

# PROGRAMA ESPECIAL DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DEL ESTADO DE YUCATÁN.

Proyección de emisiones de GEI.



Banco Interamericano de Desarrollo

## Agradecimientos

### 0.1. Por parte de Factor CO<sub>2</sub> han participado:

- Kepa Solaun
- Itxaso Gómez
- Asier Sopelana
- María Jesús Muñoz
- Sandra Valdueza
- Silvia Pac
- Zaloa Ares

### 0.2. Por parte de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán han participado:

- Eduardo A. Batllori Sampedro
- Roberto I. Vallejo Molina
- Andrés III Sierra Gómez
- Dakar F. Villafaña Gamboa
- Martha P. Pérez Marrufo
- Roberto A. Us Vázquez

### 0.3. Por parte del Instituto de Ecología y Cambio Climático han participado:

- Julia J. Martínez Fernández
- José A. Macías Vargas
- Luis A. Conde Álvarez

### 0.4. Por parte del Banco Interamericano de Desarrollo han participado:

- David Wilk
- Gmelina Juliana Ramírez
- Inês Pires Araujo Ferreira
- Katharina Siegmann
- Jorge Hinojosa
- Angelo Angel

# Índice

<b>1. Resumen Ejecutivo</b>	<b>23</b>
1.1. Un proceso en marcha	23
1.2. Los grandes retos	24
1.3. Los resultados	25
1.4. Tratamiento de la electricidad importada/exportada	27
<b>2. Introducción</b>	<b>31</b>
<b>3. Selección del modelo y estudios previos</b>	<b>33</b>
<b>4. Emisiones de GEI históricas del Estado de Yucatán</b>	<b>37</b>
4.1. Inventario de Emisiones de GEI del año 2005	37
4.2. Reconstrucción de la información histórica	39
<b>5. Descripción del modelo y la metodología.</b>	<b>44</b>
5.1. Elección metodológica y visión general del modelo.	44
5.1.1. Análisis del modelo de proyección de emisiones de GEI	44
5.1.2. Desarrollo de Escenarios. Asunciones	46
5.1.3. Proceso de consulta	47
5.2. Especificidades sectoriales	49
5.2.1. Situación y perspectivas del sector de generación eléctrica.	49
5.2.2. Situación y perspectivas del sector industrial.	53
5.2.3. Situación y perspectivas del sector servicios y comercio.	59
5.2.4. Situación y perspectivas del sector residencial.	61
5.2.5. Situación y perspectivas del sector transporte.	63
5.2.6. Situación y perspectivas del sector agropecuario.	65
5.2.7. Situación del sector residuos.	70
5.2.8. Situación y perspectivas del sector de usos del suelo y cambios de uso del suelo (USCUSS).	73
5.3. Escenarios de medidas. Asunciones	79
<b>6. Escenarios de proyección de emisiones.</b>	<b>83</b>
6.1. Análisis de escenarios	83
6.1.1. Emisiones totales	83
6.1.2. Emisiones totales con medidas estructurales	85
6.1.3. Emisiones totales sin importaciones/exportaciones de electricidad	87
6.2. Escenario Conservador tendencial	90
6.2.1. Totales hasta el año 2030	90
6.2.2. Resultados sectoriales	95

6.2.2.1.	Sector de generación eléctrica.	95
6.2.2.2.	Sector industrial.	100
6.2.2.3.	Sector comercio y servicios.	108
6.2.2.4.	Sector residencial.	110
6.2.2.5.	Sector transporte.	113
6.2.2.6.	Sector agropecuario.	115
6.2.2.7.	Sector residuos.	120
6.2.2.8.	Sector USCUS.	123
6.3.	Escenario Optimista tendencial	130
6.3.1.	Totales hasta el año 2030	130
6.3.2.	Resultados sectoriales	137
6.3.2.1.	Sector de generación eléctrica.	137
6.3.2.2.	Sector industrial.	139
6.3.2.3.	Sector comercio y servicios.	145
6.3.2.4.	Sector residencial.	147
6.3.2.5.	Sector transporte.	149
6.3.2.6.	Sector agropecuario.	151
6.3.2.7.	Sector residuos.	155
6.3.2.8.	Sector USCUS.	158
6.4.	Escenario Conservador de Medidas	163
6.4.1.	Totales hasta el año 2030	163
6.4.2.	Resultados sectoriales	169
6.4.2.1.	Sector de generación eléctrica.	169
6.4.2.2.	Sector industrial	176
6.4.2.3.	Sector comercio y servicios.	180
6.4.2.4.	Sector residencial.	183
6.4.2.5.	Sector transporte.	186
6.4.2.6.	Sector agropecuario.	188
6.4.2.7.	Sector residuos.	191
6.4.2.8.	Sector USCUS.	195
6.5.	Escenario Medidas Optimista	204
6.5.1.	Totales hasta el año 2030	204
6.5.2.	Resultados sectoriales	210
6.5.2.1.	Sector de generación eléctrica.	210
6.5.2.2.	Sector industrial.	217
6.5.2.3.	Sector comercio y servicios.	221

6.5.2.4. Sector residencial.	223
6.5.2.5. Sector transporte.	226
6.5.2.6. Sector agropecuario.	227
6.5.2.7. Sector residuos.	229
6.5.2.8. Sector USCUS.	234
<b>7. Principales referencias bibliográficas.</b>	<b>239</b>
<b>8. Anexo. Análisis de modelos.</b>	<b>241</b>

## Índice de tablas

Tabla 1: Escenarios considerados.	23
Tabla 2: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones.	25
Tabla 3: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones contabilizando exportaciones de electricidad.	28
Tabla 4: Modelos Clasificados	33
Tabla 5: Criterios de evaluación general del modelo.	34
Tabla 6: Emisiones de GEI del Estado de Yucatán por sector, 2005.	37
Tabla 7: Emisiones de GEI por tipo de gas del Estado de Yucatán, 2005.	37
Tabla 8: Simulación histórica de las emisiones del Estado de Yucatán.	40
Tabla 9: Variaciones históricas de las emisiones de GEI del Estado de Yucatán	42
Tabla 10: Escenarios considerados.	46
Tabla 11: Crecimiento del VAB en los escenarios respecto al año 2010.	47
Tabla 12: Agentes sectoriales clave consultados.	48
Tabla 13: Potencia de las instalaciones de generación eléctrica en el Estado de Yucatán.	50
Tabla 14: Potencia de las instalaciones de generación eléctrica en el Estado de Yucatán.	51
Tabla 15: Generación bruta por tecnología en 2010, 2015, 2020, 2025 y 2030.	52
Tabla 16: Generación neta de electricidad proyectada en los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial.	52
Tabla 17: Demanda de electricidad en el escenario conservador tendencial.	53
Tabla 18: Demanda de electricidad en el escenario optimista tendencial.	53
Tabla 19: Consumo de combustibles de los sectores industriales por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial.	55
Tabla 20: Consumo de combustibles de los sectores industriales por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial.	56

Tabla 21: Consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador tendencial. _____	56
Tabla 22: Consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista tendencial. _____	56
Tabla 23: Consumo de materias primas que generan emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial. _____	57
Tabla 24: Consumo de materias primas que generan emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial. _____	57
Tabla 25: Consumo de halocarburos en el escenario conservador tendencial. _____	57
Tabla 26: Consumo de halocarburos en el escenario optimista tendencial. _____	58
Tabla 27: Consumo de combustibles del sector servicios por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial. _____	60
Tabla 28: Consumo de combustibles del sector servicios por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial. _____	60
Tabla 29: Consumo de combustibles del sector residencial por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial. _____	62
Tabla 30: Consumo de combustibles del sector residencial por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial. _____	62
Tabla 31: Demanda de combustibles en el escenario conservador tendencial. _____	64
Tabla 32: Demanda por tipo de transporte en el escenario conservador tendencial. _____	64
Tabla 33: Demanda de combustibles en el escenario optimista tendencial. _____	65
Tabla 34: Demanda por tipo de transporte en el escenario optimista tendencial. _____	65
Tabla 35: Número de cabezas proyectadas en el escenario conservador tendencial. _____	68
Tabla 36: Tipos de cultivo proyectados en el escenario conservador tendencial. _____	69
Tabla 37: Número de cabezas proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	69
Tabla 38: Tipos de cultivo proyectados en el escenario optimista tendencial. _____	70
Tabla 39: Residuos sólidos generados bajo el escenario conservador tendencial y optimista tendencial. _____	72
Tabla 40: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el Estado en el escenario conservador tendencial. _____	74
Tabla 41: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial. _____	74
Tabla 42: Producción forestal por producto en metros cúbicos de madera. _____	75
Tabla 43: Emisiones y remociones en la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa en el escenario conservador tendencial. _____	75



Tabla 44: Emisiones y remociones en la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa en el escenario optimista tendencial. _____	75
Tabla 45: Emisiones de GEI debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador tendencial. _____	76
Tabla 46: Emisiones de GEI debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial. _____	76
Tabla 47: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de biomasa aérea en el escenario conservador tendencial. _____	76
Tabla 48: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de biomasa aérea en el escenario optimista tendencial. _____	77
Tabla 49: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario conservador tendencial. _____	77
Tabla 50: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario optimista tendencial. _____	77
Tabla 51: Emisiones y remociones del sector USCUS\$ en el escenario conservador tendencial. _____	78
Tabla 52: Emisiones y remociones del sector USCUS\$ en el escenario optimista tendencial. _____	78
Tabla 53: Propuesta de políticas para la mitigación de emisiones en el Estado de Yucatán. _____	80
Tabla 54: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones. _____	83
Tabla 55: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones con medidas estructurales. _____	85
Tabla 56: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones contabilizando exportaciones de electricidad. _____	88
Tabla 57: Emisiones y remociones de CO <sub>2e</sub> por sector en el escenario conservador tendencial. _____	91
Tabla 58: Generación neta de electricidad proyectada en los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial. _____	96
Tabla 59: Demanda de electricidad en el escenario conservador tendencial. _____	96
Tabla 60: Generación eléctrica de las instalaciones de generación eléctrica en el escenario conservador tendencial. _____	97
Tabla 61: Emisiones de CO <sub>2e</sub> de las instalaciones de generación eléctrica en el escenario conservador tendencial. _____	98
Tabla 62: Emisiones de CO <sub>2e</sub> de la generación y las exportaciones eléctricas. _____	99

Tabla 63: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador tendencial. _____	101
Tabla 64: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador tendencial. _____	102
Tabla 65: Consumo de halocarburos en el escenario conservador tendencial. _____	103
Tabla 66: Emisiones de los sectores industriales en el escenario conservador tendencial. _____	103
Tabla 67: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador tendencial. _____	104
Tabla 68: Emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial. _____	106
Tabla 69: Emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial. _____	107
Tabla 70: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario conservador tendencial. _____	109
Tabla 71: Emisiones de GEI en el escenario conservador tendencial para el sector servicios. _____	109
Tabla 72: Consumo de combustibles por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial. _____	111
Tabla 73: Emisiones de CO <sub>2e</sub> por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial. _____	112
Tabla 74: Consumo por tipo de combustibles en el escenario conservador tendencial. _____	113
Tabla 75: Emisiones del sector en el escenario conservador tendencial. _____	114
Tabla 76: Número de cabezas proyectadas en el escenario conservador tendencial. _____	115
Tabla 77: Emisiones de CH <sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario conservador tendencial. _____	116
Tabla 78: Emisiones de N <sub>2</sub> O proyectadas en el escenario conservador tendencial. _	117
Tabla 79: Emisiones pecuario en t CO <sub>2e</sub> proyectadas en el escenario conservador tendencial. _____	118
Tabla 80: Emisiones agrícolas en t CO <sub>2e</sub> proyectadas en el escenario conservador tendencial. _____	118
Tabla 81: Emisiones totales sector agropecuario en t CO <sub>2e</sub> proyectadas en el escenario conservador tendencial. _____	119
Tabla 82: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario conservador tendencial. _____	120



Tabla 83: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones en el escenario conservador tendencial. _____	121
Tabla 84: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario conservador tendencial. _____	121
Tabla 85: Emisiones de N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario conservador tendencial. _____	121
Tabla 86: Emisiones totales en CO <sub>2</sub> e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario conservador tendencial. _____	122
Tabla 87: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador tendencial. _____	124
Tabla 88: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador tendencial. _____	124
Tabla 89: Producción forestal por producto en metros cúbicos de madera. _____	125
Tabla 90: Emisiones debidas a la extracción de biomasa cosechada en el escenario conservador tendencial. _____	126
Tabla 91: Emisiones de GEI debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador tendencial. _____	127
Tabla 92: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de biomasa aérea en el escenario conservador tendencial. _____	127
Tabla 93: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario de conservador tendencial. _____	128
Tabla 94: Emisiones y remociones de GEI del sector USCUS en el escenario de conservador tendencial. _____	129
Tabla 95: Emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e por sector en el escenario optimista tendencial. _____	132
Tabla 96: Demanda de electricidad en el escenario optimista tendencial. _____	137
Tabla 97: Emisiones de CO <sub>2</sub> e de la generación y las exportaciones eléctricas. _____	138
Tabla 98: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario optimista tendencial. _____	140
Tabla 99: Producción de las industrias en el escenario optimista tendencial. _____	141
Tabla 100: Consumo de halocarburos en el escenario optimista tendencial. _____	141
Tabla 101: Emisiones de los sectores industriales en el escenario optimista tendencial. _____	142
Tabla 102: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador tendencial. _____	143

Tabla 103: Emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial. _____	144
Tabla 104: Emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial. _____	145
Tabla 105: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario optimista tendencial. _____	146
Tabla 106: Emisiones de GEI en el escenario optimista tendencial para el sector servicios. _____	146
Tabla 107: Consumo de combustibles por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial. _____	147
Tabla 108: Emisiones de CO <sub>2</sub> e por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial. _____	148
Tabla 109: Consumo por tipo de combustibles en el escenario optimista tendencial. _____	150
Tabla 110: Emisiones del sector en el escenario optimista tendencial. _____	150
Tabla 111: Número de cabezas proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	151
Tabla 112: Emisiones de CH <sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario optimista tendencial. _____	152
Tabla 113: Emisiones de N <sub>2</sub> O proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	152
Tabla 114: Emisiones pecuario en t CO <sub>2</sub> e proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	153
Tabla 115: Emisiones agrícolas en t CO <sub>2</sub> e proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	154
Tabla 116: Emisiones totales sector agropecuario en t CO <sub>2</sub> e proyectadas en el escenario optimista tendencial. _____	154
Tabla 117: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario optimista tendencial. _____	155
Tabla 118: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario optimista tendencial. _____	156
Tabla 119: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario optimista tendencial. _____	157
Tabla 120: Emisiones de N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario optimista tendencial. _____	157
Tabla 121: Emisiones totales en CO <sub>2</sub> e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario optimista tendencial. _____	157
Tabla 122: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial. _____	159

Tabla 123: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial.	159
Tabla 124: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario optimista tendencial.	160
Tabla 125: Emisiones debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.	160
Tabla 126: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.	161
Tabla 127: Remociones debidas al abandono de las tierras cultivadas en el escenario optimista tendencial.	161
Tabla 128: Emisiones y remociones del sector USCUS\$ en el escenario optimista tendencial.	162
Tabla 129: Emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e por sector en el escenario conservador de medidas.	164
Tabla 130: Evolución de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas.	170
Tabla 131: Demanda eléctrica en el escenario conervador de medidas.	171
Tabla 132: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología.	172
Tabla 133: Emisiones de CO <sub>2</sub> e por tecnología en el escenario conservador de medidas.	174
Tabla 134: Emisiones de CO <sub>2</sub> e de la generación y las exportaciones eléctricas en el escenario conservador de medidas.	175
Tabla 135: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador de medidas.	177
Tabla 136: Emisiones de los sectores industriales en el escenario conservador de medidas.	178
Tabla 137: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador de medidas.	179
Tabla 138: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario conservador de medidas.	181
Tabla 139: Emisiones de GEI en el escenario conservador de medidas para el sector servicios.	182
Tabla 140: Consumo de combustibles en el escenario conservador de medidas para el sector residencial.	184

Tabla 141: Emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador de medidas para el sector residencial. _____	185
Tabla 142: Consumo por tipo de combustibles con implementación de medidas en el escenario conservador de medidas. _____	187
Tabla 143: Reducción medidas escenario conservador en CO <sub>2</sub> e. _____	188
Tabla 144: Fertilizante aplicado a suelos en los escenarios tendencial y en los escenarios de medidas. _____	189
Tabla 145: Emisiones directas de N <sub>2</sub> O en la gestión de suelos en el escenario conservador tendencial y conservador medidas. _____	189
Tabla 146: Emisiones totales sector agropecuario en t CO <sub>2</sub> en el escenario conservador tendencial y conservador medidas. _____	190
Tabla 147: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario conservador de medidas. _____	192
Tabla 148: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario conservador de medidas. _____	192
Tabla 149: Residuos depositados en vertederos proyectados en t /año bajo los escenarios conservador tendencial y medidas conservador. _____	193
Tabla 150: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario conservador de medidas. _____	193
Tabla 151: Emisiones de N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario conservador de medidas. _____	193
Tabla 152: Emisiones totales en CO <sub>2</sub> e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario conservador de medidas. _____	194
Tabla 153: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador de medidas. _____	198
Tabla 154: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador de medidas. _____	199
Tabla 155: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario conservador de medidas. _____	199
Tabla 156: Emisiones debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador de medidas. _____	200
Tabla 157: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de la biomasa aérea en el escenario conservador de medidas. _____	201
Tabla 158: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario conservador de medidas. _____	201

Tabla 159: Emisiones y remociones del sector USCUSS en el escenario conservador de medidas.	202
Tabla 160: Emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e por sector en el escenario optimista de medidas.	205
Tabla 161: Evolución de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas.	210
Tabla 162: Demanda eléctrica en el escenario optimista de medidas.	211
Tabla 163: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario optimista de medidas.	213
Tabla 164: Emisiones de CO <sub>2</sub> e por tecnología en el escenario optimista de medidas.	214
Tabla 165: Emisiones de CO <sub>2</sub> e de la generación y las exportaciones eléctricas en el escenario optimista de medidas.	216
Tabla 166: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario optimista de medidas.	217
Tabla 167: Emisiones de los sectores industriales en el escenario optimista de medidas.	219
Tabla 168: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario optimista de medidas.	220
Tabla 169: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario MP.	221
Tabla 170: Emisiones de GEI en el escenario TP para el sector servicios.	222
Tabla 171: Consumo de combustibles en el escenario optimista de medidas para el sector residencial.	224
Tabla 172: Emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas para el sector residencial.	224
Tabla 173: Consumo por tipo de combustibles con implementación de medidas en el escenario optimista de medidas.	226
Tabla 174: Reducción medidas escenario Latinoamérica en CO <sub>2</sub> e.	226
Tabla 175: Fertilizante aplicado a suelos en los escenarios tendenciales y en los escenarios de medidas.	228
Tabla 176: Emisiones directas de N <sub>2</sub> O en la gestión de suelos en el escenario optimista tendencial y optimista medidas.	228
Tabla 177: Emisiones totales sector agropecuario en t CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial y conservador medidas.	228
Tabla 178: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario optimista de medidas.	230

Tabla 179: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario optimista de medidas. _____	230
Tabla 180: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario optimista de medidas. _____	231
Tabla 181: Emisiones de N <sub>2</sub> O y CH <sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario optimista de medidas. _____	232
Tabla 182: Emisiones totales en CO <sub>2</sub> e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario optimista de medidas. _____	232
Tabla 183: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista de medidas. _____	234
Tabla 184: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista de medidas. _____	234
Tabla 185: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario optimista de medidas. _____	235
Tabla 186: Emisiones debidas a la quema <i>in situ</i> y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista de medidas. _____	236
Tabla 187: Emisiones de otros gases distintos al CO <sub>2</sub> debidas a la quema <i>in situ</i> de la biomasa aérea en el escenario optimista de medidas. _____	236
Tabla 188: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario optimista de medidas. _____	237
Tabla 189: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario optimista de medidas. _____	237
Tabla 195: Parámetros de análisis de modelos de proyección de emisiones de GEI. _____	247
Tabla 196: Principales Características. _____	248
Tabla 197: Alcance. _____	250
Tabla 198: Arquitectura Técnica. _____	251

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección. _____	26
Gráfico 2: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección contabilizando exportaciones de electricidad. _____	28
Gráfico 3: Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005. _____	38
Gráfico 4: Emisiones y remociones de GEI del Estado de Yucatán, 2005. _____	39



Gráfico 5: Recreación de las emisiones del Estado de Yucatán. _____	40
Gráfico 6: Evolución de las emisiones de GEI históricas del Estado de Yucatán. _____	41
Gráfico 7: Evolución de las emisiones sectoriales de GEI históricas. _____	41
Gráfico 8: Reparto de emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 1990 y 2005. _____	43
Gráfico 9: Estructura del modelo de Yucatán. _____	45
Gráfico 10: Reducción de emisiones lograda mediante la aplicación del MDL de CEMEX. _____	59
Gráfico 11: Distribución consumo de combustibles en el Estado de Yucatán para el año 2005. _____	63
Gráfico 12: Distribución población ganadera promedio en el Estado de Yucatán, 2001-2010. _____	66
Gráfico 13: Distribución promedio cultivos en el Estado de Yucatán, 2001-2010. _____	67
Gráfico 14: Distribución residuos sólidos según el sitio de disposición final según el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005. _____	72
Gráfico 15: Evolución de las remociones de CO <sub>2</sub> e del sector USCUSS en los escenarios tendenciales. _____	79
Gráfico 16: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección. _____	84
Gráfico 17: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección con medidas estructurales. _____	86
Gráfico 18: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección contabilizando exportaciones de electricidad. _____	88
Gráfico 19: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial. _____	90
Gráfico 20: Evolución de las emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial. _____	91
Gráfico 21: Evolución del reparto de las emisiones de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial. _____	92
Gráfico 22: Evolución de las emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial. _____	93
Gráfico 23: Evolución de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial. _____	94
Gráfico 24: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial. _____	94
Gráfico 25: Evolución de la generación neta, la generación bruta, las pérdidas y los autoconsumos de electricidad en el escenario conservador tendencial. _____	97

Gráfico 26: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología (MWh). _____	98
Gráfico 27: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e. _____	99
Gráfico 28: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica. _____	100
Gráfico 29: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador tendencial. _____	102
Gráfico 30: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario conservador tendencial. _____	104
Gráfico 31: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario conservador tendencial. _____	105
Gráfico 32: Evolución de las emisiones de proceso para el escenario TP. _____	106
Gráfico 33: Evolución de las emisiones de halocarburos para el escenario conservador tendencial. _____	108
Gráfico 34: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial para el sector servicios. _____	110
Gráfico 35: Comparación de las emisiones en el escenario conservador tendencial en 2005 y 2030 para el sector servicios. _____	110
Gráfico 36: Evolución de las emisiones por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial. _____	112
Gráfico 37: Comparación 2005-2030 del reparto de emisiones por combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial. _____	113
Gráfico 38: Evolución de las emisiones del sector en el escenario conservador tendencial. _____	115
Gráfico 39: Emisiones de N <sub>2</sub> O distribuidas por tipo de sistema en el escenario conservador tendencial. _____	117
Gráfico 40: Evolución emisiones totales de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador tendencial. _____	119
Gráfico 41: Reparto de emisiones de CO <sub>2</sub> e según la actividad del sector en el escenario conservador tendencial. _____	123
Gráfico 42: Reparto de emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e según la actividad del sector en el escenario conservador tendencial. _____	129
Gráfico 43: Evolución de las remociones de CO <sub>2</sub> e del sector USCUS el escenario conservador tendencial. _____	130
Gráfico 44: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista tendencial. _____	131
Gráfico 45: Evolución de las emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista tendencial. _____	133

Gráfico 46: Evolución del reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 134

Gráfico 47: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 135

Gráfico 48: Evolución de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 135

Gráfico 49: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 136

Gráfico 50: Evolución de la generación neta, la generación bruta, las pérdidas y los autoconsumos de electricidad en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 138

Gráfico 51: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica. \_\_\_\_\_ 139

Gráfico 52: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 140

Gráfico 53: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 143

Gráfico 83: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial para el sector servicios. \_\_\_\_\_ 147

Gráfico 55: Evolución de las emisiones por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial. \_\_\_\_\_ 149

Gráfico 56: Evolución de las emisiones del sector en el escenario transporte en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 151

Gráfico 57: Emisiones de CH<sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario optimista tendencial a 2030. \_\_\_\_\_ 153

Gráfico 89: Proyección de residuos destinados a rellenos sanitarios en t /año bajo los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 156

Gráfico 59: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 158

Gráfico 60: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 162

Gráfico 61: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUSS el escenario optimista tendencial. \_\_\_\_\_ 163

Gráfico 62: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas. \_\_\_\_\_ 164

Gráfico 63: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas. \_\_\_\_\_ 165

Gráfico 64: Evolución del reparto de las emisiones de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador de medidas. _____	166
Gráfico 65: Evolución de las emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial. _____	167
Gráfico 66: Evolución de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador de medidas. _____	168
Gráfico 67: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador de medidas. _____	168
Gráfico 68: Evolución de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas. _____	172
Gráfico 69: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario conservador de medidas. _____	173
Gráfico 70: Evolución de las emisiones por tecnología en el escenario conservador de medidas. _____	174
Gráfico 71: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas. _____	175
Gráfico 72: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador de medidas. _____	177
Gráfico 73: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario conservador de medidas. _____	178
Gráfico 74: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario conservador de medidas. _____	179
Gráfico 75: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador de medidas para el sector servicios. _____	182
Gráfico 76: Comparación de las emisiones en el escenario conservador de medidas en 2005 y 2030 para el sector servicios. _____	183
Gráfico 77: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario conservador de medidas del sector residencial. _____	185
Gráfico 78: Comparación 2005-2030 del reparto de emisiones por tipo de combustible en el escenario conservador de medidas para el sector residencial. _____	186
Gráfico 79: Evolución de las emisiones de GEI escenario conservador de medidas. _____	188
Gráfico 80: Evolución de las emisiones de GEI escenario conservador de medidas y conservador tendencial. _____	191
Gráfico 81: Reparto de emisiones de CO <sub>2</sub> e según la actividad del sector en el escenario conservador de medidas. _____	195

Gráfico 82: Reparto de emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e según la actividad del sector en el escenario conservador de medidas. _____	202
Gráfico 83: Evolución de las remociones de CO <sub>2</sub> e del sector USCUS el escenario conservador de medidas. _____	203
Gráfico 84: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas. _____	204
Gráfico 85: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas. _____	206
Gráfico 86: Evolución del reparto de las emisiones de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista de medidas. _____	207
Gráfico 87: Evolución de las emisiones y remociones de CO <sub>2</sub> e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial. _____	208
Gráfico 88: Evolución de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas. _____	208
Gráfico 89: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO <sub>2</sub> e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista de medidas. _____	209
Gráfico 90: Evolución de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas. _____	212
Gráfico 91: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario optimista de medidas. _____	213
Gráfico 92: Evolución de las emisiones por tecnología en el escenario optimista de medidas. _____	215
Gráfico 93: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas. _____	216
Gráfico 94: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista de medidas. _____	218
Gráfico 95: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario optimista de medidas. _____	219
Gráfico 96: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario optimista de medidas. _____	220
Gráfico 97: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas para el sector servicios. _____	222
Gráfico 98: Comparación de las emisiones en el escenario optimista de medidas en 2005 y 2030 para el sector servicios. _____	223
Gráfico 99: Evolución de las emisiones de CO <sub>2</sub> e en el escenario optimista de medidas del sector residencial. _____	225

Gráfico 100: Evolución de las emisiones de GEI del escenario optimista de medidas. 227

Gráfico 101: Evolución de las emisiones de GEI escenarios conservadores y optimistas. \_\_\_\_\_ 229

Gráfico 102: Residuos depositados en vertederos proyectados en t /año bajo los escenarios optimista tendencial y conservador medidas. \_\_\_\_\_ 231

Gráfico 103: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista de medidas. \_\_\_\_\_ 233

Gráfico 104: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e de los escenarios optimista tendencial y medidas optimista. \_\_\_\_\_ 233

Gráfico 105: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista de medidas. \_\_\_\_\_ 238

Gráfico 106: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUS el escenario optimista de medidas. \_\_\_\_\_ 238



## Acrónimos

CaO	Óxido de calcio
CCTG	Ciclo combinado de gas natural
CH <sub>4</sub>	Metano
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán
CM	Escenario Conservador Medidas
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> e	Dióxido de carbono equivalente
COA	Cédula de Operación Annual
Conafor	Comisión Nacional Forestal
Conapo	Consejo Nacional de Población
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano
CRF	Common Reporting Tables
CT	Escenario Conservador Tendencial
Ecosur	El Colegio de la Frontera Sur
FMI	Fondo Monetario Internacional
GEI	Gas de Efecto Invernadero
Gg	Gigagramo
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GTEM	Modelo de Comercio Global y Medio Ambiente (siglas en inglés)
HFC-134a	1,1,1,2-Tetrafluoroetano
HFC-22	Clorodifluorometano
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Inifap	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
JAPAY	Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán
Kg	Kilogramo
L	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MgO	Óxido de magnesio
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MW	Megavatio
MWh	Megavatio-hora
MMRF	Modelo Verde de Proyección Multi-Regional
N	Nitrógeno
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso

NH <sub>3</sub>	Amoniaco
NEIA	Agencia Nacional de Inversiones Medioambientales de Ucrania
NEMS	Sistema Nacional de Modelización Energética
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
OM	Escenario Optimista Medidas
OT	Escenario Optimista Tendencial
PEACC	Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto Interno Bruto
POETY	Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial
POLES	Modelo Prospective Outlook on Long-term Energy Systems
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca del Gobierno Federal
Seduma	Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno de Yucatán
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal
SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre
SIACON	Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SSY	Servicio de Salud de Yucatán
USCUSS	Usos del Suelo, Cambios de Usos del Suelo y Silvicultura
TJ	Terajulio
t	Toneladas
VAB	Valor añadido bruto



# 1. Resumen Ejecutivo

## 1.1. Un proceso en marcha

El Estado de Yucatán está desarrollando su Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático. El objetivo es desarrollar un programa completo de actuación en relación a la mitigación y adaptación al cambio climático con un horizonte a largo plazo. Para ello es preciso un análisis profundo de los aspectos más relevantes y la movilización de un número importante de agentes clave.

El presente documento se inserta dentro del apartado de mitigación y tiene como objetivo plantear los escenarios más probables de emisión de gases de efecto invernadero (GEI, de aquí en adelante) para el Estado. Para ello, se ha realizado un análisis de los modelos más relevantes disponibles, concluyendo con que la mejor opción era desarrollar un modelo ad-hoc, habida cuenta de la escasez de información, del importante peso relativo de los usos del suelo y de la naturaleza estatal del ejercicio de proyección.

En concreto, se ha utilizado como base un modelo de simulación que, partiendo de información técnica y económica, ofrece distintos panoramas de emisión de GEI. Para nutrir ese modelo se han definido cuatro escenarios sobre una matriz de 2x2, combinando distintas visiones económicas (optimista y conservador) con dos grados de intervención política en cambio climático (medidas optimista y medidas conservador) que tienen diferente tasa de éxito a la hora de introducir las medidas. El conjunto se expresa gráficamente en la tabla siguiente.

**Tabla 1: Escenarios considerados.**

Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO TÉCNICOS	ESCENARIOS ECONÓMICOS	
	Tendencial	Medidas
	Nacional	Latinoamérica
	Conservador tendencial (CT)	Optimista tendencial (OT)
	Conservador medidas (CM)	Optimista medidas (OM)

Estos escenarios agrupan una serie de hipótesis sobre el funcionamiento de variables clave para las emisiones de GEI. Desde el punto de vista económico, el primer escenario se basa en las estimaciones contenidas en la planificación energética de México, mientras que el optimista ofrece un escenario alternativo basado en

porcentajes de crecimiento más generosos, tomados de fuentes de carácter general para América Latina.

Las medidas, por su parte, se basan en términos generales en los análisis previos del equipo de trabajo contenidos en el documento de "Propuesta de políticas y estrategias de mitigación de emisiones de GEI" remitido en octubre de 2012 en su primera versión y el 8 de febrero de 2013 en su segunda versión. Aunque también se ha querido ir más allá mediante la introducción de una serie de medidas, llamadas estructurales, que no son más que otra serie de opciones de difícil aplicación a corto plazo en el Estado de Yucatán.

Se ha contado, tanto para la identificación de las medidas, como para la definición de los escenarios, con un proceso de participación a través de varios canales con diversos agentes claves, a través de los cuales han expresado su visión sobre el futuro de las emisiones y las palancas clave para abordarlas.

## 1.2. Los grandes retos

Una de las mayores dificultades para el proceso de elaboración de las proyecciones ha venido constituido por la limitación de la serie histórica a un único punto, 2005. Ello ofrece dificultades, tanto por la comparabilidad, como sobre todo con el proceso de abordaje del periodo comprendido entre este año y el año actual. Para ello se ha llevado a cabo, por un lado, un proceso de reconstrucción del periodo histórico hasta el año 1990 en base a cierta información disponible sobre el Estado. Por otro lado, el periodo hasta el año 2010 ha sido obtenido a través de la extrapolación de ciertos datos de actividad clave a nivel nacional. Por último, a partir del año 2010 se ha llevado a cabo el ejercicio de proyección propiamente dicho.

Es preciso tener en cuenta que la información reflejada a lo largo del documento no referente al año 2005 ha sido obtenida a través de estos métodos y, por lo tanto, el grado de incertidumbre puede ser elevado.



En algunos casos, el grado de desagregación de la información de partida no era suficiente para abordar ciertos sectores, como residencial o servicios. En estos casos, se ha partido de estimaciones con el objetivo de disponer de una visión representativa del peso de estos sectores.

### 1.3. Los resultados

En términos generales, las emisiones proyectadas muestran una tendencia creciente, debido al crecimiento económico previsto y al aumento de la demanda energética. Este crecimiento se muestra de manera diferente en los diferentes escenarios considerados.

**Tabla 2: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones.**

Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Conservador	Optimista	Emisiones
Tendencial	63%	109%	% Δ
	13,073,952	16,481,391	† CO <sub>2</sub> e
Medidas	48%	86%	% Δ
	11,862,006	14,713,104	† CO <sub>2</sub> e

Tal y como se puede observar en la tabla, **el escenario en el que se produciría un mayor aumento de las emisiones es el escenario optimista tendencial, seguido por el optimista de medidas**, el conservador tendencial y el conservador de medidas. Si se analizan las emisiones totales en 2030 de los diferentes escenarios, se puede observar que tanto entre los escenarios tendenciales como entre los de medidas, habría una diferencia de aproximadamente 3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, **causada por el mayor crecimiento económico tomado para proyectar los escenarios optimistas.**

**Los resultados obtenidos para el sector USCUS no están incluidos en la tabla superior**, ya que según lo indicado en la metodología IPCC 1996, las emisiones y remociones de USCUS no pueden agregarse directamente al resto de sectores.

No obstante, cabe comentar que **en el Estado de Yucatán, el sector USCUS si no se ponen medidas en marcha dejará de ser un sumidero de carbono**, es decir, como resultado de la proyección, tanto en el escenario conservador como en el optimista la tendencia marca un incremento en las emisiones. Por el contrario, **en los escenarios de**



medidas se incrementan las remociones del sector, en un 10% en 2030 respecto a 2005 en el escenario conservador y en un 48% en el optimista.

**Gráfico 1: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección.**

Fuente: Elaboración propia.



El escenario optimista tendencial es el escenario en el que las emisiones proyectadas serían más elevadas. De hecho, la diferencia en 2030, entre este escenario y la mediana de los escenarios ascendería a 2.8 Mt. La causa de que sea el escenario con mayores emisiones es el alto crecimiento económico empleado en el modelo de proyección. En el extremo opuesto se encontraría el escenario conservador de medidas, cuyas emisiones en 2030 serían 2.2 Mt menores que las de la mediana de los escenarios, debido a que su crecimiento económico proyectado es el más bajo y, además, se aplican medidas de reducción de emisiones. Entre ambos escenarios se encuentran el optimista de medidas y el conservador tendencial, en el caso del optimista de medidas, pese a la aplicación de medidas de mitigación, el crecimiento

económico haría que sus emisiones sean superiores que las del escenario conservador tendencial.

#### 1.4. Tratamiento de la electricidad importada/exportada

A la hora de determinar las emisiones de GEI de una región o país, uno de los factores a tener en cuenta son las emisiones causadas por la electricidad importada o exportada. En el caso de un país, esta aproximación es sencilla, si se trata de un país en la que se importa electricidad, las emisiones de dicha electricidad habrán de contabilizarse también. Por el contrario, de exportarse, esas emisiones habrían de ser descontadas del cálculo.

Para una región dentro de un país, como es el caso del Estado de Yucatán, el enfoque no es tan sencillo, porque a diferencia de la situación que generalmente suele producirse en los países, es decir, que existen líneas internacionales de transmisión eléctrica y existe un balance claro de la cantidad de energía eléctrica importada y exportada, en general, para las regiones las redes eléctricas están interconectadas por lo que no resulta sencillo distinguir la electricidad producida y consumida en la región de la que se produce en una región adyacente y se importa o la que se produce en la región y se exporta.

Para solucionar esta disyuntiva, se puede realizar una simplificación, que consiste en considerar que, si se produce más electricidad que la que se consume en el propio Estado, este excedente se exporta y, si por el contrario, se consume más electricidad que la producida, se importa electricidad hasta cubrir la demanda. Por tanto, si se exporta electricidad se deducen las emisiones y si se importa se contabilizan las emisiones de la electricidad importada.

En la tabla inferior, pueden observarse los resultados de los cuatro escenarios proyectados contabilizando las emisiones de la electricidad exportada. **El principal efecto de la contabilización de las exportaciones es que, en todos los escenarios se reducirían las emisiones**, y, también lo harían los incrementos de emisiones que se producen entre 2005 y 2030. Los escenarios en los que el efecto de **este cambio de contabilidad sería mayor son los escenarios conservadores**, ya que, **en ellos, la demanda eléctrica crecería en menor medida que en los escenarios optimistas**.

**Tabla 3: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones contabilizando exportaciones de electricidad.**

Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Conservador	Optimista	Emisiones
Tendencial	63%	109%	% Δ
	13,073,952	16,481,391	† CO <sub>2</sub> e
Medidas	40%	76%	% Δ
	11,262,163	13,895,043	† CO <sub>2</sub> e

**Gráfico 2: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección contabilizando exportaciones de electricidad.**

Fuente: Elaboración propia.



La diferencia de emisiones entre el escenario optimista tendencial y la mediana de todos los escenarios en 2030 se incrementa con este enfoque puesto que, para dicho escenario, las emisiones reducidas con el cambio de enfoque son mucho menores que

las reducciones que se darían en el escenario conservador de medidas. Ello es debido a que la demanda crecería al mayor ritmo posible y no se aplicaría ninguna medida de mitigación que la redujera, al contrario de lo que ocurriría en el escenario conservador de medidas.

De hecho, en el escenario optimista tendencial, la diferencia en emisiones de contabilizar las exportaciones eléctricas a no contabilizarlas en 2030 sería aproximadamente de 342,000 toneladas de CO<sub>2</sub>e, frente a las 1,300,000 toneladas en el escenario conservador de medidas. El escenario conservador tendencial y el optimista de medidas se situarían entre ambos valores, siguiendo situándose, como en el resto de supuestos analizados, el escenario conservador tendencial por debajo de la mediana y el escenario optimista de medidas por encima.

En base al crecimiento económico planteado en las proyecciones de GEI del Estado de Yucatán, los crecimientos de las emisiones previstos serían elevados a lo largo del periodo analizado. Pese a la inclusión de medidas de mitigación para paliar dicho crecimiento, que permitirían reducir 1,878,250 t CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas y 2,479,756 t CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas, no se lograría invertir la tendencia creciente de las emisiones.

No obstante, se ha de tener en cuenta que las medidas propuestas tienen otros beneficios sociales y ambientales para el Estado, con independencia de la cantidad absoluta de emisiones que reduzcan y que, por lo tanto, su implantación es altamente recomendable y sus resultados siempre beneficiosos para el Estado de Yucatán y sus habitantes.

Independientemente del modelo empleado, cuando se elaboran unas proyecciones de emisiones, siempre se obtienen resultados similares en cuanto a que el efecto de las medidas analizadas se diluye y agota a lo largo del periodo de proyección. Es por ello que sería necesario, para lograr mitigar más emisiones, incluir nuevas medidas que actualmente no se han incluido por encontrarse en fases de investigación y desarrollo, como podrían ser el uso de energía maremotriz o las celdas de combustible.

En cuanto al sector USCUS, cuya contabilización se realiza independientemente del resto de sectores por no poder agregarse en los resultados totales en base a lo indicado en la metodología IPCC de 1996, al contrario que con el resto de sectores, mediante la aplicación de las medidas se lograría incrementar las emisiones del sector. No obstante, incluso en los escenarios tendenciales de este sector, se

mantenían estables dichas remociones, por lo que el efecto de las medidas no viene sino a incrementar lo observado en los escenarios tendenciales.

## 2. Introducción

Este documento forma parte del proyecto para el desarrollo del Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo y que coordina la empresa Factor CO<sub>2</sub>. Su objetivo es analizar las tendencias más plausibles que las emisiones de GEI pueden tener en los próximos años en el Estado de Yucatán, ayudando a definir estrategias exitosas de reducción de emisiones.

Por su propia naturaleza, el cambio climático viene provocado por la concentración de GEI en la atmósfera. Debido a ello, cuando analizamos la mitigación del cambio climático no podemos hacerlo desde un punto de vista estático, sino que tenemos que tener en cuenta la contribución de los agentes en distintos periodos de tiempo. En este caso, el objetivo es visualizar cuáles podrían ser las emisiones de GEI en el Estado de Yucatán hasta el año 2030.

Para ello, la herramienta de trabajo son los modelos. El ejercicio consiste en representar matemáticamente, de manera lo más completa, las interacciones entre los distintos agentes emisores dentro del sistema económico del Estado. A partir de allí, e introduciendo distintas hipótesis que se consideran plausibles, se obtienen diferentes visiones del futuro de las emisiones. Existen muy diversos modelos disponibles, dependiendo entre otras cuestiones de los objetivos del ejercicio, de la información disponible, así como del periodo de referencia a cubrir. Este trabajo comienza con una descripción de los modelos existentes potencialmente aplicables, así como del modelo que finalmente se ha utilizado.

Con independencia del modelo, dada la dificultad inherente a representar el futuro, sería temerario prever un único escenario de evolución. Se reduce la incertidumbre trabajando sobre distintos escenarios que agrupan hipótesis de futuro en torno a algún denominador común. En este documento, se ha generado una matriz de 2x2 escenarios a partir de expectativas económicas y técnicas. La mayor parte de las opciones de reducción de emisiones analizadas provienen del informe "Propuesta de políticas y estrategias de mitigación de emisiones de GEI" remitido en octubre de 2012, dentro del marco del mismo proyecto.

Es importante subrayar que las proyecciones no son, por tanto, predicciones. Lo que se generan como principales salidas del modelo son emisiones de GEI debidas a hipótesis

en ciertas variables estadísticamente relevantes. En el marco de un modelo de simulación (what-if) como el aquí utilizado, el objetivo es cubrir un abanico de sucesos probables y valorar sus repercusiones en términos de políticas de mitigación del cambio climático. En la medida que el plan se desarrolle, algunas de esas hipótesis deberán ser modificadas hacia mayor o menor ambición, ayudando el modelo a definir mejor los resultados previstos en cada caso.

Por otro lado, es importante tener presente la información de base para la realización de una buena proyección. Los datos de partida deben ser lo más consistentes posible, ya que los modelos suelen asentarse sobre ellos para recrear las diferentes posibilidades futuras.

En este caso, los datos disponibles para el Estado de Yucatán varían en función del sector y, muchas veces, se han tenido que estimar en función de los datos disponibles a nivel federal.

Para el sector eléctrico, por ejemplo, se han tomado datos del documento Prospectiva del Sector Eléctrico Mexicano 2010-2025 para el Estado de Yucatán. Para el resto de sectores energéticos los datos se han basado en las tendencias del documento de prospectiva para México. En esta parte, cabe destacar que se ha reconstruido una parte del inventario de GEI, como por ejemplo el sector residencial o el sector servicios, donde se ha estimado el consumo total del mismo. Por su parte, la fuente de información principal para el sector agropecuario ha sido el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

Con el objetivo de plasmar la realidad del Estado de Yucatán, durante el desarrollo de este estudio se ha contado además con las observaciones de agentes clave en los diferentes sectores.



### 3. Selección del modelo y estudios previos

Para la selección del modelo de base más adecuado a la realidad del Estado de Yucatán, que permita simular sus emisiones de GEI futuras de la forma más aproximada posible, se ha llevado a cabo un estudio previo de las opciones existentes.

Los modelos identificados y seleccionados han sido clasificados en base a los siguientes criterios:

- **Modelo de datos de actividad:** modelos que utilizan datos macroeconómicos y datos sectoriales existentes para la previsión de parámetros de datos de actividad.
- **Modelos duales:** modelos que se inician con información macroeconómica o sectorial y concluyen con una proyección de emisiones de GEI.

**Tabla 4: Modelos Clasificados**  
Fuente: Elaboración propia.

DUAL	DATOS DE ACTIVIDAD
ENPEP	E4CAST
NEMS	IKARUS-MARKAL
DTI	
GTEM	
MMRF (parcial)	
POLES	
MedPro	
SGM	
LEAP	

Los modelos duales han constituido el camino escogido por muchos países para la proyección de sus emisiones de GEI. Para estos modelos de proyección no sólo se tienen en cuenta las emisiones de GEI, sino también la previsión de los datos de actividad a nivel macroeconómico y sectorial. Por ello, se incluye una descripción más detallada junto con un análisis basado en el estudio de este tipo de modelos en el Anexo.

Con este contexto de partida, el análisis de las diferentes opciones existentes<sup>1</sup> para el desarrollo de la proyección de emisiones de GEI del Estado de Yucatán revela que, a priori, un modelo *ad-hoc* ofrece mayor transparencia y flexibilidad para adaptarse a las diferentes realidades. Mientras, los modelos ya desarrollados ofrecen una vía más rápida y experimentada cuando se cumplen sus requerimientos de datos necesarios.

**Tabla 5: Criterios de evaluación general del modelo.**  
Fuente: Elaboración propia

Criterio de evaluación	Modelos prefabricados	Modelo Ad-hoc	Situación de Yucatán
<b>Transparencia</b>	Caja Negra	Alta	Necesario para mejor conocimiento de la situación
<b>Requerimiento de datos</b>	Alta	Adaptable	Algunos datos disponibles
<b>Flexibilidad/ Adaptabilidad</b>	Nula	Alta	Necesario por la escasez de datos disponibles
<b>Legitimidad</b>	Alta generalmente	Depende de su robustez	Ambos tipos se pueden utilizar para los objetivos de Yucatán

La mayor ventaja de los modelos ya desarrollados es su simplicidad metodológica a la hora de utilizarse. Sin embargo, su naturaleza restrictiva puede generar dificultades a la hora de su uso, sobre todo en los casos en los que no se dispone de todos los datos necesarios para su utilización.

Por su parte, los modelos *ad-hoc* han demostrado ser muy útiles para desarrollar un trabajo periódico a partir de información sectorial, adaptando los parámetros relevantes y traduciendo también los resultados de CO<sub>2</sub> en una salida desagregada.

Para el caso concreto del presente proyecto y una vez analizadas todas las posibilidades disponibles, es conocido que se tiene:

- ✓ Un único punto de partida, el inventario de emisiones de GEI del año 2005.
- ✓ Nivel 1 de cálculo en dicho inventario, con una incertidumbre en el cálculo elevada.
- ✓ Ausencia de tablas económicas *input-output* para el Estado de Yucatán.

<sup>1</sup> Ver Anexo

Por otra parte, debido a que el sector Usos del Suelo y Cambios de uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS, de aquí en adelante) es clave en el Estado de Yucatán, es importante que el modelo seleccionado permita su proyección futura además de los mayoritariamente energéticos.

Por ello, el desarrollo de un modelo *ad-hoc* para el Estado de Yucatán es la opción más favorecedora. En este sentido, el equipo consultor tiene experiencia en el desarrollo de distintos modelos *ad-hoc* adaptándolos a las diferentes realidades existentes. El ejemplo más relevante es el denominado *UKIO model*. Éste fue desarrollado para el “National Environmental Investment Agency of Ukraine (NEIA)” bajo un proyecto financiado por el Banco Europeo para la Reconstrucción y Desarrollo (BERD, por sus siglas en inglés).

Los modelos *ad-hoc* desarrollados por el equipo de proyección tienen carácter econométrico, simulando la producción de los distintos sectores sobre la base de ciertas hipótesis económicas, energéticas y tecnológicas. Así, las bases metodológicas son las siguientes:

- ✓ El núcleo del modelo está constituido por un motor de interrelación de sectores económicos a través de matrices input-output. En base a una adaptación de los cocientes técnicos de Leontief es posible obtener hipótesis de producción de los diferentes sectores para distintos escenarios macroeconómicos a través del método de Gauss-Jordan.
- ✓ Las emisiones son contempladas como un output del proceso productivo, mientras que las necesidades energéticas son integradas como un input (usando el modelo de cuentas satélite de contabilidad nacional).
- ✓ Asimismo, el modelo requiere información energética y tecnológica, en función de la que asigna factores de eficiencia y consumo porcentual de combustibles a las distintas producciones.
- ✓ El modelo se completa con varios submodelos exógenos para las emisiones menos condicionadas por variables macroeconómicas. Particularmente, en el caso del sector USCUSS este modelo exógeno es particularmente detallado por ser uno de los sectores en los que la influencia de factores diferentes de los económicos es mayor.

Debido a la situación de partida para la modelización en el Estado de Yucatán, finalmente se ha optado por realizar una adaptación del *UKIO model*, teniendo en cuenta la ausencia de matrices input-output propias y la relevancia de sectores como el USCUS.

Más adelante se especifican las características del modelo desarrollado para la modelización y proyección de emisiones en el Estado de Yucatán.

## 4. Emisiones de GEI históricas del Estado de Yucatán

### 4.1. Inventario de Emisiones de GEI del año 2005

El inventario de GEI desarrollado por el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y el Gobierno del Estado de Yucatán<sup>2</sup> da una visión de la situación en cuanto a emisiones para el año 2005<sup>3</sup>.

En el año analizado, el principal GEI fue el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con un total del 71.22% sobre el total de emisiones, seguido por el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (16.13%) y metano (CH<sub>4</sub>) (11.17%). Las emisiones derivadas por el uso de halocarburos sumaron el 1.48%.

**Tabla 6: Emisiones de GEI del Estado de Yucatán por sector, 2005.**

Fuente: Inventario de GEI del Estado de Yucatán revisado, 2005 (versión de septiembre de 2013).

Gg CO <sub>2</sub> e	
Gas de efecto invernadero	2005
Energía	6,005.70
Procesos industriales y solventes y otros usos de productos	588.73
Desechos	330.48
Agropecuario	2,582.35
USCUSS	1359.28 <sup>4</sup>

**Tabla 7: Emisiones de GEI por tipo de gas del Estado de Yucatán, 2005.**

Fuente: Inventario de GEI del Estado de Yucatán, 2005 (versión de septiembre de 2013).

Gg CO <sub>2</sub> e		
	Gas de efecto invernadero	2005
Fuentes anexo A	CO <sub>2</sub>	6,404.38
	CH <sub>4</sub>	1,191.29
	N <sub>2</sub> O	1,750.46
	HFCs	161.12
	PFCs	0
	SF <sub>6</sub>	0

<sup>2</sup> Versión de septiembre de 2013.

<sup>3</sup> Cabe destacar que el mismo ha sido desarrollado bajo el enfoque de la metodología del IPCC del año 1996. Ello es relevante por la importancia del sector USCUSS en el Estado, ya que los resultados pueden variar de manera considerable si se aplica la metodología derivada de la actualización del año 2006.

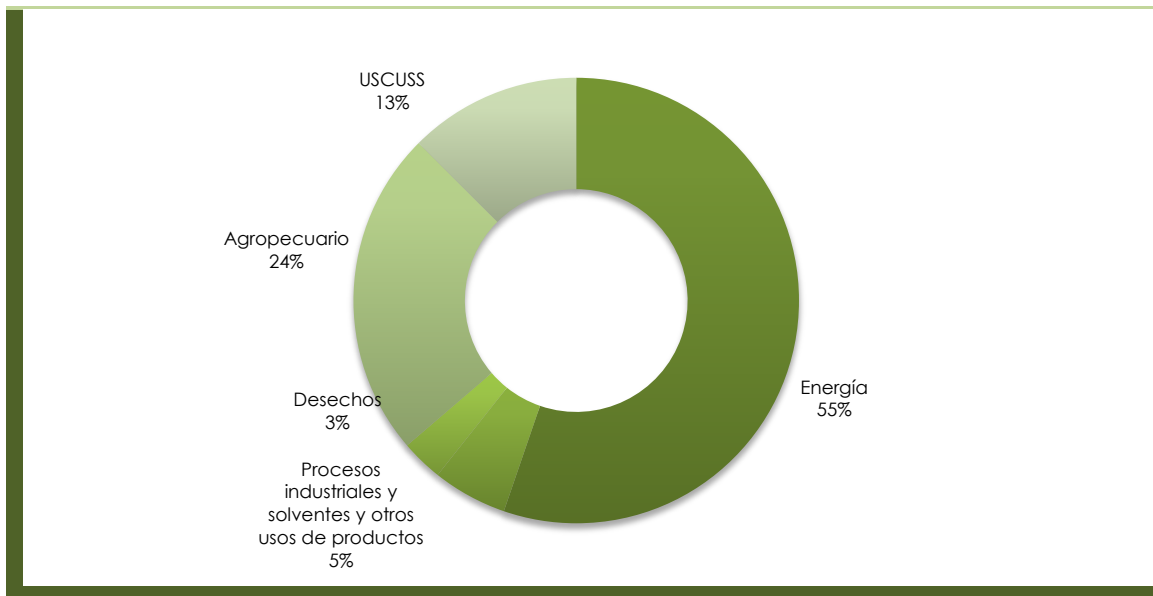
<sup>4</sup> Según la metodología IPCC de 1996, para el sector USCUSS, las emisiones han de indicarse con signo negativo y las remociones con signo positivo.

Gg CO <sub>2</sub> e		
	Gas de efecto invernadero	2005
USCUSS	CO <sub>2</sub>	1,334.30
	CH <sub>4</sub>	22.68
	N <sub>2</sub> O	2.30

En cuanto a la distribución sectorial de dichas emisiones y remociones, el sector en el que más emisiones se contabilizaron fue el de energía (55.27%), seguido por el sector agropecuario (23.76%), los procesos industriales (que incluyen el uso de solventes y otros productos y los halocarburos) (5.42%) y los desechos (3.04%). Las remociones del sector USCUSS suman el 14.44% del total de las emisiones y remociones del estado. Así, el total de las emisiones del Estado de Yucatán en 2005 sumaron 10,866.54 Gg CO<sub>2</sub>e y las remociones 1,833.99 Gg CO<sub>2</sub>e. Cabe mencionar que las emisiones y remociones se contabilizan separadamente y no se agregan, en base a lo establecido por la metodología IPCC de 1996.

**Gráfico 3: Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005.**

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005 (versión de septiembre de 2013).



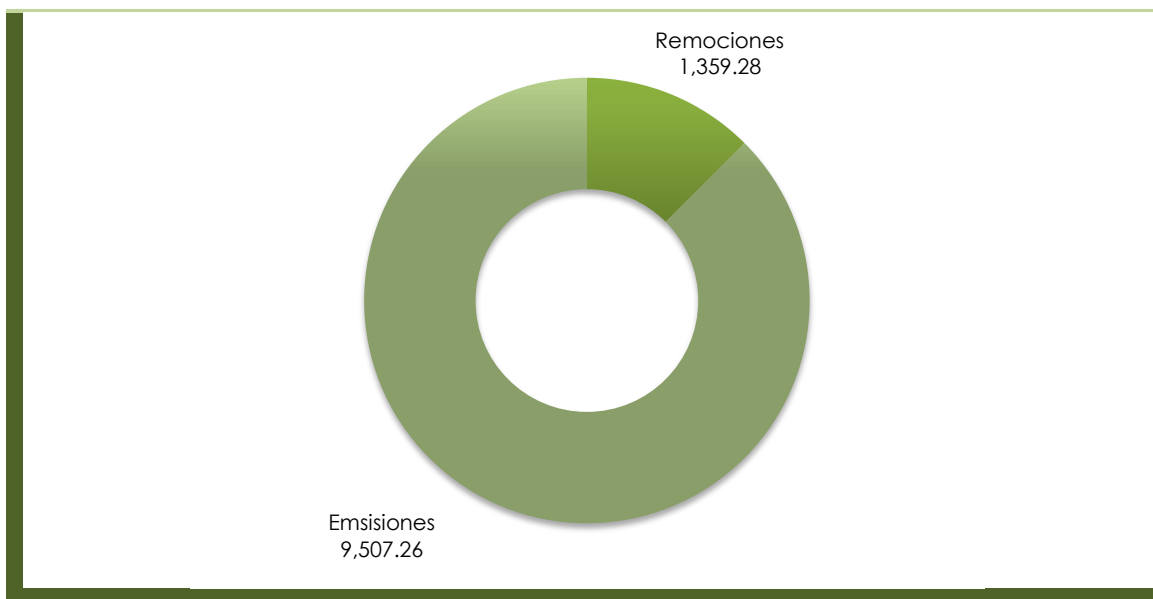
Por lo tanto, los principales sectores donde es conveniente centrar el mayor esfuerzo para la realización de la proyección de emisiones de GEI son los sectores energéticos, donde se incluyen las actividades industriales de combustión, la generación eléctrica, el comercio y los servicios, el transporte y el sector residencial y el agropecuario.

Particularmente, el sector agropecuario es una fuente destacada de las emisiones del Estado y es por ello que sería interesante considerarlo en la medida justa a la hora de planificar las acciones futuras en este sector.

En cualquier caso, aunque representan un porcentaje menor de las emisiones, no hay que olvidar el potencial existente en la gestión de los desechos y en las emisiones de los procesos industriales, uso de solventes y otros productos.

**Gráfico 4: Emisiones y remociones de GEI del Estado de Yucatán, 2005.**

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005 (versión de septiembre de 2013).



En el gráfico superior se muestra el resultado global del inventario de emisiones de GEI del Estado de Yucatán. Tal y como se puede observar, las emisiones son superiores a las remociones del sector USCUS.

**4.2. Reconstrucción de la información histórica**

Tomando como punto de partida el año del inventario de emisiones de GEI del Estado de Yucatán, se han reconstruido las emisiones entre el año 1990 y el año 2010. Es necesario comentar, sin embargo, que para algunos sectores – en concreto, generación eléctrica y agropecuario - ha sido imposible llegar hasta el año base, teniendo que extrapolar la información que a continuación se muestra.



### Gráfico 5: Recreación de las emisiones del Estado de Yucatán.

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán.



### Tabla 8: Simulación histórica de las emisiones del Estado de Yucatán.

Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán.

	1990	1995	2000	2005	2010
Energía Eléctrica	722,579	1,158,954	1,595,329	1,963,608	1,898,549
Industria	906,060	920,285	1,099,794	1,041,058	1,041,055
Transporte	1,482,845	1,647,316	1,861,025	2,155,548	2,637,247
Residencial	423,714	467,243	453,134	439,278	461,980
Servicios	26,878	37,579	75,411	73,131	77,960
Agropecuario	1,925,076	2,006,148	2,090,635	2,036,760	1,663,791
Residuos	223,748	266,667	289,022	331,138	578,815
<b>TOTAL</b>	<b>5,710,901</b>	<b>6,504,193</b>	<b>7,464,350</b>	<b>8,040,520</b>	<b>8,359,396</b>
E. Eléctrica exportada	-193,597	-193,597	-746,824	-1,222,197	-1,001,683
<b>TOTAL sin electricidad exportada</b>	<b>5,517,304</b>	<b>6,310,596</b>	<b>6,717,527</b>	<b>6,818,323</b>	<b>7,357,713</b>
<b>USCUSS<sup>5</sup></b>	<b>-661,841</b>	<b>519,777</b>	<b>434,246</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,488</b>

Teniendo en cuenta que hay una extrapolación de las proyecciones entre los años 2006 y 2010, cabe la posibilidad de que los resultados logrados para estos años no casen con las proyecciones planteadas. Todo esto es debido a la falta de información para la reconstrucción histórica y porque la proyección se basa en un punto real conocido, el año 2005.

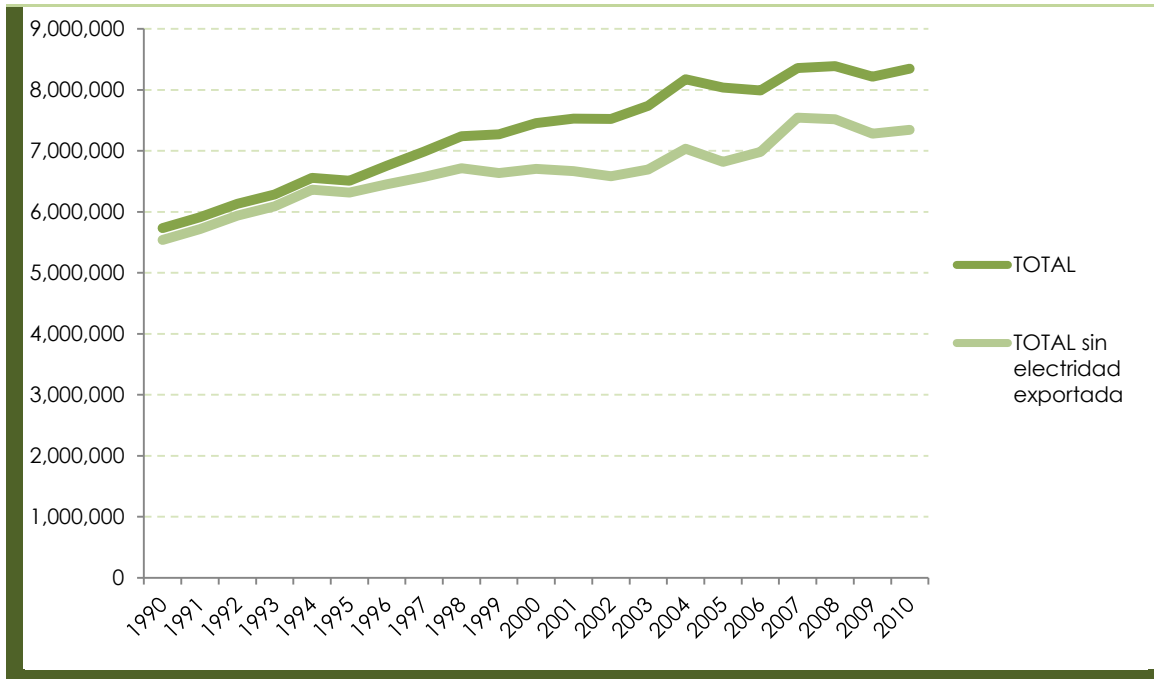
En base a la reconstrucción realizada, las emisiones del Estado de Yucatán habrían aumentado un 46% entre el año 1990 y el año 2010, último año no proyectado, aunque este crecimiento disminuye hasta el 33%, si se eliminan las emisiones exportadas por la electricidad que se produce en el Estado pero no se consume en el mismo.

<sup>5</sup> En el sector USCUSS, en base a lo indicado en la metodología IPCC de 1996, las remociones se indican con signo positivo.

Realizando el ejercicio en función de los diferentes sectores emisores, los resultados de la simulación se muestran a continuación.

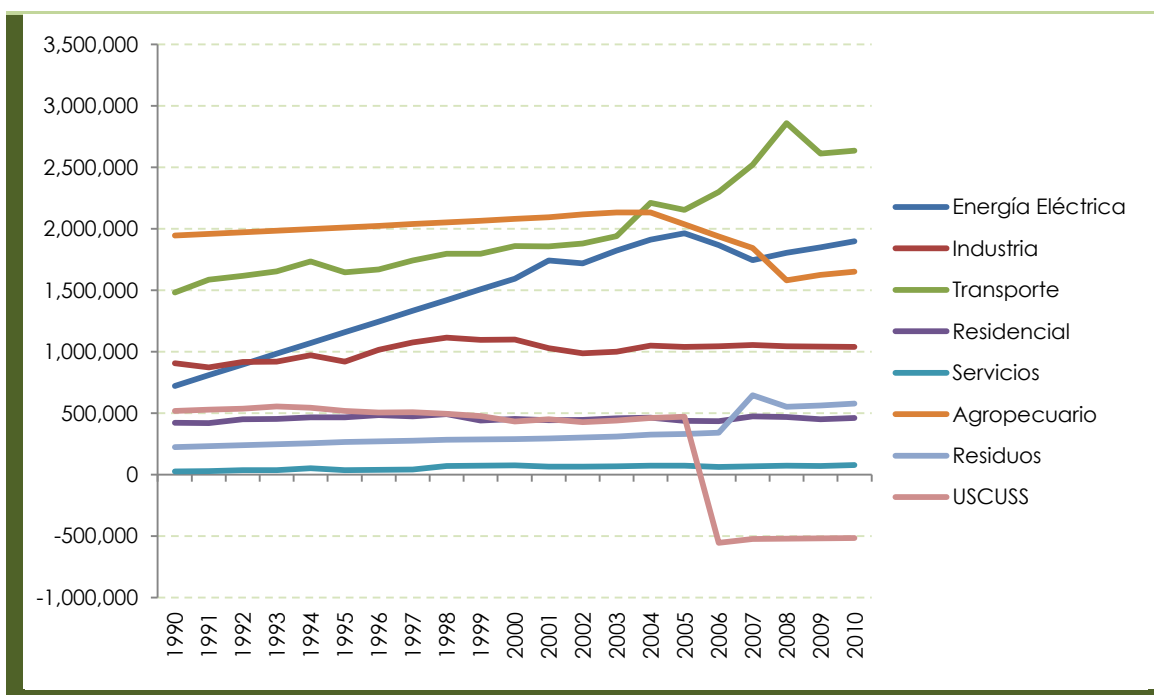
**Gráfico 6: Evolución de las emisiones de GEI históricas del Estado de Yucatán.**

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 7: Evolución de las emisiones sectoriales de GEI históricas.**

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo a esta evolución, un análisis cualitativo de estos resultados arroja las siguientes conclusiones:

- ✓ Los sectores energéticos son los que sufren un mayor aumento de sus emisiones históricamente, siendo el sector de la generación de energía eléctrica y el sector servicios los que mayor subida presentan.
- ✓ Del resto de sectores energéticos se puede decir que el sector transporte aumenta a un ritmo medio, mientras que los sectores residencial e industrial lo hacen a una tasa baja.
- ✓ Los sectores no energéticos – no teniendo en cuenta el sector USCUS – son los únicos que disminuyen sus emisiones para el año 2010, respecto a las emisiones del año base.

En el sector USCUS, se mantienen las remociones entre 1990 y 2005 y se producen emisiones a partir de 2005.

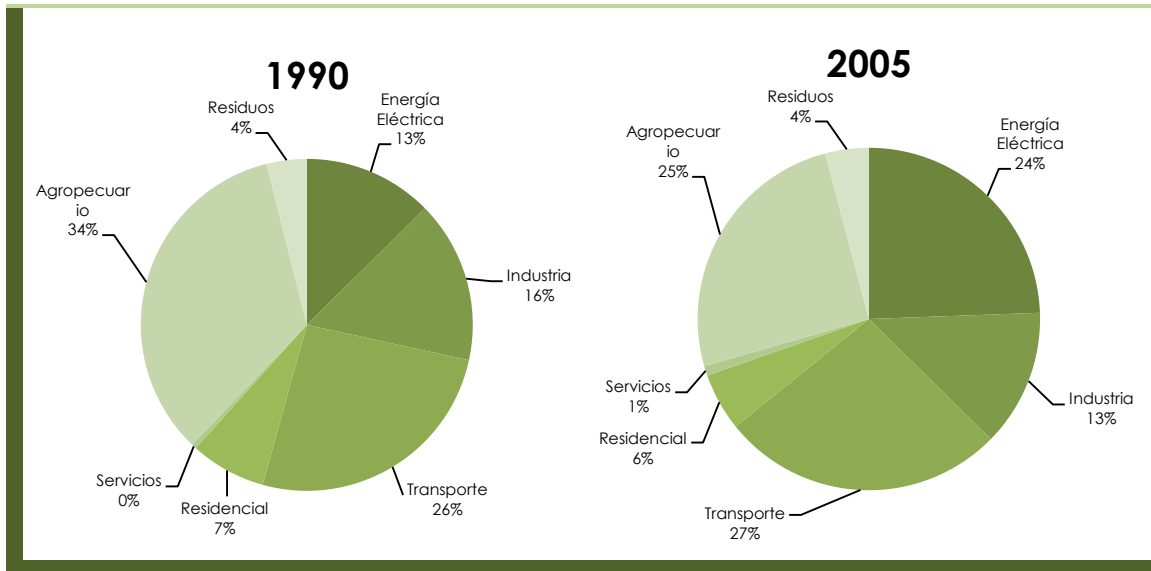
**Tabla 9: Variaciones históricas de las emisiones de GEI del Estado de Yucatán**

Fuente: Elaboración propia.

