durante 2010-2018, multiplicadas por un factor de aumento anual. Estos factores son: 2.9% para tierras forestales, 1.27% para tierras de cultivo, y 1.02% para pastizales (ver anexo de Excel “3B-3C1 Quema de Biomasa - Ajustado_20200701.xlsx”, Fuente: IDEAM). Las emisiones asociadas de CH₄ y N₂O se reportan en la categoría 3.C.1 - Emisiones por quema de biomasa.

3B1aii Tierras forestales que permanecen como tales (stock change)

En esta categoría se incluyen los cambios en las reservas de carbono que se asocian con las conversiones de otros tipos de tierras boscosas a tierras forestales (restauración, incluidas como

ganancias/perdidas de reservas de carbono). Esta categoría se incluye para abarcar las emisiones que, de otro modo, no se habrían incluido en la definición de bosque utilizada.

En BUR2, en esta categoría también se incluye como emisiones el efecto de 'deforestación' (tierras forestales convertidas en otras tierras boscosas). Sin embargo, con el fin de asegurar que las emisiones encuadradas bajo "Deforestación" sean consistentes con el NREF (Minambiente & IDEAM, 2019), estas emisiones de tierras forestales convertidas en otras tierras boscosas han sido incluidas en la categoría 3B1aii tipificadas bajo "Deforestación".

Los cálculos para la biomasa, el MOM y el suelo los proporciona el IDEAM sobre la base de datos nacionales del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC).

El Anexo de Excel "3B1aii & 3B1b Estimaciones Escenarios NDC - Restauración - Linea Base 11092020-FINAL.xlsx" contiene la información de estimación y proyección de absorciones de CO₂ asociadas al establecimiento de áreas con procesos de restauración ecológica a partir de la información de áreas de regeneración del bosque observadas a través del SMByC. Este archivo Excel contiene tres hojas en las que se presenta la información de la siguiente manera:

- DA- Áreas Regeneración: Se presentan las áreas observadas a través del SMByC de cambios de cobertura de bosque que muestran recuperación de la cobertura boscosa a partir de tierras boscosas; esta información se encuentra discriminada para las 5 regiones naturales del país (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacífico) y de forma anual, acumulada y promedio para la serie temporal 2001-2017 y proyectada al año 2030 a partir de un análisis de tendencia logarítmica por región (ver Figura 52).
- FE-Factores: Se presentan los factores de biomasa utilizados para la estimación de absorciones de CO₂, discriminados para las cinco regiones naturales del país. Las diferencias en las existencias medias de carbono entre la situación inicial de la cobertura boscosa y el bosque natural se utilizan para calcular los aumentos anuales de las existencias de carbono durante un período de transición de 20 años.
- Absorciones regeneración: se presenta la estimación de absorciones de CO₂ estimada a partir de los datos de actividad y los factores de emisiones presentados en las hojas anteriores, para la serie temporal 2001-2030.

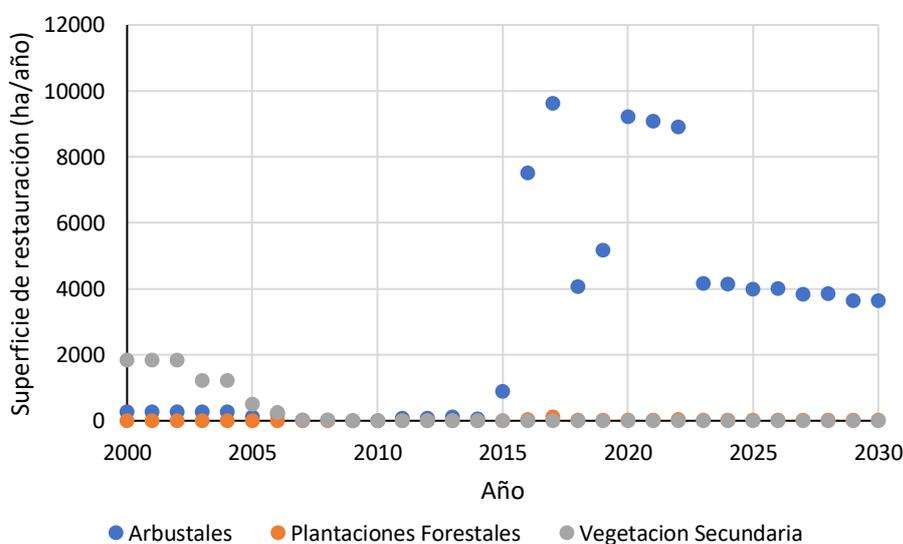


Figura 52. Áreas históricas y proyectadas de restauración forestal (parte 3B1aⁱⁱⁱ) anual para el período 2000-2030 (total nacional)

Fuente: IDEAM, MinAmbiente.

3B1aⁱⁱⁱ Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)

El aumento del área de plantaciones forestales se basa en registros históricos que fueron ajustados por el MADR al Plan Nacional de Desarrollo Forestal. Se realiza una proyección con un análisis de tendencia lineal tomando como driver el comportamiento histórico de las áreas plantadas entre el año 1995-2018 sin CIF (Certificado de Incentivo Forestal³²) (Figura 53). Para la distribución de esta área total sobre las diferentes especies arbóreas se tomó la composición porcentual de las mismas en los últimos 5 años (2013-2018) y se asignó esta misma proporción en las áreas anuales proyectadas, haciendo la asignación a las 22 especies para las cuales se tienen factores de emisiones específicos, las especies restantes se agruparon en rápido, medio y lento crecimiento.

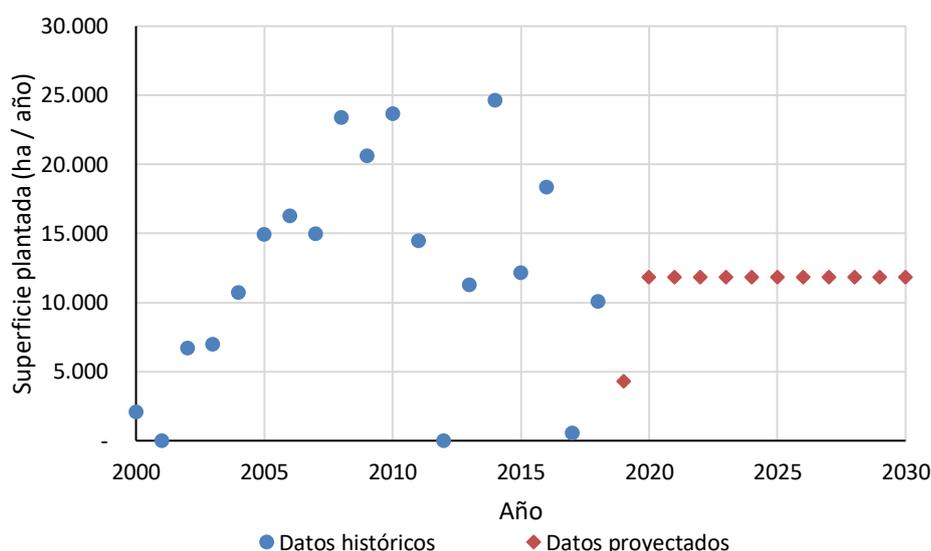


Figura 53. Áreas históricas y proyectadas de plantación anual de plantaciones forestales comerciales para el período 2000-2030 (total nacional para todas las especies)

Fuente: IDEAM, MARD.

Biomasa

Los cambios en las existencias de carbono de biomasa en las plantaciones forestales se calculan utilizando la duración de la rotación, el crecimiento del volumen de madera por año, los factores de expansión de la biomasa para convertir el volumen de madera en biomasa y el carbono para calcular los aumentos anuales de las reservas de carbono resultantes del crecimiento de los árboles (ver el Anexo de Excel “3B1aⁱⁱⁱ Proyecciones plantaciones forestales v3 20200925.xls”). Al final de una rotación se considera que se ha cosechado la biomasa total que creció los años anteriores. Debido a que no se incluyen categorías de productos de madera cosechada, esto supone implícitamente emisiones instantáneas de carbono en los productos de madera cosechada.

MOM y suelo

Emisiones y absorciones de MOM y suelo no son estimadas.

³² el Certificado de Incentivo Forestal (CIF) es un reconocimiento del Estado Colombiano, a través del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural -MADR- en convenio de administración con FINAGRO, a las externalidades positivas de la reforestación comercial y que por tanto actúa como una fuente de financiamiento para la implementación de este tipo de cultivos.

Las emisiones y absorciones históricas presentadas en el escenario de referencia son diferentes de las presentadas en el BUR2. Esto es el resultado de la limpieza de los datos históricos de las plantaciones por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA y el IDEAM (que ahora se utilizan, y que se considera como mejora en el inventario nacional de GEI).

3B1b Tierras convertidas en tierras forestales {Restauración}

Esta categoría incluye todas las conversiones de otros usos de la tierra a tierras forestales, lo que incluye, por lo tanto, todas las actividades de forestación/reforestación. Incluye todas las subcategorías de tierras convertidas en terrenos forestales, es decir, la reforestación (restauración), consultar la Figura 54

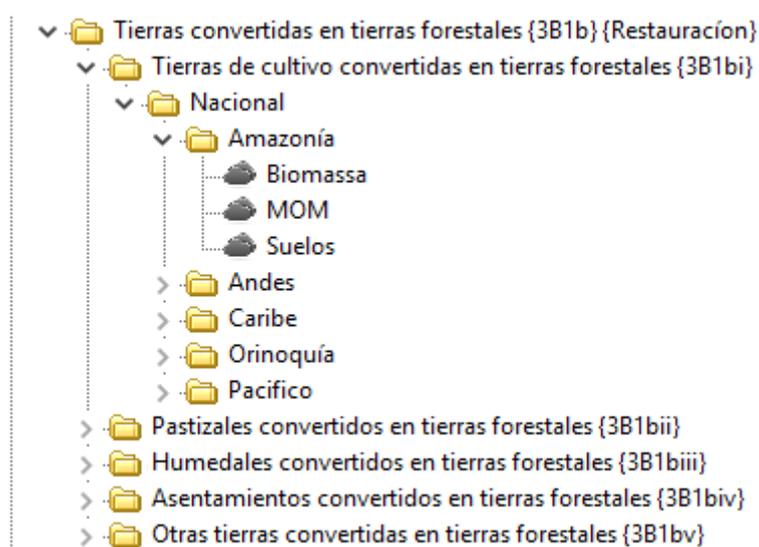


Figura 54. Estructura de árbol para la categoría reforestación en LEAP
Fuente: elaboración propia.

Proyecciones fueron provistos por IDEAM con base en Información espacialmente referida reportada por el SMByC, incluyendo Biomasa, MOM, Suelos.

El Anexo de Excel "3B1aai & 3B1b Estimaciones Escenarios NDC - Restauración - Línea Base 11092020-FINAL.xlsx" contiene la información de estimación y proyección de absorciones de CO₂ asociadas al establecimiento de áreas con procesos de restauración ecológica a partir de la información de áreas de regeneración del bosque observadas a través del SMByC.

- DA- Áreas Regeneración: Se presentan las áreas observadas a través del SMByC de cambios de cobertura de bosque que muestran recuperación de la cobertura boscosa a partir de otros tipos de coberturas ya sea tierras de cultivo, pastizales, asentamientos, humedales u otras tierras; esta información se encuentra discriminada para las 5 regiones naturales del país (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía and Pacífico) y de forma anual, acumulada y promedio para la serie temporal 2001-2017 y proyectada al año 2030 a partir de un análisis de tendencia logarítmica por región.
- FE-Factores: Se presentan los factores de biomasa utilizados para la estimación de absorciones de CO₂, discriminados para las cinco regiones naturales del país. Las diferencias en las existencias medias de carbono entre la situación inicial de la cobertura boscosa y el bosque natural se utilizan para calcular los aumentos anuales de las existencias de carbono durante un período de transición de 20 años.

- Absorciones regeneración: se presenta la estimación de absorciones de CO₂ estimada a partir de los datos de actividad y los factores de emisiones (como cambios en las existencias de carbono en la biomasa) presentados en las hojas anteriores, para la serie temporal 2001-2030.

Deforestación {3B1aii 3B2bi 3B3bi 3B4bi 3B5bi 3B6bi}

Como se indicó anteriormente, la categoría Deforestación no existe en las directrices del IPCC ni en la estructura BUR2. Aun así, la combinación de las conversiones de uso de la tierra de la tierra forestal a otras categorías de uso de la tierra proporciona información significativa y es necesaria para la comparación con las proyecciones del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) (Minambiente & IDEAM, 2019). Por lo tanto, la deforestación incluye las conversiones que en la estructura del IPCC se incluirían en diferentes categorías de uso de la tierra. Ver Figura 55 para una visión general de la estructura en LEAP para Deforestación.



Figura 55 Estructura de árbol para la categoría deforestación en LEAP
Fuente: elaboración propia.

Cálculos de biomasa, MOM, y suelos fueron provistos por IDEAM con base en información a nivel nacional, como se explica a continuación.

El Anexo de Excel “3Bxbi Deforestacion Estimaciones Escenarios NDC - NREF - Linea Base_20200623 update.xlsx” contiene la información de estimación y proyección de emisiones por deforestación en el país, discriminada en las 5 regiones naturales de Colombia, obtenida a partir del Sistema de Monitoreo de Bosques y carbono-SMByC.

- Deforestación-línea base modelo: Las áreas proyectadas de deforestación anual son las mismas que las reportadas en el NREF (Minambiente & IDEAM, 2019) se presenta la información de datos de actividad de deforestación observada anual (Figura 55) y acumulada en el periodo 2002-2017, así mismo se encuentra la proyección de áreas al año 2030 a partir del modelo trabajado por el IDEAM que incluye circunstancias nacionales.
- Los cambios netos de las existencias de carbono en la biomasa se calculan como una pérdida de carbono en la biomasa total de árboles (forestación) y las ganancias de carbono en el nuevo tipo de vegetación (arbustales (categoría 3B1aii), plantaciones forestales (3B1aii), vegetación

- secundaria (3B1aii), áreas agrícolas heterogéneas (3B2b), cultivos permanentes (3B2b), cultivos transitorios (3B2b), herbazales (3B3b), o pastos (3B3b) al que se convirtió el área forestal. Esto difiere de las emisiones calculadas en el NREF, donde solo se consideran las emisiones brutas de la pérdida de existencias de carbono en biomasa. La Información de factores de emisión (pérdida de carbono en biomasa) está discriminada para las 5 regiones naturales del país (Amazonía, Andes, Caribe, Orinoquía y Pacifico).
- Suelos (Línea Base): se presenta la información de datos de actividad de áreas de suelos orgánicos drenados y la estimación correspondiente de emisiones de CO₂, para la serie temporal 2000-2030. La fuente de información de áreas de suelos orgánicos drenados es el Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC. Estas emisiones del suelo no se consideraron en la NDC de 2015.
 - Estimación (Tipificado): se presenta la estimación de emisiones de CO₂ a partir de los datos de deforestación por biomasa, MOM y de suelos, discriminadas para las 5 regiones naturales de Colombia, para la serie temporal 2000-2030.

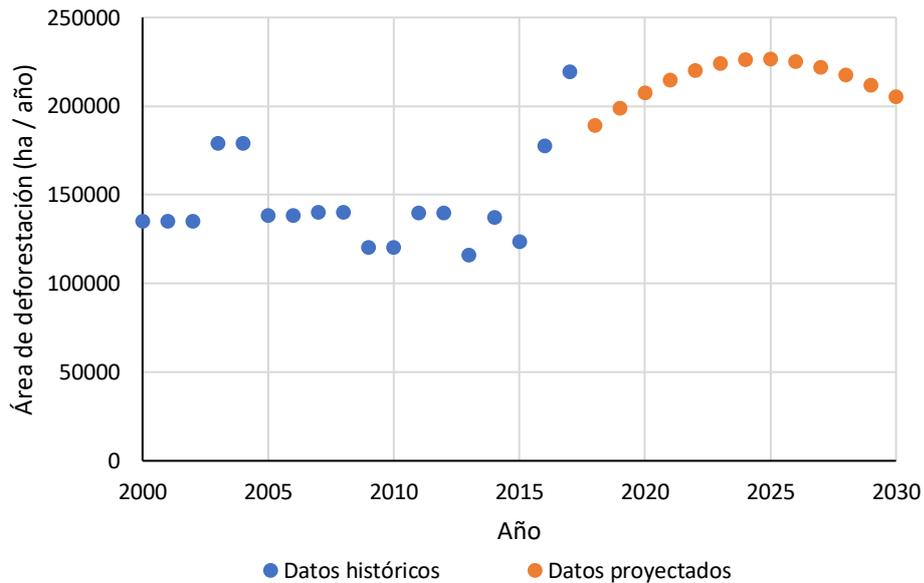


Figura 56. Áreas anuales de deforestación observadas y proyectadas (ha/año)
Fuente: MinAmbiente e IDEAM.

3B2 Tierras de cultivo

3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales

Categoría 3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales, incluye 10 cultivos o sistemas agroforestales (ver Figura 57)

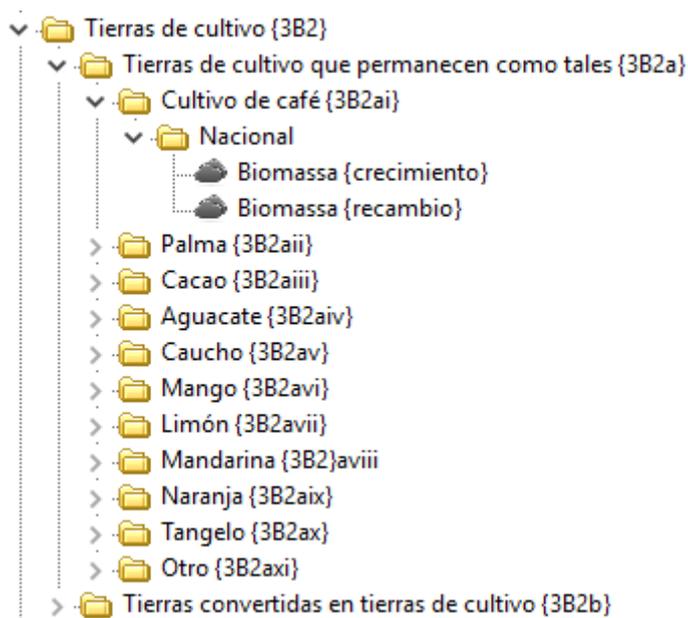


Figura 57. Estructura de árbol para la categoría tierras de cultivo en LEAP
Fuente: elaboración propia.

IDEAM proporcionó los cálculos para las absorciones de CO₂ resultantes del establecimiento y crecimiento de la biomasa y las emisiones resultantes del reemplazo de cultivos leñosos permanentes (después de alcanzar una determinada edad específica del cultivo para mantener la productividad del cultivo leñoso), según los datos nacionales de la siguiente manera:

En la Tabla 74 se incluyen las áreas totales anuales de cultivos permanentes desde 2016 hasta 2030. El Anexo de Excel “3B2 Tierras de cultivos que permanecen proyecciones_20200828.xlsx”: amplía esta tabla y contiene la información de estimación y proyección de emisiones y absorciones de CO₂ asociadas al establecimiento y recambio en áreas de cultivos permanentes obtenidas a partir de AGRONET, discriminadas por departamento y proyectadas a nivel nacional, para la serie temporal 1990-2030. Este archivo Excel se presenta la información de la siguiente manera:

- DA-Superficie departamentos: Se presentan las áreas de cultivos permanentes a partir de información de AGRONET para la serie temporal 1990-2017 y discriminada por departamentos.
- DA-Superficie nacional: Se presenta la información de cultivos permanentes consolidada a nivel nacional, discriminada por tipos de cultivos y proyectadas a partir de un análisis de tendencia logarítmica al año 2030. También se discriminan las áreas anuales de recambio determinadas a partir de los tiempos definidos para cada cultivo por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y CIAT.
- FE-Factores por Fruto: se presentan los factores de biomasa utilizados para la estimación de emisiones/absorciones de CO₂ en cultivos permanentes, desarrollados por Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y CIAT.
- Emisiones-Absorción: se presentan las emisiones de CO₂ estimadas a partir de los datos de áreas de recambio presentadas en la hoja anterior y las absorciones de CO₂ a partir de las áreas de cultivos anuales, para la serie temporal 1990-2030.

Las fuentes de los datos de actividad y factores de emisión del café y la palma de aceite son FEDECAFÉ (café ver Anexo de Excel “3B2ai Emisiones-Proyecciones_Cafe 2030_20200703.xlsx”) y FEDEPALMA (palma de aceite, ver Anexo de Excel “3B2aii Estimación Palma de Aceite_20200701.xlsx”).

Tabla 73. Áreas totales de cultivos permanentes serie temporal 2016-2030 (kha).

Año	Limón	Aguacate	Mandarina	Naranja	Tángelo	Mango	Cacao	Caucho	Café	Palma de aceite	Total
2016	11.3	61.1	11.8	21.6	0.5	35.4	173.0	61.2	919.1	483.7	1294.9
2017	15.2	66.0	10.7	25.4	0.5	41.9	175.0	65.4	936.4	522.4	1336.6
2018	13.2	67.5	9.3	22.1	0.5	38.2	176.1	62.1	947.9	544.6	1336.9
2019	13.5	72.1	9.5	22.5	0.5	40.1	183.5	63.8	951.8	566.2	1357.2
2020	13.8	76.7	9.7	22.9	0.5	42.0	177.2	65.3	955.4	582.2	1363.4
2021	14.0	81.2	9.8	23.3	0.5	43.9	178.8	66.7	958.7	603.2	1377.0
2022	14.2	85.8	10.0	23.7	0.5	45.8	180.4	68.0	961.9	624.0	1390.2
2023	14.4	90.4	10.1	24.0	0.5	47.7	181.9	69.2	964.8	645.7	1403.0
2024	14.6	95.0	10.2	24.3	0.5	49.6	183.2	70.4	967.6	666.3	1415.4
2025	14.8	99.5	10.4	24.6	0.5	51.5	184.5	71.5	970.2	686.8	1427.5
2026	14.9	104.1	10.5	24.9	0.5	53.4	185.8	72.5	972.7	708.0	1439.4
2027	15.1	108.7	10.6	25.2	0.5	55.3	187.0	73.5	975.1	728.3	1450.9
2028	15.2	113.3	10.7	25.4	0.5	57.2	188.1	74.4	977.3	749.4	1462.3
2029	15.4	117.8	10.8	25.7	0.5	59.1	189.2	75.3	979.5	771.7	1473.4
2030	15.5	122.4	10.9	25.9	0.6	61.0	190.2	76.2	981.6	793.9	1484.3

Fuentes: área del café es de FEDECAFÉ, el área de la palma de aceite es FEDEPALMA y para las otras fuentes es MinAgricultura y CIAT.

Tierras convertidas en tierras de cultivo {3B2b}

En el sistema ordinario de la CMNUCC esta categoría incluía las diferentes conversiones de tierras en tierras de cultivo (tierras convertidas en tierras cultivo). En el BUR2, sin embargo, esta categoría sólo incluye la subcategoría *3B2bi Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo*. Sin embargo, para permitir una comparación con las proyecciones del NREF (Minambiente & IDEAM, 2019) en la estructura del LEAP para las proyecciones del NDC esta subcategoría se incluyó en la categoría específica "Deforestación". Las otras subcategorías de tierras convertidas en tierras de cultivo en el BUR2 se notifican actualmente como "no estimadas" (NE). La categoría Tierras convertidas en tierras de cultivo {3B2b} se ha incluido en la estructura del LEAP para permitir la futura inclusión de las emisiones.

3B3 Pastizales

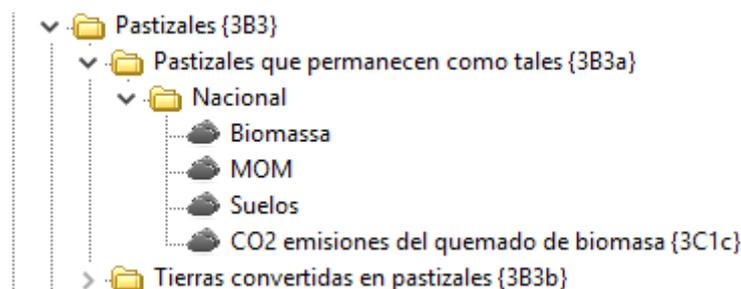


Figura 58. Estructura de árbol para la categoría Pastizales en LEAP
Fuente: elaboración propia.

3B3a Pastizales que permanecen como tales

Esto incluye las emisiones y absorciones de los sistemas silvo-pastoriles. Los resultados son proporcionados por IDEAM sobre la base de datos nacionales con factores de emisión para 3 regiones: Andes, Caribe y para la Amazonia, Orinoquía y Pacífico juntas (TNC participó).

3B3b Tierras convertidas en pastizales

En el sistema ordinario de la CMNUCC esta categoría incluía las diferentes conversiones de tierras en pastizales (tierras convertidas en pastizales). En el BUR2, sin embargo, esta categoría sólo incluye la subcategoría *3B3bi Tierras forestales convertidas en pastizales*. Sin embargo, para permitir una comparación con las proyecciones del NREF en la estructura del LEAP para las proyecciones del NDC esta subcategoría se incluyó en la categoría específica "Deforestación". Las otras subcategorías de tierras convertidas en pastizales en el BUR2 se notifican actualmente como "no estimadas" (NE). La categoría Tierras convertidas en tierras de pastizales {3B3b} se ha incluido en la estructura del LEAP para permitir la futura inclusión de las emisiones.

3B4 Humedales

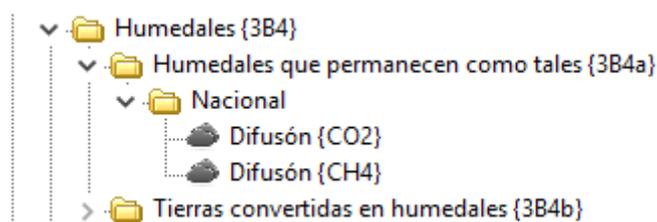


Figura 59. Estructura de árbol para la categoría de humedales en LEAP

Fuente: elaboración propia.

3B4a Humedales que permanecen como tales

Las emisiones de CO₂ y CH₄ de difusión de los embalses se incluyen en la categoría de humedales que permanecen como tales. Se supone que las emisiones durarán los primeros 10 años después del establecimiento de un embalse. También incluyó las emisiones de los embalses de Quimbo y Hidro-Ituango). Debido a que el embalse más reciente se sumergió en 2019 (Hidro-Ituango), las emisiones hasta 2028 se incluyen en las proyecciones. Después de 2028 no se espera que ocurran más emisiones de los embalses.

El Anexo de Excel "3B4a Difusion - Quimbo_Hidroituango_20200913.xlsx": contiene la información de estimación y proyección de emisiones de difusión (Fuente: MinAmbiente y IDEAM).

3B4b Tierras convertidas en humedales

En el sistema ordinario de la CMNUCC esta categoría incluía las diferentes conversiones de tierras en humedales. En el BUR2, sin embargo, esta categoría sólo incluye la subcategoría *3B4bi Tierras forestales convertidas en humedales*. Por otro lado, para permitir una comparación con las proyecciones del NREF en la estructura del modelo LEAP con las proyecciones del NDC esta subcategoría se incluyó en la categoría específica "Deforestación". Las otras subcategorías de tierras convertidas en humedales en el BUR2 se notifican actualmente como "no estimadas" (NE). La categoría Tierras convertidas en 3B4b tierras de humedales ha sido incluida en la estructura de LEAP para permitir la futura inclusión de las emisiones.

3B5 Asentamientos y 3B6 Otras tierras

En el caso de estas dos categorías no se estiman emisiones y absorciones para las categorías restantes. En el sistema ordinario de la CMNUCC estas categorías incluyen las diferentes conversiones de tierras en asentamientos y las conversiones de tierras en otras tierras (tierras

convertidas en otras tierras). En el BUR2, sin embargo, estas categorías sólo incluyen la subcategoría *3B5bi Tierras forestales convertidas en asentamientos* o *3B6bi Tierras forestales convertidas en otras tierras*. Sin embargo, para permitir una comparación con las proyecciones del NREF en la estructura del LEAP para las proyecciones del NDC, estas subcategorías se incluyeron en la categoría específica "Deforestación"). Las otras subcategorías de tierras convertidas en asentamientos o tierras convertidas en otras tierras en el BUR2 se notifican actualmente como "no estimadas" (NE). Las categorías 3B5b Tierras convertidas en tierras asentamientos y 3B6b Tierras convertidas en otras tierras se han incluido en la estructura del LEAP para permitir la futura inclusión de las emisiones.

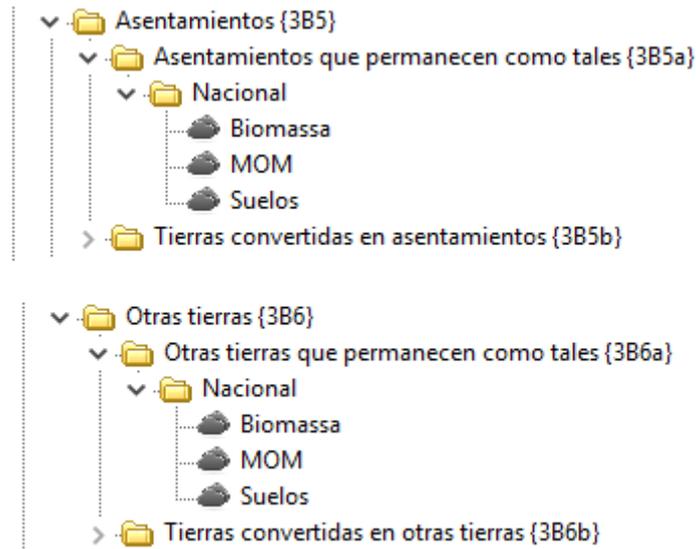


Figura 60. Estructura de árbol para la categoría Asentamientos y Otras tierras en LEAP
Fuente: elaboración propia.

Quema de biomasa

Emisiones de CO₂ resultantes de la quema de biomasa se contabilizan dentro del tipo de tierra (categoría uso de tierra) en la cual ocurre. Las emisiones No- CO₂ asociadas se reportan dentro de la categoría 3C (Emisiones de no_ CO₂ provenientes de la tierra {3C}).

3.6. RESIDUOS

En esta sección se ofrece un resumen de la metodología, el método de cálculo y la estructura básica para el sector residuos. Esta sección se basa en la metodología descrita en el BUR2 de Colombia (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019) y se sustenta a partir de datos brindados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) (Ver anexo de Excel: Workdocument_template_waste(v12_final))

El enfoque relativo al sector residuos en el modelo LEAP se articula en torno a los planteamientos del inventario de la CMNUCC (IPCC, 2006, 2014) y el BUR2. El sector residuos se desarrolla en el modelo a partir de una perspectiva ascendente (Bottom-up), en la que algunos de los rellenos sanitarios regionales se han modelado de manera individual para reflejar los datos desagregados disponibles para el modelo.

El tratamiento y la eliminación de los residuos sólidos procedentes de fuentes industriales y domésticas generan emisiones de GEI. Los residuos sólidos se pueden tratar mediante eliminación, reciclado o conversión en energía. Los residuos líquidos se pueden tratar por medio de varios tipos de tratamientos para aguas residuales. En el modelo de GEI actual se tienen en cuenta todas las tecnologías de tratamiento de aguas residuales cuantificadas, donde el metano (CH₄) es el GEI más importante (generado en rellenos sanitarios y tecnologías de tratamiento de aguas residuales), seguido del dióxido de carbono (CO₂) y el óxido de nitrógeno (N₂O).