	Δ 1990-2005	Δ 1990-2010
Energía Eléctrica	172%	163%
Industria	15%	15%
Transporte	45%	78%
Residencial	4%	9%
Servicios	172%	190%
Agropecuario	6%	-14%
Residuos	48%	159%
<b>TOTAL</b>	<b>41%</b>	<b>46%</b>
E. Eléctrica exportada	531%	417%
<b>TOTAL sin electricidad exportada</b>	<b>24%</b>	<b>33%</b>
<b>USCUS</b>	<b>-171%</b>	<b>-22%</b>

La distribución de las emisiones entre los diferentes sectores también habría variado a lo largo de los años. Mientras que en el año 1990 el sector transporte es, junto con el sector agropecuario, el sector más emisor, la situación en el año 2005 cambia repartiendo ese peso con el sector de generación de energía eléctrica. El sector industria tiene un peso considerable y más o menos constante a lo largo del periodo.

**Gráfico 8: Reparto de emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 1990 y 2005.**  
Fuente: Elaboración propia a partir del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán.



En cuanto al sector USCUS, no incluido en el gráfico superior, en 2005 disminuyeron sus emisiones respecto a 1990 un 9%.

## 5. Descripción del modelo y la metodología.

### 5.1. Elección metodológica y visión general del modelo.

De acuerdo con lo comentado anteriormente, el desarrollo de un modelo *ad-hoc* basado en el *UKIO model* se ha considerado cómo la mejor alternativa para la realización de la proyección de emisiones del Estado de Yucatán. El desafío ha sido desarrollar un modelo acorde con la información existente pero que, a su vez, cuente con la flexibilidad que permita la utilización de los datos disponibles.

Los datos de partida han forzado la necesidad de reconstruir la serie histórica de las emisiones sectoriales del Estado de Yucatán, a partir del año de referencia existente y la información disponible a nivel federal.

La necesidad de adaptarse a los datos disponibles en cada sector ha resultado en el desarrollo separado de submodelos individuales para cada sector. Los mismos se relacionan entre sí por un núcleo económico. Como resultado se ha logrado un modelo *bottom-up* de simulación (*what if?...*) combinado con un enfoque *top-down* de las proyecciones macroeconómicas básicas del país.

Así, la posterior introducción de medidas se realiza de una manera directa ya que, en base al enfoque *bottom-up* del mismo, las diferentes opciones de reducción de emisiones de GEI pueden ser introducidas en los distintos submodelos sectoriales. Ello permite analizar cada medida por separado y de manera agregada al mismo tiempo.

#### 5.1.1. Análisis del modelo de proyección de emisiones de GEI

Como se ha comentado previamente, el modelo utilizado ha sido adaptado a las especificidades del presente proyecto. Consiste básicamente en un motor que simula unas hipótesis económicas futuras, generales y sectoriales, que se utilizan de *input* en cada submodelo sectorial. Así, el motor de cálculo de emisiones de GEI permite conocer las referentes a cada sector en particular.

Para ello, ha sido necesaria la reconstrucción de la serie histórica de cada sector de manera fidedigna. Este paso, muy importante en todo modelo, ha sido difícil de realizar, ya que sólo se disponía de datos para el año 2005, lo que ha dificultado la calibración del mismo. En cualquier caso, los resultados finales se han considerado lo

suficientemente consistentes como para permitir la proyección futura de los diferentes escenarios.

El mayor beneficio del modelo desarrollado recae en que permite analizar los resultados, tanto de manera general para el Estado, como específicamente para cada sector. Así, el enfoque botom-up permite realizar un zoom en cada sector de manera sencilla, ya que se proyecta cada submodelo por separado.

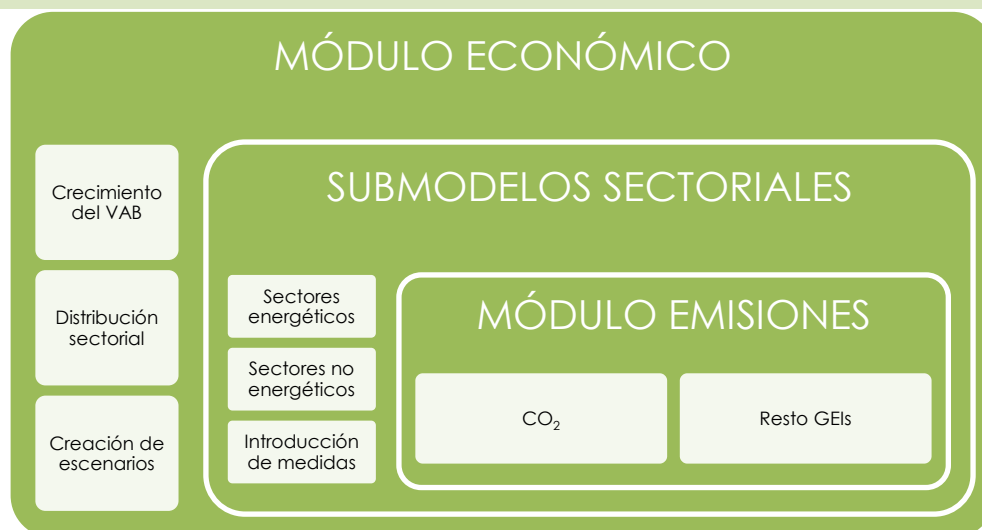
Por lo tanto, el modelo se puede describir como un modelo de simulación, diseñado para desarrollar las proyecciones de emisiones de GEI en base a unas hipótesis sectoriales específicas y unas hipótesis económicas más generales que interrelacionan todos los sectores.

Además los elementos principales del modelo son:

- ✓ El módulo económico, que prevé el crecimiento económico general del Estado y el propio de alguno de los sectores, de acuerdo a algunas asunciones y escenarios generados.
- ✓ Los submodelos sectoriales, que desarrollan las especificidades técnicas de cada sector, de acuerdo a las previsiones del módulo económico.
- ✓ El modulo de emisiones, para transformar los diferentes datos en GEI, de acuerdo a la metodología de cálculo del IPCC.
- ✓ La herramienta de presentación de resultados.

**Gráfico 9: Estructura del modelo de Yucatán.**

Fuente: Elaboración propia.



### 5.1.2. Desarrollo de Escenarios. Asunciones

Los escenarios son un elemento clave dentro de las proyecciones de emisiones. El objetivo es ser capaz de visualizar el impacto en emisiones de la evolución de ciertas variables. Los escenarios aportan unidad a las hipótesis sobre estas variables, dado que muestran un conjunto coherente de visiones de futuro y su repercusión en los diferentes sectores de actividad.

Como suele ser habitual, se han estructurado los escenarios en función de variables económicas y técnico-políticas construyendo una matriz de 2x2 que refleja cuatro visiones de futuro posibles. En primer lugar, desde el punto de vista económico, se han seleccionado un escenario más conservador, de naturaleza continuista y un escenario más optimista, cada uno basado en fuentes de información diferentes. En segundo lugar, desde el punto de vista político, se han seleccionado dos escenarios. El primero, de naturaleza tendencial, muestra cómo evolucionarían las emisiones, para cada escenario económico, sin una apuesta decidida por políticas de mitigación. El segundo, introduce medidas de mitigación de emisiones que habían sido identificadas anteriormente dentro otras etapas del proyecto.

De alguna forma, la diferencia entre los dos escenarios políticos, dentro de cada familia de escenarios económicos, nos muestra la eficacia del plan a la hora de reducir emisiones de GEI. En cualquier caso, la realidad es algo más compleja, dado que las medidas están relacionadas entre sí y con su respectivo entorno macroeconómico, así como que se ha definido un conjunto de medidas llamadas "estructurales" que han sido introducidas exógenamente en el modelo.

La tabla siguiente muestra la matriz de escenarios:

**Tabla 10: Escenarios considerados.**  
Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO TÉCNICOS	ESCENARIOS ECONÓMICOS		
		Nacional	Latinoamérica
	Tendencial	Conservador tendencial (CT)	Optimista tendencial (OT)
Medidas	Conservador medidas (CM)	Optimista medidas (OM)	



Desde el punto de vista económico, el punto de partida en el año 2005 lo constituye una distribución del PIB estatal con un peso muy importante del sector servicios. Por otro lado, en los últimos años, de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística Y Geografía (INEGI, de aquí en adelante), el PIB del Estado ha crecido, a precios constantes, a un promedio cercano al 3.5 %.

En este sentido, se ha trabajado sobre dos grandes referencias para establecer los escenarios futuros. El escenario conservador se basa en las tendencias económicas contempladas en la Estrategia Energética de México, y el optimista en las previsiones del Banco Mundial<sup>6</sup>.

**Tabla 11: Crecimiento del VAB en los escenarios respecto al año 2010.**

Fuente: Elaboración propia.

PIB Yucatán	2005	2010	2011	2020	2030
<b>Escenario Nacional</b>	9.632.994.612	9.632.994.612	4%	41%	99%
<b>Escenario Latinoamericano</b>			12%	62%	139%

Estos escenarios tienen por sí mismos trascendencia en emisiones de GEI. Por un lado, por el evidente vínculo entre crecimiento de la demanda y emisiones de GEI. Pero, por otro lado, también porque en un ejercicio de proyección a largo plazo como este, se van produciendo transformaciones estructurales en la economía, que reflejan diferencias en el peso relativo de unos sectores frente a otros, lo que tiene un peso clave en las emisiones. Evidentemente las emisiones por unidad de valor añadido bruto aportado son muy diferentes en unos sectores y en otros.

En lo relativo a los escenarios político-técnicos de mitigación, como ya se ha señalado, el grueso del punto de partida lo constituyen las medidas identificadas en etapas previas del proyecto. La diferencia entre los dos escenarios no está en las medidas implementadas, sino en la incidencia de las mismas sobre los respectivos tendenciales. Adicionalmente, en función del escenario económico definido, el impacto de cada medida es parcialmente diferente, debido a las diferencias de renta disponible.

### 5.1.3. Proceso de consulta

Las medidas de reducción de emisiones y los escenarios de futuro han sido identificadas tras un proceso de análisis sectorial y consulta con diferentes agentes

<sup>6</sup> "Real Projected Gross Domestic Product (GDP) and Growth Rates of GDP for Baseline Countries/Regions (in billions of 2005 dollars) 2000-2030". World Bank World Development Indicators, International Financial Statistics of the IMF, IHS Global Insight, and Oxford Economic Forecasting, as well as estimated and projected values developed by the Economic Research Service all converted to a 2005 base year.

clave. En concreto, el proceso ha incluido tanto estudio de gabinete, como sesiones grupales y entrevistas personalizadas a expertos clave.

El conjunto de agentes consultados para ello ha ascendido a un total de 20 personas, de diferentes ramas de actividad, que han aportado sus visiones desde los diferentes canales puestos a su disposición durante el desarrollo de este documento. La tabla siguiente muestra el estado de los contactos en la fecha de edición de este documento.

**Tabla 12: Agentes sectoriales clave consultados.**

Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Cargo	Organización	Sector	Proceso de participación
Saydé Soto Maldonado	Coordinador Calidad – Ambiental	Comisión Federal de Electricidad	Eléctrico	Sesiones de trabajo
Roberto López R.	Coordinador Químico – Ambiental	AES Mérida III	Eléctrico	Sesiones de trabajo
Anabel C. Magaña	Practicante Químico- Ambiental	AES Mérida III	Eléctrico	Sesiones de trabajo
Mascha Smit	Directora de la Unidad de Energía Renovable	Centro de Investigación Científica de Yucatán	Energía	Entrevista personal
Juana Arely Erosa Solís	Investigadora	Centro de Investigación Científica de Yucatán	Energía	Sesiones de trabajo
Liliana de J. Pacheco Constantino	Supervisor planeación	Comisión Federal de Electricidad	Eléctrico	Sesiones de trabajo
Francisco García Arvizo	Gerente Regional Peninsular	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica	Eléctrico	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Marisol Lugo Ayosa	Presidente	Cámara Regional de Industria de Yucatán	Industria	Sesiones de trabajo
Pedro Castillo Lago	Vice-Presidente	Cámara de Comercio, Servicios y Turismo	Comercio y servicios	Sesiones de trabajo
Mauricio Gutiérrez Rosado	Tesorero	Canadevi		Sesiones de trabajo
Esteban de Vicente	Jefe de Patrimonio	Desarrollo Urbano – Ayuntamiento de Mérida	Servicios	Sesiones de trabajo

Nombre	Cargo	Organización	Sector	Proceso de participación
Luis A. Ruiz Sosa	Director RSA	Seduma	Residuos urbanos	Sesiones de trabajo
Sonia Gpe. Chi Novelo	Analista	Seduma	Residuos urbanos	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Gabriela Reyes Pérez	Jefe de Biogás	SETASA	Residuos urbanos	Sesiones de trabajo
Delfín Quejada Domínguez	Director de Pesca y Acuacultura	Secretaría de Fomento Agropecuario y Pesca	Primario	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Teresa de J. Azcorra	Jefe de Distrito	Sagarpa	Agropecuario	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Fernando Patiño Valera	Consultor		Forestal	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Gonzalo Novelo Quijano	Subdirector Planeación	Conafor	Forestal	Sesiones de trabajo y entrevista personal
Gerardo Solís Pasos	Asistente REDD +	Conafor	Forestal	Sesiones de trabajo
Refugio R. Rivera Leyua	Investigador	INIFAP	Forestal	Sesiones de trabajo y entrevista personal

## 5.2. Especificidades sectoriales

### 5.2.1. Situación y perspectivas del sector de generación eléctrica.

En la actualidad, en el Estado de Yucatán la capacidad de generación eléctrica es superior a la demanda de electricidad. Si se considerara el Estado como una isla en cuanto a generación eléctrica, lo que supondría que únicamente se importa electricidad cuando la generación propia no alcanza para cubrir la demanda y sólo se exporta cuando hay excedente, se podría afirmar que es exportador, en cuanto a que su generación eléctrica es mayor que la demanda interna del Estado.

En la actualidad existen seis instalaciones que producen el total de la energía eléctrica en el Estado. Pero es necesario indicar que se está llevando a cabo un proceso de

renovación de las instalaciones de generación eléctrica, de cara a contar con instalaciones más eficientes y sustituir el uso de combustóleo y diésel por gas natural, un combustible que acarrea unas emisiones de GEI menores.

El impulso a las centrales de ciclo combinado en el Estado comenzó en el año 1994, con la instalación de Felipe Carrillo Puerto. En 2000 y 2003 aumentó la potencia instalada de este tipo de tecnologías, ya que se pusieron en marcha las centrales de Mérida III y Valladolid III. La construcción de estas instalaciones permitió el retiro de la instalación termoeléctrica de Felipe Carrillo Puerto, que detuvo su funcionamiento en 2011.

**Tabla 13: Potencia de las instalaciones de generación eléctrica en el Estado de Yucatán.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del inventario de emisiones de GEI.

Instalación	Tecnología	Unidades	Potencia	Ubicación	Fecha puesta en marcha	Fecha retiro
Mérida II	Termoeléctrica	2	165	Mérida	1981	2020
Mérida II	Turbogas	1	30	Mérida	1981	-
Nachi-Cocom	Turbogas	1	30	Mérida	1987	-
Mérida III	CCTG	3	484	Mérida	2000	-
Valladolid III	CCTG	3	525	Valladolid	2003	-
Felipe Carrillo Puerto	CCTG	3	220	Valladolid	1994	2023

El ejercicio de proyección de los escenarios de este sector se ha realizado en base a lo expuesto en la Prospectiva del Sector Eléctrico Mexicano 2010-2025. Así, se prevé la puesta en marcha de dos centrales de ciclo combinado, la primera de ellas de 567 MW que comenzaría a funcionar en Mérida en el año 2020. La segunda, también de ciclo combinado, estaría ubicada en Valladolid y contaría con una potencia de 540 MW, comenzando su funcionamiento en el año 2024.

La puesta en marcha de estas instalaciones supondría, además, el retiro de la instalación termoeléctrica Mérida II en 2020 y de la central de ciclo combinado Felipe Carrillo Puerto en el año 2023.

**Tabla 14: Potencia de las instalaciones de generación eléctrica en el Estado de Yucatán.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025.

Instalación	Tecnología	Unidades	Potencia	Ubicación	Fecha puesta en marcha	Fecha retiro
Felipe Carrillo Puerto	Termoeléctrica	2	75	Valladolid	1992	2011
Mérida II	Termoeléctrica	2	165	Mérida	1981	2020
Mérida II	Turbogas	1	30	Mérida	1981	-
Nachi-Cocom	Turbogas	1	30	Mérida	1987	-
Mérida III	CCTG	3	484	Mérida	2000	-
Valladolid III	CCTG	3	525	Valladolid	2003	-
Felipe Carrillo Puerto	CCTG	3	220	Valladolid	1994	2023
Valladolid	CCTG	-	567	Valladolid	2020	-
Mérida	CCTG	-	540	Mérida	2024	-

Para obtener un conocimiento mayor del sector de generación eléctrica del Estado de Yucatán, se ha llevado a cabo la reconstrucción histórica de su generación eléctrica mediante la utilización del modelo. No obstante, cabe mencionar que, debido a la limitada disponibilidad de información, se trata de una estimación que no puede tomarse como referencia y cuyo objetivo es, únicamente, ofrecer una imagen aproximada de la generación eléctrica en el Estado de Yucatán en el pasado.

Para la realización de las proyecciones de generación eléctrica se han cuantificado las diferentes variables que han de considerarse para la determinación de las emisiones de GEI. En el caso de la generación eléctrica, las principales variables consideradas son la generación eléctrica y la demanda eléctrica. No obstante, también se han cuantificado los autoconsumos y las pérdidas, para obtener los valores de la energía eléctrica real consumida en el Estado de Yucatán.

Se han desarrollado dos escenarios tendenciales para las proyecciones de la generación eléctrica, el escenario conservador tendencial y el escenario optimista tendencial. Ambos escenarios utilizan la misma referencia para el cálculo de la electricidad generada, la información anteriormente mencionada sobre las construcciones y retiros de instalaciones de generación obtenida de la Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025, que proporcionan los datos de potencia instalada en el Estado año a año.

Junto con la potencia, el número de horas de funcionamiento ha sido la base utilizada para la proyección en los dos escenarios tendenciales de la generación bruta de

electricidad generada. Así, se ha establecido que el número de horas de funcionamiento de las instalaciones, tanto las de ciclo combinado de gas natural como las térmicas de fuel gas, sigue la tendencia histórica de cada tipo de instalación. La generación bruta por tipo de tecnología, por tanto, se determina a partir de la potencia instalada y las horas anuales de funcionamiento proyectadas.

**Tabla 15: Generación bruta por tecnología en 2010, 2015, 2020, 2025 y 2030.**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CCTG	3,778,085	4,200,932	5,892,320	5,892,320	5,892,320	5,892,320	168.52%
Térmica fuel-gas	2,426,541	1,814,271	802,500	802,500	802,500	802,500	-91.62%

Sin embargo, para realizar las proyecciones, han de considerarse además los autoconsumos y pérdidas, datos necesarios para conocer la generación neta de electricidad. Para los autoconsumos, ya que no hay disponibles datos de previsiones de autoconsumo eléctrico, se ha realizado una proyección basada en la modelización histórica. Para las pérdidas, se han utilizado los datos de previsiones de pérdidas obtenidos de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030 para el escenario inercial planteado en dicho documento.

**Tabla 16: Generación neta de electricidad proyectada en los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Generación bruta	6,204,626	6,962,320	6,694,820	8,814,046	10,348,255	10,348,255	66.78%
Autoconsumos	297,541	333,876	321,048	422,675	496,247	496,247	66.78%
Pérdidas	989,973	1,110,866	1,205,068	1,586,528	1,924,775	1,976,517	99.65%
<b>Generación neta</b>	<b>4,917,112</b>	<b>5,517,578</b>	<b>5,168,704</b>	<b>6,804,843</b>	<b>7,927,232</b>	<b>7,875,490</b>	<b>60.16%</b>

Así como la proyección de la generación bruta se ha realizado de un modo equivalente para ambos escenarios tendenciales, en el caso de la demanda eléctrica se han tomado dos previsiones de crecimiento diferentes para los escenarios. Para el escenario conservador tendencial se ha utilizado como base para el crecimiento el output del módulo económico del modelo, una vez introducida la proyección de PIB

realizada en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030. Se ha optado por esta tasa de crecimiento por ser similar a la tasa de crecimiento histórica de la demanda eléctrica del Estado de Yucatán.

**Tabla 17: Demanda de electricidad en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Demanda eléctrica	2,531,409	3,107,505	3,690,741	4,383,442	5,206,155	6,183,279	144.26%

En el escenario de optimista tendencial se plantea una tasa de crecimiento de la demanda eléctrica superior a la del escenario conservador, que sería equivalente al crecimiento obtenido de la aplicación del módulo económico para el PIB de Latinoamérica comentado anteriormente.

**Tabla 18: Demanda de electricidad en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Parámetro (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Demanda eléctrica	2,531,409	3,107,505	3,824,295	4,673,697	5,691,348	6,921,629	173.43%

### 5.2.2. Situación y perspectivas del sector industrial.

Aunque el sector de comercio y servicios representa el mayor peso en el PIB del Estado, el sector industrial sigue siendo muy relevante gracias a su contribución a la generación de empleo. Dentro del mismo, la industria manufacturera y la de construcción son las más destacables, gracias al efecto tractor que tienen sobre otros sectores económicos.

Los sectores relevantes del Estado de Yucatán en cuanto a emisiones de GEI son el sector de alimentos y bebida, el sector de cal y cemento, el sector químico, el sector manufacturero, el sector de transformación y el sector de la construcción. Dichos sectores generan emisiones de CO<sub>2</sub> tanto de combustión, como de proceso. Las emisiones de combustión son causadas por los combustibles utilizados por las industrias



para sus procesos productivos, mientras que las emisiones de proceso son aquellas causadas por las reacciones químicas que se dan en la fabricación de algunos productos como el cemento o los metales.

Además, en este mismo sector también se contabilizan las emisiones derivadas del uso de halocarburos, tanto en la industria, como en otros sectores, como pueden ser el residencial o el sector servicios. Estos compuestos son los utilizados por los equipos de refrigeración y aire acondicionado para su funcionamiento y son particularmente relevantes para la contabilización de las emisiones de GEI por su alto potencial de calentamiento.

Por último, en este caso también se han contabilizado las emisiones causadas por el consumo eléctrico de la misma. Pese a que las emisiones evitadas ya han sido contabilizadas en el sector de generación eléctrica, de esta forma se puede conocer también las emisiones indirectas relacionadas con el consumo eléctrico industrial y tener mayor conocimiento de las características del mismo. Cabe mencionar que las emisiones causadas por el consumo eléctrico de la empresa mediana no han sido incluidas en el sector industrial, sino en el sector servicios.

Al igual que en el caso del resto de sectores, para el sector industrial también se ha llevado a cabo una reconstrucción histórica a fin de obtener una visión más amplia de las características del sector industrial del Estado de Yucatán entre 1990 y 2005. Esta modelización se ha basado en la información incluida en el reporte del inventario de GEI del Estado, realizado para el año 2005, y las tendencias de consumo de combustibles reportadas en México durante el periodo analizado. No obstante, cabe mencionar que dicha reconstrucción no puede ser tomada como un fiel reflejo de la realidad del sector industrial del Estado de Yucatán, ya que no se dispone de suficiente información como para realizar una modelización exacta y totalmente fiel a la realidad.

La proyección de las emisiones, por su parte, se ha realizado en base principalmente a la información obtenida del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán y a las previsiones, tanto las recogidas en la Estrategia Nacional de la Energía como las realizadas por el Departamento de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. A diferencia de lo que ha sucedido en el sector eléctrico, en el sector industrial y de servicios no se han tenido en cuenta límites de capacidad a corto plazo, asumiendo que la oferta crea su propia demanda. Se trata

de una hipótesis acertada a largo plazo, pero que en ocasiones puede mostrar resultados sorprendentes a corto y medio plazo.

Es decir, dado que las necesidades de inversión pueden no ser tan elevadas, se asume que la producción crece a un ritmo cuasi-proporcional a la demanda. Esto puede chocar con el conocimiento bottom-up que se tenga de ciertos sectores con altos requerimientos de capital como puede ser el cementero. Sería no obstante necesario conocer en detalle las previsiones de ampliación de capacidad de cada sector para ir a un enfoque más rígido a medio plazo.

En este caso, se han planteado también dos escenarios tendenciales de emisiones. En primer lugar, un escenario conservador tendencial, basado en las previsiones de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030. En dicha estrategia se ha realizado una proyección del consumo de combustible previsto para el sector industrial en 2030 para el total de México. Por lo tanto, se ha aplicado la tendencia utilizada en dichas proyecciones, tanto a las emisiones de combustión, como a las de proceso y a los halocarburos.

Por otra parte, en el caso del escenario optimista tendencial, se ha aplicado una tasa de crecimiento del consumo en línea con el incremento del PIB previsto para Latinoamérica por el Departamento de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

**Tabla 19: Consumo de combustibles de los sectores industriales por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,075	2,252	2,428	2,604	31.64%
Gas licuado	89	105	115	125	135	144	63.00%
Diesel	248	262	286	310	335	359	44.93%
Combustóleo	1,616	673	736	798	861	923	-42.85%
Gas natural	759	804	879	954	1,028	1,103	45.42%

**Tabla 20: Consumo de combustibles de los sectores industriales por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,337	2,856	3,478	4,230	113.79%
Gas licuado	89	105	130	158	193	234	164.72%
Diesel	248	262	322	394	479	583	135.37%
Combustóleo	1,616	673	829	1,013	1,233	1,500	-7.18%
Gas natural	759	804	990	1,210	1,473	1,792	136.17%

En las tablas superiores se puede observar la evolución de los consumos de combustible de la industria yucateca en los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial. Los combustibles considerados en la realización de las proyecciones para ambos escenarios son los incluidos en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán: coque, GLP, diésel, combustóleo y gas natural.

**Tabla 21: Consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Sector (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Alimentos y bebidas	841.19	675.97	752.19	813.82	875.46	937.10	11.40%
Cal y cemento	2,525.75	2,003.52	2,189.71	2,346.20	2,502.68	2,659.17	5.28%
Química	624.15	497.53	536.61	587.64	638.67	689.70	10.50%
Manufactura	10.55	8.57	9.26	10.45	11.64	12.82	21.55%
Transformación	677.96	550.38	595.26	671.53	747.81	824.09	21.55%
Construcción	9.47	7.69	8.32	9.38	10.45	11.52	21.55%

**Tabla 22: Consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Sector (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Alimentos y bebidas	841.19	675.97	843.64	1,025.05	1,242.40	1,505.15	78.93%
Cal y cemento	2,525.75	2,003.52	2,421.88	2,882.45	3,434.25	4,101.33	62.38%
Química	624.15	497.53	612.32	762.51	942.45	1,159.98	85.85%
Manufactura	10.55	8.57	11.02	14.52	18.70	23.76	125.24%
Transformación	677.96	550.38	708.43	932.92	1,201.88	1,527.04	125.24%
Construcción	9.47	7.69	9.90	13.04	16.80	21.34	125.24%

Además de modelizar y proyectar el consumo de combustibles por tipo de combustible, también se ha realizado el análisis para los diferentes sectores. Para la realización de dicho análisis se aplica un reparto considerando la tendencia histórica de consumo de combustible de cada sector y las interacciones de estos valores de consumo entre los diferentes sectores.

**Tabla 23: Consumo de materias primas que generan emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento (t clinca)	660,399	731,730	799,687	867,645	935,602	1,003,560	51.96%
Cal viva (t)	1,000	1,108	1,211	1,314	1,417	1,520	51.96%
Cal hidratada (t)	152,517	168,991	184,685	200,380	216,074	231,769	51.96%
Hierro y acero (t)	68	79	87	94	101	109	59.87%

**Tabla 24: Consumo de materias primas que generan emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento (t clinca)	660,399	731,730	900,514	1,100,524	1,340,153	1,629,849	146.80%
Cal viva (t)	1,000	1,108	1,364	1,666	2,029	2,468	146.80%
Cal hidratada (t)	152,517	168,991	207,971	254,162	309,504	376,408	146.80%
Hierro y acero (t)	68	79	98	119	145	177	159.63%

Las emisiones de proceso generadas en el Estado de Yucatán son producidas en los procesos de fabricación de cemento, cal viva, cal hidratada y hierro y acero. En las tablas superiores se pueden observar las cantidades producidas proyectadas de todos ellos, tanto en el escenario conservador tendencial y en el escenario optimista tendencial.

**Tabla 25: Consumo de halocarburos en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Consumo (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	215	244	267	289	312	335	55.52%
HFC-134a aire acondicionado móvil	245	278	304	330	355	381	55.52%
HFC-134a refrigeración residencial	610	692	378	410	443	475	-22.24%
HFC-134a refrigeración comercial	3	3	4	4	4	5	55.61%

**Tabla 26: Consumo de halocarburos en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Consumo (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	215	244	300	367	447	544	152.58%
HFC-134a aire acondicionado móvil	245	278	342	418	509	619	152.58%
HFC-134a refrigeración residencial	610	692	426	521	634	771	26.29%
HFC-134a refrigeración comercial	3	3	4	5	6	7	152.72%

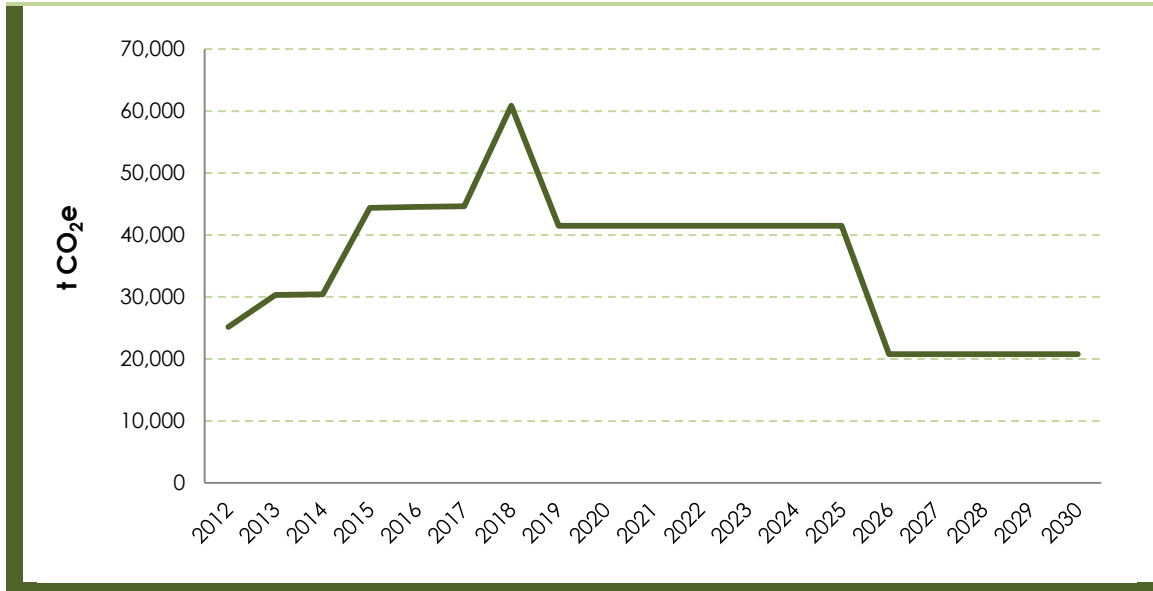
En el consumo de halocarburos se han considerado tanto los utilizados para los equipos de aire acondicionado, como los empleados para la refrigeración. En el caso de los dispositivos de aire acondicionado, se han tenido en cuenta los equipos instalados en el ámbito residencial y también los instalados en vehículos. En cuanto a los dispositivos de refrigeración, se han contabilizado tanto los del ámbito residencial como la refrigeración del sector comercial.

Por último, cabe mencionar que en los escenarios proyectados para el sector industrial, se ha contabilizado el proyecto MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio, de aquí en adelante) que está llevando a CEMEX en su instalación de Mérida para la reducción de emisiones de GEI de la producción de cemento mediante la sustitución de combustibles fósiles utilizados en el proceso productivo por otros combustibles de menores emisiones.

Las emisiones que se prevé reducir mediante la aplicación de dicho MDL se muestran en el gráfico inferior. Por tratarse de un MDL de 7 años de periodo crediticio, es susceptible de ser renovado en 2019. Además, se ha considerado que, a partir de la finalización del segundo periodo crediticio, se mantendría parcialmente el mecanismo de reducción, pese a no obtenerse créditos por ello.

**Gráfico 10: Reducción de emisiones lograda mediante la aplicación del MDL de CEMEX.**

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida del Documento de Diseño del Proyecto "CEMEX Mexico: Alternative fuels and biomass project at Merida cement plant".



**5.2.3. Situación y perspectivas del sector servicios y comercio.**

Principalmente ligado a la actividad del turismo, el sector terciario yucateco ha ido incrementándose en las últimas décadas, hasta posicionarse con una importante representación en el PIB. Debido a este hecho, cabría esperar que las emisiones del sector servicios representen un elevado porcentaje del total de las emisiones de GEI del Estado de Yucatán.

Sin embargo, como resultado a las dificultades para obtener información de este sector en la elaboración del Inventario de GEI del Estado de Yucatán, únicamente aparecen reflejadas las emisiones de GEI de hospitales y hoteles. Debido a que tomar este dato como base para las proyecciones implicaría obtener unos resultados de emisiones significativamente inferiores a la realidad, se ha diseñado el modelo para realizar las proyecciones mediante una metodología alternativa.

Por una parte, se han tomado como base los tipos de combustible incluidos en el Inventario de GEI del Estado. Sin embargo, como no hay disponibilidad de datos de consumos de combustible históricos para el sector servicios en Yucatán, se han aplicado datos disponibles para el total de México. Además, ya que aplicar a los combustibles del Inventario el total del consumo del sector servicios de México

implicaría un sobredimensionamiento de las emisiones, se ha tenido en cuenta el PIB del sector servicios mexicano, desagregado a nivel de Estado, a fin de prorratear el consumo de combustibles.

Según la información reportada en el Inventario de Emisiones de GEI de Yucatán, únicamente se consumen dos combustibles en este sector: gas licuado del petróleo y diésel. Por lo tanto, únicamente se proyectan las emisiones causadas por el uso de estos combustibles.

Además, al igual que para el resto de sectores, para el sector servicios también se ha realizado la modelización histórica de las emisiones de GEI a fin de proporcionar información adicional sobre la evolución histórica del sector en el Estado de Yucatán. Debido a que la información a partir de la cual se ha realizado la proyección es escasa y ha sido necesario recurrir a varias asunciones, los resultados obtenidos no pueden ser tomados como nada más que una aproximación a la realidad del Estado de Yucatán.

Para los escenarios conservadores (tendencial y de medidas) se ha incluido la información de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030 para el sector servicios. De la misma forma, los escenarios optimistas (tendencial y de medidas) basan su crecimiento en las previsiones de crecimiento de PIB de Latinoamérica empleadas también para el resto de sectores.

**Tabla 27: Consumo de combustibles del sector servicios por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial.**  
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	174.61	187.10	199.60	212.09	39.08%
Diésel	861.90	919.19	990.03	1,060.87	1,131.70	1,202.54	39.52%

**Tabla 28: Consumo de combustibles del sector servicios por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial.**  
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	199.51	243.82	296.92	361.10	136.79%
Diésel	861.90	919.19	1,131.22	1,382.47	1,683.48	2,047.40	137.55%



En las tablas superiores se incluyen los consumos de gas licuado del petróleo y diésel, los combustibles empleados por el sector servicios yucateco, para ambos escenarios tendenciales, tanto el optimista como el pesimista.

En el Estado de Yucatán aun no se cuenta con consumo de gas natural (GN) por parte del sector residencial debido principalmente a que no existe una red de distribución. No se ha considerado en el estudio actual debido a que se basa en números nacionales, no obstante podría llegar haber un consumo del mismo en un futuro.

#### **5.2.4. Situación y perspectivas del sector residencial.**

En la elaboración del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán no ha sido posible incluir el sector residencial debido a las dificultades que implica la obtención de la información necesaria para la cuantificación de su información. No obstante, se conoce que, a nivel nacional, las emisiones de GEI del sector residencial suponen menos del 3% del total de emisiones del país.

El diseño del modelo de proyección de emisiones para el sector residencial difiere del resto de sectores por la no disponibilidad de datos de emisiones de GEI para el sector. Así, al no tener datos para el Estado de Yucatán, se han tomado como base datos a nivel de México, a partir de los cuales se han establecido correlaciones para adaptarlos a la realidad del Estado.

Particularmente, los datos de partida de las proyecciones son, por una parte, los consumos de combustible de las viviendas en México, extraídos de la información proporcionada por el INEGI. Adicionalmente, la adecuación de estos datos al Estado yucateco se ha llevado a cabo considerando el porcentaje de viviendas existentes en el Estado respecto al total de viviendas del país.

Se ha realizado además, a partir de la información obtenida del consumo de combustibles en viviendas, la modelización de dicho consumo de 1990 a 2010, para ofrecer una visión más amplia de la situación energética de las viviendas del Estado de Yucatán. No obstante, dichos datos son únicamente una aproximación y su objetivo es simplemente ofrecer información adicional para una mejor comprensión de las proyecciones.

Al igual que para el resto de sectores, el modelo de proyección ha desarrollado dos escenarios tendenciales para el sector residencial, por una parte, el escenario

conservador tendencial, que toma como referencia las previsiones de consumo energético del país para el sector residencial. El segundo de los escenarios es el escenario optimista tendencial, cuyas previsiones de crecimiento se basan en la previsión de crecimiento para Latinoamérica.

En el Estado de Yucatán no se consume gas natural en el sector residencial ya que, actualmente, el Estado no cuenta con una red de distribución para dicho combustible. No obstante, debido a que la proyección de las emisiones se ha realizado tomando como referencia la situación de la nación y que, además, se prevé que en el futuro exista dicha red, se ha incluido el combustible en la proyección de emisiones del sector residencial. De cualquier modo, el consumo de gas natural apenas supone el 5% del consumo total de energía del sector a lo largo del periodo de proyección.

En las tablas inferiores se muestran los consumos de combustible proyectados para ambos escenarios a partir de la información mencionada anteriormente.

**Tabla 29: Consumo de combustibles del sector residencial por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	6,261	6,709	7,157	7,605	27%
GLP	6,165	6,544	7,048	7,553	8,057	8,561	39%
Queroseno	33	26	28	31	33	35	4%
Gas Natural	680	673	725	777	829	881	29%

**Tabla 30: Consumo de combustibles del sector residencial por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

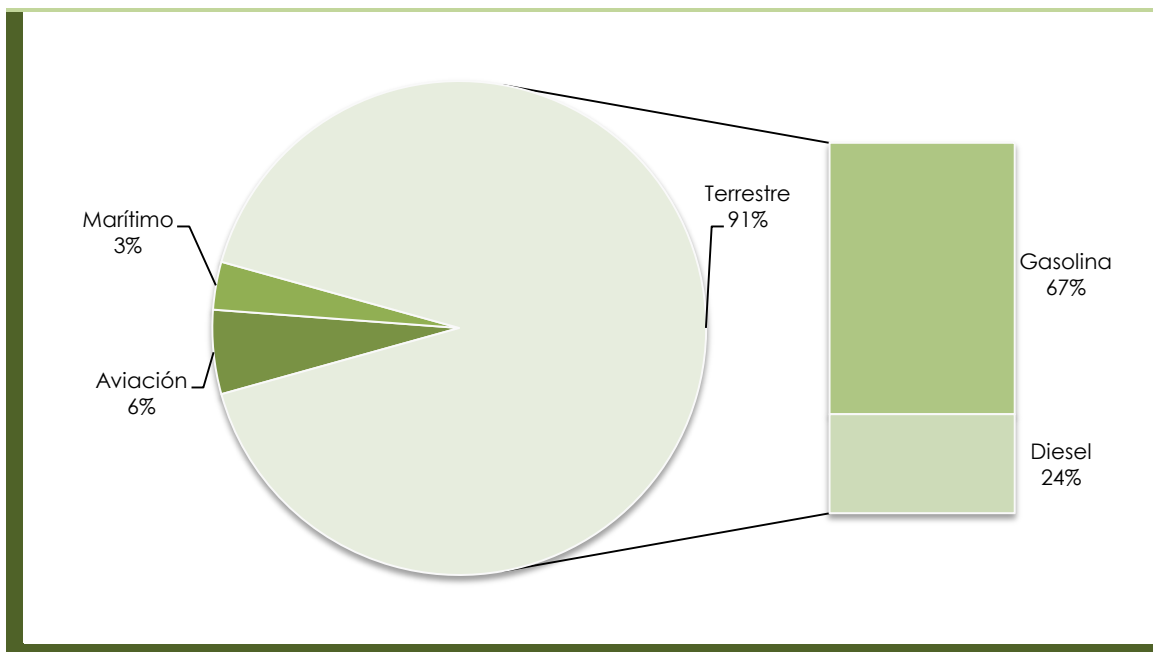
Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	7,154	8,743	10,647	12,948	117%
GLP	6,165	6,544	8,054	9,842	11,986	14,576	136%
Queroseno	33	26	33	40	48	59	78%
Gas Natural	680	673	829	1,013	1,233	1,500	120%

### 5.2.5. Situación y perspectivas del sector transporte.

El sector del transporte es uno de los que más emisiones de GEI tienen asociadas. En el Estado de Yucatán supone el 20% del total en 2005. El consumo principal viene del transporte terrestre ascendiendo a un 91% del total de la demanda de combustibles. Como resultado, los consumos son principalmente en gasolina y diésel con unos porcentajes promedio 75 y 25, respectivamente.

**Gráfico 11: Distribución consumo de combustibles en el Estado de Yucatán para el año 2005.**

Fuente: Elaboración propia con datos del inventario de GEI.



Por otro lado, en un segundo plano se encuentran los transportes aéreo y marítimo. El primero con un consumo promedio del 6% del total de combustibles, específicamente queroseno. Y el segundo, el cual hace uso de diésel marítimo, y representa alrededor de un 3% del total de TJ consumidos.

Estos datos permiten visualizar el panorama general del sector y contrastarlo con factores que inciden de forma directa en él, como lo es el crecimiento del parque vehicular en el Estado. Según fuentes de la Dirección de Desarrollo Urbano, el aumento de vehículos de 165 por día es importante y requiere de acciones concretas e inmediatas para controlar el aumento de emisiones provenientes del sector.

Para poder llevar a cabo el estudio inicial, ha sido necesario desarrollar una modelización histórica al igual que en los otros sectores energéticos. Para ello, se han

tomado los datos de consumos existentes a nivel nacional y los datos estatales presentados en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán.

Debido a la falta de datos históricos pertinentes en el Estado de Yucatán sobre los consumos por combustible en el sector transporte, se debieron estimar los datos de demanda, utilizando de base los datos del año 2005 y los nacionales conocidos para el sector. De esta manera, ha sido posible extrapolar las emisiones del sector transporte para el Estado.

Siguiendo la estructura establecida, se han desarrollado dos escenarios tendenciales proyectando no solo los consumos por tipo de combustible sino, además, la demanda según los distintos medios de transporte utilizados en el Estado. Así, el escenario conservador tendencial asume un aumento de la demanda según las proyecciones determinadas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030.

**Tabla 31: Demanda de combustibles en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	29,949	34,356	38,763	43,170	111%
Diésel	7,461	9,000	10,553	12,106	13,659	15,212	104%
Diésel Marítimo	958	1,155	1,355	1,554	1,753	1,953	104%
Queroseno	1,683	1,706	2,000	2,294	2,588	2,883	71%

**Tabla 32: Demanda por tipo de transporte en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Terrestre	27,915	34,368	40,470	46,470	52,471	58,471	109%
Aviación	1,683	1,705	1,988	2,269	2,551	2,832	68%
Marítimo	958	939	1,399	1,571	1,743	1,915	100%

Por otro lado, el escenario optimista tendencial hace uso de proyecciones de crecimiento económico a nivel de la región, en base al crecimiento económico proyectado para dicho escenario. Como se puede apreciar en los resultados, éste último proyecta una demanda mayor, lo cual repercute directamente en la generación de emisiones de GEI.

**Tabla 33: Demanda de combustibles en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	31,434	38,415	46,780	56,892	178%
Diésel	7,461	9,000	11,076	13,537	16,484	20,047	169%
Diésel Marítimo	958	1,155	1,422	1,738	2,116	2,573	169%
Queroseno	1,683	1,706	2,099	2,565	3,124	3,799	126%

**Tabla 34: Demanda por tipo de transporte en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Terrestre	27,915	34,368	42,491	51,997	63,385	77,153	176%
Aviación	1,683	1,705	2,083	2,528	3,062	3,708	120%
Marítimo	958	939	1,457	1,729	2,056	2,450	156%

### 5.2.6. Situación y perspectivas del sector agropecuario.

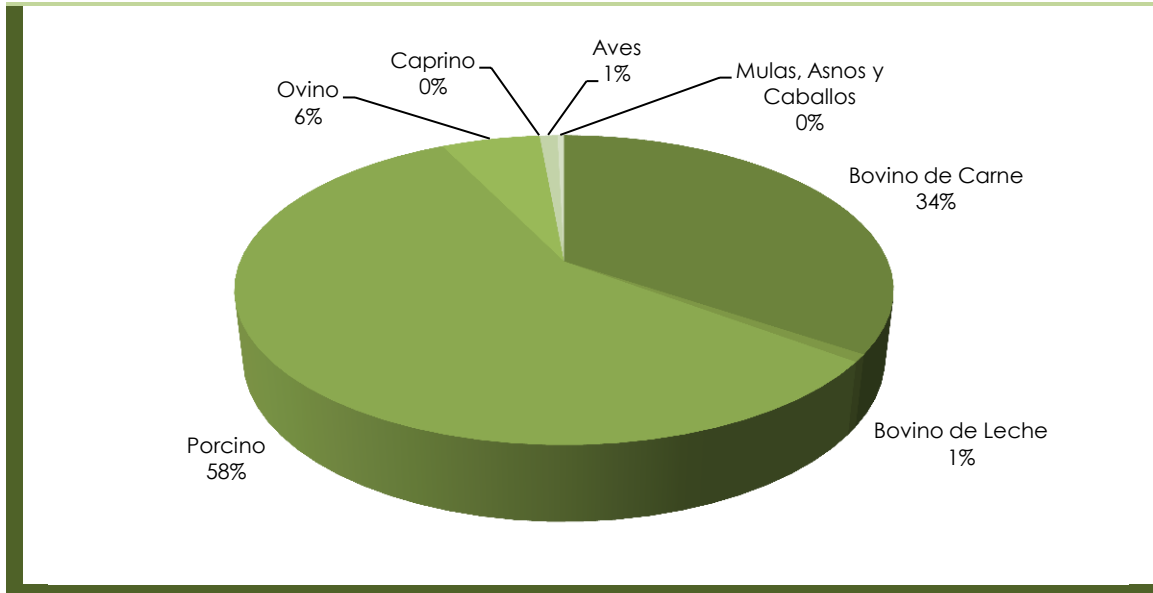
Dentro del sector agropecuario se incluyen tanto las actividades agrícolas como ganaderas del Estado. El sector aporta un 4.4% al PIB estatal y, a pesar de que su participación actual es menor que la de otros sectores, ésta se ha mantenido constante en los últimos años<sup>7</sup> su crecimiento real en los últimos años ha ido en aumento.

En términos económicos, en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado, la ganadería aporta en un mayor porcentaje que el PIB del sector, produciendo alrededor de un 3.8% de la población ganadera a nivel nacional. Por otro lado, la agricultura es mayoritariamente de subsistencia. Los gráficos a continuación muestran la composición de cada uno de los subgrupos del sector.

<sup>7</sup> Comunicado Número 151/11 del 13 de abril de 2011, sobre el Producto Interno Bruto de Yucatán 2005-2009, INEGI.

**Gráfico 12: Distribución población ganadera promedio en el Estado de Yucatán, 2001-2010.**

Fuente: Elaboración propia con datos del SIACON.



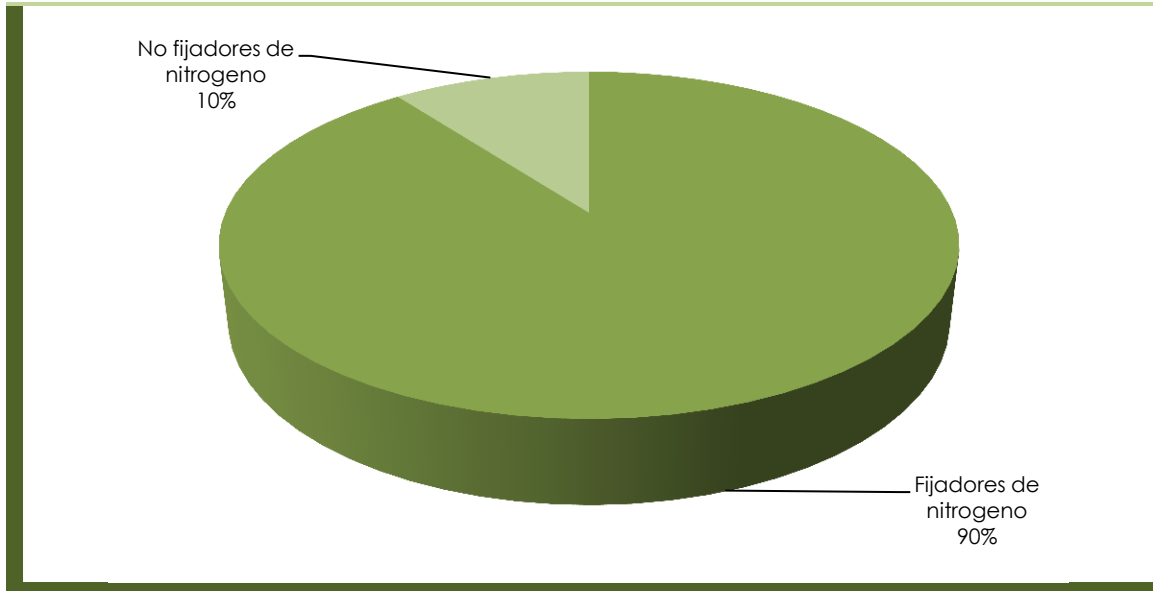
Como se puede observar los grupos con mayor participación en la población ganadera son el bovino de carne, con un promedio de un 34% y el porcino, con un 58% en los últimos 10 años.<sup>8</sup>

Por el lado de la agricultura, siguiendo la metodología se clasificaron los cultivos en fijadores de nitrógeno y no fijadores de nitrógeno. El gráfico a continuación muestra la distribución de los mismos de acuerdo al promedio de los últimos 10 años de los kg de materia verde generados en el Estado.

<sup>8</sup> Promedio calculado en base a datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

**Gráfico 13: Distribución promedio cultivos en el Estado de Yucatán, 2001-2010.**

Fuente: Elaboración propia con datos del inventario de GEI.



Según los datos, se puede ver que la producción estatal es mayormente orientada a los fijadores de nitrógeno que incluyen cultivos de frijol, frijol x pelón y soja.

Los datos presentados anteriormente, tanto para ganadería como para agricultura, son los datos de partida para el cálculo de emisiones de GEI. Sin embargo, además de lo que puede suponer el número de cabezas en el sector ganadero o los kg de materia verde en agricultura, se deben considerar otros factores que inciden en las emisiones. Por un lado, las emisiones provenientes de la ganadería dependen del tipo de sistema de gestión de los animales. Y, por el lado de la agricultura, factores como el porcentaje de materia seca derivada de los cultivos, así como el fertilizante utilizado, son los que inciden de forma directa en las emisiones generadas.

Habiendo identificado las variables clave, se elaboró la serie histórica sobre la cual se construyeron los diferentes escenarios. Los datos históricos se obtuvieron tanto del Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, así como del Sistema de Información Agroalimentario de Consulta del SIACON.

Para la elaboración de escenarios, el sector agropecuario, combinó una serie de variables económicas dentro del modelo de proyecciones, adicionales al PIB, siguiendo el modelo establecido por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, de aquí en adelante) en la



elaboración de Proyecciones para el Sector Agropecuario de México y su escenario base 2009-2018. En el caso del sector ganadero, se proyecta a partir del número de cabezas por tipo de animal. En lo que respecta el sector agricultura, se proyectan los kg de cultivos y se asume que la cantidad de fertilizante requerida por ha es constante a lo largo del periodo.

Para el escenario conservador tendencial, se utilizaron las proyecciones del PIB nacional presentados por la SAGARPA<sup>9</sup>, proyectados en base al crecimiento del PIB real hasta el año 2010. El estudio en mención proyecta el crecimiento del PIB a nivel nacional hasta el año 2018, año a partir del cual, el presente estudio asume que el crecimiento seguirá constante hasta el año 2030.

De acuerdo a lo anterior, el escenario conservador tendencial dio como resultado las siguientes proyecciones de número de cabezas a 2030.

**Tabla 35: Número de cabezas proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de ganado	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Bovino de carne	646,350	548,688	559,898	561,968	561,910	561,907
Bovino de leche	13,476	6,155	6,356	6,893	7,565	8,372
Porcino	998,898	901,031	1,249,460	1,700,453	2,216,254	2,757,208
Ovino	102,261	152,690	162,091	177,410	198,661	226,389
Caprino	69	69	69	69	69	69
Aves	18,156	19,523	20,609	21,504	22,381	23,282
Caballos	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557
Mulas	139	139	139	139	139	139
Asnos	45	45	45	45	45	45

Respecto a los cultivos los datos obtenidos fueron los siguientes.

<sup>9</sup> Proyecciones para el Sector Agropecuario de México, 2009-2018, SAGARPA

**Tabla 36: Tipos de cultivo proyectados en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de cultivo (Kg de materia verde)	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Fijador de nitrógeno	618,650	2,445,800	4,589,410	5,573,057	5,957,253	6,005,997
No fijador de nitrógeno	168,999	194,525	265,924	275,253	274,739	274,781

El aumento tan notorio de 2005 a 2010 se debe a la inclusión de la soja en los cálculos. Los datos fueron obtenidos en la Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, de aquí en adelante), donde se presentan las cantidades que fueron proyectadas para cada escenario. En este escenario, se plantea una tasa de crecimiento tanto en el número de cabezas, como en los kg de cultivos, superior a la del escenario conservador. En base a lo anterior los datos proyectados fueron los siguientes.

**Tabla 37: Número de cabezas proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de ganado	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Bovino de carne	646,350	548,688	547,702	546,526	547,314	547,723
Bovino de leche	13,476	6,155	6,220	6,730	8,363	14,181
Porcino*	998,898	901,031	1,249,460	1,700,453	2,216,254	2,757,208
Ovino	102,291	152,690	161,242	175,255	191,712	212,659
Caprino	69	69	70	70	69	67
Aves	18,156	19,523	20,653	21,538	22,433	23,434
Caballos	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557
Mulas	139	139	139	139	139	139
Asnos	45	45	45	45	45	45

Por otro lado, las proyecciones cultivos bajo el escenario optimista fueron las siguientes.

**Tabla 38: Tipos de cultivo proyectados en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de cultivo (Kg de materia verde)	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Fijador de nitrógeno	618,650	2,445,800	5,269,605	6,660,022	7,153,323	7,300,185
No fijador de nitrógeno	168,999	194,525	264,884	288,988	306,086	311,125

Al igual que se comentó previamente, el crecimiento tan grande que se da entre el 2005 y el 2010 se debe a la inclusión de datos de la soja, obtenidos en la SIAP de forma limitada.

Por último, cabe mencionar que en los escenarios proyectados para el sector agropecuario, se han contabilizado los proyectos MDL que están llevando a cabo varias instalaciones de cría de ganado porcino de la región. Dichos proyectos consisten en la sustitución de las actuales lagunas anaerobias empleadas en la gestión del estiércol por biodigestores, mediante el uso de los cuales se evitan en gran medida las emisiones de metano de dicha fermentación.

Las emisiones reducidas por los MDL se aplicaron durante el periodo crediticio correspondiente de cada proyecto. Asimismo se asumieron dos supuestos:

- Respecto a proyectos con un periodo crediticio de 7 años: Se renueva el periodo por otros 7 años adicionales. A partir de los cuales las emisiones reducidas se reducen en un 50% bajo la asunción de que el proyecto reduce su capacidad de operación.
- Respecto a proyectos MDL con un periodo crediticio de 10 años: No se renueva el periodo crediticio, ya que la duración del mismo, indica que es no renovable. Por lo tanto las emisiones reducidas por el proyecto se reducen en un 50% bajo la misma asunción mencionada previamente, a partir del año 10.

### 5.2.7. Situación del sector residuos.

El sector residuos del Estado de Yucatán, es uno de los más activos en cuanto a medidas de reducción de emisiones de GEI planificadas. Su Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2007-2012 se encuentra alineado con los programas de desarrollo estatal. Más aun, existen áreas de mejora respecto a la

gestión de residuos sólidos y líquidos que disminuirían las emisiones generadas por los diferentes subsectores del sector.

Para llevar a cabo el análisis y desarrollar el modelo de proyecciones, se hizo uso de los datos presentados en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado. Las áreas específicas para las cuales se contabilizaron emisiones fueron las de metano derivadas de la disposición de residuos sólidos, las de plantas de tratamiento de aguas residuales, las emisiones de óxido nítrico resultantes de la descomposición de excrementos humanos y los gases relacionados con la incineración de residuos tóxicos.

Como punto de partida, se identificaron los factores clave que determinarían la evolución futura de este sector. Estos son el número de habitantes, los procesos de incineración, la composición de residuos sólidos, el ratio de generación de residuos, el sistema de gestión, el tratamiento de aguas y la ingesta de proteínas promedio por habitante.

Los cálculos se basaron en los datos poblacionales proyectados a 2018 por el Consejo Nacional de Población (CONAPO). En base a ellos y a datos del Inventario se desarrollaron los diferentes escenarios de proyecciones. Al igual que en los demás sectores, se realizó también una modelización histórica con el único objetivo de permitir visualizar la evolución del sector.

Las emisiones se proyectaron en cuatro escenarios, siguiendo la misma estructura que en los demás sectores. Por un lado el escenario conservador tendencial y el optimista tendencial, y por otro, el conservador de medidas y medidas optimista. Los últimos desarrollados en base a cada uno de los tendenciales correspondientes. Siguiendo la misma línea, los escenarios de carácter conservador se basan sobre un modelo económico conservador, mientras que los optimistas se fundamentan sobre un crecimiento económico a nivel de Latinoamérica.

Adicionalmente a las emisiones generadas, se consideraron también las emisiones reducidas por proyectos MDL registrados en el Estado y que actúan sobre alguna de las actividades del sector.

Las siguientes tablas muestran los residuos sólidos generados para el escenario conservador tendencial y optimista tendencial.

**Tabla 39: Residuos sólidos generados bajo el escenario conservador tendencial y optimista tendencial.**

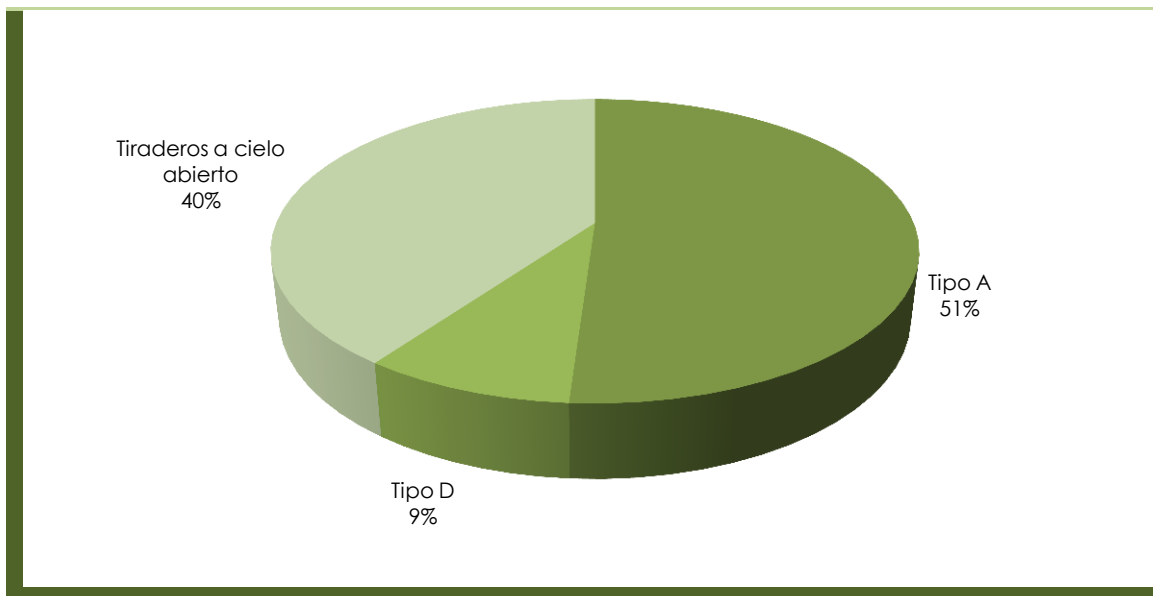
Fuente: Elaboración propia.

RSU († RSU)	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Conservador tendencial	504,029	590,276	653,950	724,724	798,468	873,905
Optimista tendencial	504,029	590,276	762,244	977,468	1,248,983	1,593,856

En relación a la disposición final de los residuos sólidos, se consideraron los datos reportados en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado.

**Gráfico 14: Distribución residuos sólidos según el sitio de disposición final según el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, 2005.**

Fuente: Elaboración propia con datos del inventario de GEI.



Tipo A: capacidad mayor a 100 T/día. Tipo D: capacidad menor a 10 T/día. TCA: tiraderos a cielo abierto.

Según se puede observar solo un 60% es disposición controlada, que incluye los sitios Tipo A y Tipo D.

Asimismo, los datos de incineración y tratamiento de aguas del Inventario, también fueron utilizados para el desarrollo de los escenarios, explicados de forma más detallada, adelante en este documento.

### 5.2.8. Situación y perspectivas del sector de usos del suelo y cambios de uso del suelo (USCUSS).

Dentro del sector USCUSS se incluyen las emisiones y remociones asociadas a los usos del suelo y los cambios de usos del suelo, cobrando especial importancia las absorciones que se dan por el crecimiento de la biomasa forestal y las emisiones generadas como consecuencia de la deforestación. El sector primario, en el que se encuentra incluido el sector forestal, aporta un 4.4% al PIB estatal. Tal y como se ha comentado en el apartado relativo al sector agropecuario, a pesar de que la participación del PIB del sector primario sobre el PIB estatal actual es menor que la de otros sectores, ésta se ha mantenido constante en los últimos años y su crecimiento real ha ido en aumento.

En términos de emisiones de GEI, dentro de las categorías tenidas en cuenta en el sector USCUSS, la más importante es la producción de madera combustible, rondando las 837 ktCO<sub>2</sub>e en 2005. En contraposición, las absorciones ocurridas en los bosques gestionados representan la categoría más relevante alcanzando las 1,834 ktCO<sub>2</sub> absorbidas en 2005.

Siguiendo la metodología del IPCC del año 1996 y en base a los datos disponibles, se han calculado las emisiones y remociones ocurridas en las diferentes categorías que integran el sector. A continuación se resumen dichas categorías:

- Cambios de biomasa en bosques y otros tipos vegetación.
- Conversión de selvas y pastizales.
- Emisión de otros gases distintos al CO<sub>2</sub>.
- Abandono de las tierras forestales.
- Cambios en el carbono de los suelos minerales.

En el presente estudio no ha sido posible estimar las emisiones por cambios en el carbono de los suelos minerales debido a las dificultades encontradas para la obtención de la información necesaria para su desarrollo.

Al igual que en los sectores anteriores, se han desarrollado dos escenarios tendenciales sobre los cuales se plantearían los escenarios de mitigación. En primer lugar, el escenario conservador tendencial se ha elaborado en base a la correlación con las previsiones económicas establecidas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020. En segundo lugar, se ha desarrollado un escenario tendencial alternativo, denominado escenario optimista tendencial. Este escenario se ha proyectado

siguiendo la misma metodología que en el escenario conservador. Sin embargo, en este caso, las previsiones económicas en las que se ha basado la tendencia corresponden a un escenario económico más favorable, el cual está basado en proyecciones económicas a nivel de la región Latinoamericana.

Para la estimación de emisiones y remociones de las demás categorías fueron necesarias las series cartográficas I, II, III y IV del INEGI y los datos referentes a las superficies de bosques manejados, los cuales se obtuvieron del Inventario de Emisiones de GEI de Yucatán. Asimismo, se consultó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para los periodos 1990-2006, de donde se obtuvieron los datos de crecimiento de los distintos tipos de vegetación presentes en el Estado.

Los cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación incluyen, tanto las remociones por el crecimiento de las masas forestales manejadas como las emisiones por la producción de madera en rollo y leña. Por ello, ha sido necesario proyectar las superficies de las masas forestales gestionadas, lo cual ha sido posible a partir de las series cartográficas del INEGI.

A continuación, se muestran las superficies de bosques manejados proyectadas en ambos escenarios tendenciales.

**Tabla 40: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el Estado en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del inventario de Yucatán y las series cartográficas del INEGI.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	$\Delta$ 2005-2030
Plantación comercial	2.1	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	7.7%
Reforestación	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	7.7%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.4</b>	<b>6.5</b>	<b>6.7</b>	<b>7.7%</b>

**Tabla 41: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	$\Delta$ 2005-2030
Plantación comercial	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	9.9%
Reforestación	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	9.9%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.4</b>	<b>6.6</b>	<b>6.8</b>	<b>9.9%</b>



En cuanto a la producción madera en rollo y leña y carbón, se ha partido de los siguientes datos.

**Tabla 42: Producción forestal por producto en metros cúbicos de madera.**

Fuente: adaptado de la SEMARNAT.

Año	Extracción de madera (m <sup>3</sup> )	Leña y carbón (m <sup>3</sup> )	Madera combustible (m <sup>3</sup> )
1997	3,519	46	461,782
1998	5,489	1,182	463,454
1999	7,619	4,477	466,376
2000	21,761	9,681	469,220
2001	7,199	9,327	471,416
2002	12,016	13,935	473,623
2003	4,753	15,286	475,840
2004	2,312	7,681	478,067

Año	Extracción de madera (m <sup>3</sup> )	Leña y carbón (m <sup>3</sup> )	Madera combustible (m <sup>3</sup> )
2005	1,465	5,523	480,305
2006	651	607	481,216
2007	412	40	482,203
2008	773	372	483,156
2009	1,188	1,007	484,110
2010	2,996	-	485,066
2011	4,472	-	485,134

A partir de estos datos, se estimaron las remociones y las extracciones futuras de madera en rollo. En cuanto a las emisiones debidas al consumo de leña y carbón, se basaron en las tendencias de datos de consumos históricos disponibles en la SEMARNAT. Asimismo, se obtuvieron los datos de producción de madera combustible a partir del inventario de Yucatán de 2005 y de las estadísticas de la FAO.

**Tabla 43: Emisiones y remociones en la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/remociones (tCO <sub>2e</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Crecimiento de biomasa	42,713	42,353	42,692	43,770	44,875	46,008	7,7%
Por extracción de madera en rollo	-2,552	-5,218	-10,610	-10,878	-11,152	-11,434	348%
Por consumos de leña y carbón	-9,619	0	-1,318	0	0	0	-100%
Por producción de madera combustible	-836,532	-844,823	-775,089	-781,526	-789,171	-798,251	-5%

**Tabla 44: Emisiones y remociones en la categoría cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/remociones (tCO <sub>2e</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Crecimiento de biomasa	42,713	42,353	42,905	44,207	45,550	46,933	9,9%
Por extracción de madera en rollo	-2,552	-5,218	-10,663	-10,987	-11,320	-11,664	357%
Por consumos de leña y carbón	-9,619	0	0	0	0	0	-100%
Por producción de madera combustible	-836,532	-844,823	-776,330	-784,223	-793,679	-805,112	-4%

Las emisiones debidas a la conversión de las selvas y pastizales se han estimado a partir de las superficies anuales deforestadas, las cuales se han proyectado a partir de las series cartográficas I, II, III y IV del INEGI y en base a la correlación con las previsiones económicas relativas a cada uno de los escenarios.