En la Tabla 77 y Tabla 78 se describen los datos de actividad en los que se basa el modelo de residuos y los factores determinantes para el desarrollo de las proyecciones para 2030 a 2050. El informe para este sector es un documento que se complementa con el archivo Excel (Ver anexo de Excel: Workdocument_template_waste(v12_final)) en el que todas las descripciones que figuran en este capítulo se especifican en hipótesis numéricas, valores, descripciones de cálculos detallados y referencias a las fuentes utilizadas para formular las hipótesis. Este capítulo debe leerse en consecuencia.

→ Estructura LEAP sectorial

En la metodología de 2006 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las siguientes categorías del sector de residuos se presentan y se utilizan como base de nuestra estructura en LEAP:

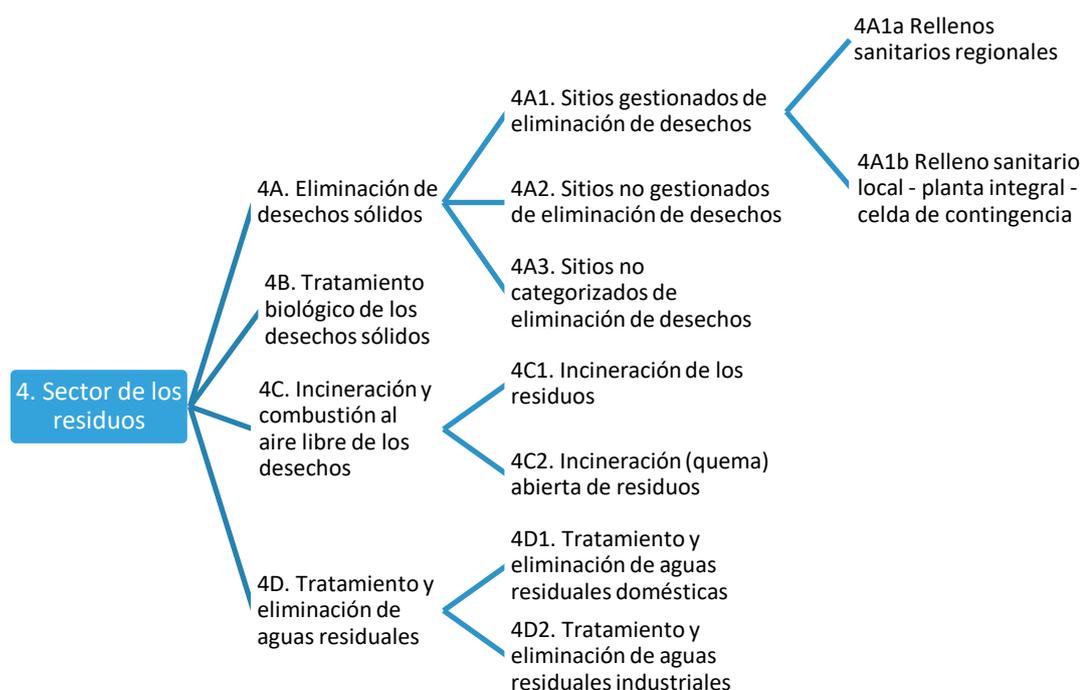


Figura 61. Estructura de modelado general del sector residuos

Fuente: elaboración propia.

La estructura general se desglosa aún más. El nivel de cada división depende de la disponibilidad de los datos cuantificados y validados. El nivel de desagregación se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 74. Nivel de desagregación para el sector residuos en el modelo LEAP

Categoría LEAP	Nivel de desagregación
4A1a. Rellenos sanitarios regionales	43 rellenos sanitarios regionales
4A1b. Relleno sanitario local - planta integral - celda de contingencia	Subdivisión en 4 zonas climáticas
4A3. Sitios no categorizados de eliminación de desechos	Subdivisión en 4 zonas climáticas
4C1. Incineración de los residuos	5 categorías de peligro (residuos hospitalarios; residuos peligrosos petróleo; residuos peligrosos industria; solventes; aceites usados)
4C2. Incineración abierta de los residuos	Única categoría: municipal.
4D1. Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	Subdividido en tecnología de tratamiento para aguas residuales urbanas y rurales (con y sin alcantarillado). Plantas de tratamiento modeladas: San Fernando, Salitre, Cañaveralejo, y Río Frío.

4D2. Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales

Subdividido en 17 actividades industriales: aceites vegetales; café; carne y aves; jabón y detergentes; cerveza y malta; transformación de otros alimentos; transformación de otras bebidas; plásticos y resinas; producción de almidón; productos lácteos; pulpa y papel; refinado de azúcar; refinado de alcohol; químicos orgánicos; verduras, frutas y zumos

→ **Metodología de cálculo de los GEI**

4A. Eliminación de desechos sólidos: el modelo de descomposición de primer orden (FOD) de nivel 2 del IPCC se utiliza para calcular las emisiones de residuos sólidos procedentes de rellenos sanitarios, tal y como se describe en el capítulo 3 del volumen 5 de las Directrices del IPCC en 2006. El método FOD puede utilizarse cuando se dispone de datos de actividades nacionales de buena calidad sobre la eliminación presente e histórica de los residuos en los Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS). Dado que el modelo LEAP abarca el periodo 2010-2050 y que ciertas variables usadas en la metodología FOD reflejan valores agregados de deposición de desechos históricos, se calcularon de forma exógena dichas variables y el valor para el año 2009 se incluyó en el modelo LEAP. Para calcular las emisiones de GEI procedentes de la eliminación de residuos sólidos se utilizaron de forma general las siguientes ecuaciones (las variables son descritas en Tabla 79):

Ecuación 29. Emisiones de CH₄ provenientes de los Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos - (SEDS), (Ecuación 3.1, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$Emisiones_{CH_4} = \left[\sum CH_{4\text{generado } x,T} - R_T \right] * (1 - OX_T)$$

Donde,

$Emisiones_{CH_4}$: metano emitido en el año T, Gg

T: año del inventario

x: categoría del residuo (desecho) o tipo/material

R_T : metano recuperado en el año T, Gg

OX_T : factor de oxidación en el año T, fracción

Ecuación 30. CH₄ generado de la descomposición DDOC_m, (Ecuación 3.3, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$CH_{4\text{generado } x,T} = DDOC_m \text{ decomp}_T * F * 16/12$$

Donde,

$DDOC_m$: Contenido orgánico biodegradable (DOC) susceptible de Descomposición

$DDOC_m \text{ decomp}_T$: $DDOC_m$ descompuesto en el SEDS (SWDS, por sus siglas en ingles)

F: fracción del metano, por volumen, producido en el SEDS

Ecuación 31. Descomposición DDOC_m al final del año T. (Ecuación 3.5, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$DDOC_m \text{ decomp}_T = DDOC_m a_{T-1} * (1 - e^{-k})$$

Ecuación 32. DDOC_m acumulado en el SEDS al final del año T. (Ecuación 3.4, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} * e^{-k})$$

Donde,

$DDOCma_T$: $DDOCm$ acumulado en los SEDS al final del año T, Gg

$DDOCmd_T$: $DDOCm$ depositado en los SEDS durante el año T, Gg

$DDOCma_{T-1}$: $DDOCm$ depositado en los SEDS al final del año T-1, Gg

k : constante de reacción, $k = \ln(2) / t_{1/2}$, Y^{-1}

$t_{1/2}$: tiempo de vida media

Ecuación 33. Contenido orgánico biodegradable (DOC) susceptible de Descomposición del SEDS. (Ecuación 3.2, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$DDOCm = W * DOC * DOC_f * MCF$$

Donde,

$DDOCm$: contenido orgánico biodegradable (DOC) susceptible de Descomposición

W : masa de residuo depositado, Gg

DOC : contenido orgánico biodegradable en el año de deposición, Gg C/Gg residuo

DOC_f : fracción de DOC que puede descomponerse, fracción

MCF : factor de corrección para CH_4 en descomposición aerobia en el año de deposición, fracción

4C. Incineración e incineración (quema) abierta de residuos: el método de nivel 2 del IPCC se utilizó para calcular las emisiones de CO_2 (Ecuación 34) procedentes de la incineración y la combustión al aire libre (las variables son descritas en Tabla 79), puesto que existen datos nacionales sobre las cantidades y las categorías de residuos (peligrosos) específicos. Las emisiones de CH_4 y N_2O se estimaron mediante el nivel 1, utilizando los factores de emisión predeterminados por el IPCC en 2006.

Ecuación 34. Estimación de emisiones de CO_2 de acuerdo con la composición. (Ecuación 5.1, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$Emisiones_{CO_2} = MSW * \sum_i (WF_j * dm_j * CF_j * FCF_j * OF_j) * 44/12$$

Donde,

$Emisiones_{CO_2}$: emisiones de CO_2 para el año base de creación del inventario, Gg/año

MSW : cantidad total de residuos sólidos municipales en peso húmedo incinerados o quemados por incineración abierta, Gg/año. Generación de residuos sólidos per cápita=0.26 toneladas/año. Para el periodo 2016-2050 se usó el promedio histórico de la población que quema residuos (14.35%) y se ajustó de acuerdo con las directrices del IDEAM por un factor (0.6). Estos valores se extrajeron de acuerdo con las directrices del IDEAM y MADS indicadas en los supuestos del escenario de referencia incluidos en el archivo *Supuestos Escenario Referencia_NDC2 (final).xls* y la base de datos suministrada en el archivo *NDC_BD_INGEI_RESIDUOS.xls*.

WF_j : fracción de tipo/material de desechos del componente j en los desechos sólidos municipales

dm_j : contenido de materia seca en el componente j de los desechos sólidos municipales incinerados o quemados por incineración abierta, fracción.

CF_j : fracción de carbono en la materia seca (i.e., contenido de carbono) del componente j, fracción

FCF_j : fracción de carbono fósil en el carbono total del componente j

OF_j : factor de oxidación, fracción

44/12: factor de conversión de C en CO_2

J: componente de los desechos sólidos incinerado/sometido a incineración abierta, como papel/cartón, textiles, entre otros.

4D. Tratamiento y eliminación de las aguas residuales: El método de nivel 1 del IPCC se utiliza para calcular todas las emisiones relacionadas con las aguas residuales (Ecuación 35). Para calcular la categoría 4D1, se tienen en cuenta básicamente cinco tipos de subcategorías:

- Aguas residuales urbanas conectadas a sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales;
- Aguas residuales urbanas conectadas a sistemas de alcantarillado, pero que no van a parar a plantas de tratamiento de aguas residuales;
- Aguas residuales urbanas no conectadas a sistemas de alcantarillado;
- Aguas residuales rurales conectadas a sistemas de alcantarillado, pero que no van a parar a plantas de tratamiento de aguas residuales;
- Aguas residuales urbanas no conectadas a sistemas de alcantarillado.

Ecuación 35. Emisiones totales de CH₄ proveniente de aguas residuales domésticas. (Ecuación 6.1, Volumen 5-Desechos, IPCC 2006)

$$Emisiones_{CH_4} = \left[\sum_{i,j} (U_i * T_{i,j} * EF_j) \right] * (TOW - S) - R$$

Donde,

$Emisiones_{CH_4}$: emisiones de CH₄ para el año base de creación del inventario, kg CH₄/año

TOW : total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg DBO/año

S : componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg DBO/año

U_i : fracción de la población del grupo de ingresos i en el año del inventario

$T_{i,j}$: grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j , para cada fracción de grupo de ingresos i en el año del inventario

i : grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos

j : cada vía o sistema de tratamiento/eliminación

EF_j : factor de emisión, kg CH₄/kg DBO

R : cantidad de CH₄ recuperado durante el año del inventario, kgCH₄/año

Todas las ecuaciones se ejecutan directamente en LEAP. Todas las variables, los parámetros y las hipótesis necesarios para realizar estos cálculos se recalculan en un archivo de Excel. En este archivo, se explica la relación entre los datos brutos proporcionados por los centros de referencia estatales y los valores finales que se utilizan en LEAP, y se documentan el razonamiento de los cálculos, las hipótesis y las referencias de los datos y de la información. Junto con las versiones finales del archivo LEAP, se entregará el archivo Excel complementario para el sector de los residuos.

→ **Datos sobre actividades sectoriales**

El cálculo de las emisiones de GEI procedentes del sector de los residuos sólidos depende fundamentalmente de dos factores: la cantidad de residuos depositados en rellenos sanitarios (generación de residuos) y el contenido orgánico biodegradable (DOC) de los residuos. Este DOC se caracteriza fundamentalmente por la composición de los residuos y la constante de generación de metano (valor k), que depende de la zona climática en la que se traten los residuos (Ver Tabla 75).

Tabla 75. Valores DOC y K por zona climática

	Alimentos	Jardines y parques	Madera	Panales	Papel y cartón	Plásticos y otros	Textiles
Composición residuos – nacional	56.26	7.75	2.80	1.01	7.58	0.00	3.00

Composición residuos – tropical seco	57.69	7.54	3.50	0.68	7.54	20.73	2.32
Composición residuos – húmedo y seco	56.00	8.59	2.86	1.64	7.19	21.20	2.53
Composición residuos – temperatura seca	54.14	8.70	3.25	1.49	8.06	22.27	3.31
Composición residuos - temperatura húmeda	56.24	6.44	2.46	0.12	8.21	22.63	3.98
DOC General	0.15	0.20	0.43	0.24	0.40	0.00	0.24
k- temperatura seca	0.06	0.05	0.02	0.05	0.04	0.00	0.04
k- tropical seco	0.09	0.07	0.03	0.07	0.05	0.00	0.05
k- húmedo y seco	0.40	0.17	0.04	0.17	0.07	0.00	0.07
k- temperatura húmeda	0.19	0.10	0.03	0.10	0.06	0.00	0.06

Fuente: (IDEAM et al., 2018; Pulido et al., 2019).

La incineración se calcula sobre la base de la cantidad de residuos que se incinerarán o quemarán, y el tipo o la composición de los residuos determinan el factor de emisión (FE). Para la categoría 4C1, la metodología no proporciona factores de emisión para CH₄ y N₂O. Así las cosas, se asumió que el funcionamiento de los incineradores está controlado y, por tanto, estos no generan esas emisiones de GEI.

La contabilidad de GEI de las aguas residuales domésticas es una combinación de un FE que depende de la tecnología de tratamiento y de la cantidad de demanda biológica de oxígeno (DBO, o BOD por sus siglas en inglés) que se tratará con una tecnología de tratamiento concreta. En el caso del tratamiento de aguas residuales industriales, el enfoque es similar. Las emisiones de GEI se pueden calcular sobre la base de la cantidad de materia orgánica biodegradable que se encuentra en las aguas residuales (valor TOW) y un FE que depende de la actividad industrial que produce el flujo de aguas residuales (Ver Tabla 76).

Tabla 76. Distribución de participación para el tratamiento de aguas residuales en LEAP

Nivel	Participación en Nivel (%)
Con Alcantarillado	82.64
<i>DIGESTOR ANAEROBICO DE LODOS - CH₄</i>	11.01
SAN FERNANDO (EPM)	20.12
SALITRE (EAAB)	66.38
CAÑAVERALEJO (EMCALI)	13.50
<i>REACTOR ANAEROBIO - CH₄</i>	1.10
RIO FRIO (EMBAS)	100
<i>DIGESTOR ANAEROBICO DE LODOS</i>	0.12
<i>LAGUNA ANAEROBIA POCO PROFUNDA</i>	5.07
<i>LAGUNA ANAEROBIA PROFUNDA</i>	4.79
<i>PLANTA DE TRATAMIENTO CENTRALIZADO</i>	5.25
AEROBIO	
<i>REACTOR ANAEROBIO</i>	5.21
RIO-MAR-LAGO	67.46
Sin Alcantarillado	17.36

LETRINA; RIO-MAR-LAGO; SISTEMA SEPTICO	100
Con Alcantarillado	14.53
RIO-MAR-LAGO	100
Sin Alcantarillado	85.47
LETRINA; RIO-MAR-LAGO; SISTEMA SEPTICO	100

Fuente: elaboración propia a partir de información del IDEAM.

Cada categoría de residuo se caracteriza y se calcula a partir de datos de actividad. En la Tabla 77 se resumen todos los datos de actividades utilizados para desarrollar el modelo de emisiones de GEI asociados a los residuos por categoría LEAP. Las especificaciones, los valores y las hipótesis numéricas se encuentran en el archivo Excel que complementa la estructura LEAP.

Tabla 77. Datos de actividades para el sector de los residuos sólidos y las aguas residuales

Categoría LEAP	Datos de actividades	Fuente
4A1a. Rellenos sanitarios regionales	Composición de los residuos para cada SEDS	Base de datos original: NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos). Actualizaciones a los datos se incluyen en el archivo de Excel anexo: Workdocument_template_waste(v12_final)).
	Generación de residuos para cada SEDS	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Cantidad de metano recuperado para cada SEDS (R)	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Vida útil del sitio de disposición	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
4A1b. Rellenado sanitario local - planta integral - celda de contingencia	Rellenos sanitarios cerrados e históricos	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Composición de los residuos para cada zona climática	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Generación de residuos para cada zona climática	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
4A3. Sitios no categorizados de eliminación de desechos	Vida útil del sitio de disposición	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Composición de los residuos para cada zona climática	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Generación de residuos para cada zona climática	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
4C1. Incineración de los residuos	Vida útil del sitio de disposición	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Generación de residuos para cada zona climática	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)

Categoría LEAP	Datos de actividades	Fuente
	categoría de residuos peligrosos	
	Fuente industrial de FE	Cálculo basado en valores predeterminados del IPCC (IPCC, 2006)
4C2. Combustión de residuos al aire libre	Combustión al aire libre de residuos per cápita	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)
	Proporción de hogares que queman sus residuos	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Composición de los residuos	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
4D1. Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	DBO (BOD, por sus siglas en inglés) por persona	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	FE por tecnología de tratamiento	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Proporción distribuida por tecnología de tratamiento	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Eliminación y tratamiento de lodo (S)	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Cantidad de CH ₄ recuperado (R)	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
4D2. Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	Materia orgánica biodegradable en las aguas residuales (TOW) basada en la demanda química de oxígeno -DQO (COD, por sus siglas en inglés), las aguas residuales generadas (W) y la cantidad total del producto industrial (P)	Cálculo basado en la base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	FE asociado a una Actividad industrial	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)
	Eliminación y tratamiento de lodo (S)	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)

Categoría LEAP	Datos de actividades	Fuente
	Cantidad de CH ₄ recuperado (R)	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM (ver Anexos)

Fuente: elaboración propia.

→ **Metodología de referencia sectorial: factores determinantes e hipótesis**

Las hipótesis de referencia (R1, R2 y R3) que se describen en el capítulo 2 de este informe solo se basan en las proyecciones de crecimiento demográfico, PIB y oferta de hidrocarburos. El crecimiento demográfico será el parámetro principal para el sector de los residuos y tendrá un efecto importante sobre las proyecciones. Por tanto, el crecimiento demográfico se considerará el factor determinante principal para las distintas categorías de residuos.

Tabla 78. Factores determinantes para el sector residuos

Categoría LEAP	Factor determinante
4A1a. Rellenos sanitarios regionales	Crecimiento demográfico (DANE, 2020b).
4A1b. Relleno sanitario local - planta integral - celda de contingencia	Crecimiento demográfico (DANE, 2020b).
4A3. Sitios no categorizados de eliminación de desechos	Crecimiento demográfico (DANE, 2020b).
4C1. Incineración de los residuos	Crecimiento demográfico (residuos hospitalarios), actividad industrial (crecimiento del PIB sectorial, extracción de carbón y extracción de petróleo) (DNP, 2020).
4C2. Combustión de residuos al aire libre	Crecimiento demográfico (DANE, 2020b).
4D1. Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	Crecimiento demográfico (DANE, 2020b).
4D2. Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	Actividad industria manufacturera (crecimiento del PIB) (DNP, 2020).

Fuente: elaboración propia.

A la hora de calcular los valores, tanto los datos de actividades como los factores de emisión del sector de los residuos dependen de varios parámetros y valores. La mayor parte de los valores utilizados para realizar los cálculos se enlistan en la Tabla 79.

Tabla 79. Variables y parámetros que respaldan el cálculo para el sector residuos

Variable	Hipótesis	Fuente
4A1a. Rellenos sanitarios regionales y 4A1b. Rellenado sanitario local - planta integral - celda de contingencia		
Generación total de residuos	0.26 tonelada/persona/año	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)
MCF (factor de corrección del metano)	1	valor predeterminado del BUR2 (Pulido et al., 2019); IPCC (IPCC, 2006) y Minambiente

Variable	Hipótesis	Fuente
DOCF (fracción de DOC disimilada)	0.5	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
F (fracción de CH ₄ en gas de vertedero)	0.5	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
OX (factor de oxidación)	0	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM

4A3. Sitios no categorizados de eliminación de desechos

DOCF, F, OX	Parámetros idénticos que en 4A1	
MCF (factor de corrección del metano)	0.6	valor predeterminado del BUR2 (Pulido et al., 2019); IPCC (IPCC, 2006)

4C1. Incineración de los residuos

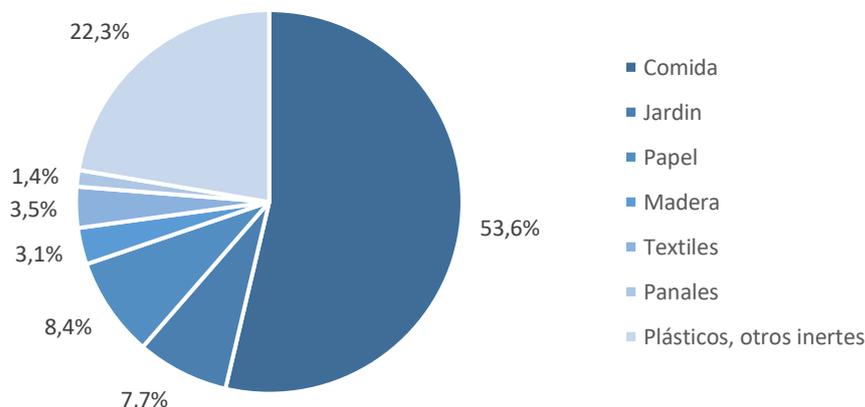
dm (contenido de materia seca)	por tipo de residuo	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
CF (contenido total de carbono)	por tipo de residuo	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
FCF (fracción de carbono fósil en la cantidad total de carbono)	por tipo de residuo	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
OF (factor de oxidación)	1	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)

4C2. Incineración (quema) abierta de residuos

Dm, CF, FCF	Algunos parámetros como 4C1	
OF (factor de oxidación)	0.58	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)
FE N ₂ O	150 kg N ₂ O/Gg	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
FE CH ₄	6,500 kg CH ₄ /Gg	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM

Variable	Hipótesis	Fuente
----------	-----------	--------

Composición de residuos - nacional



4D1. Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas

DBO (BOD, por sus siglas en ingles)	14.6 kg DBO/cap./año	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
Factor de corrección para DBO industrial adicional vertida a través de sistemas de alcantarillado	1.25	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)
Factor de corrección para DBO industrial adicional vertida sin sistemas de alcantarillado	1.00	Valor predeterminado del IPCC (IPCC, 2006)
FE CH ₄	En función del tipo de tratamiento	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
FE N ₂ O	0.005 kg N ₂ O/kg N	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM
Consumo anual de proteínas per cápita	25.58 kg/persona/año	Base de datos NDC_BD_INGEI_RESIDUOS brindada por IDEAM

4D2. Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales

FE CH ₄	En función de la fuente industrial
--------------------	------------------------------------

Fuente: (IDEAM et al., 2018; IPCC, 2006; Pulido et al., 2019).

CAPITULO 4 RESULTADOS

En el presente capítulo se describen los principales resultados para el escenario de referencia. Inicialmente se describen los resultados generales para Colombia, y posteriormente se describen los principales hallazgos para cada uno de los sectores de análisis.

4.1. PRINCIPALES RESULTADOS DEL ESCENARIO REFERENCIA

El escenario de Referencia resulta en un total nacional de 345,801 GgCO₂eq para 2030. Para este año AFOLU representa la mayoría de las emisiones (50%), seguido de la categoría Energía (36%). La categoría que presenta el mayor cambio es IPPU, 95% respecto a 2015. Este cambio se explica con mayor detalle en la sección de resultados IPPU. Las demás categorías presentan variaciones similares, en promedio 45% respecto a 2015. A continuación se presentan las emisiones totales en diferentes unidades por tipo de gas de efecto invernadero.

Tabla 80. 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.

Tabla 81. Emisiones dióxido carbono por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCO₂.

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	74,649	76,122	94,456	114,302
i{2} IPPU	6,838	6,102	8,371	9,953
i{3} AFOLU	61,784	102,448	112,009	97,616
i{4} Residuos	501	542	568	593
Total	143,772	185,213	215,405	222,464

Fuente: elaboración propia.

Tabla 82. Emisiones metano por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgCH₄.

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
i{1} Energía	401	418	403	348
i{2} IPPU	0	0	1	1
i{3} AFOLU	1,390	1,714	1,910	1,964
i{4} Residuos	661	731	859	959
Total	2,452	2,863	3,172	3,271

Fuente: elaboración propia.

Tabla 83. Emisiones óxido nitroso por categoría principal IPCC (2015-2030) en GgN₂O.

IPCC nivel 1	2015	2020	2025	2030
--------------	------	------	------	------

i{1} Energía	3	3	3	3
i{2} IPPU	2	2	3	3
i{3} AFOLU	65	75	79	83
i{4} Residuos	2	2	2	2
Total	72	83	87	91

Fuente: elaboración propia.

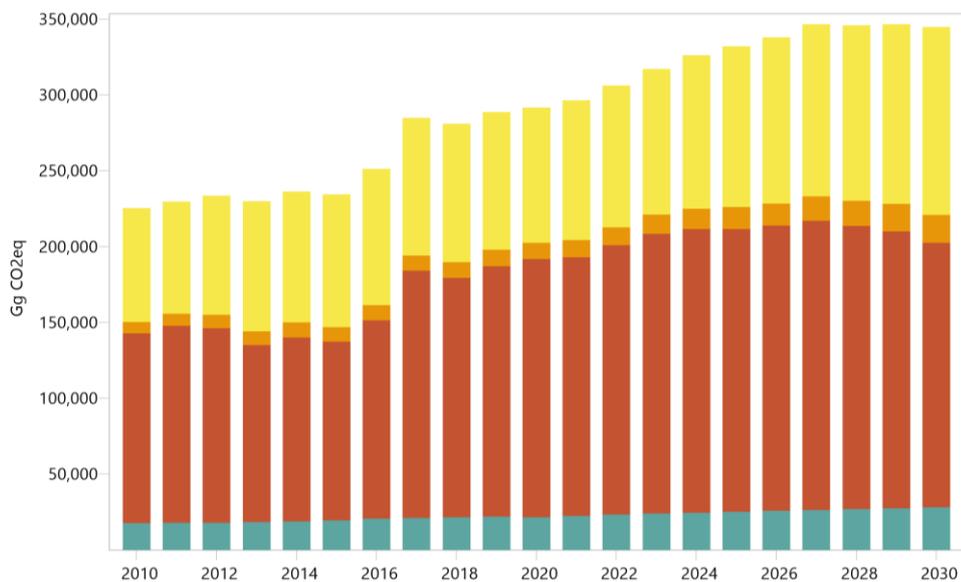


Figura 62. Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2030)

Fuente: elaboración propia.

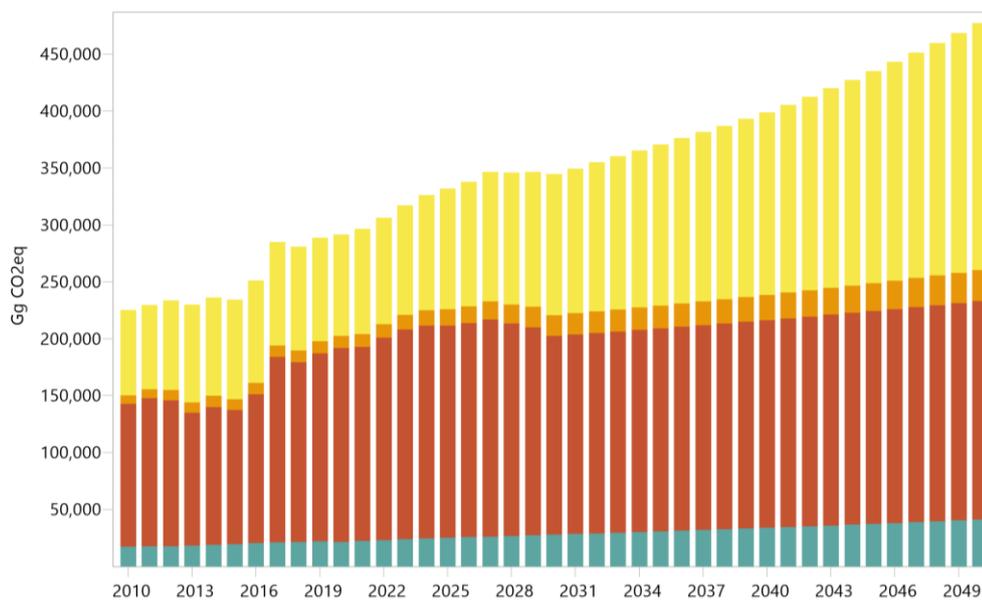


Figura 63 Emisiones totales por categoría principal IPCC (2015-2050)

Fuente: elaboración propia

Los resultados de las emisiones directas de GEI por asignación a los diferentes ministerios y sectores se puede ver en la Figura 64. Esto es resultado de la homologación de las categorías IPCC y la asignación ministerial establecida. La reducción inicial para Minenergía se debe a la entrada en operación de Hidro Ituango, lo cual se explica con mayor detalle en el Capítulo 3 – Generación

Eléctrica. La reducción en 2030 para el Ministerio de Agricultura y Deforestación se deben principalmente a la conversión de tierras forestales.

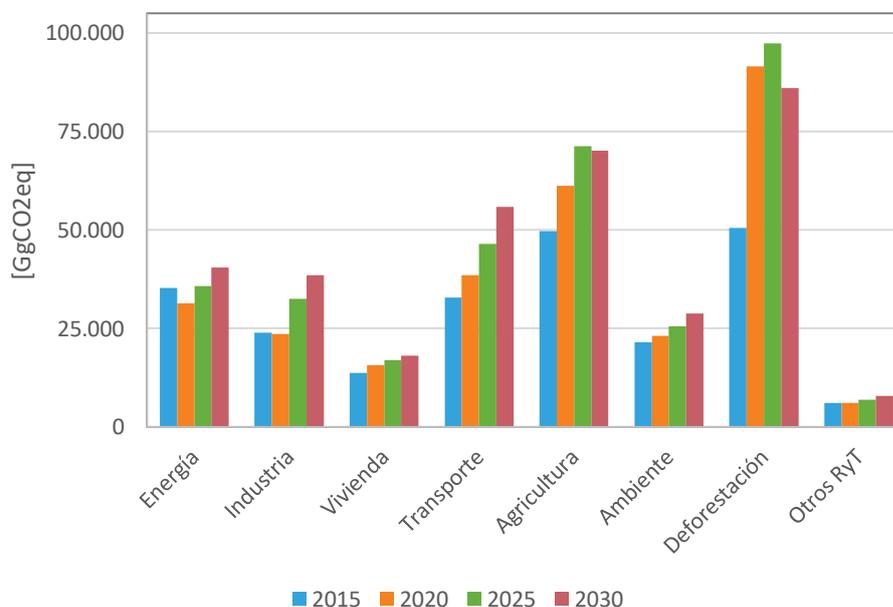


Figura 64. Emisiones por asignación ministerial para el periodo 2010-2030.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 84. Emisiones directas GEI por asignación ministerial

Asignación	2015	2020	2025	2030	2050
Energía	35,239	31,414	35,797	40,459	58,073
Industria	23,981	23,605	32,455	38,576	72,992
Vivienda	13,737	15,636	16,924	18,167	22,369
Transporte	32,929	38,554	46,394	55,846	108,693
Agricultura	49,660	61,205	71,249	70,183	83,986
Ambiente	21,472	23,202	25,555	28,790	34,831
Deforestación	50,499	91,522	97,332	85,955	85,955
Otros RyT	6,069	6,159	6,992	7,823	11,682
Total	233,586	291,297	332,697	345,801	478,582

Fuente: elaboración propia.