A continuación, se resumen las emisiones estimadas en esta categoría en ambos escenarios.

**Tabla 45: Emisiones de GEI debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-550,751	-862,384	-1,174,445	-1,486,207	478%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-286,913	-309,769	-332,193	-352,710	18%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-837,664</b>	<b>-1,172,153</b>	<b>-1,506,637</b>	<b>-1,838,917</b>	<b>230%</b>

**Tabla 46: Emisiones de GEI debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-319,937	-407,373	-502,128	-603,950	135%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-271,627	-279,423	-287,161	-293,888	-2%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-591,564</b>	<b>-686,796</b>	<b>-789,289</b>	<b>-897,838</b>	<b>61%</b>

Asimismo, a partir de los datos de biomasa quemada estimados, se han proyectado las emisiones de GEI distintas al CO<sub>2</sub> referente a la quema *in situ*, las cuales se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 47: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de biomasa aérea en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-2,403	-3,763	-5,125	-6,485	478%
CO	-9,824	-9,155	-21,029	-32,927	-44,842	-56,746	478%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-17	-26	-35	-45	478%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-597	-935	-1,273	-1,611	478%

**Tabla 48: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-1,396	-1,778	-2,191	-2,635	135%
CO	-9,824	-9,155	-12,216	-15,554	-19,172	-23,060	135%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-10	-12	-15	-18	135%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-347	-442	-544	-655	135%

Por último, se han estimado las remociones ocurridas en las tierras de cultivo abandonadas, para lo cual se han utilizado una vez más las variaciones en las superficies forestales estimadas a partir de las series cartográficas del INEGI, en base a la correlación con las previsiones económicas establecidas para cada escenario. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 49: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	393,584	513,405	681,473	854,306	-53%

**Tabla 50: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	356,090	435,626	558,135	679,150	-63%

Los resultados totales para el escenario conservador tendencial y el escenario optimista tendencial, (los cuales se indican a continuación), muestran que las remociones debidas al incremento de la biomasa de tierras forestales manejadas y las debidas a las tierras abandonadas en el año 2005 superan a las emisiones generadas en las demás categorías, sin embargo, a futuro se prevé que las emisiones superen a las absorciones.

**Tabla 51: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> ) <sup>10</sup>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,353	42,692	43,770	44,875	46,008	8%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-787,017	-792,404	-800,323	-809,685	-5%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-837,664	-1,172,153	-1,506,637	-1,838,917	230%
Abandono de las tierras cultivadas	1,833,990	796,104	393,584	513,405	681,473	854,306	-53%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,488</b>	<b>-1,188,405</b>	<b>-1,407,382</b>	<b>-1,580,613</b>	<b>-1,748,287</b>	<b>-471%</b>

**Tabla 52: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> ) <sup>11</sup>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,353	42,905	44,207	45,550	46,933	10%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-786,993	-795,210	-805,000	-816,775	-4%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-591,564	-686,796	-789,289	-897,838	61%
Abandono de las tierras cultivadas	1,833,990	796,104	356,090	435,626	558,135	679,150	-63%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,488</b>	<b>-979,563</b>	<b>-1,002,172</b>	<b>-990,604</b>	<b>-988,531</b>	<b>-310%</b>

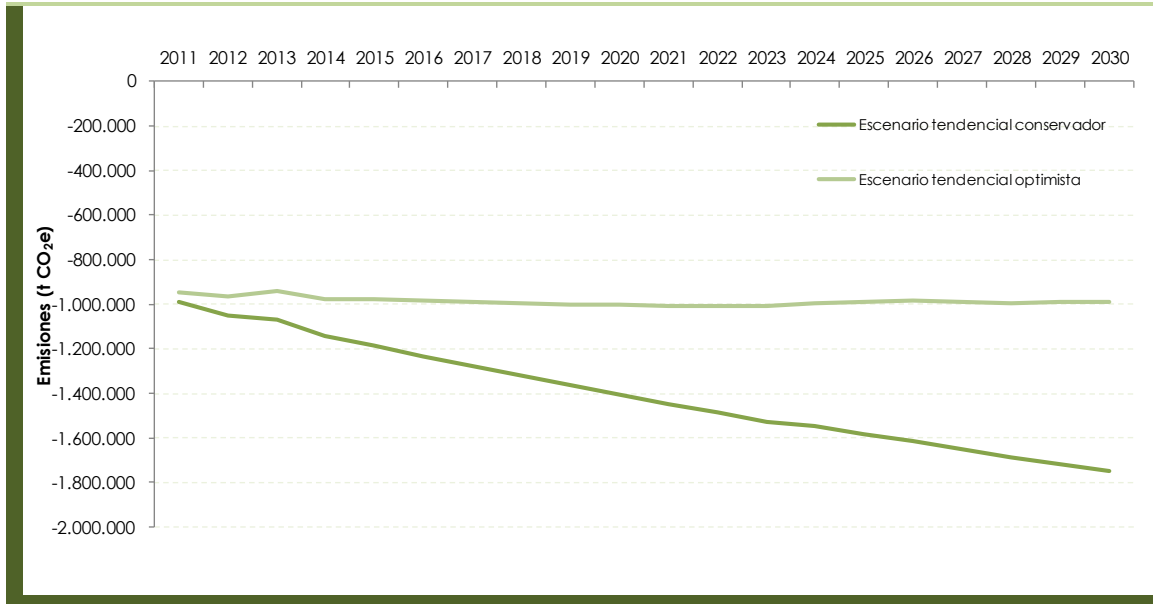
Ambos escenarios diagnostican que en el año 2030 el sector USCUS obtendría como resultado unas emisiones de entre 1 y 2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e. El decrecimiento de las áreas de cultivo abandonadas a lo largo del periodo proporciona la tendencia marcada hacia las emisiones de GEI.

<sup>10</sup> En base a lo establecido en la metodología IPCC de 1996, el signo negativo se emplea en el sector USCUS para las emisiones y el signo positivo para las remociones.

<sup>11</sup> En base a lo establecido en la metodología IPCC de 1996, el signo negativo se emplea en el sector USCUS para las emisiones y el signo positivo para las remociones.

**Gráfico 15: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUS en los escenarios tendenciales.**

Fuente: Elaboración propia.



Tal y como se puede observar en el gráfico, las emisiones aumentarían gradualmente hacia 2030 debido por un lado al incremento de la superficie deforestada y por lo tanto a las emisiones procedentes de la quema in situ y a la descomposición de la biomasa y por otro lado, a la reducción de tierra convertidas en bosques, la cual decrece a lo largo del periodo.

### 5.3. Escenarios de medidas. Asunciones

En el documento “Propuesta de políticas y estrategias de mitigación de emisiones de GEI”, elaborado en el marco del desarrollo del Programa Espacia de Acción ante el Cambio Climático de Yucatán se ha identificado inicialmente una batería de 65 medidas que podrían ser implementadas en el Estado de Yucatán en el periodo 2014-2030.

Estas medidas constituye el punto de partida para los escenarios de mitigación (optimista y conservador). Su introducción en cada escenario se ve condicionada por el escenario en el que se insertan, con lo que los efectos en términos de reducción de emisiones no son siempre necesariamente los mismos que fueron previstos sobre líneas de base estáticas.

La mayoría del peso recae en la línea estratégica "Acción", con algo más de la mitad de las medidas identificadas, ya que es la que aglutina las opciones que pueden conllevar una reducción directa de las emisiones.

**Mediante la columna sector de aplicación, se puede observar al sector al que se ha aplicado en el modelo la medida.**

**Tabla 53: Propuesta de políticas para la mitigación de emisiones en el Estado de Yucatán.**  
Fuente: Elaboración propia.

SECTOR	Nº	CONOCIMIENTO	Nº	ACCIÓN	SECTOR APLICACIÓN
Generación eléctrica	1.A.1	Estudio de potencial renovable	1.B.1	Impulso a la energía solar fotovoltaica	GE
			1.B.2	Impulso a la energía eólica	GE
			1.B.3	Impulso a la utilización de biomasa	GE
			1.B.4	Disminución de las fugas en la red de distribución	GE
Industria	2.A.1	Caracterización energética del sector industrial	2.B.1	Sustitución de luminarias	GE
	2.A.2	Diagnóstico energético	2.B.2	Sustitución de aparatos de aire acondicionado	GE
	2.A.3	Estudio de potencial de cogeneración	2.B.3	Sustitución de equipos de bombeo de agua en la industria alimentaria	GE
			2.B.4	Instalación de equipos de cogeneración industrial	I
Servicios	3.A.1	Caracterización energética del sector servicios	3.B.1	Sustitución de luminarias en la empresa mediana	GE
	3.A.2	Diagnóstico energético del sector terciario	3.B.2	Mejora del alumbrado público	GE
	3.A.3	Integración de estándares en eficiencia energética	3.B.3	Sustitución de aparatos de aire acondicionado en empresa mediana	GE
			3.B.4	Integración de colectores solares en el sector servicios	S
si t e c	4.A.1	Caracterización energética del	4.B.1	Programa de Luz	GE

		sector residencial		Verde	
	4.A.2	Diagnóstico energético del sector residencial	4.B.2	Integración de calentadores solares en viviendas	R
			4.B.3	Sustitución de refrigeradores	GE
			4.B.4	Fomento de la generación eléctrica solar	GE
			4.B.5	Instalación de estufas mejoradas de leña	R
			4.B.6	Mejora en la climatización de los edificios	GE
Transporte	5.A.1	Caracterización energética del sector transporte	5.B.1	Verificación vehicular obligatoria	T
			5.B.2	Definición de zonas de alta demanda	T
			5.B.3	Impulso al sistema ferroviario	T
			5.B.4	Fomento del transporte no motorizado	T
			5.B.5	Sistema de transporte BRT	T
			5.B.6	Optimización de rutas del transporte de mercancías	T
Agropecuario	6.A.1	Caracterización de la gestión desarrollada en los suelos agrícolas	6.B.1	Generación eléctrica a partir del biogás captado en granjas estabuladas	GE
			6.B.2	Mejora de la cobertura vegetal en tierras de pastoreo	U
			6.B.3	Fomento de los sistemas agroforestales	U
			6.B.4	Reducción del uso de fertilizantes	A
			6.B.5	Fomento de la agricultura de conservación	A
			6.B.6	Desarrollo de cultivos para la generación de biocarburantes	A
USCUSS	7.A.1	Desarrollo del inventario forestal del Estado de Yucatán	7.B.1	Fomento de la reforestación	U
			7.B.2	Plantaciones en tierras deforestadas o degradadas	U
			7.B.3	Figuras de protección para evitar la	U



				deforestación	
Residuos urbanos	8.A.1	Estudios de generación y caracterización de residuos sólidos urbanos	8.B.1	Reciclaje de residuos sólidos urbanos	U
			8.B.2	Biodigestión de residuos sólidos urbanos	U
	8.A.2	Nueva planificación estatal para la prevención y gestión integral de los residuos	8.B.3	Compostaje de residuos sólidos orgánicos	U
			8.B.4	Captación y valorización energética del biogás de rellenos sanitarios	U
			8.B.5	Plantas de tratamiento de aguas residuales	U

## 6. Escenarios de proyección de emisiones.

### 6.1. Análisis de escenarios

#### 6.1.1. Emisiones totales

Si se realiza el análisis conjunto de los resultados obtenidos en los cuatro escenarios de proyecciones, se puede observar la influencia de las diferentes variables sobre los resultados obtenidos. En la tabla inferior se muestra un resumen de los resultados de las proyecciones, en la que se incluyen, los incrementos de emisiones para cada escenario en 2020 y 2030 respecto a 2005 y las emisiones totales en los años 2020 y 2030.

**Tabla 54: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones.**

Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Conservador	Optimista	Emisiones
Tendencial	63%	109%	% Δ
	13,073,952	16,481,391	† CO <sub>2</sub> e
Medidas	48%	86%	% Δ
	11,862,006	14,713,104	† CO <sub>2</sub> e

Tal y como se puede observar en la tabla, el escenario en el que se produce un mayor incremento de las emisiones es el escenario optimista tendencial, seguido por el optimista de medidas, el conservador tendencial y el conservador de medidas. Si se analizan las emisiones totales en 2030 de los diferentes escenarios, se puede observar que tanto entre los escenarios tendenciales como entre los de medidas, hay una diferencia de aproximadamente 3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e, causada por el mayor crecimiento económico tomado para proyectar los escenarios optimistas.

**Gráfico 16: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección.**

Fuente: Elaboración propia.



El escenario optimista tendencial es el escenario en el que las emisiones proyectadas serían más elevadas. De hecho, la diferencia, en 2030, entre este escenario y la mediana de los escenarios ascendería a 2.8 Mt. La causa de que sea el escenario con mayores emisiones es el alto crecimiento económico empleado en el modelo de proyección. En el extremo opuesto se encontraría el escenario conservador de medidas, cuyas emisiones en 2030 serían 2.2 Mt menores que las de la mediana de los escenarios, debido a que su crecimiento económico proyectado es el más bajo y, además, se aplican medidas de reducción de emisiones. Entre ambos escenarios se encuentran el optimista de medidas y el conservador tendencial, en el caso del optimista de medidas, pese a la aplicación de medidas de mitigación, el crecimiento económico hace que sus emisiones sean superiores que las del escenario conservador tendencial.

### 6.1.2. Emisiones totales con medidas estructurales

Además de las medidas de mitigación planteadas en los escenarios, existen otro tipo de medidas, denominadas estructurales, que se han analizado en la realización de las proyecciones aunque no se han incluido en el modelo. Particularmente, se trata de tres medidas: la sustitución del combustóleo por gas natural en el sector de generación de energía eléctrica, ídem en el sector industrial y la sustitución del gasóleo y la gasolina del sector transporte por biodiesel B15 y etanol E10 respectivamente.

Estas medidas, por la dificultad que implica su implantación y lo complicado de su cuantificación, no se han incluido en el modelo pero se ha realizado una estimación de las emisiones evitadas que podrían suponer. En la tabla inferior se muestran los resultados obtenidos para todos los escenarios de aplicarse estas medidas estructurales.

**Tabla 55: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones con medidas estructurales.**

Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Conservador	Optimista	Emisiones
Tendencial	63%	109%	% Δ
	13,073,952	16,481,391	† CO <sub>2</sub> e
Medidas	40%	76%	% Δ
	11,262,163	13,895,043	† CO <sub>2</sub> e

Los resultados de la aplicación de las medidas estructurales se observan en los escenarios de medidas, en los que el incremento de las emisiones se reduciría considerablemente. Para el escenario conservador de medidas, el incremento de emisiones del 48% pasaría a ser del 40%. De la misma forma, para el escenario optimista se pasaría del 86% de incremento en al 76%. En valores absolutos, sería una reducción de, aproximadamente 600,000 toneladas en 2030 para el escenario conservador de medidas y 800,000 para el escenario optimista de medidas.

Por lo tanto, al aplicar estas medidas, también variarían las diferencias de emisiones entre los diferentes escenarios, puesto que se reducirían las emisiones de los escenarios de medidas pero se mantienen las de los escenarios tendenciales. Así, en este caso, se incrementaría la diferencia que se produce entre los escenarios optimista tendencial y conservador de medidas con la mediana, que aumenta hasta 3.2 y 2.4 Mt CO<sub>2</sub>e. Sin embargo, se reduciría la distancia entre la mediana y los escenarios optimista de

medidas y conservador tendencial. La causa de esto es que, aunque se reducirían las emisiones del escenario conservador de medidas, también lo harían las del optimista de medidas, y en mayor medida, por lo que cambiaría la mediana de emisiones y variarían también los diferenciales.

Las medidas introducidas en estos escenarios, tanto las de mitigación aplicadas en el modelo de cada uno de los sectores, como las estructurales, pese a que reducen las emisiones totales del Estado, no logran variar la tendencia creciente de las mismas a lo largo del periodo de proyección. En cualquier caso, la aplicación de estas medidas aportaría beneficios, tanto sociales como ambientales, por lo que es altamente recomendable.

Adicionalmente, para incrementar el efecto de las medidas de mitigación, sería recomendable, en el futuro, estudiar la implementación de otro tipo de tecnologías que en la actualidad están en fase de desarrollo, como pueden ser la energía maremotriz o las celdas de combustible, de cara a paliar la reducción del efecto de las medidas que se da a lo largo del periodo de proyección.

**Gráfico 17: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección con medidas estructurales.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.1.3. Emisiones totales sin importaciones/exportaciones de electricidad

A la hora de determinar las emisiones de GEI de una región o país, uno de los factores a tener en cuenta son las emisiones causadas por la electricidad importada o exportada. En el caso de un país, esta aproximación es sencilla, si se trata de un país en la que se importa electricidad, las emisiones de dicha electricidad habrán de contabilizarse también. Por el contrario, de exportarse, esas emisiones habrían de ser descontadas del cálculo.

Para una región dentro de un país, como es el caso del Estado de Yucatán, el enfoque no es tan sencillo, porque a diferencia de la situación que generalmente suele producirse en los países, es decir, que existen líneas internacionales de transmisión eléctrica y existe un balance claro de la cantidad de energía eléctrica importada y exportada, en general, para las regiones las redes eléctricas están interconectadas por lo que no resulta sencillo distinguir la electricidad producida y consumida en la región de la que se produce en una región adyacente y se importa o la que se produce en la región y se exporta.

Para solucionar esta disyuntiva, se puede realizar una simplificación, que consiste en considerar que, si se produce más electricidad que la que se consume en el propio Estado, este excedente se exporta y, si por el contrario, se consume más electricidad que la producida, se importa electricidad hasta cubrir la demanda. Por tanto, si se exporta electricidad se deducen las emisiones y si se importa se contabilizan las emisiones de la electricidad importada.

El Estado de Yucatán, tanto históricamente como en todos los escenarios, produce más electricidad que la que consume, por lo que podría afirmarse, aplicando la simplificación expuesta, que es un Estado exportador de electricidad. Esto, por tanto, va a causar que, si se contabilizan estas emisiones de las importaciones y exportaciones de electricidad, en el cómputo global, las emisiones del Estado, sean menores.

En la tabla inferior, pueden observarse los resultados de los cuatro escenarios proyectados contabilizando las emisiones de la electricidad exportada. El principal efecto de la contabilización de las exportaciones es que, en todos los escenarios se reducirían las emisiones, tanto en 2020 como en 2030 y, también lo harían los incrementos de emisiones que se producen entre 2005 y 2020 y 2005 y 2030. En los escenarios en los que el efecto de este cambio de contabilidad es mayor son los

escenarios conservadores, ya que, en ellos, la demanda eléctrica crece en menor medida que en los escenarios optimistas.

**Tabla 56: Resultados totales de emisiones e incrementos de emisiones contabilizando exportaciones de electricidad.**

Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Conservador	Optimista	Emisiones
Tendencial	83%	142%	% Δ
	12,467,483	16,139,537	t CO <sub>2</sub> e
Medidas	55%	105%	% Δ
	10,589,232	13,659,781	t CO <sub>2</sub> e

**Gráfico 18: Comparación de las emisiones de los escenarios en el periodo de proyección contabilizando exportaciones de electricidad.**

Fuente: Elaboración propia.





La diferencia de emisiones entre el escenario optimista tendencial y la mediana de todos los escenarios en 2030 se incrementaría con este enfoque puesto que, para dicho escenario, las emisiones reducidas con el cambio de enfoque son mucho menores que las reducciones que se darían en el escenario conservador de medidas, ya que, la demanda crece al mayor ritmo posible y no se aplica ninguna medida de mitigación que la reduzca, al contrario de lo que ocurre en el escenario conservador de medidas. En todos los escenarios se observa que las emisiones decrecen en 2020 y 2024 respecto a 2019 y 2023. La causa de esto son las exportaciones de electricidad, que se incrementan en dichos años, por lo que las emisiones totales disminuyen.

En el escenario optimista tendencial, la diferencia en emisiones de contabilizar las exportaciones eléctricas a no contabilizarlas en 2030 es de apenas 300,000 toneladas de CO<sub>2</sub>e, frente a las 1,300,000 toneladas en el escenario conservador de medidas. El escenario conservador tendencial y el optimista de medidas se sitúan entre ambos valores, siguiendo situándose, como en el resto de supuestos analizados el escenario conservador tendencial por debajo de la mediana y el escenario optimista de medidas por encima.

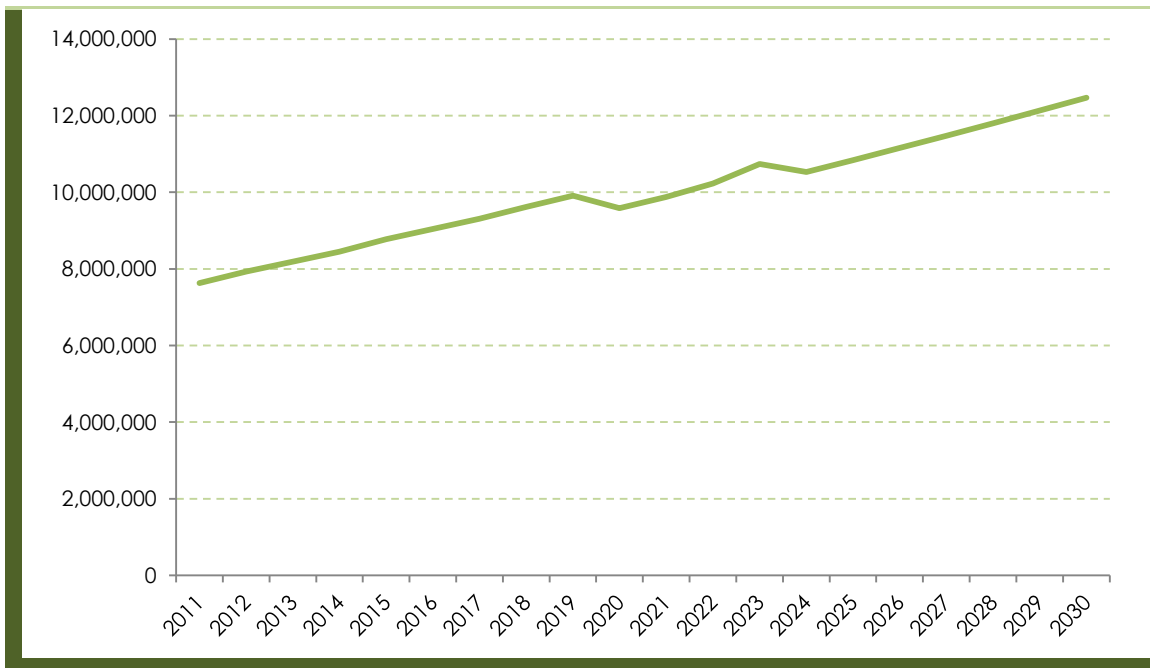
## 6.2. Escenario Conservador tendencial

### 6.2.1. Totales hasta el año 2030

En el escenario conservador tendencial, basado en previsión de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2026 para México, las emisiones de GEI del Estado de Yucatán se incrementarían un 63% en 2030 respecto a 2005. Tal y como muestra la figura, durante todo el periodo analizado se observa una tendencia ascendente de las emisiones, con pequeños picos descendentes en algunos años del periodo relacionados con el incremento de las exportaciones de electricidad.

**Gráfico 19: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



En la tabla inferior se muestran las emisiones para cada sector, así como su incremento en el periodo. Tal y como se puede observar, en todos los sectores se produce un incremento de las emisiones entre 2005 y 2030. Particularmente, el sector cuyas emisiones se incrementan en mayor medida en este escenario es el sector USCUS, cuyas emisiones se incrementan en un 471% entre 2005, año en el que se producían remociones, y 2030. En segundo lugar se sitúan los sectores residuos y transporte, con incrementos del 161 y 107%, respectivamente.

**Tabla 57: Emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e por sector en el escenario conservador tendencial.**

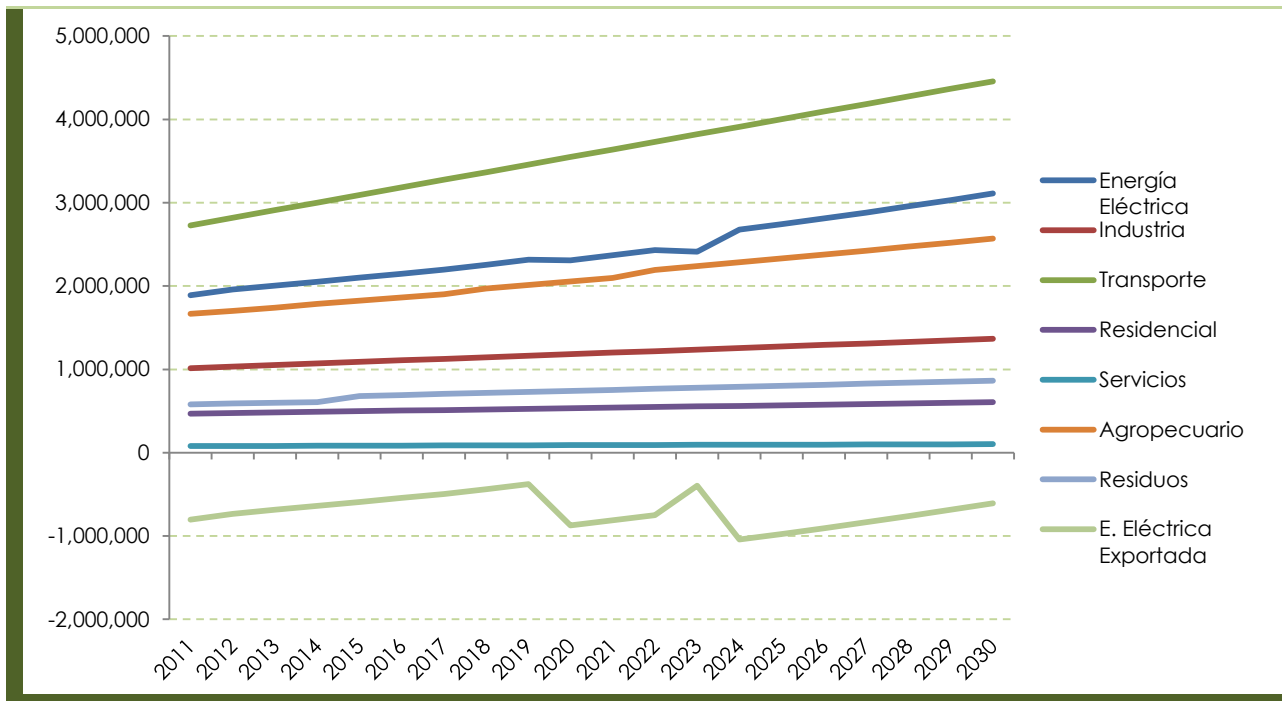
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Energía Eléctrica	1,963,608	1,898,549	2,098,980	2,307,544	2,741,863	3,110,597	58%
Industria	1,041,058	1,041,055	1,089,206	1,181,601	1,273,995	1,366,389	31%
Transporte	2,155,548	2,637,247	3,092,312	3,547,356	4,002,401	4,457,445	107%
Residencial	439,278	461,980	497,582	533,185	568,787	604,390	38%
Servicios	73,131	77,960	83,968	89,976	95,984	101,992	39%
Agropecuario	2,036,760	1,663,791	1,836,885	2,066,296	2,342,081	2,580,899	27%
Residuos	331,138	578,815	680,039	741,174	803,012	864,163	161%
<b>TOTAL</b>	<b>8,040,520</b>	<b>8,347,784</b>	<b>9,367,121</b>	<b>10,455,229</b>	<b>11,816,213</b>	<b>13,073,952</b>	<b>63%</b>
E. Eléctrica Importada	-1,222,197	-1,001,683	-592,935	-871,338	-975,203	-606,470	-50%
<b>TOTAL</b>	<b>6,818,323</b>	<b>7,346,101</b>	<b>8,774,186</b>	<b>9,583,890</b>	<b>10,841,009</b>	<b>12,467,483</b>	<b>83%</b>
USCUSS <sup>12</sup>	471,165	-515,488	-1,188,405	-1,407,382	-1,580,613	-1,748,287	-471%

En el gráfico se muestra la evolución de las emisiones en el escenario conservador tendencial para los diferentes sectores analizados. El sector transporte, además de experimentar el mayor crecimiento de todos los sectores, es el que más contribuiría a las emisiones del Estado de Yucatán.

**Gráfico 20: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

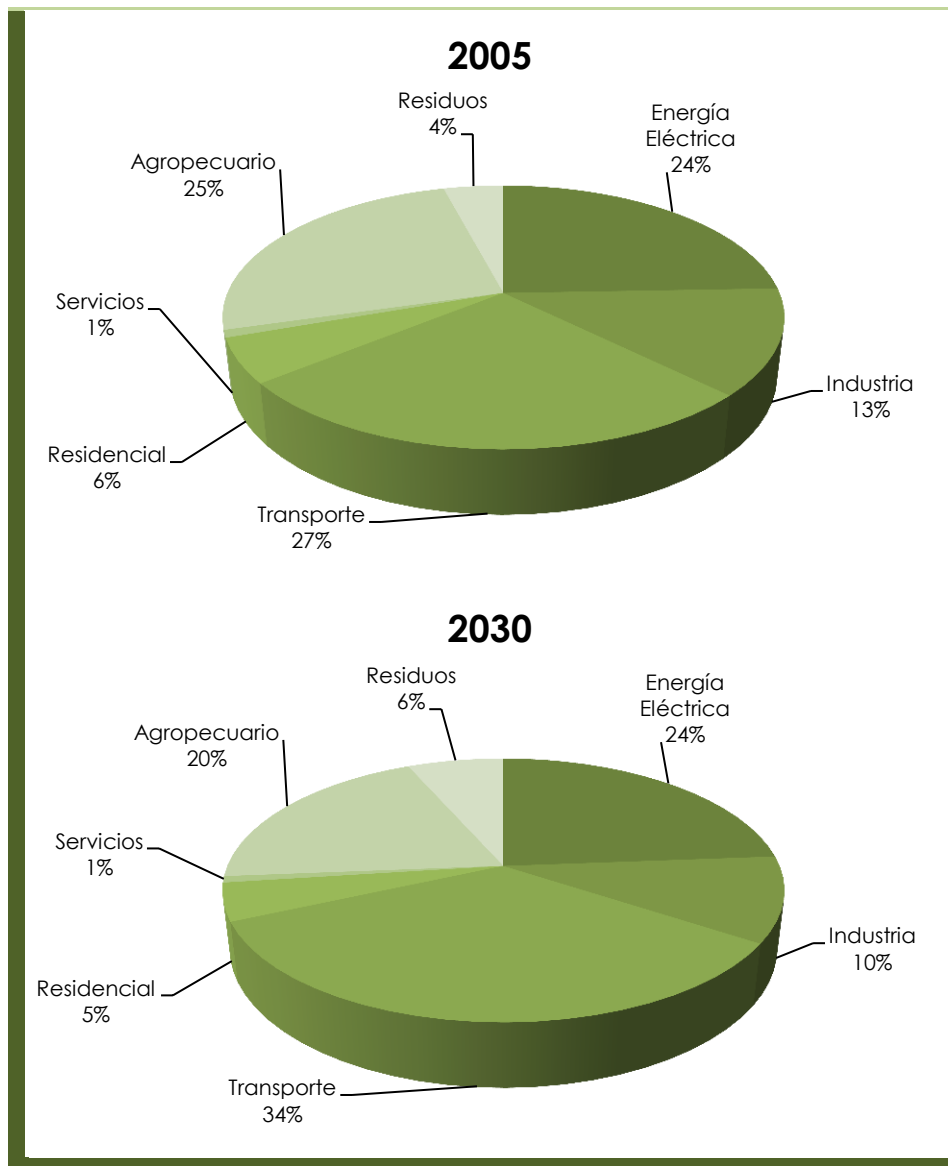


<sup>12</sup> En el sector USCUSS, las emisiones se indican con signo negativo y las remociones con signo positivo.

En todos los sectores se observa una tendencia creciente de las emisiones de GEI. Además, tal y como se puede observar, al ser la demanda eléctrica inferior a la generación, el Estado de Yucatán tendría un excedente de electricidad que no sería consumido en el Estado, por lo que sus emisiones no habrían de contabilizarse.

**Gráfico 21: Evolución del reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

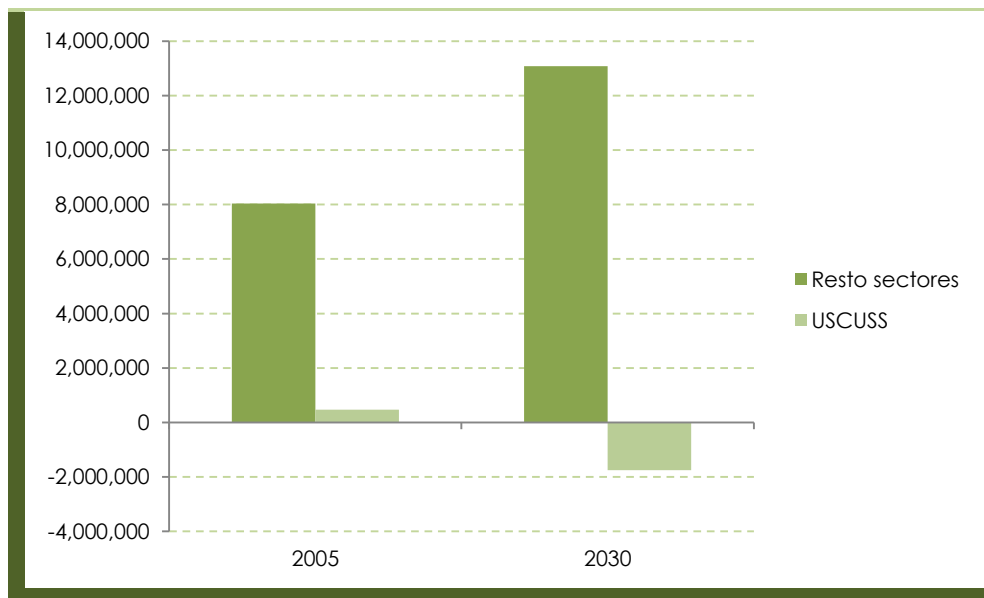


El incremento de las emisiones del sector transporte también se refleja con claridad en el gráfico superior, ya que su porcentaje de emisiones en el reparto sectorial pasaría del 27% en 2005 al 34% en 2030, así como el del sector residuos, que se incrementa del 4 al 6%. Por el contrario, el sector agropecuario, el sector residencial y el sector

industrial ven reducido su porcentaje de contribución, mientras que el peso del sector servicios varía en 2030 respecto a 2005.

**Gráfico 22: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

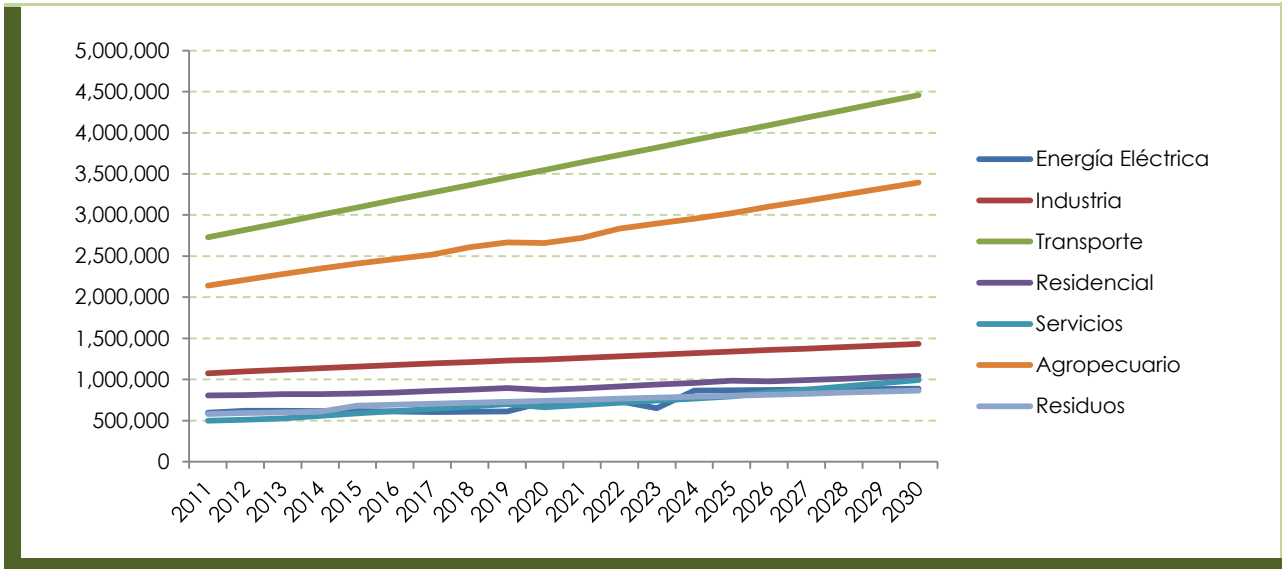


En cuanto a la evolución de las emisiones y las remociones del escenario conservador tendencial, tal y como muestra el gráfico, se observa un importante incremento en las emisiones de todos los sectores que no son USCUSS y, de la misma forma, una variación de tendencia en USCUSS, pasando en 2005 de darse remociones a darse emisiones en 2030.

En los resultados mostrados, el total del consumo eléctrico que tiene lugar en el Estado está asignado al sector de la generación eléctrica. No obstante, si se realiza un análisis con un enfoque análogo al de la huella de carbono, es decir, asignando también las emisiones indirectas derivadas del consumo eléctrico a los sectores y, por tanto, determinando las emisiones responsables de cada uno, se obtienen importantes variaciones en las emisiones estimadas, tal y como se aprecia en el gráfico inferior.

**Gráfico 23: Evolución de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial.**

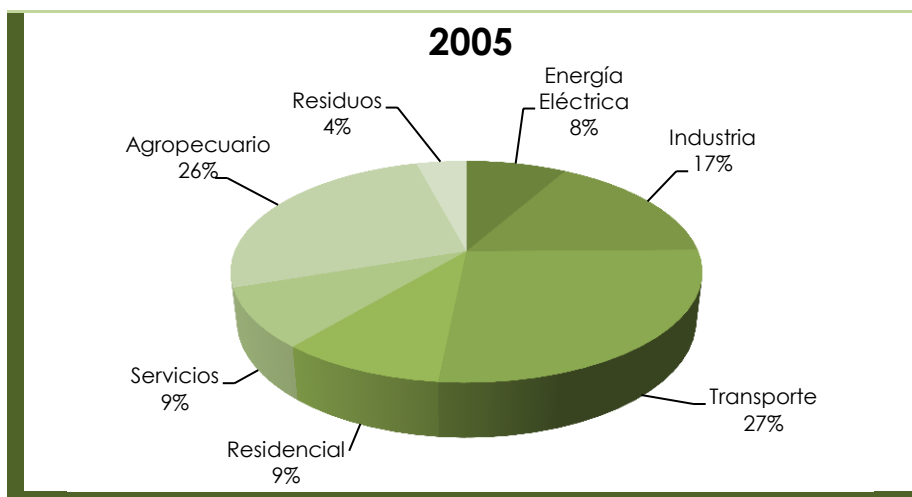
Fuente: Elaboración propia.

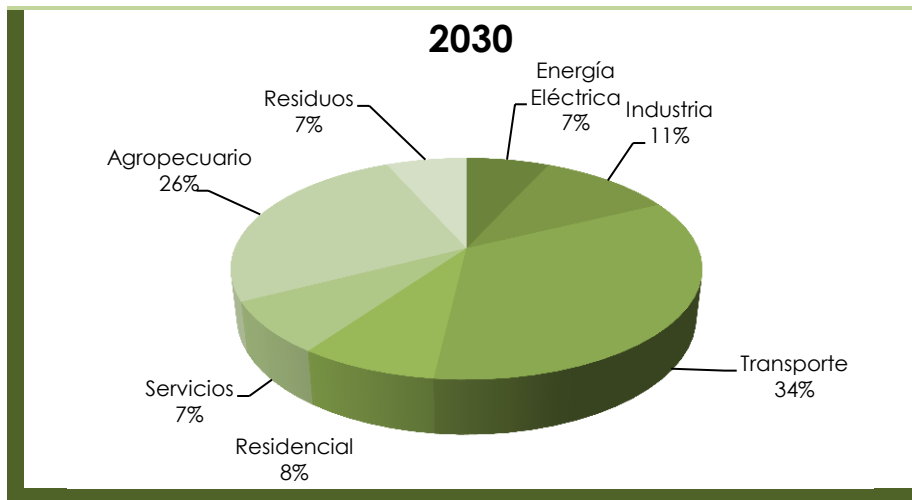


Para el sector transporte no se produciría variación alguna puesto que no consume electricidad. Por el contrario, tanto el sector agropecuario, como el industrial, el residencial y el servicios, verían incrementadas sus emisiones si se utiliza este enfoque.

**Gráfico 24: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.





En el gráfico se puede observar que es particularmente notable la reducción del porcentaje de emisiones de la energía eléctrica, tanto en 2005 como en 2030 respecto al enfoque sin reparto<sup>13</sup>. Por el contrario, para todos los sectores consumidores de electricidad, se observa un incremento de las emisiones, aunque las variaciones que se producen entre 2005 y 2030 no son muy significativas, excepto en el caso del sector del transporte.

## 6.2.2. Resultados sectoriales

### 6.2.2.1. Sector de generación eléctrica.

Las principales hipótesis en las que se basa el escenario conservador tendencial para el sector de generación eléctrica son:

- Únicamente se pondrán en funcionamiento y se retirarán instalaciones de ciclo combinado de gas natural, tal y como se indica en la Prospectiva Eléctrica de México;
- Se mantendrá la tendencia histórica en cuanto a las horas de funcionamiento de las instalaciones;
- El crecimiento de la demanda eléctrica del Estado de Yucatán variará en función del modelo económico desarrollado en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030.

<sup>13</sup> Lo único que quedan son pérdidas y autoconsumo



**Tabla 58: Generación neta de electricidad proyectada en los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

MWh	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Generación bruta	6,204,626	6,962,320	6,694,820	8,814,046	10,348,255	10,348,255	66.78%
Autoconsumos	297,541	333,876	321,048	422,675	496,247	496,247	66.78%
Pérdidas	989,973	1,110,866	1,205,068	1,586,528	1,924,775	1,976,517	99.65%
<b>Generación neta</b>	<b>4,917,112</b>	<b>5,517,578</b>	<b>5,168,704</b>	<b>6,804,843</b>	<b>7,927,232</b>	<b>7,875,490</b>	<b>60.16%</b>

Tal y como se puede observar en la tabla, la generación neta de electricidad prevista para el Estado de Yucatán en 2020 será más de un 40% mayor que la generación del año 2005 y en 2030 más de un 60% mayor. La principal causa de este aumento es el incremento de la potencia eléctrica instalada que se produciría de cumplirse las previsiones de instalación y retiro de centrales de generación eléctrica.

La demanda eléctrica, por su parte, se incrementará en más de un 70% en 2020 respecto a 2005 y en más de un 140% en 2030 respecto al mismo año, según la proyección realizada a partir de la tasa de crecimiento propuesta en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030.

**Tabla 59: Demanda de electricidad en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

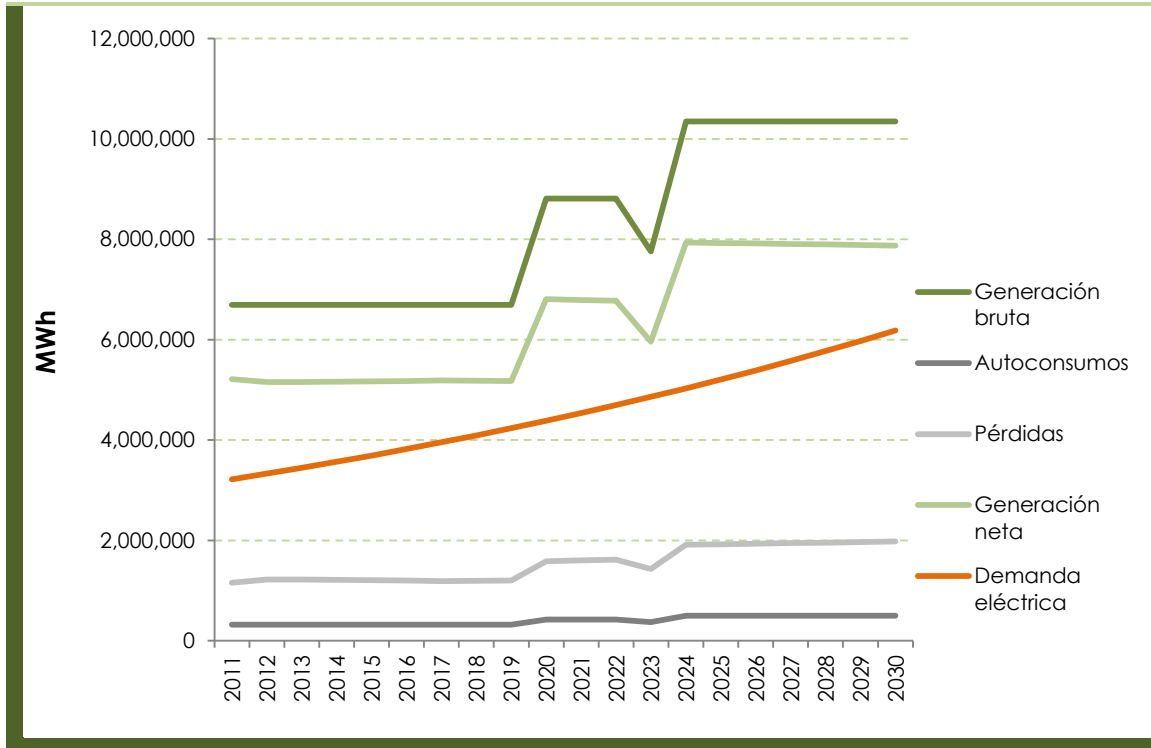
MWh	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Demanda eléctrica	2,531,409	3,216,267.52	3,690,740.95	4,383,442.48	5,206,154.61	6,183,278.54	144.26%

No obstante, tal y como se puede observar en el gráfico, pese a que el incremento de la demanda es mayor que el incremento de la generación, la generación total del Estado de Yucatán en 2030 es superior a la demanda proyectada. Por lo tanto, seguiría siendo un Estado exportador de electricidad<sup>14</sup>. Además, en el gráfico se puede apreciar con claridad el efecto de la implantación de nuevas instalaciones de generación que se produce en los años 2019 y 2023 y la retirada que se lleva a cabo en 2022.

<sup>14</sup> Los diferentes saltos que se pueden observar en la figura son debido a los años de retiro y/o introducción de centrales en los años mencionados anteriormente.

**Gráfico 25: Evolución de la generación neta, la generación bruta, las pérdidas y los autoconsumos de electricidad en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



En el escenario conservador tendencial, toda la generación de electricidad se lleva a cabo mediante instalaciones de generación que consumen gas natural, combustóleo y fuelóleo. Según las hipótesis asumidas, a lo largo del periodo se producirá un incremento de la generación eléctrica a partir de gas natural, produciéndose, al mismo tiempo, una tendencia contraria en el caso del combustóleo y el fuelóleo, cuya relevancia irá disminuyendo en la generación eléctrica del Estado de Yucatán.

**Tabla 60: Generación eléctrica de las instalaciones de generación eléctrica en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

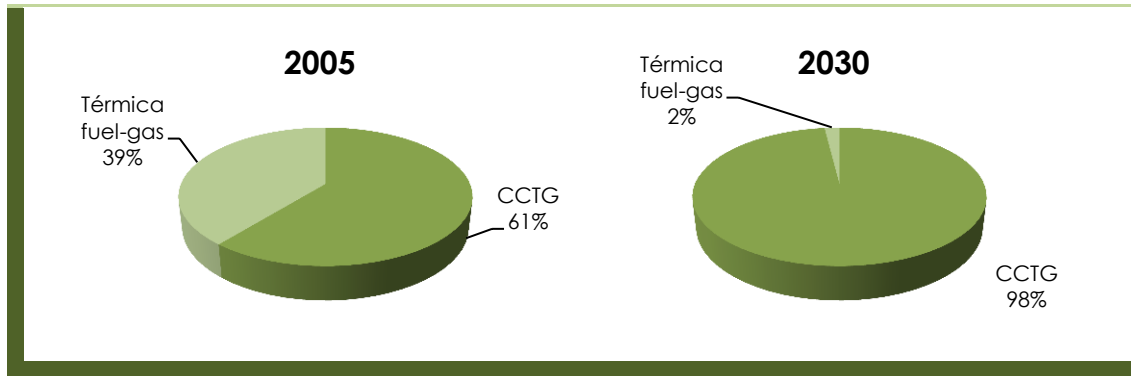
Producción (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CCTG	3,778,085	5,892,320	5,892,320.00	8,610,745.91	10,144,954.53	10,144,954.53	168.52%
Térmica fuel-gas	2,426,541	1,070,000	802,500.00	203,300.00	203,300.00	203,300.00	-91.62%

Tal y como se observa en el gráfico inferior, la generación eléctrica a partir de combustóleo y fuelóleo pasa del 39% del total en 2005 al 2% en 2030. Esta disminución

se ve suplida por el gas natural, cuyo porcentaje en la producción se incrementa desde un 61% en 2005 hasta un 98% en 2030.

**Gráfico 26: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología (MWh).**

Fuente: Elaboración propia.



Para la determinación de las emisiones, por lo tanto, se han tomado como base los datos de generación calculados, a partir de los cuales se determinan las emisiones totales de GEI derivadas de la generación eléctrica mediante el uso de los factores de emisión para cada tipo de tecnología.

**Tabla 61: Emisiones de CO<sub>2</sub>e de las instalaciones de generación eléctrica en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

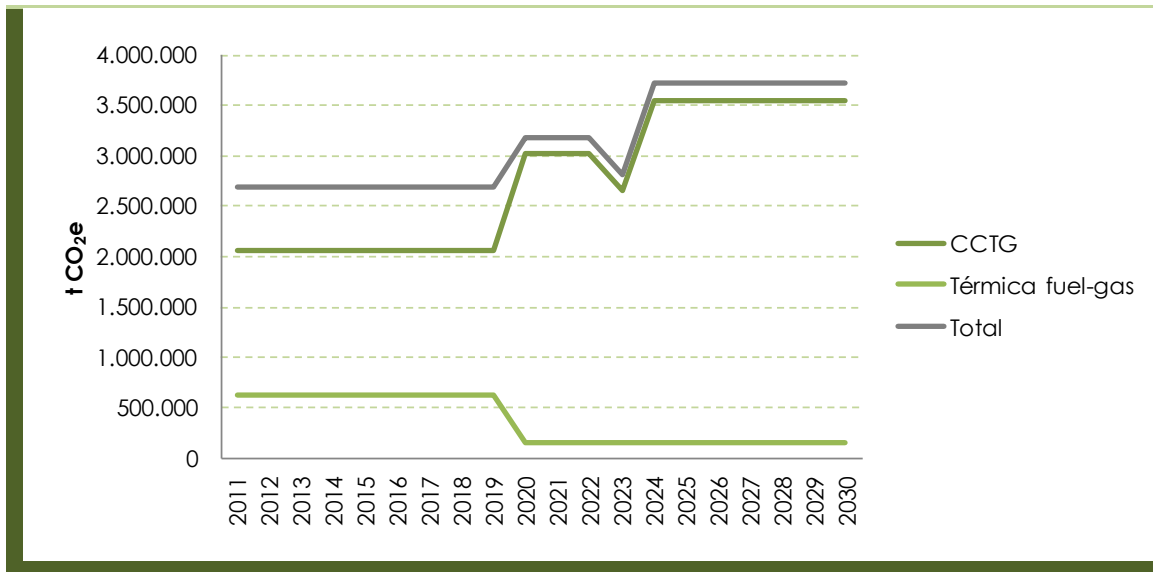
Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CCTG	1,325,313	2,066,965	2,066,965	3,020,561	3,558,746	3,558,746	168.52%
Térmica fuel-gas	1,860,492	833,266	624,949	158,321	158,321	158,321	-91.49%
<b>TOTAL</b>	<b>3,185,806</b>	<b>2,900,231</b>	<b>2,691,915</b>	<b>3,178,882</b>	<b>3,717,067</b>	<b>3,717,067</b>	<b>16.68%</b>

Siguiendo la tendencia marcada por la generación eléctrica, las emisiones de las instalaciones que consumen fuelóleo y combustóleo son netamente inferiores en 2030 respecto a los valores calculados al inicio del periodo proyectado. Por el contrario, las emisiones de los ciclos combinados de gas natural van en aumento, en consonancia con la tendencia de la generación, en la que el gas natural va tomando un papel cada vez más relevante a lo largo del periodo. Además, los crecimientos y decrecimientos bruscos que se aprecian en algunos de los años son a causa de la implantación de nuevas centrales y la retirada de centrales antiguas.

Cabe destacar que el incremento total de las emisiones es de, aproximadamente, el 17% en 2030 respecto a 2011, mientras que el incremento de la generación bruta, tal y como se ha indicado anteriormente, es de casi el 67%. La causa de este desacoplamiento es la sustitución del combustóleo y el fuelóleo por el gas natural, un combustible que genera menos emisiones de GEI<sup>15</sup>.

**Gráfico 27: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e.**

Fuente: Elaboración propia.



El último factor a considerar, a la hora de determinar las emisiones proyectadas del sector de generación eléctrica del Estado de Yucatán, son las emisiones derivadas de las importaciones y exportaciones de electricidad. Puesto que en el Estado de Yucatán la generación eléctrica es mayor que la demanda de electricidad, se considera que toda la energía eléctrica no consumida en el Estado es exportada, por lo que sus emisiones no se contabilizan a la hora de determinar las emisiones totales de la generación eléctrica.

**Tabla 62: Emisiones de CO<sub>2</sub>e de la generación y las exportaciones eléctricas.**

Fuente: Elaboración propia.

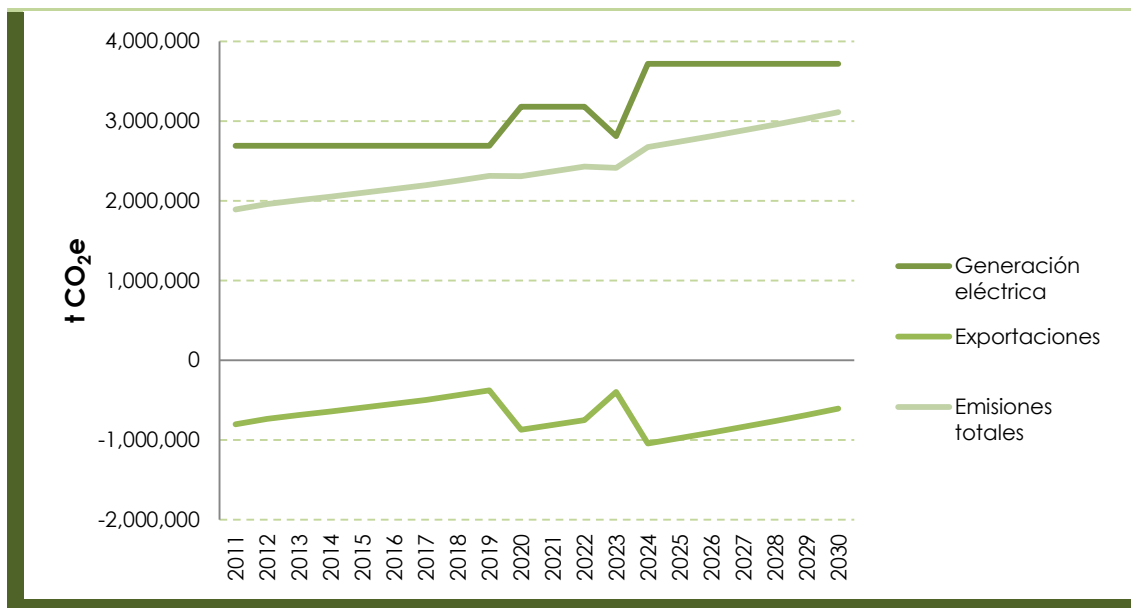
Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2011	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Generación eléctrica	3,185,806	-1,001,683	2,691,915	3,178,882	3,717,067	3,717,067	16.68%
Exportaciones	-1,222,197	2,900,231	-592,935	-871,338	-975,203	-606,470	-50.38%
<b>Total</b>	<b>1,963,608</b>	<b>1,898,549</b>	<b>2,098,980</b>	<b>2,307,544</b>	<b>2,741,863</b>	<b>3,110,597</b>	<b>58.41%</b>

<sup>15</sup> Los diferentes saltos que se pueden observar a lo largo de los años es debido a la introducción y/o retiro de centrales, tal y como se ha mencionado antes.

Tal y como se observa en el gráfico, las emisiones totales siguen una tendencia ascendente en todo el periodo. La causa de esta variación es el incremento en la generación eléctrica ya que, aunque las centrales de ciclo combinado de gas natural generan electricidad con menos emisiones, el incremento de la generación es tal que, aun siendo las emisiones unitarias de las centrales de ciclo combinado menores, se produce un incremento a causa del aumento de la generación. En cuanto a las emisiones asociadas a las exportaciones, van variando a lo largo del periodo. Si se compara el año inicial con el año del final del periodo, se observa que las exportaciones son menores. Esto es debido al aumento de la demanda eléctrica.

**Gráfico 28: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.2.2.2. Sector industrial.

Para la realización de las proyecciones del sector industrial del Estado de Yucatán, tal y como se ha mencionado con anterioridad, se han contabilizado las emisiones de combustión, las de proceso y las de los halocarburos. Para la modelización de todos los datos de actividad, en el escenario TP se ha empleado la tasa de crecimiento

utilizada en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030 para el consumo de combustibles de la industria.

**Tabla 63: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,075	2,252	2,428	2,604	31.64%
GLP	89	105	115	125	135	144	63.00%
Diésel	248	262	286	310	335	359	44.93%
Combustóleo	1,616	673	736	798	861	923	-42.85%
Gas natural	759	804	879	954	1,028	1,103	45.42%

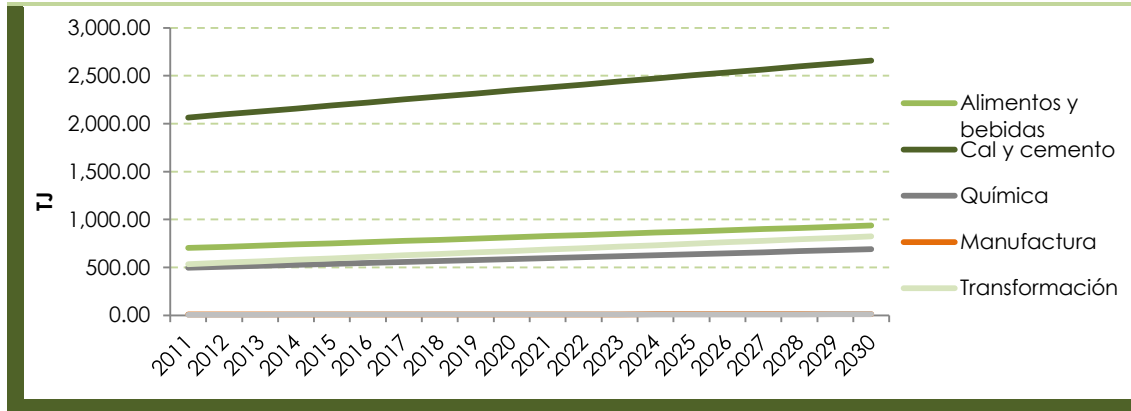
Tal y como se puede observar en la tabla, el coque es el combustible más consumido en el Estado de Yucatán, seguido por el combustóleo, el gas natural, el diésel y el gas licuado del petróleo.

A lo largo del periodo proyectado, se observa como la tendencia de consumo de todos los combustibles es ascendente, Aunque respecto al año 2005 para todos los combustibles, excepto para el diesel/combustóleo, se produce un incremento de consumo en 2030. Para el diesel/combustóleo, el consumo se reduce en casi un 43% en 2030 respecto a 2005.

En cuanto al consumo sectorial, en el gráfico inferior se puede observar el consumo de combustibles de cada uno de los sectores en el periodo analizado. Tal y como muestra la figura, el sector de producción de cal y cemento es el mayor consumidor, seguido por los alimentos y las bebidas, la transformación, la química y la construcción.

**Gráfico 29: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



El sector con una mayor producción de aquellos que generan emisiones de proceso es el de fabricación de cal y cemento. Además, cabe destacar también la aportación de la producción de cal hidratada. Respecto a la cal viva y la producción de hierro y acero, si se compara su producción con la de los sectores anteriormente mencionados, se puede observar, tal y como muestran los datos de la tabla inferior, que su aporte es significativamente menor.

**Tabla 64: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento (t clínca)	660,399	731,730	799,687	867,645	935,602	1,003,560	51.96%
Cal viva (t)	1,000	1,108	1,211	1,314	1,417	1,520	51.96%
Cal hidratada (t)	152,517	168,991	184,685	200,380	216,074	231,769	51.96%
Hierro y acero (t)	68	79	87	94	101	109	59.87%

Para todos los sectores productivos, debido a la metodología para llevar a cabo las proyecciones, en la que se ha considerado un crecimiento equivalente para todos ellos, el crecimiento en 2020 y 2030 respecto a 2005 es muy similar. El sector de producción de hierro y acero es en el único en el que se observa una pequeña diferencia. No obstante, no es particularmente significativa, particularmente, si se considera el hecho de que su producción apenas supera las 100 toneladas en 2030.

En cuanto al consumo de halocarburos, tal y como se puede observar en la tabla inferior, para todos ellos se prevé el mismo incremento del consumo en el periodo



proyectado, cerca del 35% en 2020 respecto a 2005 y un incremento ligeramente superior al 55% en 2030 respecto a 2005. Todo esto basado en que estas emisiones tienen una relación proporcional con el resto de emisiones del sector industrial y por lo tanto, su evolución irá acorde a éstas.

**Tabla 65: Consumo de halocarburos en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Consumo (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	215	244	267	289	312	335	55.52%
HFC-134a aire acondicionado móvil	245	278	304	330	355	381	55.52%
HFC-134a refrigeración residencial	610	692	378	410	443	475	-22.24%
HFC-134a refrigeración comercial	3	3	4	4	4	5	55.61%

Por otra parte, si se compara el uso de unos productos con otros, se puede observar que, el halocarburo menos consumido es el HFC-134a en aplicaciones comerciales. Los otros tres halocarburos tienen valores de consumo cercanos, siendo el más alto el HFC-134a para la refrigeración residencial, seguido por este mismo compuesto utilizado para el aire acondicionado móvil y por el HFC-22 empleado en el aire acondicionado residencial.

A partir de los datos de actividad expuestos, se han calculado las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente tanto de combustión, como de proceso, como causadas por el uso de halocarburos.

**Tabla 66: Emisiones de los sectores industriales en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

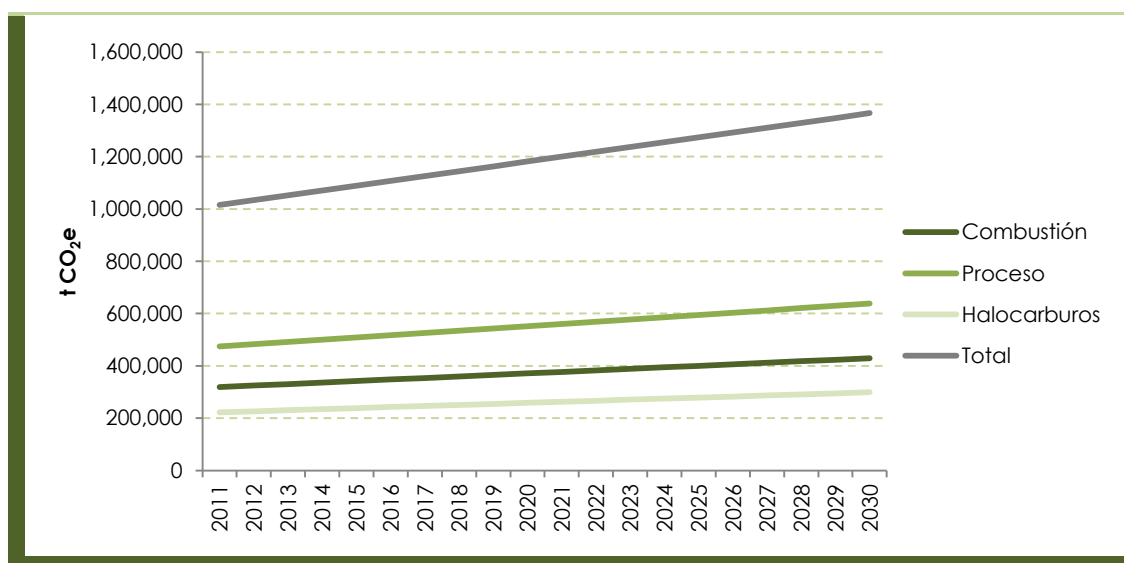
Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Combustión	388,596	312,346	342,177	371,256	400,334	429,412	10.50%
Proceso	419,913	465,269	508,479	551,690	594,900	638,111	51.96%
Halocarburos	207,853	192,869	238,550	258,655	278,761	298,866	43.79%
Total	1,016,362	970,484	1,089,206	1,181,601	1,273,995	1,366,389	34.44%

La principal fuente de emisiones de GEI del sector industrial son las emisiones de proceso, seguidas por las emisiones de combustión y las causadas por el uso de halocarburos. Es particularmente significativo el hecho de que, pese a que las

emisiones de proceso y las causadas por el uso de halocarburos aumentan en el periodo analizado en más de un 43% en 2030 respecto al 2005. Las emisiones de combustión aumentan apenas un 10.5% en 2030 respecto a 2005. La principal causa de esta reducción es el descenso del consumo de combustóleo entre 2005 y 2010.

**Gráfico 30: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



No obstante, y pese a lo mencionado con anterioridad, en conjunto se puede observar un claro incremento de las emisiones de GEI para el sector industrial a lo largo del periodo proyectado.

Si se analizan separadamente las emisiones de combustión, se observa con más claridad el descenso de las emisiones causado por la reducción del consumo de combustóleo anteriormente mencionada. En la tabla inferior se muestran las emisiones causadas por el uso de combustibles en la industria yucateca, pudiendo apreciarse la gran disminución que se produce en el caso del combustóleo.