Tabla 85. Emisiones indirectas GEI MinVivienda

Asignación	2015	2020	2025	2030	2050
Indirectas Min_Vivienda	3,790	2,236	3,403	5,698	11,731
Indirectas Otros RyT	5,349	3,714	4,855	6,714	10,320

Fuente: elaboración propia.

Tabla 86. Asignaciones en estructura de árbol LEAP para 2030.

	Otro R&T	Def.	MinAmb.	MinAgr	MinTrans	MinViv	MinInd	MinEne	Total
Demanda	7,799	-	-	2,673	55,846	1,106	18,330	7,066	92,822
Coquerías y Refinerías {1A1b y 1A1ci}	-	-	-	-	-	-	-	4,289	4,289
Industria {1A2}	311	-	-	-	-	-	18,330	2,777	21,419
Transporte{1A3}	-	-	-	-	55,846	-	-	-	55,846
Terciario {1A4a}	629	-	-	-	-	1,093	-	-	1,721
Residencial {1A4b}	6,859	-	-	-	-	14	-	-	6,873
Agricultura pesca {1A4c}	-	-	-	2,673	-	-	-	-	2,673
No especificado {1A5}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No Energía	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transformación	-	-	-	-	-	-	-	23,148	23,148
Autoconsumo electricidad {1A1cii}	-	-	-	-	-	-	-	748	748
Elec ZNI generación {1A1a}	-	-	-	-	-	-	-	228	228
Elec SIN generación {1A1a}	-	-	-	-	-	-	-	17,276	17,276
Carbón Leña producción {1A1ci}	-	-	-	-	-	-	-	9	9
Coque producción {1A1ci}	-	-	-	-	-	-	-	1,443	1,443
Carbón Extracción {1A1cii}	-	-	-	-	-	-	-	1,261	1,261
Autoconsumo combustibles fósiles {1A1cii}	-	-	-	-	-	-	-	1,928	1,928
Autoconsumo tuberías {1A3ei}	-	-	-	-	-	-	-	256	256
Emissiones Fugitivas {1B}	-	-	-	-	-	-	-	8,833	8,833
Combustibles Sólidos {1B1}	-	-	-	-	-	-	-	3,909	3,909
Petróleo y Gas Natural {1B2}	-	-	-	-	-	-	-	4,924	4,924
IPPU{2}	24	-	7,686	-	-	-	9,285	1,412	18,407
Industria de los minerales {2A}	-	-	-	-	-	-	6,855	-	6,855
Industria Química {2B}	-	-	-	-	-	-	1,316	123	1,439
Industria de los metales {2C}	-	-	-	-	-	-	1,113	1,288	2,402
Uso de productos No energéticos de combustibles y de solvente {2D}	24	-	-	-	-	-	1	-	25
Uso de productos sustitutos SAO {2F}	-	-	7,686	-	-	-	-	-	7,686
AFOLU {3}	-	85,955	21,035	67,510	67,510	-	-	-	174,500
Ganadería {3A}	-	-	-	56,562	56,562	-	-	-	56,562
Tierra {3B}	-	85,955	20,186	-8,526	-8,526	-	-	-	97,616
Emissiones de no_CO2 provenientes de la tierra {3C}	-	-	849	19,473	19,473	-	-	-	20,322
Desechos {4}	-	-	70	-	-	17,061	10,961	-	28,091
Eliminación Desechos Sólidos {4A}	-	-	-	-	-	13,506	-	-	13,506
Tratamiento biológico de desechos sólidos {4B}	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Incineración e incineración abierta {4C}	-	-	70	-	-	800	-	-	870
Tratamiento y eliminación aguas residuales {4D}	-	-	-	-	-	2,755	10,961	-	13,716
Total	7,823	85,955	28,790	70,183	55,846	18,167	38,576	40,459	345,801

Fuente: elaboración propia.

En las siguientes secciones se presentan los resultados para cada uno de los sectores.

4.2. SUMINISTRO DE ENERGÍA: INDUSTRIAS DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

4.2.1. GENERACIÓN ELÉCTRICA

La energía producida en la actividad de generación eléctrica se muestra en la Figura 65. La figura muestra la energía entregada por el SIN, la que se produce en los procesos de auto- y cogeneración y la energía en las ZNI. Esta última, participa marginalmente en el volumen de energía total, con un 0.2% sobre el total de la energía generada en 2030. La Tabla 87 muestra la generación de electricidad por categoría.

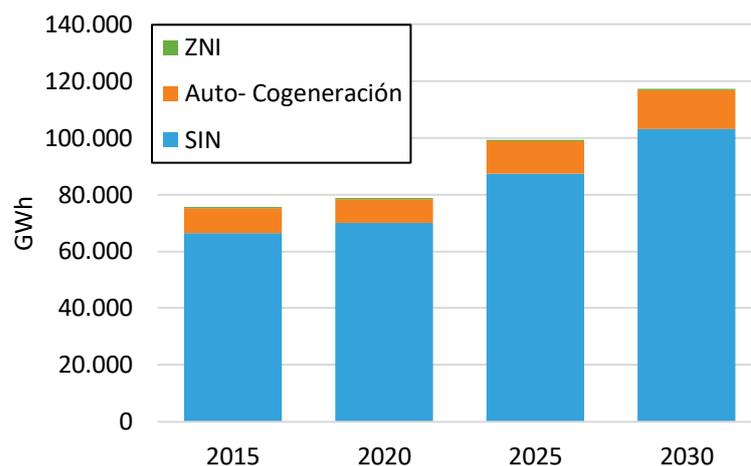


Figura 65. Energía generada por categoría en electricidad. Fuente: elaboración propia a partir del modelo en LEAP

Tabla 87. Energía generada por categoría en electricidad (GWh)

Categoría	2015	2020	2025	2030
SIN	66,417	70,029	87,303	103,042
Auto- Cogeneración	8,826	8,363	11,579	13,820
ZNI	363	371	377	387

Sin embargo, dado el alto componente de hídrico en el SIN, la Figura 66 muestra únicamente la energía asociada a las plantas térmicas en el SIN, de los procesos de auto- y cogeneración y ZNI. En 2030, el 31% de la energía térmica generada se encuentra en los procesos de auto- y cogeneración. La Tabla 88

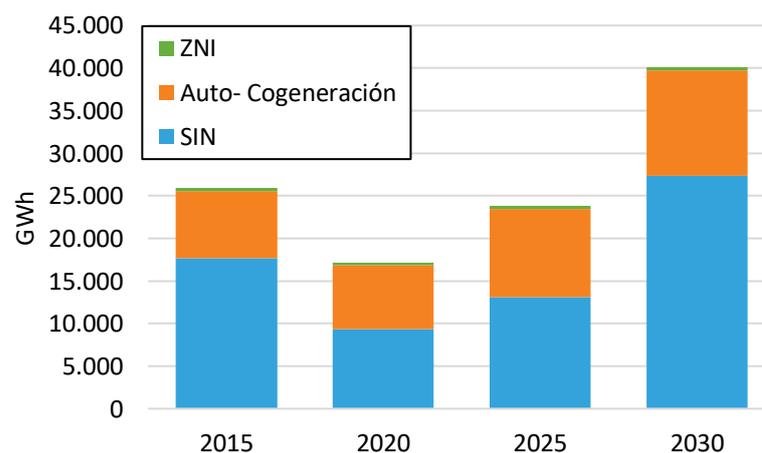


Figura 66. Energía proveniente de la capacidad térmica por actividad Fuente: elaboración propia.

Tabla 88. Energía generada por categoría en electricidad a partir de generación térmica (GWh)

Categoría	2015	2020	2025	2030
SIN	17,657	9,330	13,096	27,372
Auto- Cogeneración	7,899	7,484	10,363	12,368
ZNI	349	353	355	361

En la Figura 68, se muestra la energía proveniente de la capacidad térmica por tipo de combustible, incluyendo la energía entregada por el SIN, la que se produce en los procesos de auto- y cogeneración

y la energía en las ZNI. Es interesante observar que la energía proveniente del gas natural mantiene su participación a 2050. La participación por tipo de combustible se muestra en la Tabla 89.

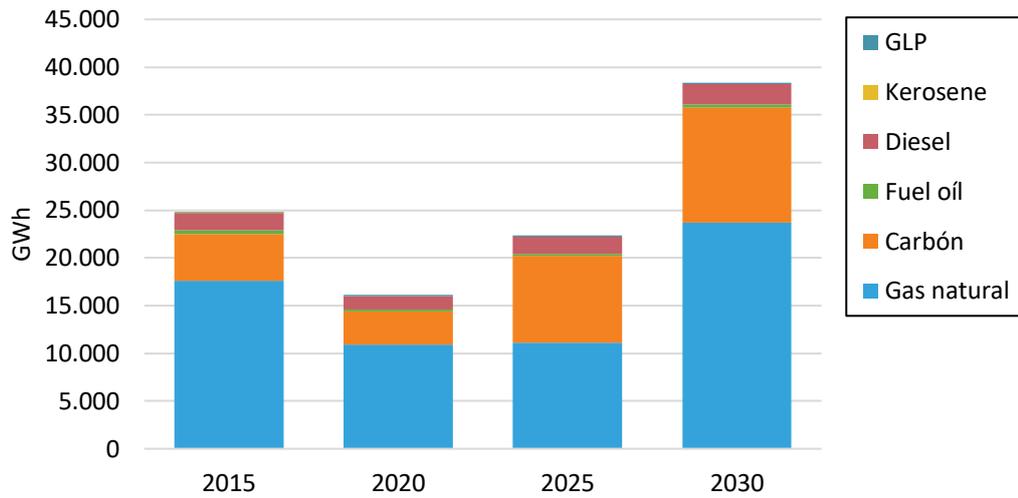


Figura 67. Energía proveniente de la capacidad térmica por tipo de combustible
Fuente: elaboración propia.

Tabla 89. Energía generada a partir de generación térmica por tipo de combustible (GWh)

Categoría	2015	2020	2025	2030
Gas natural	17,634	10,892	11,101	23,697
Carbón	4,838	3,526	9,141	12,079
Fuel oil	429	193	199	340
Diesel	1,790	1,415	1,792	2,097
Kerosene	9	0	0	0
GLP	89	84	117	139

Finalmente, como lo muestra la Figura 68, en el escenario de referencia el comportamiento de las emisiones es similar a las emisiones resultantes del escenario 1.1 de la UPME, considerando que dicho escenario es la base para la construcción de la referencia.

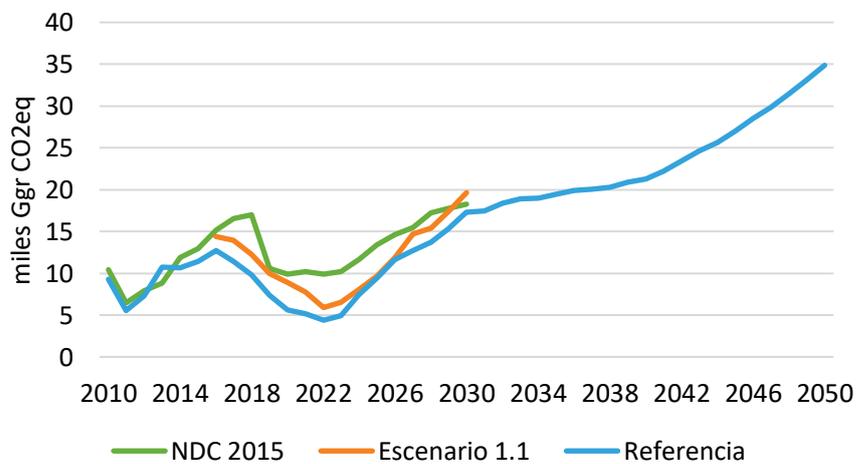


Figura 68. Trayectoria de emisiones resultante el SIN para el escenario de referencia
Fuente: elaboración propia.

Un comportamiento agregado de las emisiones en el SIN y para las ZNI se muestra en la Figura 69. Dado que la participación de las ZNI en la generación de electricidad es marginal, también lo son sus emisiones. Las emisiones que resulta de la actividad de auto- y cogeneración se contabilizan en el lado de la demanda.

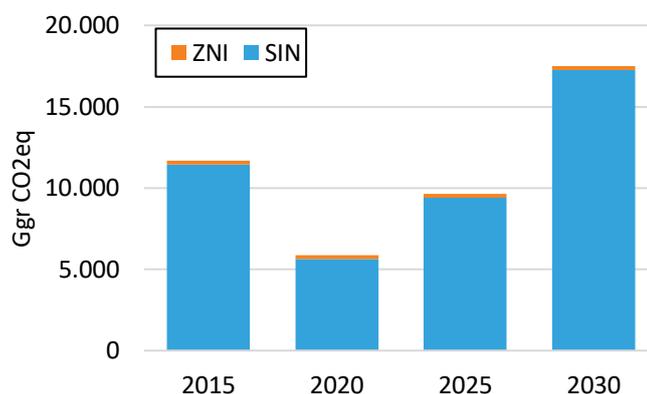


Figura 69. Emisiones agregadas SIN y ZNI para el escenario de referencia
Fuente: elaboración propia.

Tabla 90. Emisiones agregadas SIN y ZNI para el escenario de referencia (Gg CO2eq)

Categoría	2015	2020	2025	2030
SIN	11,450	5,648	9,403	17,276
ZNI	223	221	222	228

Sin embargo, vale la pena observar el combustible predominante en las emisiones es el consumo de carbón como los muestra la Figura 70. Los valores de la figura se muestran en la Tabla 91.

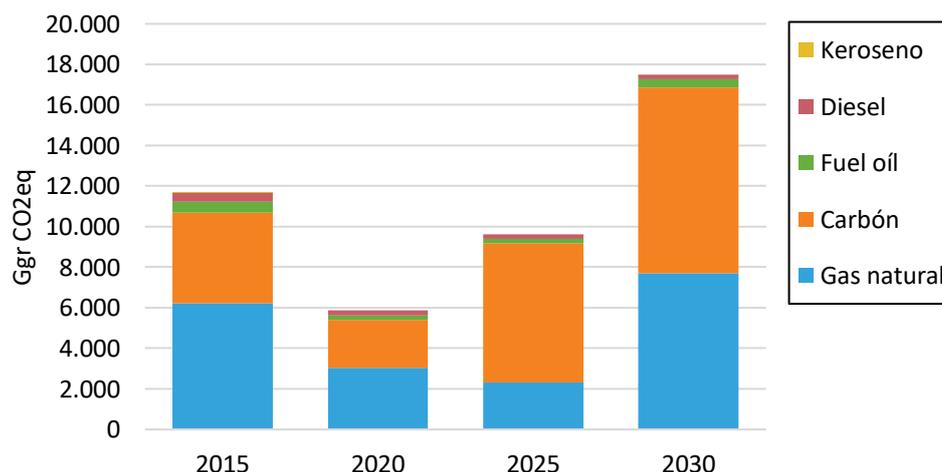


Figura 70. Emisiones agregadas SIN y ZNI por tipo de combustible
Fuente: elaboración propia.

Tabla 91. Emisiones agregadas SIN y ZNI por tipo de combustible (Gg CO2eq)

Categoría	2015	2020	2025	2030
Gas natural	6230	3032	2307	7693
Carbón	4467	2376	6863	9173
Fuel oil	543	224	231	395
Diesel	428	236	224	240
Keroseno	6	0	0	0

4.2.2. TRANSFORMACIÓN DE COMBUSTIBLES SOLIDOS

Las emisiones resultantes de la producción de coque y carbón de leña se asocian a la producción de dichos combustibles. Las coquerías emitieron en 2015 un total de 1,376 GgCO₂eq provenientes de las emisiones relacionadas a la materia prima (860 GgCO₂eq) y su consumo energético (516 GgCO₂eq). Para 2030, las emisiones aumentaron en casi un 30% para 2030, siendo así 1,803 GgCO₂eq. A 2050 las emisiones son aproximadamente el doble (3,704 GgCO₂eq). El aumento en emisiones se da debido a las proyecciones de producción y exportación, asociadas a la producción de carbón metalúrgico.

Las emisiones de producción de carbón de leña en 2015 son 15 GgCO₂eq, estas no presentan una variación considerable a 2030 y 2050, siendo estas 9 GgCO₂eq y 14 GgCO₂eq, respectivamente. La disminución se debe a la reducción de la demanda en el sector industrial.

4.2.3. REFINACIÓN DE PETRÓLEO

Las emisiones de las refinerías en Colombia se mantienen estables a partir de 2020, dado que se prevé que estas alcancen su capacidad máxima, y sin modificaciones en sus patrones de consumo o cambios en capacidad de refinación, las emisiones son de 3,929 GgCO₂eq en 2030. Esto equivale a un incremento del 26% respecto a los valores de 2015 (3,123 GgCO₂eq).

4.2.4. EXTRACCIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y REFINACIÓN DE PETRÓLEO

En la categoría “1A1cii Otras industrias de la energía” se incluyen las emisiones relacionadas a Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural, al igual que a la producción de carbón. Estas categorías se modelaron en LEAP tanto en el sector de demanda como en el sector de transformación. Las emisiones asociadas a la extracción de carbón aumentan en promedio 1.3% por año desde 2015 a 2050, para 2015 las emisiones son 1,112 GgCO₂eq, mientras que estas alcanzan a ser 1,294 GgCO₂eq a 2030.

Las emisiones relacionadas a la extracción de petróleo y gas natural presentan un comportamiento diferente. Dada la reducción de la producción nacional para ambos casos, las emisiones se reducen como se puede apreciar en la Tabla 92.

Tabla 92. Emisiones de GEI en GgCO₂eq asociadas a la extracción de petróleo y gas natural.

	2015	2020	2025	2030	2050
Gas Natural	3,047	3,790	3,893	1,782	117
AUT_COG	1,649	882	928	748	49
Total	4,696	4,672	4,821	2,530	166

Fuente: elaboración propia.

4.3. DEMANDA DE ENERGÍA

4.3.1. INDUSTRIA

Para la categoría de industrias manufactureras y de la construcción 1A2, en el escenario de referencia, se espera que la demanda de energía final al 2030 esté alrededor de 446 PJ con una tasa de crecimiento anual equivalente de 2.98% respecto al 2015.

El sector de alimentos, bebidas y tabaco es el mayor consumidor de energía final de la categoría 1A2 seguido de los sectores de minerales no metálicos y minería, y en conjunto estos tres representan alrededor del 65% de la demanda total de energía final (Ver Figura 71).

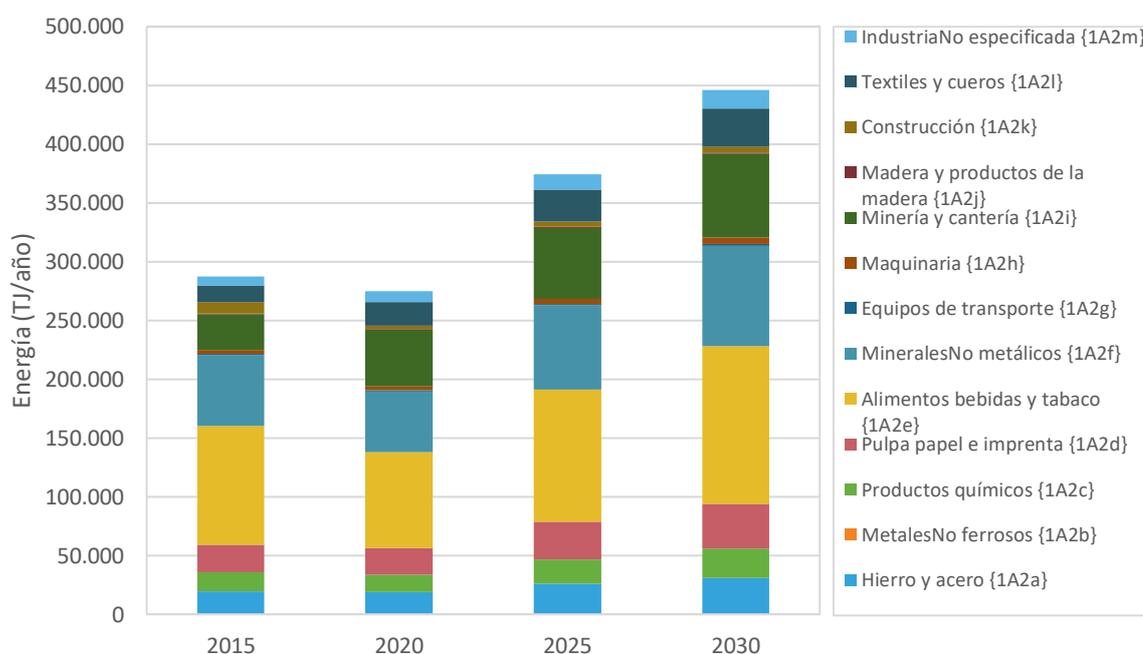


Figura 71. Consumo energético de la industria por subsectores en el escenario de referencia.

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la demanda de energía final por energéticos, se encuentra que el carbón, gas natural y bagazo son los principales combustibles consumidos en la industria, destinados para usos térmicos, y representan alrededor del 65% de la energía total. Igualmente, la demanda de electricidad (del sistema interconectado nacional y por auto & cogeneración) para usos principalmente en fuerza motriz, iluminación, refrigeración y aire acondicionado, corresponde aproximadamente al 25% de la energía total, y el 10% restante en el consumo de diésel y otros energéticos para usos varios (ver Figura 72)

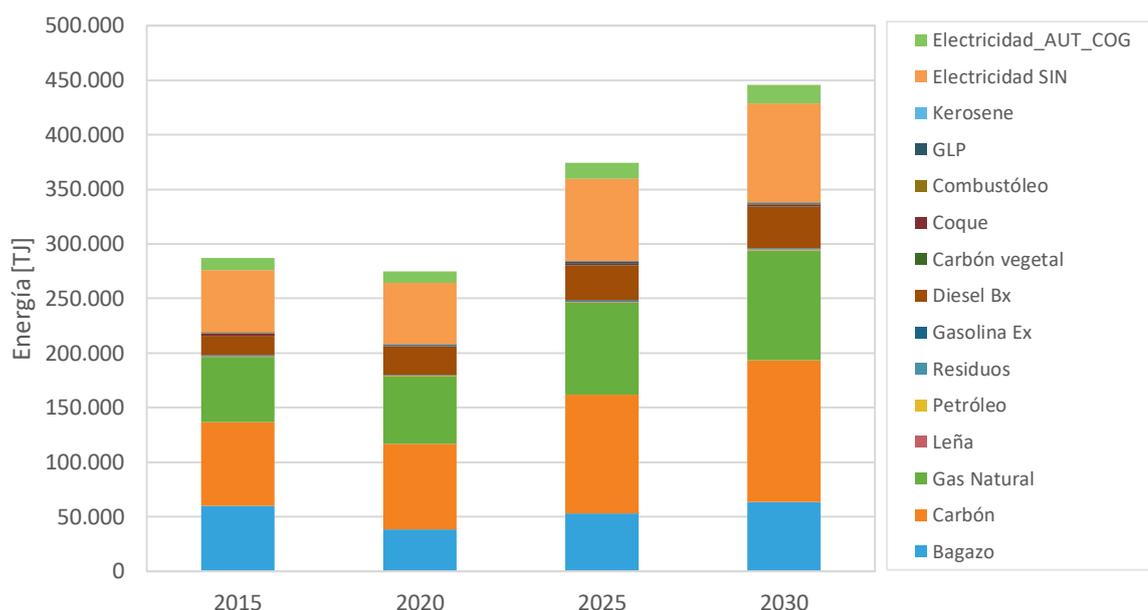


Figura 72. Consumo energético de la industria por energéticos en el escenario de referencia.
Fuente: elaboración propia.

En términos de emisiones de gases efecto invernadero, las industrias de: minerales no metálicos, alimentos bebidas y tabaco, minería y cantería, pulpa papel e imprenta, y textiles y cueros, son las que más emisiones reportan en su respectivo orden y representan alrededor del 85% de las emisiones de la categoría 1A2 (ver Figura 73).

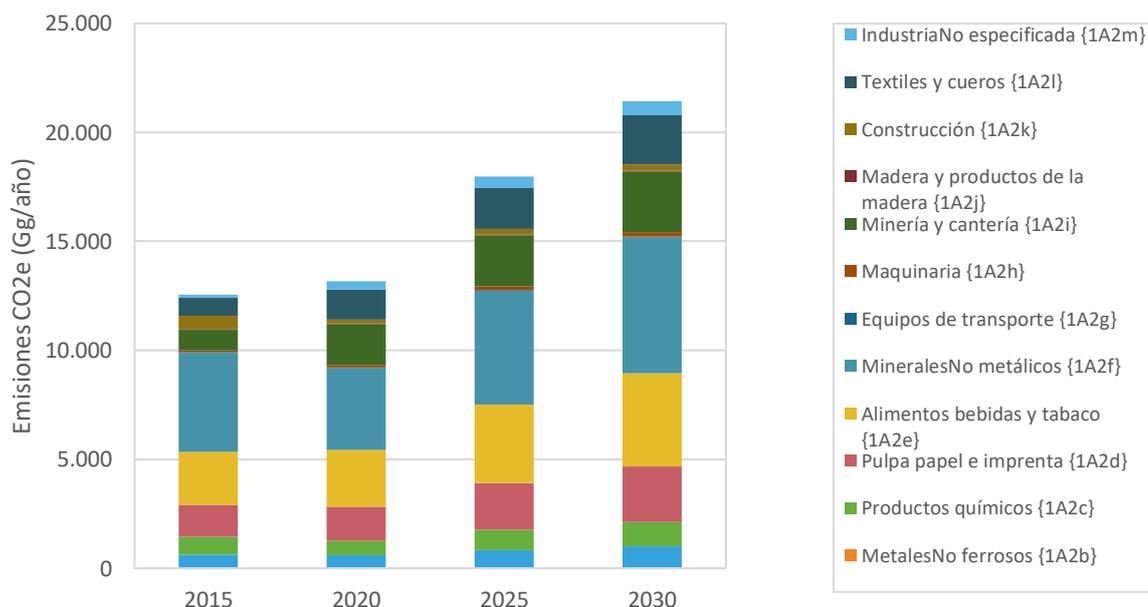


Figura 73. Emisiones CO₂eq de la industria por subsector en el escenario de referencia.
Fuente: elaboración propia.

Analizando las emisiones de gases efecto invernadero de la categoría 1A2 por energético, es evidente el rol que tienen los combustibles fósiles siendo el consumo del carbón la mayor fuente de emisiones con el 54% aprox. seguido del gas natural con 26% y el diésel con 12% (Ver Figura 74). El restante de emisiones se reparte entre electricidad por auto & cogeneración y otros energéticos.

Las emisiones de gases efecto invernadero para la categoría 1A2 crecen en promedio a una tasa anual equivalente de 3.62% entre el 2015 y el 2030 para el escenario de referencia.

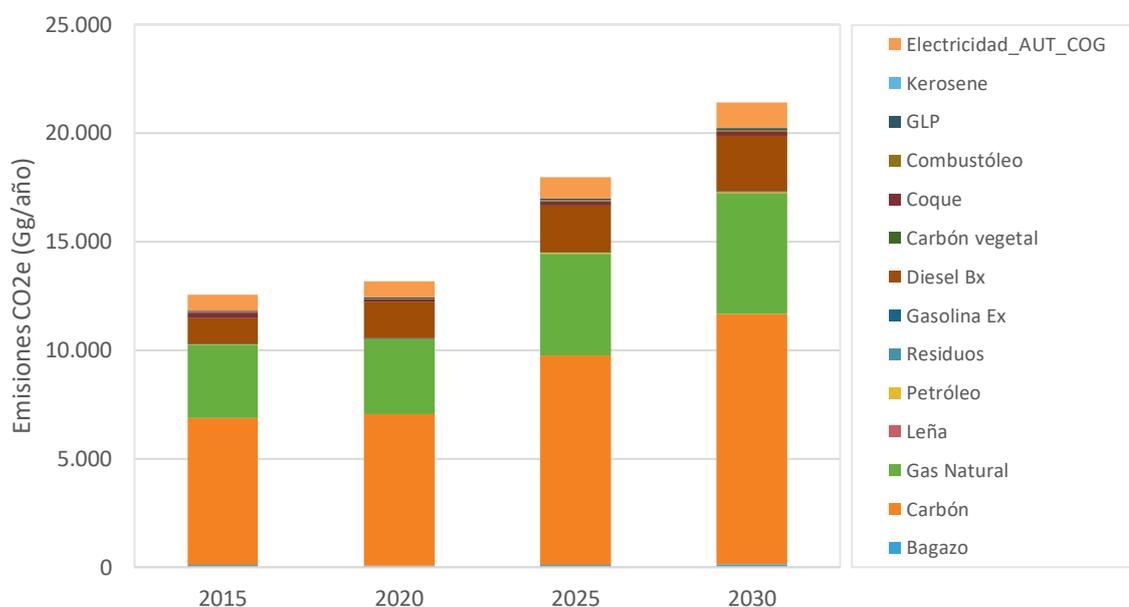


Figura 74. Emisiones CO₂e de la industria por combustible en el escenario de referencia.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo como referencia las emisiones de GEI para la categoría 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción para el año 2014 estimadas en el BUR 2 (ver Tabla 94), se estimaron las emisiones para el mismo año y las mismas subcategorías con base en el modelo construido en LEAP que hace parte de este estudio (ver Tabla 93).

Considerando que en el BUR2 se utilizaron valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP) de 21 para CH₄ y 310 para N₂O (IPCC AR2), y para el escenario de referencia en LEAP se usaron los nuevos valores de 28 para CH₄ y 265 para N₂O (IPCC AR5), para hacer los valores comparables se estimaron las emisiones con ambos GWP para hacer los resultados comparables (ver Tabla 93).

Como resultado, se encuentra que las emisiones estimadas en LEAP y las del BUR2 tienen diferencias sutiles entre subsectores y solo para el subsector 1A2i Minería se observa una diferencia considerable que se explica en las diferentes fuentes de información. El BUR2 utilizó como fuente el Sistema de Información de Combustibles Líquidos SICOM mientras que la estimación en LEAP utilizó la demanda de energéticos del Balance Energético Colombiano para el sector Minero.

Tabla 93. Emisiones de GEI de la categoría 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción estimadas en LEAP para el año 2014 (Gg CO₂eq).

	Óxido nitroso		Metano		Dióxido de carbono		Total	
	AR5	AR2	AR5	AR2	AR5	AR2	AR5	AR2
Emisiones LEAP								
Hierro y acero {1A2a}	3	3	2	2	940	940	945	945
MetalesNo ferrosos {1A2b}	-	-	-	-	-	-	-	-
Productos químicos {1A2c}	3	4	2	2	911	911	917	917
Pulpa papel e imprenta {1A2d}	5	6	4	3	1,484	1,484	1,493	1,493
Alimentos bebidas y tabaco {1A2e}	74	86	58	43	2,464	2,464	2,595	2,593
MineralesNo metálicos {1A2f}	27	32	21	16	5,947	5,947	5,995	5,994
Equipos de transporte {1A2g}	3E-02	3E-02	2E-02	2E-02	30	30	30	30
Maquinaria {1A2h}	1E-01	1E-01	9E-02	6E-02	105	105	105	105
Minería y cantería {1A2i}	1	2	1	1	981	981	983	983
Madera y productos de la madera {1A2j}	1E-01	1E-01	8E-02	6E-02	34	34	34	34
Construcción {1A2k}	1	2	1	1	584	584	586	587
Textiles y cueros {1A2l}	4	5	3	2	1,051	1,051	1,057	1,057
IndustriaNo especificada {1A2m}	3E-01	4E-01	2E-01	2E-01	179	179	180	180
Total	119	139	92	69	14,711	14,711	14,922	14,919

Fuente: elaboración propia.