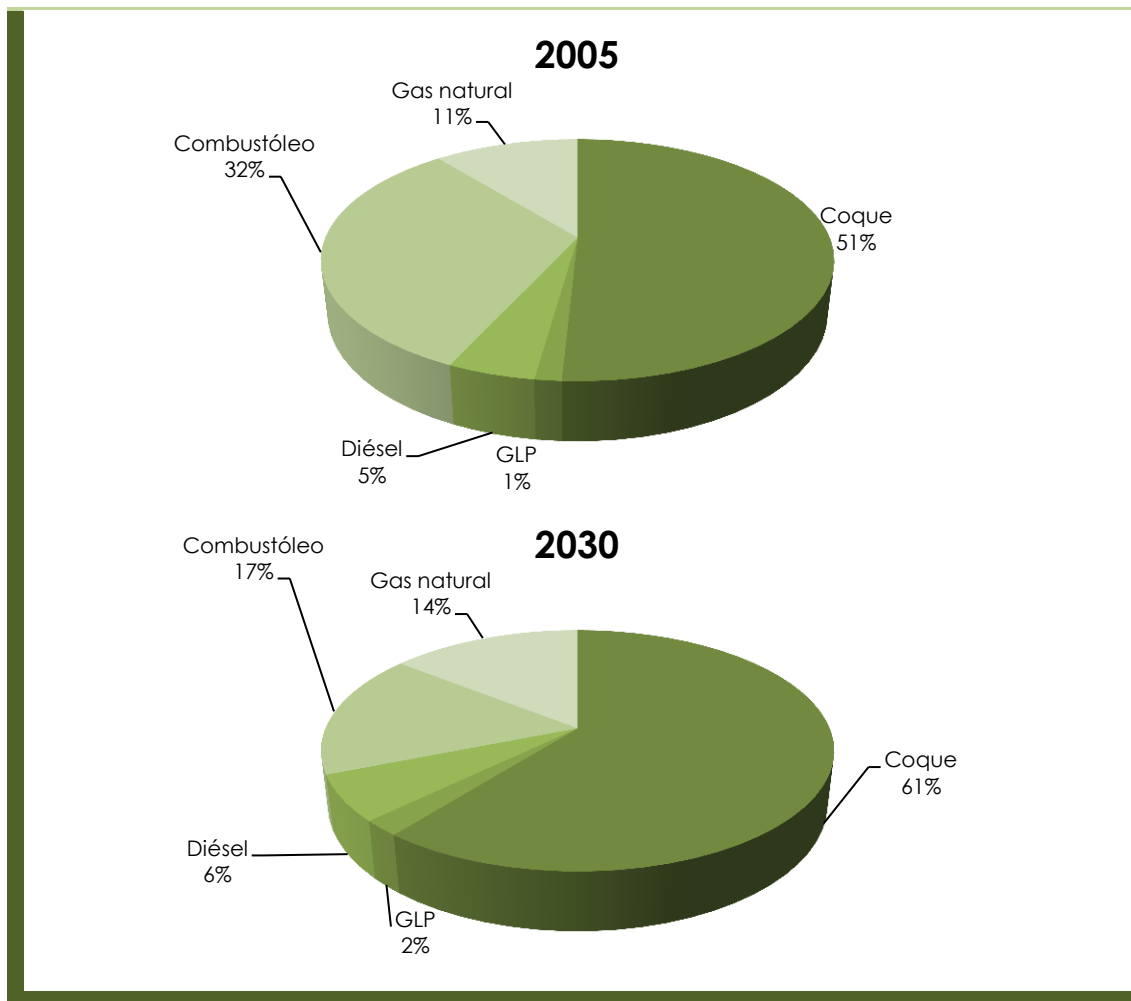
**Tabla 67: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	197,501	189,570	207,692	225,342	242,992	260,641	31.97%
GLP	5,530	6,572	7,189	7,800	8,411	9,021	63.13%
Diésel	18,166	19,196	21,050	22,839	24,628	26,417	45.42%
Combustóleo	125,054	52,111	57,134	61,989	66,845	71,700	-42.66%
Gas natural	42,343	44,896	49,112	53,285	57,459	61,632	45.55%

El resto de combustibles ven incrementadas sus emisiones en 2030, respecto a 2005. El coque es el combustible que más emisiones genera de todos ellos, en parte porque es el combustible más consumido y también porque tiene un factor de emisión elevado. En segundo lugar en cuanto a aportación se sitúa el combustóleo, seguido por el gas natural, el diésel y el GLP.

**Gráfico 31: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario conservador tendencial.**  
Fuente: Elaboración propia.



Al igual que en el caso de la producción, en el que el cemento destacaba sobre el resto de productos, para las emisiones también es la fuente más importante. En segundo lugar se sitúa la cal hidratada, a la que separa una amplia distancia de la cal viva y la producción de hierro y acero.

**Tabla 68: Emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial.**

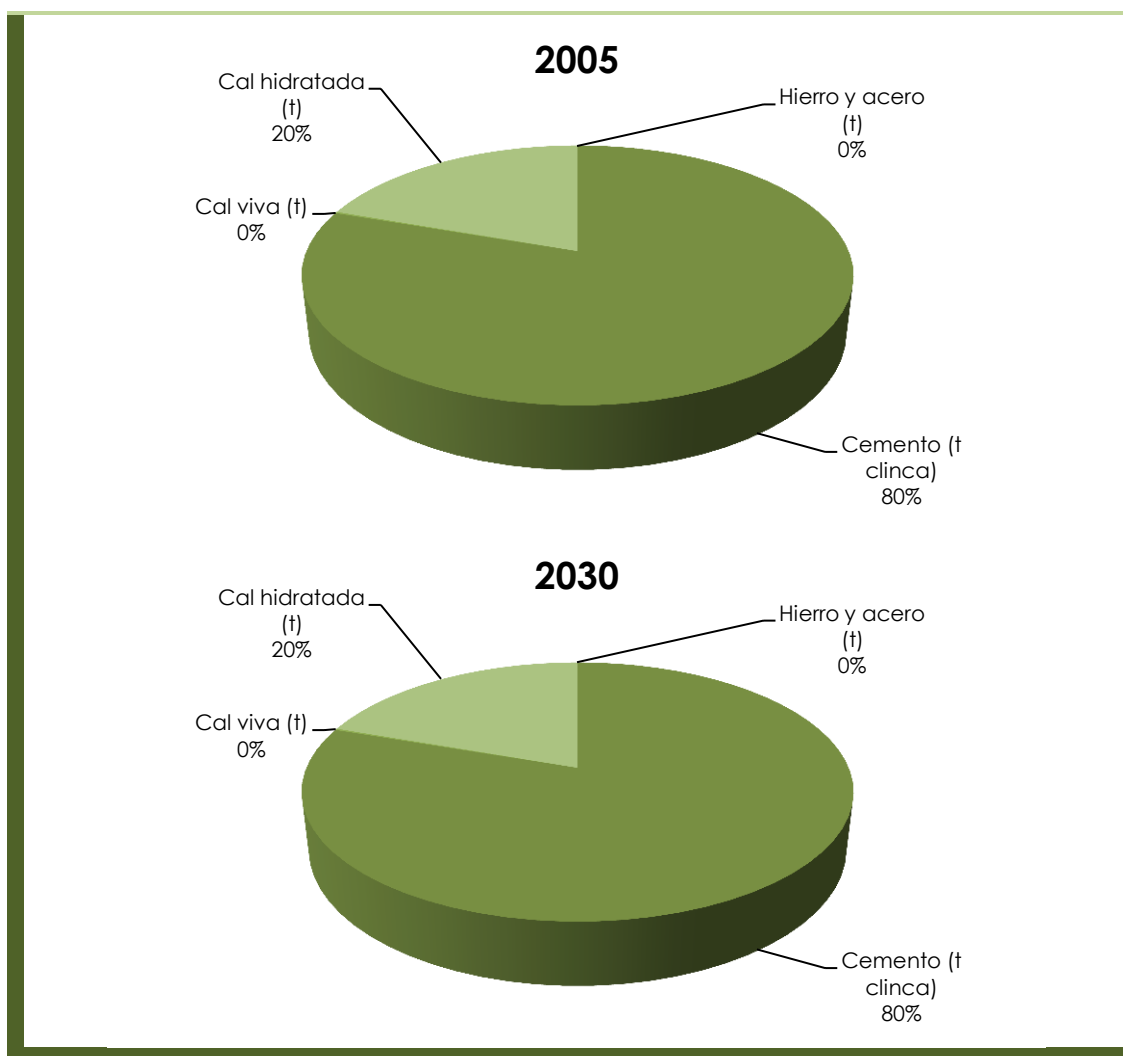
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento	336,804	373,182	407,841	442,499	477,157	511,815	51.96%
Cal viva	750	831	908	985	1,063	1,140	51.96%
Cal hidratada	82,359	91,255	99,730	108,205	116,680	125,155	51.96%
Hierro y acero	0.34	0.40	0.43	0.47	0.51	0.54	59.87%

Todos los sectores ven incrementadas sus emisiones de proceso en 2030 respecto a 2005, en un porcentaje muy similar. Por lo tanto, tal y como se observa en la gráfica inferior, se mantiene el reparto de las emisiones a lo largo de todo el periodo.

**Gráfico 32: Evolución de las emisiones de proceso para el escenario TP.**

Fuente: Elaboración propia.



Por último, el consumo de halocarburos sigue una tendencia similar a las emisiones de proceso. El consumo de todos los tipos de halocarburos se ve incrementado a lo largo del periodo proyectado. Pese a que el halocarburo más consumido es el HFC-134a empleado en refrigeración residencial, el que más emisiones genera es el HFC-134a empleado para aire acondicionado móvil. La causa de esta variación es la metodología empleada para calcular las emisiones de halocarburos, para lo cual hay que considerar no sólo su potencial de calentamiento sino también el tipo de dispositivo utilizado entre otros factores.

**Tabla 69: Emisiones de proceso en el escenario conservador tendencial.**

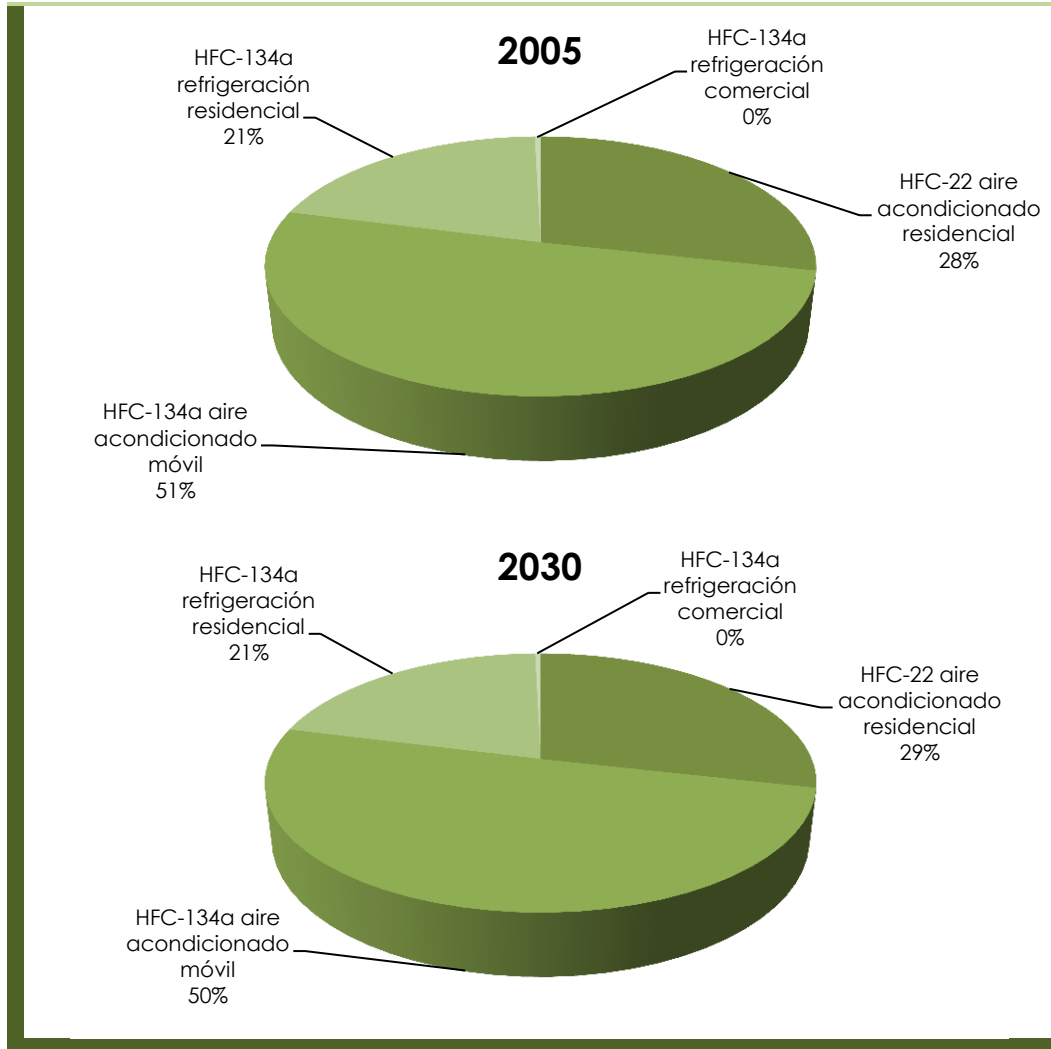
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	59,185	54,878	68,009	73,788	79,567	85,347	44.20%
HFC-134a aire acondicionado móvil	105,047	97,544	120,416	130,482	140,549	150,615	43.38%
HFC-134a refrigeración residencial	42,794	39,680	49,174	53,353	57,532	61,711	44.20%
HFC-134a refrigeración comercial	827	767	951	1,031	1,112	1,193	44.20%

Tal y como se puede observar en la tabla superior, las emisiones de todos los halocarburos se incrementan en el periodo. Para todos ellos, el incremento supera el 40% en 2030 respecto a 2005. Además, en la misma tabla también se puede apreciar la relevancia de los diferentes halocarburos. El que más emisiones aporta, como se ha mencionado con anterioridad, es el HFC-134a empleado para usos de aire acondicionado móvil, seguido por el uso de HFC-22 en el aire acondicionado residencial, los usos de refrigeración residencial de HFC-134a y el HFC-134a empleado en la refrigeración comercial.

**Gráfico 33: Evolución de las emisiones de halocarburos para el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



El reparto de las emisiones de halocarburos apenas varía en 2030 si se compara con 2005. Se observa un ligero incremento en el HFC-22 empleado en aire acondicionado residencial y una ligera reducción de las emisiones de HFC-134a utilizado en aire acondicionado móvil.

### 6.2.2.3. Sector comercio y servicios.

El modelo de proyecciones para el escenario TP del sector comercio y servicios se basa en el consumo de energía proyectado en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020 para el sector, teniendo en cuenta los tipos de combustibles consumidos en Yucatán según lo reportado en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado y el

consumo de dichos combustibles modelizado a partir de información de consumos para México y de información económica para el Estado de Yucatán.

En la tabla inferior se pueden observar los consumos de combustibles proyectados para el sector servicios en el escenario conservador tendencial.

**Tabla 70: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	174.61	187.10	199.60	212.09	39.08%
Diésel	861.90	919.19	990.03	1,060.87	1,131.70	1,202.54	39.52%

El consumo de ambos combustibles, según lo proyectado, alcanza valores de casi el 40% de incremento en 2030 respecto a 2005. En la gráfica inferior se puede observar esto mismo, además de hecho de que el consumo de diésel en el sector servicios de Yucatán es netamente superior al de GLP, siendo en 2030 aproximadamente seis veces mayor el consumo de diésel que el de GLP.

A partir de estos datos de consumo se han proyectado las emisiones de GEI causadas por el uso de ambos combustibles. El resultado obtenido no difiere en gran medida de los valores de consumo, al menos en cuanto al reparto entre combustibles, ya que los factores de emisión de ambos no difieren en gran medida. En la tabla inferior se incluyen los datos de emisiones de ambos combustibles en el periodo proyectado.

**Tabla 71: Emisiones de GEI en el escenario conservador tendencial para el sector servicios.**

Fuente: Elaboración propia.

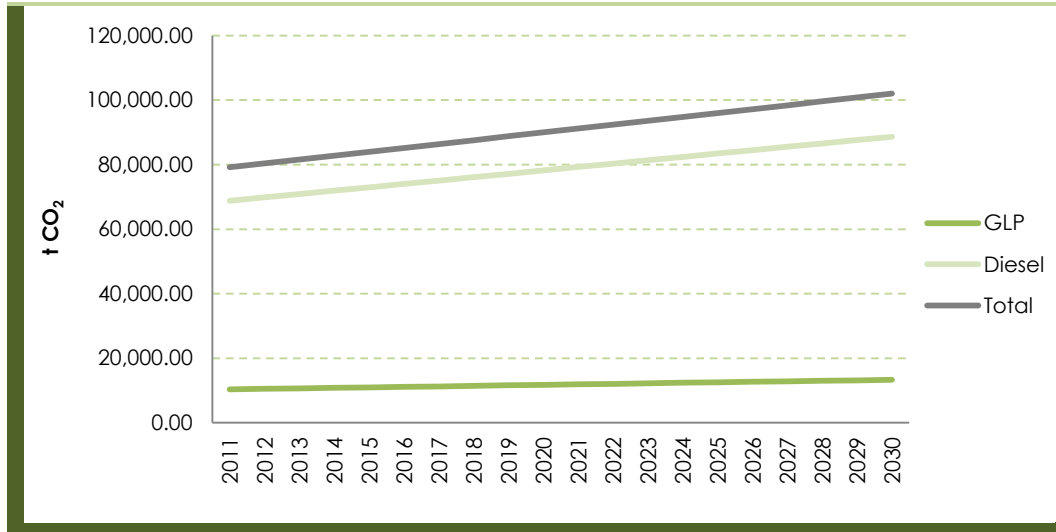
Combustible (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	9,590.00	10,195.11	10,980.80	11,766.49	12,552.17	13,337.86	39.08%
Diésel	63,540.78	67,764.59	72,986.87	78,209.15	83,431.43	88,653.71	39.52%
Total	73,130.78	77,959.70	83,967.67	89,975.64	95,983.60	101,991.57	39.46%

En las emisiones se observan las mismas tendencias que en el consumo de combustibles, se produce un incremento de las emisiones en 2030 respecto a 2005 para ambos combustibles y las emisiones del diésel son netamente superiores a las emisiones del GLP. De hecho, por ser el factor de emisión del diésel superior al del GLP, se incrementa aún más la diferencia entre uno y otro combustible en el caso de las emisiones.



**Gráfico 34: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial para el sector servicios.**

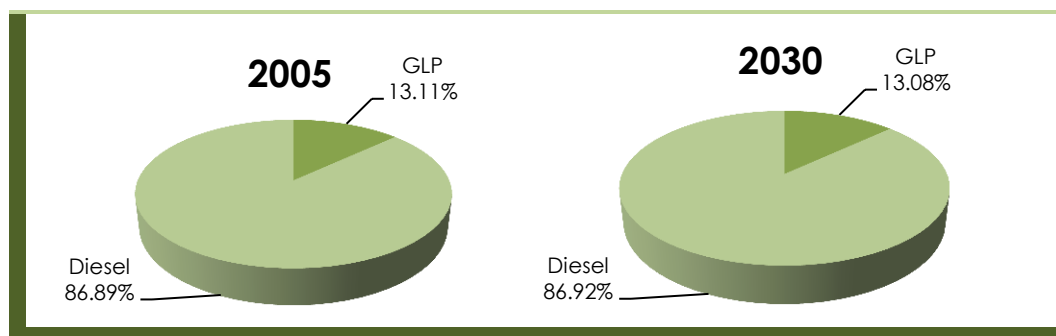
Fuente: Elaboración propia.



No obstante, debido a las características del modelo de proyección, el reparto de emisiones por combustible permanece prácticamente constante a lo largo del periodo, tal y como puede observarse en el gráfico inferior, en el que se observa que los porcentajes de emisiones para los combustibles apenas varían entre 2005 y 2030. La ligera variación que tiene lugar es causada por la diferencia entre los factores de emisión de ambos combustibles.

**Gráfico 35: Comparación de las emisiones en el escenario conservador tendencial en 2005 y 2030 para el sector servicios.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.2.2.4. Sector residencial.

La proyección del consumo de combustibles del sector residencial para el escenario conservador tendencial se ha realizado diseñando el modelo a partir de la tendencia de consumo de combustible de los hogares en México, adaptando este valor para el Estado de Yucatán y teniendo en cuenta el crecimiento de consumo de combustible en el sector proyectado en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2026.

**Tabla 72: Consumo de combustibles por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	6,261	6,709	7,157	7,605	27%
GLP	6,165	6,544	7,048	7,553	8,057	8,561	39%
Queroseno	33	26	28	31	33	35	4%
Gas Natural	680	673	725	777	829	881	29%

Tal y como se puede observar en la tabla superior, los combustibles empleados en el sector residencial son: la leña, el GLP, el queroseno y el gas natural. De entre todos ellos, los más empleados son el GLP y la leña, seguidos a una amplia distancia por el gas natural y el queroseno.

El crecimiento del consumo proyectado, según lo que se puede observar en el gráfico, es particularmente destacado para el GLP y la leña, por ser los combustibles con un mayor consumo. No obstante, para todos los combustibles se da un crecimiento del consumo en 2030 respecto a 2005.

A partir de estos datos de consumo, se han determinado las emisiones de GEI causadas por el uso de los combustibles. Tal y como se puede observar en la tabla inferior, pese a ser la leña el combustible más consumido, sus emisiones son inferiores a las del gas natural, cuyo consumo es casi nueve veces menor. La causa de este fenómeno es que las emisiones de CO<sub>2</sub> de la leña no se contabilizan, ya que, según lo indicado en las directrices IPCC, las emisiones de CO<sub>2</sub> de los combustibles a partir de biomasa se reportan en el sector USCUS, por lo que no han de contabilizarse en el resto de sectores.

**Tabla 73: Emisiones de CO<sub>2</sub>e por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial.**

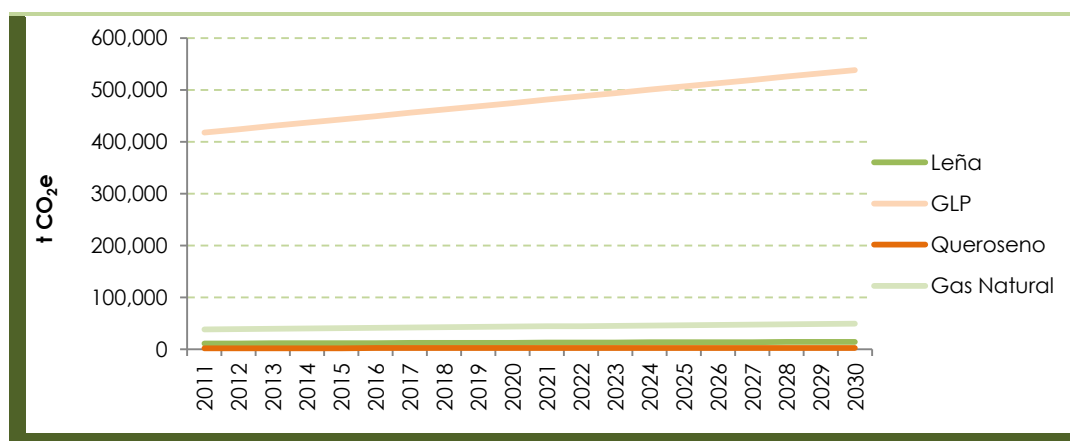
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	11,169	10,871	11,708	12,546	13,384	14,221	27%
GLP	387,677	411,545	443,260	474,976	506,692	538,407	39%
Queroseno	2,362	1,883	2,028	2,173	2,318	2,463	4%
Gas Natural	38,071	37,682	40,586	43,490	46,394	49,298	29%
<b>Total</b>	<b>439,278</b>	<b>461,980</b>	<b>497,582</b>	<b>533,185</b>	<b>568,787</b>	<b>604,390</b>	<b>38%</b>

En el gráfico inferior se puede observar claramente el reparto de emisiones de GEI por combustible. Al igual que en el consumo, el GLP es el combustible con más emisiones. No obstante, si se compara este gráfico con el de consumo de combustibles, se aprecia fácilmente la diferencia, en el caso de la leña, entre el consumo y las emisiones. Para el resto de combustibles, en general, las tendencias de consumo y de emisiones son muy similares.

**Gráfico 36: Evolución de las emisiones por tipo de combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial.**

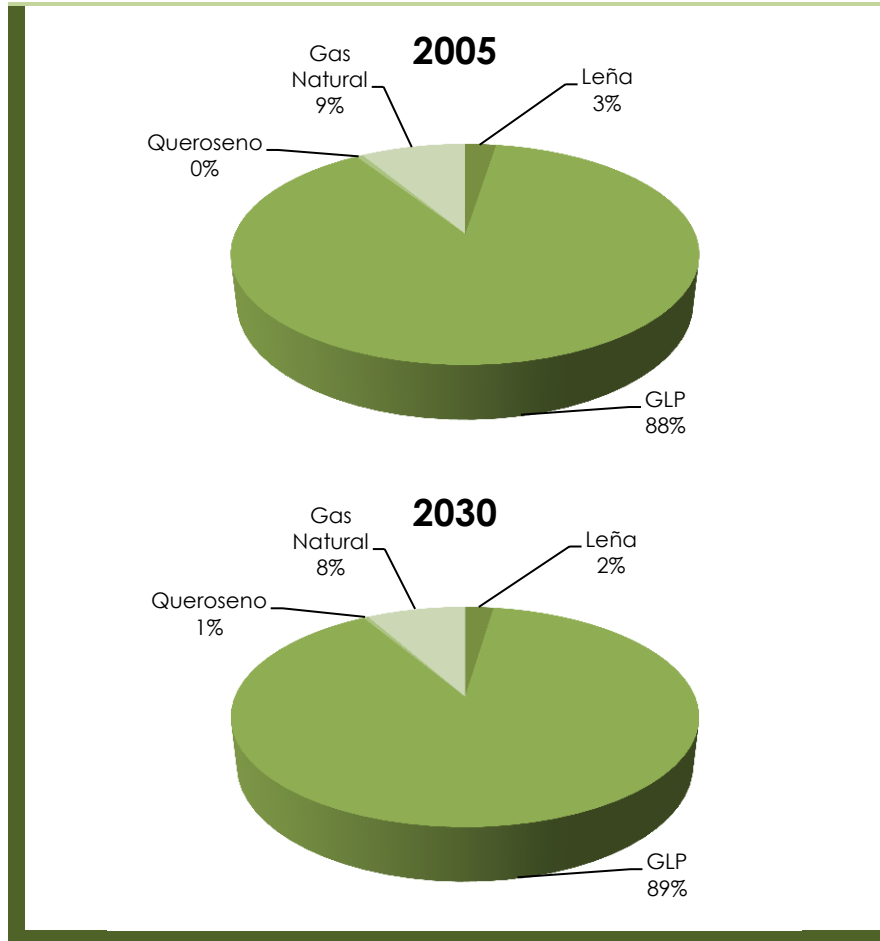
Fuente: Elaboración propia.



Si se analizan las diferencias en las emisiones entre 2005 y 2030, se observa que no se produce una gran variación en el reparto de las emisiones por combustible en ambos años, tal y como muestra el gráfico inferior. Tal y como muestra el gráfico, apenas se produce un ligero descenso de las emisiones de GLP que se ve compensado por un ligero ascenso de las emisiones de queroseno.

**Gráfico 37: Comparación 2005-2030 del reparto de emisiones por combustible en el escenario conservador tendencial para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.2.2.5. Sector transporte.

El escenario conservador tendencial del sector transporte se basa en la demanda de los diferentes combustibles utilizados por el sector en el Estado por los diferentes medios, los cuales han sido proyectados siguiendo las previsiones económicas establecidas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020.

**Tabla 74: Consumo por tipo de combustibles en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	29,949	34,356	38,763	43,170	111%
Diésel	7,461	9,000	10,553	12,106	13,659	15,212	104%

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Diésel Marítimo	958	1,155	1,355	1,554	1,753	1,953	104%
Queroseno	1,683	1,706	2,000	2,294	2,588	2,883	71%

Como se puede observar en la tabla anterior, la demanda del Estado varía según el tipo de combustible. En el caso de la gasolina y el diésel al año 2030 el crecimiento supera el doble de los TJ consumidos en el 2005. Dicha información indica un incremento en el transporte terrestre y en los distintos vehículos motorizados que utilizan dichos combustibles. El diésel marítimo y el queroseno también muestran un aumento en su demanda, denotando un crecimiento en el transporte marítimo y un aumento en menor escala del transporte aéreo.

El aumento de combustibles del sector terrestre, va en línea con los datos actuales de vehículos de nuevo ingreso en el Estado, según fuentes de la Dirección de Desarrollo Urbano del Estado. Considerando el crecimiento económico y social pronosticado para el Estado de Yucatán, siendo el mismo un foco de negocios y turismo de la región, se espera también un mayor flujo en el transporte aéreo. Lo anterior se suma a las mejoras recientes del Aeropuerto Internacional de Mérida, establecidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México.

Los siguientes resultados en emisiones se obtuvieron utilizando los consumos proyectados como base para el cálculo de emisiones de GEI derivadas de cada combustible.

**Tabla 75: Emisiones del sector en el escenario conservador tendencial.**

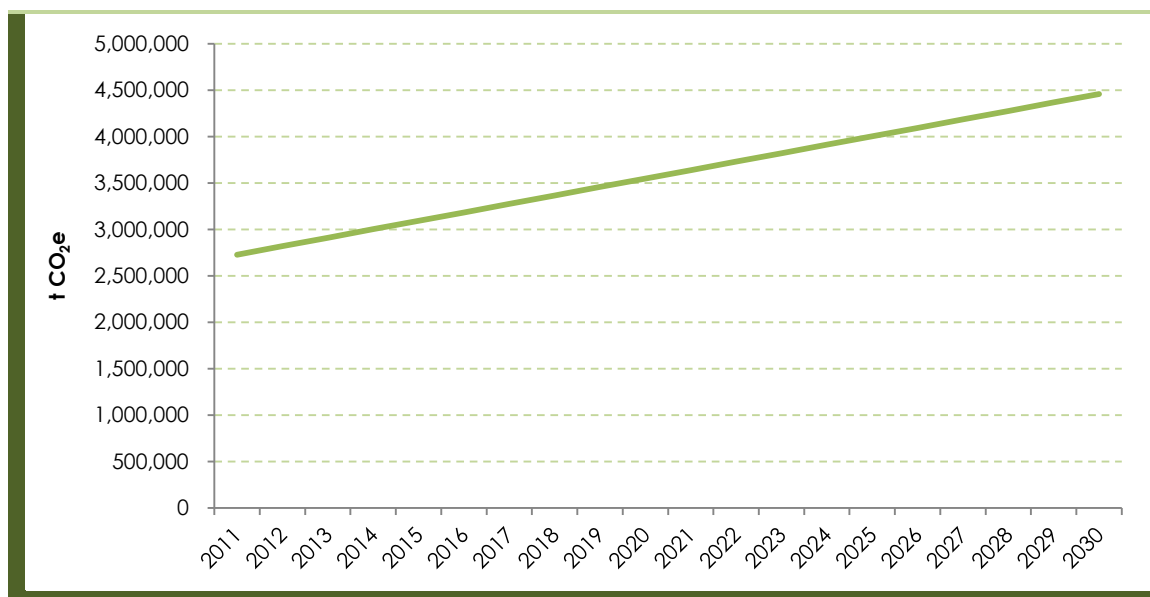
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
t CO <sub>2</sub>	2,139,659	2,617,758	3,069,436	3,521,115	3,972,793	4,424,472	107%
t CH <sub>4</sub>	451	561	660	757	854	951	111%
t N <sub>2</sub> O	21	25	29	33	38	42	103%
<b>t CO<sub>2</sub>e</b>	<b>2,155,548</b>	<b>2,637,247</b>	<b>3,092,312</b>	<b>3,547,356</b>	<b>4,002,401</b>	<b>4,457,445</b>	<b>107%</b>

La tendencia en las emisiones totales de GEI puede observarse en el siguiente gráfico.

**Gráfico 38: Evolución de las emisiones del sector en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.2.2.6. Sector agropecuario.

Como se comentó anteriormente, el escenario conservador tendencial hace uso del modelo económico implementado por la SAGARPA<sup>16</sup> en la realización de las Proyecciones del Sector Agropecuario de México 2009-2018.

En base a ello, se proyectó el número de cabezas de los diferentes tipos de ganado presentes actualmente en el Estado de Yucatán para todo el periodo hasta el 2030.

**Tabla 76: Número de cabezas proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de ganado	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bovino de carne	646,350	548,688	559,898	561,968	561,910	561,907	-13%
Bovino de leche	13,476	6,155	6,356	6,893	7,565	8,372	-38%
Porcino	998,898	901,031	1,249,460	1,700,453	2,216,254	2,757,208	178%
Ovino	102,261	152,690	162,091	177,410	198,661	226,389	121%
Caprino	69	69	69	69	69	69	0%
Aves	18,156	19,523	20,609	21,504	22,381	23,282	28%

<sup>16</sup> Proyecciones para el Sector Agropecuario de México, 2009-2018, SAGARPA

Tipo de ganado	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Caballos	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	0%
Mulas	139	139	139	139	139	139	0%
Asnos	45	45	45	45	45	45	0%

Según los datos obtenidos, se puede observar un decrecimiento en el número de cabezas de bovino en general, siendo el decrecimiento mayor en el número de cabezas del bovino de leche, el cual decrece a 2030 en un 38% respecto al 2005. La producción de porcino, que actualmente ocupa la cuarta posición en producción a nivel nacional, tiene un crecimiento alto de casi el doble a 2030 con un 178%. Siguiendo la misma tendencia se encuentra el ovino, el cual crece respecto al 2005 en un 121% respecto al 2030. Las tendencias del bovino y del ovino deben ser analizadas cuidadosamente ya que son estas producciones las que ocupan una mayor extensión territorial, lo cual tiene efectos colaterales. Por otro lado, las aves tienen un crecimiento menor al de los anteriores ya que a 2030 aumentan su población solo en un 28%. En el caso del caprino, de los caballos y de las mulas y asnos, se consideró un crecimiento cero debido al bajo número de cabezas existentes en el Estado o bien, por la falta de datos estadísticos disponibles.

En base a las cabezas proyectadas, se obtuvieron las siguientes emisiones de metano provenientes de la gestión de estiércol y de la fermentación entérica.

**Tabla 77: Emisiones de CH<sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

† CH <sub>4</sub>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Fermentación entérica	33,554	28,320	29,268	29,950	30,636	31,403	-6%
Gestión de estiércol	8,305	7,551	10,159	13,514	17,324	21,367	157%

Tanto en las emisiones de metano derivadas de la fermentación entérica, como las de gestión de estiércol, se muestra un leve descenso a 2020 respecto al 2005. Sin embargo a finales del periodo, las emisiones derivadas de la fermentación entérica se reducen 6%, y las de gestión de estiércol de aumentan un 157%.



En cuanto a las emisiones de óxido nitroso provenientes de la gestión de estiércol, las emisiones fueron las siguientes.

**Tabla 78: Emisiones de N<sub>2</sub>O proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

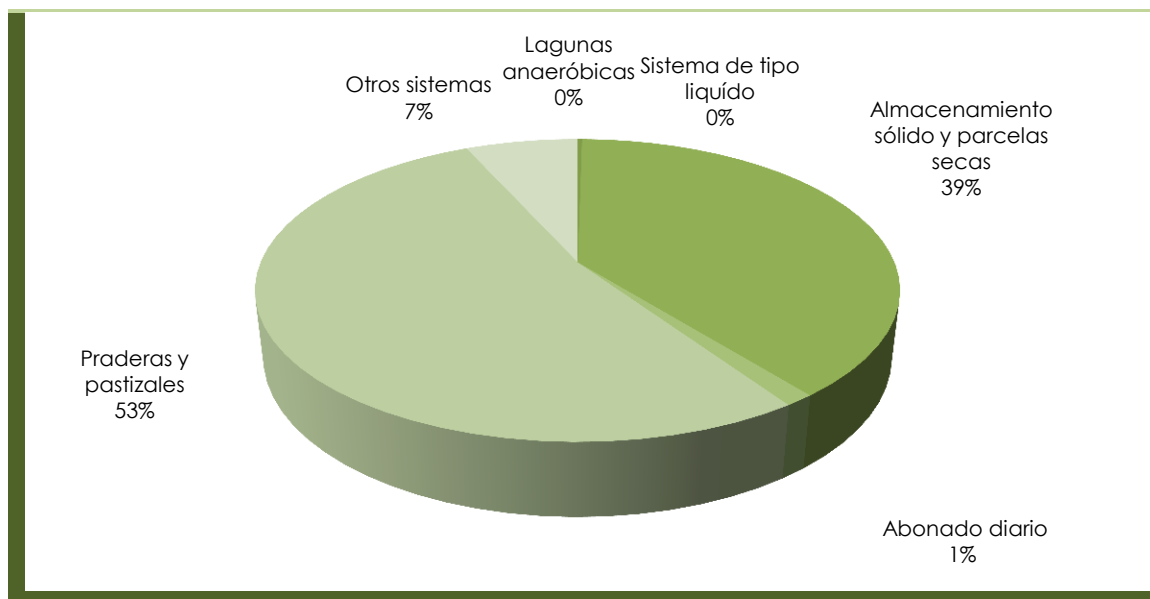
Fuente: Elaboración propia.

GEI	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gestión de estiércol	640	566	682	824	985	1,156	81%

Debido a que las emisiones previas dependen de la fracción de nitrógeno en el estiércol y por el tipo de sistema de gestión, se presenta el siguiente gráfico el cual permite visualizar la distribución promedio de las emisiones de óxido nitroso, según el tipo de sistema de gestión.

**Gráfico 39: Emisiones de N<sub>2</sub>O distribuidas por tipo de sistema en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



Como resultado de los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O emitidos, las emisiones en t de CO<sub>2</sub>e fueron las siguientes para el sector pecuario bajo el escenario conservador tendencial.

**Tabla 79: Emisiones pecuario en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

GEI	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Fermentación entérica	704,629	594,717	614,623	628,940	643,355	659,455	-6%
Gestión de estiércol(CH <sub>4</sub> )	174,403	158,581	213,336	283,789	363,811	448,702	157%
Gestión de estiércol(N <sub>2</sub> O)	198,450	175,547	211,253	255,516	305,436	358,403	81%
<b>Total</b>	<b>1,077,482</b>	<b>928,846</b>	<b>1,039,212</b>	<b>1,168,245</b>	<b>1,312,601</b>	<b>1,466,561</b>	<b>36%</b>

Los datos muestran como las emisiones del sector pecuario en general se verán aumentadas en un 36% a 2030. Respecto al año 2005, las emisiones que presentan un incremento mayor son las de la gestión de estiércol, tanto las de metano que pueden llegar a incrementarse un 157%, como las de óxido nitroso que pueden aumentar hasta un 81% a 2030.

De la misma forma, se calculan las emisiones para el sector agricultura, donde se contemplan las emisiones derivadas de la gestión de suelos, de los arrozales y de la quema de sabanas. Sin embargo, debido a que en el Estado, no se practican las dos últimas actividades, se tomó en cuenta únicamente las provenientes de la gestión de suelos. Las emisiones totales por lo tanto del sector agrícola pueden observarse en la tabla siguiente.

**Tabla 80: Emisiones agrícolas en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Total agrícola-Suelos gestionados	959,278	900,193	962,920	1,033,439	1,112,104	1,196,961	25%

Sus emisiones provenientes de la gestión de suelos aumentan respecto al 2005 en un 25% a 2030, debido principalmente al incremento en la producción de cultivos por el aumento de demanda.

- En adición a las emisiones resultantes de las actividades propias del sector agropecuario, se han considerado también los cuatro proyectos de recuperación de metano registrados como MDL en el Estado. Los totales se

pueden ver en la tabla siguiente incluyendo las reducciones generadas por los proyectos.

**Tabla 81: Emisiones totales sector agropecuario en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Total pecuario	1,077,482	928,846	1,039,212	1,168,245	1,312,601	1,466,561	36%
Total agrícola	959,278	900,193	962,920	1,033,439	1,112,104	1,196,961	25%
Total MDL	-	165,247	165,247	135,388	82,624	82,624	-
<b>TOTAL</b>	<b>2,036,760</b>	<b>1,663,791</b>	<b>1,836,885</b>	<b>2,066,296</b>	<b>2,342,081</b>	<b>2,580,899</b>	<b>27%</b>

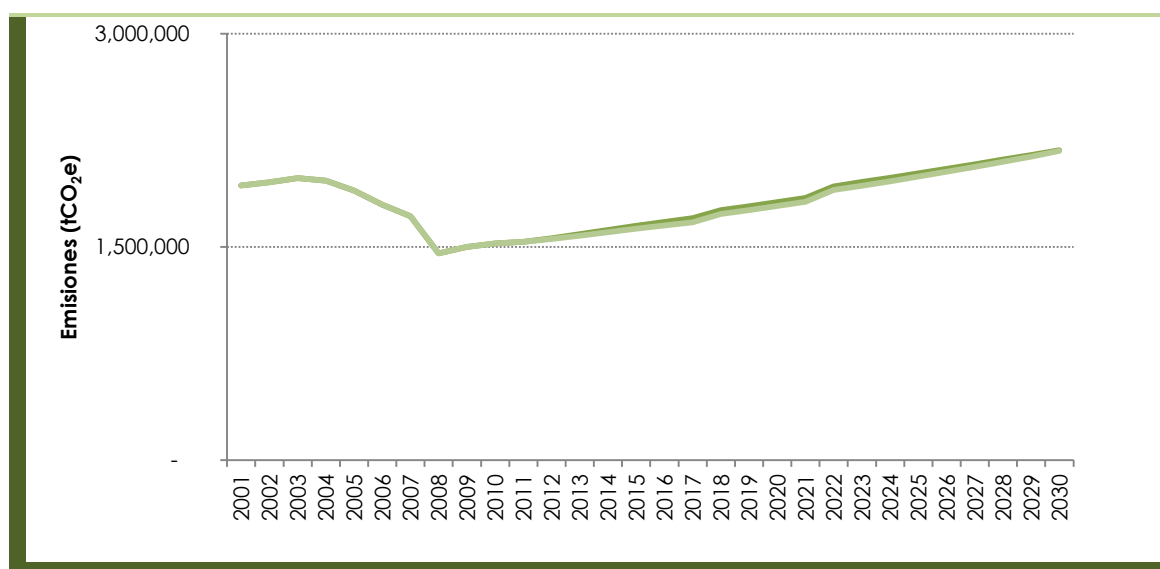
Tanto las emisiones del sector pecuario como las del agrícola aumentan en cantidades razonables. El total de emisiones del sector agropecuario aumenta un 27% al año 2030.

La tendencia de las emisiones totales se ve en el gráfico siguiente, donde se puede ver un ascenso, no muy pronunciado a lo largo del periodo, que tal como se mencionó anteriormente, aumenta solo un 27% respecto al número de emisiones del 2005.

El impacto de los proyectos MDL también se puede apreciar en la disminución de las emisiones a partir del 2007.

**Gráfico 40: Evolución emisiones totales de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.2.2.7. Sector residuos.

El modelo de proyecciones para el escenario conservador tendencial se basa en la información presentada en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán y sobre proyecciones poblacionales nacionales, presentadas por el CONAPO hasta 2018.

Respecto a los residuos sólidos generados en el Estado de Yucatán, la siguiente tabla muestra la cantidad proyectada, así como el ratio de generación bajo el escenario conservador tendencial.

**Tabla 82: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU (t /año)	504,029	590,276	653,950	724,724	798,468	873,905	73%
Ratio de generación	0.28	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	32%

Bajo la perspectiva conservadora, se asume que las toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) a 2030 respecto a las del 2005, aumentaran en un 73%. Ello se debe a dos causas, por un lado, a un aumento paulatino del ratio de generación por habitante basado en el aumento medio histórico en el Estado de Yucatán, que alcanza el 32% en 2030 respecto al año 2005. Por otro lado, la generación también se explica por el aumento de población esperada, de acuerdo con las previsiones del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

De acuerdo a la distribución de sitios de disposición final presentada en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, se asume que sólo el 60% de los residuos generados presentados en la tabla anterior, son depositados en sitios controlados. Por lo tanto, las proyecciones de la cantidad de RSU destinada a rellenos sanitarios y sus emisiones correspondientes se presentan a continuación.

**Tabla 83: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU Rellenos sanitarios (t)	302,417	353,983	383,965	425,955	469,889	514,965	70%
Emisiones CH <sub>4</sub>	14,083	16,485	17,881	19,837	21,883	23,982	70%

Los crecimientos en la disposición final en rellenos sanitarios aumentan respecto al 2005 en un 73% a 2030. Las emisiones derivadas siguen un crecimiento similar del 70% correspondientemente.

Mientras tanto, la cantidad destinada a procesos de incineración se proyecta de manera constante a lo largo de todo el periodo, ya que no se prevén cambios sustanciales en la misma. Las emisiones de este proceso han sido consideradas, a pesar de ser mínimas, en las emisiones totales presentadas más adelante en esta sección.

**Tabla 84: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Incineración (t)	260	260	260	260	260	260	0%

En cuanto a las emisiones derivadas de las aguas residuales, se consideraron únicamente las emisiones derivadas de las generadas a nivel residencial.

**Tabla 85: Emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Aguas residuales (t CH <sub>4</sub> )	164	176	187	197	207	217	32%
Consumo humano de proteínas (t N <sub>2</sub> O)	100	108	114	120	126	232	31%

Las emisiones en este caso presentan un aumento moderado de un 31% a 2030. Se asume que el aumento en las emisiones del consumo humano de proteínas va ligado principalmente a un incremento en el número de habitantes, siendo complicado estimar el efecto de posibles cambios en la dieta de la población. Por lo tanto, las proyecciones se basan en los datos de consumo promedio por rango de edades presentado en el Inventario del Estado, el cual se estableció como constante a lo largo del periodo.

Los resultados en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para todo el periodo y todas las actividades fueron los siguientes. Asimismo, se han considerado las emisiones reducidas por un proyecto MDL registrado en el Estado para el cálculo total del sector.

**Tabla 86: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario conservador tendencial.**

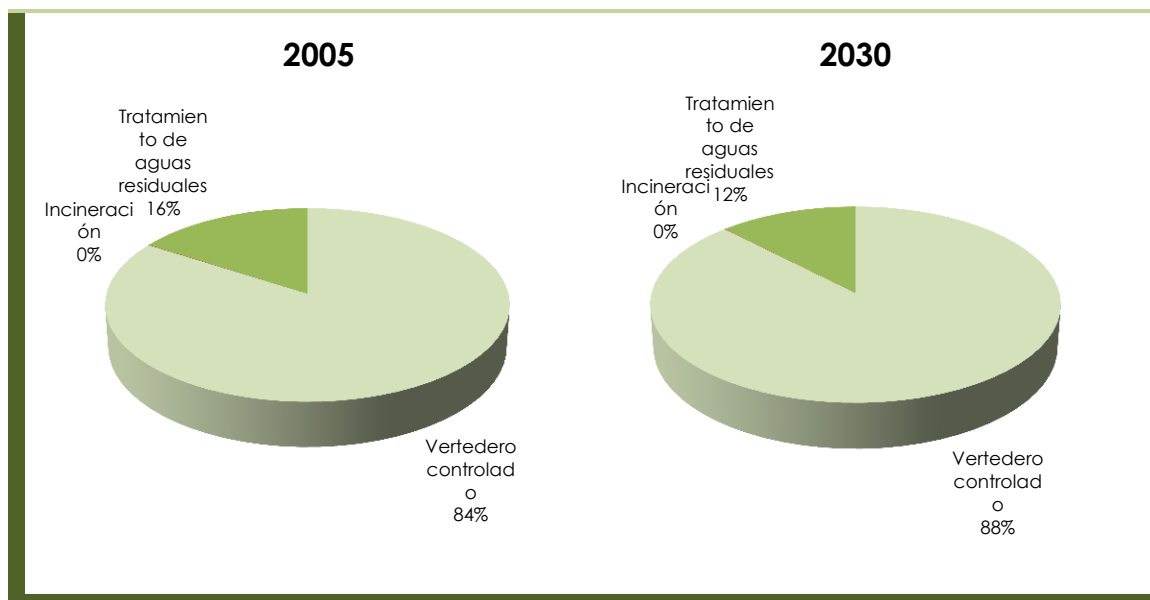
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005 -2030
Rellenos sanitarios	295,752	346,182	375,503	416,567	459,533	503,616	70%
Incineración	221	221	221	221	221	221	0%
Tratamiento aguas residuales	35,164	37,805	39,928	42,176	44,291	46,205	31%
Proyecto MDL	-	106,000	53,000	53,000	53,000	53,000	-
TOTAL	331,138	278,208	362,653	405,964	451,045	497,042	50%

Como se puede observar, las emisiones de mayor crecimiento son las derivadas de los residuos sólidos depositados en rellenos sanitarios, con un crecimiento proyectado a 2030 del 70%, respecto al año 2005. Dicho crecimiento va en línea con el aumento de RSU generados por la creciente población prevista en el Estado. En cuanto a los procesos de incineración, las emisiones permanecen constantes asumiendo poca variabilidad en el transcurso del periodo.

**Gráfico 41: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



La repartición de emisiones revela que la mayor parte de las emisiones provienen de los vertederos, seguidas por los procesos de tratamiento de aguas y, casi sin importancia cuantitativa, los procesos de incineración. Los cambios más visibles entre el año 2005 y el 2030 bajo las proyecciones del escenario conservador tendencial, se pueden observar en el aumento de participación de las emisiones asociadas a los rellenos sanitarios, mientras que la de aguas residuales se reduce en un 4%.

#### 6.2.2.8. Sector USCUSS.

El modelo de proyecciones para el escenario conservador tendencial se basa en la información presentada en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán de 2005 y las cartas de Uso del Suelo y Vegetación I, II, III y IV del INEGI. El inventario del sector Usos del Suelo Cambios de Uso de Suelo y Silvicultura se ha desarrollado siguiendo las Directrices del IPCC del año 1996 para la elaboración de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, por lo que en las proyecciones futuras se ha considerado la misma metodología.

Para la estimación de los cambios de biomasa en bosques y otros tipos de vegetación leñosa ha sido necesaria la proyección de las superficies de los bosques sujetos a manejo forestal. Tras un análisis de los efectos que las variables económicas ejercen



sobre el sector forestal, se ha determinado que existe una correlación débil de las variaciones ocurridas en dicho sector con las previsiones económicas establecidas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020. Por ello, se asume que ésta afecta en menor proporción que en los demás sectores analizados.

**Tabla 87: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del inventario de Yucatán y las series cartográficas del INEGI.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Plantación comercial</i>	2.1	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	7.7%
<i>Reforestación</i>	4.1	4.1	4.1	4.2	4.3	4.4	7.7%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.4</b>	<b>6.5</b>	<b>6.7</b>	<b>7.7%</b>

Como puede observarse en la tabla anterior, las plantaciones comerciales y las reforestaciones presentarían un incremento en torno a un 7.7% a 2030, respecto a 2005. En su totalidad, la superficie de masas forestales manejadas del Estado de Yucatán obtendría un incremento de un 7.7% en el año 2030, respecto a los valores de 2005, pasando de 6.2 kha en 2005 a 6.7 kha en 2030.

En base a las superficies de bosques manejados proyectadas, se generarían las siguientes absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes del crecimiento de la biomasa.

**Tabla 88: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Plantación comercial</i>	11,510	11,413	11,504	11,795	12,093	12,398	7.7%
<i>Reforestación</i>	31,203	30,940	31,188	31,975	32,783	33,610	7.7%
<b>TOTAL</b>	<b>42,713</b>	<b>42,353</b>	<b>42,692</b>	<b>43,770</b>	<b>44,875</b>	<b>46,008</b>	<b>7.7%</b>

Las variaciones en las remociones estarían directamente relacionadas con dos variables. Por un lado, con el factor de emisión estimado en función del tipo de vegetación y, por otro, con las superficies que ocupan los distintos tipos de vegetación. En su totalidad los bosques manejados absorbieron en el año 2005 42,713

toneladas de CO<sub>2</sub> y a partir de los datos obtenidos se ha estimado que en el año 2030 absorberían 46,008 toneladas de CO<sub>2</sub>, aumentando las remociones en un 7.7%, respecto a los valores de 2005.

Los bosques manejados, además de suponer un reservorio de carbono, son también una fuente de emisión, debido a la producción forestal maderable que se realiza en los mismos. En este sentido, el IPCC en su metodología del año 1996 identifica dos fuentes de emisión diferenciadas, donde una de ellas haría referencia a la extracción de madera en rollo para la producción de escuadría, celulosa, chapa, triplay, postes, pilotes, morillos y durmientes; y la otra fuente se relacionaría la extracción de madera para la producción de la leña y carbón.

La proyección de la extracción de la madera se ha realizado considerando que la producción forestal aumenta en la misma medida que lo hace la superficie forestal manejada. De este modo, a partir de las tasa de extracción de madera en rollo por superficie (m<sup>3</sup>/kha) obtenidas de la serie histórica y de las superficies de bosques manejados proyectadas a futuro se han estimado los volúmenes de madera extraídos. En cuanto al consumo de leña y carbón, las series históricas muestran una elevada incertidumbre tal y como se muestra en la siguiente tabla. En ella se observan datos dispares en el periodo 1997-2011. Esta distribución de datos no ha permitido una correlación consistente ente el consumo de leña y las distintas variables consideradas (porcentaje de la población rural, PIB, etc.). Por ello, se ha estimado una tendencia a partir de los años disponibles, a través de la cual en 2030 se prevería que no hubiese uso de leña o carbón. Finalmente, respecto a la producción de madera como combustible, se han seguido las tendencias marcadas por las estadísticas de la FAO a futuro teniendo en cuenta la influencias el PIB en las mismas.

**Tabla 89: Producción forestal por producto en metros cúbicos de madera.**

Fuente: adaptado de la SEMARNAT.

Año	Extracción de madera (m <sup>3</sup> )	Leña y carbón (m <sup>3</sup> )	Madera combustible (m <sup>3</sup> )
1997	3,519	46	461,782
1998	5,489	1,182	463,454
1999	7,619	4,477	466,376
2000	21,761	9,681	469,220
2001	7,199	9,327	471,416
2002	12,016	13,935	473,623
2003	4,753	15,286	475,840
2004	2,312	7,681	478,067

Año	Extracción de madera (m <sup>3</sup> )	Leña y carbón (m <sup>3</sup> )	Madera combustible (m <sup>3</sup> )
2005	1,465	5,523	480,305
2006	651	607	481,216
2007	412	40	482,203
2008	773	372	483,156
2009	1,188	1,007	484,110
2010	2,996	-	485,066
2011	4,472	-	485,134

**Tabla 90: Emisiones debidas a la extracción de biomasa cosechada en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por extracción de madera en rollo	2,552	5,218	10,328	10,589	10,856	11,130	336%
Por consumos de leña y carbón	9,619	0	1,318	0	0	0	-100%
Por producción de madera combustible	-836,532	-844,823	-775,089	-781,526	-789,171	-798,251	-5%
<b>TOTAL</b>	<b>-848,702</b>	<b>-850,041</b>	<b>-787,017</b>	<b>-792,404</b>	<b>-800,323</b>	<b>-809,685</b>	<b>-5%</b>

La tabla anterior muestra la variación de las emisiones de GEI derivadas de la extracción de madera en rollo, el uso de leña y carbón y la producción de madera combustible. Según las proyecciones realizadas, las emisiones debidas a la extracción de madera aumentarían en un 336% en 2030, respecto a los valores obtenidos en el año 2005, alcanzando al final del periodo 11,130 toneladas de CO<sub>2</sub>e. En cuanto al consumo de leña y carbón, la tendencia histórica muestra una disminución en el uso dichos combustibles, por lo que en base a los datos disponibles en el año 2030 no se generarían emisiones debidas a su uso. Por su parte, las emisiones asociadas a producción de madera combustible se verían reducidas en un 5% a 2030 respecto a 2005.

Otra fuente de emisión a tener en cuenta en este sector es la referente a la conversión de los bosques y praderas. Para ello, se ha partido de las series cartográficas I, II, III y IV del INEGI, de los años 1979, 1993, 2002 y 2007 respectivamente, obteniéndose matrices de cambio de uso de suelo entre las distintas series. A partir de las series históricas de superficies forestales del Estado estimadas, según las series cartográficas mencionadas, se han obtenido las superficies anuales deforestadas hasta el año 2007. A partir de dicho año hasta el año 2010 se han proyectado a futuro las superficies deforestadas según la tendencia mostrada entre las dos últimas series (2002 y 2007). A partir del 2011, las proyecciones a futuro de las deforestaciones se han estimado en base a la correlación con las previsiones económicas establecidas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020, siguiendo las mismas directrices que se han empleado para las superficies manejadas.

Una vez obtenidos los datos de deforestaciones anuales se han estimado, del mismo modo que en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán de 2005, las

emisiones de CO<sub>2</sub>e generadas por la combustión de biomasa aérea *in situ* y por la descomposición de la biomasa aérea.

**Tabla 91: Emisiones de GEI debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-550,751	-862,384	-1,174,445	-1,486,207	478%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-286,913	-309,769	-332,193	-352,710	18%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-837,664</b>	<b>-1,172,153</b>	<b>-1,506,637</b>	<b>-1,838,917</b>	<b>230%</b>

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, las emisiones de CO<sub>2</sub>e generadas por la quema *in situ* mostrarían una tendencia de crecimiento positivo con una variación de un 478% en 2030, respecto a los valores de 2005. Entre los años 2010 y 2020 se observaría una tendencia al alza en las emisiones. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>e por descomposición, mostrarían un incremento de un 18% en 2030 respecto a 2005.

En su totalidad, las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la tala de las selvas obtendrían un aumento de un 230% en 2030 en relación a las emisiones de 2005.

Por otro lado, se ha estimado la emisión de otros gases diferentes al CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de biomasa, a partir de la cantidad de carbono liberado durante la que *in situ* proyectado anteriormente.

En la siguiente tabla, se puede observar que las variaciones de las emisiones son iguales para todos los tipos de gases. De este modo, las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> aumentarían en un 135% a 2030.

**Tabla 92: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de biomasa aérea en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-1,396	-1,778	-2,191	-2,635	135%
CO	-9,824	-9,155	-12,216	-15,554	-19,172	-23,060	135%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-10	-12	-15	-18	135%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-347	-442	-544	-655	135%

Por último, se han estimado las remociones ocurridas en las tierras abandonadas, las cuales pasan de ser cultivos o pastizales a entrar en transición hacia su hábitat potencial, y finalmente terminan convirtiéndose en un complejo ecosistema boscoso. Para estimar dichas absorciones se han utilizado los datos de las series cartográficas I, II, III y IV de INEGI, de los años 1979, 1993, 2002 y 2007. A partir de dichas series se han obtenido las superficies anuales nuevas identificadas como bosque. Las estimaciones a futuro se han obtenido, al igual que en los casos anteriores, hasta 2010, a partir de la tendencia mostrada entre las series III y IV, y a partir del año 2011 en base a la correlación con las previsiones económicas establecidas por la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020.

**Tabla 93: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario de conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	356,090	435,626	558,135	679,150	-63%

Tal y como se muestra en tabla anterior, las remociones por abandono de las tierras cultivadas descenderían en un 63% a 2030, respecto a los valores de 2005. Estas variaciones son debidas a que algunos tipos de bosque pasan de tener tasa de crecimiento a mostrar tasas de deforestación en las series que van de 1990 a 2007. Además, hay que tener en cuenta que para la estimación de las absorciones de cada año, se contemplan las áreas nuevas de bosque surgidas en los últimos 20 años y entre los 20 y 100 años atrás. Por ello, y debido a que a partir del año 2011 se ha asumido que ocurrirían más deforestaciones que abandonos de tierras, las absorciones descienden entre los años 2010 a 2030.

A continuación, se resumen las emisiones<sup>17</sup> y remociones de CO<sub>2</sub> que se obtendrían de las diferentes categorías analizadas en el en el sector USCUS para los años estudiadas. El resultado total en términos de emisiones muestra que las remociones debidas al incremento de la biomasa de tierras forestales manejadas y las debidas a las tierras abandonadas en el año 2005 superan a las emisiones generadas en las demás categorías, sin embargo, a futuro se prevé que las emisiones superen a las absorciones.

<sup>17</sup> Siguiendo las Directrices del IPCC para los inventarios de gases de efecto invernadero del año 1996 para el sector USCUS, las emisiones se han representado con símbolo negativo.

**Tabla 94: Emisiones y remociones de GEI del sector USCUS en el escenario de conservador tendencial.**

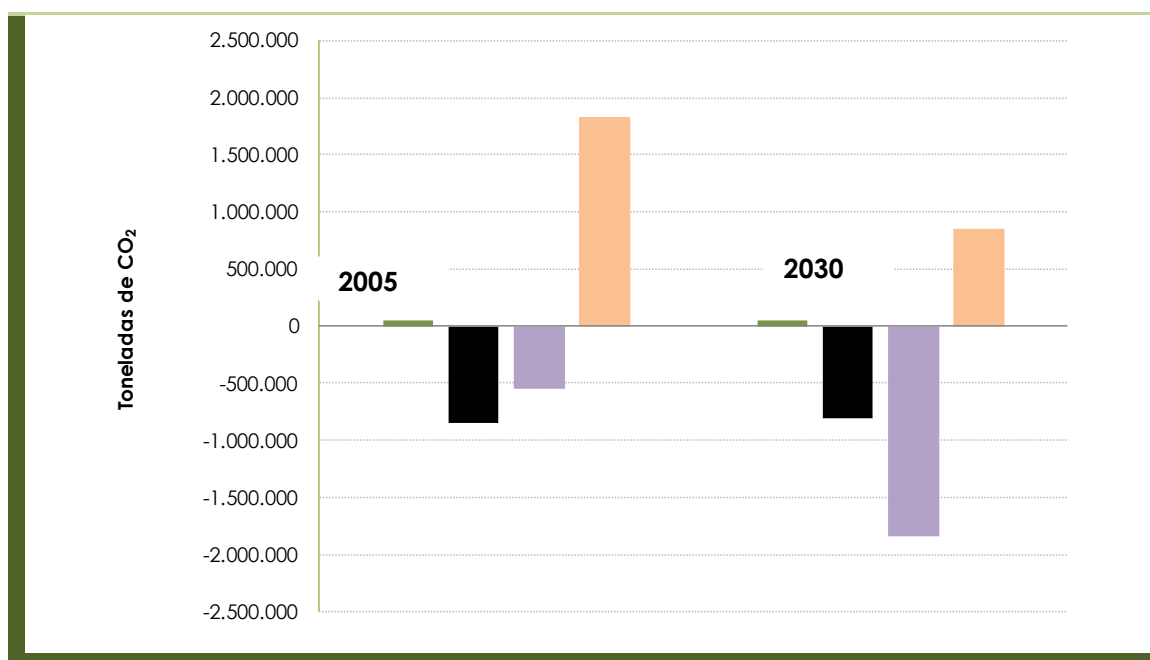
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> ) <sup>18</sup>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,353	42,692	43,770	44,875	46,008	8%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-787,017	-792,404	-800,323	-809,685	-5%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-837,664	-1,172,153	-1,506,637	-1,838,917	230%
Abandono de las tierras cultivadas	1,833,990	796,104	393,584	513,405	681,473	854,306	-53%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,488</b>	<b>-1,188,405</b>	<b>-1,407,382</b>	<b>-1,580,613</b>	<b>-1,748,287</b>	<b>-471%</b>

En el siguiente gráfico se muestra el reparto de las emisiones y absorciones del año 2005 y 2030.

**Gráfico 42: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

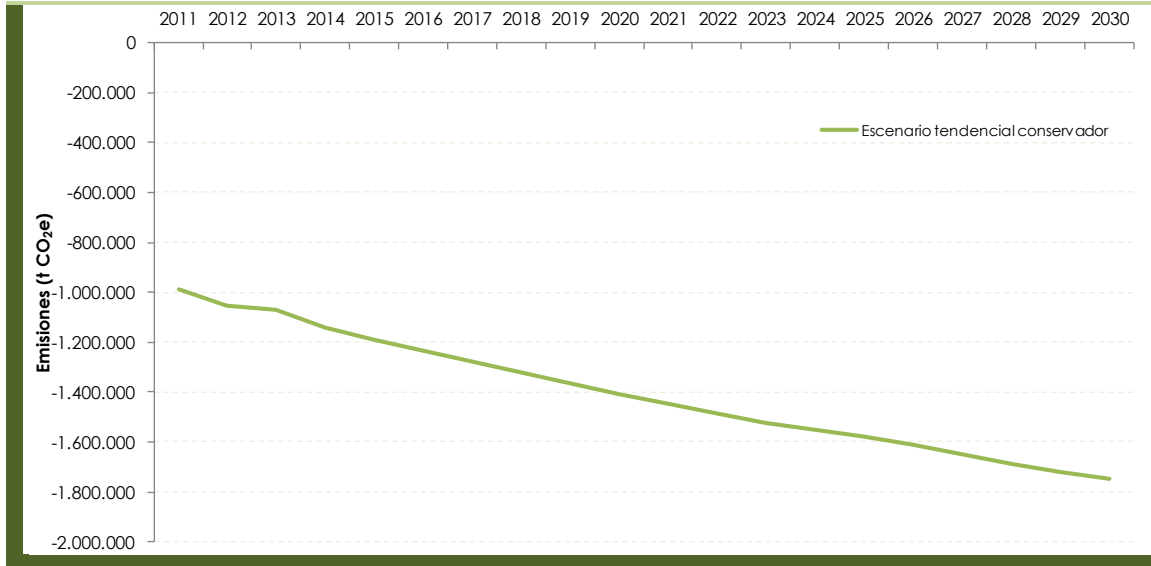


Tal y como se ha mencionado anteriormente y como se puede comprobar en el gráfico representado a continuación, a lo largo del periodo las emisiones se incrementarán bastante en el escenario conservador tendencial.

<sup>18</sup> En base a lo establecido en la metodología IPCC de 1996, el signo negativo se emplea en el sector USCUS para las emisiones y el signo positivo para las remociones.

**Gráfico 43: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUSS el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.3. Escenario Optimista tendencial

#### 6.3.1. Totales hasta el año 2030

Se trata del escenario en el que se produciría un mayor crecimiento económico y, por tanto, también un mayor crecimiento de las emisiones de GEI. Tal y como muestra el gráfico, la tendencia de las emisiones en el periodo de proyección es claramente ascendente, con dos años en los que se produciría una ligera reducción, causada por el aumento de las exportaciones eléctricas, pero que no tienen apenas efecto en el resultado final.



**Gráfico 44: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



En la tabla inferior se incluyen los valores numéricos de las emisiones por sector a lo largo del periodo así como el incremento de las emisiones que se produce entre 2005 y 2030. Tal y como se puede observar, en el cómputo global, si no se contabilizan las emisiones de la energía eléctrica exportada, se produciría un incremento de las emisiones del 100% entre 2005 y 2030. Si también se contabiliza la energía eléctrica exportada, el incremento es aún mayor, alcanzando el 131% en 2030, ya que las exportaciones de electricidad se irían reduciendo a lo largo del periodo.

En el análisis sectorial es particularmente destacado el incremento que se produce en el sector residuos, cuyas emisiones se multiplicarían por cinco de 2005 a 2030, también cabe destacar el sector transporte, para el cual las emisiones prácticamente se triplicarían de 2005 a 2030. Además, hay otros sectores cuyo incremento de emisiones sería también notable, como el sector residencial, el sector servicios y el de generación de energía eléctrica. Por el contrario, el incremento que se produciría en el sector agropecuario es muy reducido, de apenas un 15% en 2030 respecto a 2005. En USCUS la situación se revertería de 2005 a 2030, pasando de producirse remociones al principio del periodo de proyección a darse emisiones al final del periodo de proyección.

**Tabla 95: Emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e por sector en el escenario optimista tendencial.**

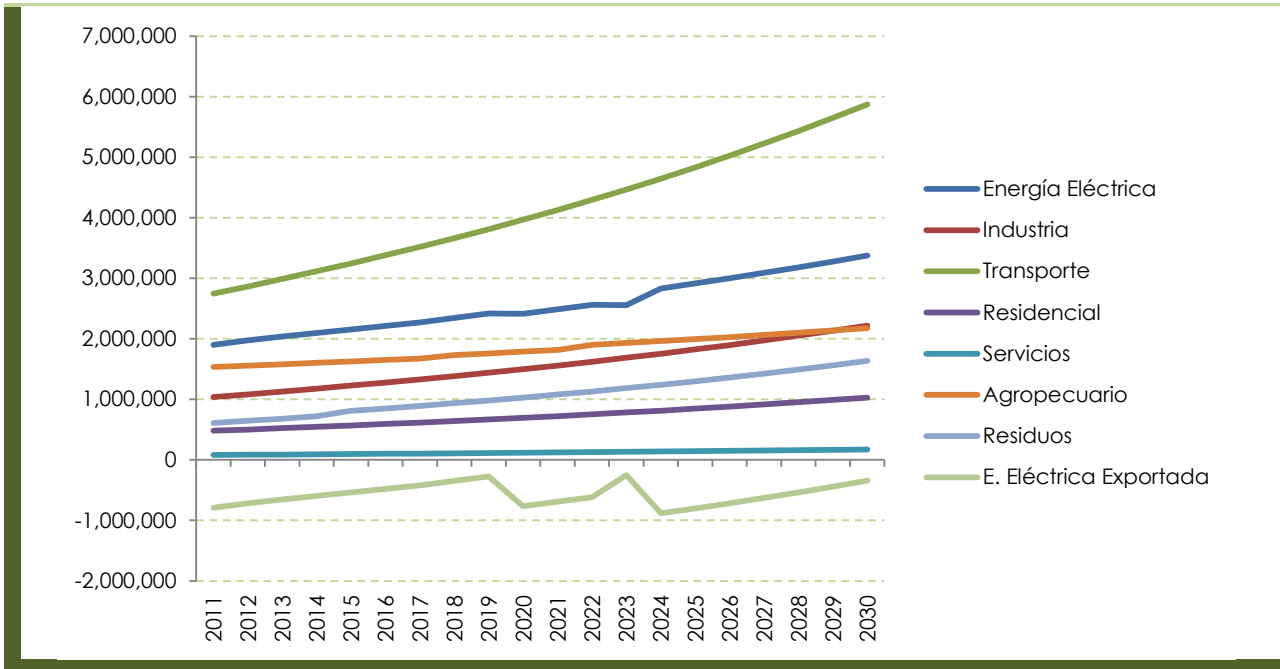
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Energía Eléctrica	1,963,608	1,898,549	2,152,560	2,411,991	2,915,751	3,375,213	72%
Industria	1,041,058	1,041,055	1,226,289	1,498,221	1,824,017	2,217,886	113%
Transporte	2,155,548	2,637,247	3,245,590	3,966,457	4,830,114	5,874,225	173%
Residencial	439,278	461,980	568,542	694,819	846,109	1,029,010	134%
Servicios	73,131	77,960	95,942	117,252	142,782	173,647	137%
Agropecuario	2,036,760	1,663,791	1,815,539	2,038,895	2,318,500	2,575,511	26%
Residuos	331,138	578,815	810,712	1,029,433	1,299,488	1,635,721	394%
<b>TOTAL</b>	<b>8,040,520</b>	<b>8,359,396</b>	<b>9,915,174</b>	<b>11,757,068</b>	<b>14,176,763</b>	<b>16,881,212</b>	<b>110%</b>
E. Eléctrica Exportada	-1,222,197	-1,001,683	-539,355	-766,891	-801,316	-341,853	-72%
<b>TOTAL</b>	<b>6,818,323</b>	<b>7,357,713</b>	<b>9,375,819</b>	<b>10,990,178</b>	<b>13,375,447</b>	<b>16,539,359</b>	<b>143%</b>
USCUSS (remociones)	471,165	-515,488	-979,563	-1,002,172	-990,604	-988,531	-310%

La evolución sectorial de las emisiones se puede observar en el gráfico inferior. El sector transporte es el sector que más emisiones de GEI aportaría de todos ellos. Tras él se sitúa el sector de generación de energía eléctrica, pero a una distancia considerable. En el gráfico también se incluyen las emisiones que se producirían por la electricidad que se produce en el Estado pero no es consumida en él, puesto que el Estado de Yucatán produce más energía eléctrica que la que consume internamente.

**Gráfico 45: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial.**

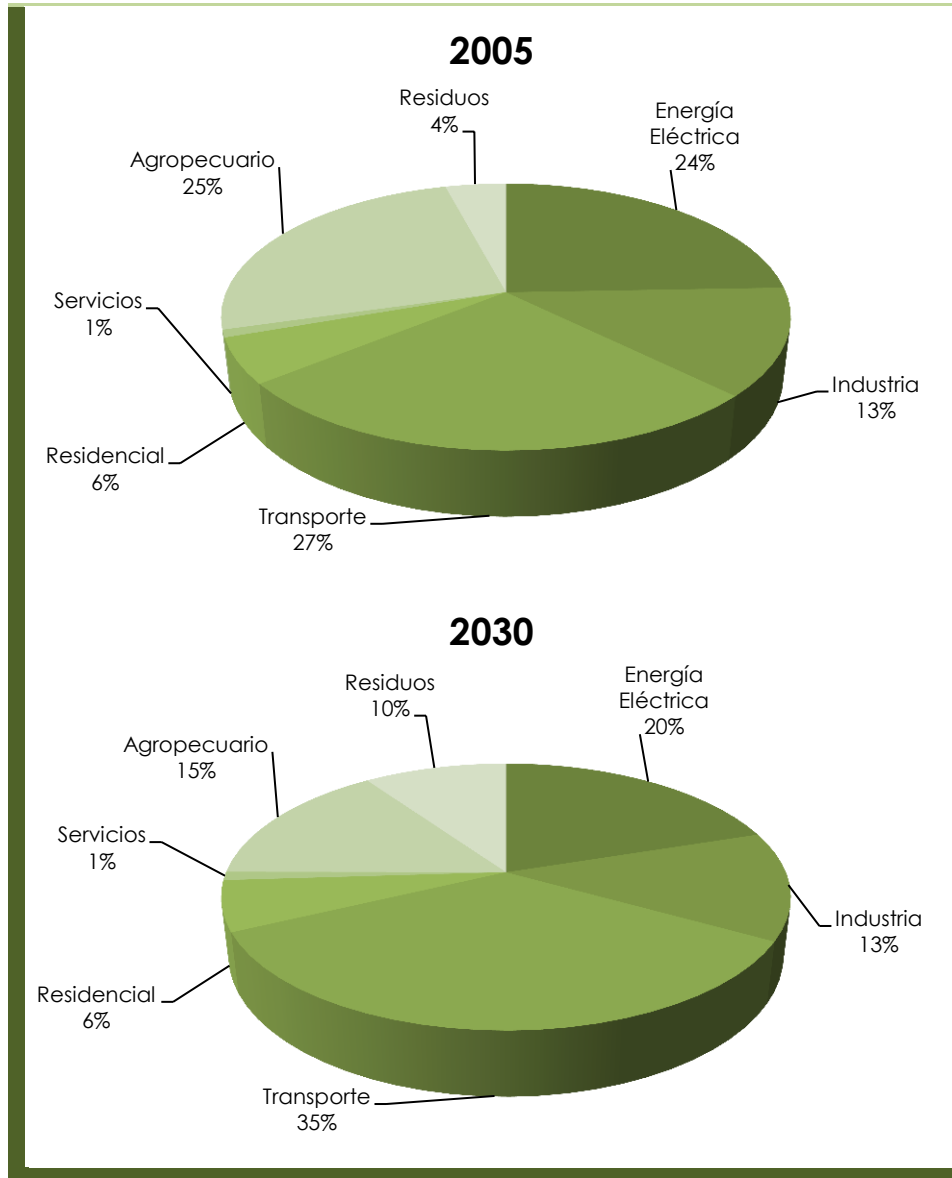
Fuente: Elaboración propia.



Si se realiza la comparación de las emisiones por sector de 2005 y 2030, se aprecia claramente el incremento de las emisiones del sector transporte, cuya contribución pasaría del 27% en 2005 al 36% en 2030. También para el sector residuos se produce un importante incremento en el porcentaje de participación. Esto contrasta con otros sectores, como los servicios, el residencial o la industria, cuya contribución no variaría, o el agropecuario y el de generación de energía eléctrica, cuya cuota de contribución se reduciría de 2005 a 2030.

**Gráfico 46: Evolución del reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.**

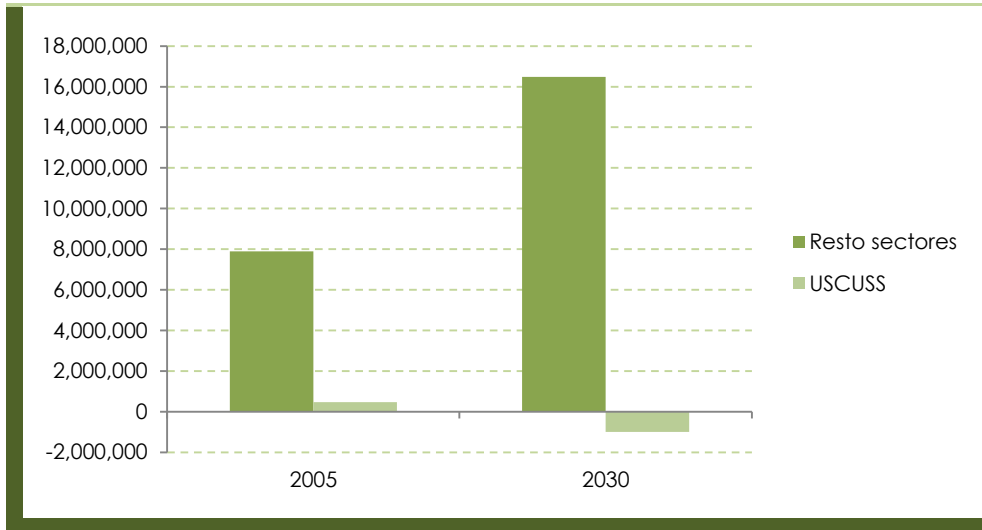
Fuente: Elaboración propia.



En el escenario optimista tendencial, si se analiza la evolución de las emisiones y las remociones entre 2005 y 2030, se observa que, en el caso de las emisiones de todos los sectores excepto USCUS, se produce un incremento significativo de las mismas, mientras que, en el caso de la contribución del sector USCUS, se pasa de darse remociones en 2005 a tener lugar emisiones en 2030.

**Gráfico 47: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.**

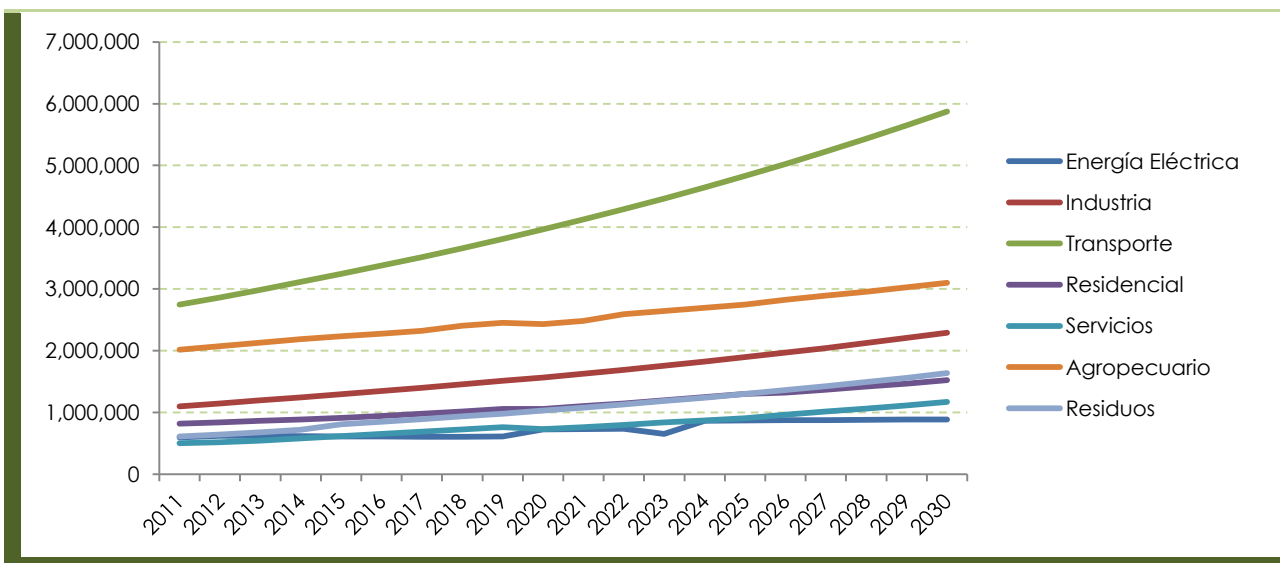
Fuente: Elaboración propia.



En el gráfico inferior se muestra la evolución de las emisiones responsables por sector, es decir, la evolución de las emisiones si las emisiones indirectas causadas por el consumo eléctrico se reparten entre los sectores que consumen dicha electricidad en lugar de asignárseles al sector de generación de energía eléctrica. Pese a que el transporte no consume energía eléctrica alguna, incluso en este enfoque de emisiones responsables, seguiría siendo el mayor contribuidor a las emisiones del Estado de Yucatán.

**Gráfico 48: Evolución de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial.**

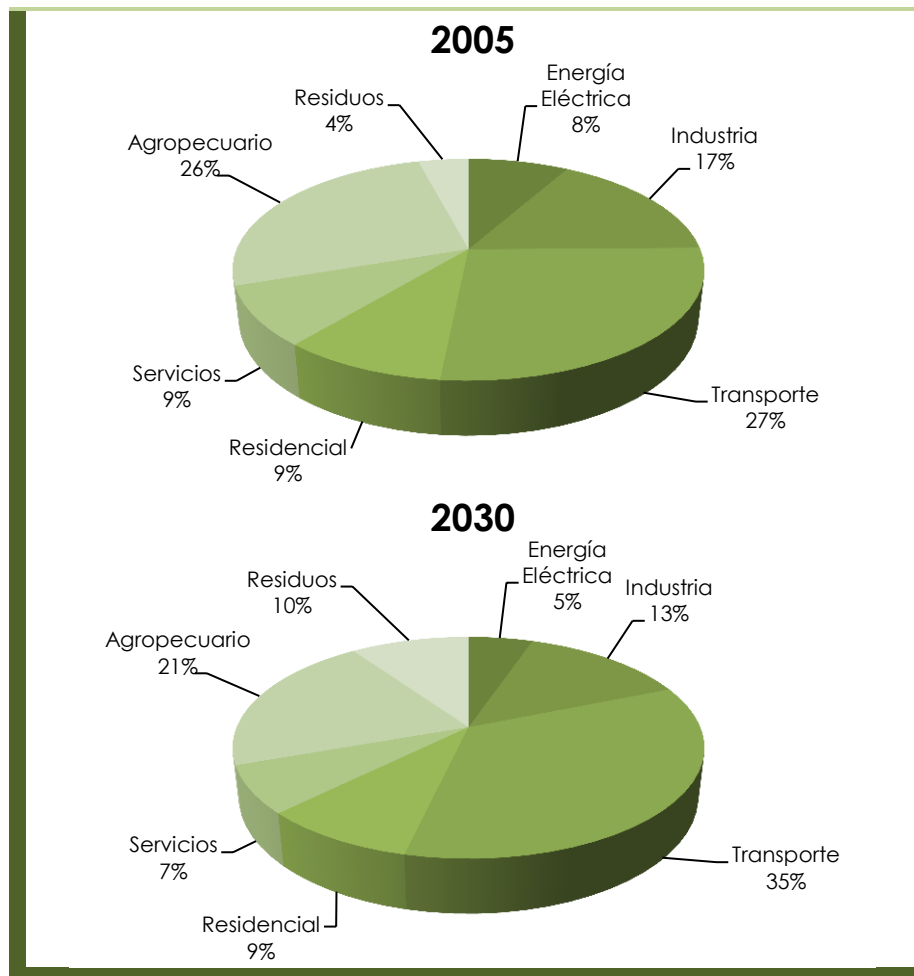
Fuente: Elaboración propia.



Además, el efecto de este cambio se aprecia en el sector agropecuario, en el sector de industria y en el sector servicios, entre los cuales se consume la electricidad del Estado de Yucatán. Del mismo modo, el sector de generación de energía eléctrica pasaría de ser el segundo mayor contribuidor a las emisiones, a situarse sólo por encima del sector residuos.

**Gráfico 49: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



En la comparación del reparto sectorial de las emisiones entre 2005 y 2030 no se observa variación alguna para el sector transporte respecto al enfoque anterior. Sin embargo, sí que se aprecia que las emisiones que antes se atribuían al sector de generación de energía eléctrica, ahora se reparten entre el agropecuario, la industria, los servicios y el sector residencial.

### 6.3.2. Resultados sectoriales

#### 6.3.2.1. Sector de generación eléctrica.

Los principales puntos en los que se basa el escenario optimista tendencial para el sector de generación eléctrica son los ya comentados en el escenario conservador tendencial.

En el escenario optimista tendencial, tanto la generación bruta, como los autoconsumos y las pérdidas son los mismos que los del escenario conservador tendencial, ya que se han proyectado en función de las mismas variables.

Sin embargo, a diferencia de la generación, la demanda eléctrica proyectada para el escenario optimista tendencial difiere de la demanda proyectada para el escenario conservador tendencial, ya que se ha tomado como base un crecimiento económico diferente para realizar la proyección. En el escenario optimista tendencial, se produce un incremento mayor de la demanda a lo largo del periodo que en el escenario conservador tendencial.

La demanda eléctrica, por su parte, se incrementará en más el 170% en 2030 respecto a 2005, según la proyección realizada a partir de la tasa de crecimiento propuesta para el escenario optimista tendencial.

**Tabla 96: Demanda de electricidad en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

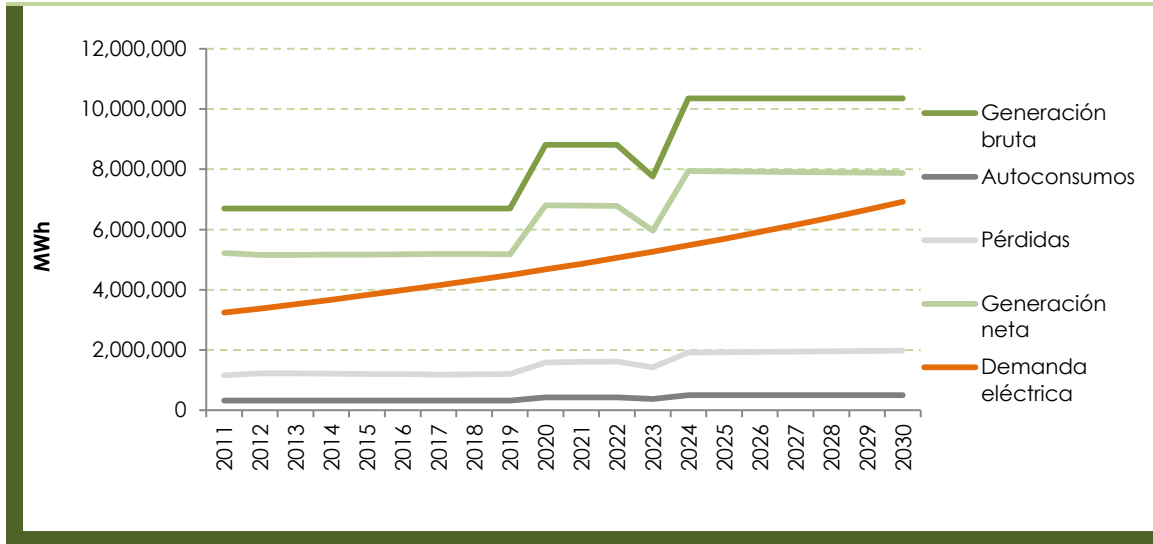
(MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Demanda eléctrica	2,531,409	3,107,505	3,824,295	4,673,697	5,691,348	6,921,629	173.43%

Pese a que en este escenario, el incremento de la demanda es superior al planteado en el escenario conservador tendencial, la generación neta sigue siendo mayor que la demanda eléctrica proyectada, por lo que se puede seguir afirmando que el Estado de Yucatán tendría un excedente de energía eléctrica generada que podría exportarse.



**Gráfico 50: Evolución de la generación neta, la generación bruta, las pérdidas y los autoconsumos de electricidad en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



La generación eléctrica en el escenario optimista tendencial proyectada se lleva a cabo de la misma forma que en el escenario conservador tendencial. Es por ello que, tanto la generación eléctrica por tipo de instalación como las emisiones de CO<sub>2</sub>e, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O derivadas de dicha generación, son iguales. Así, de la misma forma que en el escenario anterior, en el gráfico superior se aprecia con claridad los años en los que se prevé que se instalen nuevas instalaciones de generación y también los años en los que se producirían retiradas.

En este escenario, las emisiones derivadas de las exportaciones de electricidad varían respecto al escenario anterior, ya que, al depender directamente de la demanda eléctrica del Estado de Yucatán, en este caso las exportaciones son menores, por lo que las emisiones que se atribuyen al Estado son mayores.

**Tabla 97: Emisiones de CO<sub>2</sub>e de la generación y las exportaciones eléctricas.**

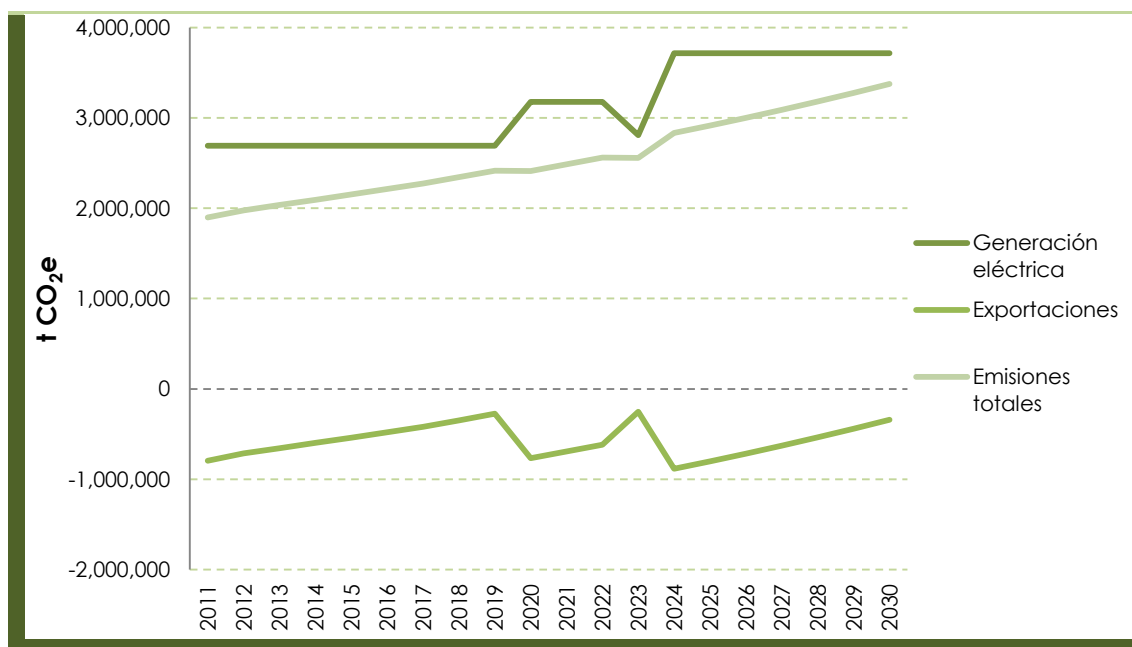
Fuente: Elaboración propia.

† CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Exportaciones	-1,222,197	-1,001,683	-539,355	-766,891	-801,316	-341,853	-72.03%
Generación eléctrica	3,185,806	2,900,231	2,691,915	3,178,882	3,717,067	3,717,067	16.68%
Emisiones totales	1,963,608	1,898,549	2,152,560	2,411,991	2,915,751	3,375,213	71.89%

La tendencia de las emisiones totales es claramente ascendente en este escenario tendencial y todavía más acentuada que la observada en el escenario conservador tendencial. La causa de dicha acentuación es el aumento de la demanda eléctrica, que implica unas exportaciones menores, con lo que se contabilizan más emisiones en el Estado de Yucatán. De hecho, tal y como se observa en el gráfico, al final del periodo proyectado, las emisiones de las exportaciones siguen una tendencia alcista, acercándose progresivamente a valores positivos. De mantenerse la misma tendencia a partir de 2030, es probable que la electricidad generada en el Estado no fuera suficiente para suplir la demanda interna.

**Gráfico 51: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.3.2.2. Sector industrial.

La proyección de las emisiones del sector industrial para el escenario optimista tendencial se ha basado en la tendencia de crecimiento del PIB en este escenario. Esta tendencia de crecimiento de PIB es sensiblemente superior a la tendencia aplicada en el escenario conservador tendencial, por lo que se observa, para las emisiones del sector, un claro incremento en todos los casos.

**Tabla 98: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,337	2,856	3,478	4,230	113.79%
GLP	89	105	130	158	193	234	164.72%
Diésel	248	262	322	394	479	583	135.37%
Combustóleo	1,616	673	829	1,013	1,233	1,500	-7.18%
Gas natural	759	804	990	1,210	1,473	1,792	136.17%

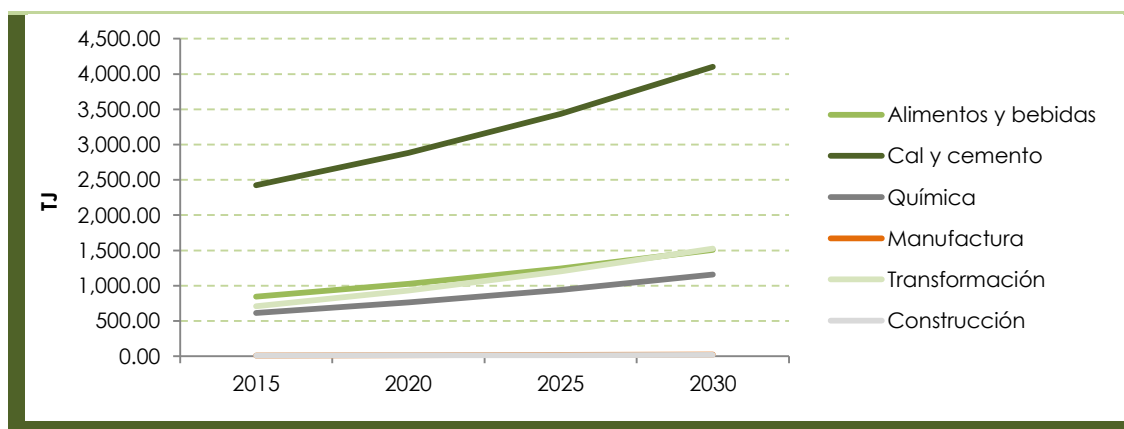
En todos los combustibles analizados se produce un claro incremento de consumo respecto al escenario conservador tendencial derivado de la previsión alcista del PIB asumido. Incluso en el caso del combustóleo, cuyo consumo en dicho escenario se reducía en 2030 respecto a 2005, con un 43%, en este escenario en 2030 no llega a alcanzar el 8%

No obstante, pese a que el consumo en valores absolutos de todos los combustibles sea mayor en este escenario, el reparto de consumo permanece muy similar al expuesto en el escenario conservador tendencial, tal y como se puede observar en el gráfico.

Al igual que el consumo por tipo de combustible, el consumo por sector en el escenario optimista tendencial es muy similar al del escenario conservador tendencial. La principal variación es que las cantidades de combustible consumidas por cada uno de los sectores son significativamente superiores en este caso.

**Gráfico 52: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



Las emisiones de proceso, al verse igualmente afectadas por las previsiones económicas del escenario evolucionan de una forma paralela al consumo de combustibles. Es decir, los incrementos de producción son superiores que los observados en el escenario conservador tendencial, pero se mantienen los repartos entre los diferentes productos.

**Tabla 99: Producción de las industrias en el escenario optimista tendencial**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento (t clinca)	660,399	731,730	900,514	1,100,524	1,340,153	1,629,849	146.80%
Cal viva (t)	1,000	1,108	1,364	1,666	2,029	2,468	146.80%
Cal hidratada (t)	152,517	168,991	207,971	254,162	309,504	376,408	146.80%
Hierro y acero (t)	68	79	98	119	145	177	159.63%

Si en el escenario conservador tendencial el incremento de producción rondaba el 50% en el escenario conservador tendencial, en este caso es cercano al 150%. El efecto de esto se observa claramente en el gráfico inferior, en el que se aprecia la significativa pendiente de la línea en la que se incluyen los datos de producción de cemento.

Por último, para el consumo de halocarburos se observa el mismo resultado mencionado tanto para las emisiones de combustión como las de proceso, se mantiene el peso de los diferentes productos en el reparto pero se observa que su consumo es significativamente mayor que en el escenario conservador tendencial.

**Tabla 100: Consumo de halocarburos en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Consumo (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	215	244	300	367	447	544	152.58%
HFC-134a aire acondicionado móvil	245	278	342	418	509	619	152.58%
HFC-134a refrigeración residencial	610	692	426	521	634	771	26.29%
HFC-134a refrigeración comercial	3	3	4	5	6	7	152.72%

Esto se puede comprobar observando el gráfico, en el que se aprecia la pronunciada pendiente de las curvas de consumo de los diferentes halocarburos, que es particularmente destacada para el HFC-134a empleado en refrigeración residencial y el HFC-134a utilizado en aire acondicionado para uso móvil.

Por otra parte, si se compara el uso de unos productos con otros, se puede observar que, con claridad, el halocarburo menos consumido es el HFC-134a en aplicaciones comerciales. Los otros tres halocarburos tienen valores de consumo cercanos, siendo el más alto el HFC-134a para la refrigeración residencial, seguido por este mismo compuesto utilizado para el aire acondicionado móvil y por el HFC-22 empleado en el aire acondicionado residencial.

Por lo tanto, en este escenario, al ser los datos de actividad tanto de las emisiones de combustión, como de las de proceso y del consumo de halocarburos superiores a los del escenario conservador tendencial, las emisiones de GEI también son superiores en todos los casos, así como los incrementos de dichas emisiones en 2030 respecto a 2005.

**Tabla 101: Emisiones de los sectores industriales en el escenario optimista tendencial.**

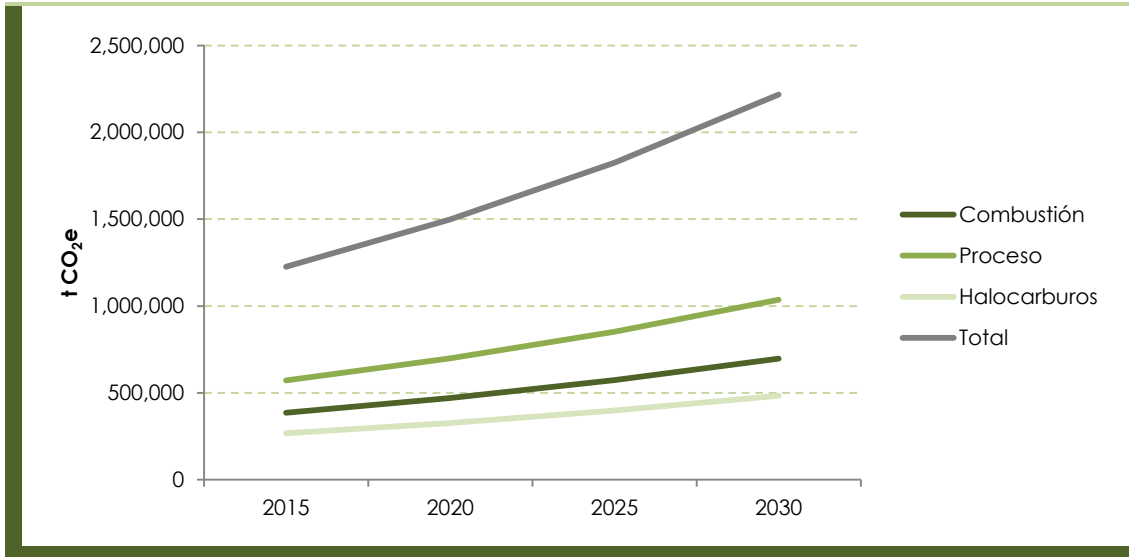
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Combustión	388,596	312,346	385,320	470,902	573,436	697,394	79.47%
Proceso	419,913	465,269	572,590	699,766	852,133	1,036,335	146.80%
Halocarburos	207,853	192,869	268,380	327,553	398,448	484,156	132.93%
Total	1,016,362	970,484	1,226,289	1,498,221	1,824,017	2,217,886	118.22%

En este escenario, la principal fuente de emisiones siguen siendo las emisiones de proceso, seguidas por las de combustión, situándose en último lugar las causadas por el uso de halocarburos. Sin embargo, el incremento de las emisiones es netamente superior, alcanzándose, para el total de las emisiones del sector, un incremento de más del 115% en 2030.

**Gráfico 53: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



La pendiente de esta gráfica es significativamente mayor que en el anterior escenario tendencial, lo que implica un mayor crecimiento de las emisiones de GEI año a año, que pasan de aproximadamente un millón de toneladas en 2005 a más de dos millones en 2030.

El análisis particularizado para las emisiones de combustión aporta más información en el mismo sentido. En este escenario se producen importantes incrementos en las emisiones de todos los combustibles, excepto el combustóleo/diésel, tanto en 2020 como en 2030 respecto a 2005. En el caso del combustóleo, frente a la reducción de emisiones de más del 40% en 2030 respecto a 2005 del escenario anterior, en este escenario la reducción sólo alcanza el 6.88 respecto a las emisiones en 2030.

**Tabla 102: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	197,501	189,570	233,879	285,825	348,060	423,299	114.33%
GLP	5,530	6,572	8,095	9,893	12,047	14,651	164.94%
Diésel	18,166	19,196	23,705	28,969	35,277	42,903	136.17%
Combustóleo	125,054	52,111	64,338	78,628	95,748	116,446	-6.88%
Gas natural	42,343	44,896	55,304	67,587	82,303	100,095	136.39%

El resto de combustibles, exceptuando el combustóleo, ven incrementadas sus emisiones tanto en 2020 como en 2030 respecto a 2005. El coque es el combustible que más emisiones genera de todos ellos, en parte porque es el combustible más consumido y también porque tiene un factor de emisión elevado. En segundo lugar en cuanto a aportación se sitúa el combustóleo/diésel, seguido por el gas natural y el GLP.

No obstante, pese al incremento de las emisiones de los diferentes combustibles, los porcentajes de reparto de cada uno de ellos no sufren variación alguna en este escenario respecto al escenario conservador tendencial a lo largo del periodo proyectado.

Las emisiones de proceso de este escenario de proyección presentan una evolución similar a las de combustión si se realiza la comparación entre el escenario conservador tendencial y el escenario optimista tendencial. En este escenario, se sigue manteniendo la predominancia de las emisiones de la producción de cemento respecto al resto de procesos industriales, siendo las emisiones de producción de cal viva y hierro y acero significativamente inferiores al cemento y la cal hidratada.

**Tabla 103: Emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Cemento (t clinca)	336,804	373,182	459,262	561,267	683,478	831,223	146.80%
Cal viva (t)	750	831	1,023	1,250	1,522	1,851	146.80%
Cal hidratada (t)	82,359	91,255	112,304	137,248	167,132	203,260	146.80%
Hierro y acero (t)	0.34	0.40	0.49	0.60	0.73	0.88	159.63%

El mayor crecimiento proyectado mediante el modelo implica que se incrementen notablemente las emisiones respecto al escenario conservador tendencial, triplicándose los porcentajes de incremento de las mismas en 2030 respecto a 2005. En cuanto al reparto entre los diferentes productos, debido a las características del modelo de proyección, se mantiene igual que el mostrado anteriormente.

Las últimas emisiones a considerar en este sector son las de los halocarburos. En este caso, al igual que en los anteriores, la principal característica del escenario optimista es el gran crecimiento de las emisiones.



**Tabla 104: Emisiones de proceso en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
HFC-22 aire acondicionado residencial	59,185	54,878	76,583	93,593	113,972	138,609	134.20%
HFC-134a aire acondicionado móvil	105,047	97,544	135,351	164,979	200,474	243,387	131.69%
HFC-134a refrigeración residencial	42,794	39,680	55,375	67,674	82,409	100,223	134.20%
HFC-134a refrigeración comercial	827	767	1,070	1,308	1,593	1,937	134.20%

También para los halocarburos permanece constante el reparto de las emisiones por tipo de gas respecto a lo mencionado en la sección anterior a causa del modelo de proyección empleado.

### 6.3.2.3. Sector comercio y servicios.

Para el escenario optimista tendencial del sector servicios, en el modelo de proyección se han incluido los datos económicos proyectados de crecimiento de PIB de Latinoamérica. Este crecimiento es superior al reportado en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030, por lo que tanto los consumos como las emisiones calculadas en el escenario optimista tendencial son superiores a los valores obtenidos en el escenario conservador tendencial.

Los consumos de combustibles proyectados para los dos combustibles utilizados en el sector servicios en el Estado de Yucatán se muestran en la tabla inferior. Al igual que en el escenario conservador tendencial, el combustible más consumido es el diésel. No obstante, en este escenario, los valores de consumo son claramente mayores, alcanzándose un incremento de consumo de más del 130% en 2030 respecto al 2005, frente 40% que se daba en el escenario conservador tendencial.

**Tabla 105: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	199.51	243.82	296.92	361.10	136.79%
Diésel	861.90	919.19	1,131.22	1,382.47	1,683.48	2,047.40	137.55%

Un mayor incremento del consumo implica, por tanto, un crecimiento interanual más pronunciado. Es por ello que, tal y como se observa en el gráfico inferior, en este escenario las curvas de consumo de combustibles son más pronunciadas que las expuestas en el escenario conservador tendencial.

Tal y como se ha mencionado con anterioridad y como puede mencionarse a partir de la información de consumos reportada, las emisiones en el escenario optimista tendencial proyectadas para el sector servicios son superiores a las del escenario conservador tendencial. De hecho, en 2030, para el escenario optimista tendencial según lo proyectado, las emisiones superarían las 170,000 t CO<sub>2</sub>e, mientras que en el escenario conservador tendencial apenas superarían las 100,000 t CO<sub>2</sub>e.

**Tabla 106: Emisiones de GEI en el escenario optimista tendencial para el sector servicios.**

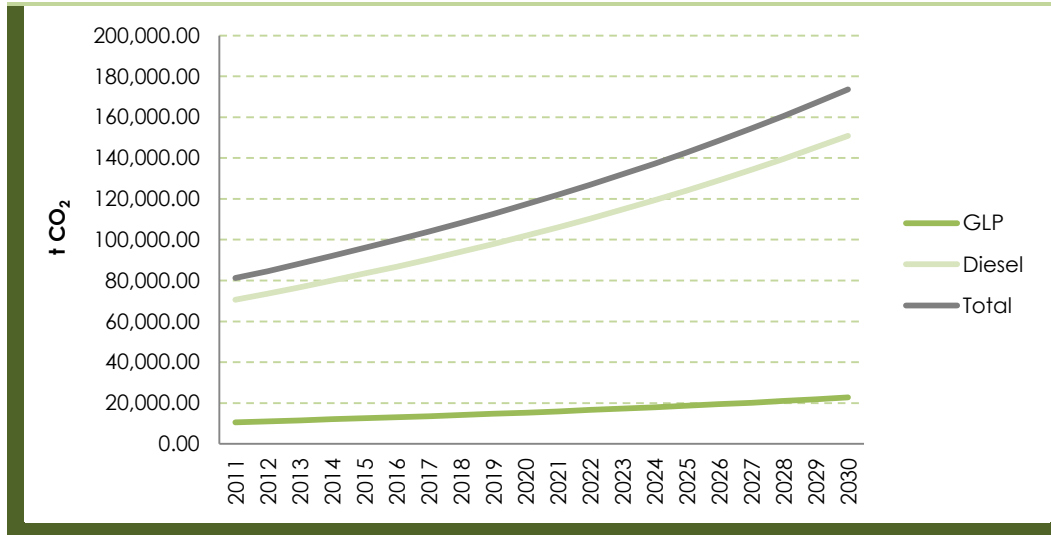
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	9,590.00	10,195.11	12,546.76	15,333.48	18,672.19	22,708.50	136.79%
Diésel	63,540.78	67,764.59	83,395.46	101,918.15	124,109.82	150,938.24	137.55%
Total	73,130.78	77,959.70	95,942.22	117,251.63	142,782.01	173,646.75	137.45%

El incremento de las emisiones se observa con claridad en el gráfico inferior, en el que se representan las emisiones de GEI, expresadas en toneladas de CO<sub>2</sub>e. Tal y como se puede observar, las emisiones de diésel son netamente superiores a las emisiones de GLP.

**Gráfico 54: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista tendencial para el sector servicios.**

Fuente: Elaboración propia.



En este escenario, el reparto de emisiones por combustible no varía respecto al observado en el escenario optimista tendencial, los porcentajes de reparto son los mismos no variando la situación a lo largo del periodo proyectado. Además, tampoco se produce variación alguna en los porcentajes de reparto de emisiones

#### 6.3.2.4. Sector residencial.

En el escenario optimista tendencial de las proyecciones de emisiones del sector residencial, al igual que en el escenario conservador tendencial, el diseño del modelo ha utilizado como base la tendencia de consumo de combustible de los hogares en México adaptada para el Estado de Yucatán. Sin embargo, el crecimiento aplicado en este escenario es superior al del conservador tendencial, ya que toma como referencia el crecimiento de PIB proyectado para Latinoamérica.

**Tabla 107: Consumo de combustibles por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	7,154	8,743	10,647	12,948	117%
GLP	6,165	6,544	8,054	9,842	11,986	14,576	136%
Queroseno	33	26	33	40	48	59	78%
Gas Natural	680	673	829	1,013	1,233	1,500	120%

En este escenario se sigue manteniendo el reparto del consumo por tipo de combustible. Sin embargo, el crecimiento del consumo de cada uno de los combustibles es netamente superior al observado en el escenario conservador tendencial. En dicho escenario, ninguno de los combustibles superaba un crecimiento del 30% en 2030 respecto a 2005, mientras que, en este escenario, el combustible con menos crecimiento crecería en 2030 más de un 70% respecto a 2005.

La principal diferencia que se observa en los gráficos de evolución de consumo de combustibles de ambos escenarios es que la pendiente de las curvas en el caso del escenario optimista tendencial es significativamente mayor. Este hecho es particularmente destacado para la leña y el GLP, cuyos incrementos de consumo en 2030 respecto a 2005 serían del 117% y el 136%, respectivamente.

En este escenario, las emisiones seguirían una tendencia similar a las del escenario conservador tendencial. La no contabilización de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la leña implica que, pese a ser el segundo combustible más consumido y ser su consumo significativamente mayor que el de gas natural, sus emisiones serían menores.

**Tabla 108: Emisiones de CO<sub>2</sub>e por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial.**

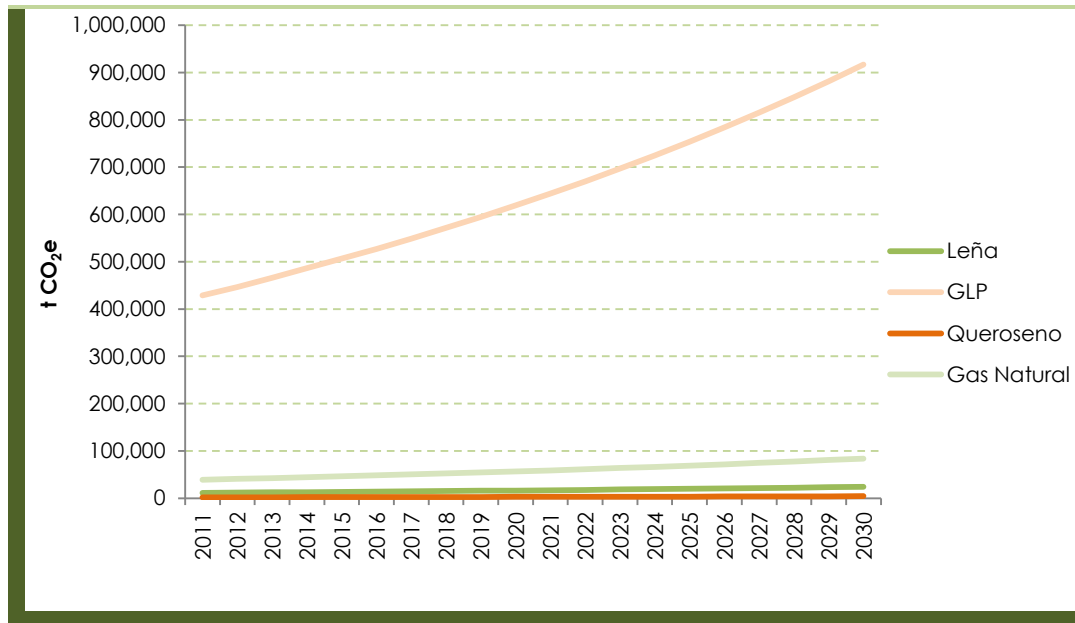
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	11,169	10,871	13,378	16,349	19,909	24,213	117%
GLP	387,677	411,545	506,473	618,964	753,738	916,671	136%
Queroseno	2,362	1,883	2,317	2,832	3,449	4,194	78%
Gas Natural	38,071	37,682	46,374	56,674	69,014	83,932	120%
<b>Total</b>	<b>439,278</b>	<b>461,980</b>	<b>568,542</b>	<b>694,819</b>	<b>846,109</b>	<b>1,029,010</b>	<b>134%</b>

En el gráfico se muestra la evolución de las emisiones para los diferentes combustibles. Destacan las emisiones de la leña, que son mayores, únicamente, que las emisiones de queroseno. Para el resto de combustibles, la tendencia de las emisiones no varía en gran medida respecto a la tendencia de consumo de combustible.

**Gráfico 55: Evolución de las emisiones por tipo de combustible en el escenario optimista tendencial para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.



Por último, en este escenario no se produciría variación alguna en el reparto de emisiones por combustible ni en el reparto de emisiones por GEI respecto al escenario conservador tendencial. Los resultados obtenidos para dicho escenario son analizados en la sección 5.1.3.4 del documento.

### 6.3.2.5. Sector transporte.

El escenario optimista tendencial considera los mismos datos de partida que en el conservador tendencial, manteniendo los mismos porcentajes de distribución entre los diferentes tipos de combustibles y entre los tipos de transporte. No obstante como su nombre lo indica, se basa en proyecciones optimistas. Utilizando el mismo modelo de desarrollado, el escenario optimista tendencial varía la demanda de los combustibles a nivel Estatal. En este caso, los aumentos en la demanda se proyectan en base al crecimiento del PIB pronosticado por el estudio del FMI para toda la región, resultando en consumos mayores que en el escenario conservador. A pesar de que la diferencia entre un PIB (conservador) y otro (optimista) es alrededor de un 1%, este porcentaje resulta en una demanda mucho mayor en el segundo escenario.

**Tabla 109: Consumo por tipo de combustibles en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	31,434	38,415	46,780	56,892	178%
Diésel	7,461	9,000	11,076	13,537	16,484	20,047	169%
Diésel Marítimo	958	1,155	1,422	1,738	2,116	2,573	169%
Queroseno	1,683	1,706	2,099	2,565	3,124	3,799	126%

Los datos anteriores dejan ver que el aumento en la demanda de combustibles es significativamente mayor que en el escenario conservador tendencial. Según los datos proyectados, la demanda a 2020 en gasolina sería un 88% mayor, mientras que el diésel (terrestre y marítimo) tendría un crecimiento del 81%. El queroseno con un incremento un poco inferior a los demás, alcanzaría un crecimiento del 52%. Por otro lado, los datos comparativos del 2030 respecto a los del 2005 muestran un crecimiento muy significativo que va en línea con las proyecciones de crecimiento optimistas.

**Tabla 110: Emisiones del sector en el escenario optimista tendencial.**

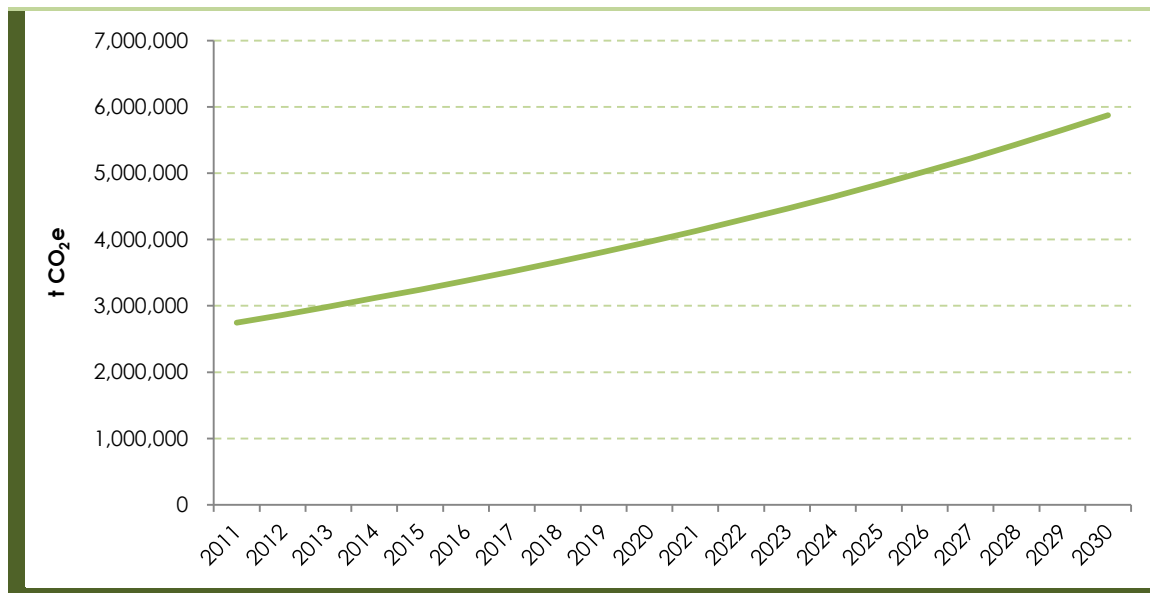
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
t CO <sub>2</sub>	2,139,659	2,617,758	3,221,581	3,937,116	4,794,384	5,830,770	173%
t CH <sub>4</sub>	451	561	692	846	1,030	1,253	178%
t N <sub>2</sub> O	21	25	31	37	45	55	167%
t CO <sub>2</sub> e	2,155,548	2,637,247	3,245,590	3,966,457	4,830,114	5,874,225	173%

En cuanto a las emisiones del escenario a lo largo del periodo, éstas serían mucho mayores que en el proyectado con datos conservadores. Comparando el crecimiento entre un escenario tendencial y otro, las emisiones del conservador aumentarían a 2030 en un 107% mientras que en el escenario optimista, estas casi duplican las del escenario conservador tendencial aumentando en un 173%.

**Gráfico 56: Evolución de las emisiones del sector en el escenario transporte en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.3.2.6. Sector agropecuario.

En el escenario optimista tendencial, se plantea una tasa de crecimiento tanto en el número de cabezas, como en los kg de cultivos, superior a la del escenario conservador tendencial que sería en base a la aplicación del módulo económico para el PIB. En base a lo anterior los datos proyectados fueron los siguientes.

**Tabla 111: Número de cabezas proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de ganado	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bovino de carne	646,350	548,688	547,702	546,526	547,314	547,723	-15%
Bovino de leche	13,476	56,155	6,220	6,730	8,363	14,181	5%
Porcino*	992,898	901,031	1,249,460	1,700,453	2,213,254	2,757,208	178%
Ovino	102,291	151,621	161,242	175,255	191,712	212,659	108%
Caprino	69	69	70	70	69	67	-3%
Aves	18,156	19,954	20,653	21,538	22,433	23,434	29%
Caballos	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	6,557	0%
Mulas	139	139	139	139	139	139	0%
Asnos	45	45	45	45	45	45	0%



Según los datos obtenidos, se puede observar un comportamiento similar al del escenario conservador tendencial. Sin embargo, bajo el escenario optimista tendencial, la producción bovina no es tan alta como en el conservador. A 2030, la producción de bovino de carne disminuye solo un 15%, mientras que la de leche aumenta un 5%, comparado con un decremento del 38% que presentaba el escenario conservador. En cuanto a la producción de porcino, se debe notar que los datos corresponden a los del escenario conservador tendencial. La razón se debe a que bajo el optimista tendencial, la producción de porcino se reducía drásticamente a 2030, dando un resultado poco creíble, por lo que se asumió las proyecciones bajo un solo escenario. Por otro lado, la producción de aves muestra un crecimiento similar entre un escenario y otro, alcanzando en éste un crecimiento del 29% a 2030 respecto al 2005. En el resto de cabezas, caprino, caballos, mulas y asnos, los supuestos fueron los mismos que en el conservador tendencial, y se mantuvieron constantes debido a su baja incidencia o por falta de datos estadísticos sobre sus niveles de producción en el Estado.

Las emisiones de metano generadas como resultado de la fermentación entérica y de la gestión de estiércol de los animales son las siguientes.

**Tabla 112: Emisiones de CH<sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CH <sub>4</sub>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Fermentación entérica	33,554	28,320	28,671	29,190	29,993	31,268	-7%
Gestión de estiércol	8,305	6,999	9,595	12,947	16,757	20,800	150%

El escenario optimista tendencial no muestra grandes variaciones en las emisiones de CH<sub>4</sub> del sector pecuario en comparación con las del conservador tendencial. Las emisiones de fermentación entérica decrecen respecto al 2005 en un 7%. La gestión de estiércol por su parte, aumenta un 150% a 2030.

**Tabla 113: Emisiones de N<sub>2</sub>O proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

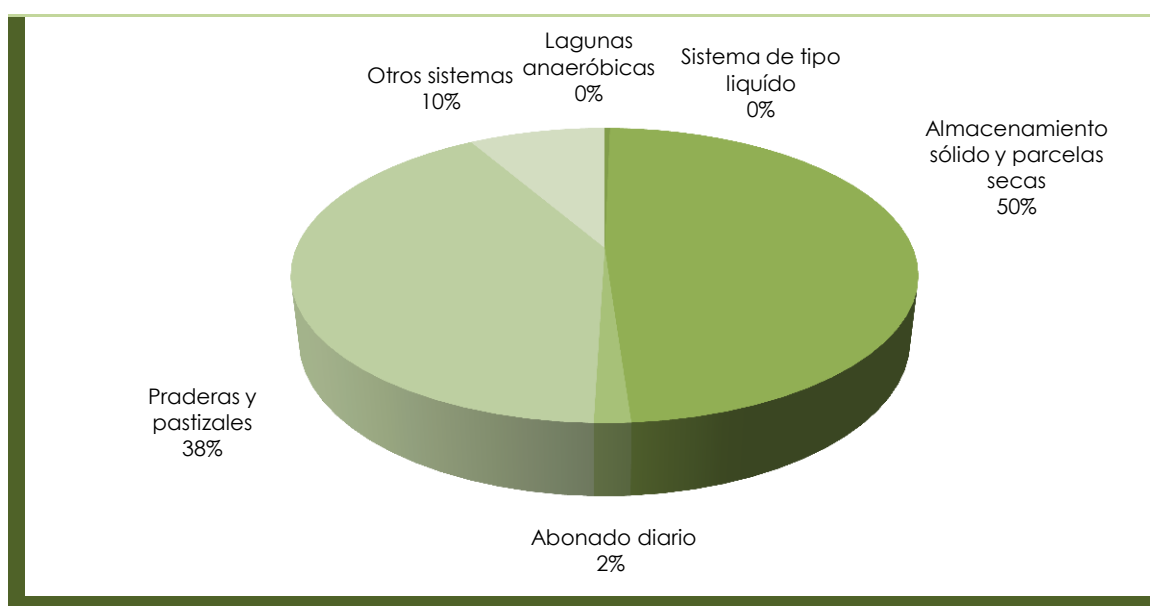
Fuente: Elaboración propia.

GEI	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gestión de estiércol	640	566	676	818	980	1,156	81%

Las emisiones de óxido nitroso por su parte, tienen poca variabilidad entre un escenario y otro y los cambios son más respecto a cambios en el uso de un sistema y de otro. El siguiente gráfico muestra como el sistema de almacenamiento sólido y parcelas secas aumenta en el optimista tendencial, mientras que el de praderas y pastizales se reduce. Los resultados van en línea con la reducción en la producción de bovino y el aumento en aves y porcino proyectadas.

**Gráfico 57: Emisiones de CH<sub>4</sub> distribuidas por tipo de sistema en el escenario optimista tendencial a 2030.**

Fuente: Elaboración propia.



Al aplicar los factores de conversión de los gases de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se obtuvo la cantidad en t de CO<sub>2</sub>e del sector pecuario bajo el escenario optimista.

**Tabla 114: Emisiones pecuario en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

GEI	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Fermentación entérica	704,629	594,717	602,092	612,982	629,843	956,621	-7%
Gestión de estiércol(CH <sub>4</sub> )	174,403	158,581	213,090	283,467	363,513	448,500	157%
Gestión de estiércol(N <sub>2</sub> O)	198,450	175,547	209,623	253,438	303,764	358,315	81%
<b>Total t CO<sub>2</sub>e</b>	<b>1,077,482</b>	<b>928,846</b>	<b>1,024,805</b>	<b>1,149,887</b>	<b>1,297,120</b>	<b>1,463,436</b>	<b>36%</b>

Según el escenario tendencial basado en el modelo económico con PIB proyectado para toda la región de Latinoamérica, las emisiones del sector pecuario en general se incrementarían un 36% a 2030 respecto al mismo año de comparación.

Por otro lado, los resultados de este segundo escenario tendencial en relación a las emisiones para el sector agricultura, fueron los siguientes.

**Tabla 115: Emisiones agrícolas en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Total agrícola-Suelos gestionados	959,278	900,193	955,981	1,024,396	1,104,004	1,194,698	25%

Al igual que en el conservador tendencial, se consideraron únicamente las emisiones derivadas de la gestión de suelo, ya que en el Estado no se registran actividades de plantaciones de arroz o de quema de sabanas.

Integrando los dos subsectores, agrícola y pecuario, las emisiones resultantes para el sector quedaron de la siguiente manera.

**Tabla 116: Emisiones totales sector agropecuario en t CO<sub>2</sub>e proyectadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Total pecuario	937,718	790,402	954,284	898,951	973,960	1,063,614	36%
Total agrícola	959,278	900,193	955,981	1,024,396	1,104,004	1,194,698	25%
Total MDL	-	165,247	165,247	135,388	82,624	82,624	
<b>TOTAL</b>	<b>1,896,966</b>	<b>1,525,347</b>	<b>1,628,069</b>	<b>1,787,959</b>	<b>1,995,341</b>	<b>2,175,689</b>	<b>26%</b>

Las reducciones de los proyectos MDL se consideraron de la misma forma que en el escenario conservador tendencial. Asumiendo que los proyectos con un periodo crediticio de 7 años, se renuevan por otros 7, y que los de 10 años, tienen carácter no renovable, se aplicó la misma reducción durante los periodos totales y se redujo en un 50% a partir de la finalización de los mismos.

### 6.3.2.7. Sector residuos.

El modelo de proyecciones para el escenario optimista tendencial sigue las mismas condiciones que el conservador tendencial, con la diferencia que basa su modelo en los crecimientos proyectados para Latinoamérica.

Las proyecciones del sector se basan en cuatro fuentes de emisión principales: rellenos sanitarios, incineración, tratamiento de aguas residuales y excretas por consumo humano.

Respecto a los residuos sólidos generados en el Estado de Yucatán bajo el escenario optimista tendencial, se prevén los siguientes resultados futuros.

**Tabla 117: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU (t /año)	504,029	590,276	762,244	977,468	1,248,983	1,593,856	216%
Ratio de generación	0.28	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	32%

El ratio de generación se mantiene similar al del escenario conservador tendencial. El cambio más representativo gira alrededor de la cantidad de RSU generados en toneladas, debido al crecimiento poblacional proyectado para este escenario. La generación de residuos crece un 94% al 2020 y alcanza un aumento del 216% al final del periodo, en ambos casos respecto al año 2005.

De acuerdo a la distribución de sitios de disposición final presentada en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán, se asume en el escenario optimista tendencial lo mismo que en el conservador tendencial, en cuanto al porcentaje del 60% de residuos generados presentados en la tabla anterior, que son depositados en rellenos controlados. Las proyecciones de la cantidad de RSU destinada a rellenos sanitarios y sus emisiones se presentan a continuación.

**Tabla 118: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

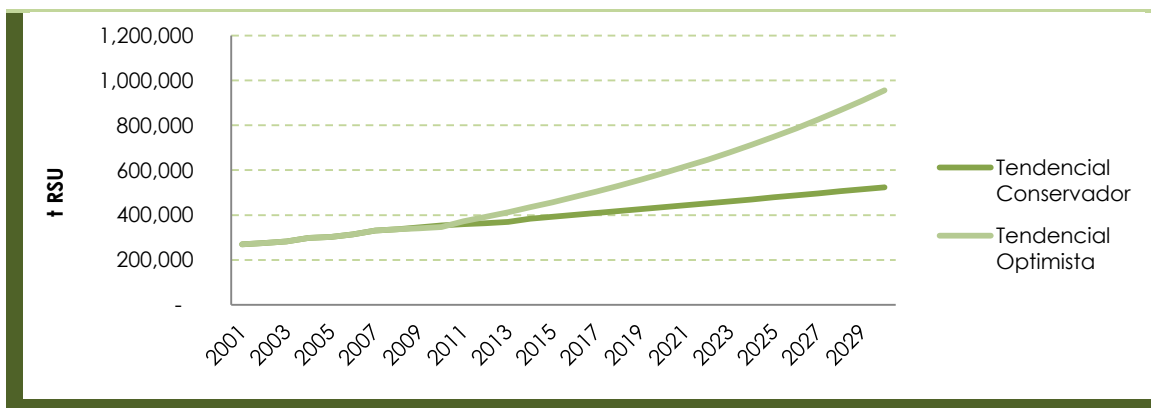
RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU Rellenos sanitarios (t)	302,417	353,983	457,111	586,178	749,003	955,820	216%
Emisiones CH <sub>4</sub>	14,083	16,485	21,287	27,298	34,881	44,512	216%

El crecimiento de la disposición final en rellenos sanitarios aumenta respecto al 2005 de forma más pronunciada bajo este segundo escenario tendencial. A 2030, en relación al año 2005, se estima un crecimiento de las emisiones del 216%. Como se comentó anteriormente, se debe tener en cuenta que este escenario tendencial se ve influenciado por las previsiones económicas tomadas a nivel de Latinoamérica.

La gráfica siguiente muestra la diferencia entre el escenario conservador tendencial y el optimista tendencial en relación a la generación de residuos destinados a vertederos, donde se puede ver claramente un aumento mucho mayor bajo el escenario optimista tendencial.

**Gráfico 58: Proyección de residuos destinados a rellenos sanitarios en t /año bajo los escenarios conservador tendencial y optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



Mientras tanto, la cantidad destinada a procesos de incineración se mantiene de forma constante, al igual que en el escenario conservador tendencial, tomando como datos de base, los presentados en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán. Las emisiones derivadas de este proceso se pueden observar más adelante en esta sección.

**Tabla 119: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Incineración (t)	260	260	260	260	260	260	0%

En cuanto a las emisiones derivadas de aguas residuales, los resultados son los siguientes. Se consideraron únicamente las emisiones derivadas de las aguas residuales residenciales y las de consumo humano de proteínas.

**Tabla 120: Emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Aguas residuales (t CH <sub>4</sub> )	164	176	216	264	322	391	139%
Consumo humano de proteínas (t N <sub>2</sub> O)	100	108	133	162	197	240	139%

Las emisiones de ambos sub sectores aumentan alrededor de un 139% a 2030. Se asume que el aumento en las emisiones del consumo humano de proteínas va ligado por el aumento en el número de habitantes en el Estado, más que por un cambio en la dieta de la población.

Como resultado de las diferentes actividades, las emisiones resultantes equivalentes en CO<sub>2</sub> para el periodo del estudio son las siguientes.

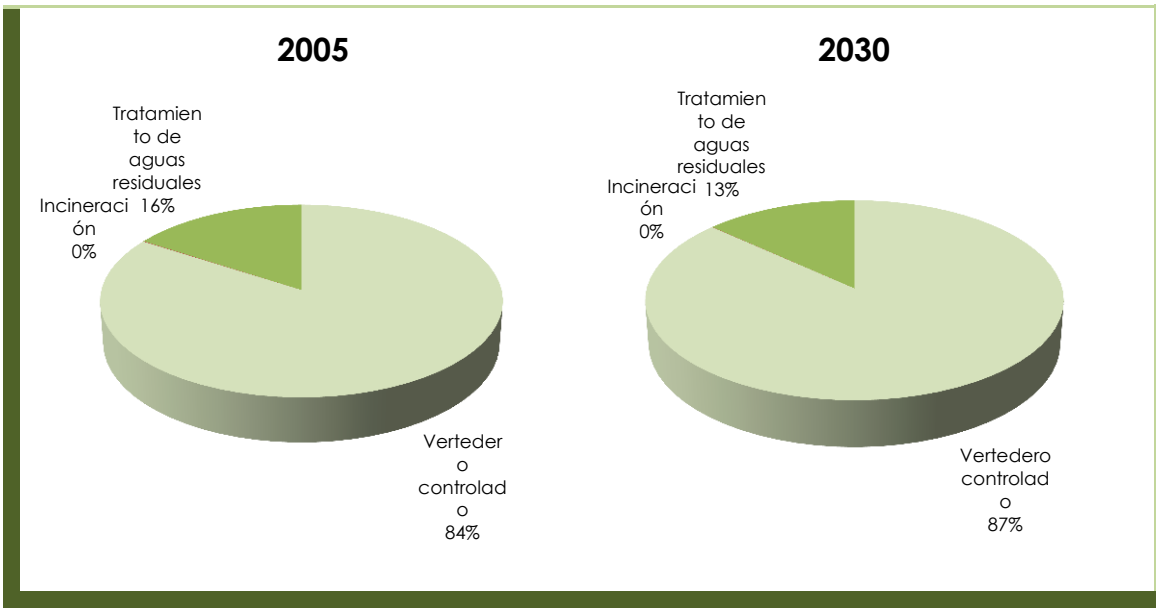
**Tabla 121: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Rellenos sanitarios	295,752	346,182	447,037	573,260	732,497	934,756	216%
Incineración	221	221	221	221	221	221	0%
Tratamiento aguas residuales	35,164	37,805	46,509	56,839	69,215	84,177	139%
Proyecto MDL		106,000	53,000	53,000	53,000	53,000	-
TOTAL	331,138	278,208	440,767	577,320	748,933	966,154	192%

Como se puede observar, las emisiones de mayor crecimiento bajo el escenario optimista tendencial sigue siendo las de rellenos sanitarios. No obstante, se puede ver también un crecimiento considerable en las emisiones derivadas del tratamiento de aguas. En total las emisiones aumentan bajo este escenario un 192% para el 2030. El reparto de emisiones se puede apreciar en el gráfico siguiente.

**Gráfico 59: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista tendencial.**  
Fuente: Elaboración propia.



La repartición de emisiones es nuevamente mayor en las provenientes de los rellenos sanitarios, seguido por aquellas resultantes del tratamiento de aguas residuales. La incineración, al igual que en el escenario anterior, aporta una cantidad poco significativa al total del sector.

**6.3.2.8. Sector USCUS.**

El modelo de proyecciones para el escenario optimista tendencial considera los mismos datos de partida que el escenario conservador tendencial, sin embargo, en los datos proyectados se plantea una tasa de crecimiento mayor a la considerada en el escenario conservador tendencial.

En la siguiente tabla se recogen los resultados previstos para las superficies de los bosques gestionados.



**Tabla 122: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Plantación comercial	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	9.9%
Reforestación	4.1	4.1	4.1	4.3	4.4	4.5	9.9%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.4</b>	<b>6.6</b>	<b>6.8</b>	<b>9.9%</b>

En el escenario optimista tendencial tanto las plantaciones comerciales como las reforestaciones se incrementarían gradualmente a lo largo del periodo, llegando a aumentarse en un 2% en 2030, en relación al valor alcanzado en el escenario conservador tendencial. En términos generales, las tasas de deforestación disminuirían y las tasas de crecimiento de los bosques en expansión se incrementarían. En conjunto, la superficie de las masas forestales manejadas del Estado de Yucatán obtendría un incremento de un 9.9% en el año 2030, respecto a los valores de 2005, pasando de 6.2 kha en 2005 a 6.8 kha en 2030.

En base a las superficies de bosques los manejados proyectadas, se han obtenido las siguientes absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes del crecimiento de la biomasa.

**Tabla 123: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Plantación comercial	11,510	11,413	11,562	11,913	12,274	12,647	9.9%
Reforestación	31,203	30,940	31,343	32,295	33,275	34,286	9.9%
<b>TOTAL</b>	<b>42,713</b>	<b>42,353</b>	<b>42,905</b>	<b>44,207</b>	<b>45,550</b>	<b>46,933</b>	<b>9.9%</b>

Bajo el escenario optimista tendencial, la superficie de los bosques manejados aumentaría en mayor medida que en el escenario conservador, por lo que las absorciones se incrementarían de manera similar. En conjunto, los bosques manejados absorberían en el año 2030 46,933 toneladas de CO<sub>2</sub>, aumentando las remociones en un 9.9%, respecto a los valores de 2005.

Por otro lado, en el escenario optimista tendencial, la cantidad de madera en rollo extraída, el consumo de leña y la producción de madera combustible se han estimado usando la misma metodología que en escenario conservador.

**Tabla 124: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/remociones (tCO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por extracción de madera	-2,552	-5,218	-10,663	-10,987	-11,320	-11,664	357%
Por consumos de leña y carbón	-9,619	0	0	0	0	0	-100%
Por producción madera combustible	-836,532	-844,823	-776,330	-784,223	-793,679	-805,112	-4%
<b>TOTAL</b>	<b>-848,702</b>	<b>-850,041</b>	<b>-786,993</b>	<b>-795,210</b>	<b>-805,000</b>	<b>-816,775</b>	<b>-4%</b>

En el escenario optimista tendencial las emisiones de GEI debidas a la extracción de madera disminuirían en un 4% en 2030, respecto a los valores obtenidos en el año 2005; emitiéndose al final del periodo 816,775 toneladas de CO<sub>2</sub>e, 7,091 toneladas más que en el escenario conservador tendencial. En referencia a las emisiones generadas por el uso de la leña, al igual que en el escenario anterior, con base en las series históricas éstas se harían nulas debido al abandono del uso de este combustible.

En cuanto a la conversión de los bosques y praderas, al igual que en el escenario conservador, se han tomado como punto de partida las series cartográficas I, II, III y IV del INEGI y se han estimado las superficies deforestadas futuras en base a la correlación de la deforestación con las previsiones económicas establecidas en el escenario optimista.