Tabla 94. Emisiones de GEI de la categoría 1A2 Industrias manufactureras y de la construcción del BUR2 para el año 2014 (Gg CO₂eq).

BUR2	Óxido nitroso	Metano	Dióxido de carbono	Total
1A2a. Hierro y acero		3	2	941
1A2b. Metales no ferrosos				
1A2c. Productos químicos		4	2	1,156
1A2d. Pulpa, papel e imprenta		6	3	1,745
1A2e. Procesamiento de alimentos. bebidas y tabaco		102	51	2,321
1A2f. Minerales no metálicos		32	16	6,088
1A2g. Equipo de transporte		3E-02	2E-02	30
1A2h. Maquinaria		1E-01	7E-02	104
1A2i. Minería (con excepción de combustibles) y cantería		3E-03	1E-03	1
1A2j. Madera y productos de la madera		9E-02	5E-02	28
1A2k. Construcción		1	3E-01	302
1A2l. Textiles y cueros		5	2	1,132
1A2m. Industria no especificada		2E-01	2E-01	198
1A2. Industrias manufactureras y de la construcción		154	77	14,046

Fuente: (NIR-BUR2) (IDEAM, 2018).

4.3.2. TRANSPORTE

La información que se presenta en esta sección refleja las reglas de contabilidad de emisiones GEI del inventario nacional, y por lo tanto se presentan los resultados de las medidas cuyo propósito es reducir las emisiones del transporte (Categoría 1A3a), independiente de qué actor las implemente, y únicamente se consideran las fuentes que se contabilizan para el inventario nacional³³.

Bajo el escenario de referencia la demanda de energía por transporte (carretero, aéreo, fluvial y marítimo y férreo) crece a una tasa anual equivalente del 3.6% entre 2015 y 2030. Es decir que el consumo de energía crece medio punto porcentual por encima del PIB nacional. En el periodo 2030-2050 la demanda energética crece al 3.3%, igual a la del PIB.

³³ Las emisiones por aviación y navegación internacional no se incluyen en los resultados de emisiones del sector transporte.

El segmento carretero representa entre el 88%-89% de la demanda total de energía del transporte al 2030, seguido por aviación con una participación promedio del 9%, navegación 1.4% y ferrocarriles con 0.3% (Figura 75). Al 2050 el transporte carretero continúa dominando el consumo de energía del sector (Figura 76).

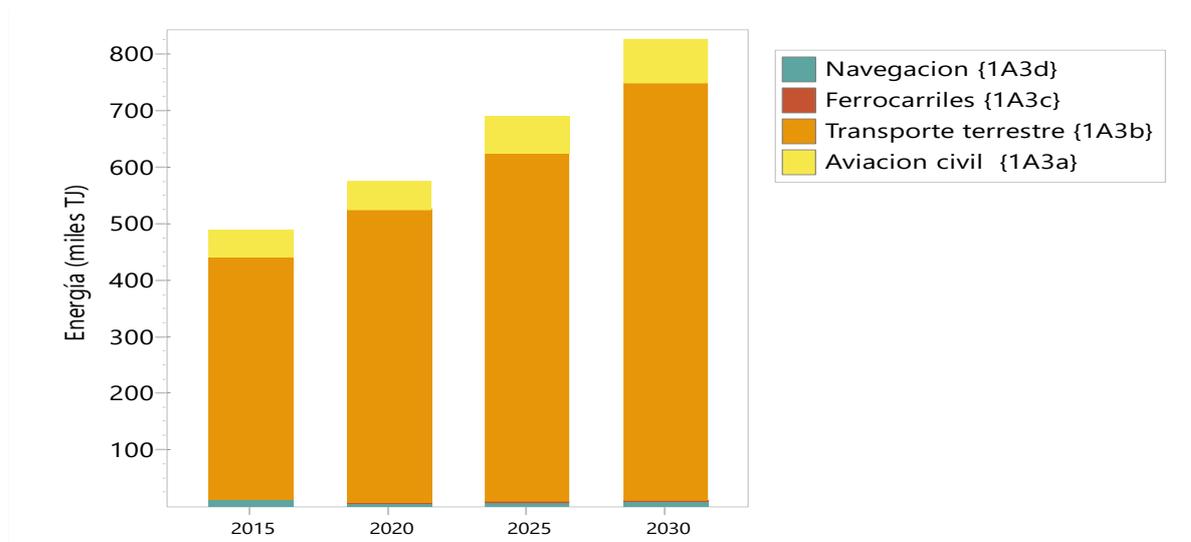


Figura 75. Consumo energético del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2030.

Fuente: Modelo Leap Colombia.

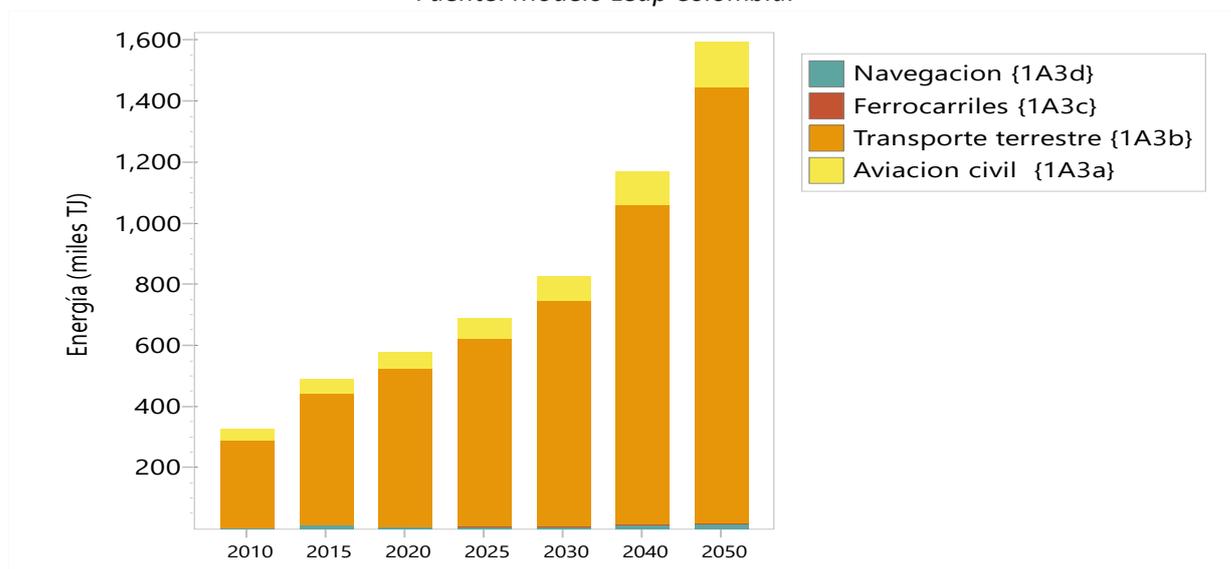


Figura 76. Consumo energético del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2050.

Fuente: Modelo Leap Colombia.

En el segmento carretero predomina el consumo de energía del transporte de pasajeros sobre el de carga. Entre 2015 y 2030 el de pasajeros consume entre 65% y el 67% de la energía total del segmento.

En cuanto a la matriz energética de todo el sector (carretero, aéreo, fluvial y marítimo y férreo), el diésel y la gasolina dominan la canasta en el periodo de análisis, éstos representan entre el 83% y el

87% del consumo energético al 2030, seguidos por kerosene con una participación promedio del 9%, GNV entre 6% y 2% y otros (combustóleo, electricidad, fuel oil y avigas) con menos del 2% (Figura 77). Dentro del escenario de referencia no se contemplaron cambios significativos en la matriz energética del sector al 2050 (Figura 78)³⁴.

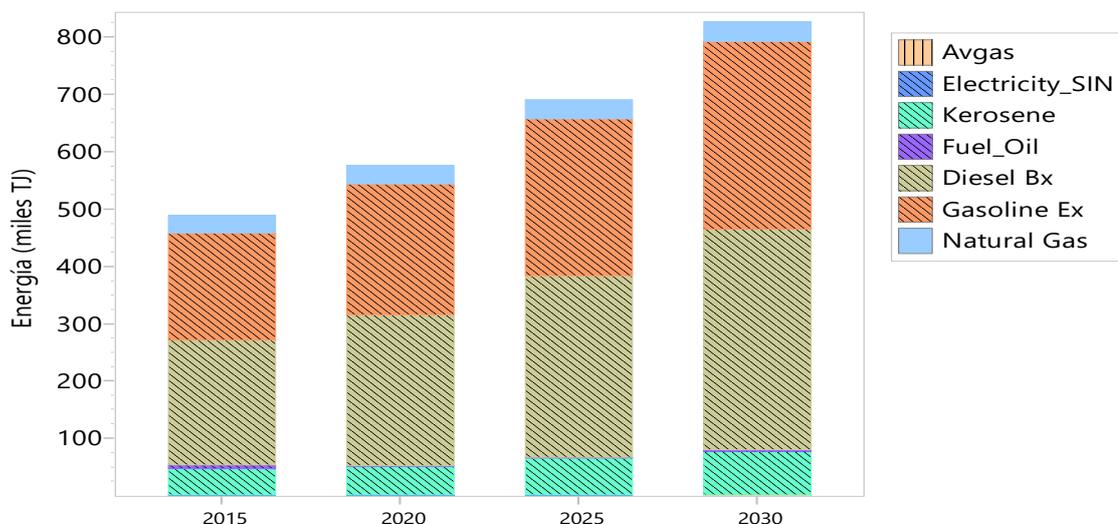


Figura 77. Consumo del transporte por energético en el escenario de referencia R2 al 2030.
Fuente: Modelo Leap Colombia.

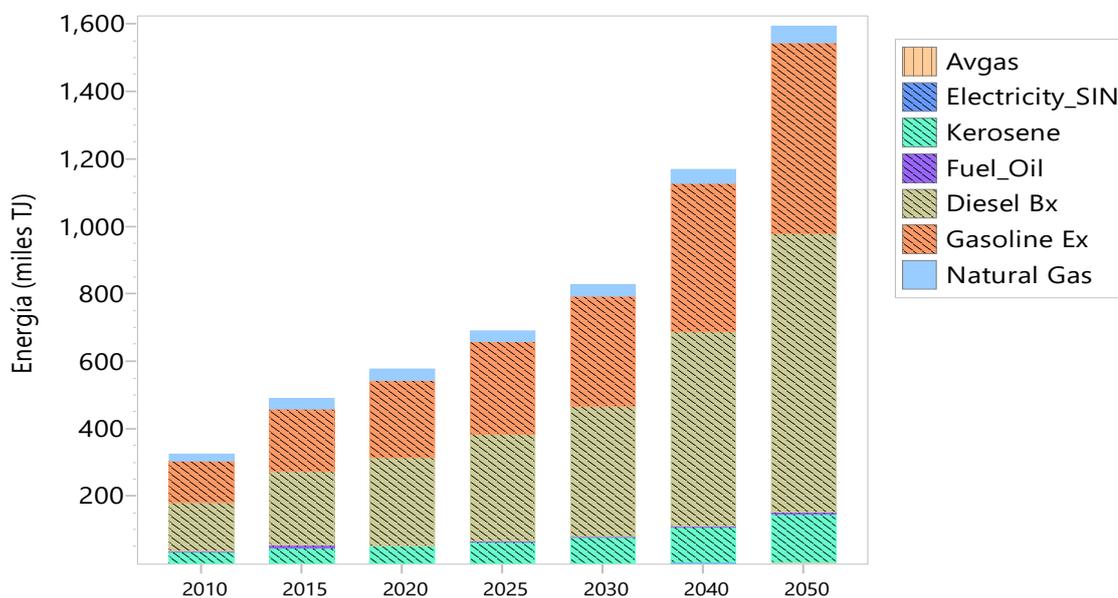


Figura 78. Consumo del transporte por energético en el escenario de referencia R2 al 2050.
Fuente: Modelo Leap Colombia.

En el escenario de referencia R2 las emisiones GEI del transporte crecen al 3.6% entre 2015 y 2030 (Figura 79). Durante las dos últimas décadas del periodo de análisis (2030-2050) se desacelera levemente el crecimiento al 3.4% anual equivalente (Figura 84).

³⁴ Al momento de elaboración de este estudio no se contaba con los escenarios del PEN actualizados, ni con lineamientos por parte de Mintransporte o Minenergía sobre los cambios más probables en la canasta energética del sector transporte en las siguientes décadas. Este es un punto que merece atención en ejercicios futuros de revisión de la línea base de emisiones GEI del transporte.

En el escenario de referencia las emisiones del transporte aumentan desde 32,929 Gg de CO₂eq en 2015 hasta 55,846 en 2030 y 108,693 en 2050 (Tabla 95). Las emisiones del transporte terrestre son las que crecen más rápido entre 2015 y 2050 (Figura 79 y Figura 80).

Tabla 95. Emisiones transporte escenario de referencia.

Categoría	Emisiones CO ₂ eq (Gg)					
	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Aviación civil {1A3a}	3,117.	3,409.	4,388.	5,211.	7,210.	9,976.
Transporte terrestre {1A3b}	9,315.	34,824.	41,593.	50,145.	71,709.	97,778.
Ferrocarriles {1A3c}	78.	79.	102.	121.	167.	231.
Navegación {1A3d}	420.	242.	311.	370.	511.	708.
Total	32,929.	38,554.	46,394.	55,846.	79,599.	108,693.

Fuente: Modelo LEAP Colombia.

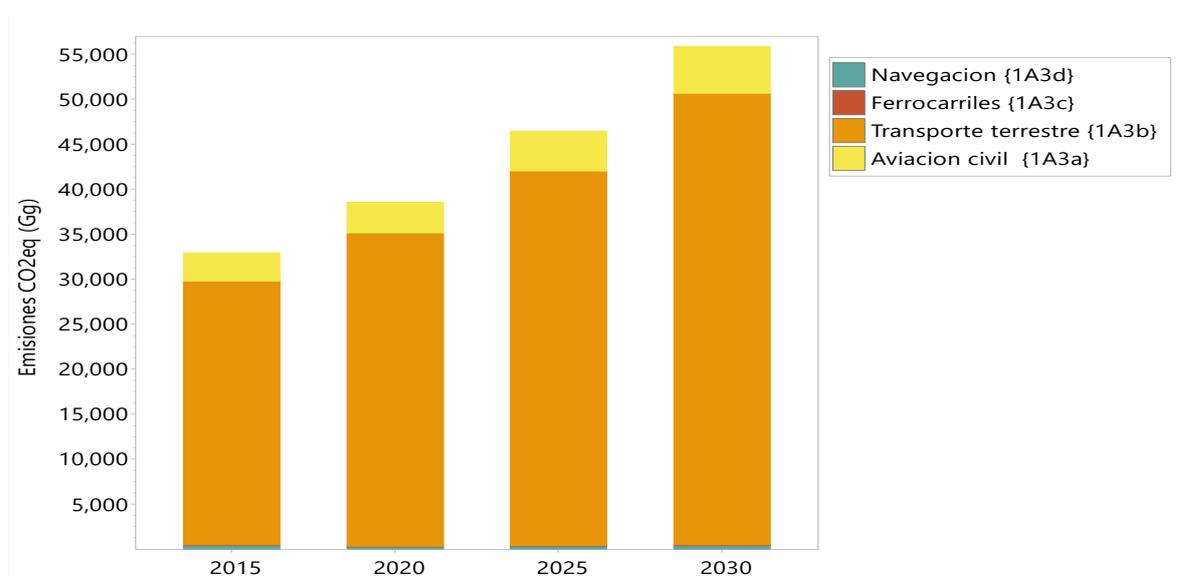


Figura 79. Emisiones CO₂eq del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2030.

Fuente: Modelo Leap Colombia.

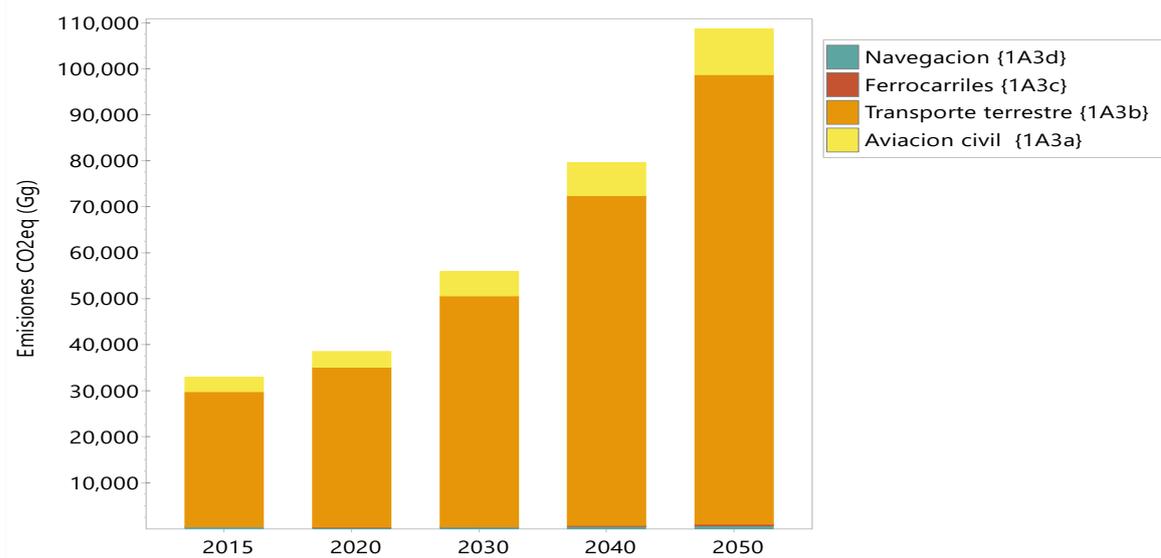


Figura 80. Emisiones CO₂eq del transporte por segmento en el escenario de referencia R2 al 2050.
Fuente: Modelo Leap Colombia.

En las emisiones del transporte terrestre, el de pasajeros aporta entre el 60% y 70% de las emisiones en el periodo 2015-2050. Este comportamiento responde al crecimiento de la flota (Figura 82) y su actividad sumado a una matriz energética en la que predominan los combustibles fósiles durante todo el periodo de análisis.

En el escenario de referencia la flota de vehículos livianos de pasajeros (automóviles, camperos y motocicletas) representa el 85% de la flota total en 2015, el 83% en 2030 y 74% en 2050 (Figura 82). Como se mencionó en la sección de metodología, la tasa de saturación utilizada para la modelación de la motorización representa un esfuerzo en el escenario de referencia por mantener la participación del transporte público y los modos activos frente a modos de transporte individual³⁵, coherente con políticas nacionales y locales en transporte sostenible, calidad del aire, eficiencia energética y crecimiento verde³⁶.

A pesar de que la flota de carga (liviana y pesada) representa menos del 15% de la flota nacional terrestre al 2030, estos dos segmentos aportan la tercera parte de las emisiones del transporte terrestre.

³⁵ Es importante hacer la distinción entre tasa de tenencia de vehículos particulares y tasa de uso de estos. En el escenario de referencia se mantiene constante durante todo el periodo de análisis la tasa de uso anual por vehículo.

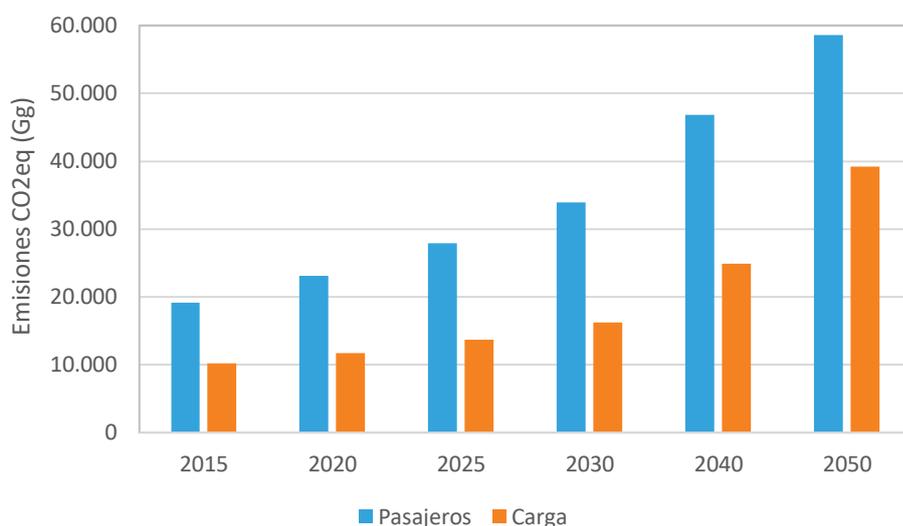


Figura 81. Emisiones del transporte carretero por tipo de servicio en el escenario de referencia R2 al 2050.

Fuente: Modelo LEAP Colombia.

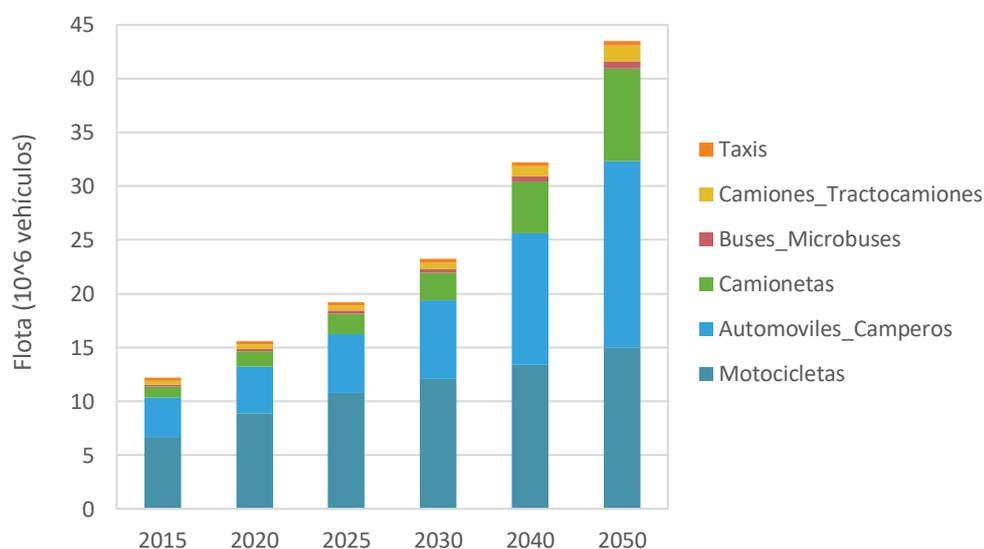


Figura 82. Crecimiento de la flota vehicular escenario de referencia.

Fuente: Modelo LEAP Colombia.

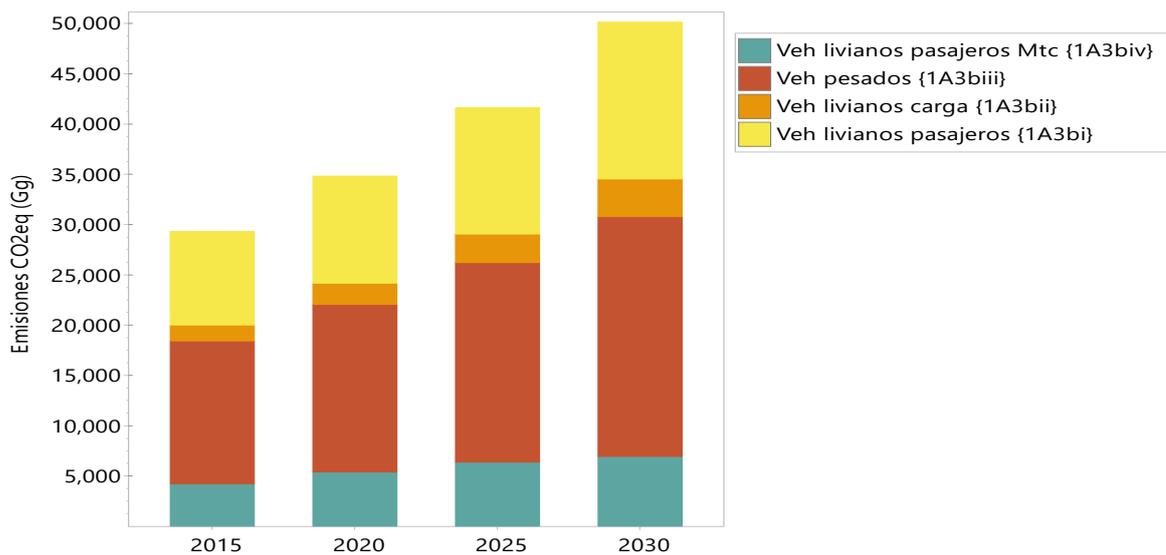


Figura 83. Emisiones del transporte carretero en el escenario de referencia R2 al 2030.

Fuente: Modelo Leap Colombia.

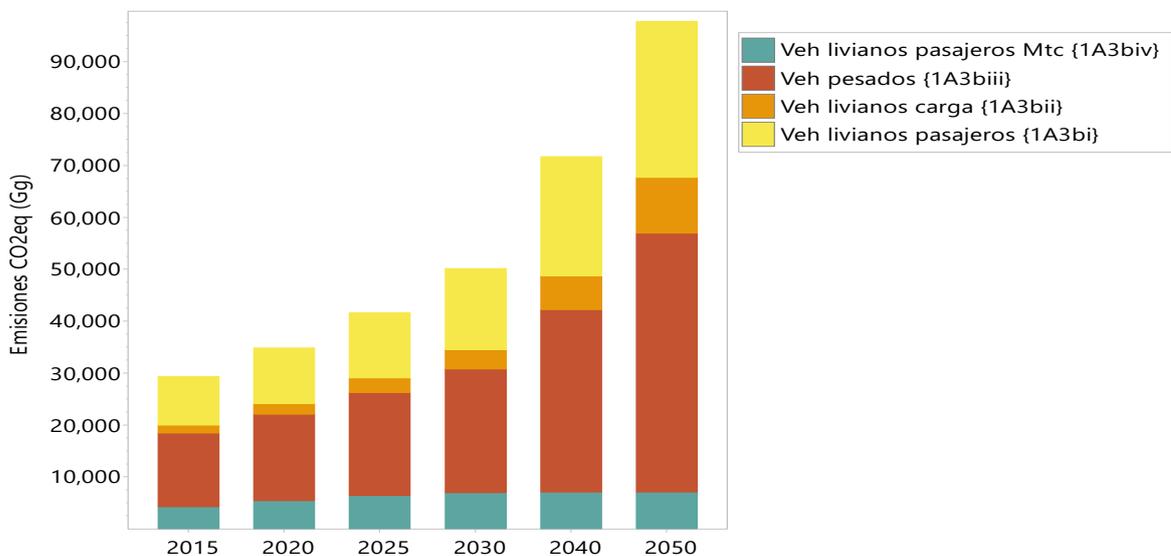


Figura 84. Emisiones del transporte carretero en el escenario de referencia R2 al 2050.

Fuente: Modelo LEAP Colombia.

Tabla 96. Emisiones transporte carretero escenario de referencia.

Categoría	Emisiones CO2eq (Gg)					
	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Veh livianos pasajeros {1A3bi}	9,314.	10,657.	12,546.	15,601.	22,970.	30,071.
Veh livianos carga {1A3bii}	1,553.	2,112.	2,832.	3,746.	6,507.	10,745.
Veh pesados {1A3biii}	14,232.	16,677.	19,834.	23,874.	35,193.	49,872.
Veh livianos pasajeros Mtc {1A3biv}	4,216.	5,377.	6,381.	6,923.	7,039.	7,089.
Total	29,315.	34,824.	41,593.	50,145.	71,709.	97,778.

Fuente: Modelo LEAP Colombia.

En términos de emisiones per cápita, bajo el escenario de referencia R2, éstas se incrementan en 41% entre 2015 y 2030, alcanzando una tonelada de CO₂eq por habitante en el año 2030.

4.3.3. SECTOR TERCIARIO

El sector terciario se divide en dos subsectores, comercial y público. El factor clave para el consumo de energía y las emisiones de GEI conexas son las contribuciones del PIB de estos subsectores. Primero se describe el comercial, seguido por el público. La demanda de ambos sectores por energético se presenta en la Tabla 97, mientras que la Figura 85 muestra la demanda por uso final.

Tabla 97. Consumo sectores comercial y público por energético.

Consumo [TJ]	2015	2020	2025	2030	2050
Comercial	60,008	63,561	79,700	94,623	181,135
<i>Gas Natural</i>	12,252	13,257	16,640	19,755	37,817
<i>GLP</i>	2,948	3,190	4,003	4,753	9,099
<i>Electricidad</i>	44,808	47,114	59,057	70,115	134,219
Público	5,620	6,127	7,881	9,360	17,918
<i>Gas Natural</i>	3,194	3,533	4,547	5,400	10,337
<i>Electricidad</i>	2,426	2,594	3,334	3,960	7,580
TOTAL	65,628	69,688	87,581	103,983	199,053

Fuente: elaboración propia.

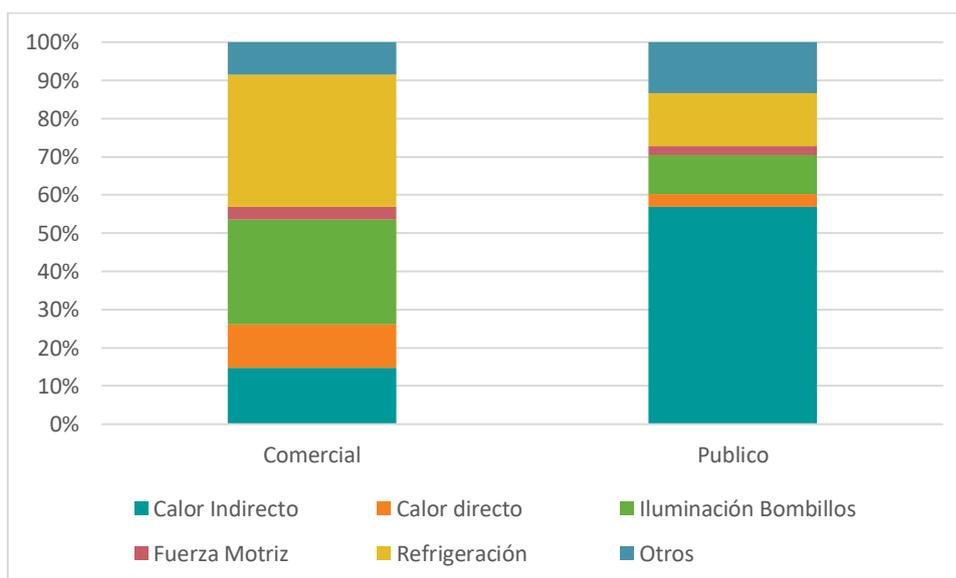


Figura 85. Distribución de energía final por uso final, sectores comercial y público para 2015-2030.

Fuente: elaboración propia.