**Tabla 125: Emisiones debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-319,937	-407,373	-502,128	-603,950	135%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-271,627	-279,423	-287,161	-293,888	-2%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-591,564</b>	<b>-686,796</b>	<b>-789,289</b>	<b>-897,838</b>	<b>61%</b>

En el escenario optimista tendencial las emisiones de CO<sub>2</sub>e generadas por la quema *in situ* mostrarían una tendencia creciente con una variación de un 135% en 2030, respecto a los valores de 2005. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>e por descomposición, mostrarían un decrecimiento del un 2% en 2030, respecto a 2005.

En la siguiente tabla, se puede observar que en el escenario optimista tendencial las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> se incrementarían en un 135% a 2030, respecto a 2005, un crecimiento algo menor al obtenido para el escenario tendencial conservador.

**Tabla 126: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de la biomasa aérea en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-1,396	-1,778	-2,191	-2,635	135%
CO	-9,824	-9,155	-12,216	-15,554	-19,172	-23,060	135%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-10	-12	-15	-18	135%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-347	-442	-544	-655	135%

Por último, en la siguiente tabla se muestran las remociones ocurridas en las tierras abandonadas en el escenario optimista tendencial.

**Tabla 127: Remociones debidas al abandono de las tierras cultivadas en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por abandono de tierras agrícolas	1,833,990	796,104	356,090	435,626	558,135	679,150	-63%

Tal y como se muestra en tabla anterior, en el escenario optimista tendencial, las remociones por abandono de las tierras cultivadas disminuirían en un 63% a 2030, respecto a los valores de 2005, con lo que se obtendrían valores similares a los del escenario conservador tendencial.

A modo de resumen, en la siguiente tabla se muestran los resultados de las distintas categorías que se integran en el sector USCUSS. De forma similar a lo que se observa

en el escenario conservador tendencial aunque en menor medida, se incrementarán las emisiones de GEI a 2030.

**Tabla 128: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario optimista tendencial.**

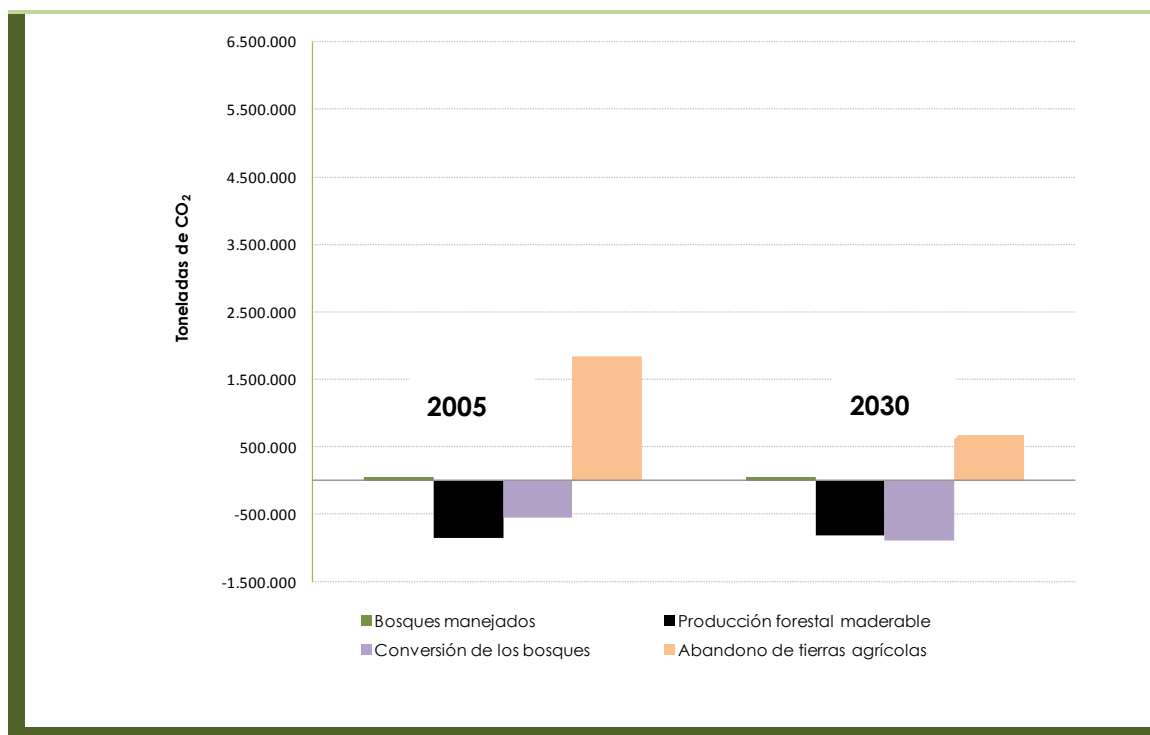
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> ) <sup>19</sup>	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,353	42,905	44,207	45,550	46,933	10%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-786,993	-795,210	-805,000	-816,775	-4%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-591,564	-686,796	-789,289	-897,838	61%
Abandono de las tierras cultivadas	1,833,990	796,104	356,090	435,626	558,135	679,150	-63%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,488</b>	<b>-979,563</b>	<b>-1,002,172</b>	<b>-990,604</b>	<b>-988,531</b>	<b>-310%</b>

En el siguiente gráfico se muestran el reparto de las emisiones y absorciones de GEI del año 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.

**Gráfico 60: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.

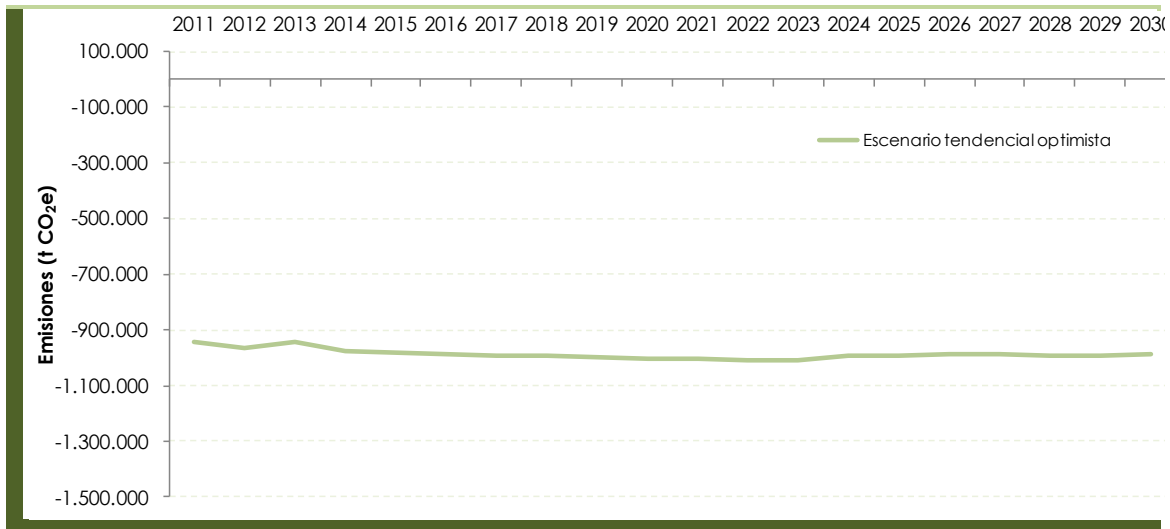


<sup>19</sup> En base a lo establecido en la metodología IPCC de 1996, el signo negativo se emplea en el sector USCUS para las emisiones y el signo positivo para las remociones.

En el escenario optimista tendencial las emisiones obtenidas en el sector USCUSSE se mantendrían estables a lo largo del periodo.

**Gráfico 61: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUSSE el escenario optimista tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



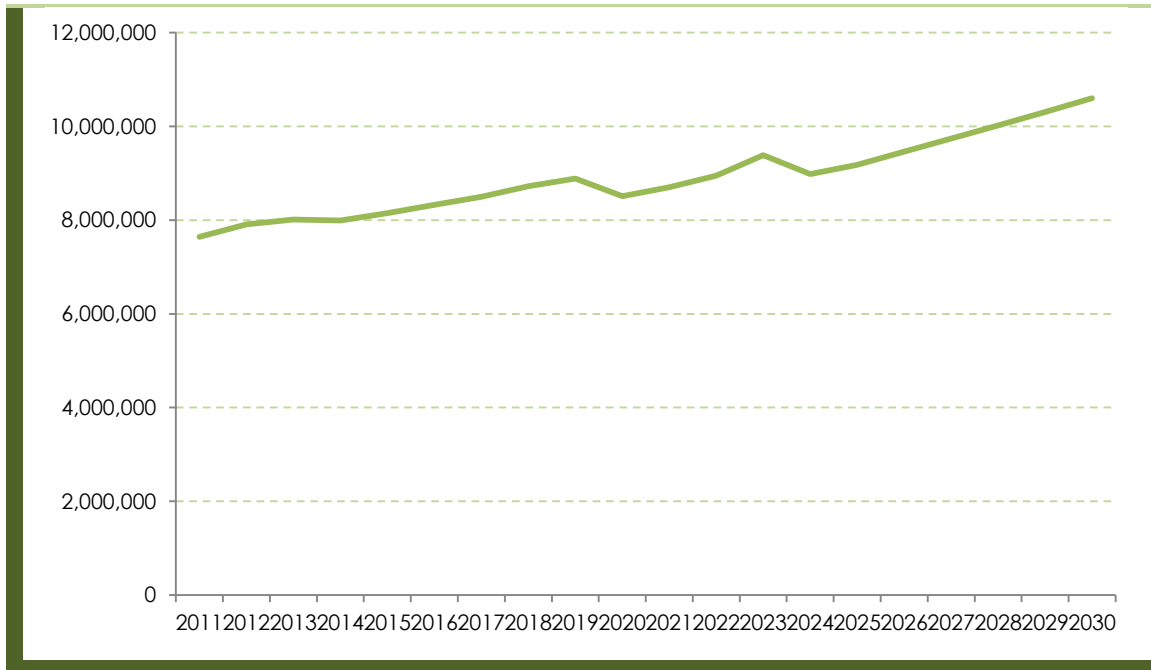
## 6.4. Escenario Conservador de Medidas

### 6.4.1. Totales hasta el año 2030

En el escenario conservador de medidas, cuyo crecimiento económico se basa en el propuesto por la Estrategia Nacional de la Energía para México 2012-2026, adicionalmente, se han aplicado medidas de mitigación de emisiones a fin de reducir las emisiones de GEI del Estado, incidiendo sobre los diferentes sectores a fin de lograr un mejor resultado. En este escenario, sin embargo, la tasa de éxito prevista para las medidas no es del 100%, puesto que el crecimiento económico es inferior al del escenario optimista.

**Gráfico 62: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



El efecto de las medidas es particularmente notable en los primeros años del periodo, en los que el crecimiento de las emisiones de GEI es más tendido que en el escenario conservador tendencial. Tal y como muestra la tabla inferior, mediante la aplicación de las medidas se logra que el incremento de las emisiones de 2005 a 2030 se reduzca del 63% al 48% si no se contabiliza la energía eléctrica y, del 83% al 55% de contabilizarse la energía eléctrica. En general, la tendencia de las emisiones en este escenario es ascendente, con excepciones causadas por la aplicación de las medidas al principio del periodo y el incremento de las exportaciones eléctricas a partir de 2019.

**Tabla 129: Emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e por sector en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

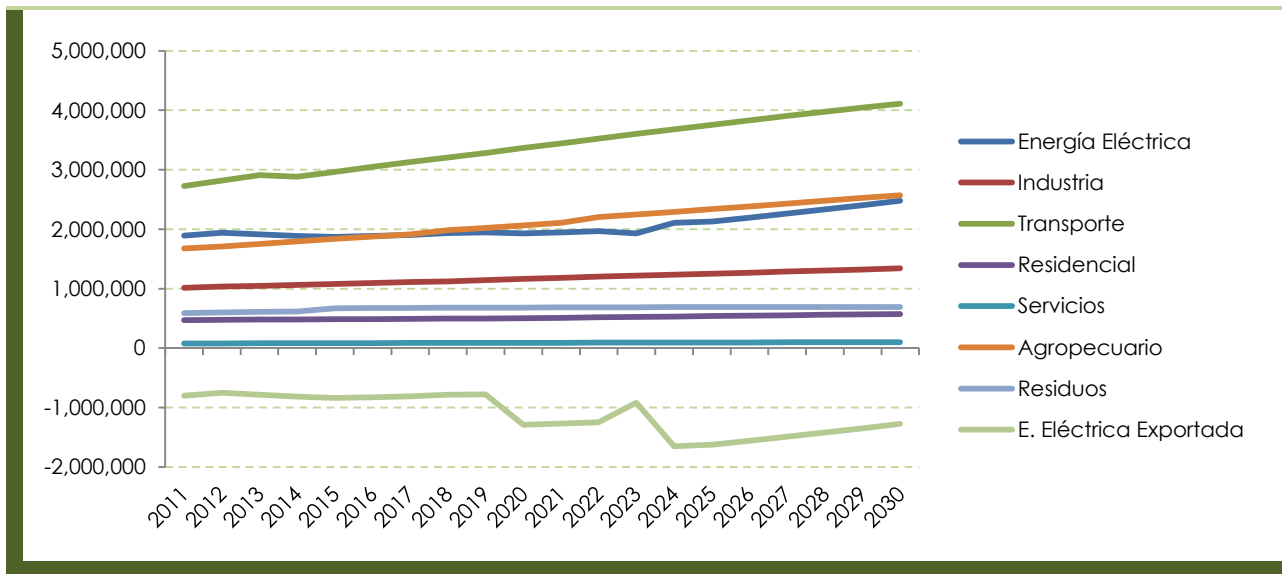
Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Energía Eléctrica	1,963,608	1,898,549	1,868,649	1,928,535	2,130,729	2,478,574	26%
Industria	1,041,058	1,041,055	1,078,989	1,166,654	1,252,833	1,341,496	29%
Transporte	2,155,548	2,637,247	2,964,150	3,364,481	3,756,692	4,110,579	91%
Residencial	439,278	461,980	486,047	503,643	539,720	575,794	31%
Servicios	73,131	77,960	83,733	89,370	95,395	101,420	39%
Agropecuario	2,036,760	1,663,791	1,836,021	2,063,502	2,336,889	2,572,726	26%
Residuos	331,138	578,815	672,292	682,795	690,062	693,340	109%

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<b>TOTAL</b>	<b>8,040,520</b>	<b>8,359,396</b>	<b>8,989,882</b>	<b>9,798,980</b>	<b>10,802,320</b>	<b>11,873,928</b>	<b>48%</b>
E. Eléctrica Exportada	-1,222,197	-1,001,683	-838,409	-1,286,982	-1,621,779	-1,272,774	4%
<b>TOTAL</b>	<b>6,818,323</b>	<b>7,357,713</b>	<b>8,151,473</b>	<b>8,511,997</b>	<b>9,180,541</b>	<b>10,601,154</b>	<b>55%</b>
USCUSS (remociones)	471,165	-515,145	258,158	367,651	443,003	517,886	10%

Sectorialmente, se producen notables reducciones en varios sectores, siendo especialmente destacado el caso de la generación de energía eléctrica y del sector residuos, en los que se pasa de incrementos de emisiones del 58% y el 161% en el escenario conservador tendencial, al 26% y el 109% en este escenario conservador de medidas.

**Gráfico 63: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



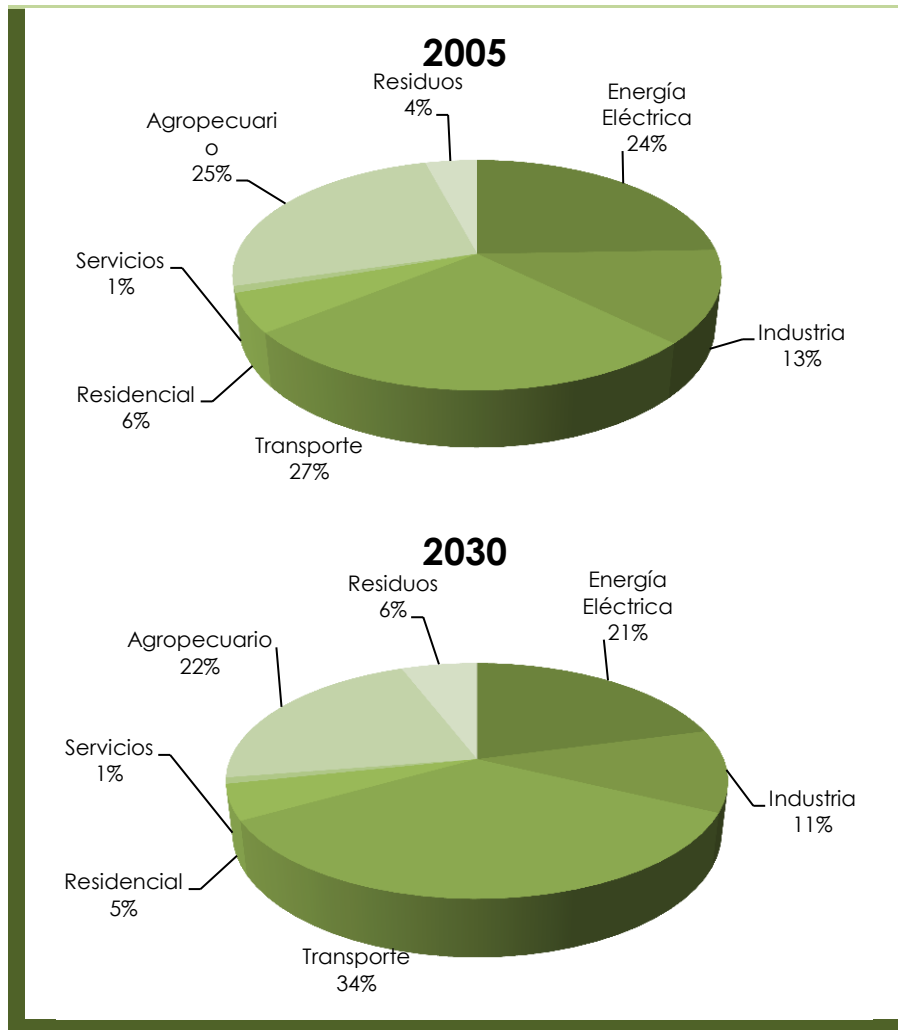
En el gráfico puede observarse que, para la mayoría de los sectores, los primeros años del periodo de proyecciones el crecimiento es menos pronunciado que en el escenario conservador tendencial. Particularmente, para la energía eléctrica hasta 2023, el incremento que se produce es muy bajo, causado, principalmente, por las medidas para la reducción de la demanda de la energía eléctrica aplicadas a los diferentes sectores.

No obstante, la aplicación de las medidas de mitigación apenas produce variaciones en la evolución del reparto de las emisiones por sector entre 2005 y 2030, se siguen

observando las mismas tendencias generales que en el escenario conservador tendencial, es decir, el incremento del porcentaje del transporte y las reducciones de los porcentajes del sector agropecuario, la energía eléctrica y la industria.

**Gráfico 64: Evolución del reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

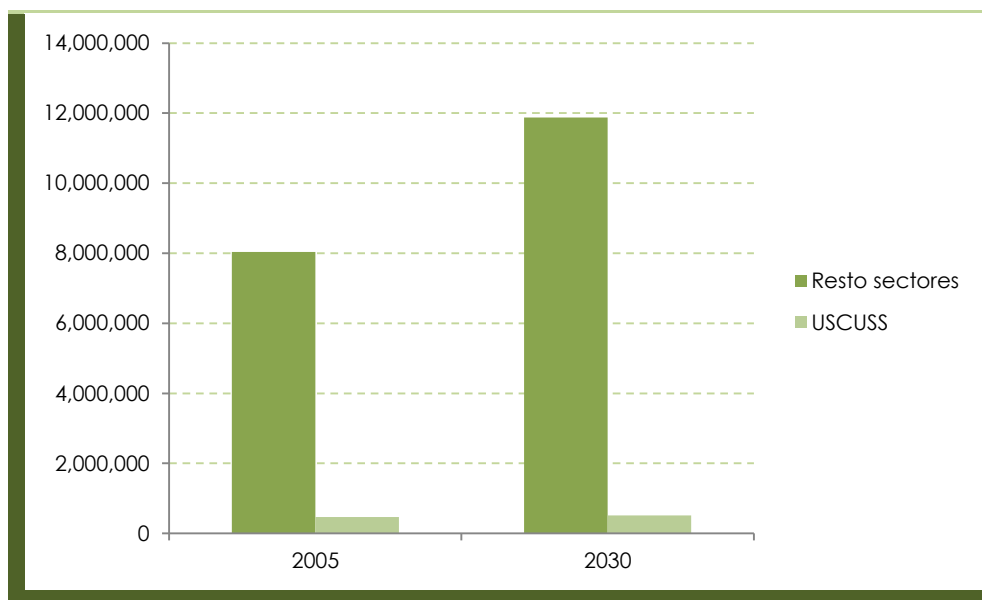


En este escenario, si se analiza la evolución de las emisiones y las remociones entre 2005 y 2030, se observa que, en el caso de las emisiones de todos los sectores excepto USCUS, se produciría un incremento significativo de las mismas, mientras que, en el caso del sector USCUS, se mantiene la tendencia, al contrario que en los escenarios tendenciales, y se darían remociones tanto en 2050 como en 2030.



**Gráfico 65: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.**

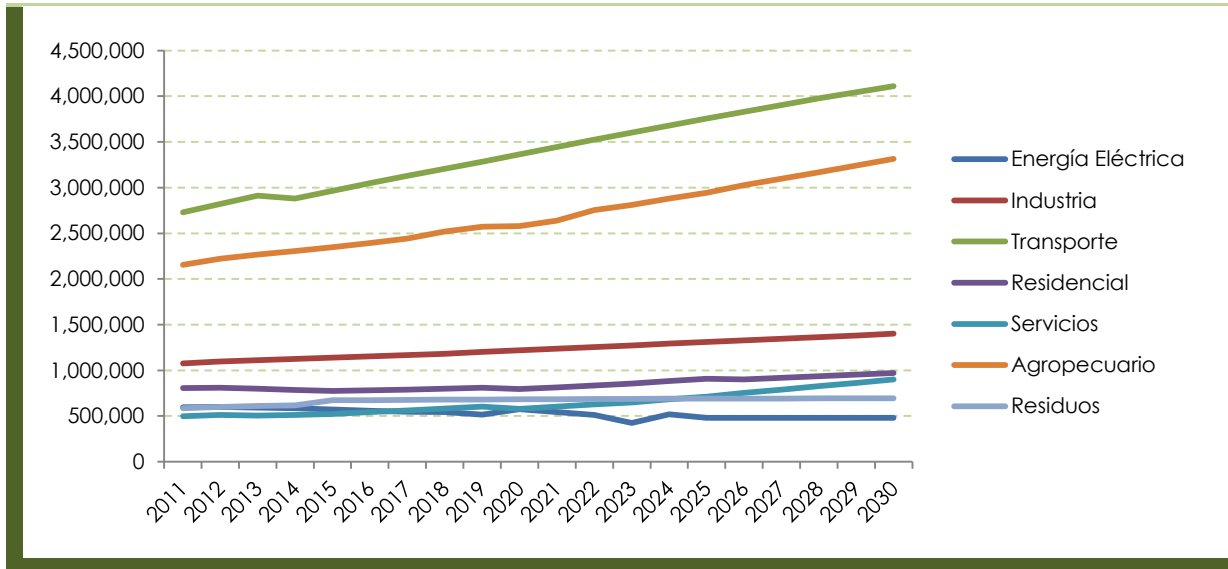
Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a las emisiones responsables, la aplicación de las medidas acrecienta aún más, si cabe, las diferencias entre las emisiones del sector transporte y el resto de sectores respecto a lo observado en el escenario conservador tendencial. La causa es que, gracias a las medidas se produce una importante reducción de las emisiones de la generación eléctrica, mientras que para el transporte, las reducciones logradas son muy inferiores que las de otros sectores.

**Gráfico 66: Evolución de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas.**

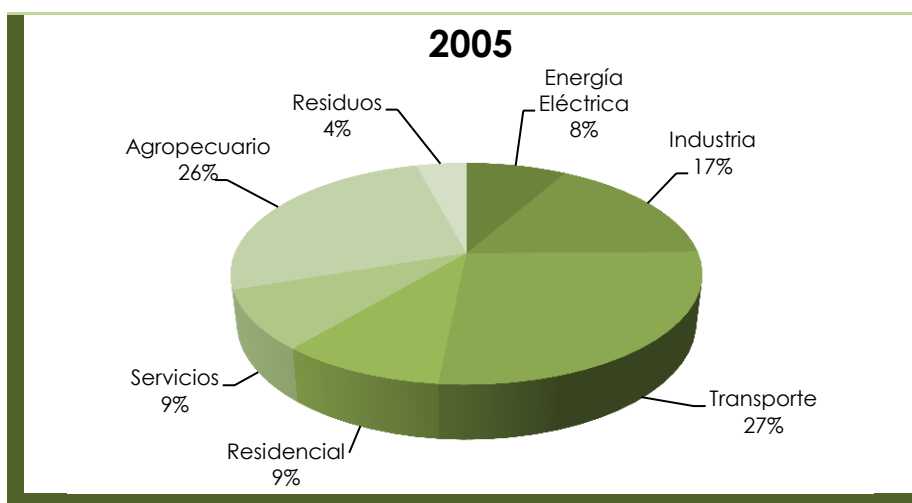
Fuente: Elaboración propia.

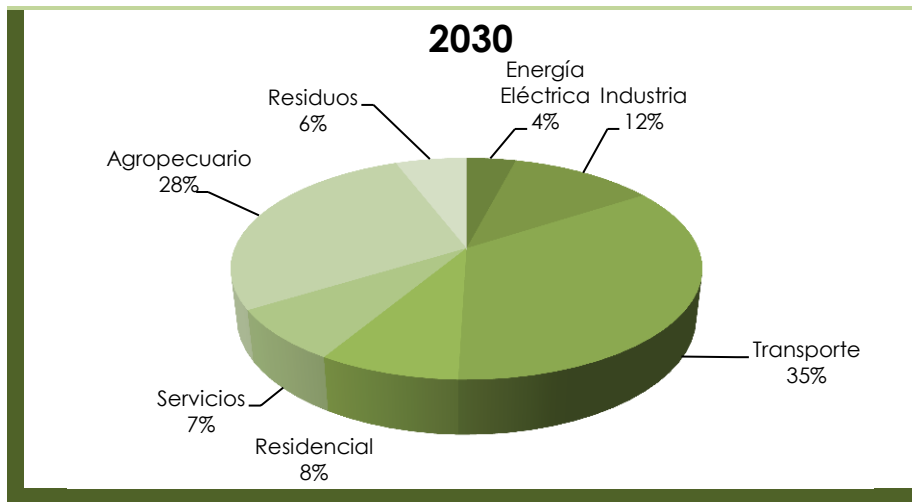


En líneas generales, los efectos de la asignación de las emisiones del consumo de energía eléctrica son muy similares en este escenario a los observados en los escenarios anteriores. Es decir, se incrementan los porcentajes de los sectores con mayor consumo eléctrico y se reduce el de la generación de energía eléctrica.

**Gráfico 67: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.





#### 6.4.2. Resultados sectoriales

##### 6.4.2.1. Sector de generación eléctrica.

En el escenario conservador de medidas, para la generación eléctrica, se incluyen un amplio número de medidas. Las medidas aplicadas pueden dividirse en dos tipos: aquellas medidas que tienen influencia sobre la generación eléctrica y las que influyen en la demanda. Las medidas que influyen sobre la generación eléctrica consisten en la instalación de nuevas centrales de generación, de energías renovables y de cogeneración, así como en la reducción de las pérdidas de la red eléctrica del Estado. Por otra parte, las medidas que disminuyen el consumo eléctrico son aquellas que se llevan a cabo en otros sectores de actividad, como el sector residencial, el sector servicios o el industrial y que tienen como resultado una menor demanda eléctrica.

Por lo tanto, respecto a la generación eléctrica presentada en los escenarios tendenciales, tanto en el caso del escenario conservador como en el del escenario optimista, en los escenarios de medidas se produciría un incremento de la generación eléctrica, ya que se instalarían tecnologías de generación: solar fotovoltaica, eólica, energía de biomasa y cogeneración de gas natural; y se reducirían las pérdidas de la red de transmisión.

Ya que el escenario conservador de medidas está basado en el escenario conservador tendencial, el crecimiento del PIB utilizado para las proyecciones en este caso es también el de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2030. Este crecimiento

del PIB es inferior al del escenario optimista tendencial, por lo que es de suponer que, si el crecimiento del PIB es menor, la disponibilidad económica será menor y que, por lo tanto, no sería posible aplicar las medidas en su totalidad tal y como se aplicarían en el escenario optimista de medidas. Así, para considerar este factor en el escenario conservador de medidas, se ha incluido en el modelo una tasa de éxito a las medidas aplicadas para considerar la diferencia del PIB proyectado entre ambos escenarios.

**Tabla 130: Evolución de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

(MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Generación bruta	6,204,626	6,962,320	7,420,726	9,613,894	11,143,994	11,140,001	79.54%
Autoconsumos	297,541	333,876	355,859	461,031	534,407	534,215	79.54%
Pérdidas	989,973	1,110,866	1,209,578	1,259,420	891,519	891,200	-9.98%
Generación neta	4,917,112	5,517,578	5,855,289	7,893,442	9,718,067	9,714,586	97.57%

En este escenario la generación bruta se incrementaría en más de un 50% en 2020 respecto a 2005 y en casi un 80% en 2030 respecto al mismo año. Esto afectaría, además, a los autoconsumos ya que, al aumentar la generación bruta, también se incrementarían.

Por el contrario, las pérdidas disminuirían, ya que una de las medidas aplicadas es la mejora de la red eléctrica para la minimización de las pérdidas. Más concretamente, pese a que en el periodo 2005-2030 en el escenario conservador tendencial las pérdidas se incrementarían en casi el 100%, en el mismo periodo para el escenario conservador de medidas disminuirían en casi un 10%.

Otra de las principales variaciones que se producen en el escenario conservador de medidas frente al escenario conservador tendencial es la disminución de la demanda eléctrica a causa de las medidas aplicadas en otros sectores energéticos. El modelo de proyecciones toma como referencia la misma información de la Estrategia Nacional de la Energía utilizada en el modelo tendencial para realizar la proyección de la demanda, pero en este caso ha de considerarse también la influencia de las medidas.

**Tabla 131: Demanda eléctrica en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

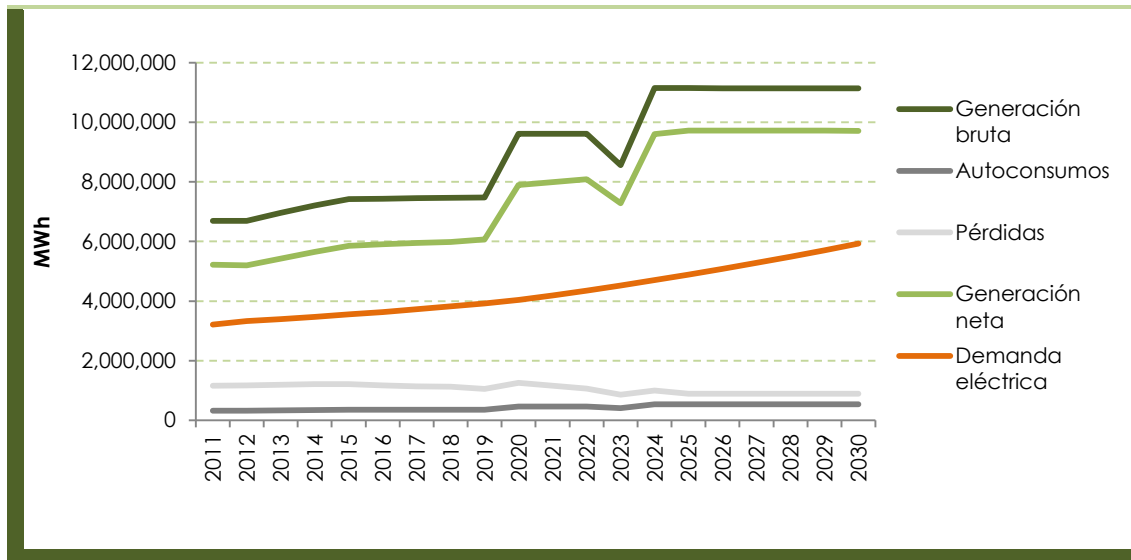
<b>Demanda eléctrica (Mwh)</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>Δ 2005-2030</b>
<i>Sin medidas</i>	2,531,409	3,107,505	3,690,741	4,383,442	5,206,155	6,183,279	144.26%
<i>Medidas sector industrial</i>	-	-	62,932	159,846	154,637	149,210	-
<i>Medidas sector servicios</i>	-	-	17,731	45,809	42,950	39,222	-
<i>Medidas sector residencial</i>	-	-	59,500	142,645	119,506	69,883	-
<b>Demanda total</b>	<b>2,531,409</b>	<b>3,107,505</b>	<b>3,550,578</b>	<b>4,035,142</b>	<b>4,889,062</b>	<b>5,924,963</b>	<b>134.06%</b>

Tal y como se puede observar en la tabla, las medidas aplicadas en el sector industrial, el sector servicios y el sector residencial que incidirían sobre el consumo eléctrico, contribuyen a reducir la demanda eléctrica del Estado de Yucatán. Particularmente, se lograría que el incremento de la demanda en 2030 respecto a 2005 se redujera hasta el 134% en el escenario conservador de medidas frente al 144% del escenario conservador tendencial.

En este escenario, gracias al incremento de la generación y la disminución de la demanda logradas, de considerarse que toda la electricidad no consumida se exportaría, se lograrían unas exportaciones aún mayores que las planteadas en el escenario conservador tendencial. Los picos que se observan en la generación son a causa de la instalación o retirada de instalaciones de generación, estos son particularmente acentuados a partir de 2019, pero a principio del periodo también se observa el efecto de la instalación de las tecnologías renovables incluidas en las medidas.

**Gráfico 68: Evolución de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



Las medidas planteadas en este escenario incluyen la instalación de nuevos tipos de tecnologías de generación eléctrica, lo que modificaría significativamente el mix eléctrico del Estado de Yucatán, puesto que se incluyen energías renovables: solar fotovoltaica, eólica y biomasa; y, además, la cogeneración industrial mediante el uso de gas natural como fuente de energía.

**Tabla 132: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología.**

Fuente: Elaboración propia.

Producción (MWh)	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030 <sup>20</sup>
Energía eólica	613,617	613,617	613,617	613,617	179.46%
Solar fotovoltaica	34,090	34,090	34,090	34,090	132.88%
Biomasa	31,090	31,090	31,090	31,090	179.46%
Cogeneración (gas natural)	47,109	121,051	116,942	112,950	607.11%
CCTG	5,892,320	8,610,746	10,144,955	10,144,955	168.52%
Térmica fuel-gas	802,500	203,300	203,300	203,300	-91.62%

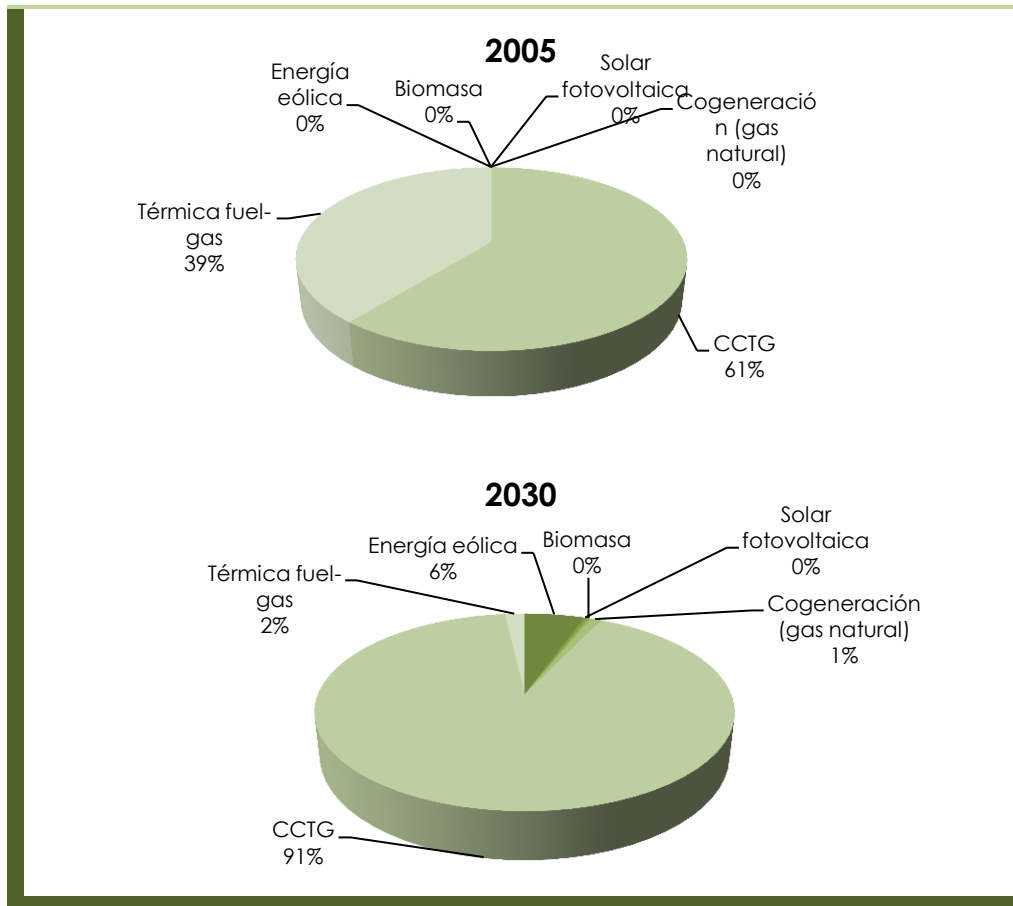
Tal y como se observa en la tabla, la implantación de las nuevas tecnologías modificaría significativamente la imagen de la generación eléctrica en el Estado de Yucatán en 2030, respecto a 2005. Además de incrementarse, se observaría una clara

<sup>20</sup> Para las tecnologías implantadas como medidas, se calculan los porcentajes de incremento, tanto para 2020 como para 2030 respecto a 2013, primer año en el que generan energía eléctrica.

reducción de la generación a partir de fuelóleo y combustóleo y un incremento en el caso del gas natural, tanto para el ciclo combinado como para la cogeneración y las energías renovables.

**Gráfico 69: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



En el gráfico superior puede apreciarse con mayor claridad la evolución de la generación eléctrica. Es particularmente destacable la evolución de las centrales térmicas de fuel-gas, cuya contribución pasaría del 39% al 2%. Por el contrario, el resto de tecnologías ven incrementada su presencia, en mayor o menor medida. La tecnología en la que se produciría un mayor incremento es el ciclo combinado de gas natural, seguido por las centrales de generación solares fotovoltaicas.

A partir de los datos de generación eléctrica por tipo de tecnología y considerando las características de cada una de ellas, se han determinado las emisiones de GEI causadas por esta actividad.

**Tabla 133: Emisiones de CO<sub>2</sub>e por tecnología en el escenario conservador de medidas.**

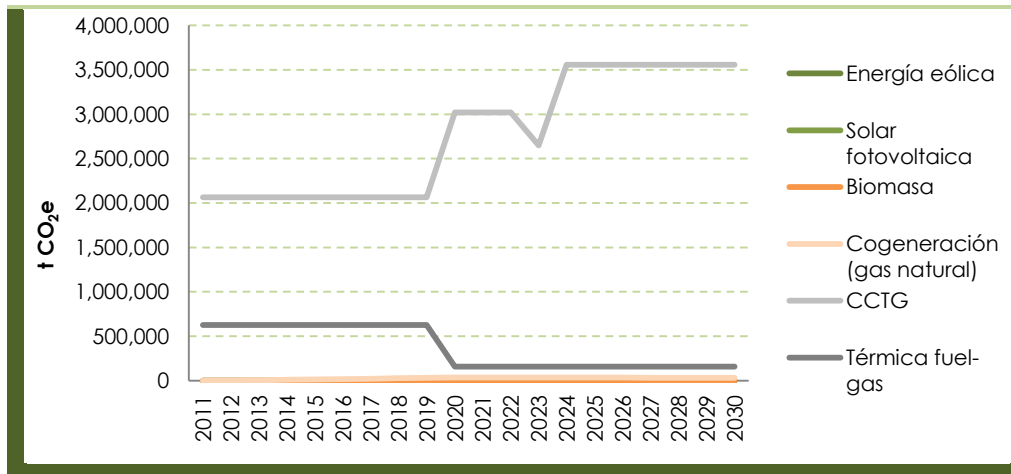
Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030 <sup>21</sup>
Energía eólica	0	0	0	0	-
Solar fotovoltaica	0	0	0	0	-
Biomasa	1,451	1,451	1,451	1,451	179.46%
Cogeneración (gas natural)	13,692	35,184	33,990	32,829	607.11%
CCTG	2,066,965	3,020,561	3,558,746	3,558,746	168.52%
Térmica fuel-gas	624,949	158,321	158,321	158,321	-91.49%

La implantación de las nuevas tecnologías de generación tiene un efecto reducido en las emisiones en comparación con el efecto en la generación neta. Esto se debe a que se trata de tecnologías sin emisiones (como la energía eólica o la energía solar fotovoltaica) o de bajas emisiones, como la biomasa. Además, en el caso de la cogeneración de gas natural, únicamente se contabilizan en el sector de generación eléctrica las emisiones derivadas de su producción eléctrica, mientras que las emisiones debidas al calor generado se contabilizan en el sector industrial.

**Gráfico 70: Evolución de las emisiones por tecnología en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



Tal y como se observa en el gráfico, la tendencia de las emisiones en este escenario sería prácticamente la misma que la observada en el escenario conservador de medidas. Apenas se contabilizarían emisiones en el caso de las nuevas tecnologías

<sup>21</sup> Para las tecnologías implantadas, se calculan los porcentajes de incremento, tanto para 2020 como para 2030 respecto a 2013, primer año en el que generan electricidad.



instaladas, siendo la cogeneración de gas natural y la biomasa las únicas tecnologías que generarían emisiones de GEI.

Para la obtención de la imagen completa del sector de generación eléctrica en el Estado de Yucatán, se han de analizar también las emisiones causadas por las exportaciones e importaciones de electricidad. En este escenario, al aumentar la generación eléctrica a causa de las nuevas tecnologías instaladas y disminuir la demanda por las medidas aplicadas en otros sectores económicos, aumentaría la cantidad de energía eléctrica que se considera como electricidad exportada, por lo que disminuirían las emisiones totales de GEI asociadas a la generación eléctrica.

**Tabla 134: Emisiones de CO<sub>2</sub>e de la generación y las exportaciones eléctricas en el escenario conservador de medidas.**

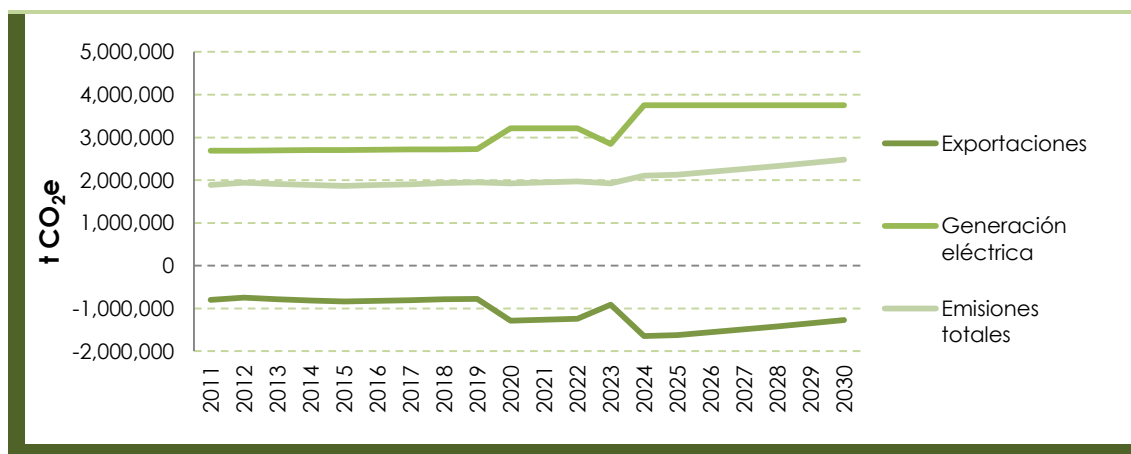
Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2015	2020	2025	2030	2005-2030
Exportaciones	-838,409	-1,286,982	-1,621,779	-1,272,774	4.14%
Generación eléctrica	2,707,059	3,215,517	3,752,508	3,751,347	17.75%
Emisiones totales	1,868,649	1,928,535	2,130,729	2,478,574	26.23%

La tendencia de las emisiones sería muy similar a la observada en el escenario conservador de medidas. La mayor diferencia es que se incrementarían las exportaciones, por lo que se contabilizarían menos emisiones a causa la electricidad exportada.

**Gráfico 71: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.4.2.2. Sector industrial

Las medidas de mitigación planteadas para el sector industrial se dividen en dos tipos: medidas que reducen el consumo de combustibles fósiles y medidas que reducen el consumo eléctrico. Éstas últimas, por reducir la demanda eléctrica, han sido incluidas en las proyecciones del sector eléctrico, por lo que no se han considerado como reducciones en el sector industrial.

Por lo tanto, para el sector industrial se incluye únicamente una medida adicional de mitigación: la sustitución de las calderas de combustóleo por dispositivos de cogeneración que funcionan a partir de gas natural, sustituyéndose así la generación de calor a partir de combustóleo por generación de calor mediante gas natural. Estos dispositivos, además, generan electricidad, por lo que, para la realización de las proyecciones, se ha realizado un reparto del consumo de gas natural entre el consumido para la generación eléctrica y el utilizado para la producción de calor. Únicamente el gas natural utilizado para generar calor ha sido contabilizado en este sector, el resto del consumo se le ha asignado al sector de generación eléctrica.

En conclusión, las variaciones que se producirían en las proyecciones realizadas mediante el modelo en este escenario conservador de medidas y el escenario conservador tendencial son causadas por la sustitución de las calderas de combustóleo por dispositivos de cogeneración a partir de gas natural. Esto produciría un incremento del consumo de gas natural y una reducción del consumo de combustóleo/diésel respecto a dicho escenario conservador tendencial.

Sin embargo, tanto las proyecciones de las emisiones de proceso como las causadas por el uso de halocarburos no variarían respecto al escenario conservador tendencial. Es por ello que no se detallan en esta sección.

En la tabla inferior se puede observar el consumo de combustibles de las industrias en este escenario. Únicamente se producirían variaciones respecto al escenario conservador tendencial para el combustóleo y el gas natural. En el caso del combustóleo, la reducción de consumo sería aún más notable en este caso, siendo en 2030 superior al 98% respecto al 2005. Por el contrario, el consumo de gas natural se ve incrementado, alcanzándose un consumo de casi 1,900 TJ en 2030 para este escenario, mientras que en el escenario conservador tendencial el consumo de gas natural marcaba un máximo de 1,103 TJ.

**Tabla 135: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

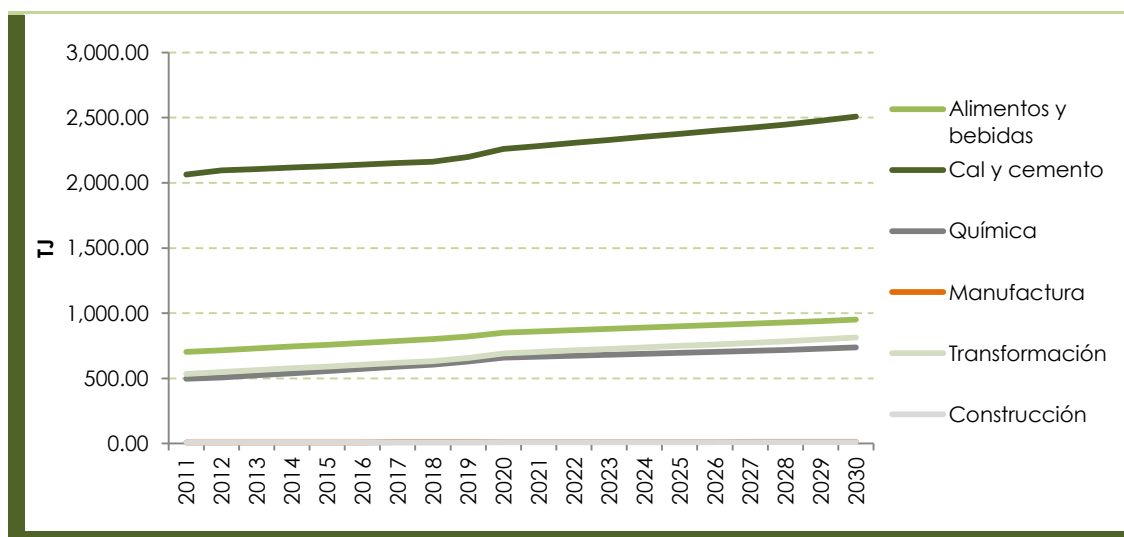
Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,075	2,252	2,428	2,604	31.64%
GLP	89	105	115	125	135	144	63.00%
Diésel	248	262	286	310	335	359	44.93%
Combustóleo	1,616	673	370	0	0	31	-98.05%
Gas natural	759	804	1,205	1,796	1,846	1,897	150.09%

La reducción del consumo de combustóleo mencionada causaría importantes variaciones en la tendencia de consumo de combustibles de las industrias de Yucatán. Así, el combustóleo pasaría de situarse junto con el gas natural, en el segundo orden de relevancia tras el coque a ocupar uno de los últimos niveles de consumo, siendo, en este escenario, su consumo al final del periodo el menor de todos los combustibles analizados.

En el consumo de combustibles por sector también pueden apreciarse los efectos de las medidas aplicadas. Principalmente, para la cal y el cemento, pero, en general para todos ellos, se daría un valle de consumo entre aproximadamente 2010 y 2020. El mismo es causado, principalmente, por la gran reducción del consumo de combustóleo. A partir de 2020, sin embargo, se produciría una clara tendencia creciente en el consumo de todos los sectores.

**Gráfico 72: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



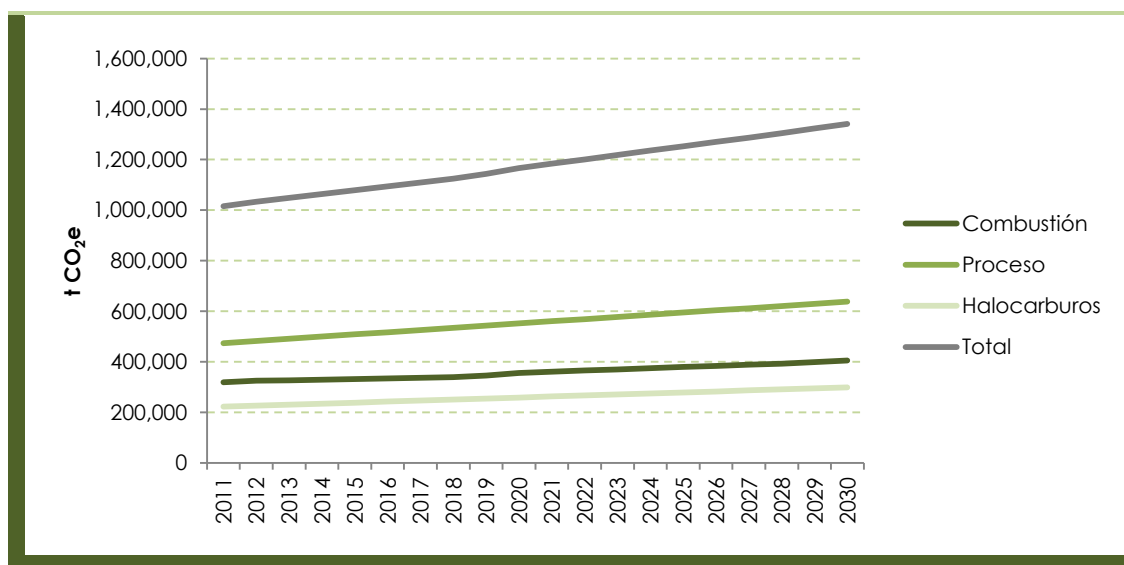
Pese a que no se producirían variaciones en las emisiones de proceso ni en las causadas por los halocarburos, la aplicación de la medida de sustitución de calderas de combustóleo por dispositivos de cogeneración a partir de gas natural modificaría el reparto de emisiones del sector industrial.

**Tabla 136: Emisiones de los sectores industriales en el escenario conservador de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Combustión	388,596	312,346	331,960	356,309	379,173	404,519	4.10%
Proceso	419,913	465,269	508,479	551,690	594,900	638,111	51.96%
Halocarburos	207,853	192,869	238,550	258,655	278,761	298,866	43.79%
Total	1,016,362	970,484	1,078,989	1,166,654	1,252,833	1,341,496	31.99%

Gracias a la aplicación de las medidas de reducción de emisiones, se logran reducir las emisiones de combustión respecto a lo observado en el escenario conservador tendencial. De este modo, estas emisiones sólo se ven incrementadas en un 4% en 2030 respecto a los valores observados en 2005.

**Gráfico 73: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario conservador de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.



En el gráfico superior se puede observar, para las emisiones de combustión, el valle anteriormente mencionado en el consumo de combustibles entre 2010 y 2020, años en los que las emisiones de combustión sufrirían un ligero retroceso.

Las emisiones de combustión por tipo de combustible arrojan información adicional sobre el efecto de la medida implantada en el sector industrial. La reducción del consumo de combustóleo mencionada tendría un efecto evidente sobre las emisiones causadas por diesel/combustóleo, que se reducirían considerablemente. Por el contrario, las emisiones de gas natural se incrementarían respecto al escenario conservador tendencial.

**Tabla 137: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario conservador de medidas.**

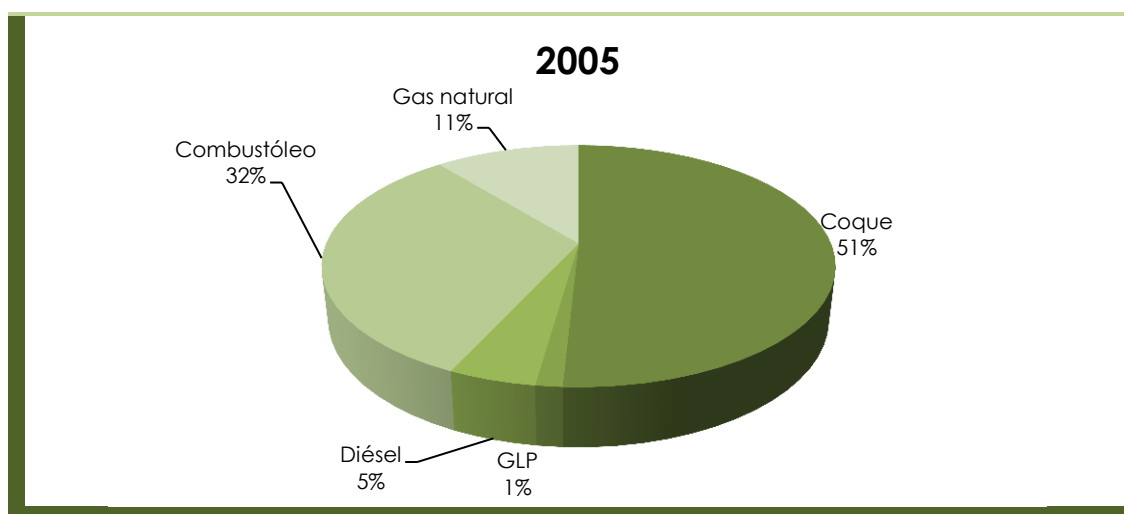
Fuente: Elaboración propia.

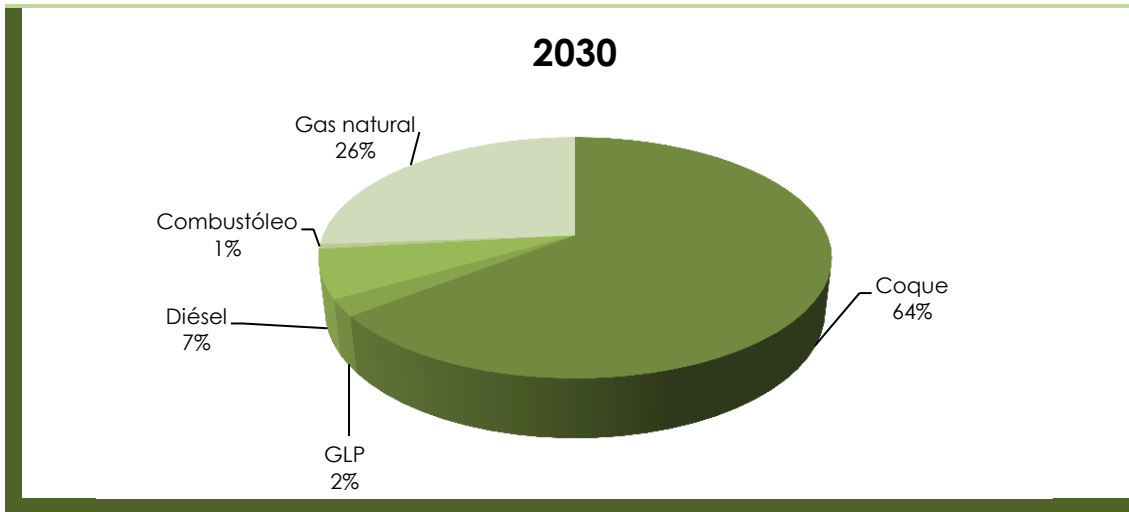
Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	197,501	189,570	207,692	225,342	242,992	260,641	31.97%
GLP	5,530	6,572	7,189	7,800	8,411	9,021	63.13%
Diésel	18,166	19,196	21,050	22,839	24,628	26,417	45.42%
Combustóleo	125,054	52,111	28,709	0	0	2,444	-98.05%
Gas natural	42,343	44,896	67,320	100,328	103,142	105,995	150.32%

La consecuencia de estas variaciones en las emisiones es que, en este escenario se produciría un incremento menor de las emisiones de combustión y, por tanto, también en las emisiones totales del sector industrial. Además, también se producirían cambios importantes en el reparto de emisiones por combustible en el año 2030.

**Gráfico 74: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.





En el gráfico superior se puede observar claramente como el gas natural tomaría el lugar del combustóleo en la aportación en emisiones en 2030. De hecho, el combustóleo pasaría de ser el segundo combustible que más emite a ser el menos emisor, una variación muy significativa, si se tiene en cuenta, además, que es el combustible más intensivo en emisiones de los consumidos por las industrias de Yucatán.

#### 6.4.2.3. Sector comercio y servicios.

En el escenario conservador de medidas del modelo para el sector comercio y servicios se incluyen dos tipos de medidas, aquellas que reducen el consumo eléctrico del sector y medidas que reducen el consumo de combustibles. Tal y como se ha mencionado con anterioridad, todas las medidas cuyo resultado es la reducción del consumo eléctrico se incluyen en el sector de generación eléctrica, por lo que, en este escenario MP del sector servicios, únicamente se va a incluir una medida, que consiste en la integración de colectores solares para la producción de agua caliente sanitaria, logrando así reducir el consumo de GLP.

Al igual que en el escenario conservador tendencial, el modelo para este escenario toma como base la información incluida en la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020 de consumo de combustible previsto para el sector servicios para determinar realizar la proyección. Es por ello que, al no alcanzarse en este escenario los valores máximos de PIB previstos en el modelo, se considera que la aplicación de las medidas no alcanzaría el valor total previsto, por lo que se ajusta mediante una tasa de éxito la aplicación de las medidas.

Por lo tanto, las principales variaciones que se van a producir en este escenario respecto al escenario conservador tendencial son las derivadas de la reducción del consumo de GLP, que tendría una incidencia directa sobre las emisiones, que serían inferiores a las proyectadas en dicho escenario. En la tabla inferior se puede observar el consumo de combustibles proyectado para este escenario.

**Tabla 138: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	170.88	177.47	190.24	203.01	33.12%
Diésel	861.90	919.19	990.03	1,060.87	1,131.70	1,202.54	39.52%

Gracias a la aplicación de esta medida se lograría que el consumo de GLP en 2030 sólo hasta el 33%, frente a los valores obtenidos en el escenario conservador tendencial, en los que el incremento sería del 39% en 2030. En el caso del diésel no se produciría variación alguna, ya que no se implementa ninguna medida para reducir su consumo.

No obstante, en términos generales, la tendencia que se observaría en los gráficos de consumo de combustible apenas varía pese a la reducción lograda mediante la medida, ya que se trata del combustible con menor consumo y, además, la reducción lograda en 2030 en el escenario conservador de medidas respecto al conservador tendencial es de apenas 9 TJ.

La reducción del consumo de GLP, además, implicaría una reducción en las emisiones de GEI en este escenario respecto al escenario conservador tendencial. En el año 2030, se pasaría de casi 102,000 toneladas de CO<sub>2</sub>e emitidas en el escenario tendencial conservador a, aproximadamente, 101,500 en el escenario tendencial de medidas. En porcentaje, las emisiones de GEI pasarían de incrementarse un 40% en 2030 respecto a 2005, a sufrir un incremento del 39% en 2030. Como se puede deducir en vista de los resultados, no se trata de una reducción particularmente significativa, ya que la incidencia de la medida es limitada por ser el GLP el combustible menos consumido en el sector servicios.



**Tabla 139: Emisiones de GEI en el escenario conservador de medidas para el sector servicios.**

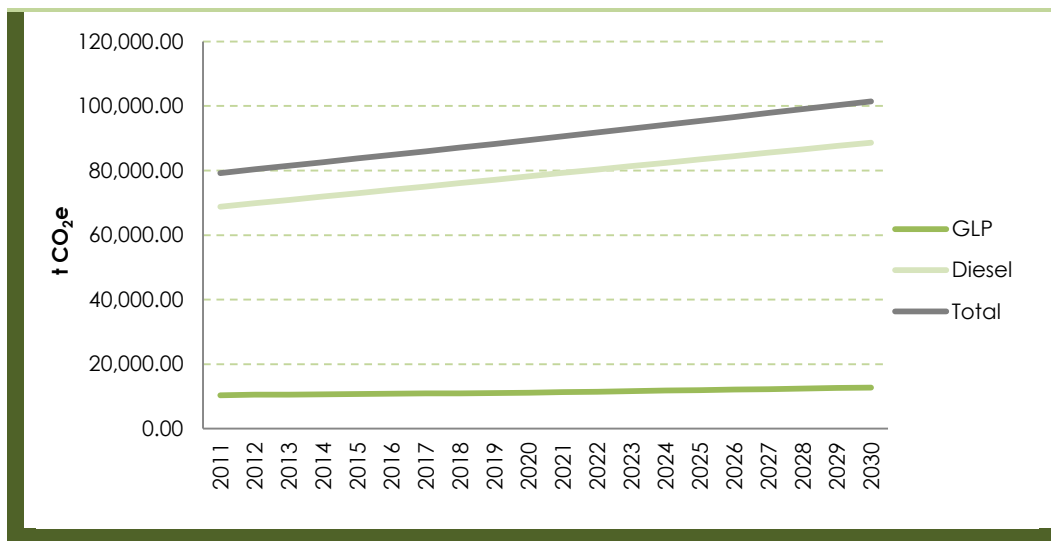
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	9,590.00	10,195.11	10,746.28	11,160.58	11,963.77	12,766.47	33.12%
Diésel	63,540.78	67,764.59	72,986.87	78,209.15	83,431.43	88,653.71	39.52%
Total	73,130.78	77,959.70	83,733.15	89,369.73	95,395.20	101,420.18	38.68%

El gráfico de evolución de las emisiones de este escenario apenas sufriría variación alguna respecto al del escenario conservador de medidas. En líneas generales, se producirían las mismas tendencias y los valores totales de emisiones alcanzados tampoco diferirían en gran medida de un escenario a otro.

**Gráfico 75: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas para el sector servicios.**

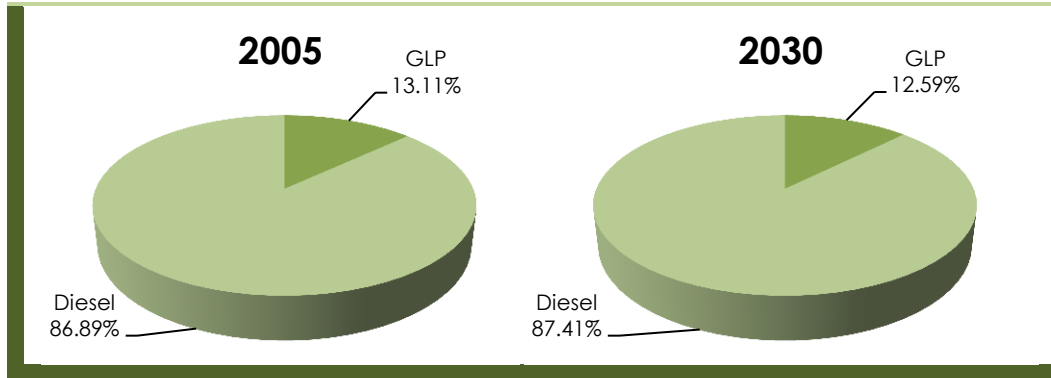
Fuente: Elaboración propia.



No obstante, debido a las características del modelo de proyección, se produciría un ligero incremento del porcentaje de las emisiones causadas por el diésel en 2030 respecto a 2005, a causa de la medida de mitigación aplicada, que reduciría el consumo de GLP.



**Gráfico 76: Comparación de las emisiones en el escenario conservador de medidas en 2005 y 2030 para el sector servicios.**  
Fuente: Elaboración propia.



En el reparto de emisiones por tipo de GEI, sin embargo, no se observarían variaciones relevantes en este escenario respecto a los resultados obtenidos para el escenario conservador tendencial.

#### 6.4.2.4. Sector residencial.

Para el sector residencial, al igual que para el sector industrial y el sector servicios, las medidas de mitigación de emisiones planteadas inciden en dos áreas: la reducción del consumo eléctrico y la reducción del consumo de combustibles. En los resultados de las proyecciones del escenario conservador de medidas del sector residencial, sin embargo, únicamente se incluyen las medidas de reducción de consumo de combustibles, puesto que tal y como se ha expuesto con anterioridad, las medidas que inciden sobre el consumo eléctrico se han contabilizado en el sector eléctrico.

Las medidas de reducción de consumo de combustibles del sector residencial inciden en el consumo de leña y de GLP. La primera de las medidas consiste en integrar calentadores solares en viviendas para obtener agua caliente sanitaria reduciendo el consumo de GLP. Por otra parte, la segunda medida consiste en la instalación de estufas mejoradas de leña, mediante las cuales se logra una reducción del 50% del consumo de leña respecto a las estufas convencionales.

Al igual que en el resto de sectores se ha aplicado una tasa de éxito a las medidas teniendo en cuenta la diferencia de crecimiento de PIB del escenario conservador y el escenario optimista.

En la tabla inferior se muestran los consumos de combustible calculados para el escenario conservador de medidas. La principal diferencia que se observa respecto al escenario conservador tendencial es la reducción en el consumo de leña y en el de GLP. En el caso de la leña, se pasaría de un incremento del consumo del 27% en 2030 respecto a 2005 a un incremento del 14% en 2030 respecto a 2005.

Por otra parte, para el GLP, aunque la reducción es significativamente menor que en el caso de la leña puesto que el alcance de la medida de mitigación también lo es, se logra que el incremento del consumo en 2030 pase del 39% en el escenario conservador tendencial al 32% en este escenario.

**Tabla 140: Consumo de combustibles en el escenario conservador de medidas para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	6,045	6,291	6,548	6,816	14%
GLP	6,165	6,544	6,871	7,095	7,613	8,130	32%
Queroseno	33	26	28	31	33	35	4%
Gas Natural	680	673	725	777	829	881	29%

En el gráfico se aprecia con claridad el efecto de la medida de reducción del consumo de leña, ya que se observa claramente una gran reducción del consumo entre 2012 y 2014, años en los que tiene mayor efecto la medida. A partir de dicho periodo, el consumo de leña aumenta progresivamente, pero sin llegar, en ningún caso, a alcanzar los niveles de consumo anteriores.

Para el GLP también se aprecia una tendencia de crecimiento con menor pendiente en parte del periodo, a causa también de la medida de mitigación incluida para reducir su consumo. Para el resto de combustibles, sin embargo, no se observa variación alguna entre este escenario y el escenario conservador tendencial.

La medida de reducción del consumo de leña tendría un efecto limitado sobre las emisiones de GEI, puesto que para este combustible no se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, pese a la importante reducción de consumo alcanzada, la reducción de las emisiones sería menos significativa por partir de una cifra inicial de emisiones baja.

**Tabla 141: Emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas para el sector residencial.**

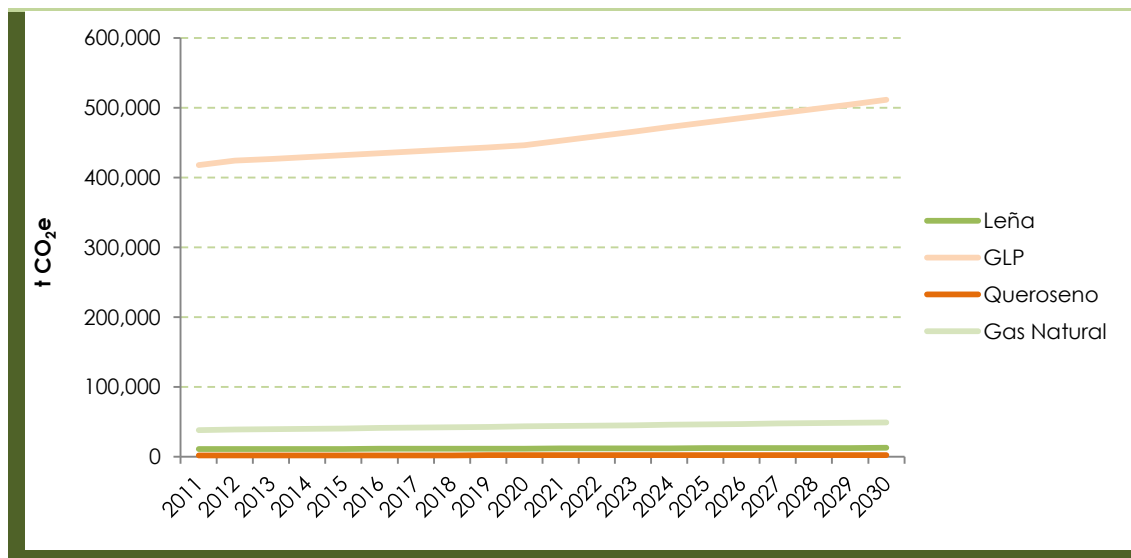
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	11,169	10,871	11,305	11,764	12,244	12,746	14%
GLP	387,677	411,545	432,129	446,217	478,763	511,286	32%
Queroseno	2,362	1,883	2,028	2,173	2,318	2,463	4%
Gas Natural	38,071	37,682	40,586	43,490	46,394	49,298	29%
<b>Total</b>	<b>439,278</b>	<b>461,980</b>	<b>486,047</b>	<b>503,643</b>	<b>539,720</b>	<b>575,794</b>	<b>31%</b>

En porcentaje, tal y como se muestra en la tabla, produciría un incremento del 14% de las emisiones de la leña en 2030 respecto a 2005. Sin embargo, esto apenas supondría una reducción de algo más de 1,500 toneladas en el año 2030 respecto al escenario conservador tendencial. Para el GLP, se lograría que el incremento de emisiones en 2030 respecto a 2005 sólo alcance el 32%, respecto al 39% de incremento que se daría de no aplicarse medida alguna.

**Gráfico 77: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador de medidas del sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.

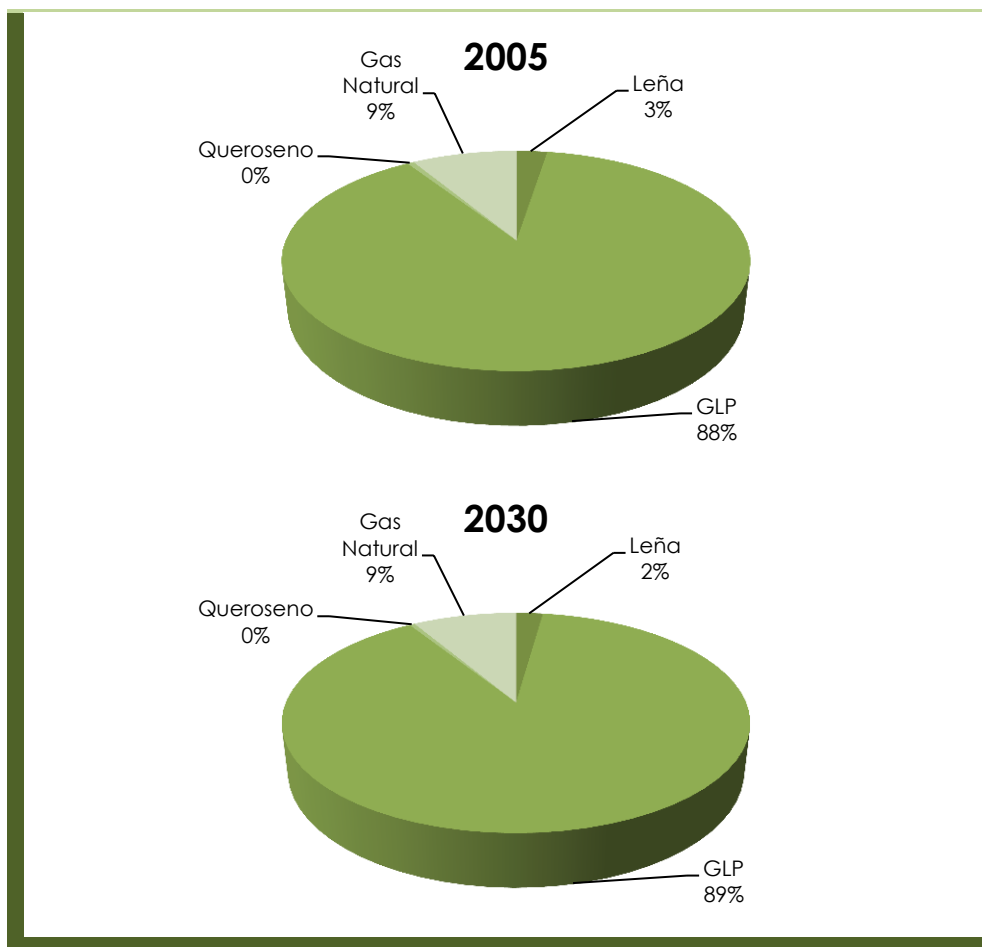


En el gráfico se aprecia con mayor claridad el efecto de la medida de la leña. Así como en el gráfico de consumo de combustible se podía observar claramente el descenso del consumo de leña, en este gráfico, por lo reducido de las emisiones, apenas se observa cambio de tendencia alguno en las emisiones de la combustión de leña.

No obstante, si se compara el reparto de las emisiones por tipo de combustible en este escenario, sí que se observan variaciones entre 2005 y 2030, causadas por las medidas de reducción de emisiones. En el gráfico inferior puede verse cómo evolucionaría el reparto, en el que se incrementarían las emisiones del GLP en un 1% aproximadamente, que es el mismo porcentaje en el que se reducirían las emisiones de la leña.

**Gráfico 78: Comparación 2005-2030 del reparto de emisiones por tipo de combustible en el escenario conservador de medidas para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.4.2.5. Sector transporte.

El escenario de medidas para el sector transporte, incluye medidas que actúan sobre aspectos como el estilo de vida y costumbres de la población, cambios en tecnología, y nuevas alternativas de transporte. Las medidas incluidas en el sector se caracterizan por abordar principalmente el transporte terrestre y los consumos proyectados.

Debido a que este medio de transporte representa el mayor número de emisiones respecto a otros, las medidas parecen adecuadas a la realidad del Estado.

Cada una de las medidas genera una reducción anual en el consumo de combustibles a lo largo de todo el periodo y, dependiendo de la medida, la reducción es en un tipo de combustible o en varios, y su reducción se contabiliza en el año correspondiente. Al igual que en los sectores previos, se han construido dos escenarios de medidas, uno para cada escenario tendencial.

La reducción de cada una de las medidas propuestas fue calculada en base a la reducción potencial en unidades de energía. Para poder determinar dicha reducción, fue necesaria una serie de cálculos que permitieran cuantificar las reducciones de las medidas calculadas en reducciones de CO<sub>2e</sub> a TJ por tipo de combustible. El procedimiento permitió obtener resultados más acertados los cuales fueron aplicados directamente a la actividad específica del sector, afectada por la medida.

De la misma forma, en base al análisis entre la diferencia entre el PIB de los diferentes escenarios, se ha determinado la tasa de éxito de implementación de las medidas en el sector. Aplicando un factor de corrección al impacto de cada una de ellas, se ha logrado proyectar la reducción correspondiente a cada escenario tendencial.

**Tabla 142: Consumo por tipo de combustibles con implementación de medidas en el escenario conservador de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2011	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	29,949	34,356	38,763	43,170	111%
Diésel	7,461	9,000	10,553	12,106	13,659	15,212	104%
Diésel Marítimo	958	1,155	1,355	1,554	1,753	1,953	104%
Queroseno	1,683	1,706	2,000	2,294	2,588	2,883	71%

La implementación de las medidas en el escenario conservador de medidas tendría como resultado las siguientes reducciones en toneladas de t CO<sub>2e</sub>, asumiendo que las reducciones inician a partir del año 2014.

**Tabla 143: Reducción medidas escenario conservador en CO<sub>2</sub>e.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2015	2020	2025	2030
Emisiones reducidas totales	128,162	182,875	245,709	322,438

El siguiente grafico muestra el cambio que se daría en el escenario conservador de medidas con la puesta en marcha de las medidas propuestas. Como se puede observar, el cambio sería levemente apreciable, lo que sugiere la necesidad urgente de implementar medidas para controlar el aumento de emisiones de GEI.

**Gráfico 79: Evolución de las emisiones de GEI escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.4.2.6. Sector agropecuario.

Las medidas identificadas para el sector agropecuario, se enfocan en diferentes actividades del sector. Como en el resto de los sectores se han desarrollado dos escenarios de medidas, el primero en base al conservador tendencial y el segundo en base al optimista tendencial. Debido a que las medidas identificadas para el sector inciden en otros como el sector USCUS, las proyecciones de medidas han incluido una única medida, la cual está relacionada de forma directa con el sub sector agrícola, en la gestión de suelos.

La medida hace referencia a la cantidad de nitrógeno aplicado de forma directa a los suelos mediante el uso de fertilizantes sintéticos. Se tomaron los datos presentados en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado de Yucatán como punto de partida para las proyecciones de su uso. En base a los datos de fertilizante calculados en el Inventario, se estableció una reducción a 2030 del 50% sobre su crecimiento tendencial.

Los resultados proyectados se utilizaron como base para ambos escenarios de medidas. No obstante, el impacto de la medida depende del acercamiento conservador u optimista, el cual determinará el potencial de éxito en cada escenario.

**Tabla 144: Fertilizante aplicado a suelos en los escenarios tendencial y en los escenarios de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Fertilizante aplicado (kg N/año)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Sin medida	2,778,159	2,295,274	2,667,467	3,100,014	3,602,701	4,186,903	51%
Con medida	2,778,159	2,295,274	2,510,557	2,461,776	2,331,160	2,093,451	-25%

Como se puede observar, la implementación de la medida puede llegar a reducir la cantidad de fertilizantes utilizada en comparación con el 2005 hasta en un 25% a 2030. Mientras que no tomar acciones concretas en esta línea, podría resultar en un incremento en su uso de hasta el 50% a 2030.

Al aplicar la medida en el escenario conservador tendencial, se debió aplicar el factor de corrección correspondiente a una implementación más mesurada, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 145: Emisiones directas de N<sub>2</sub>O en la gestión de suelos en el escenario conservador tendencial y conservador medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones N <sub>2</sub> O	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Conservador Tendencial	31,254	25,822	30,009	34,875	40,530	47,103	51%
Conservador Medidas	31,254	25,822	27,222	25,861	23,781	20,739	-34%

El comportamiento en cuanto a las emisiones sigue con la misma tendencia que en el uso de fertilizantes. Sin embargo, las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la gestión de suelos en el subsector agrícola, pueden llegar a reducirse hasta un 40% a 2030, bajo el escenario conservador de medidas. De no implementarse la medida, el escenario conservador tendencial muestra como las emisiones pueden llegar a sobrepasar el 50% a 2030 en la actividad de este sub-sector.

Como se mencionó previamente, la medida afecta únicamente la gestión de suelos agrícolas, por lo que se debe analizar su impacto en las emisiones totales del sector agropecuario, convirtiéndolas a toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

El efecto de la medida no es visible en la repartición de la contribución de emisiones totales de CO<sub>2</sub>e, ya que los porcentajes siguen iguales que en los escenarios tendenciales. Su efecto en relación al escenario conservador tendencial en emisiones totales se puede apreciar mejor en los números proyectados, en la tabla siguiente.

**Tabla 146: Emisiones totales sector agropecuario en t CO<sub>2</sub> en el escenario conservador tendencial y conservador medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

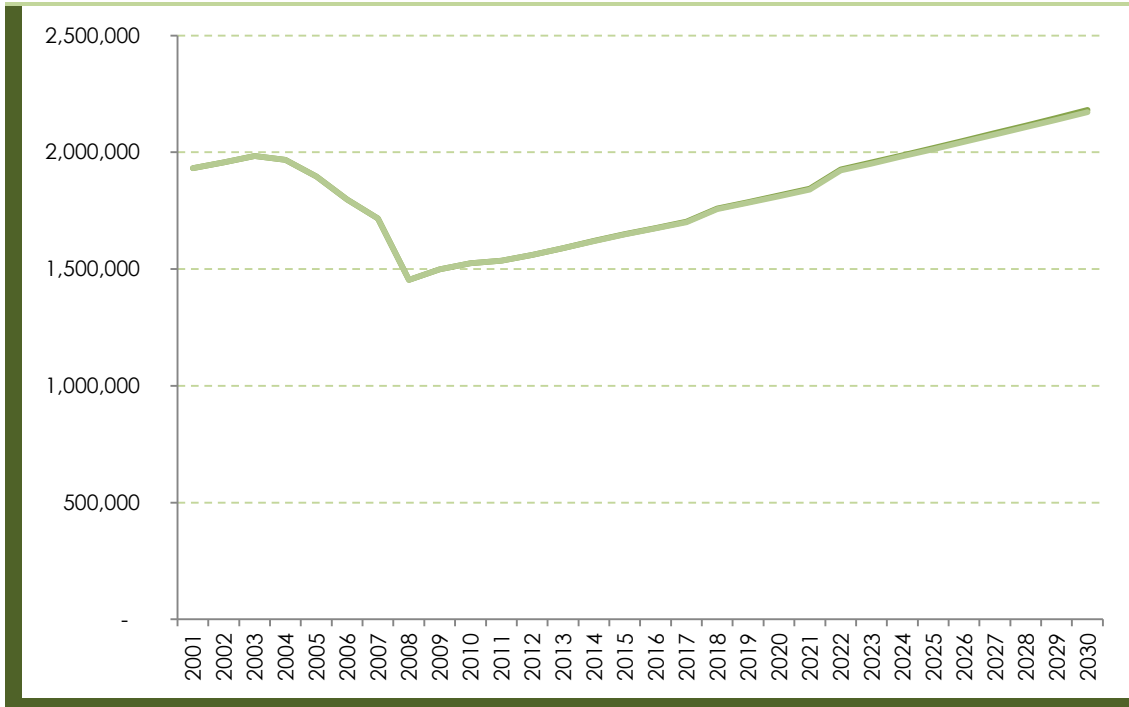
Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Conservador Tendencial	2,036,760	1,663,791	1,836,885	2,066,296	2,342,081	2,580,899	27%
Conservador Medidas	2,036,760	1,663,791	1,836,021	2,063,502	2,336,889	2,572,726	26%

Se puede ver como el impacto de la medida realmente no es tan perceptible al contabilizar la reducción junto con todas las demás emisiones del sector, incluyendo las del subsector pecuario. La aplicación de la medida reduciría las emisiones totales únicamente en un 1%. A finales del periodo, el impacto de la medida ya no es notorio, resultando en un crecimiento de alrededor del 26% para ambos en el escenario conservador tendencial y de medidas. El gráfico siguiente muestra ambos escenarios, donde se muestra que la diferencia es casi nula.



**Gráfico 80: Evolución de las emisiones de GEI escenario conservador de medidas y conservador tendencial.**

Fuente: Elaboración propia.



Se ve claramente que el impacto de la medida en las emisiones totales del sector, es mínima. La reducción más pronunciada es la de los proyectos MDL, los cuales deben ser considerados como una opción positiva tanto en este sector como en otros.

#### 6.4.2.7. Sector residuos.

Los escenarios con medidas del sector residuos se enfocan principalmente en dos líneas de acción, la primera dirigida a los sistemas de gestión y, la segunda, a los ratios de generación por habitante.

La medida enfocada a los sistemas de manejo de residuos tiene una doble vertiente: (1) el aumento del compostaje y (2) el aumento en actividades de reciclaje y recogida selectiva. Partiendo de datos de éxito a nivel nacional de este tipo de programas, se logró establecer un objetivo probable en la implementación de estas medidas. De esta forma se determinó un 15% de objetivo tanto para residuos sólidos urbanos destinados a procesos de compostaje, como a procesos de reciclaje y recolección selectiva. Para el caso específico del escenario medidas conservador, se aplicó el factor de corrección definido para el mismo, según el potencial de éxito

esperado. Por otro lado, la medida en relación a los ratios de generación asume un ratio no creciente a 2030 y lo establece como constante a partir del año 2014.

Los efectos de las medidas afectan directamente la cantidad de residuos generados, así como la gestión de los mismos.

**Tabla 147: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU (t /año)	504,029	590,276	647,687	684,059	718,255	749,180	49%
Ratio de generación	0.28	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	13%

Como se puede ver, el ratio se mantiene constante, disminuyendo los residuos generados al año en el Estado. El crecimiento proyectado bajo este escenario en la generación de residuos es del orden de 49% al 2030.

Como se expuso anteriormente, la segunda medida plantea la implementación de otros tipos de gestión de residuos, que permitan reducir las emisiones del sector y beneficiar a la población en general. La medida genera los siguientes resultados.

**Tabla 148: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario conservador de medidas.**

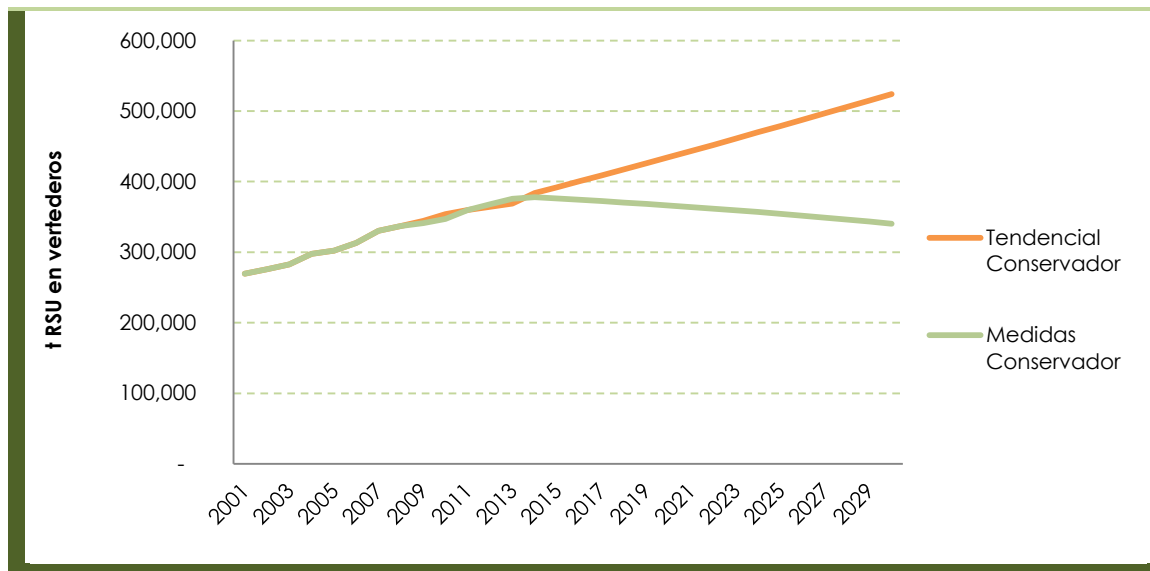
Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU Rellenos sanitarios (t)	302,417	353,983	376,043	366,260	354,393	340,292	13%
Emisiones CH <sub>4</sub>	14,083	16,485	17,512	17,057	16,504	15,847	13%

Los crecimientos en la disposición final en rellenos sanitarios se ven reducidos bajo este escenario en comparación con el conservador tendencial. Las emisiones aumentan tan solo un 26% a 2030 en relación al 2005. La gráfica siguiente muestra la diferencia entre el conservador tendencial y el conservador de medidas, en relación a la disposición final de residuos en rellenos sanitarios, donde se puede ver claramente un descenso en las toneladas destinadas a los mismos con la implementación de las medidas en el escenario conservador.

**Tabla 149: Residuos depositados en vertederos proyectados en t /año bajo los escenarios conservador tendencial y medidas conservador.**

Fuente: Elaboración propia.



Al igual que en los escenarios tendenciales, se mantuvo la cantidad constante en los procesos de incineración, integrando sus emisiones en los cálculos posteriores.

**Tabla 150: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Incineración (t)	260	260	260	260	260	260	0%

Las emisiones asociadas a las aguas residuales, por su parte, mantienen los mismos valores que el conservador tendencial, al no considerar ninguna medida para su reducción. Se consideraron únicamente las emisiones derivadas de las aguas residuales residenciales y las de consumo humano de proteínas.

**Tabla 151: Emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Aguas residuales (t CH <sub>4</sub> )	164	176	187	197	207	217	32%
Consumo humano de proteínas (t N <sub>2</sub> O)	100	108	114	120	126	132	31%

Las emisiones siguen las mismas tendencias descritas en el conservador tendencial, aumentando a 2030 en un 32% las de metano derivadas de aguas residuales y un 31% las derivadas del consumo humano de proteínas. Como resultado de las diferentes actividades, las emisiones resultantes equivalentes en CO<sub>2</sub> para el periodo del estudio son las siguientes.

**Tabla 152: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario conservador de medidas.**

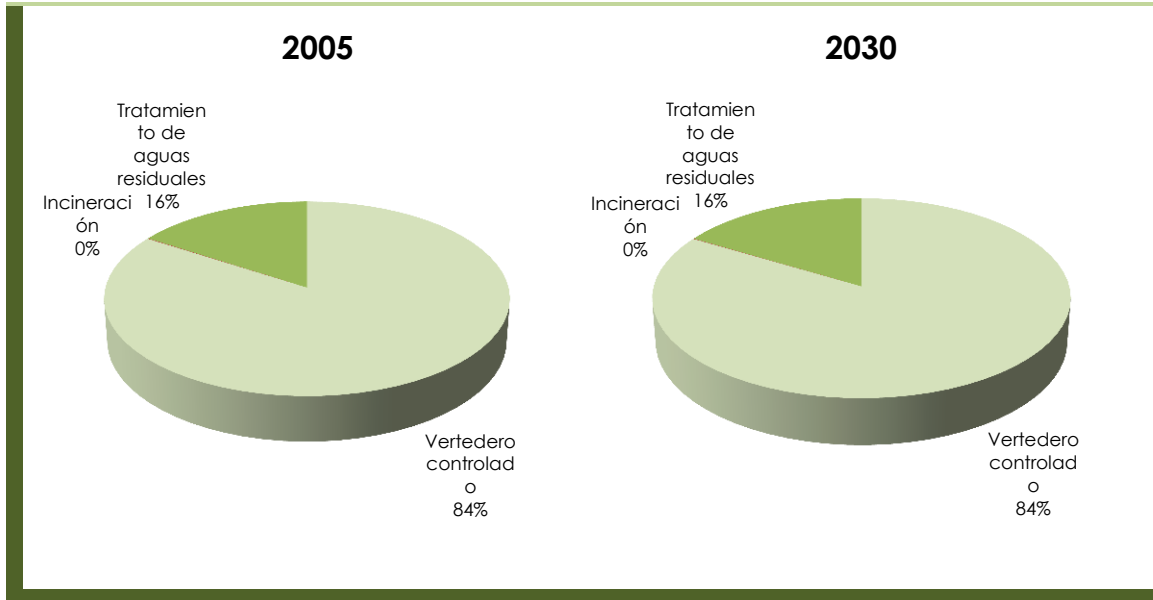
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005 -2030
Rellenos sanitarios	295,752	346,182	367,756	358,188	346,583	332,793	13%
Incineración	221	221	221	221	221	221	0%
Tratamiento aguas residuales	35,164	37,805	39,928	42,176	44,291	46,205	31%
Proyecto MDL		106,000	53,000	53,000	53,000	53,000	-
<b>TOTAL</b>	<b>331,138</b>	<b>278,208</b>	<b>354,906</b>	<b>347,585</b>	<b>338,095</b>	<b>326,219</b>	<b>-1%</b>

En este escenario, las emisiones provenientes de los rellenos sanitarios empiezan a decrecer a partir del 2015. En total, a 2030 las emisiones se ven reducidas por un 1% respecto al 2005, con la implementación de las medidas.

**Gráfico 81: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



La repartición de emisiones no se ve modificada bajo este escenario. En el escenario conservador tendencial aumentaba la participación de emisiones de vertederos al finalizar el periodo, mientras que en este caso mantiene la misma participación de alrededor de un 84%.

#### 6.4.2.8. Sector USCUS.

El escenario conservador de medidas para el sector USCUS se basa en el crecimiento económico conservador, desarrollado a partir de la Estrategia Nacional de la Energía 2012-2020 y adicionalmente incluye medidas de reducción de emisiones de GEI que influyen sobre la superficie forestal del estado. Dichas medidas inciden específicamente sobre la reducción de la deforestación y sobre el fomento de nuevas plantaciones forestales. En este escenario de mitigación se han incluido, por una parte, las medidas identificadas en los principales planes e informes nacionales que proponen acciones en el sector forestal a 2020 y a 2030, y por otro lado, las medidas que se han identificado en el marco de este estudio.

A la proyección de emisiones del escenario conservador tendencial se le han aplicado las medidas más significativas de los siguientes planes e informes:

### ***El Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.***

Este primer documento forma parte de una estrategia con un horizonte de actuación a 2050. El objetivo global de la estrategia es la de reducir las emisiones de GEI en un 50% respecto a los valores de 2000. Por ello, en una primera fase se han identificado un total de 294 metas en materia de mitigación, adaptación, y acciones transversales.

Las metas que se han contabilizado son aquellas que suponen una forestación o reforestación.

**Meta 73:** Establecer 170,000 ha de plantaciones forestales comerciales: 1.48 MtCO<sub>2e</sub> (2008 – 2012); 0.61 MtCO<sub>2e</sub> /año (en 2012).

**Meta 74:** Realizar la reforestación simple de una superficie de 1.117 millones de hectáreas: 1.01 MtCO<sub>2e</sub> (2008-2012); 0.41 MtCO<sub>2e</sub> /año (en 2012).

**Meta 75:** Realizar una reforestación con restauración de suelos de una superficie de 418,130 ha, durante el periodo 2008-2012: 0.23 MtCO<sub>2e</sub> (2008-2012); 0.09 MtCO<sub>2e</sub> /año (en 2012).

**Meta 76:** Restaurar 170,000 ha de ecosistemas forestales mediante el Programa de Compensación Ambiental, durante el periodo 2008-2012.

Los objetivos de actuación de estas acciones se plantean para todo el país, por lo que ha sido necesario realizar una asunción de aplicabilidad para el estado de Yucatán. En este sentido, se ha considerado que las medidas se aplicarán de forma proporcional en toda la nación. Por ello, se han estimado las hectáreas a reforestar en el estado de Yucatán en base a la proporción que supone la superficie de Yucatán respecto a México en su conjunto. Asimismo, a cada categoría de bosque se le ha aplicado una reforestación de acuerdo a la proporción de superficie que ocupe en el estado.

### ***Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional.***

Este estudio realiza un análisis del potencial del país en mitigación a 2020. En este sentido, se identificaron acciones que podrían ser ejecutadas con recursos propios y acciones que requerirían apoyo internacional (INE, 2011).

Además de las mencionadas, el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012, el estudio incluye nuevas medidas a 2020. La cuales se pueden observar a continuación:

- Reducción de la deforestación. Reducir en un 50% la deforestación a 2020.
- Reforestación. Incrementar la masa forestal en 2,500,000 ha a 2020, lo que supone un incremento anual de 260,000 ha a nivel nacional.
- Aforestación. Se propone la plantación de 800,000 ha entre 2010 y 2020, asumiendo una aforestación de 80,000 hectáreas anuales.

Estas medidas se han considerado siguiendo el mismo criterio anteriormente presentado, es decir, aplicando el incremento de las superficies forestales de manera proporcional a la superficie de Yucatán y a la categoría de cara bosque. En lo que a la reducción de la deforestación se refiere, se ha aplicado el objetivo de reducción de la deforestación en un 50% a las tasas de deforestación estimadas a partir de las series cartográficas del INEGI, es decir, asumiendo que dichas tasas se reducirían al 50% a 2020.

#### ***Programa especial de Cambio Climático para el período 2013-2030.***

A expensas de que el informe se publique, en el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012 se considera el periodo 2013-2030 como una etapa de fortalecimiento de capacidades a gran escala. En este sentido, una de las prioridades de actuación se centra en reducir la deforestación a "0", alcanzando un equilibrio entre degradación/deforestación y restauración/reforestación. Este objetivo se ha considerado en el escenario conservador de medidas, reduciendo progresivamente la deforestación entre el año 2020 y 2030 para alcanzar el equilibrio entre deforestación y reforestación a final del periodo.

Además de las medidas propuestas a nivel nacional, también se han tenido en cuenta las reducciones anuales que generarían las medidas propuestas en el marco del presente estudio.

- Mejora de la cobertura vegetal en tierras de pastoreo.
- Fomento de los sistemas agroforestales.
- Desarrollo de cultivos para la generación de biocarburantes.
- Fomento de la reforestación.
- Plantaciones en tierras deforestadas o degradadas

Una vez introducidos los objetivos de todas las medidas arriba descritas (tanto nacionales como las del presente proyecto) se ha considerado una tasa de aplicación

a cada una de ellas. Debido a que este escenario está basado en unas variables económicas cuyo crecimiento es inferior al del escenario optimista, es de suponer que la disponibilidad económica en el mismo será menor y que, por lo tanto, no será posible aplicar las medidas planteadas en su totalidad. Por ello, de cara a considerar esta hipótesis en ambos grupos de escenarios de medidas se ha incluido un factor de corrección o tasa de éxito derivada de la diferencia de recursos económicos disponibles entre las previsiones conservadora y optimista.

A partir de todo lo descrito anteriormente, el escenario conservador de medidas se ha desarrollado obteniendo los resultados que se describen a continuación.

En la siguiente tabla se recogen los resultados previstos para las superficies de los bosques manejados.

**Tabla 153: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Plantación comercial</i>	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	18.9%
<i>Reforestación</i>	4.1	4.1	4.4	4.7	4.8	4.9	18.9%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>	<b>7.2</b>	<b>7.4</b>	<b>18.9%</b>

En el escenario conservador de medidas las plantaciones comerciales y reforestaciones presentarían un incremento ampliamente superior al estimado en el escenario conservador respecto a 2005. Sin embargo, en conjunto, las tasas de deforestación disminuirían y las tasas de crecimiento de los bosques en expansión se verían aumentadas en este escenario por el efecto de las medidas. Por ello, la superficie de masas forestales manejadas del Estado de Yucatán obtendría únicamente un incremento de un 18% en el año 2030, respecto a los valores de 2005, pasando de 6.2 kha en 2005 a 7.4 kha en 2030.

En base a las superficies de bosques manejados proyectadas, se han obtenido las siguientes absorciones de CO<sub>2</sub> provenientes del crecimiento de la biomasa.



**Tabla 154: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Plantación comercial	11,510	11,506	12,152	13,022	13,351	13,688	18,9%
Reforestación	31,203	31,191	32,945	35,302	36,193	37,107	18,9%
<b>TOTAL</b>	<b>42,713</b>	<b>42,697</b>	<b>45,097</b>	<b>48,324</b>	<b>49,544</b>	<b>50,795</b>	<b>18,9%</b>

Bajo el escenario de medidas, la superficie de los bosques manejados aumentaría en mayor medida que en el escenario conservador, por lo que las absorciones se incrementarían de manera similar. En conjunto, los bosques manejados absorberían 50,795 toneladas de CO<sub>2</sub> en el año el año 2030, aumentando las remociones en un 18.9%, respecto a los valores de 2005.

Asimismo, en el escenario conservador de medidas la cantidad de madera en rollo extraída, el consumo de leña y carbón y la producción de madera combustible se ha estimado usando la misma metodología que en escenario conservador tendencial.

**Tabla 155: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/remociones (tCO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por extracción de madera en rollo	-2,552	-5,218	-11,208	-12,010	-12,313	-12,624	395%
Por consumos de leña y carbón	-9,619	0	-1,318	0	0	0	-100%
Por producción de madera combustible	-836,532	-844,823	-775,089	-781,526	-789,171	-798,251	-5%
<b>TOTAL</b>	<b>-848,702</b>	<b>-850,041</b>	<b>-787,615</b>	<b>-793,536</b>	<b>-801,484</b>	<b>-810,874</b>	<b>-4%</b>

En el escenario conservador de medidas las emisiones de GEI debidas a la extracción de madera aumentarían en un 395% a 2030, respecto a los valores obtenidos en el año 2005. Así al final del periodo se emitirían 12,624 toneladas de CO<sub>2</sub>e, 1,190 toneladas más que en el escenario conservador tendencial. En cuanto a las emisiones generadas por el uso de la leña, éstas se han estimado del mismo modo que en los escenarios tendenciales, los cuales se han basado en las series históricas. Por ello, en el escenario de medidas se obtendría el mismo resultado: emisiones nulas debido al abandono de

uso de este combustible. Asimismo, las emisiones asociadas a la producción de madera combustible sigue la misma tendencia esperada en el escenario tendencial conservador.

En cuanto a la conversión de los bosques y praderas, este escenario se ha basado en el escenario conservador tendencial, aplicándose después las medidas que fomentan la reducción de la deforestación. Siendo un escenario conservador, éstas medidas se han aplicado con una tasa de éxito conservadora, por lo que la deforestación tendería a ser nula en 2030, sin alcanzar dicho objetivo.

**Tabla 156: Emisiones debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-293,706	-363,193	-459,716	-558,705	117%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-182,316	-130,660	-132,302	-138,511	-54%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-476,022</b>	<b>-493,853</b>	<b>-592,017</b>	<b>-697,215</b>	<b>25%</b>

En el escenario conservador de medidas, debido al efecto de las medidas, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la quema *in situ*, a pesar de mostrar un crecimiento respecto a 2005, dicho crecimiento sería bastante menor que en el escenario tendencial conservador 117% vs. 478%. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2e</sub> por descomposición, éstas mostrarían un decrecimiento de un 54% en 2030 respecto a 2005.

En la siguiente tabla, se puede observar que en el escenario conservador con medidas las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> causadas por la combustión *in situ* disminuirían en un 62% a 2020 y desaparecerían en 2030, debido a que no se realizarían este tipo de prácticas en el escenario de medidas.

**Tabla 157: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de la biomasa aérea en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-1,282	-1,585	-2,006	-2,438	117%
CO	-9,824	-9,155	-11,214	-13,867	-17,553	-21,332	117%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-9	-11	-14	-17	117%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-318	-394	-498	-606	117%

Por último, en la siguiente tabla se muestran las remociones ocurridas en las tierras abandonadas.

**Tabla 158: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	1,476,698	1,606,716	1,786,960	1,975,180	8%

Tal y como se muestra en tabla anterior, en el escenario de medias conservador, las remociones por abandono de las tierras cultivadas aumentarían en un 8% a 2030, respecto a los valores de 2005, es decir, debido a que las medida de mitigación planteadas afectan a esta medida, se obtendrían valores de crecimiento respecto al escenario conservador tendencial.

Finalmente, en la siguiente tabla se muestran los resultados de las distintas categorías que integran el sector USCUS. En ella, se puede observar que el efecto de las medidas contribuiría al aumento de las remociones en el año 2030, ya que, en conjunto, las remociones se incrementarían en un 10% a 2030. Las medidas incidirían especialmente en el crecimiento de las masas forestales manejadas y en la disminución de la deforestación.

**Tabla 159: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario conservador de medidas.**

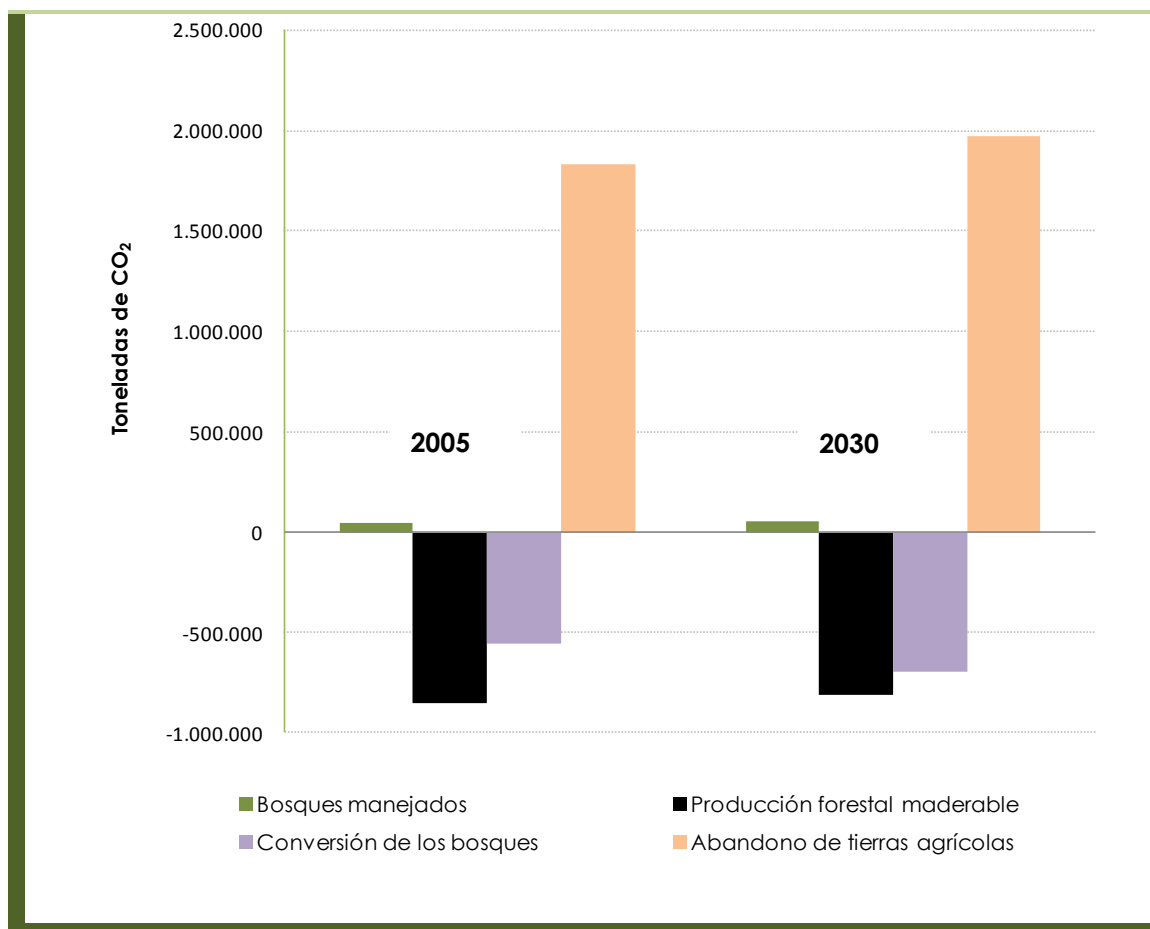
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,697	45,097	48,324	49,544	50,795	19%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-787,615	-793,536	-801,484	-810,874	-4%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-476,022	-493,853	-592,017	-697,215	25%
Abandono de las tierras cultivadas	1,833,990	796,104	1,476,698	1,606,716	1,786,960	1,975,180	8%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,145</b>	<b>258,158</b>	<b>367,651</b>	<b>443,003</b>	<b>517,886</b>	<b>10%</b>

En el siguiente gráfico se muestra el reparto de las emisiones y absorciones de GEI del año 2005 y del año 2030 en el escenario conservador de medidas.

**Gráfico 82: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario conservador de medidas.**

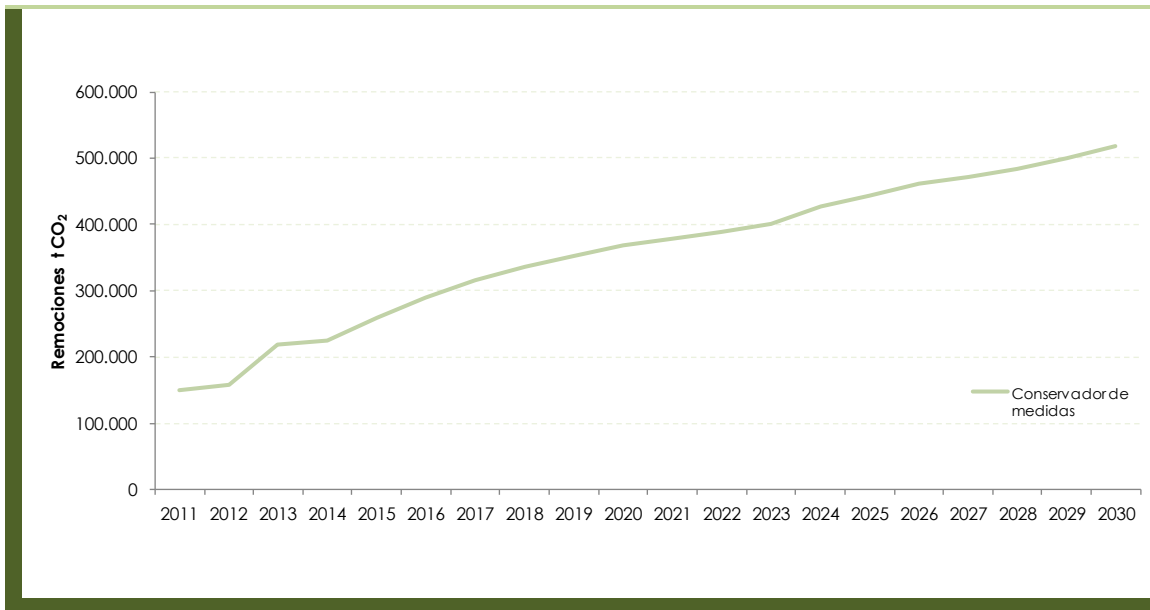
Fuente: Elaboración propia.



En el escenario conservador de medidas las remociones obtenidas en el sector USCUS aumentarán de forma progresiva a lo largo del periodo.

**Gráfico 83: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUS el escenario conservador de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



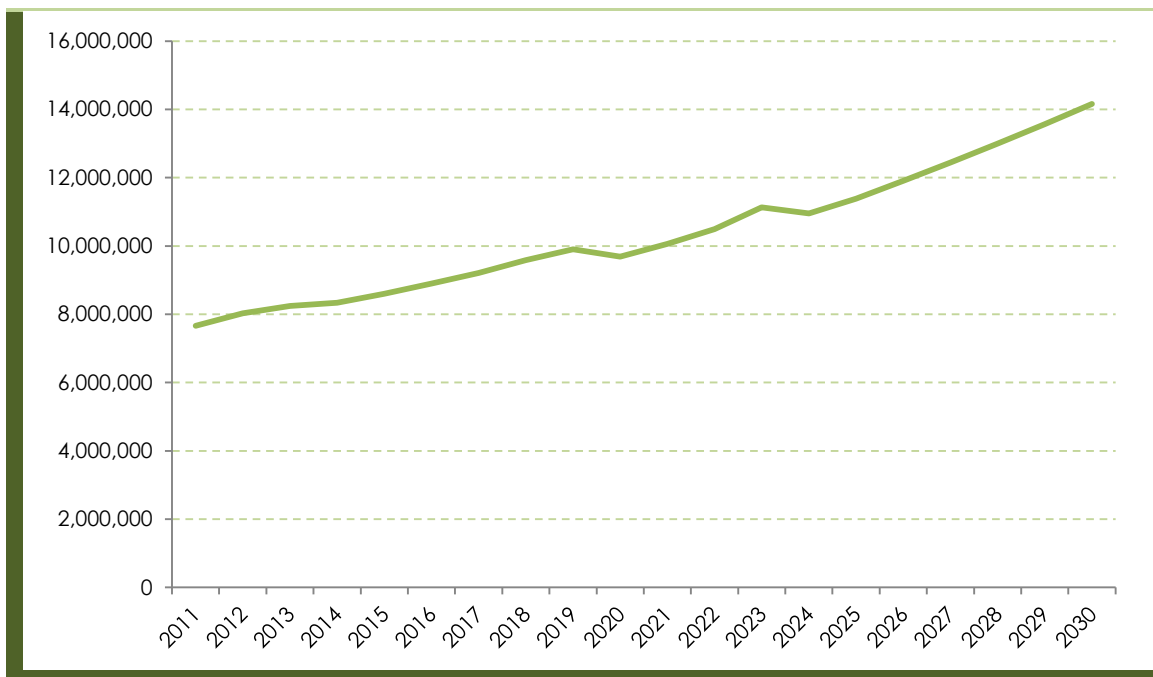
## 6.5. Escenario Medidas Optimista

### 6.5.1. Totales hasta el año 2030

El escenario optimista de medidas es el que tiene el crecimiento económico más optimista de los planteados en los escenarios de proyecciones y por ello se considera una tasa de éxito para las medidas de mitigación incluidas del 100%.

**Gráfico 84: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



El mayor crecimiento de las emisiones de GEI en el escenario optimista de medidas frente al escenario conservador de medidas causa que el efecto de las medidas, que se observa principalmente en los primeros años del periodo, sea menor. No obstante, sí que se puede observar que, en 2012 y 2013 la pendiente de la curva es menor que la de los años posteriores, es decir, que las emisiones crecen más lentamente. Asimismo, en 2019 y 2023 se produce una disminución de las emisiones respecto al año anterior, causada por el incremento de las exportaciones de electricidad.

**Tabla 160: Emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e por sector en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Energía Eléctrica	1,963,608	1,898,549	1,906,020	2,009,986	2,274,590	2,704,456	38%
Industria	1,041,058	1,041,055	1,215,689	1,469,972	1,795,749	2,189,617	110%
Transporte	2,155,548	2,637,247	3,109,038	3,757,769	4,525,866	5,402,679	151%
Residencial	439,278	461,980	555,739	661,281	810,791	991,540	126%
Servicios	73,131	77,960	2,015	2,020	2,025	2,030	-97%
Agropecuario	2,036,760	1,663,791	1,814,992	2,036,669	2,314,066	2,568,210	26%
Residuos	331,138	578,815	794,926	958,582	1,144,291	1,355,150	309%
<b>TOTAL</b>	<b>8,040,520</b>	<b>8,359,396</b>	<b>9,398,418</b>	<b>10,896,279</b>	<b>12,867,379</b>	<b>15,213,683</b>	<b>89%</b>
E. Eléctrica Exportada	-1,222,197	-1,001,683	-803,528	-1,211,973	-1,484,354	-1,053,322	-14%
<b>TOTAL</b>	<b>6,818,323</b>	<b>7,357,713</b>	<b>8,594,890</b>	<b>9,684,306</b>	<b>11,383,025</b>	<b>14,160,360</b>	<b>108%</b>
USCUSS (remociones)	471,165	-515,145	291,747	437,592	550,402	696,378	48%

Aunque el efecto de las medidas es menor en este escenario que en el escenario conservador de medidas, si se comparan los resultados obtenidos con los del escenario optimista tendencial, sí que se pueden apreciar reducciones en las emisiones de GEI. En el cómputo global, si no se contabiliza la energía eléctrica exportada, mientras que en el escenario optimista tendencial las emisiones se incrementan en un 110% en 2030 respecto a 2005, en este escenario el incremento se reduce hasta el 89%. El efecto de las medidas se observa con mayor claridad si se analiza el incremento contabilizando la energía eléctrica, que pasa del 143% en el escenario optimista tendencial al 108% en este escenario, por el efecto de las medidas de reducción de la demanda eléctrica.

**Gráfico 85: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



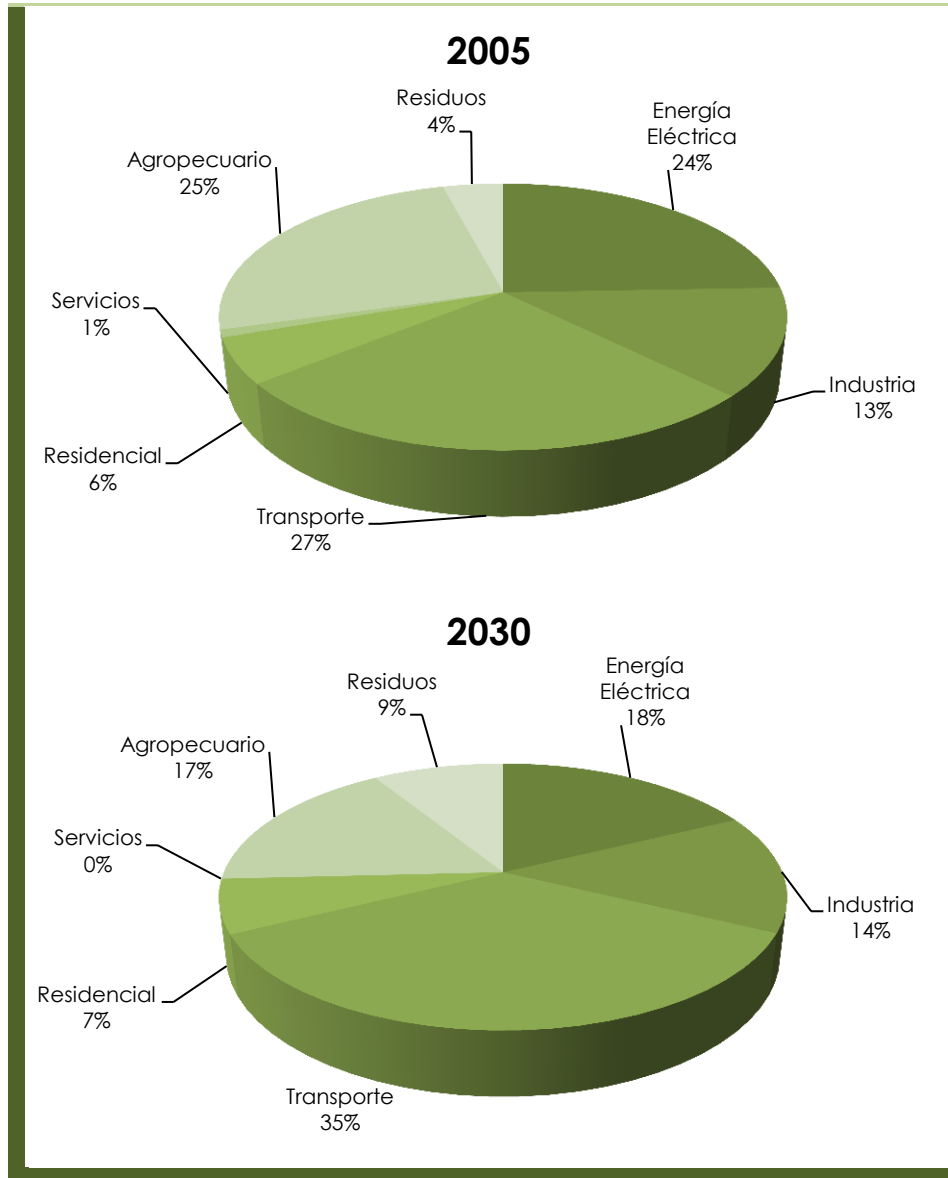
Pese a la aplicación de las medidas, en este escenario en todos los sectores se produce un incremento de las emisiones de GEI en 2030 respecto a 2005. Tal y como muestra la gráfica, el incremento es muy destacado en el caso del sector transporte. Para el resto de sectores, la tendencia de crecimiento es más lenta, principalmente en los primeros años de la proyección.

Al igual que en todos los escenarios anteriores, el sector transporte, además de experimentar el mayor crecimiento, es el mayor contribuidor a las emisiones de GEI del Estado, tal y como se puede observar en el gráfico inferior. Tras el transporte se sitúan, en porcentaje de emisiones, el sector agropecuario y el de generación de energía eléctrica. No obstante, al contrario que el transporte, ambos sectores ven reducida su contribución a las emisiones de GEI del Estado en 2030 respecto a 2005.



**Gráfico 86: Evolución del reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista de medidas.**

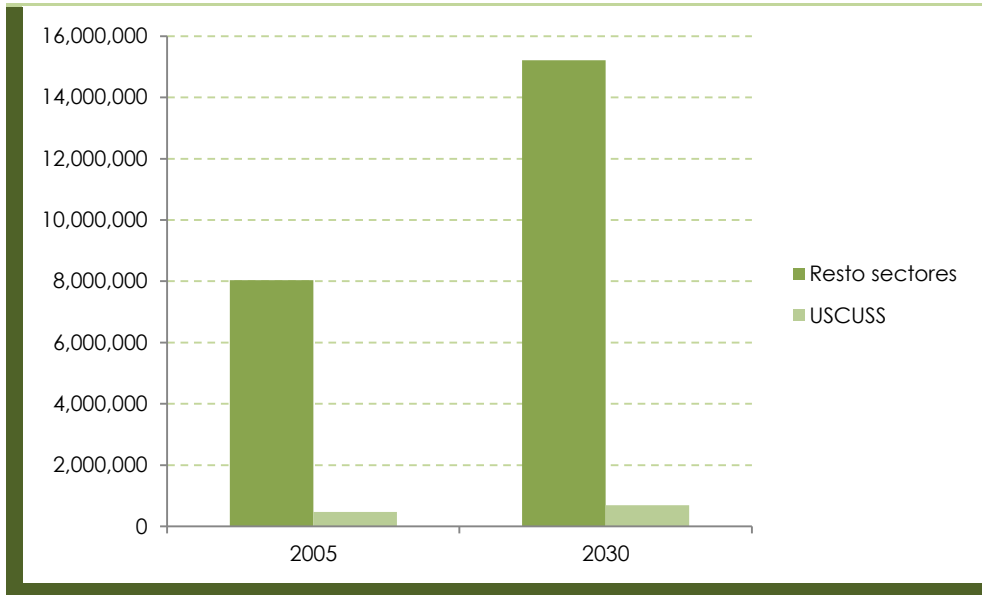
Fuente: Elaboración propia.



En este escenario, si se analiza la evolución de las emisiones de todos los sectores excepto USCUS y las remociones de USCUS entre 2005 y 2030, se observa que, en el caso de las emisiones se produce un incremento significativo de las mismas, mientras que, en el caso de las remociones, también se produce un incremento pero de una magnitud menor.

**Gráfico 87: Evolución de las emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e entre 2005 y 2030 en el escenario optimista tendencial.**

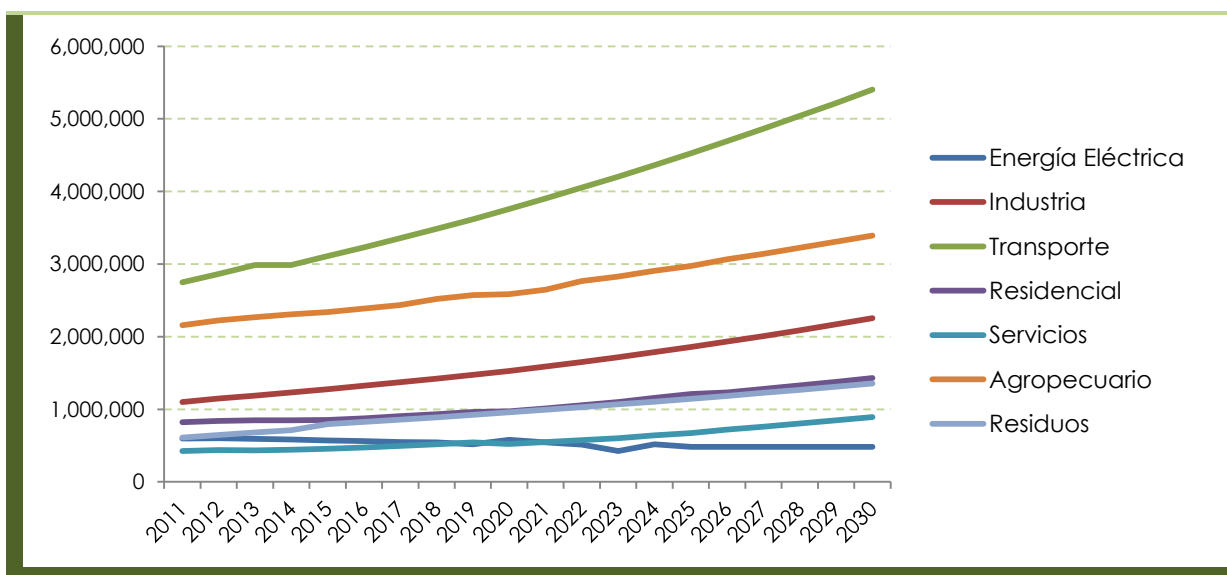
Fuente: Elaboración propia.



El enfoque de las emisiones responsables, es decir, la asignación de las emisiones de la generación eléctrica al sector que consume la electricidad y no al de generación eléctrica, produce modificaciones en la aportación sectorial a las emisiones de GEI del Estado. Sin embargo, invariablemente, el transporte permanece como el sector más emisor, pese a no asignársele emisiones debidas al uso de electricidad.

**Gráfico 88: Evolución de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas.**

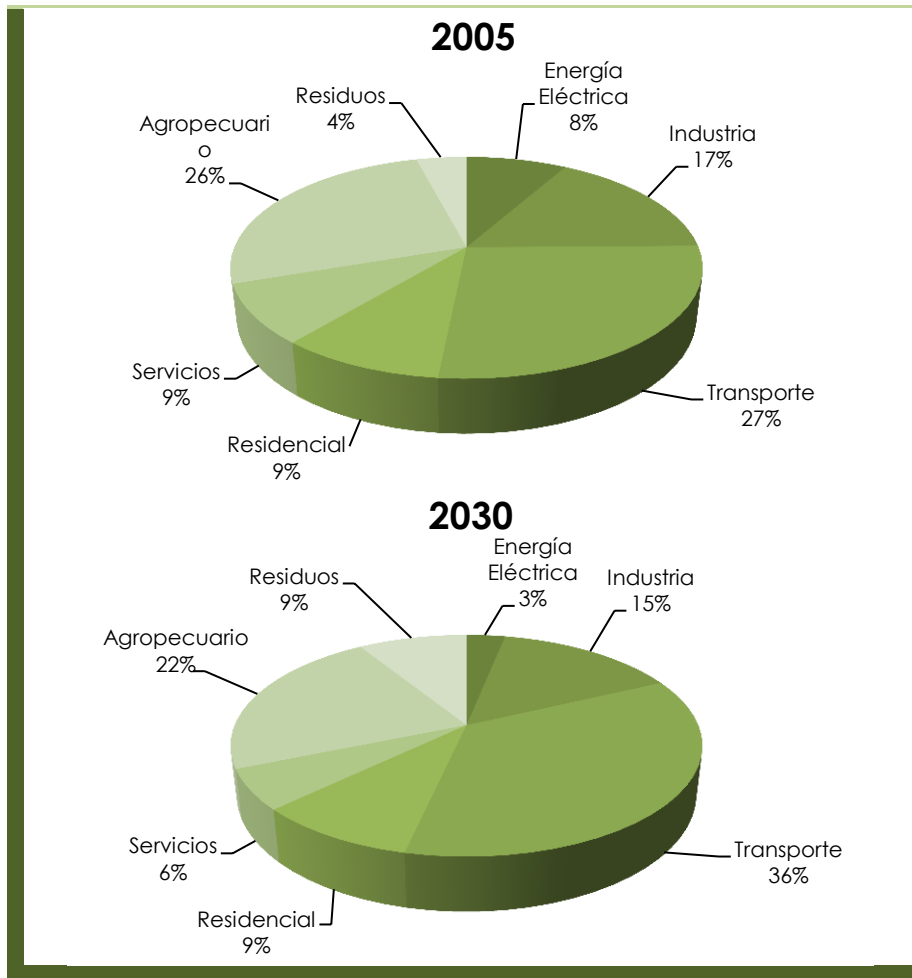
Fuente: Elaboración propia.



Sí que se puede apreciar, entre los efectos del cambio de enfoque, el incremento de las emisiones de los sectores agropecuario, industrial, residencial y servicios, así como la reducción de las emisiones que se da en el sector de generación de energía eléctrica.

**Gráfico 89: Evolución del reparto de las emisiones responsables de CO<sub>2</sub>e por sector entre 2005 y 2030 en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



En el reparto de las emisiones responsables por sector, si se compara 2005 y 2030, la diferencia más notable entre ambos años, sigue siendo el incremento del porcentaje de emisiones del sector transporte. No obstante, la comparación de este gráfico con el de emisiones en el que no se asignan las del consumo de energía eléctrica, sí que muestra los efectos de dicho reparto, ya que en este enfoque de emisiones responsables los porcentajes tanto del sector agropecuario, como del sector servicios, del residencial y del industrial se incrementan mientras se reduce el de la energía eléctrica.

## 6.5.2. Resultados sectoriales

### 6.5.2.1. Sector de generación eléctrica.

En el escenario optimista de medidas, al igual que en el escenario conservador de medidas, se incluyen medidas tanto para la diversificación de la generación eléctrica como para la disminución de la demanda eléctrica a partir de planes llevados a cabo en otros sectores económicos.

El crecimiento de PIB utilizado para las proyecciones de generación eléctrica en este escenario es el mismo que el empleado en el escenario optimista tendencial. Por lo tanto, considerando que este es el mayor de los crecimientos de PIB en los que se basan las proyecciones, en este escenario se considera que el crecimiento económico que implicaría este incremento del PIB permitiría aplicar las medidas de mitigación de emisiones de GEI en su totalidad.

Como resultado de esta modificación, respecto al escenario conservador de medidas, se producirá un incremento en la electricidad generada, así como una reducción aún más significativa de la demanda eléctrica.

**Tabla 161: Evolución de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

(MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Generación bruta	6,204,626	6,962,320	7,482,701	9,689,466	11,219,549	11,215,539	80.76%
Autoconsumos	297,541	333,876	358,831	464,655	538,030	537,838	80.76%
Pérdidas	989,973	1,110,866	1,219,680	1,269,320	897,564	897,243	-9.37%
Generación neta	4,917,112	5,517,578	5,904,190	7,955,491	9,783,955	9,780,458	98.91%

En el escenario optimista de medidas es en el que se llegaría a los valores más altos de generación eléctrica. Esto es debido a que, además de instalarse nuevas tecnologías de generación eléctrica como en el escenario conservador de medidas, la instalación de dichas tecnologías se llevaría a cabo en la totalidad de lo planteado en las medidas.

Así, se observa que la generación bruta se incrementaría en más de un 80% en 2030 respecto a 2005. Los autoconsumos se incrementarían en la misma medida que la generación bruta, al contrario que las pérdidas, que gracias a la medida aplicada para la reducción de las pérdidas en las redes de transmisión, se reducirían en más de

un 9% en 2030 respecto a 2005. Es importante destacar la cuantía de esta reducción, ya que las pérdidas se determinan como un porcentaje de la electricidad bruta generada. Por lo tanto, en 2030, las pérdidas totales serían inferiores a las pérdidas en 2005, aún siendo la generación prácticamente el doble.

Todos los factores anteriormente mencionados causarían que la generación neta en el Estado de Yucatán se incremente en casi un 100% en 2030 respecto a 2005.

Además de las variaciones que tienen lugar en la generación eléctrica, la demanda también disminuiría en este escenario por la aplicación de las medidas planteadas. En este escenario. Pese a incrementarse la demanda eléctrica en consonancia con el PIB de Latinoamérica, es decir, en el mayor porcentaje de los propuestos en las proyecciones, también se producirían las mayores reducciones de demanda eléctrica en los diferentes sectores gracias a la aplicación de las medidas.

**Tabla 162: Demanda eléctrica en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

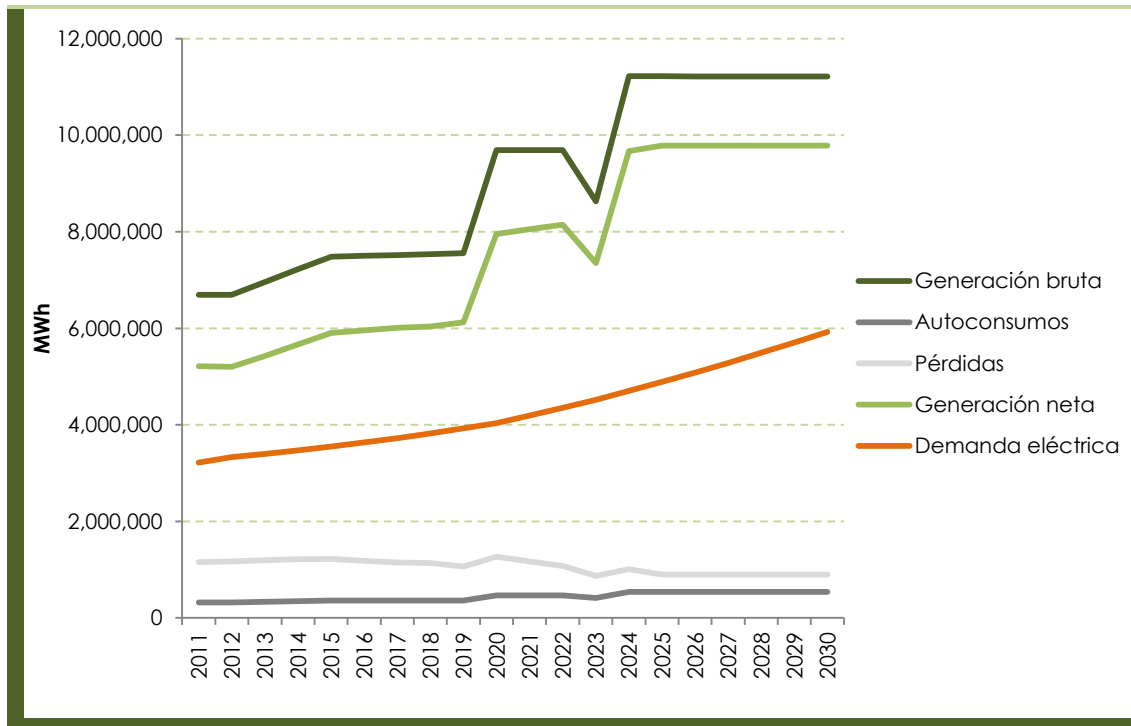
<i>Demanda eléctrica (Mwh)</i>	2005	2011	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Sin medidas</i>	2,531,409	3,107,505	3,696,003	4,408,141	5,238,744	6,218,307	145.65%
<i>Medidas sector industrial</i>	-	-	65,295	171,181	170,529	169,444	-
<i>Medidas sector servicios</i>	-	-	18,397	49,057	47,364	44,541	-
<i>Medidas sector residencial</i>	-	-	61,734	152,760	131,789	79,359	-
<i>Demanda total</i>	2,531,409	3,107,505	3,550,578	4,035,142	4,889,062	5,924,963	134.06%

En el escenario optimista tendencial se produciría un incremento de la demanda eléctrica de casi el 173% en 2030. Mediante la aplicación de las medidas, en este escenario se lograría que en 2030 el incremento solo alcance el 134%.

Gracias al incremento de la generación y la disminución de la demanda logradas, de considerarse que toda la electricidad no consumida se exportara, se lograrían unas exportaciones aún mayores que las planteadas en el escenario conservador tendencial.

**Gráfico 90: Evolución de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



El incremento de la generación neta y la reducción de la demanda eléctrica respecto al escenario optimista tendencial permiten que la imagen de la generación eléctrica en el Estado de Yucatán en este escenario se aleje de la imagen descrita en el escenario optimista tendencial. Así como, en dicho escenario, en 2030 el valor de la demanda sería muy cercano al de la generación neta, en este caso habría una diferencia de casi 3 millones de MWh entre ambos valores. No obstante, en este escenario, al igual que en los anteriores, una de las características más significativas del gráfico superior es la nitidez con la que se aprecia la instalación y retirada de centrales de generación de electricidad, tanto al comienzo del periodo como en 2019, 2022 y 2024.