Comercial

El PIB de este subsector crece en promedio un 3.2% anual entre 2015 y 2030. En el período posterior 2030-50, el crecimiento es del 3.3% anual. Se espera que la demanda de energía crezca de 60,048 TJ

en 2015 a 94,623 TJ en 2030, con una tasa de crecimiento del 3.1% anual (Tabla 98). La demanda en 2050 se proyecta como 181,135 TJ. Como uso final, la refrigeración (que incluye el aire acondicionado también) domina la demanda de energía en 2015 con una participación del 34.5%, seguida de la iluminación con 27%, calefacción indirecta con 14.7%, y calefacción directa con 11.5% (Tabla 98). Para 2030, hay un cambio marginal en el patrón de consumo con una ligera disminución en la proporción de iluminación del 25.6% debido a la eliminación gradual de la bombilla incandescente para 2022 y reemplazado por CFL, más eficiente. Esto es seguido por un aumento marginal en la proporción para refrigeración (35.3%) y calefacción indirecta (15%). En valor absoluto, la demanda de energía de refrigeración es de 33,390 TJ en 2030, frente a 20,727 TJ en 2015 (Tabla 98). Esperando una proyección de 63,918 TJ en 2050. La demanda de iluminación en 2030 y 2050 es respectivamente 24,255 TJ y 46,431 TJ en comparación con 16,381 TJ en 2015.

Tabla 98. Demanda energética por uso final [TJ]

	2015	2020	2025	2030	2050
Comercial	60,008	63,561	79,700	94,623	181,135
Calor Indirecto	8,814	9,538	11,971	14,212	27,207
Calor directo	6,918	7,486	9,396	11,155	21,355
Iluminación Bombillos	16,366	16,338	20,430	24,255	46,431
Fuerza Motriz	2,067	2,237	2,808	3,333	6,381
Refrigeración	20,708	22,408	28,124	33,390	63,918
Otros	5,133	5,554	6,971	8,276	15,843
Publico	5,620	6,127	7,881	9,360	17,918
Calor indirecto	3,194	3,533	4,547	5,400	10,337
Calor directo	193	214	275	327	626
Iluminación Bombillos	572	545	696	826	1,582
Fuerza Motriz	128	142	183	217	416
Refrigeración	777	860	1,106	1,314	2,516
Otros	755	834	1,074	1,275	2,442
TOTAL	65,628	69,688	87,581	103,983	199,053

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la mezcla de combustibles, en 2015, la electricidad fue la fuente clave de energía con una participación del 75%, seguida del gas natural con 20% y el GLP con 5% (Tabla 97). El mismo patrón sigue en 2030 y a partir de entonces, se presenta una caída de 1 punto porcentual en la participación de electricidad (74%) debido al lento crecimiento de la demanda de iluminación y el aumento de la participación del gas natural (21%). La participación de GLP se mantiene constante. En valor absoluto, la demanda de electricidad en 2030 y 2050 se estima en 70,115 TJ y 134,219 TJ (Tabla 97). Mientras que las cifras alentadoras para el gas natural son 19,755 TJ y 37,817 TJ. Las emisiones directas de GEI en este sector son respectivamente 1,421 Gg y 2,719 Gg en 2030 y 2050, en comparación con 881 Gg en 2015.

Tabla 99. Emisiones directas GEI para el sector terciario [Gg CO₂eq]

	2015	2020	2025	2030	2050
Comercial	881	953	1,197	1,421	2,719
Publico	178	197	253	301	576
Total	1,059	1,150	1,450	1,721	3,295

Fuente: elaboración propia.

Público

La contribución del PIB del subsector público ha crecido a una tasa media del 3.56% entre 2015 y 2030, a partir de entonces, se espera que el crecimiento se desacelere ligeramente hasta el 3.3% anual hasta 2050. La demanda de energía en este sector es relativamente pequeña con 5,622 TJ en 2015, y se espera que crezca a 9,360 TJ y 17,918 TJ en 2030 y 2050 respectivamente (Tabla 98). El consumo clave es para la calefacción indirecta con una participación del 57% en la demanda total (Tabla 98). Otros usos finales importantes incluyen refrigeración (incluyendo aire acondicionado) e iluminación. La proporción de iluminación disminuye ligeramente debido a la eliminación gradual de la bombilla incandescente ineficiente. En términos absolutos, se espera que la demanda de energía para calefacción indirecta sea de 5,400 TJ y 10,337 TJ en 2030 y 2050 respectivamente, frente a 3,194 TJ en 2015.

Dos combustibles considerados en este sector son el gas natural y la electricidad, siendo el gas natural el de mayor participación con 57.7% en 2030 (Tabla 97). En valor absoluto, la demanda de gas natural en 2030 y 2050 es respectivamente de 5,400 TJ y 10,337 TJ (Tabla 97). Mientras que las cifras asociadas a electricidad son 3,960 TJ y 7,580 TJ. Las emisiones directas de GEI en este sector se estiman respectivamente en 301 Gg y 576 Gg en 2030 y 2050, en comparación con 178 Gg en 2015. Las emisiones directas de GEI del sector terciario en su conjunto son de 1,721 Gg y 3,295 Gg en 2030 y 2050, respectivamente, en comparación con los 1,059 Gg estimados en 2015 (Tabla 99).

4.3.4. RESIDENCIAL

El consumo de energía en el sector residencial está impulsado por el número de hogares y se diferencia por el patrón de consumo de energía en los hogares rurales y urbanos. Entre 2015 y 2030, el número total de hogares se prevé crecerá un 40%, de 13.6 millones a 19 millones (Tabla 100). Después de 20 años, entre 2030 y 2050, impulsado por la desaceleración del crecimiento de la población y la disminución del tamaño de los hogares, el número de hogares se representa entre un 47% y 28 millones en 2050 (Tabla 100). El crecimiento promedio anual en el número total de hogares es del 2.3% entre 2015-2030, el cual disminuye aproximadamente a una tasa de 2% entre 2030-2050.

Tabla 100. Número de Hogares Rurales y Urbanos [Millones]

Branch	2015	2020	2025	2030	2050
Hogares Urbanos	10.76	12.03	13.92	15.86	24.39
Hogares Rurales	2.82	2.97	3.07	3.21	3.79
Total	13.58	15.00	17.00	19.08	28.17

Fuente: elaboración propia.

La participación de la vivienda urbana fue del 79% en 2015, aumenta al 83% en 2030 y al 86.6% en 2050. Dado que el consumo de energía en los hogares urbanos es mayor que el de los hogares rurales, el crecimiento de los hogares urbanos tiene implicaciones en la demanda de energía en el sector residencial (ver Figura 86).

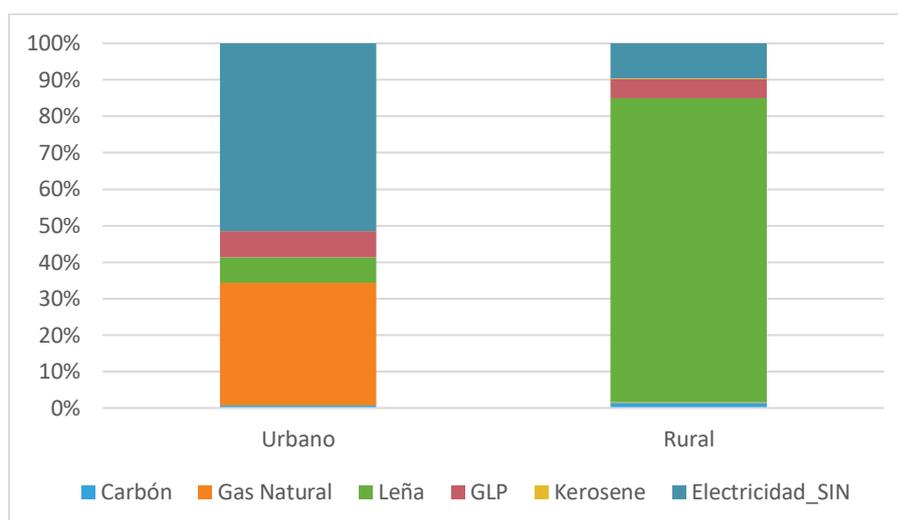


Figura 86. Participación de energéticos en consumo final para el sector residencial urbano y rural en 2015.

Fuente: elaboración propia.

La demanda total de energía en el sector residencial aumenta de 264,917 TJ en 2015 a 357,316 TJ y 518,253 TJ respectivamente en 2030 y 2050 (Tabla 101). La tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR) se estima en un 2% entre 2015 y 2030, y una disminución marginal al 1.9% entre 2030 y 2050, aportada principalmente por el lento crecimiento del número de HH. La participación de HH urbana en la demanda total de energía crece del 50.6% en 2015 al 58% en 2030 y hasta el 65.6% en 2050. Una menor proporción de la demanda de energía urbana en comparación con la proporción de HH urbana en el total de HH podría explicarse por el uso ineficiente del consumo de leña de fuego en los hogares rurales, lo que aumenta la demanda de energía rural.

Tabla 101. Demanda energética por uso final [TJ] para sector residencial

	2015	2020	2025	2030	2050
Urbano	134,619	151,515	178,461	207,325	340,250
Calor Directo	68,005	76,028	87,956	100,218	154,060
Calentamiento	3,020	3,376	3,906	4,451	6,842
Agua	9,698	8,903	10,218	11,642	17,897
Iluminación	33,415	40,756	51,082	62,684	118,527
Refrigeración	4,547	5,286	6,349	7,500	13,739
Fuerza Motriz	10,462	11,048	11,872	12,765	16,787
TV	5,472	6,118	7,078	8,065	12,398
Otros	129,880	136,513	141,425	147,851	175,859
Rural	129,880	136,513	141,425	147,851	175,859
Calor Directo	117,985	123,686	127,835	133,289	157,436
Calentamiento	133	139	144	151	178
Agua	1,764	1,855	1,923	2,011	2,369
Iluminación	5,543	6,142	6,692	7,335	9,628
Refrigeración	610	667	717	778	1,085
Fuerza Motriz	2,841	2,968	3,019	3,142	3,814
TV	1,004	1,056	1,095	1,145	1,349
Otros					

TOTAL	264,499	288,028	319,886	355,176	516,109
--------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Fuente: elaboración propia.

La demanda de energía urbana aumenta de 134,135 TJ en 2015 a 207,323 TJ en 2030, con un CAGR del 2.95%. La demanda de energía crece a 340,249 TJ en 2050 (Tabla 101). En cuanto al consumo de energía por uso final, en 2015, el uso final clave ha sido la calefacción directa (cocina) con una proporción del 50.6% en la demanda total de energía urbana, seguida de refrigeración con 24.8%, TV con 7.8% e iluminación con 7.2%. Sin embargo, con el tiempo habrá un cambio en el patrón de uso de energía, con una disminución de la participación en la calefacción directa del 48.3% en 2030 y más del 45.3% en 2050, mientras que, el aumento de la proporción de refrigeración al 30% en 2030 y al 35% en 2050 debido a la suposición de una creciente adquisición de refrigeradores en los hogares urbanos. La eliminación gradual de la bombilla incandescente para 2022 y su reemplazo por bombillas CFL más eficientes, limita el crecimiento de la demanda de iluminación, mientras que la participación en la demanda total de energía cae del 7.2% en 2015 al 5.6% en 2030 y al 5.3% en 2050.

La electricidad y el gas natural son dos combustibles dominantes en la demanda de energía urbana (Tabla 102). Durante este período, la participación de electricidad aumenta del 51.4% al 53.6% debido a la llegada de aparatos eléctricos como frigoríficos, aire acondicionados, lavadoras, etc., aunque se desliga en cierta medida debido a una iluminación eficiente. La participación de electricidad aumenta hasta el 56.5% en 2050. El GLP y la leña conforman el resto con una participación de alrededor del 7% cada una. La demanda de gas natural aumenta de 45,086 TJ a 65,949 TJ en 2030. En el mismo período, la demanda de electricidad aumenta de 68,965 TJ a 111,090 TJ. La demanda de gas natural y electricidad en 2050 es respectivamente de 101,380 TJ y 192,314 TJ.

Tabla 102. Demanda energética por combustible [TJ]

	2015	2020	2025	2030	2050
Urbano	134,618	151,515	178,460	207,323	340,249
Carbón	1,032	1,154	1,335	1,522	2,339
Gas Natural	44,751	50,031	57,880	65,949	101,380
Leña	9,556	10,684	12,360	14,083	21,650
GLP	9,873	11,038	12,770	14,550	22,368
Kerosene	88	98	113	129	198
Electricidad SIN	69,318	78,510	94,002	111,090	192,314
Rural	129,879	136,513	141,427	147,851	175,862
Carbón	1,810	1,904	1,974	2,064	2,432
Gas Natural	270	284	295	308	363
Leña	108,175	113,369	117,138	122,105	144,258
GLP	6,876	7,232	7,498	7,840	9,238
Kerosene	337	354	368	384	453
Electricidad SIN	12,411	13,370	14,154	15,150	19,118
TOTAL	264,497	288,028	319,887	355,174	516,111

Fuente: elaboración propia.

Como era de esperar, debido al aumento marginal del número de hogares rurales, la demanda de energía rural crece lentamente, sólo alrededor del 1% anual entre 2015 y 2030, en términos generales de 130,782 TJ a 149,993 TJ (Tabla 101). La tasa de crecimiento entre 2030 y 2050 es del 0.9% anual, con una demanda absoluta de 178,004 TJ. En cuanto al consumo de energía por uso final

en las zonas rurales, el 90% de la energía se utiliza para la calefacción directa (cocina), y sigue siendo casi igual hasta 2050 sólo con una disminución marginal. La refrigeración sigue siendo el siguiente mayor consumidor de energía y su participación aumenta con el tiempo debido a la mayor posibilidad de adquisición de un refrigerador en los hogares rurales.

La mezcla de combustible sigue siendo más o menos igual durante este período, siendo la leña el combustible dominante con una proporción de casi el 83% (Tabla 102). La proporción de electricidad aumenta marginalmente del 9.5% al 10.1% durante 2015-2030. El GLP sigue siendo el tercer combustible importante con una contribución aproximada del 5% de la demanda de energía rural de HH.

Las emisiones directas de GEI del sector residencial en su conjunto se estiman en 6,873 GgCO₂eq y 9,877 GgCO₂eq en 2030 y 2050 respectivamente, en comparación con las emisiones estimadas en 2015 en 5,057 GgCO₂eq (Tabla 103). Las emisiones urbanas aumentan de 3,355 GgCO₂eq en 2015 a 4,944 GgCO₂eq en 2030, con un cambio en participación del 66% al 72% en el total de emisiones sectoriales para el mismo periodo.

Tabla 103. Emisiones directas GEI en sector residencial [Gg CO₂eq]

	2015	2020	2025	2030	2050
Min_Vivienda	9	10	12	14	21
Otros Residencial y Terciario	5,048	5,527	6,175	6,859	9,855
Total	5,057	5,537	6,187	6,873	9,877

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. AGRICULTURA/SILVICULTURA/PESCA

Agricultura

Las emisiones de GEI debidas al consumo de energía en este sector están impulsadas por la contribución del PIB de este sector. Se espera que el PIB agrícola crezca a un ritmo medio del 3.6 % entre 2015 y 2030, y que se desacelere hasta el 3.3 % hasta 2050. Se espera que la demanda de energía disminuya en 2020 a 20,435 TJ de 20,816 TJ en 2015, ya que se prevé que el crecimiento de este sector se desacelere debido al efecto del aislamiento por COVID-19, así como una disminución marginal de la intensidad energética (Tabla 104). La demanda de energía en 2030 y 2050 es respectivamente de 31,986 TJ y 61,231 TJ. Se espera que la leña siga siendo el principal combustible con una participación del 71% en la demanda total de energía, seguido de Diesel Bx 15.2% y electricidad con 11.1%. En valor absoluto, la demanda de leña en 2030 y 2050 es respectivamente 22,784 TJ y 43,616 TJ. Las cifras asociadas a electricidad son 3,545 TJ y 6,786 TJ.

En cuanto a las emisiones directas de GEI, después de una disminución en 2020, se espera que las emisiones en 2030 aumenten a 2,673 GgCO₂eq en comparación con 1,741 GgCO₂eq en 2015. Para 2050, se espera que las emisiones sean de 5,117 Gg. Esto impulsado principalmente por el uso de leña en este sector, como muestra la Figura 87.

Tabla 104. Demanda energética por combustible [TJ]

	2015	2020	2025	2030	2050
Gas Natural	181	219	286	342	655
Leña	14,271	14,556	19,064	22,784	43,616
Gasolina Ex	335	277	362	433	829
Diesel Bx	3,911	3,119	4,085	4,882	9,345
Electricidad SIN	2,119	2,265	2,966	3,545	6,786
Total	20,816	20,435	26,764	31,986	61,231

Fuente: elaboración propia.

Tabla 105. Emisiones totales por subcategoría IPCC sector agricultura en GgCO₂eq

	2015	2020	2025	2030	2050
Estacionaria {1A4ci}	1,423	1,453	1,903	2,274	4,354
Vehículos todo terreno y otra maquinaria {1A4cii}	319	255	334	399	763
Pesca combustión móvil {1A4ciii}	-	-	-	-	-
Historico	-	-	-	-	-
Total	1,741	1,708	2,237	2,673	5,117

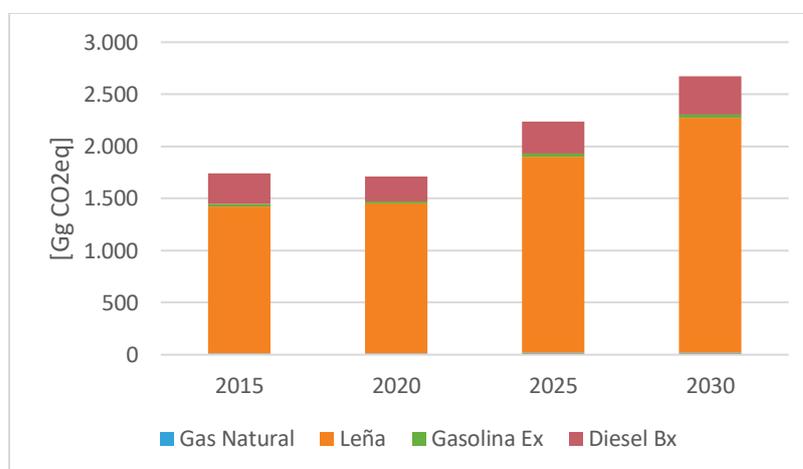


Figura 87. Emisiones por combustible en el sector agricultura (2015-2050)

Fuente: elaboración propia.

4.4. ENERGÍA: EMISIONES FUGITIVAS

Las emisiones fugitivas relacionadas a la minería de carbón aumentan un 16% de 3,356 GgCO₂eq en 2015 a 3,905 GgCO₂eq en 2030. Hacia 2050 el incremento es menor con un CAGR aproximado de 0.5%. Esto se debe al escenario de continuidad previsto para el escenario de referencia, el cual contempla que las exportaciones de carbón se mantendrán estables al largo plazo. En menor medida, el aumento de la demanda interna de carbón en el sector industrial y la producción de electricidad hacen que la producción nacional aumente y por ende las emisiones fugitivas asociadas, como se puede ver en la Figura 88.

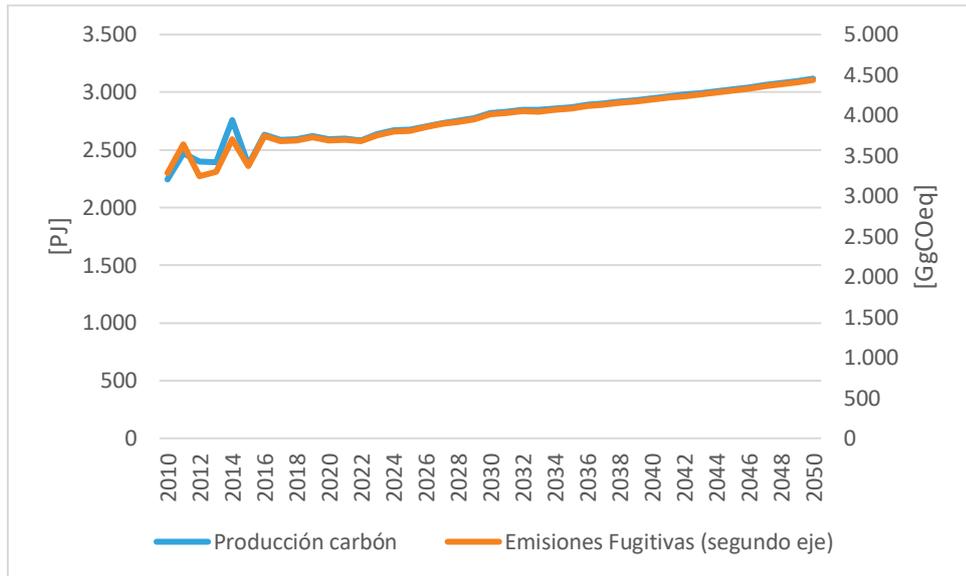


Figura 88. extracción de carbón y emisiones fugitivas asociadas.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a las emisiones fugitivas asociadas a la extracción de petróleo y gas natural, estas siguen la producción interna establecida por el escenario medio 2020 para petróleo y el escenario 2 para natural gas como se describió en el Capítulo 3. Ambos escenarios presentan una tendencia a la baja de la producción interna de dichos hidrocarburos, la cual se acentúa después de 2030. La reducción de las emisiones fugitivas se ve la Figura 89.

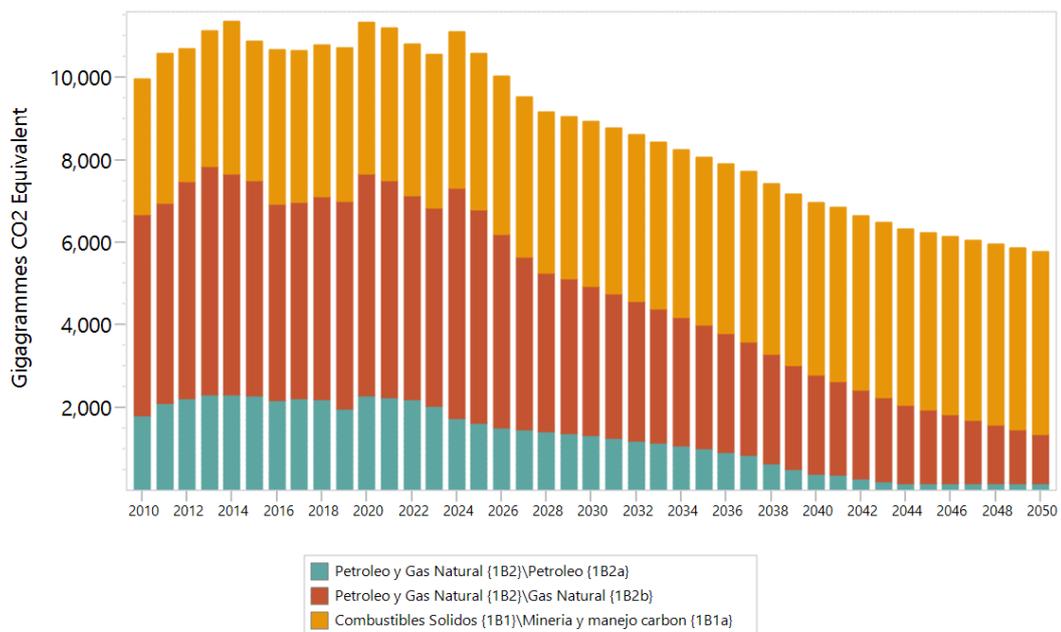


Figura 89. Emisiones fugitivas por sector: Petróleo, gas natural y carbón.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 106. Emisiones fugitivas en Gg CO₂eq asociadas a la extracción de carbón, petróleo y gas natural.

Energético	2015	2020	2025	2030	2050
Carbón	3,339	3,632	3,805	3,909	4,317
Petróleo	2,262	2,271	1,603	1,298	186
Gas Natural	5,234	5,379	5,176	3,627	1,201
Total	10,835	11,282	10,584	8,833	5,704

Fuente: elaboración propia.

4.5. IPPU

Para la categoría 2 Procesos Industriales y Usos de Productos (IPPU), en el escenario de referencia se espera que las emisiones de gases efecto invernadero al 2030 estén alrededor de 18,400 Gg CO₂eq con una tasa de crecimiento anual equivalente de 4.56% respecto al 2015 (ver Figura 90).

El pronunciado crecimiento en las emisiones de la categoría 2 en el escenario de referencia se explica en gran medida por el crecimiento anual equivalente de la subcategoría 2F de 9.22%, mientras que las subcategorías 2A a 2D tienen una tasa de crecimiento anual equivalente menor o igual al 3% del 2015 al 2030.

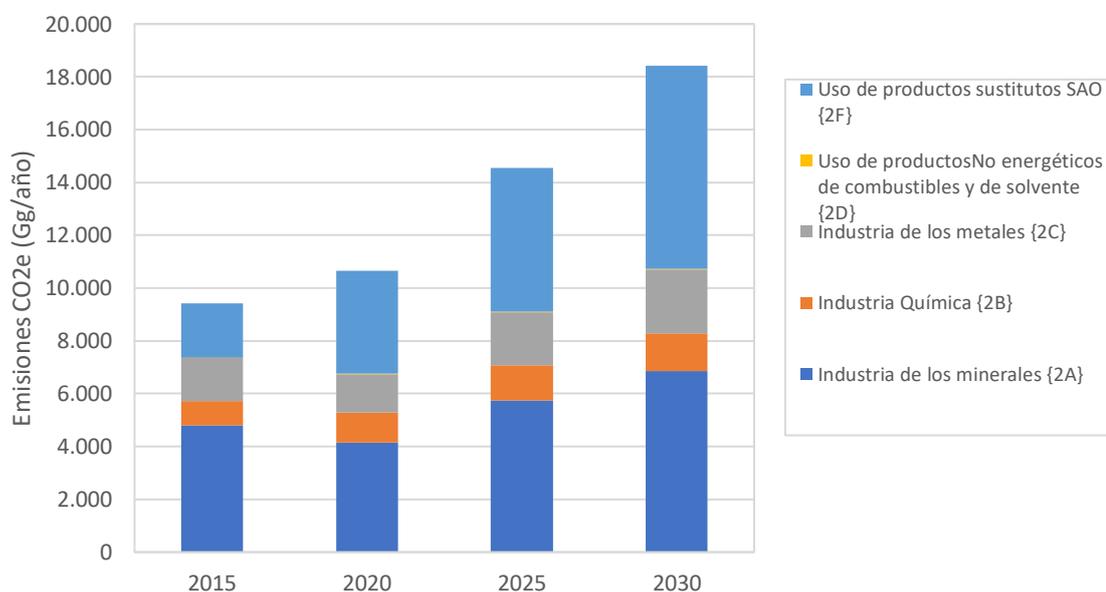


Figura 90. Emisiones CO₂eq de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos en el escenario de referencia, por subcategoría.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 107 muestra las emisiones con su respectiva asignación ministerial. Las emisiones de la categoría 2F son asignadas al Minambiente, mientras que el resto de categorías 2A a 2D estás asignadas al Minindustria con excepción de: categorías 2B8B Etileno y 2C2 Producción de ferroníquel que pertenecen al Minenergía, y la categoría 2D2 Uso de cera de parafina asignado a Otros residencial y terciario.

Tabla 107. Emisiones de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos en el escenario de referencia, por asignación ministerial [Gg CO₂eq]

	2015	2020	2025	2030
Min_Energía	816.98	854.41	1,182.99	1,411.91
Min_Industria	6,539.53	5,879.80	7,912.73	9,285.22
Min_Ambiente	2,047.11	3,909.03	5,418.73	7,685.71
Otros Residencial y Terciario	20.69	21.77	23	24.07
Total	9,424.31	10,665.01	14,537.46	18,406.91

Fuente: elaboración propia.

Con base en las emisiones de GEI para la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos estimadas en el BUR 2 para el año 2014, se calcularon las emisiones para el mismo año y las mismas subcategorías en LEAP para realizar la comparación entre estas.

Teniendo en cuenta que el BUR 2 utilizó los potenciales de calentamiento global (GWP) del segundo informe de evaluación del IPCC (AR2) y en el escenario de referencia en LEAP se utilizaron los potenciales del quinto informe (AR5), la Tabla 108 muestra las emisiones calculadas en LEAP y la Tabla 109 las emisiones del BUR2.

Las diferencias en los valores de estas tablas no son significativas en ordenes de magnitud teniendo en cuenta los diferente GWP y son resultado también de la inclusión de nuevas sustancias, y cambios menores en los niveles de actividad y los factores de emisión de algunas sustancias. Estos cambios son a su vez resultado de las revisiones a los cálculos de la categoría IPPU por parte de la subdirección de estudios ambientales del IDEAM y la unidad técnica de ozono del Minambiente.

Tabla 108. Emisiones de GEI de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos calculadas en LEAP para el año 2014 [Gg CO₂eq].

Emisiones LEAP	(Z)-HFC-1336	HFC-43-10mee	HFC-365mfc	HFC-32	HFC-245fa	HFC-227ea	HFC-143a	HFC-125	PFC-116	HFC-152a	HFC-134a	HFC-23	Óxido nitroso	Metano	Dióxido de carbono	Total
Industria de los minerales (2A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,545	5,545
Industria Química (2B)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	567	28	545	1,140
Industria de los metales (2C)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,484	1,484
Uso de productosNo energéticos de combustibles y de solvente (2D)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	21
Uso de productos sustitutos SAO (2F)	4E-05	1	1E-01	23	1E-01	2	365	384	1E-01	1	1,031	1E-01	-	-	-	1,807
Total	4E-05	1	1E-01	23	1E-01	2	365	384	1E-01	1	1,031	1E-01	567	29	7,595	9,998

Fuente: elaboración propia

Tabla 109. Emisiones de GEI de la categoría 2 Procesos Industriales y Uso de Productos del BUR2 para el año 2014 [Gg CO₂eq].

BUR2	SF6	HFC-32	HFC-227ea	HFC-143a	HFC-125	PFC	HFC-152a	HFC-134a	Óxido nitroso	Metano	Dióxido de carbono	Total
2A. Industria de los minerales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5,545	5,545
2B. Industria Química	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	794	21	545	1,360
2C. Industria de los metales	NO	NA	NA	NA	NA	NO	NA	NO	NA	1	1,564	1,564
2D. Uso de productos no energéticos de cc	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	21	21
2F. Uso de productos sustitutos de las sust	NA	21	2	289	326	NA	1	1,252	NA	NA	NA	1,891
2. Procesos Industriales y Uso de Productc	NA	21	2	289	326	NE	1	1,252	794	22	7,675	10,538

Fuente: Informe de Inventario Nacional (NIR-BUR2) (IDEAM, 2018).

4.6. AFOLU

Se proyecta que las emisiones totales del sector AFOLU aumenten de 129 Tg CO₂eq en 2015 a 186 Tg CO₂eq en 2030 en el escenario de referencia (Tabla 110), con un aumento del 44%. Como se puede observar en las tendencias de las emisiones (Tabla 70), el aumento de las emisiones se da principalmente en el sector Tierra {3B} debido a un aumento de las emisiones relacionadas con la

deforestación, como se explica en la Sección 4.6.2. Además, las emisiones del ganado {3A} están aumentando debido a un aumento proyectado en el número de animales para todas las clases de ganado.

Tabla 110. Emisiones del sector AFOLU en Gg CO₂eq

Branch	2015	2020	2025	2030	2050
Ganadería {3A}	39,380	48,761	54,705	56,562	65,852
Tierra {3B}	73,073	114,151	123,920	109,079	114,252
Emisiones de no-CO ₂ prov. de la tierra {3C}	16,727	19,173	19,724	20,322	22,392
Total	129,180	182,085	198,348	185,963	202,496

Fuente: elaboración propia.

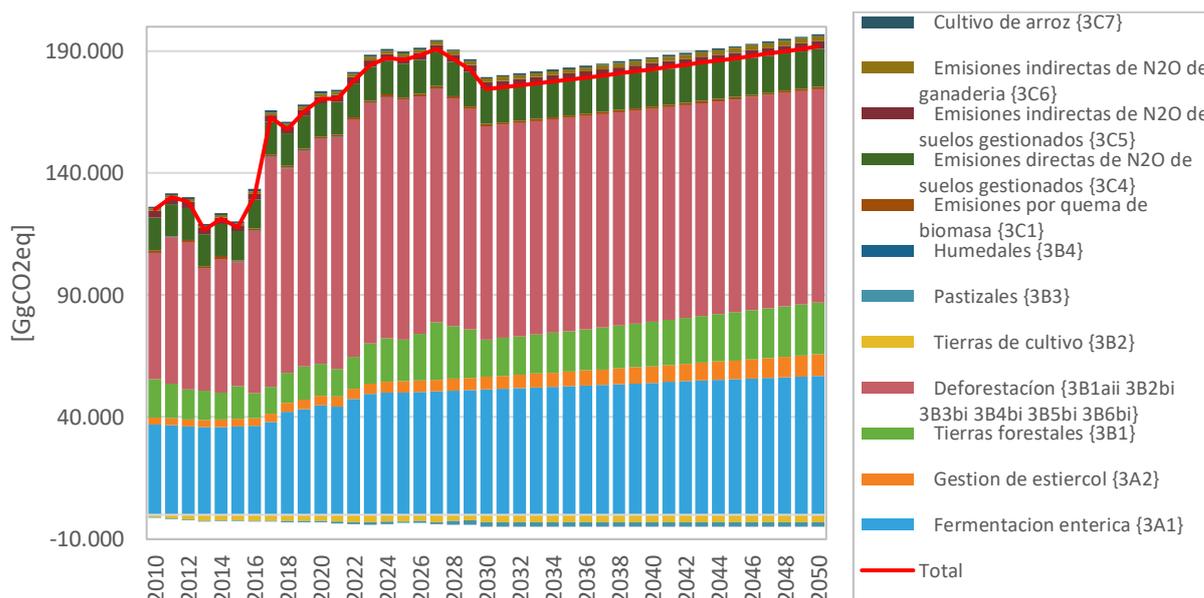


Figura 91. Emisiones GEI del sector AFOLU.

Fuente: elaboración propia.

Las emisiones asignadas por ministerio se dan en la Tabla 111. La mayor parte de las emisiones de AFOLU proviene de la deforestación, sin embargo, estas emisiones no están asignadas a un ministerio específico. Debido al aumento de las emisiones de la ganadería, las emisiones asignadas al Ministerio de Agricultura aumentan un 33% de 48 Tg CO₂eq en 2015 a 67 Tg CO₂eq en 2030.

Tabla 111. Emisiones del sector AFOLU asignados por los ministerios en Gg CO₂eq

Asignación	2015	2020	2025	2030	2050
Min_Agricultura	47,982	58,766	67,046	63,958	75,318
Min_Ambiente	30,530	31,087	32,843	34,624	39,797
Deforestación	50,667	92,232	98,458	87,381	87,381
Total	129,180	182,085	198,348	185,963	202,496

Fuente: elaboración propia.

4.6.1. AGROPECUARIO

Las emisiones proyectadas del sector agropecuario (3A y 3C) aumentan de 56 Tg CO₂eq en 2015 a 77 Tg CO₂eq en 2030, con un aumento del 37% (Tabla 112). Este aumento se debe principalmente a un aumento en el número de animales, que resulta en mayores emisiones de metano por fermentación entérica (categoría 3A1), pero también aumentan las emisiones por manejo de estiércol (categoría 3A2). Para la fermentación entérica el aumento en el número de bovinos es la principal razón de las mayores emisiones, mientras que para la gestión de estiércol, también es relevante el aumento en el número de cerdos y aves. Después de 2030, se prevé que las emisiones sigan aumentando, y especialmente el fuerte aumento en el número de aves de corral resulta en mayores emisiones de N₂O por la gestión del estiércol.

Tabla 112. Emisiones segregadas para la categoría Ganadería en Gg CO₂eq

Subsector	2015	2020	2025	2030	2050
Ganadería {3A}	39,380	48,761	54,705	56,562	65,852
Fermentación entérica {3A1}	36,143	44,781	50,115	51,347	56,966
Ganado Bovino	34,561	42,919	47,855	48,737	52,999
Búfalos {3A1b}	447	645	886	1,094	1,929
Ovinos {3A1c}	185	236	279	325	510
Caprinos {3A1d}	155	145	170	177	206
Caballos {3A1f}	611	603	678	749	1,034
Mulas y asnos {3A1g}	97	109	112	118	144
Porcinos menor de 6 meses {3A1hi}	34	46	50	54	54
Porcinos mayor de 6 meses {3A1hii}	52	79	85	92	92
Gestión de estiércol {3A2}	3,237	3,979	4,589	5,215	8,885
Methane	1,377	1,698	1,930	2,157	3,422
Oxido Nitroso	1,860	2,281	2,659	3,058	5,463

Fuente: elaboración propia.

Los emisiones de no-CO₂ provenientes de la tierra {3C} incrementan también, de 16.7 Tg CO₂eq in 2015 a 20.3 Tg CO₂eq in 2030, un incremento de 21%. La mayor contribución son las emisiones directas de N₂O de suelos gestionados, específicamente de orina y estiércol de animales en pastorea {3C4f}. Relativamente el incremento de emisiones relacionados de fertilizante sintético es más alto con 38%. Mientras los emisiones de CH₄ relacionado con el cultivo de arroz están proyectados de bajar de 777 Gg CO₂eq en 2015 a 730 Gg CO₂eq in 2030.

Tabla 113. Emisiones segregadas de no-CO₂ provenientes de la tierra en Gg CO₂eq

Branch	2015	2020	2025	2030	2050
Emisiones de no_CO ₂ provenientes de la tierra {3C}	16,727	19,173	19,724	20,322	22,392
Emisiones por quema de biomasa {3C1}	745	766	871	977	977
Tierras forestales {3C1a}	632	651	750	849	849
Tierras de cultivo {3C1b}	84	86	91	96	96
Pastizales {3C1c}	29	29	30	32	32
Emisiones directas de N ₂ O de suelos gestion. {3C4}	11,835	13,515	13,823	14,145	15,342
Gestion de suelos histosoles {3C4e}	1,782	1,782	1,782	1,782	1,782
Fertilizante sintético {3C4a}	1,641	1,803	2,028	2,270	3,161
Fertilizante orgánico {3C4b}	41	42	43	43	46

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

Residuos de cultivo {3C4c}	153	174	183	192	227
Mineralización {3C4d}	470	470	470	470	470
Orina y estiércol de animales en past. {3C4f}	7,748	9,245	9,318	9,389	9,657
Emisiones indirectas de N2O de suelos gestionados {3C5}	2,338	2,713	2,804	2,900	3,256
Volatilización Fertilizante sintético {3C5a}	164	180	203	227	316
Volatilización Fertilizante orgánico {3C5b}	8	8	9	9	9
Volatilización Orina y estiércol en past. {3C5c}	775	924	932	939	966
Lixiviación Fertilizante sintético {3C5d}	369	406	456	511	711
Lixiviación Fertilizante orgánico {3C5e}	9	9	10	10	10
Lixiviación residuos de cultivo {3C5f}	34	39	41	43	51
Lixiviación Mineralización {3C5g}	106	106	106	106	106
Lixiviación Orina y estiércol en pastoreo {3C5h}	872	1,040	1,048	1,056	1,086
Emisiones indirectas de N2O de ganadería {3C6}	1,033	1,308	1,474	1,570	2,148
Ganado	778	975	1,077	1,097	1,193
Búfalos	1	1	2	2	4
Ovinos	1	2	2	2	4
Caprinos	1	1	2	2	2
Caballos	4	4	4	5	7
Mulas y asnos	1	1	1	1	1
Porcinos menos de 6 meses	32	45	54	66	144
Porcinos mayores de 6 meses	55	85	104	126	277
Ponedoras	33	43	51	60	118
Pollo de engorde	127	151	177	208	399
Cultivo de arroz {3C7}	777	871	752	730	670
Cultivo de arroz riego {3C7a}	498	560	532	532	480
Cultivo de arroz secano {3C7b}	279	311	220	199	190

Fuente: elaboración propia.

4.6.2. USO DE TIERRAS

En el año 2030, todo el sector 3B (Tierras) contribuye con 109,079 Gg de CO₂ de emisiones. Este es el resultado neto de 145,573 Gg de emisiones y 36,494 Gg de absorciones de CO₂. Comparado con el año 2015 las emisiones incrementan con 50% hasta 2030 (ver Figura 92). Con emisiones netas de 87,384 Gg de CO₂, la deforestación contribuye con más del 80% a las emisiones netas totales de UTCUTS en 2030.

Las emisiones asociadas con la recolección de leña de bosques naturales tienden a aumentar gradualmente de 30,341 Gg de CO₂ en 2015 a 33,910 Gg de CO₂ en 2030. Esta es la segunda mayor fuente de emisiones para el uso de la tierra 3B.

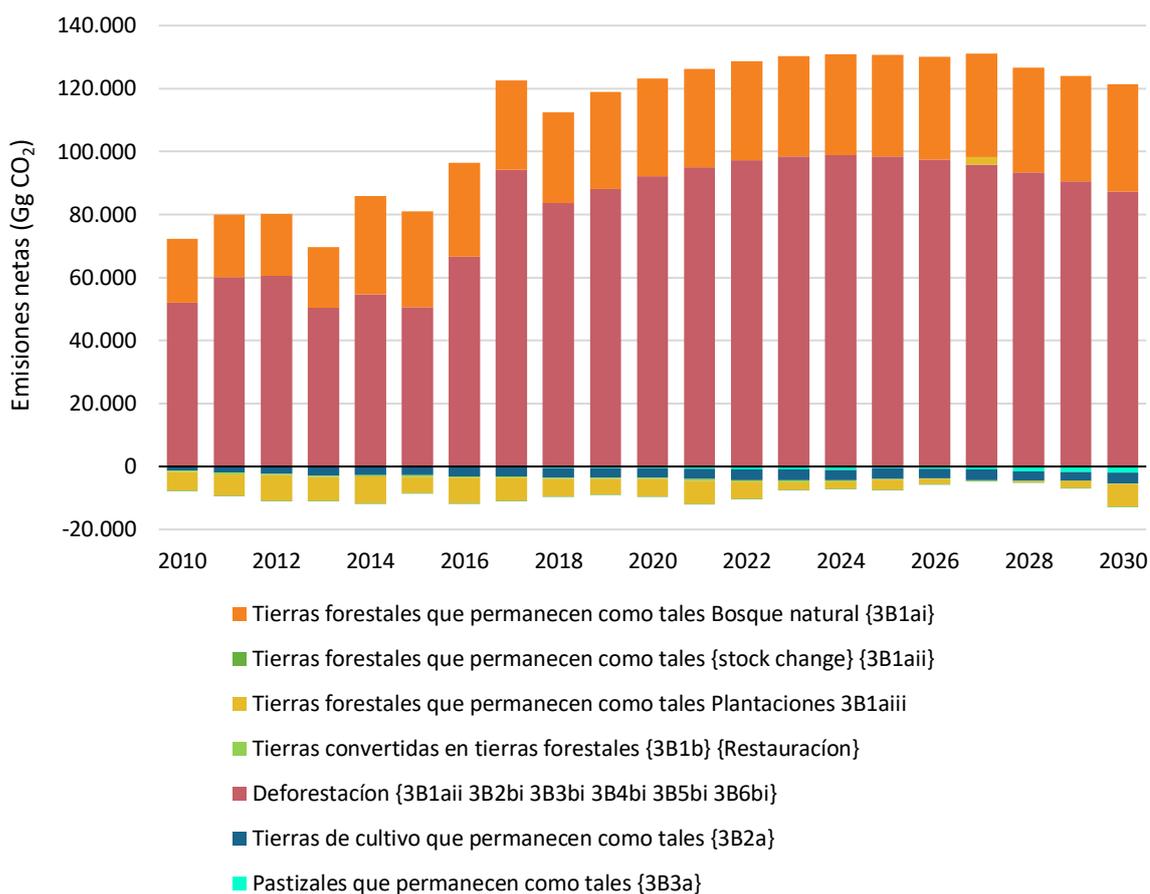


Figura 92. Emisiones y absorciones netas de CO₂ (Gg CO₂) para las diferentes subcategorías principales de la categoría 3B Tierras. Las absorciones netas son valores negativos.

Fuente: elaboración propia.

En las proyecciones la serie temporal de emisiones netas de las plantaciones forestales es muy variable. El efecto neto es el resultado de la absorción de CO₂ por el cultivo de árboles y las emisiones resultantes de la cosecha de árboles al final del ciclo de rotación (ver Figura 93). Estas emisiones dependen del momento del establecimiento de la plantación en el pasado y de las especies de árboles plantados y su tiempo de rotación específico. En el año 2027 esta categoría aún representa una fuente neta de emisiones de 2,495 Gg de CO₂.

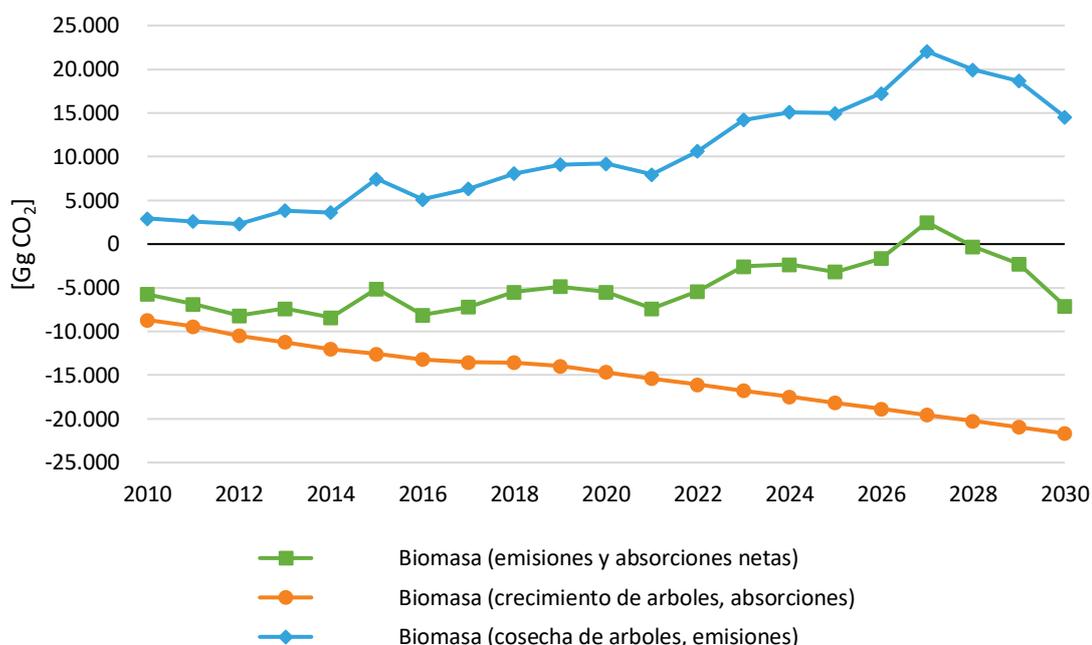


Figura 93. Emisiones y absorciones de CO₂ por biomasa en plantaciones forestales.
Fuente: elaboración propia.

La categoría Tierras cultivos (3B2) es un sumidero neto de CO₂. Principalmente por el crecimiento de biomasa de los árboles (frutales) (ver Figura 94). Reemplazar los árboles frutales da como resultado emisiones de la reserva de biomasa, pero porque las absorciones como resultado del crecimiento de los árboles son más altas, la biomasa es un sumidero neto.

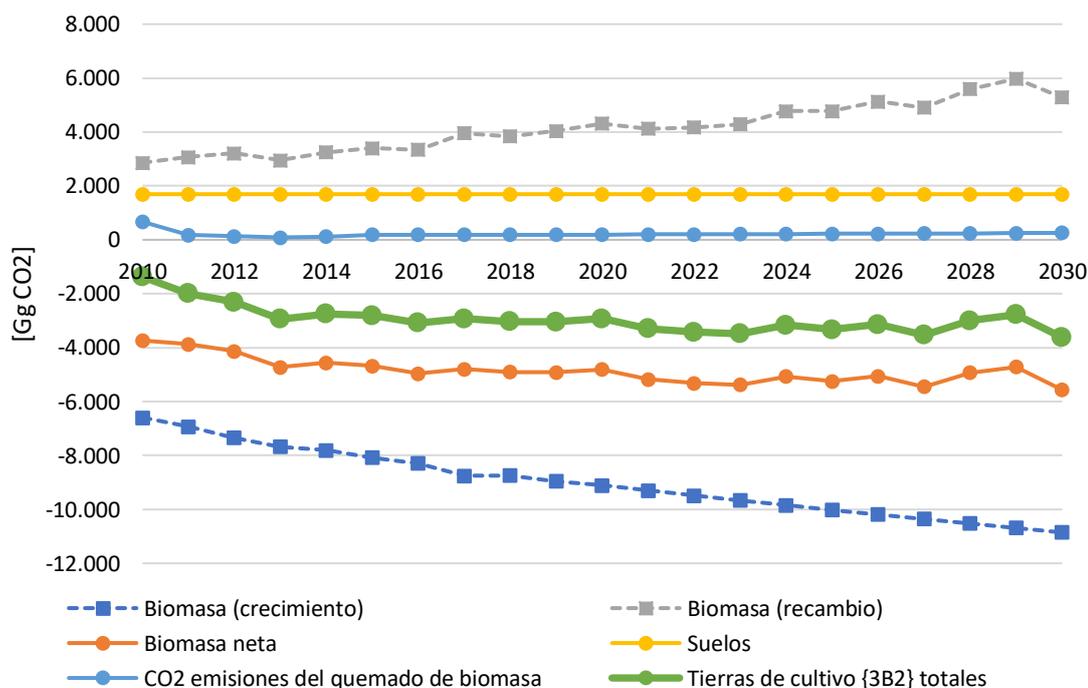


Figura 94. Emisiones y absorciones de CO₂ (Gg) por las diferentes reservas de carbono (biomasa, suelos) y quemadas de biomasa en la categoría 3B2 Tierras de cultivo.
Fuente: elaboración propia.

Las emisiones y absorciones para 3B-Tierras solo se proyectaron hasta el año 2030. A excepción de las emisiones resultantes de la recolección y uso de leña, todas las demás categorías 3B se mantienen constantes entre los años 2030 y 2050. Debido a que las emisiones se relacionan con el uso de leña que se contabiliza en el sector AFOLU, las emisiones resultantes de la recolección de leña también se proyectan para los años comprendidos entre los años 2030 - 2050.

Tabla 114. Detalle emisiones GEI por uso de tierras en GgCO₂eq.

Categoría	2015	2020	2025	2030	2050
Tierras forestales {3B1}	13,388.	13,113.	16,965.	15,214.	21,241.
Tierras forestales que permanecen como tales {3B1a}	13,969.	14,539.	18,811.	17,448.	23,475.
Tierras forestales que permanecen como tales Bosque natural {3B1ai}	19,310.	19,998.	21,164.	22,420.	28,446.
Tierras forestales que permanecen como tales {stock change} {3B1aii}	-174.	-717.	-1,129.	-1,428.	-1,428.
Tierras forestales que permanecen como tales Plantaciones 3B1aiii	-5,166.	-4,743.	-1,224.	-3,543.	-3,543.
Tierras convertidas en tierras forestales {3B1b} {Restauración}	-581.	-1,426.	-1,846.	-2,234.	-2,234.
Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales {3B1bi}	-124.	-164.	-102.	-109.	-109.
Pastizales convertidos en tierras forestales {3B1bii}	-431.	-1,109.	-1,552.	-1,891.	-1,891.
Humedales convertidos en tierras forestales {3B1biii}	-10.	-27.	-27.	-31.	-31.
Asentamientos convertidos en tierras forestales {3B1biv}	-9.	-19.	-19.	-23.	-23.
Otras tierras convertidas en tierras forestales {3B1bv}	-8.	-107.	-146.	-180.	-180.
Deforestación {3B1aii 3B2bi 3B3bi 3B4bi 3B5bi 3B6bi}	50,672.	92,238.	98,461.	87,384.	87,384.
Tierras forestales convertidas en otras tierras boscosa {3B1aii}	19,538.	37,699.	40,346.	34,584.	34,584.
Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo {3B2bi}	2,297.	2,944.	2,557.	2,258.	2,258.
Tierras forestales convertidas en pastizales {3B3bi}	25,501.	47,043.	50,046.	44,314.	44,314.
Tierras forestales convertidas en humedales {3B4bi}	559.	594.	612.	588.	588.
Tierras forestales convertidas en Asentamientos {3B5bi}	338.	551.	571.	612.	612.
Tierras forestales convertidas en Otras tierras {3B6bi}	2,439.	3,407.	4,329.	5,027.	5,027.
Tierras de cultivo {3B2}	-2,376.	-2,460.	-2,846.	-3,126.	-3,126.
Tierras de cultivo que permanecen como tales {3B2a}	-2,376.	-2,460.	-2,846.	-3,126.	-3,126.
Cultivo de café {3B2ai}	-1,103.	-886.	-1,021.	-1,054.	-1,054.
Palma {3B2aii}	-1,105.	-1,339.	-1,408.	-1,511.	-1,511.
Cacao {3B2aiii}	-429.	-461.	-480.	-495.	-495.
Aguacate {3B2aiv}	-149.	-169.	-220.	-270.	-270.
Caucho {3B2av}	-1,237.	-1,384.	-1,516.	-1,617.	-1,617.
Mango {3B2avi}	-52.	-27.	-33.	-39.	-39.
Limón {3B2avii}	4.	-26.	-28.	-30.	-30.
Mandarina {3B2aviii}	-80.	24.	26.	27.	27.
Naranja {3B2aix}	-104.	-76.	-82.	-86.	-86.
Tangelo {3B2ax}	-0.	-1.	-1.	-1.	-1.
Otro {3B2axi}	1,879.	1,885.	1,917.	1,948.	1,948.
Tierras convertidas en tierras de cultivo {3B2b}	-	-	-	-	-
Pastizales {3B3}	-14.	-582.	-596.	-1,856.	-1,856.
Pastizales que permanecen como tales {3B3a}	-14.	-582.	-596.	-1,856.	-1,856.
Tierras convertidas en pastizales {3B3b}	-	-	-	-	-
Humedales {3B4}	159.	194.	35.	-	-
Humedales que permanecen como tales {3B4a}	159.	194.	35.	-	-
Tierras convertidas en humedales {3B4b}	-	-	-	-	-
Asentamientos {3B5}	-	-	-	-	-
Otras tierras {3B6}	-	-	-	-	-
Total	61,829.	102,502.	112,019.	97,616.	103,642.

4.7. RESIDUOS

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de residuos sólidos depende de los métodos de eliminación. Los principales sistemas de eliminación de residuos que se utilizan actualmente en Colombia son el relleno sanitario, botaderos a cielo abierto, incineración de residuos (para residuos

clínicos y residuos industriales peligrosos), la quema a cielo abierto y el tratamiento de aguas residuales.

La creciente generación de residuos se ha convertido en una preocupación importante con la expansión de la población urbana y los rápidos cambios del patrón de consumo. El GEI más importante para el sector de los residuos es el metano.

Tabla 115. Emisiones por subcategorías principales para el sector residuos [Gg CO₂eq]

	2015	2020	2025	2030	2050
Eliminación Desechos Solidos {4A}	10,094	11,681	12,593	13,506	16,298
Tratamiento biológico de desechos sólidos {4B}	-	-	-	-	-
Incineración e incineración abierta {4C}	732	793	833	870	974
Tratamiento y eliminación aguas residuales {4D}	8,727	9,125	11,817	13,716	24,050
Total	19,553	21,600	25,243	28,091	41,322

Fuente: elaboración propia.

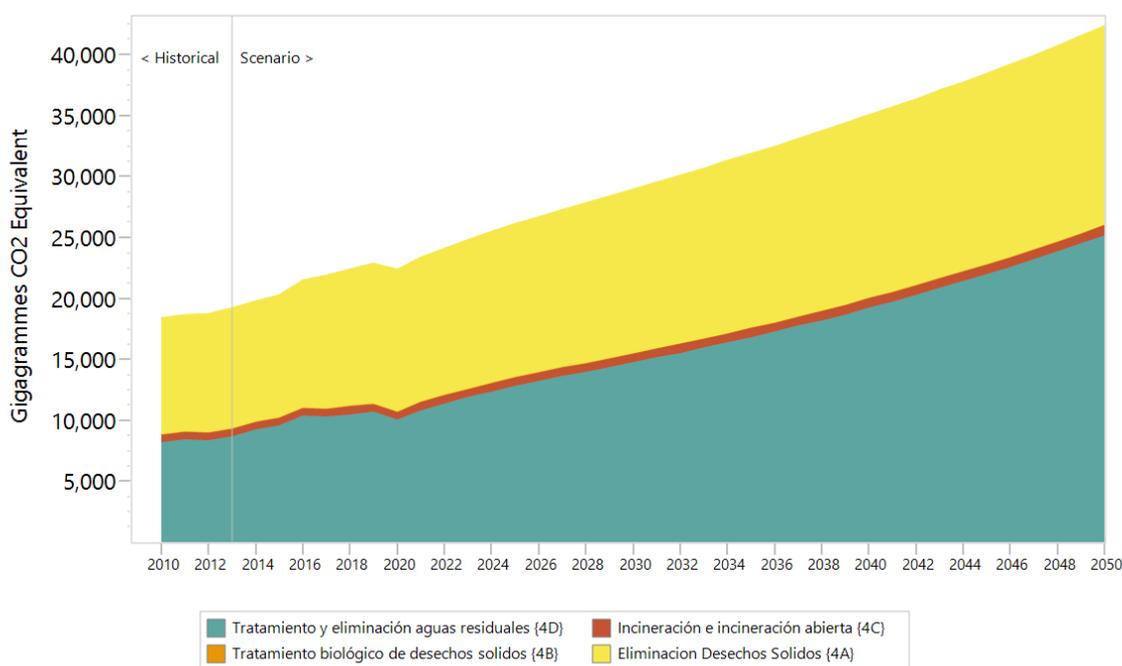


Figura 95. Emisiones por subcategorías principales asociadas al sector residuos [Gg CO₂eq]

Fuente: elaboración propia.

El escenario de referencia para el sector de los residuos depende en gran medida del crecimiento de la población proyectada por el DANE y extrapolada a todas las subcategorías pertinentes en el sector de residuos. El crecimiento de la población es el principal factor impulsador para la producción de residuos y generación de aguas residuales domésticas. En la figura siguiente, el aumento de los emisiones de GEI para el sector de los residuos crece a la misma velocidad del crecimiento poblacional, causando una influencia directa en la tendencia de producción de GEI para la categoría Eliminación de residuos sólidos (4A), incineración de residuos (4C) y aguas residuales (4D).

El escenario de referencia de las subcategorías «incineración de residuos (industriales)» (4C1) y «aguas residuales industriales» (4D2) son impulsados por el crecimiento económico específico de su sector (PIB), por la extracción de carbón y petróleo, y por el crecimiento de la población. Al considerar un PIB creciente hacia 2030 y 2050 (incluida la corrección COVID-19), la emisión de GEI de esos subsectores está en armonización con la creciente previsión económica.

Dentro del sector global de residuos, podemos considerar la categoría de «eliminación de residuos sólidos» (4A) y la categoría de «tratamiento de aguas residuales» (4D) como las más significativas. Considerando que el efecto de las «aguas residuales(industriales)» aumentará hacia 2030, a partir de un peso o contribución global del 44.8 % en las emisiones totales de GEI asociadas a residuos en 2015 y al 48.8 % en 2030, en un escenario de referencia.

Tabla 116. Emisiones por asignación [Gg CO₂eq] asociadas al sector residuos

Asignación	2015	2020	2025	2030	2050
Min_Industria	6,429	6,633	9,184	10,961	20,982
Min_Vivienda	13,059	14,898	15,991	17,061	20,257
Min_Ambiente	65	69	68	70	83
Total	19,553	21,600	25,243	28,091	41,322

Fuente: elaboración propia.

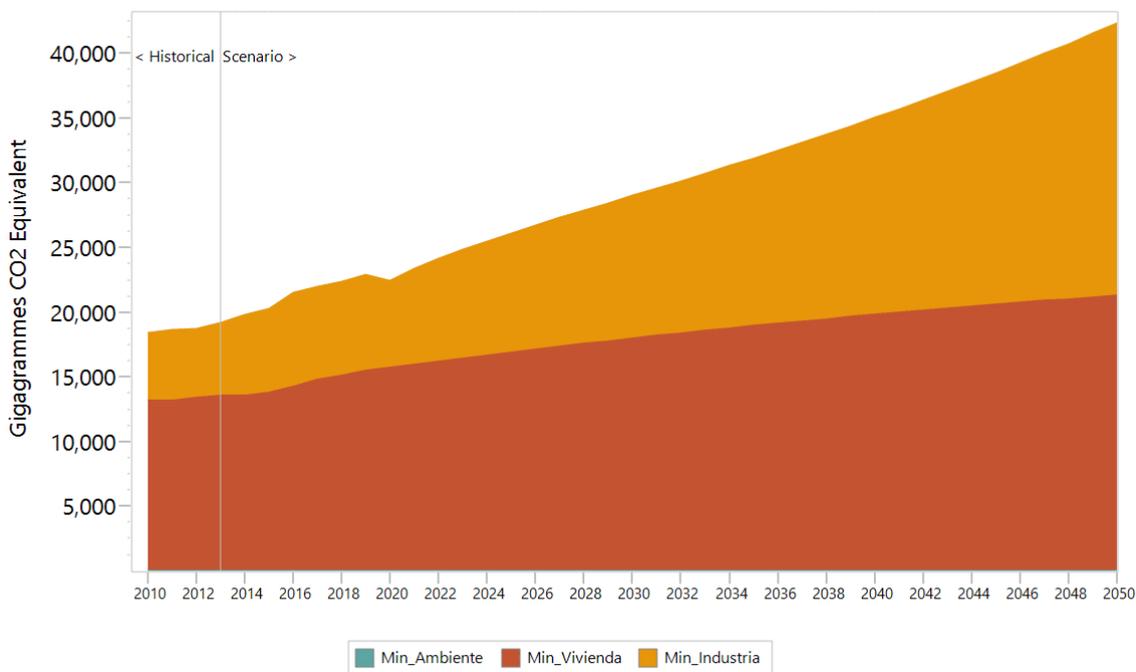


Figura 96. Emisiones por asignación [Gg CO₂eq] asociadas al sector residuos

Fuente: elaboración propia.

Si comparamos las proyecciones de emisiones de GEI divididas por un ministerio responsable, las responsabilidades para hacer frente a las emisiones futuras se dividen principalmente por el Ministerio de Comercio, Industria y turismo (MINCIT), y el Ministerio de Vivienda (Minvivienda). En 2015 Minvivienda es responsable del 66% y el MINCIT del 33% de las emisiones totales en el sector

de residuos. Si asumimos un statu quo hacia 2030, se muestra una responsabilidad creciente (39% de GEI en 2030) para el MINCIT debido a un mayor efecto de los residuos industriales y un menor crecimiento de la población que cierra la brecha en 2050 (50% GEI) entre los dos ministerios principales.

Tabla 117. Emisiones GEI para 2030 por contaminante y asignación [Gg CO₂eq]

Asignación	Óxido nitroso	Metano	Dióxido de carbono	Total
Min_Industria	-	10,961	-	10,961
Min_Vivienda	658	15,880	524	17,061
Min_Ambiente	1	0	69	70
Total	658	26,840	593	28,091

Fuente: elaboración propia.

Tabla 118. Emisiones GEI para 2030 por contaminante y asignación [Gg CO₂eq]

Por categoría IPCC	Óxido nitroso	Metano	Dióxido de carbono	Total
Eliminación Desechos Sólidos {4A}	-	13,506	-	13,506
Tratamiento biológico de desechos sólidos {4B}	-	-	-	-
Incineración e incineración abierta {4C}	50	227	593	870
Tratamiento y eliminación aguas residuales {4D}	608	13,108	-	13,716
Total	658	26,840	593	28,091

Fuente: elaboración propia.

Para más detalle la Tabla 119 presenta de forma desagregada por categoría las emisiones totales de GEI en Gg CO₂eq. Las categorías descritas en la tabla corresponden con las categorías IPCC además de la clasificación por zonas climáticas establecidas debido a la variación en los factores de emisión en dichas zonas. Adicionalmente se puede observar un mayor nivel de detalle como es el caso de las emisiones derivadas de la incineración de residuos peligrosos o la distribución de las emisiones de tratamiento de aguas industriales.

Tabla 119. Emisiones desagregadas para el sector residuos [Gg CO₂eq]

	2015	2020	2025	2030	2050
Eliminación Desechos Sólidos {4A}	10,094	11,681	12,593	13,506	16,298
Sitios gestionados {4A1}	9,395	11,209	12,223	13,193	16,075
Rellenos regionales {4A1a}	8,152	9,855	10,878	11,838	14,602

Clima tropical húmedo y húmedo	3,895	4,782	5,107	5,456	6,411
Clima templado húmedo	3,032	3,214	3,431	3,630	4,279
Clima tropical seco	996	1,501	1,854	2,142	2,889
Clima templado seco	228	358	486	610	1,024
Llenado sanitario local _ planta integral _ celda de contingencia {4A1b}	1,243	1,354	1,345	1,356	1,473
Clima tropical húmedo y húmedo	910	1,091	1,116	1,146	1,283
Clima templado húmedo	86	55	41	33	24
Clima tropical seco	218	180	161	149	138
Clima templado seco	29	28	27	27	29
Sitios no gestionados {4A2}	0	0	0	0	0
Sitios no categorizados {4A3}	699	472	370	312	223
Clima tropical húmedo y húmedo	437	288	236	213	188
Clima templado húmedo	52	30	19	13	4
Clima tropical seco	123	87	63	46	15
Clima templado seco	86	67	52	41	16
Tratamiento biológico de desechos sólidos {4B}	0	0	0	0	0
Incineración e incineración abierta {4C}	1,399	1,517	1,598	1,670	1,865
Incineración {4C1}	732	793	833	870	974
Residuos Sólidos Urbanos	65	69	68	70	83
Residuos Peligrosos	65	69	68	70	83
Residuos Hospitalares Peligrosos	10	11	12	12	14
Aceites	40	42	39	40	48
Solventes	14	15	15	16	17
Solventes	1	1	2	2	4
Incineración abierta {4C2}	667	724	765	800	891
Municipal	667	724	765	800	891
Tratamiento y eliminación aguas residuales {4D}	8,727	9,125	11,817	13,716	24,050
Domesticas {4D1}	2,298	2,493	2,633	2,755	3,068
Urbano	1,193	1,294	1,367	1,431	1,593
Urbano con alcantarillado	845	917	968	1,013	1,128
Urbano sin alcantarillado	348	378	399	418	465
Rural	597	648	685	716	798
Rural con alcantarillado	41	44	47	49	54
Rural sin alcantarillado	557	604	638	668	744
N2O	507	550	581	608	677
Con Alcantarillado	359	389	411	430	479
Sin Alcantarillado	148	161	170	178	198
Industriales {4D2}	6,429	6,633	9,184	10,961	20,982
Aceites vegetales	18	16	23	27	52
Café	384	381	527	629	1,205
Carne y avicultura	259	245	339	404	774
Jabones y detergentes	4	4	6	7	13
Malta y cerveza	171	162	224	267	512
Otros alimentos	786	888	1,230	1,468	2,811
Otras bebidas	3	3	4	5	10
Plásticos y resinas	10	10	14	17	32
Procesamiento pescado	4	4	5	6	12
Almidón	2,641	2,611	3,615	4,314	8,259

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

Azúcar	329	264	365	436	834
Sustancias químicas org	962	1,250	1,731	2,066	3,954
Frutas vegetales y jugos	81	98	135	161	309
Vino y vinagre	-	-	-	-	-
Productos lácteos	136	123	171	204	390
Pulpa y papel	559	488	676	807	1,544
Refinación alcohol	82	86	119	143	273
Total	19,553	21,600	25,243	28,091	41,322

Fuente: elaboración propia.

4.8. EMISIONES TOTALES POR CATEGORÍA IPCC A 2030

Tabla 120. Emisiones anuales de GEI por categoría IPCC con alto nivel de desagregación 2015 – 2030

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
TOTAL NACIONAL	233,586	250,687	284,497	280,654	288,333	291,297	296,164	305,949	317,006	327,173	332,696	338,826	346,521	346,355	348,195	345,801
1 - Energía	86,671	89,249	90,309	90,740	90,344	88,595	91,837	93,033	95,692	102,009	106,469	110,228	113,320	115,972	119,955	124,804
1.A Actividades de quema de combustible	75,837	78,617	79,718	80,008	79,687	77,313	80,686	82,255	85,151	90,892	95,885	100,200	103,819	106,842	110,968	115,970
1.A.1 Industrias de la energía	22,000	22,782	21,955	20,683	18,687	16,705	16,820	15,708	15,924	18,899	21,108	22,752	23,605	23,901	25,188	27,182
1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal	11,668	12,911	11,643	10,052	7,619	5,866	5,358	4,611	5,168	7,693	9,625	11,845	12,961	13,900	15,504	17,504
1A1ai Generación de electricidad	11,668	12,911	11,643	10,052	7,619	5,866	5,358	4,611	5,168	7,693	9,625	11,845	12,961	13,900	15,504	17,504
1A1ai1 Generación de electricidad (Sistema interconectado nacional)	11,450	12,692	11,425	9,835	7,401	5,648	5,139	4,391	4,948	7,472	9,403	11,622	12,737	13,675	15,277	17,276
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	3,123	2,670	3,723	3,889	4,108	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929
1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	7,209	7,201	6,589	6,742	6,960	6,910	7,533	7,168	6,827	7,277	7,554	6,978	6,715	6,072	5,755	5,749
1A1ci Manufactura de combustibles sólidos	1,391	1,081	1,108	1,135	1,168	1,131	1,125	1,162	1,212	1,323	1,417	1,506	1,588	1,664	1,736	1,812
Coque	1,376	1,071	1,100	1,127	1,160	1,123	1,117	1,154	1,204	1,314	1,408	1,497	1,579	1,655	1,727	1,803
Carbón de leña	15	10	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9
1A1cii Otras industrias de la energía	5,818	6,120	5,481	5,607	5,792	5,779	6,408	6,006	5,615	5,954	6,137	5,472	5,127	4,408	4,019	3,937
1A1cii1 Otras industrias de la energía (Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural)	4,718	4,898	4,295	4,432	4,609	4,608	5,231	4,832	4,414	4,727	4,910	4,232	3,882	3,157	2,766	2,676
1A1cii2 Otras industrias de la energía (Producción de carbón)	1,100	1,222	1,186	1,175	1,183	1,171	1,177	1,174	1,201	1,227	1,227	1,240	1,245	1,251	1,253	1,261
1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción	12,563	13,068	13,707	14,206	14,502	13,162	14,593	15,551	16,413	17,215	17,975	18,700	19,398	20,065	20,730	21,419
1A2a Hierro y acero	619	730	710	661	671	607	674	721	764	804	840	875	908	940	971	1,003
1A2b Metales no ferrosos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1A2c Productos químicos	822	904	702	736	743	672	746	799	847	890	931	969	1,006	1,041	1,075	1,111
1A2d Pulpa, papel e imprenta	1,478	1,446	1,497	1,629	1,714	1,549	1,720	1,842	1,952	2,052	2,145	2,235	2,319	2,400	2,479	2,561
1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	2,415	2,593	2,772	2,785	2,863	2,588	2,873	3,077	3,261	3,427	3,583	3,732	3,873	4,008	4,140	4,276
1A2f Minerales no metálicos	4,537	4,819	4,198	4,153	4,174	3,773	4,189	4,487	4,754	4,997	5,224	5,441	5,647	5,843	6,036	6,235
1A2g Equipo de transporte	28	29	25	26	28	25	28	30	32	33	35	36	38	39	40	42
1A2h Maquinaria	97	91	124	130	130	117	130	140	148	155	162	169	176	182	188	194
1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	941	1,322	1,649	1,952	2,020	1,882	2,067	2,133	2,195	2,272	2,353	2,430	2,512	2,592	2,683	2,777
1A2j Madera y productos de la madera	28	20	22	19	18	17	18	20	21	22	23	24	25	26	27	27
1A2k Construcción	611	191	174	216	212	188	212	228	242	253	264	274	284	294	302	311
1A2l Textiles y cueros	825	764	1,475	1,489	1,513	1,368	1,519	1,627	1,723	1,812	1,894	1,973	2,047	2,118	2,188	2,261
1A2m Industria no especificada	162	159	359	410	416	376	417	447	474	498	521	542	563	582	601	621
1.A.3 Transporte	33,416	34,908	35,983	36,869	38,075	39,051	40,538	41,980	43,508	45,187	46,928	48,593	50,384	52,168	54,068	56,102
1A3a Aviación civil	3,117	3,283	3,280	3,494	3,609	3,409	3,634	3,834	4,026	4,211	4,388	4,559	4,723	4,884	5,045	5,211
1A3aii Aviación de cabotaje	3,117	3,283	3,280	3,494	3,609	3,409	3,634	3,834	4,026	4,211	4,388	4,559	4,723	4,884	5,045	5,211
1A3b Transporte terrestre	29,315	30,622	31,800	32,615	33,669	34,823	36,038	37,314	38,690	40,107	41,593	43,153	44,802	46,507	48,283	50,144
1A3bi Automóviles	9,314	9,657	9,991	10,217	10,408	10,657	10,948	11,280	11,656	12,079	12,546	13,060	13,620	14,228	14,887	15,601

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

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
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	1,812	1,896	1,994	2,112	2,240	2,375	2,519	2,671	2,832	3,001	3,176	3,358	3,548	3,746
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	14,232	14,768	15,158	15,523	16,123	16,677	17,243	17,833	18,488	19,146	19,834	20,551	21,329	22,137	22,983	23,874
1A3biv Motocicletas	4,216	4,516	4,839	4,979	5,144	5,377	5,607	5,826	6,027	6,211	6,381	6,541	6,677	6,784	6,865	6,923
1A3bv Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	NE															
1A3bvi Catalizadores basados en urea	NE															
1A3c Ferrocarriles	78	79	80	81	84	79	84	89	93	98	102	106	110	113	117	121
1A3d Navegación marítima y fluvial	420	461	376	248	256	242	258	272	286	299	311	323	335	346	358	370
1A3dii Navegación marítima y fluvial nacional	420	461	376	248	256	242	258	272	286	299	311	323	335	346	358	370
1A3e Otro tipo de transporte	486	463	447	431	457	498	524	471	413	472	534	452	414	318	265	256
1A3ei Transporte por gasoductos	486	463	447	431	457	498	524	471	413	472	534	452	414	318	265	256
1A3eii Todo terreno	NO															
1.A.4 Otros sectores	7,858	7,859	8,073	8,250	8,423	8,395	8,735	9,016	9,306	9,591	9,874	10,155	10,432	10,708	10,982	11,267
1A4a Comercial / Institucional	1,059	1,084	1,113	1,152	1,199	1,150	1,206	1,269	1,331	1,392	1,450	1,506	1,560	1,613	1,666	1,721
1A4b Residencial	5,057	5,153	5,248	5,344	5,439	5,537	5,673	5,798	5,926	6,056	6,187	6,322	6,457	6,594	6,733	6,873
1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	1,742	1,622	1,712	1,754	1,785	1,708	1,856	1,949	2,049	2,143	2,237	2,327	2,415	2,501	2,583	2,673
1A4ci Estacionaria	1,423	1,380	1,457	1,492	1,519	1,453	1,579	1,658	1,743	1,823	1,903	1,980	2,055	2,128	2,198	2,274
1A4cii Vehículos todo terreno y maquinaria	319	242	255	262	266	255	277	291	306	320	334	347	360	373	385	399
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	10,834	10,632	10,591	10,732	10,657	11,282	11,151	10,778	10,541	11,117	10,584	10,028	9,501	9,130	8,987	8,834
1.B.1 Combustibles sólidos	3,340	3,705	3,623	3,633	3,668	3,632	3,649	3,641	3,723	3,804	3,805	3,844	3,860	3,879	3,887	3,909
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón	3,340	3,705	3,623	3,633	3,668	3,632	3,649	3,641	3,723	3,804	3,805	3,844	3,860	3,879	3,887	3,909
1B1ai Minas subterráneas	1,572	1,743	1,704	1,709	1,726	1,709	1,717	1,713	1,752	1,790	1,790	1,808	1,816	1,825	1,829	1,839
1B1ai1 Minería	1,209	1,341	1,311	1,315	1,328	1,315	1,321	1,318	1,348	1,377	1,377	1,391	1,397	1,404	1,407	1,415
1B1ai2 Emisiones posteriores a la minería	363	402	393	394	398	394	396	395	404	413	413	417	419	421	422	424
1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas	NE															
1B1ai4 Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2	NE															
1B1aii Minas de superficie	1,768	1,962	1,919	1,924	1,942	1,923	1,932	1,928	1,971	2,014	2,015	2,036	2,044	2,054	2,058	2,070
1B1aii1 Minería	1,360	1,509	1,476	1,480	1,494	1,479	1,486	1,483	1,516	1,549	1,550	1,566	1,572	1,580	1,583	1,592
1B1aii2 Emisiones posteriores a la minería	408	453	443	444	448	444	446	445	455	465	465	470	472	474	475	478
1B1b Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	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
1B1c Transformación de combustibles sólidos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1.B.2 Petróleo y gas natural	7,494	6,927	6,968	7,099	6,989	7,650	7,502	7,137	6,818	7,313	6,779	6,184	5,641	5,251	5,100	4,925
1B2a Petróleo	2,261	2,154	2,199	2,180	1,949	2,271	2,216	2,174	2,025	1,724	1,603	1,481	1,433	1,406	1,350	1,298
1B2ai Venteo	1,454	1,359	1,386	1,368	1,218	1,433	1,396	1,368	1,269	1,067	987	905	873	855	818	783
1B2aii Quema en antorcha	411	385	392	387	344	406	395	387	359	302	279	256	247	242	231	221
1B2aiii Todos los demás	396	410	421	425	387	432	425	419	397	355	337	320	313	309	301	294
1B2aiii1 Exploración	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B2aiii2 Producción y refinación	301	281	286	283	252	296	289	283	262	221	204	187	181	177	169	162
1B2aiii3 Transporte	9	9	9	9	8	9	9	9	8	7	6	6	5	5	5	5
1B2aiii4 Refinación	86	120	126	133	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
1B2aiii5 Distribución de productos de petróleo	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B2aiii6 Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1B2b Gas Natural	5,233	4,773	4,769	4,919	5,040	5,379	5,286	4,963	4,793	5,589	5,176	4,703	4,208	3,845	3,750	3,627
1B2bi Venteo	207	175	184	187	200	208	209	203	201	229	219	208	196	188	188	188
1B2bii Quema en antorcha	191	174	173	179	183	196	192	180	173	203	187	169	150	136	133	128
1B2biii Todos los demás	4,835	4,424	4,412	4,553	4,657	4,975	4,885	4,580	4,419	5,157	4,770	4,326	3,862	3,521	3,429	3,311
1B2biii1 Exploración	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	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	104	107	115	116	119	115	120	125	129	132	136	140	143	146	149	153
1B2biii5 Distribución	721	659	655	677	692	741	727	679	654	766	706	637	566	513	499	480
1B2biii6 Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.C.1 Transporte de CO2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1C1a Gasoductos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C1b Embarcaciones	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C1c Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.C.2 Inyección y almacenamiento	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
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	10,666	11,249	11,910	12,878	13,437	14,538	14,606	16,003	16,724	18,154	18,403
2.A - Industria de los minerales	4,797	4,587	4,521	4,565	4,589	4,149	4,605	4,932	5,227	5,493	5,744	5,982	6,208	6,424	6,636	6,854
2.A.1 - Producción de cemento	4,525	4,298	4,230	4,283	4,305	3,892	4,321	4,628	4,904	5,154	5,389	5,613	5,824	6,027	6,226	6,431
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	1,225	1,264	1,303	1,339	1,374	1,391	1,407	1,423	1,438
2.B.1 - Producción de amoníaco	152	154	183	183	183	183	183	183	183	184	184	184	184	184	184	184

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

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
2.B.2 - Producción de ácido nítrico	528	518	590	608	625	643	661	678	696	714	732	749	749	749	749	749
2.B.3 - Producción de ácido adípico	NO															
2.B.4 - Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.B.5 - Producción de carburo	NO															
2.B.6 - Producción de dióxido de titanio	NO															
2.B.7 - Producción de ceniza de sosa	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															
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															
2B8e Acrilonitrilo	NA															
2B8f Negro de humo	53	102	125	127	128	116	129	138	146	154	161	167	174	180	186	192
2B8g Otros	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															
2B9b Emisiones fugitivas	NA															
2.B.10 - Otros	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															
2.C.4 - Producción de magnesio	NO															
2.C.5 - Producción de plomo	NE															
2.C.6 - Producción de zinc	NO															
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	6,618	7,745	7,685
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	6,423	7,526	7,423
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	5,844	6,894	6,866
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	2,098	2,535	2,517
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - residencial	301	471	406	409	434	422	400	410	376	385	416	346	415	411	435	369
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	2,528	3,020	3,059
Aire acondicionado estacionario	282	398	378	406	440	570	538	539	603	616	687	648	735	807	904	921

Emissiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq																
Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
2F1b Aire acondicionado móvil	341	585	469	479	516	510	490	509	484	499	552	472	573	579	632	557
2F1bi Refrigeración móvil (transporte refrigerado) - industria manufacturera	47	67	66	72	81	85	84	89	102	105	122	115	141	150	177	170
2F1bii Aire acondicionado móvil	294	518	403	407	435	425	406	420	382	394	430	357	432	429	455	387
2.F.2 - Agentes espumantes	-	-	0	0	0	5	5	7	7	7	7	8	8	8	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	153	164	177
2.F.5 - Solventes	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
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															
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															
2G3b Propulsor para productos presurizados y aerosoles	NA															
2G3c Otros (especificar)	NA															
2.G.4 - Otros	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															
2.H.2 - Industria de la alimentación y bebidas	NA															
2.H.3 - Otros	NA															
3 - Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la Tierra	117,935	130,761	162,977	157,994	165,130	170,439	170,538	177,714	184,459	187,113	186,450	188,153	190,790	186,687	182,550	174,495
3.A - Ganadería	39,372	39,709	41,437	45,930	47,212	48,763	48,409	51,536	53,790	54,428	54,703	55,002	55,386	55,779	56,183	56,560
3.A.1 - Fermentación entérica	36,140	36,414	37,964	42,300	43,357	44,785	44,355	47,326	49,430	49,948	50,113	50,296	50,556	50,821	51,101	51,345
3A1a Total Ganado Bovino	36,054	36,324	37,863	42,196	43,233	44,660	44,228	47,197	49,300	49,815	49,978	50,159	50,417	50,680	50,958	51,199
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	1,614	1,190	1,853	2,056	2,095	2,156	1,984	2,119	2,214	2,235	2,240	2,245	2,255	2,263	2,272	2,281
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	5,576	5,218	5,784	6,786	6,972	7,425	6,861	7,330	7,659	7,732	7,745	7,766	7,796	7,827	7,862	7,889
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	7,445	7,502	7,777	8,697	9,012	9,042	9,116	9,740	10,178	10,274	10,294	10,319	10,359	10,401	10,446	10,484
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	923	943	949	1,058	1,139	1,168	1,131	1,210	1,265	1,275	1,279	1,282	1,287	1,292	1,299	1,302
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	2,123	2,052	2,102	2,529	2,744	2,875	2,614	2,791	2,918	2,944	2,951	2,957	2,968	2,982	2,994	3,004
3A1avi Ganado Bovino Terneras de replazo	8,233	8,348	8,823	9,653	9,617	10,074	10,088	10,779	11,263	11,370	11,393	11,419	11,464	11,511	11,561	11,603
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	8,645	9,583	8,974	9,746	9,901	10,182	10,580	11,307	11,814	11,927	11,951	11,978	12,028	12,074	12,127	12,173
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															
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

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

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
3A1hii Porcinos > 6 meses	52	51	63	65	78	79	80	81	82	84	85	86	88	89	90	92
3A1j Otros	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	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
3A2d Caprinos	34	36	36	31	31	32	37	37	38	38	38	38	39	39	39	39
3A2e Camellos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	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	61,650	73,878	102,532	93,039	98,707	102,310	102,731	106,633	110,965	112,854	111,796	113,080	115,205	110,587	105,916	97,355
3.B.1 - Tierras forestales	32,930	37,035	50,891	46,730	49,722	50,811	50,200	53,161	56,857	58,440	57,316	58,844	62,393	59,100	55,860	49,799
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	33,511	37,794	51,798	47,745	50,879	52,238	51,829	54,978	58,723	60,294	59,156	60,731	64,325	61,137	57,994	52,032
3B1ai Tierras forestales que permanecen como tales(Bosque natural)	19,310	19,230	19,477	19,671	19,875	19,998	20,268	20,480	20,708	20,935	21,164	21,403	21,647	21,893	22,149	22,420
Biomasa	17,769	17,689	17,936	18,130	18,334	18,457	18,727	18,939	19,167	19,394	19,623	19,862	20,106	20,352	20,608	20,879
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
3B1aii Tierras forestales que permanecen como tales (Regeneración+ convertidas en otras tierras boscosa)	19,367	26,785	39,425	33,899	35,606	36,983	38,091	38,865	39,361	39,480	39,217	38,575	37,605	36,338	34,836	33,156
Biomasa	18,864	26,054	38,555	33,154	34,825	36,171	37,254	38,009	38,490	38,600	38,339	37,704	36,747	35,500	34,023	32,371
MOM	503	731	870	745	781	812	837	856	871	880	878	871	858	838	813	785
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1aiii Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)	-5,166	-8,221	-7,104	-5,825	-4,602	-4,743	-6,530	-4,367	-1,346	-121	-1,225	753	5,073	2,906	1,009	-3,544
Biomasa	-5,166	-8,221	-7,104	-5,825	-4,602	-4,743	-6,530	-4,367	-1,346	-121	-1,225	753	5,073	2,906	1,009	-3,544
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	-581	-759	-907	-1,015	-1,157	-1,427	-1,629	-1,817	-1,866	-1,854	-1,840	-1,887	-1,932	-2,037	-2,134	-2,233
3B1bi Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-124	-131	-139	-146	-153	-165	-159	-153	-141	-121	-102	-92	-91	-98	-105	-110
Biomasa	-89	-94	-100	-104	-109	-116	-113	-111	-103	-86	-70	-63	-61	-66	-69	-72
MOM	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-2	-2
Suelos	-33	-35	-37	-40	-42	-47	-44	-41	-37	-34	-31	-29	-30	-31	-34	-36
3B1bii Pastizales convertidos en tierras forestales	-430	-562	-656	-744	-868	-1,108	-1,305	-1,488	-1,543	-1,549	-1,550	-1,600	-1,637	-1,725	-1,808	-1,891
Biomasa	-299	-393	-452	-514	-603	-777	-925	-1,062	-1,106	-1,108	-1,142	-1,167	-1,229	-1,287	-1,346	
MOM	-7	-9	-11	-12	-13	-17	-21	-23	-24	-24	-24	-24	-25	-26	-29	-30

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	-124	-160	-193	-218	-252	-314	-359	-403	-413	-417	-419	-434	-445	-470	-492	-515
3B1biii Humedales convertidos en tierras forestales	-11	-13	-23	-23	-25	-27	-28	-28	-27	-25	-25	-24	-26	-27	-28	-28
Biomasa	-7	-8	-15	-15	-16	-18	-19	-18	-18	-16	-16	-15	-17	-17	-18	-18
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	-4	-5	-8	-8	-9	-9	-9	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-10	-10	-10
3B1biv Asentamientos convertidos en tierras forestales	-8	-12	-14	-16	-16	-19	-18	-20	-20	-19	-17	-18	-18	-20	-21	-23
Biomasa	-4	-6	-7	-8	-8	-10	-10	-11	-11	-10	-9	-10	-10	-11	-11	-12
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	-4	-6	-7	-8	-8	-9	-8	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-9	-10	-11
3B1bv Otras tierras convertidas en tierras forestales	-8	-41	-75	-86	-95	-108	-119	-128	-135	-140	-146	-153	-160	-167	-172	-181
Biomasa	-3	-19	-33	-39	-43	-48	-53	-57	-59	-62	-65	-67	-70	-73	-75	-79
MOM	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Suelos	-5	-22	-42	-47	-52	-59	-64	-69	-74	-76	-79	-84	-88	-92	-95	-100
3.B.2 - Tierras de cultivo	-264	-153	271	-10	100	293	-121	-304	-426	-228	-514	-421	-852	-379	-218	-1,124
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-2,562	-2,818	-2,652	-2,760	-2,749	-2,652	-3,025	-3,155	-3,217	-2,907	-3,070	-2,887	-3,276	-2,748	-2,530	-3,383
Biomasa	-4,255	-4,511	-4,345	-4,453	-4,442	-4,345	-4,718	-4,848	-4,910	-4,600	-4,763	-4,580	-4,969	-4,441	-4,223	-5,076
MOM	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	2,945	2,904	2,851	2,791	2,679	2,556	2,466	2,424	2,369	2,312	2,259
3B2bi Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo	2,298	2,665	2,923	2,750	2,849	2,945	2,904	2,851	2,791	2,679	2,556	2,466	2,424	2,369	2,312	2,259
Biomasa	891	1,215	1,436	1,238	1,303	1,363	1,416	1,460	1,497	1,523	1,540	1,547	1,547	1,536	1,521	1,499
MOM	23	31	33	28	30	31	32	33	34	36	36	36	37	37	38	38
Suelos	1,384	1,419	1,454	1,484	1,516	1,551	1,456	1,358	1,260	1,120	980	883	840	796	753	722
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															
MOM	NA															
Suelos	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															
MOM	NA															
Suelos	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															
MOM	NA															
Suelos	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															
MOM	NA															
Suelos	NA															
3.B.3 - Pastizales	25,488	31,151	46,898	42,139	44,405	46,461	47,689	48,604	49,166	49,100	49,451	48,948	47,797	45,859	44,168	42,456
3B3a Pastizales que permanecen como tales	-14	-55	-213	-434	-511	-582	-740	-864	-988	-1,188	-596	-629	-843	-1,536	-1,733	-1,857
Biomasa	-2,010	-2,051	-2,209	-2,430	-2,507	-2,578	-2,736	-2,860	-2,984	-3,184	-2,592	-2,625	-2,839	-3,532	-3,729	-3,853
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996
3B3b Tierras convertidas en pastizales	25,502	31,206	47,111	42,573	44,916	47,043	48,429	49,468	50,154	50,288	50,047	49,577	48,640	47,395	45,901	44,313

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

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
3B3bi Tierras forestales convertidas en pastizales	25,502	31,206	47,111	42,573	44,916	47,043	48,429	49,468	50,154	50,288	50,047	49,577	48,640	47,395	45,901	44,313
Biomasa	16,797	21,906	36,911	31,883	33,576	35,029	36,192	37,022	37,490	37,581	37,305	36,673	35,722	34,497	33,046	31,425
MOM	367	489	710	612	644	673	696	714	726	732	731	723	712	695	673	650
Suelos	8,338	8,811	9,490	10,078	10,696	11,341	11,541	11,732	11,938	11,975	12,011	12,181	12,206	12,203	12,182	12,238
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	788	795	800	805	803	646	649	644	638	597	586
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	0	0
Difusión {CH4}	45	45	45	45	55	55	54	54	54	54	10	10	10	10	0	0
3B4b Tierras convertidas en humedales	559	782	600	553	573	594	603	608	613	611	611	614	609	603	597	586
3B4bi Tierras forestales convertidas en humedales	559	782	600	553	573	594	603	608	613	611	611	614	609	603	597	586
Biomasa	342	543	357	302	313	324	334	343	351	358	364	369	373	375	376	376
MOM	9	14	9	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	10	10
Suelos	208	225	234	243	252	262	260	256	253	244	238	236	227	219	211	200
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															

Emissiones 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	550	561	571	577	575	570	568	583	594	604	611
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	337	446	526	491	521	550	561	571	577	575	570	568	583	594	604	611
3B5bi Tierras forestales convertidas en Asentamientos	337	446	526	491	521	550	561	571	577	575	570	568	583	594	604	611
Biomasa	190	281	348	301	318	333	346	357	365	371	373	373	371	366	360	351
MOM	3	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	6
Suelos	144	159	172	185	198	211	209	208	206	198	191	189	205	221	237	254
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	3,407	3,607	3,801	3,986	4,164	4,327	4,492	4,640	4,775	4,905	5,027
3B6a Otras tierras que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3B6b Tierras convertidas en otras tierras	2,441	4,458	3,187	2,977	3,192	3,407	3,607	3,801	3,986	4,164	4,327	4,492	4,640	4,775	4,905	5,027
3B6bi Tierras forestales convertidas en otras tierras	2,441	4,458	3,187	2,977	3,192	3,407	3,607	3,801	3,986	4,164	4,327	4,492	4,640	4,775	4,905	5,027
Biomasa	1,869	3,621	2,247	1,925	2,013	2,097	2,172	2,238	2,292	2,337	2,369	2,393	2,406	2,409	2,404	2,391
MOM	48	91	54	47	50	51	52	54	55	57	57	57	58	58	58	58
Suelos	524	746	886	1,005	1,129	1,259	1,383	1,509	1,639	1,770	1,901	2,042	2,176	2,308	2,443	2,578
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
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

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

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															
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	16,913	17,174	19,008	19,025	19,211	19,366	19,398	19,545	19,704	19,831	19,951	20,071	20,199	20,321	20,451	20,580
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	11,835	11,936	13,382	13,399	13,457	13,516	13,578	13,636	13,698	13,761	13,824	13,885	13,951	14,014	14,080	14,146
3C4a Fertilizante sintético	1,641	1,678	1,720	1,720	1,761	1,803	1,849	1,891	1,936	1,982	2,028	2,074	2,124	2,170	2,220	2,270
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 Gestion 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	2,337	2,364	2,675	2,678	2,695	2,712	2,731	2,748	2,768	2,787	2,805	2,823	2,843	2,861	2,881	2,901
3C5a Volatilización Fertilizante sintético	164	168	172	172	176	180	185	189	194	198	203	207	212	217	222	227
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	369	378	387	387	396	406	416	425	436	446	456	467	478	488	499	511
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															
3C6aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	NE															
3C6aiii 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	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	2	2	2	2	2	2	2	2
3C6e Camellos	NA															
3C6f Caballos	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5

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
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 secano	279	372	396	323	369	311	275	234	229	224	220	215	211	207	203	199
4 - Residuos	19,552	20,755	21,165	21,575	22,110	21,600	22,543	23,284	23,977	24,626	25,243	25,842	26,420	26,984	27,533	28,092
4.A - Eliminación de desechos sólidos	10,094	10,461	10,976	11,202	11,552	11,681	11,850	12,032	12,219	12,409	12,593	12,779	12,963	13,147	13,328	13,506
4.A.1 Sitios gestionados de eliminación de desechos	9,395	9,829	10,396	10,659	11,048	11,209	11,404	11,609	11,816	12,023	12,223	12,423	12,620	12,815	13,006	13,194
4A1a Rellenos regionales	8,152	8,539	8,942	9,278	9,684	9,855	10,055	10,262	10,469	10,675	10,878	11,079	11,275	11,467	11,655	11,838
4A1b Relleno sanitario local _planta integral _celda de contingencia	1,243	1,290	1,454	1,381	1,364	1,354	1,349	1,347	1,347	1,348	1,345	1,344	1,345	1,348	1,351	1,356
4.A.2 Sitios no gestionados de eliminación de desechos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.C - Incineración e incineración abierta de desechos	732	747	744	762	777	793	804	813	820	826	833	840	847	855	862	870
4.C.1 Incineración de desechos	65	73	63	69	67	69	70	71	71	69	68	68	68	69	69	70
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	9,547	9,445	9,611	9,781	9,126	9,889	10,439	10,938	11,391	11,817	12,223	12,610	12,982	13,343	13,716
4.D.1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2,297	2,321	2,347	2,388	2,444	2,493	2,526	2,554	2,581	2,607	2,633	2,659	2,684	2,708	2,732	2,755
Urbano	1,193	1,205	1,219	1,240	1,269	1,295	1,312	1,326	1,340	1,354	1,367	1,381	1,394	1,406	1,419	1,431
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	7,226	7,098	7,223	7,337	6,633	7,363	7,885	8,357	8,784	9,184	9,564	9,926	10,274	10,611	10,961
Aceites vegetales	18	18	17	18	18	16	18	19	21	22	23	24	24	25	26	27
Café	384	415	407	415	421	381	423	453	480	504	527	549	570	590	609	629
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
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	6	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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															

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
5.A - Emisiones indirectas de N2O de la deposición atmosférica de nitrógeno como NOx y NH3	NA															
5.B - Otros	NA															
<i>Ajuste Diferencia decimales LEAP</i>	3	0	-6	-3	2	-3	-3	8	0	-12	-4	-3	-12	-12	3	7

NO : No ocurre

NE : No estimado

IE : Estimado en otra categoría

NA : No aplica

4.9. EMISIONES TOTALES A 2050 POR CATEGORÍA IPCC

Tabla 121. Emisiones quinquenales de GEI por categoría IPCC con alto nivel de desagregación 2015 – 2050

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO ₂ eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
TOTAL NACIONAL	233,586	291,297	332,696	345,801	371,509	399,789	436,191	478,581
1 - Energía	86,671	88,595	106,469	124,804	142,133	161,021	187,099	218,036
1.A Actividades de quema de combustible	75,837	77,313	95,885	115,970	134,195	154,234	180,959	212,333
1.A.1 Industrias de la energía	22,000	16,705	21,108	27,182	29,072	30,485	36,143	44,335
1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal	11,668	5,866	9,625	17,504	19,669	21,521	27,228	35,129
1A1ai Generación de electricidad	11,668	5,866	9,625	17,504	19,669	21,521	27,228	35,129
1A1ai1 Generación de electricidad (Sistema interconectado nacional)	11,450	5,648	9,403	17,276	19,433	21,278	26,977	34,871
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	3,123	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929	3,929
1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	7,209	6,910	7,554	5,749	5,474	5,035	4,986	5,277
1A1ci Manufactura de combustibles sólidos	1,391	1,131	1,417	1,812	2,357	2,780	3,247	3,718
Coque	1,376	1,123	1,408	1,803	2,347	2,769	3,235	3,704
Carbón de leña	15	8	9	9	10	11	12	14
1A1cii Otras industrias de la energía	5,818	5,779	6,137	3,937	3,117	2,255	1,739	1,559
1A1cii1 Otras industrias de la energía (Extracción y procesamiento de petróleo y gas natural)	4,718	4,608	4,910	2,676	1,843	960	397	167
1A1cii2 Otras industrias de la energía (Producción de carbón)	1,100	1,171	1,227	1,261	1,274	1,295	1,342	1,392
1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción	12,563	13,162	17,975	21,419	25,193	29,637	34,860	41,002
1A2a Hierro y acero	619	607	840	1,003	1,179	1,387	1,632	1,919
1A2b Metales no ferrosos	-	-	-	-	-	-	-	-
1A2c Productos químicos	822	672	931	1,111	1,306	1,537	1,807	2,126
1A2d Pulpa, papel e imprenta	1,478	1,549	2,145	2,561	3,012	3,543	4,167	4,902
1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	2,415	2,588	3,583	4,276	5,030	5,917	6,960	8,186
1A2f Minerales no metálicos	4,537	3,773	5,224	6,235	7,334	8,627	10,148	11,936
1A2g Equipo de transporte	28	25	35	42	49	58	68	80
1A2h Maquinaria	97	117	162	194	228	268	316	371
1A2i Minería (con excepción de combustibles) y cantería	941	1,882	2,353	2,777	3,267	3,843	4,520	5,317
1A2j Madera y productos de la madera	28	17	23	27	32	38	45	53
1A2k Construcción	611	188	264	311	366	431	507	596
1A2l Textiles y cueros	825	1,368	1,894	2,261	2,659	3,128	3,679	4,327
1A2m Industria no especificada	162	376	521	621	731	860	1,011	1,189
1.A.3 Transporte	33,416	39,051	46,928	56,102	67,167	79,693	93,705	108,707
1A3a Aviación civil	3,117	3,409	4,388	5,211	6,130	7,210	8,481	9,976
1A3aii Aviación de cabotaje	3,117	3,409	4,388	5,211	6,130	7,210	8,481	9,976
1A3b Transporte terrestre	29,315	34,823	41,593	50,144	60,296	71,709	84,378	97,777
1A3bi Automóviles	9,314	10,657	12,546	15,601	19,258	22,970	26,669	30,071
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	2,112	2,832	3,746	4,948	6,507	8,451	10,745
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	14,232	16,677	19,834	23,874	28,976	35,193	42,253	49,872
1A3biv Motocicletas	4,216	5,377	6,381	6,923	7,114	7,039	7,005	7,089
1A3bv Emisiones por evaporación procedentes de vehículos	NE							
1A3bvi Catalizadores basados en urea	NE							
1A3c Ferrocarriles	78	79	102	121	142	167	197	231
1A3d Navegación marítima y fluvial	420	242	311	370	435	511	602	708
1A3dii Navegación marítima y fluvial nacional	420	242	311	370	435	511	602	708
1A3e Otro tipo de transporte	486	498	534	256	164	96	47	15
1A3ei Transporte por gasoductos	486	498	534	256	164	96	47	15
1A3eii Todo terreno	NO							
1.A.4 Otros sectores	7,858	8,395	9,874	11,267	12,763	14,419	16,251	18,289
1A4a Comercial / Institucional	1,059	1,150	1,450	1,721	2,025	2,382	2,802	3,295
1A4b Residencial	5,057	5,537	6,187	6,873	7,594	8,338	9,099	9,877
1A4c Agricultura / Silvicultura / Pesca / Piscifactorías	1,742	1,708	2,237	2,673	3,144	3,699	4,350	5,117
1A4ci Estacionaria	1,423	1,453	1,903	2,274	2,675	3,147	3,701	4,354
1A4cii Vehículos todo terreno y maquinaria	319	255	334	399	469	552	649	763
1A4ciii Pesca	IE							
1.A.5 No especificado	NO							

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

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
1A5a Estacionario	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A5b Móvil	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A5bi Móvil (componente aviación)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A5bii Móvil (componente del sector marítimo y fluvial)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A5biii Móvil (otros)	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1A5c Operaciones multilaterales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.B Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustible	10,834	11,282	10,584	8,834	7,938	6,787	6,140	5,703
1.B.1 Combustibles sólidos	3,340	3,632	3,805	3,909	3,951	4,014	4,161	4,316
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón	3,340	3,632	3,805	3,909	3,951	4,014	4,161	4,316
1B1ai Minas subterráneas	1,572	1,709	1,790	1,839	1,859	1,889	1,958	2,031
1B1ai1 Minería	1,209	1,315	1,377	1,415	1,430	1,453	1,506	1,562
1B1ai2 Emisiones posteriores a la minería	363	394	413	424	429	436	452	469
1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B1ai4 Quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B1aii Minas de superficie	1,768	1,923	2,015	2,070	2,092	2,125	2,203	2,285
1B1aii1 Minería	1,360	1,479	1,550	1,592	1,609	1,635	1,695	1,758
1B1aii2 Emisiones posteriores a la minería	408	444	465	478	483	490	508	527
1B1b Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B1c Transformación de combustibles sólidos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1.B.2 Petróleo y gas natural	7,494	7,650	6,779	4,925	3,987	2,773	1,979	1,387
1B2a Petróleo	2,261	2,271	1,603	1,298	974	371	182	186
1B2ai Venteo	1,454	1,433	987	783	566	163	37	40
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	NE	NE	NE	NE	NE	NE	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	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1B2aiii6 Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1B2b Gas Natural	5,233	5,379	5,176	3,627	3,013	2,402	1,797	1,201
1B2bi Venteo	207	208	219	188	187	187	190	196
1B2bii Quema en antorcha	191	196	187	128	104	79	55	31
1B2biii Todos los demás	4,835	4,975	4,770	3,311	2,722	2,136	1,552	974
1B2biii1 Exploración	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	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	104	115	136	153	172	194	218	246
1B2biii5 Distribución	721	741	706	480	386	293	199	106
1B2biii6 Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1.C Transporte y almacenamiento de dióxido de carbono	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.C.1 Transporte de CO2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1C1a Gasoductos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C1b Embarcaciones	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1C1c Otros	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
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	10,666	14,538	18,403	20,128	22,154	24,533	27,333
2.A - Industria de los minerales	4,797	4,149	5,744	6,854	8,063	9,485	11,156	13,122
2.A.1 - Producción de cemento	4,525	3,892	5,389	6,431	7,565	8,898	10,467	12,311
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	1,339	1,438	1,527	1,633	1,755	1,899
2.B.1 - Producción de amoníaco	152	183	184	184	184	184	184	184
2.B.2 - Producción de ácido nítrico	528	643	732	749	749	749	749	749
2.B.3 - Producción de ácido adípico	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.4 - Producción de caprolactama, glicol y ácido glicólico	-	-	-	-	-	-	-	-
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

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
2B8c Dicloruro de etileno y monómero cloruro de vinilo	109	115	159	190	223	263	309	363
2B8d Óxido de etileno	NA							
2B8e Acrilonitrilo	NA							
2B8f Negro de humo	53	116	161	192	226	266	312	367
2B8g Otros	NA							
2.B.9 - Producción fluoroquímica	0	0	0	0	0	0	0	0
2B9a Emisiones de productos derivados	NA							
2B9b Emisiones fugitivas	NA							
2.B.10 - Otros	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							
2.C.4 - Producción de magnesio	NO							
2.C.5 - Producción de plomo	NE							
2.C.6 - Producción de zinc	NO							
2.C.7 - Otros	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							
2.D.4 - Otros	NA							
2.E - Industria electrónica	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	3,908	5,418	7,685	7,685	7,685	7,685	7,685
2.F.1 - Refrigeración y aire acondicionado	1,948	3,776	5,247	7,423	7,423	7,423	7,423	7,423
2F1a Refrigeración y aire acondicionado estacionario	1,607	3,266	4,695	6,866	6,866	6,866	6,866	6,866
2F1ai Refrigeración y aire acondicionado estacionario - industria manufacturera	490	1,019	1,621	2,517	2,517	2,517	2,517	2,517
2F1aii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - residencial	301	422	416	369	369	369	369	369
2F1aiii Refrigeración y aire acondicionado estacionario - comercial	534	1,255	1,971	3,059	3,059	3,059	3,059	3,059
Aire acondicionado estacionario	282	570	687	921	921	921	921	921
2F1b Aire acondicionado móvil	341	510	552	557	557	557	557	557
2F1bi Refrigeración móvil (transporte refrigerado) - industria manufacturera	47	85	122	170	170	170	170	170
2F1bii Aire acondicionado móvil	294	425	430	387	387	387	387	387
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	177	177	177	177	177
2.F.5 - Solventes	0	1	2	4	4	4	4	4
2.F.6 - Otras aplicaciones	1	1	1	1	1	1	1	1
2.G - Manufactura y utilización de otros productos	0							
2.G.1 - Equipos eléctricos	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
2G2a Aplicaciones militares	NA							
2G2b Aceleradores	NA							
2G2c Otros (especificar)	NA							
2.G.3 - N2O de usos de productos	0	0	0	0	0	0	0	0
2G3a Aplicaciones médicas	NA							
2G3b Propulsor para productos presurizados y aerosoles	NA							
2G3c Otros (especificar)	NA							
2.G.4 - Otros	NA							
2.H - Otros	0							
2.H.1 - Industria de pulpa y el papel	NA							
2.H.2 - Industria de la alimentación y bebidas	NA							
2.H.3 - Otros	NA							
3 - Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la Tierra	117,935	170,439	186,450	174,495	178,289	182,553	187,068	191,882
3.A - Ganadería	39,372	48,763	54,703	56,560	58,649	60,879	63,272	65,850
3.A.1 - Fermentación entérica	36,140	44,785	50,113	51,345	52,720	54,113	55,531	56,966
3A1a Total Ganado Bovino	36,054	44,660	49,978	51,199	52,574	53,967	55,385	56,820
3A1ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	1,614	2,156	2,240	2,281	2,329	2,379	2,430	2,480
3A1aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	5,576	7,425	7,745	7,889	8,058	8,231	8,403	8,580
3A1aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	7,445	9,042	10,294	10,484	10,707	10,931	11,165	11,400
3A1aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	923	1,168	1,279	1,302	1,331	1,357	1,387	1,417
3A1av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	2,123	2,875	2,951	3,004	3,069	3,135	3,198	3,266
3A1avi Ganado Bovino Terneras de reemplazo	8,233	10,074	11,393	11,603	11,847	12,098	12,356	12,618

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

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
3A1avii Ganado Bovino Ganado de engorde	8,645	10,182	11,951	12,173	12,429	12,692	12,962	13,236
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
3A2ai Ganado Bovino Vacas de Alta Producción	143	192	199	203	207	212	217	221
3A2aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	127	168	176	179	184	188	191	194
3A2aiii Ganado Bovino Vacas para producción de carne	126	154	176	177	181	184	189	194
3A2aiv Ganado Bovino Toros utilizados con fines reproductivos	19	24	25	25	26	26	26	27
3A2av Ganado Bovino Terneros pre-destetos	32	47	48	50	50	51	52	53
3A2avi Ganado Bovino Terneras de remplazo	124	153	173	177	180	183	187	190
3A2avii 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
3A2hi Porcinos < 6 meses	44	60	65	70	70	70	70	70
3A2hii 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	61,650	102,310	111,796	97,355	98,797	100,273	101,800	103,382
3.B.1 - Tierras forestales	32,930	50,811	57,316	49,799	51,241	52,717	54,244	55,826
3B1a Tierras forestales que permanecen como tales	33,511	52,238	59,156	52,032	53,474	54,950	56,477	58,059
3B1ai Tierras forestales que permanecen como tales(Bosque natural)	19,310	19,998	21,164	22,420	23,862	25,338	26,865	28,447
Biomasa	17,769	18,457	19,623	20,879	22,321	23,797	25,324	26,906
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)	19,367	36,983	39,217	33,156	33,156	33,156	33,156	33,156
Biomasa	18,864	36,171	38,339	32,371	32,371	32,371	32,371	32,371
MOM	503	812	878	785	785	785	785	785
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1aiii Tierras forestales que permanecen como tales (Plantaciones)	-5,166	-4,743	-1,225	-3,544	-3,544	-3,544	-3,544	-3,544
Biomasa	-5,166	-4,743	-1,225	-3,544	-3,544	-3,544	-3,544	-3,544
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	0	0	0	0	0	0	0	0
3B1b Tierras convertidas en tierras forestales	-581	-1,427	-1,840	-2,233	-2,233	-2,233	-2,233	-2,233
3B1bi Tierras de cultivo convertidas en tierras forestales	-124	-165	-102	-110	-110	-110	-110	-110
Biomasa	-89	-116	-70	-72	-72	-72	-72	-72
MOM	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2
Suelos	-33	-47	-31	-36	-36	-36	-36	-36
3B1bii Pastizales convertidos en tierras forestales	-430	-1,108	-1,550	-1,891	-1,891	-1,891	-1,891	-1,891
Biomasa	-299	-777	-1,107	-1,346	-1,346	-1,346	-1,346	-1,346
MOM	-7	-17	-24	-30	-30	-30	-30	-30
Suelos	-124	-314	-419	-515	-515	-515	-515	-515
3B1biii Humedales convertidos en tierras forestales	-11	-27	-25	-28	-28	-28	-28	-28
Biomasa	-7	-18	-16	-18	-18	-18	-18	-18
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	-4	-9	-9	-10	-10	-10	-10	-10
3B1biv Asentamientos convertidos en tierras forestales	-8	-19	-17	-23	-23	-23	-23	-23
Biomasa	-4	-10	-9	-12	-12	-12	-12	-12
MOM	0	0	0	0	0	0	0	0
Suelos	-4	-9	-8	-11	-11	-11	-11	-11
3B1bv Otras tierras convertidas en tierras forestales	-8	-108	-146	-181	-181	-181	-181	-181
Biomasa	-3	-48	-65	-79	-79	-79	-79	-79
MOM	0	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2
Suelos	-5	-59	-79	-100	-100	-100	-100	-100
3.B.2 - Tierras de cultivo	-264	293	-514	-1,124	-1,124	-1,124	-1,124	-1,124
3B2a Tierras de cultivo que permanecen como tales	-2,562	-2,652	-3,070	-3,383	-3,383	-3,383	-3,383	-3,383
Biomasa	-4,255	-4,345	-4,763	-5,076	-5,076	-5,076	-5,076	-5,076
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	2,945	2,556	2,259	2,259	2,259	2,259	2,259

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	2,945	2,556	2,259	2,259	2,259	2,259	2,259
Biomasa	891	1,363	1,540	1,499	1,499	1,499	1,499	1,499
MOM	23	31	36	38	38	38	38	38
Suelos	1,384	1,551	980	722	722	722	722	722
3B2bii Pastizales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B2biii Humedales convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B2biv Asentamientos convertidos en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B2bv Otras tierras convertidas en tierras de cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3.B.3 - Pastizales	25,488	46,461	49,451	42,456	42,456	42,456	42,456	42,456
3B3a Pastizales que permanecen como tales	-14	-582	-596	-1,857	-1,857	-1,857	-1,857	-1,857
Biomasa	-2,010	-2,578	-2,592	-3,853	-3,853	-3,853	-3,853	-3,853
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996	1,996
3B3b Tierras convertidas en pastizales	25,502	47,043	50,047	44,313	44,313	44,313	44,313	44,313
3B3bi Tierras forestales convertidas en pastizales	25,502	47,043	50,047	44,313	44,313	44,313	44,313	44,313
Biomasa	16,797	35,029	37,305	31,425	31,425	31,425	31,425	31,425
MOM	367	673	731	650	650	650	650	650
Suelos	8,338	11,341	12,011	12,238	12,238	12,238	12,238	12,238
3B3bii Tierras de cultivo convertidas en pastizales	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
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3B3biv Asentamientos convertidos en pastizales	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
Biomasa	NA							
MOM	NA							
Suelos	NA							
3.B.4 - Humedales	718	788	646	586	586	586	586	586
3B4a Humedales que permanecen como tales	159	194	35	0	0	0	0	0
Difusión {CO2}	114	139	25	0	0	0	0	0
Difusión {CH4}	45	55	10	0	0	0	0	0
3B4b Tierras convertidas en humedales	559	594	611	586	586	586	586	586
3B4bi Tierras forestales convertidas en humedales	559	594	611	586	586	586	586	586
Biomasa	342	324	364	376	376	376	376	376
MOM	9	8	9	10	10	10	10	10
Suelos	208	262	238	200	200	200	200	200
3B4bii Tierras de cultivo convertidas en humedales	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
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	550	570	611	611	611	611	611
3B5a Asentamientos que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Biomasa	-	-	-	-	-	-	-	-
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	-	-	-	-	-	-	-	-
3B5b Tierras convertidas en asentamientos	337	550	570	611	611	611	611	611
3B5bi Tierras forestales convertidas en Asentamientos	337	550	570	611	611	611	611	611
Biomasa	190	333	373	351	351	351	351	351
MOM	3	6	6	6	6	6	6	6
Suelos	144	211	191	254	254	254	254	254
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	3,407	4,327	5,027	5,027	5,027	5,027	5,027
3B6a Otras tierras que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomasa	-	-	-	-	-	-	-	-
MOM	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelos	-	-	-	-	-	-	-	-
3B6b Tierras convertidas en otras tierras	2,441	3,407	4,327	5,027	5,027	5,027	5,027	5,027
3B6bi Tierras forestales convertidas en otras tierras	2,441	3,407	4,327	5,027	5,027	5,027	5,027	5,027
Biomasa	1,869	2,097	2,369	2,391	2,391	2,391	2,391	2,391
MOM	48	51	57	58	58	58	58	58
Suelos	524	1,259	1,901	2,578	2,578	2,578	2,578	2,578
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							
Suelos	NA							
3.C - Fuentes agregadas y emisiones de no CO2 provenientes de la tierra	16,913	19,366	19,951	20,580	20,843	21,401	21,996	22,650
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	11,835	13,516	13,824	14,146	14,275	14,613	14,969	15,343
3C4a Fertilizante sintético	1,641	1,803	2,028	2,270	2,320	2,582	2,861	3,161
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	2,337	2,712	2,805	2,901	2,934	3,036	3,142	3,255
3C5a Volatilización Fertilizante sintético	164	180	203	227	232	258	286	316
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	369	406	456	511	522	581	644	711
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

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en GgCO2eq								
Año	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
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							
3C6aii Ganado Bovino Vacas de Baja Producción	NE							
3C6aiii 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 seco	279	311	220	199	196	194	192	190
4 - Residuos	19,552	21,600	25,243	28,092	30,955	34,059	37,486	41,324
4.A - Eliminación de desechos sólidos	10,094	11,681	12,593	13,506	14,300	15,022	15,682	16,298
4.A.1 Sitios gestionados de eliminación de desechos	9,395	11,209	12,223	13,194	14,024	14,770	15,447	16,075
4A1a Rellenos regionales	8,152	9,855	10,878	11,838	12,640	13,354	14,001	14,602
4A1b Relleno sanitario local _ planta integral _ celda de contingencia	1,243	1,354	1,345	1,356	1,384	1,416	1,446	1,473
4.A.2 Sitios no gestionados de eliminación de desechos	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-	-	-
4.C - Incineración e incineración abierta de desechos	732	793	833	870	902	926	951	974
4.C.1 Incineración de desechos	65	69	68	70	71	70	75	83
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	9,126	11,817	13,716	15,753	18,111	20,853	24,052
4.D.1 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2,297	2,493	2,633	2,755	2,860	2,947	3,016	3,068
Urbano	1,193	1,295	1,367	1,431	1,485	1,531	1,566	1,593
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	6,633	9,184	10,961	12,893	15,164	17,837	20,984
Aceites vegetales	18	16	23	27	32	37	44	52
Café	384	381	527	629	740	871	1,024	1,205
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	-	-	-	-	-	-	-	-
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							
5 - Otros	NA							
5.A - Emisiones indirectas de N2O de la deposición atmosférica de nitrógeno como NOx y NH3	NA							
5.B - Otros	NA							
Ajuste Diferencia decimales LEAP	3	-3	-4	7	4	2	5	6

NO : No ocurre
 NE : No estimado
 IE : Estimado en otra categoría
 NA : No aplica

REFERENCIAS

- ANM. (2020, May 15). Producción Nacional de Carbón de 2012 a 2019 corte 15-Mayo-2020. Retrieved September 7, 2020, from Producción Nacional de Carbón de 2012 a 2019 corte 15-Mayo-2020 website: <https://www.anm.gov.co/?q=content/producción%2Anacional%2Ade%2Acarbón%2Ade%2A2012%2A2019%2Acorte%2A15%2A mayo%2A2020>
- Behrentz, E., Cadena, Á., Delgado, R., Espinosa, M., Hernández, M., Londoño, M., ... Zambrano, M. (2014). *Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial: curvas de abatimiento para Colombia documento general*. Bogotá D.C., Colombia.
- Cadena, A., Bocarejo, J. P., Rodriguez, M., Rosales, R., Arguello, R., Delgado, R., ... Rodriguez, J. (2016). *Upstream analytical work to support development of policy options for mid- and long-term mitigation objectives in Colombia - Informe producto C*. Bogotá.
- DANE. (2015). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida - ECV 2015*. Bogotá.
- DANE. (2020a). Cuentas Nacionales: Agregados Macroeconomicos - Base 2015. Retrieved August 31, 2020, from Departamento Administrativo Nacional de Estadística website: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/agregados-macroeconomicos-retropolacion-base-2015>
- DANE. (2020b, June). Proyecciones y retroproyecciones de población. Retrieved August 25, 2020, from Proyecciones y retroproyecciones de población 1950-2070 website: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- Dargay, J., Gately, D., & Sommer, M. (2007). Vehicle Ownership and Income Growth , Worldwide : 1960-2030 Author (s): Joyce Dargay , Dermot Gately and Martin Sommer Published by : International Association for Energy Economics Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/41323125> Accessed : 01-04-2016. *The Energy Journal*, 28(4), 143–170.
- DNP. (2020). *Proyección de PIB sectoriales* (Vol. 2020).
- EEA. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.
- ICCT. (2016). *Estimating the fuel efficiency technology potential of heavy-duty trucks in major markets around the world*. London, United Kingdom.
- IDEAM. (2018). *Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM. (2020). Información geográfica de datos abiertos del IDEAM. Retrieved September 2, 2020, from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales website: <http://www.ideam.gov.co/geoport>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2018). *Segundo Informe Bienal de Actualización de Colombia ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*. Bogotá D.C., Colombia.
- IEA. (2019). *Fuel Economy in Major Car Markets - Technology and Policy Drivers 2005-2017*.
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Retrieved August 15, 2020, from <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. In *Kristin Seyboth (USA)*. Geneva: Gian-Kasper Plattner.
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories — IPCC. Retrieved August 31, 2020, from <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the>

- 2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/
IPSE. (2019). *Monitoreo y Fortalecimiento Empresarial en la Colombia No Interconectada*. Cali.
- 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>
- Minambiente, & IDEAM. (2019). *Propuesta de nivel de referencia de las emisiones forestales por deforestación en Colombia para pago por resultados de REDD+ bajo la CMNUCC*. Bogotá.
- MinHacienda. (2019). *Marco Fiscal de mediano plazo 2019*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Transporte. (2019). *Transporte en Cifras 2013-2018*. Bogotá D.C., Colombia.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., ... Zhang, H. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. NY, USA.
- Naturgas. (2020). *Estadísticas sobre conversiones a GNV*. Bogotá D.C., Colombia.
- Nieves, J. A., Aristizábal, A. J., Dyer, I., Báez, O., & Ospina, D. H. (2019). Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application. *Energy*, 169, 380–397. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.051>
- ONU. (2015). *1er reporte del estado de las ciudades de Colombia: camino hacia la prosperidad urbana*. Bogotá D.C.
- Pulido, A. D., Chaparro, N., Granados, S., Ortiz, E., Rojas, A., Torres, C. F., ... Garzón, M. H. (2019). *Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia*. Bogotá.
- UPME. (2012). Estudio de producción de coque y carbón metalúrgico, uso y comercialización. Retrieved September 7, 2020, from Biblioteca UPME website: <http://bdigital.upme.gov.co/jspui/handle/001/1107>
- UPME. (2014). *Capacidad instalada de autogeneración y cogeneración en sector de industria, petróleo, comercio y público del país*. Bogotá D.C.
- UPME. (2018). BECO: CONSULTA. Retrieved August 15, 2020, from <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx>
- UPME. (2019a). *Plan Energético Nacional 2020 - 2050*. Retrieved from https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf
- UPME. (2019b). *Plan Indicativo de abastecimiento de combustibles líquidos*.
- UPME. (2019c). *Primer balance de Energía Útil para Colombia y Cuantificación de las pérdidas energéticas relacionadas y la brecha de eficiencia energética*. Bogotá D.C., Colombia.
- UPME. (2020). *Estudio técnico para el plan de abastecimiento de gas natural*. Bogotá D.C.
- USDE-EPA. (2020). Fuel Economy.
- XM. (2019). *Informe Seguimiento Cogeneradores Resolución CREG 005 de 2010*.

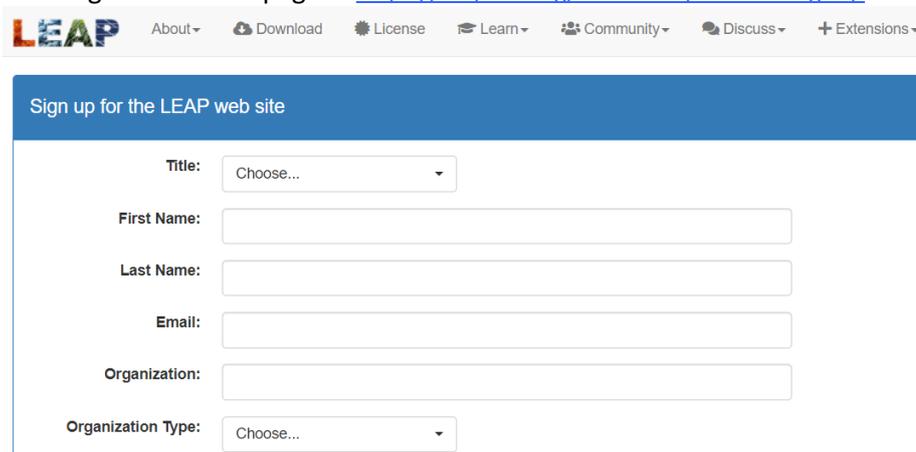
ANEXOS

ANEXO A: INSTALACIÓN LEAP DEMO

Al instalar la versión de prueba de LEAP se puede cargar el modelo LEAP-Colombia NDC que se envió junto con este reporte. Al ser una versión de prueba no se pueden hacer modificaciones y algunas funcionalidades están restringidas. Sin embargo, se puede navegar el modelo, explorar la estructura y los datos y consultar los resultados. Para la instalación de LEAP se debe seguir principalmente los siguientes pasos, más información se puede encontrar en el sitio web: <https://leap.sei.org/default.asp?action=introduction>.

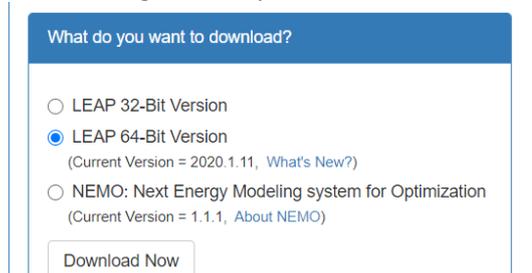
Pasos:

- Registrarse en la página: <https://leap.sei.org/default.asp?action=signup>



The screenshot shows the LEAP web site registration page. At the top, there is a navigation bar with the LEAP logo and links for About, Download, License, Learn, Community, Discuss, and Extensions. Below this is a blue header that says "Sign up for the LEAP web site". The registration form includes the following fields: Title (a dropdown menu with "Choose..." selected), First Name (a text input field), Last Name (a text input field), Email (a text input field), Organization (a text input field), and Organization Type (a dropdown menu with "Choose..." selected).

- Descargar LEAP, preferiblemente la versión 64-Bit.



The screenshot shows the "What do you want to download?" page. It features three radio button options: "LEAP 32-Bit Version", "LEAP 64-Bit Version" (which is selected), and "NEMO: Next Energy Modeling system for Optimization". Below the "LEAP 64-Bit Version" option, it says "(Current Version = 2020.1.11, What's New?)". Below the "NEMO" option, it says "(Current Version = 1.1.1, About NEMO)". At the bottom of the form is a "Download Now" button.

- Seguir las instrucciones de instalación.
- Una vez instalado se puede importar el modelo LEAP Colombia-NDC,