Las medidas planteadas en el escenario optimista respecto a las medidas planteadas en el escenario conservador se diferencian principalmente en su porcentaje de aplicación. Es decir, las medidas aplicadas son las mismas con la diferencia de que en el escenario optimista de medidas se considera que el porcentaje de aplicación de las mismas alcanza el 100% de su potencial. Por lo tanto, en la generación eléctrica se observa que, para las mismas tecnologías instaladas, la producción eléctrica de éstas alcanzaría valores superiores que en el escenario tendencial de medidas.

**Tabla 163: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario optimista de medidas.**

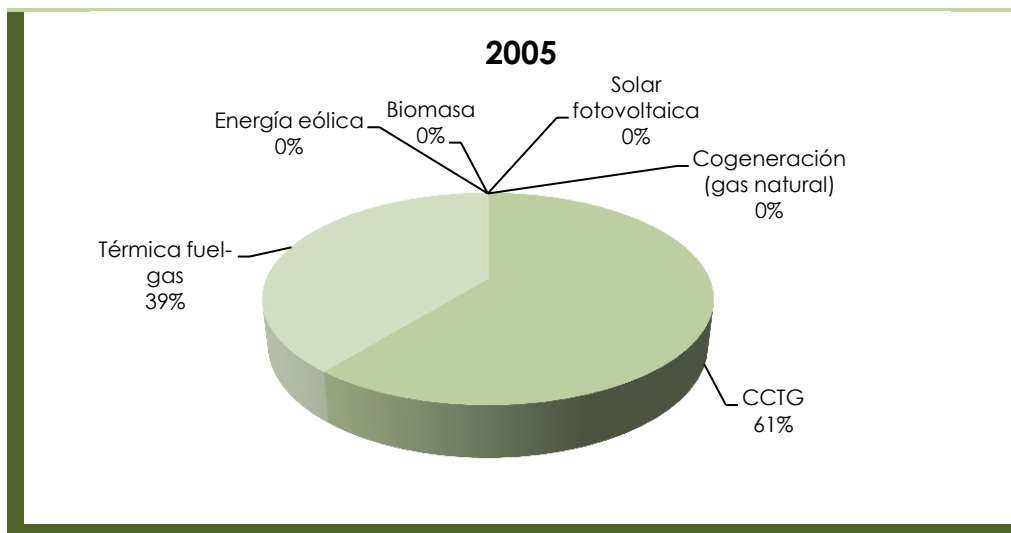
Fuente: Elaboración propia.

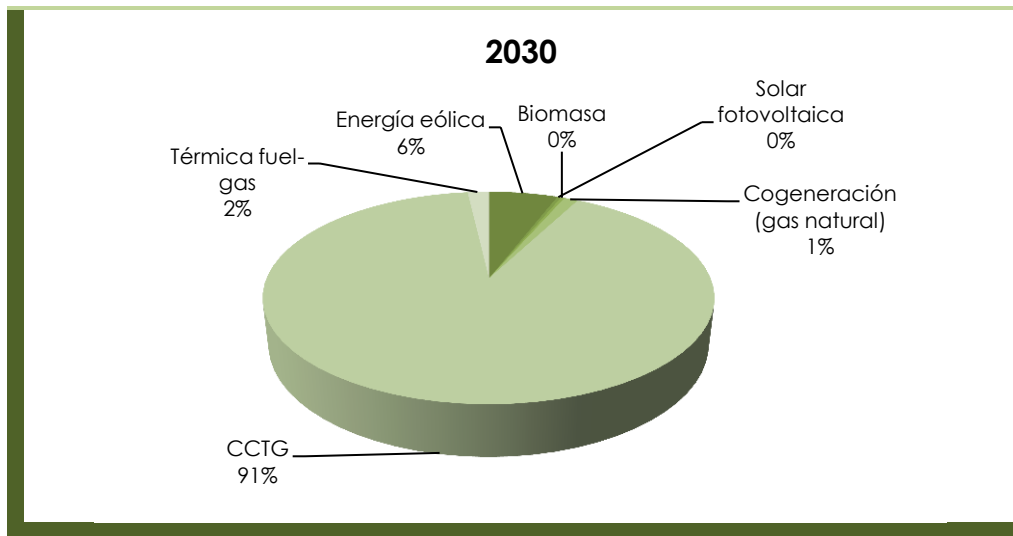
Producción (MWh)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Energía eólica	0	0	662,256	662,256	662,256	662,256	200.00%
Solar fotovoltaica	0	0	36,792	36,792	36,792	36,792	150.00%
Biomasa	0	0	33,554	33,554	33,554	33,554	200.00%
Cogeneración (gas natural)	0	0	55,279	142,818	138,692	134,682	620.30%
CCTG	3,778,085	5,892,320	5,892,320	8,610,746	10,144,955	10,144,955	168.52%
Térmica fuel-gas	2,426,541	1,070,000	802,500	203,300	203,300	203,300	-91.62%

En la tabla se puede observar el incremento que se produciría en el caso de las tecnologías instaladas a causa de la aplicación de las medidas. El incremento sería particularmente significativo en las instalaciones de cogeneración, ya que su implantación es más progresiva que la de otras tecnologías y en 2013 la medida tiene un bajo nivel de aplicación. No obstante, en la tabla se puede observar con claridad la tendencia que se produciría para cada tecnología, en todos los casos alista, excepto para las instalaciones de generación a base de diésel y combustóleo.

**Gráfico 91: Evolución de la generación eléctrica por tipo de tecnología en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.





La consecuencia de las medidas implantadas se observa claramente en el gráfico superior. Al implementarse las medidas en un mayor porcentaje, se generaría una mayor cantidad de electricidad a partir de energías renovables y de cogeneración mediante el uso de gas natural en 2030 en el escenario optimista de medidas que en el escenario tendencial de medidas.

Las emisiones causadas por las diferentes tecnologías de generación serían superiores en este escenario que en el resto de escenarios planteados. La causa de este incremento es el grado de aplicación de las medidas, ya que, aunque se trata de tecnologías en general de bajas emisiones, se alcanza un grado de implantación y una generación eléctrica mayor a partir de dichas tecnologías. Por lo que, en el caso de la generación a partir de biomasa y de la cogeneración mediante gas natural, se produciría un incremento en las emisiones de GEI.

**Tabla 164: Emisiones de CO<sub>2</sub>e por tecnología en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

f CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030 <sup>22</sup>
Energía eólica	0	0	0	0	0	0	-
Solar fotovoltaica	0	0	0	0	0	0	-
Biomasa	0	0	1,451	1,451	1,451	1,451	179.46%
Cogeneración (gas natural)	0	0	13,692	35,184	33,990	32,829	607.11%
CCTG	1,325,313	2,066,965	2,066,965	3,020,561	3,558,746	3,558,746	168.52%
Térmica fuel-gas	1,860,492	833,266	624,949	158,321	158,321	158,321	-91.49%

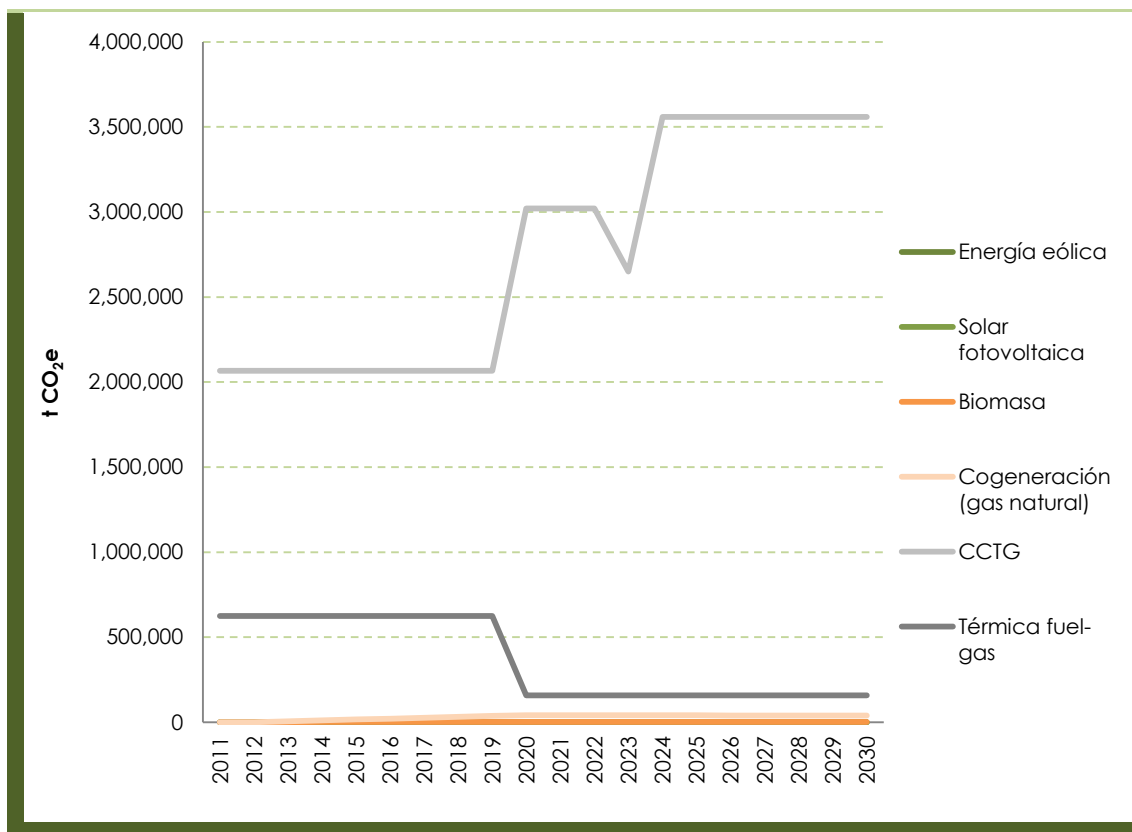
<sup>22</sup> Para las tecnologías implantadas, se calculan los porcentajes de incremento para 2030 respecto a 2013, primer año en el que generan electricidad.



No obstante, incluso en este escenario, la imagen general de las emisiones de GEI causadas por las tecnologías de generación apenas variaría respecto al resto de escenarios planteados. Incluso con el incremento causado por la aplicación de las medidas, las emisiones de estas tecnologías seguirían siendo netamente inferiores a las emisiones de la generación a partir de ciclo combinado de gas natural y de centrales térmicas de fuel-gas, tal y como puede observarse en el gráfico inferior.

**Gráfico 92: Evolución de las emisiones por tecnología en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



Sin embargo, en las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O no se producen variaciones respecto al escenario conservador de medidas.

Por último, para tener una visión global de los resultados obtenidos para las proyecciones del escenario optimista de medidas, se ha de considerar también el efecto de las exportaciones de electricidad. Pese a la aplicación de las medidas para reducir la demanda, en este escenario se alcanzarían valores de demanda eléctrica mayores que en el escenario conservador de medidas. Aun considerando el efecto del incremento de la generación eléctrica, no se conseguiría alcanzar los valores de

exportaciones de electricidad de dicho escenario, por lo que las emisiones por dichas exportaciones serían menores en valor absoluto, lo que incrementaría las emisiones totales.

**Tabla 165: Emisiones de CO<sub>2</sub>e de la generación y las exportaciones eléctricas en el escenario optimista de medidas.**

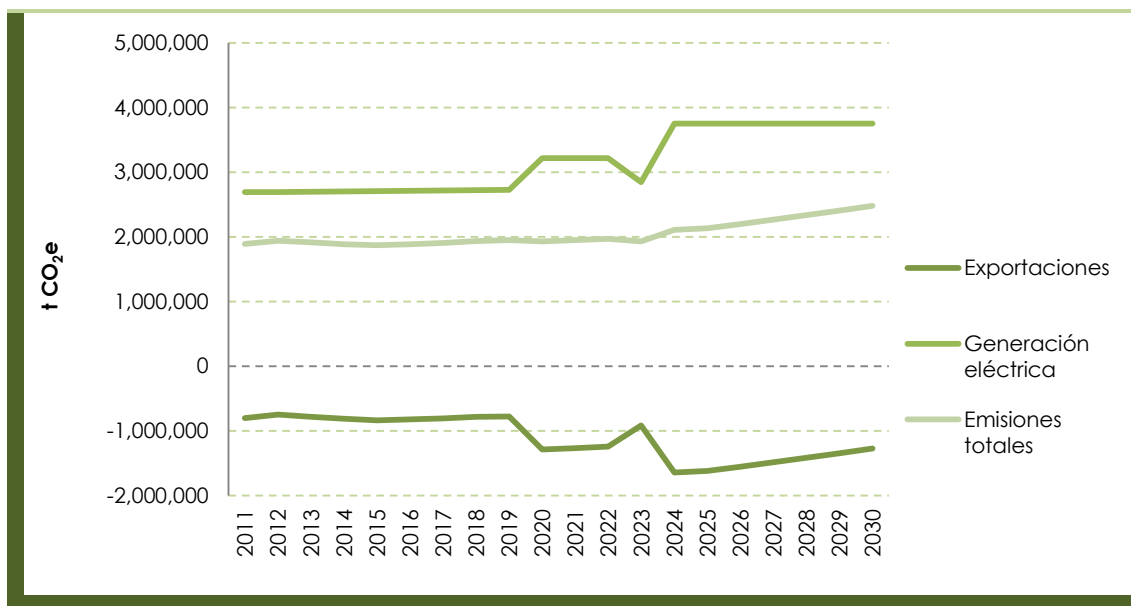
Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Exportaciones	-1,222,197	-1,001,683	-803,528	-1,211,973	-1,484,354	-1,053,322	-13.82%
Generación eléctrica	3,185,806	2,900,231	2,709,548	3,221,959	3,758,944	3,757,779	17.95%
Emisiones totales	1,963,608	1,898,549	1,906,020	2,009,986	2,274,590	2,704,456	37.73%

Tal y como se puede observar en la tabla, las emisiones de las exportaciones se reducen en, aproximadamente, un 13% en 2030 respecto al mismo año. Sin embargo, en el escenario conservador de medidas se incrementaron las emisiones de las exportaciones en algo más de un 4%. No obstante, la tendencia de ambos escenarios es muy similar, tal y como se observa en el gráfico inferior.

**Gráfico 93: Evolución de las emisiones de GEI de la generación eléctrica en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.5.2.2. Sector industrial.

En el escenario optimista de medidas se aplicarían las mismas medidas que en el escenario conservador de medidas, es decir, las que reducen el consumo eléctrico, que se aplican en las proyecciones del sector eléctrico y la medida de sustitución de las calderas que funcionan a partir de combustóleo por cogeneraciones que funcionan a partir de gas natural.

Este escenario, para cuya proyección el modelo se basa en el crecimiento del PIB previsto para Latinoamérica, es decir, el máximo crecimiento de los considerados en las proyecciones, la medida de sustitución del uso de combustóleo por gas natural se aplica íntegramente.

Ya que no se aplican medidas de mitigación que incidan sobre las emisiones de proceso o las causadas por el uso de halocarburos, no se detallan en este apartado los resultados de las proyecciones de estas emisiones.

De hecho, tal y como se puede observar en la tabla inferior, pese al incremento de consumo de combustibles que implica la tasa de crecimiento aplicada, en este escenario el consumo de combustóleo en 2030 sería inferior al registrado en 2005. Adicionalmente, la aplicación de la medida también tendría un efecto sobre el consumo de gas natural, que se ve incrementado respecto al observado en el escenario optimista tendencial, llegando a incrementarse en más de un 250% en 2030 respecto a 2005.

**Tabla 166: Consumo de combustibles de las industrias en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

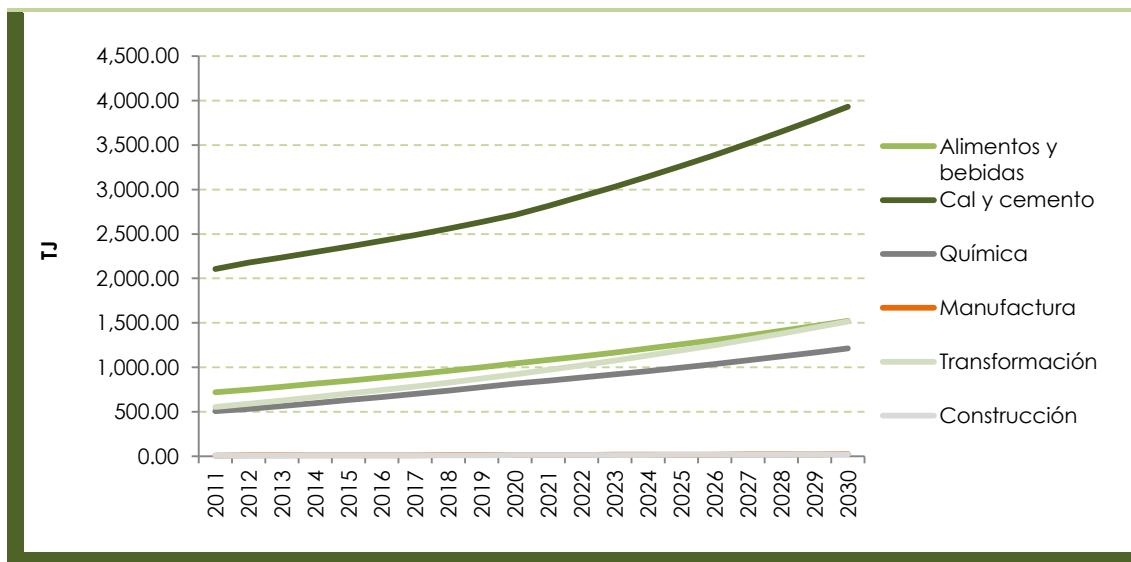
Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	1,978	1,899	2,337	2,856	3,478	4,230	113.79%
GLP	89	105	130	158	193	234	164.72%
Combustóleo	248	262	322	394	479	583	135.37%
Diésel/combustóleo	1,616	673	449	0	220	487	-69.87%
Gas natural	759	804	1,328	2,111	2,375	2,693	255.03%

La diferente tasa de crecimiento aplicada en este escenario produce variaciones en los efectos de la medida de mitigación. En este caso, se reduciría notablemente el consumo de combustóleo, de hecho, en 2030 se situaría como tercer combustible en cuanto a consumo, sólo por delante del GLP.

Sin embargo, al igual que en el escenario optimista tendencial, se observa claramente el significativo crecimiento del consumo de combustibles, particularmente para el coque y el gas natural, en el que además confluyen la influencia de la tasa de crecimiento y el incremento del consumo por la instalación de dispositivos de cogeneración.

Así como en el escenario conservador de medidas entre 2010 y 2020 apenas se incrementaría en consumo de combustible de los diferentes sectores industriales, en este escenario, para todos ellos, se produciría un claro incremento, que sería particularmente significativo para el sector de producción de cal y cemento.

**Gráfico 94: Evolución del consumo de combustibles por sector industrial en el escenario optimista de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.



Las emisiones de proceso y las derivadas del uso de halocarburos de este escenario serían las mismas que las proyectadas para el escenario optimista tendencial. No obstante, la aplicación de la medida de mitigación sobre las emisiones de combustión implica variaciones en el resultado de las emisiones totales del sector, que se verían reducidas a causa de la sustitución del combustóleo por gas natural como combustible para la producción de calor.

**Tabla 167: Emisiones de los sectores industriales en el escenario optimista de medidas.**

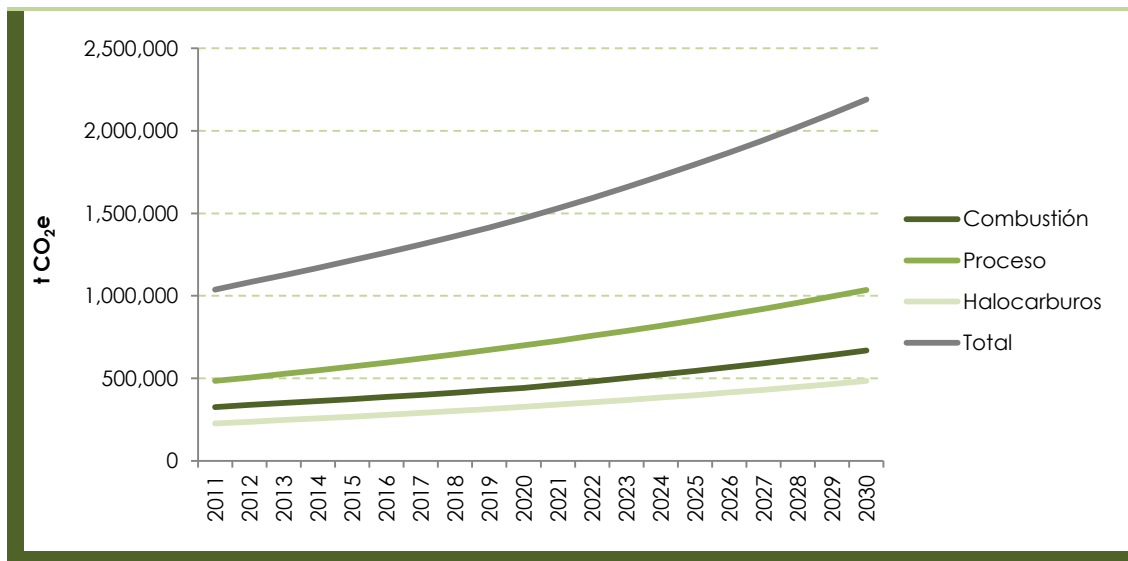
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Combustión	388,596	312,346	374,719	442,653	545,168	669,126	72.19%
Proceso	419,913	465,269	572,590	699,766	852,133	1,036,335	146.80%
Halocarburos	207,853	192,869	268,380	327,553	398,448	484,156	132.93%
Total	1,016,362	970,484	1,215,689	1,469,972	1,795,749	2,189,617	115.44%

Gracias a la aplicación de la medida de mitigación, el incremento de las emisiones de combustión apenas alcanzaría el 72% en 2030 respecto al mismo año. Esto implicaría una reducción de las emisiones frente al escenario optimista tendencial, en el que el incremento de las emisiones de combustión era del 79% en 2030.

**Gráfico 95: Evolución de las emisiones del sector industrial en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



Si se compara este gráfico con el del escenario optimista tendencial, apenas se observan diferencias. Pese a que las emisiones de combustión son menores en este caso, en líneas generales, la distribución de las emisiones de GEI del sector industrial no sufriría grandes variaciones.

El análisis de las emisiones por tipo de combustible incide en los efectos de la medida de mitigación comentados anteriormente. Con la aplicación de la medida se

produciría una reducción en las emisiones de combustóleo en 2030 que alcanzaría el 69%, frente al 7% que se produciría en el escenario optimista tendencial.

**Tabla 168: Emisiones de los combustibles consumidos en la industria en el escenario optimista de medidas.**

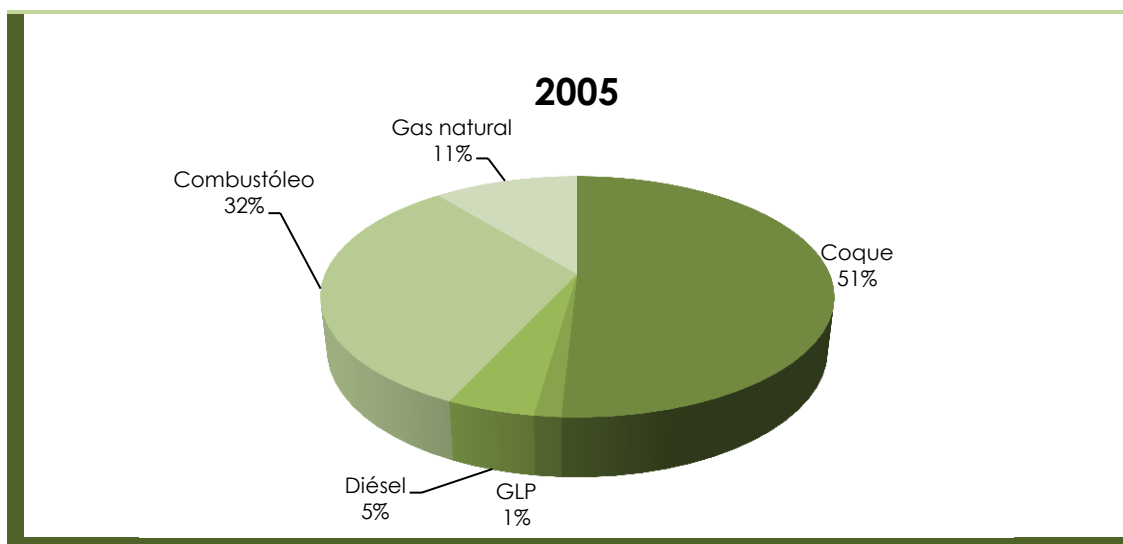
Fuente: Elaboración propia.

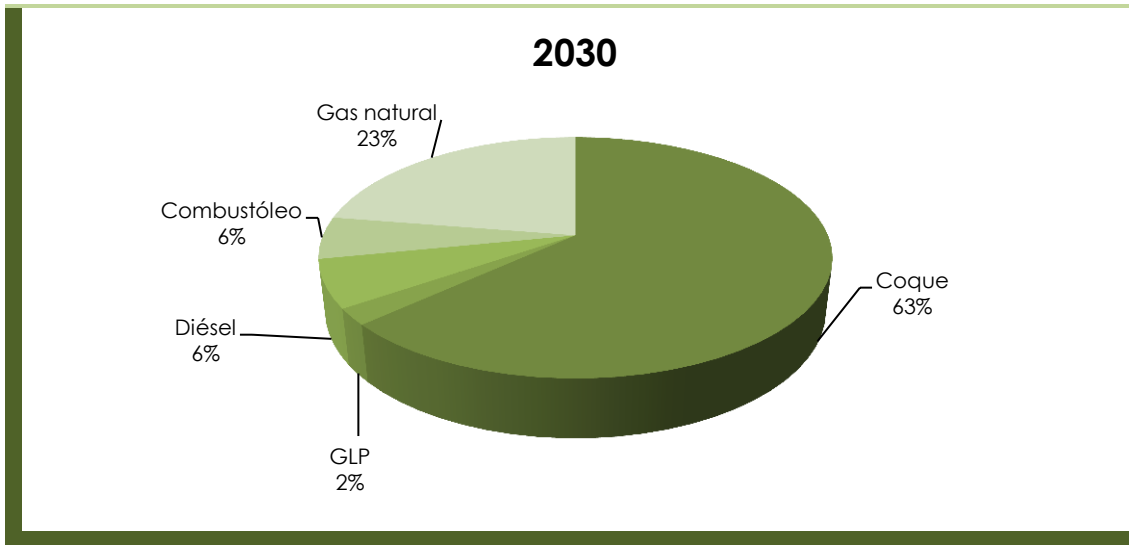
Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Coque	197,501	189,570	233,879	285,825	348,060	423,299	114.33%
GLP	5,530	6,572	8,095	9,893	12,047	14,651	164.94%
Diésel/combustóleo	18,166	19,196	23,705	28,969	35,277	42,903	136.17%
Gas natural	125,054	52,111	34,845	0	17,101	37,799	-69.77%

Otro de los efectos de la reducción de las emisiones de combustóleo es el que tendría en el reparto de las emisiones por tipo de combustible. En este escenario, las emisiones causadas por el combustóleo, en 2030, apenas representarían el 6% del total, frente al 17% del escenario optimista tendencial. Asimismo, se observa una clara diferencia entre las emisiones de gas natural de un escenario a otro, ya que su porcentaje de emisiones pasaría del 14% en el escenario optimista tendencial en 2013 al 23% en este escenario.

**Gráfico 96: Evolución de las emisiones del uso de combustibles en la industria para el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.





### 6.5.2.3. Sector comercio y servicios.

Al igual que en el escenario conservador de medidas para el sector, en el escenario optimista de medidas únicamente se contabiliza la medida de mitigación en la que se instalan colectores solares térmicos para reducir el consumo de GLP utilizado para la producción de agua caliente sanitaria. Por lo tanto, la principal variación que se produciría en este escenario si se compara con el escenario optimista tendencial, con el que comparte la tendencia de crecimiento económico proyectada, es que se reducirá el consumo de GLP.

La tabla inferior incluye los consumos tanto de GLP como de diésel proyectados en el escenario optimista de medidas para el periodo. Estos valores son significativamente superiores a los proyectados para el escenario tendencial de medidas, ya que el crecimiento de consumo previsto es menor en dicho escenario. Por otra parte, respecto al escenario optimista tendencial, se logra que el consumo de GLP en sólo se incremente un 130% en 2030 respecto a 2005, mientras que en el escenario optimista tendencial el valor del incremento era del 136% en 2030 respecto al mismo año.

**Tabla 169: Consumo de combustibles del sector servicios en el escenario MP.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	152.49	162.12	195.64	233.51	286.60	350.78	130.03%
Diésel	861.90	919.19	1,131.22	1,382.47	1,683.48	2,047.40	137.55%

No obstante, no se producirían grandes variaciones en la imagen general de consumo de combustibles del sector servicios a causa de la aplicación de la medida, ya que el diésel seguiría siendo el combustible más consumido en el sector, con valores de consumo similares a los reportados para el escenario optimista tendencial.

La reducción del consumo de GLP también tendría un efecto en las emisiones de GEI, que sufrirían una ligera reducción en este escenario respecto al escenario optimista tendencial. Así, las emisiones de GLP en 2030 en este escenario serían de 22,059.63 t, mientras que en el escenario optimista tendencial se contabilizaron 22,708.50 t. Esta reducción también se observaría en los porcentajes de crecimiento de las emisiones, que serían ligeramente inferiores en este escenario para el GLP.

**Tabla 170: Emisiones de GEI en el escenario TP para el sector servicios.**

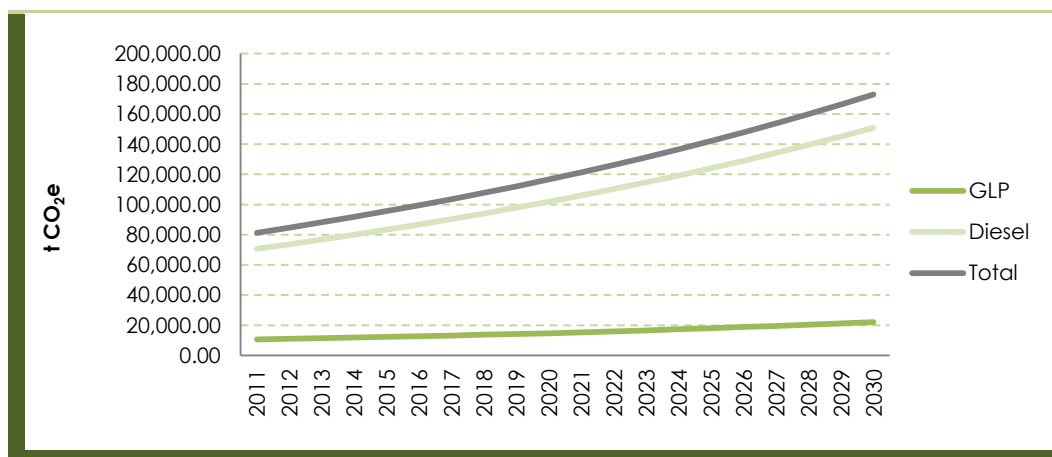
Fuente: Elaboración propia.

Combustible (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
GLP	9,590.00	10,195.11	12,303.43	14,684.61	18,023.32	22,059.63	130.03%
Diésel	63,540.78	67,764.59	83,395.46	101,918.15	124,109.82	150,938.24	137.55%
Total	73,130.78	77,959.70	95,698.89	116,602.76	142,133.14	172,997.87	136.56%

No obstante, en términos generales, la implantación de la medida apenas produciría variaciones en las emisiones proyectadas para el sector servicios si se compara el escenario optimista de medidas con el escenario optimista tendencial. De hecho, las tendencias observadas en el gráfico inferior son prácticamente iguales que las que se pueden apreciar en el gráfico del escenario optimista tendencial.

**Gráfico 97: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas para el sector servicios.**

Fuente: Elaboración propia.

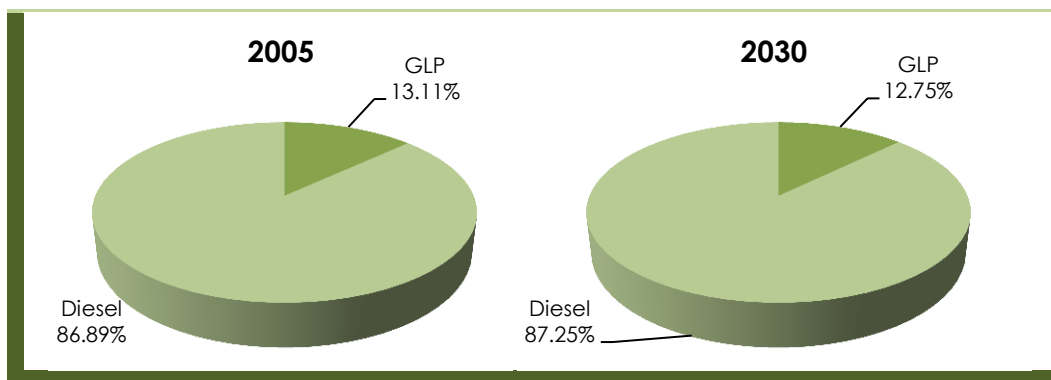




El reparto de las emisiones por tipo de combustible, al igual que en el resto de escenarios, apenas sufriría variaciones pese a la aplicación de la medida de mitigación. Apenas se observaría una pequeña reducción de las emisiones de GLP, cuyo porcentaje en este escenario sería el más bajo de todos los escenarios estudiados. La causa es que se trata del escenario en el que se aplicaría en mayor grado la medida de mitigación para reducir su consumo.

**Gráfico 98: Comparación de las emisiones en el escenario optimista de medidas en 2005 y 2030 para el sector servicios.**

Fuente: Elaboración propia.



En el reparto de emisiones por tipo de GEI, sin embargo, no se observarían variaciones relevantes en este escenario respecto a los resultados obtenidos para el escenario optimista tendencial.

#### 6.5.2.4. Sector residencial.

Las medidas aplicadas en el escenario optimista de medidas del sector residencial son las mismas propuestas para el escenario conservador de medidas del sector, es decir, la reducción del consumo de leña mediante la implementación de estufas mejoradas y la reducción del consumo del GLP empleado para la generación de agua caliente sanitaria. Sin embargo, la diferencia que se produciría en la aplicación de las medidas entre ambos escenarios es que en este escenario optimista, por ser el escenario en el que se produce un mayor crecimiento económico, la tasa de éxito de las medidas es del 100%.

En la tabla inferior se muestran los consumos de combustible proyectados para el escenario. Tanto en el caso de la leña como en el del GLP, los consumos serían

menores que los del escenario optimista tendencial, gracias a la aplicación de las medidas mencionadas.

**Tabla 171: Consumo de combustibles en el escenario optimista de medidas para el sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	5,973	5,813	6,484	7,278	8,230	9,381	57%
GLP	6,165	6,544	7,870	9,353	11,496	14,087	129%
Queroseno	33	26	33	40	48	59	78%
Gas Natural	680	673	829	1,013	1,233	1,500	120%

De hecho, en el caso de la leña, el incremento de consumo de 2030 respecto a 2005 apenas alcanza el 57% frente al 117% de incremento del escenario optimista tendencial. Asimismo, para el GLP, se logra que el incremento de consumo se reduzca del 136% que se producía en el escenario optimista tendencial para 2030 respecto a 2005 al 129% de este escenario.

La perspectiva completa de la evolución del consumo de combustibles en este escenario se puede obtener analizando el gráfico inferior. En el caso de la leña se aprecia claramente el efecto de la medida de reducción de consumo. Para el GLP, apenas si se aprecia dicha medida. Tanto para el gas natural como para el queroseno, no se produciría variación alguna respecto a la tendencia observada en el escenario optimista tendencial.

Al igual que ocurría en el escenario conservador de medidas, en este escenario el efecto de la medida de reducción del consumo de leña se vería minimizado por el hecho de que no se contabilicen emisiones de CO<sub>2</sub> para la leña. Es por ello que, al ser bajas las emisiones causadas por la combustión de leña, no se apreciaría una gran reducción de las emisiones a nivel global.

**Tabla 172: Emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas para el sector residencial.**

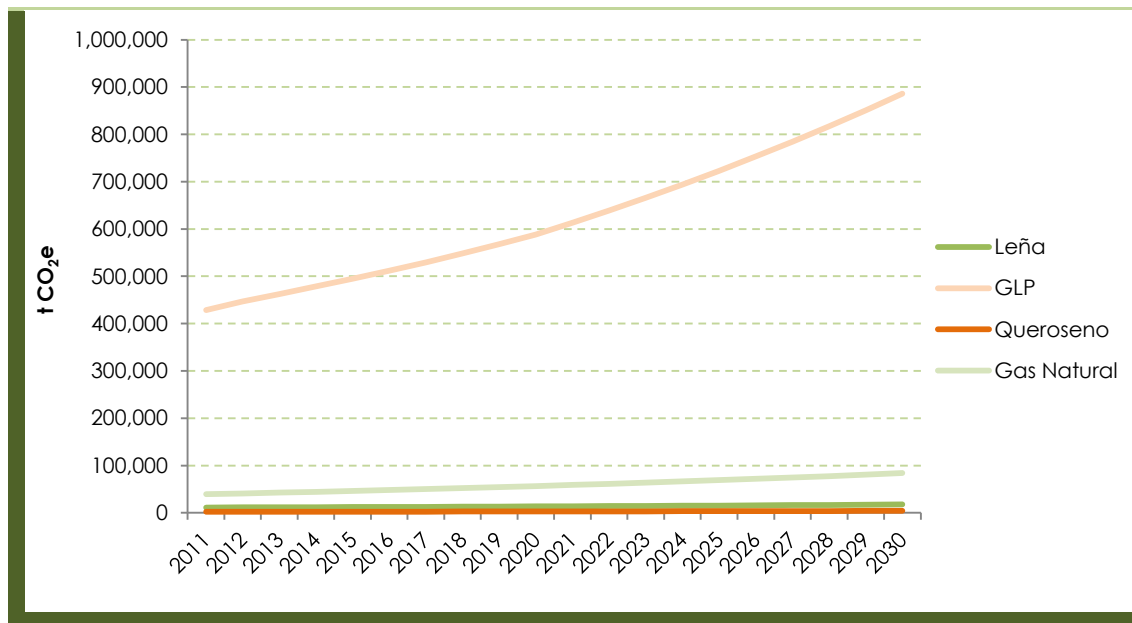
Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> e)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Leña	11,169	10,871	12,124	13,610	15,390	17,542	57%
GLP	387,677	411,545	494,924	588,166	722,939	885,872	129%
Queroseno	2,362	1,883	2,317	2,832	3,449	4,194	78%
Gas Natural	38,071	37,682	46,374	56,674	69,014	83,932	120%
<b>Total</b>	<b>439,278</b>	<b>461,980</b>	<b>555,739</b>	<b>661,281</b>	<b>810,791</b>	<b>991,540</b>	<b>126%</b>

Respecto al escenario optimista tendencial, en este escenario se produciría un menor incremento de las emisiones, tanto de leña como de GLP en 2030 respecto a 2005. En el caso de la leña, el incremento de emisiones se reduciría del 117% al 57% y, para el GLP, dicho porcentaje de incremento pasa del 136% al 129%.

**Gráfico 99: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas del sector residencial.**

Fuente: Elaboración propia.



En el gráfico se puede observar la tendencia de crecimiento de las emisiones de GEI del escenario optimista de medidas. El combustible que más emisiones produciría y en el que se daría un crecimiento más significativo es el GLP. Para el gas natural también se observa una tendencia creciente, y también se produciría un crecimiento en el caso de la leña y el queroseno, pero, por ser sus emisiones significativamente inferiores, no se aprecia con tanta claridad.

El efecto de las medidas sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>e por tipo de combustible es el mismo en este escenario que el que se produciría en el escenario conservador de medidas. Los resultados obtenidos para dicho escenario se pueden observar en el apartado 5.3.3.4 del presente documento.

### 6.5.2.5. Sector transporte.

En cuanto al escenario de medidas aplicadas al escenario optimista tendencial, las reducciones serían mayores debido a las proyecciones de un mayor crecimiento económico en el país, según las tendencias regionales. Es por ello que las asunciones tomadas respecto a los niveles de éxito de la implementación de las medidas en el escenario optimista tendencial resultan en una reducción mayor en el consumo de combustibles, lo que conllevaría una reducción de emisiones de GEI de la misma escala.

**Tabla 173: Consumo por tipo de combustibles con implementación de medidas en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Combustible (TJ)	2005	2011	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Gasolina	20,454	25,542	31,434	38,415	46,780	56,892	178%
Diésel	7,461	9,000	11,076	13,537	16,484	20,047	169%
Diésel Marítimo	958	1,155	1,422	1,738	2,116	2,573	169%
Queroseno	1,683	1,706	2,099	2,565	3,124	3,799	126%

La siguiente tabla muestra la cantidad de CO<sub>2e</sub> que se reduciría durante el periodo de estudio. Al igual que en los escenarios anteriores, se asume que las reducciones de las mismas se producen a partir del año 2014.

**Tabla 174: Reducción medidas escenario Latinoamérica en CO<sub>2e</sub>.**

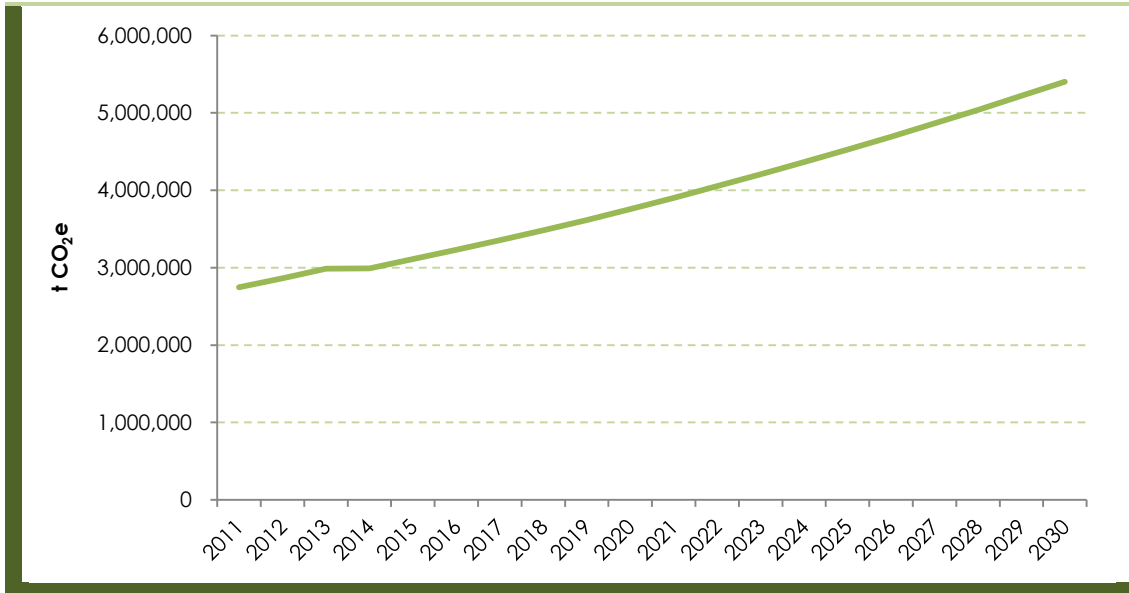
Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2e</sub>	2015	2020	2025	2030
Emisiones reducidas totales	136,552	208,689	304,248	471,545

A pesar de que la reducción en emisiones de GEI como resultado de las medidas sería mayor que la reducción estimada para el escenario conservador de medidas, la demanda de combustibles para el escenario basada en crecimientos del PIB a nivel Latinoamérica, es también mucho mayor. Su comportamiento puede apreciarse en el grafico siguiente.

**Gráfico 100: Evolución de las emisiones de GEI del escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



#### 6.5.2.6. Sector agropecuario.

El escenario optimista de medidas para el sector agropecuario, es el que se realiza bajo el escenario económico de Latinoamérica. Las medidas a implementarse en el sector son las mismas que en el escenario conservador de medidas, que se rige bajo el modelo económico conservador. La diferencia de uno y del otro se puede observar mejor en los resultados.

El escenario incluye la implementación de una medida en relación a la gestión de suelos agrícolas y se basa en la reducción del uso de fertilizantes sintéticos en el Estado de Yucatán, los cuales son responsables de las emisiones directas de óxido nítrico. Como se mencionó anteriormente, se estableció un objetivo de reducción del uso de este tipo de fertilizantes a 2030 de un 50%. Haciendo uso de los cálculos y datos contenidos en el Inventario de Emisiones de GEI del Estado, se proyectaron las cantidades en kg de N al año a 2030.

**Tabla 175: Fertilizante aplicado a suelos en los escenarios tendenciales y en los escenarios de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Fertilizante aplicado (kg N/año)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Sin medida	2,778,159	2,295,274	2,667,467	3,100,014	3,602,701	4,186,903	51%
Con medida	2,778,159	2,295,274	2,510,557	2,461,776	2,331,160	2,093,451	-25%

Las cantidades a 2030 de nitrógeno aplicado suelos se reducirían en un 25 % a 2030 en comparación con el año 2005. Si la medida no es implementada, se proyecta un aumento en el nitrógeno aplicado a suelos de hasta un 51% a 2030 lo que conllevaría un mayor porcentaje de emisiones de N<sub>2</sub>O derivadas de la gestión de suelos.

El resultado en emisiones de óxido nitroso para el escenario optimista de medidas se presenta en la tabla siguiente. Asimismo se exponen las emisiones del escenario optimista tendencial para su comparación.

**Tabla 176: Emisiones directas de N<sub>2</sub>O en la gestión de suelos en el escenario optimista tendencial y optimista medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones N <sub>2</sub> O	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Optimista Tendencial	31,254	25,822	30,009	34,875	40,530	47,103	51%
Optimista Medida	31,254	25,822	28,244	27,695	26,226	23,551	-25%

Los efectos de la medida en este escenario con enfoque optimista puede variar respecto al optimista tendencial, reduciéndose en un 25% a 2030. Al convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O derivadas de la gestión de suelos agrícolas en t de CO<sub>2</sub>e, e integrarlas al cálculo general del sector agropecuario, los resultados son los siguientes.

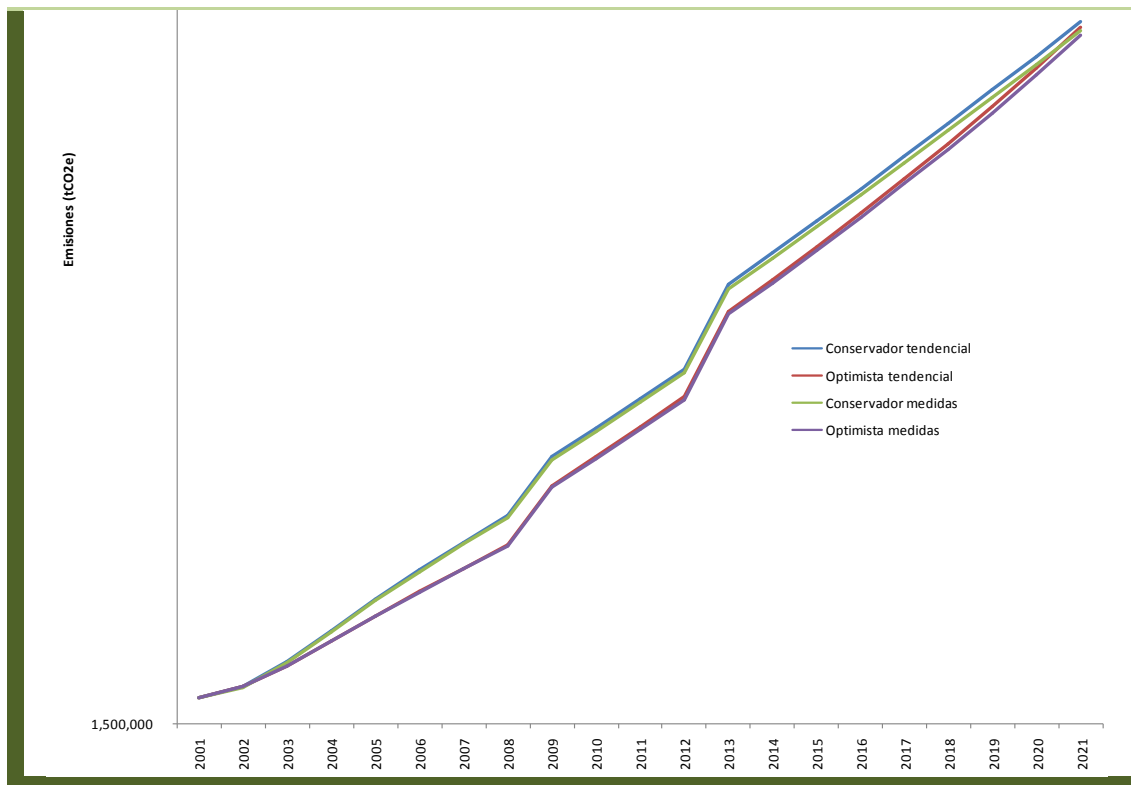
**Tabla 177: Emisiones totales sector agropecuario en t CO<sub>2</sub>e en el escenario conservador tendencial y conservador medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Optimista Tendencial	2,036,760	1,663,791	1,815,539	2,038,895	2,318,500	2,575,511	26%
Optimista Medida	2,036,760	1,663,791	1,814,992	2,036,669	2,314,066	2,568,210	26%

Se puede observar como la medida tiene un impacto insignificante en la reducción de emisiones al igual que en el escenario conservador. Al 2030, el crecimiento de las emisiones sería inevitablemente de un 26%. El gráfico siguiente muestra tanto los escenarios conservadores como los optimistas, los cuales demuestran una variabilidad limitada.

**Gráfico 101: Evolución de las emisiones de GEI escenarios conservadores y optimistas.**  
Fuente: Elaboración propia.



La diferencia entre los escenarios tendenciales y sus correspondientes escenarios de medidas es poco apreciable. Es mucho más visible la diferencia de emisiones entre los escenarios de acercamiento conservador basados en el modelo económico conservador, con las emisiones totales de los escenarios optimistas, basados en proyecciones económicas a nivel de la región Latinoamericana.

#### 6.5.2.7. Sector residuos.

Por otro lado, el escenario optimista de medidas también sigue la misma línea de los demás escenarios del sector, basándose sobre el escenario optimista de medidas el cual se ha proyectado según crecimientos a nivel de la región de América Latina.

Las medidas implementadas son las mismas que en el anterior escenario de medidas, pero bajo la asunción de que el potencial de éxito de la medida es mayor que el del conservador. Por un lado la medida enfocada hacia mantener el ratio de generación, y por otro la relacionada con la introducción de nuevos métodos de gestión de residuos en el Estado de Yucatán.

La medida enfocada a los sistemas de manejo de residuos tiene como objetivo destinar el 15% de RSU a reciclaje y otro 15% a compostaje. Por otro lado, la medida en relación a los ratios de generación, asume un ratio no creciente a 2030 y lo establece como constante a partir del año 2014.

**Tabla 178: Proyecciones de la generación de RSU y su ratio de generación en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU (t /año)	504,029	590,276	754,943	922,621	1,123,513	1,366,379	171%
Ratio de generación	0.28	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	13%

Con estas hipótesis de partida, el resultado muestra un aumento de residuos a 2030 de 171%. En comparación con el escenario optimista tendencial, el incremento a 2030 es menor.

La segunda medida relacionada con la implementación de otros medios de gestión de residuos resulta en una reducción de RSU en rellenos sanitarios, de donde proviene el mayor porcentaje de emisiones del sector.

**Tabla 179: Residuos depositados en sitios de disposición final y sus emisiones de metano en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
RSU Rellenos sanitarios (t)	302,417	353,983	436,745	484,905	531,008	573,456	90%
Emisiones CH <sub>4</sub>	14,083	16,485	20,339	22,582	24,729	26,706	90%

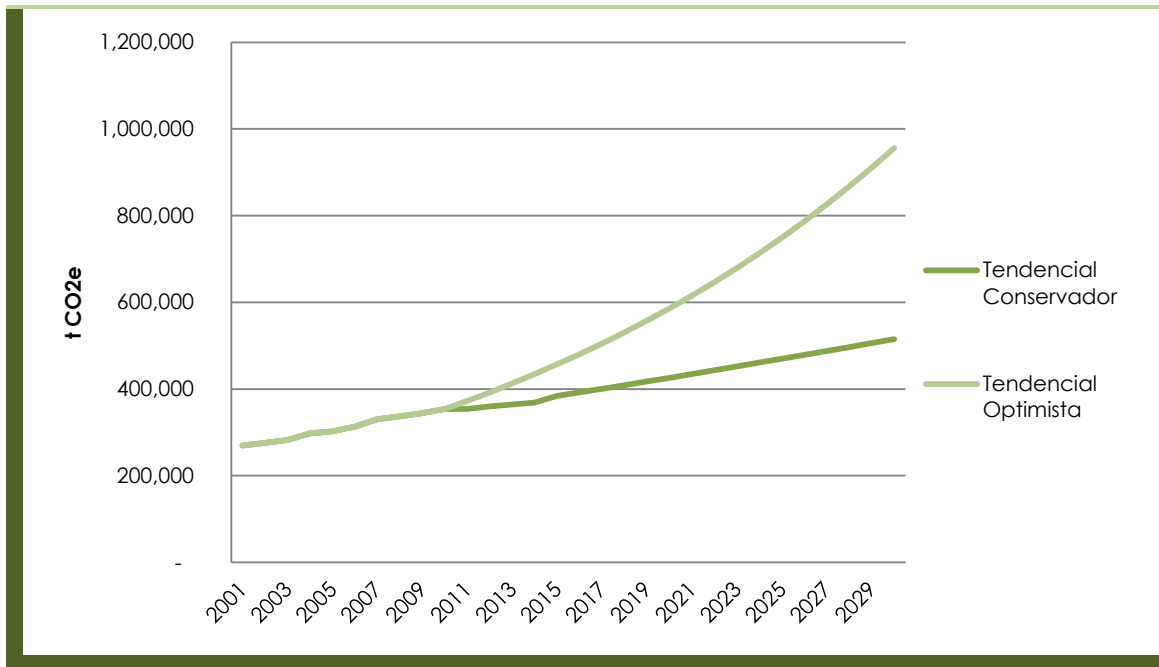
Bajo el escenario optimista de medidas, el aumento de las emisiones de metano crecería un 90% a 2030, lo que representaría un crecimiento mucho menor que en el



escenario optimista tendencial. El gráfico siguiente permite visualizar mejor la tendencia de residuos destinados a rellenos sanitarios y ver el efecto que tiene implementar medidas de reciclaje y compostaje en el Estado.

**Gráfico 102: Residuos depositados en vertederos proyectados en t /año bajo los escenarios optimista tendencial y conservador medidas.**

Fuente: Elaboración propia.



En lo que concierne la cantidad destinada a procesos de incineración, esta se mantuvo constante y se integran sus emisiones en los cálculos posteriores.

**Tabla 180: Residuos destinados a procesos de incineración y en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Incineración (t)	260	260	260	260	260	260	0%

Las aguas residuales también mantienen sus valores según el escenario optimista tendencial. Como se mencionó antes, se consideraron únicamente las emisiones derivadas de las aguas residuales residenciales y las de consumo humano de proteínas.

**Tabla 181: Emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> totales de aguas residuales en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

RSU (t)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Aguas residuales (t CH <sub>4</sub> )	164	176	216	264	322	391	139%
Consumo humano de proteínas (t N <sub>2</sub> O)	100	108	133	162	197	240	139%

Los crecimientos son los mismos que los del escenario optimista tendencial. Tanto las emisiones de metano como las de consumo de proteínas aumentan alrededor de un 139% a 2030.

Las emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub>e son las siguientes bajo el escenario optimista de medidas.

**Tabla 182: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e derivadas de las distintas actividades del sector en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

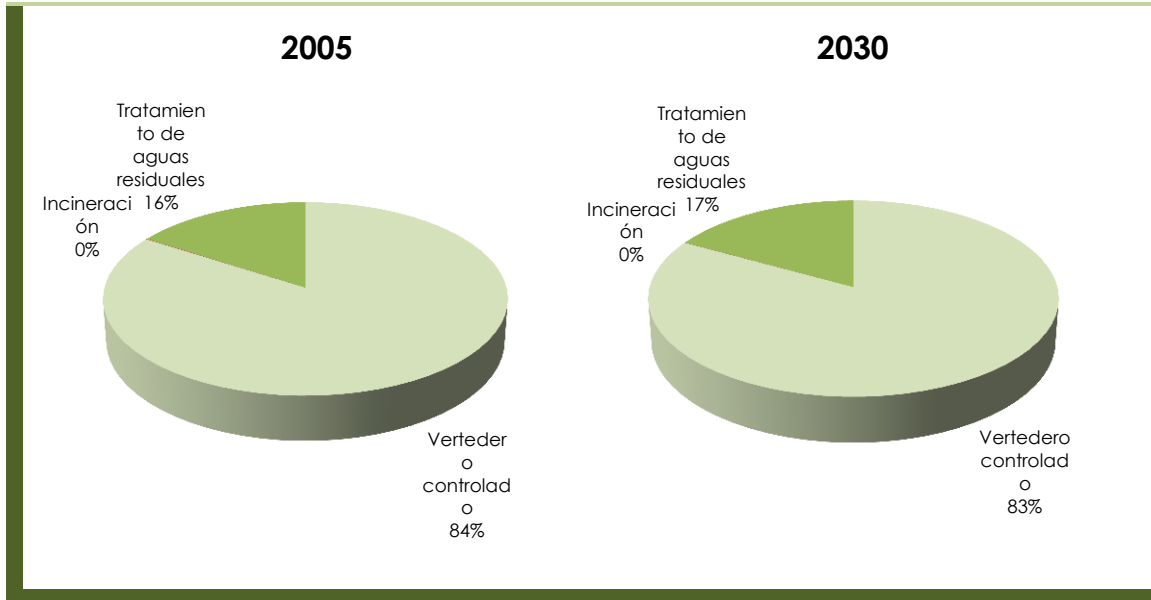
Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Rellenos sanitarios	295,752	346,182	427,120	474,218	519,305	560,818	90%
Incineración	221	221	221	221	221	221	0%
Tratamiento aguas residuales	35,164	37,805	46,509	56,839	69,215	84,177	139%
Proyecto MDL		106,000	53,000	53,000	53,000	53,000	
TOTAL	322,206	278,208	420,850	478,278	535,741	592,216	79%

Debido a la implementación de medidas las emisiones derivadas de vertederos bajo el escenario optimista muestra un crecimiento menor en este subsector, mientras que el de tratamiento de aguas residuales muestra un crecimiento mayor. A 2030 se proyecta un aumento en las emisiones de rellenos sanitarios de 90% en comparación del 2005, mientras que las aguas residuales, obtienen resultados de incremento de hasta un 139% a 2030 en comparación con el 2005.

Los cambios en la distribución de emisiones continúan teniendo una distribución similar bajo este escenario, como se muestra en los siguientes gráficos.

**Gráfico 103: Reparto de emisiones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista de medidas.**

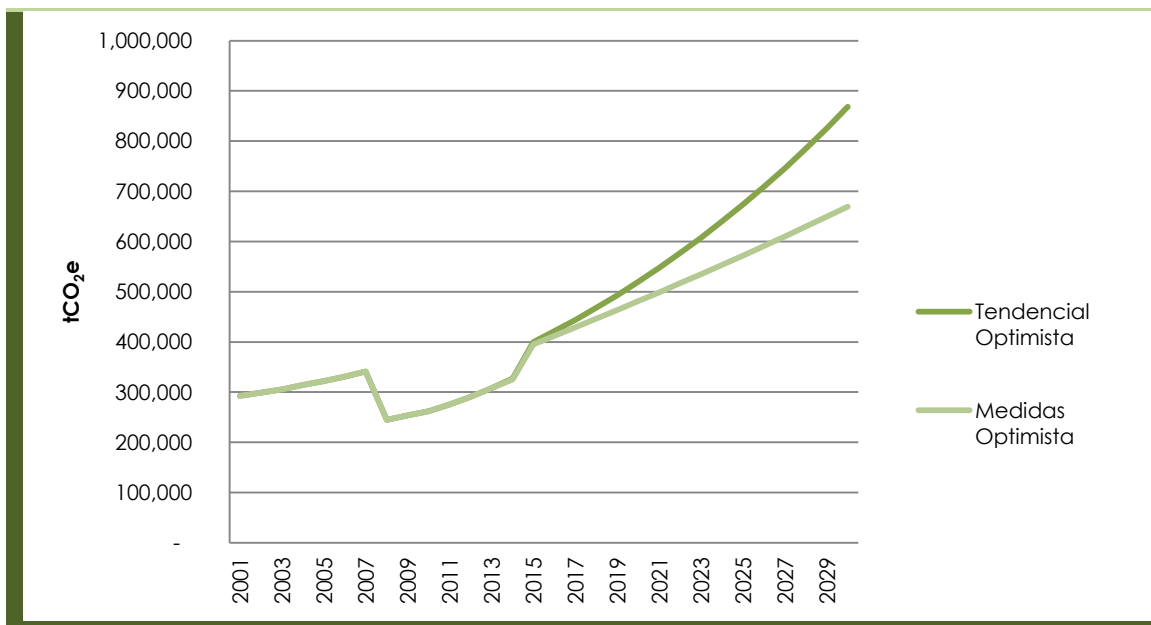
Fuente: Elaboración propia.



Por la reducción que resulta de la implementación de las medidas, la contribución de las emisiones provenientes de rellenos sanitarios disminuye a 2030, mientras que las generadas por el tratamiento de aguas aumentan.

**Gráfico 104: Emisiones totales en CO<sub>2</sub>e de los escenarios optimista tendencial y medidas optimista.**

Fuente: Elaboración propia.



### 6.5.2.8. Sector USCUS.

Este último escenario se basa en un escenario económico más favorable y considera una aplicación completa de las medidas descritas en el escenario anterior. Dicho de otro modo, el escenario optimista de medidas, sigue los criterios económicos del escenario optimista tendencial e incluye las medidas a una tasa de éxito del 100%.

En la siguiente tabla se recogen los resultados previstos en el escenario optimista de medidas para las superficies de los bosques gestionados.

**Tabla 183: Superficies existentes de los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.

Superficie boques gestionados (kha)	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Plantación comercial</i>	2.1	2.1	2.2	2.4	2.5	2.5	23%
<i>Reforestación</i>	4.1	4.1	4.3	4.6	4.7	4.9	18%
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>	<b>7.2</b>	<b>7.4</b>	<b>21%</b>

En este escenario, las tasas de deforestación disminuirían y las tasas de crecimiento de los bosques en expansión se verían aumentadas por el efecto de las medidas. Por ello, la superficie de masas forestales manejadas del Estado de Yucatán obtendría un incremento de un 21% en el año 2030 respecto a los valores de 2005, pasando de 6.2 kha en 2005 a 7.4 kha en 2030.

En la siguiente tabla se recogen las remociones de CO<sub>2</sub>e que estos bosques obtendrían debido al crecimiento de la biomasa.

**Tabla 184: Remociones debidas al incremento de la biomasa en los diferentes tipos de vegetación sujetas a manejo forestal en el estado en el escenario optimista de medidas.**  
Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
<i>Plantación comercial</i>	11,510	11,506	12,267	13,289	13,693	14,109	23%
<i>Reforestación</i>	31,203	31,191	32,707	34,775	35,831	36,919	18%
<b>TOTAL</b>	<b>42,713</b>	<b>42,697</b>	<b>44,974</b>	<b>48,065</b>	<b>49,524</b>	<b>51,028</b>	<b>19%</b>

Bajo el escenario optimista de medidas, la superficie de los bosques manejados aumentaría en mayor medida que en el escenario conservador de medidas, debido a que la tasa de éxito en el presente escenario es mayor. En conjunto, los bosques manejados absorberían 51,028 toneladas de CO<sub>2</sub>e en el año 2030, aumentando las remociones en un 19%, respecto a los valores de 2005.

La cantidad de madera extraída, se ha estimado utilizando la misma metodología que en los escenarios anteriores.

**Tabla 185: Emisiones debidas la extracción de biomasa cosechada en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por extracción de madera en rollo	-2,552	-5,218	-11,189	-11,973	-12,336	-12,711	398%
Por consumos de leña y carbón	-9,619	0	0	0	0	0	-100%
Por producción de madera combustible	-836,532	-844,823	-765,292	-738,549	-702,515	-623,476	-25%
<b>TOTAL</b>	<b>-848,702</b>	<b>-850,041</b>	<b>-776,481</b>	<b>-750,521</b>	<b>-714,851</b>	<b>-636,186</b>	<b>-25%</b>

En el escenario optimista de medidas, respecto a los valores obtenidos en el año 2005, las emisiones de GEI debidas a la extracción de madera aumentarían en un 398% a 2030. Así al final del periodo se emitirían 12,711 toneladas de CO<sub>2</sub>e, 1,277 toneladas más que en el escenario conservador tendencial. Por otro lado, las emisiones derivadas del uso de leña, se han estimado del mismo modo que en los escenarios tendenciales, obteniéndose el mismo resultado: emisiones nulas a futuro, debido al abandono del uso de este combustible.

En relación a la conversión de los bosques y praderas, el presente escenario se ha basado en las proyecciones estimadas para el escenario optimista tendencial, aplicándose después las medidas que fomentan la reducción de la deforestación. En este caso, las medidas se han aplicado a una tasa de éxito del 100%, por lo que se ha asumido que en el año 2020 la tasa se reducirá a la mitad en cada bosque, y que en el año 2030 dicha tasa de deforestación será nula, alcanzando un equilibrio entre la deforestación y la reforestación.

**Tabla 186: Emisiones debidas a la quema *in situ* y a la descomposición de la biomasa aérea en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Δ 2005-2030
Por quema <i>in situ</i>	-257,306	-239,779	-245,612	-272,024	-329,889	-394,308	53%
Por descomposición	-299,530	-264,126	-177,556	-123,578	-123,487	-127,512	-57%
<b>TOTAL</b>	<b>-556,835</b>	<b>-503,904</b>	<b>-423,168</b>	<b>-395,603</b>	<b>-453,376</b>	<b>-521,820</b>	<b>-6%</b>

En el escenario optimista de medidas las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la quema *in situ* mostrarían, al igual que en los anteriores escenarios, una tendencia general creciente pero con menor tasa de crecimiento que en el resto de escenarios. Debido al efecto de las medidas, las emisiones de GEI se reducirían de 630,950 tCO<sub>2</sub>e en el escenario tendencial optimista a 394,308 tCO<sub>2</sub>e en el escenario optimista de medidas. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>e por descomposición, respecto a 2005, mostrarían un decrecimiento de un 57% en 2030.

En la siguiente tabla, se puede observar que en el escenario optimista de medidas las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O y NO<sub>x</sub> causadas por la combustión *in situ* aumentarían en un 53% a 2020, al igual que ocurriría en el escenario conservador de medidas.

**Tabla 187: Emisiones de otros gases distintos al CO<sub>2</sub> debidas a la quema *in situ* de la biomasa aérea en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Incremento 2005-2030
CH <sub>4</sub>	-1,123	-1,046	-1,072	-1,187	-1,440	-1,721	53%
CO	-9,824	-9,155	-9,378	-10,386	-12,596	-15,055	53%
N <sub>2</sub> O	-8	-7	-7	-8	-10	-12	53%
NO <sub>x</sub>	-279	-260	-266	-295	-358	-428	53%

Por otro lado, en la siguiente tabla se muestran las remociones ocurridas en las tierras abandonadas.

**Tabla 188: Remociones debidas al abandono de tierras cultivadas en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Incremento 2005-2030
Por abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	1,446,423	1,535,651	1,669,105	1,803,356	-2%

De acuerdo con la tabla anterior, en el escenario de medias optimistas, respecto a los valores de 2005, las remociones por abandono de las tierras cultivadas disminuirían en un 2% a 2030.

Para finalizar, a continuación se resumen las emisiones<sup>23</sup> y absorciones de CO<sub>2</sub>e obtenidas del análisis de las distintas categorías integradas en el sector USCUS.

**Tabla 189: Emisiones y remociones del sector USCUS en el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones/Remociones (t CO <sub>2</sub> )	2005	2010	2015	2020	2025	2030	Incremento 2005-2030
Bosques manejados	42,713	42,697	44,974	48,065	49,524	51,028	19%
Producción forestal maderable	-848,702	-850,041	-776,481	-750,521	-714,851	-636,186	-25%
Conversión de los bosques	-556,835	-503,904	-423,168	-395,603	-453,376	-521,820	-6%
Abandono de tierras cultivadas	1,833,990	796,104	1,446,423	1,535,651	1,669,105	1,803,356	-2%
<b>TOTAL</b>	<b>471,165</b>	<b>-515,145</b>	<b>291,747</b>	<b>437,592</b>	<b>550,402</b>	<b>696,378</b>	<b>48%</b>

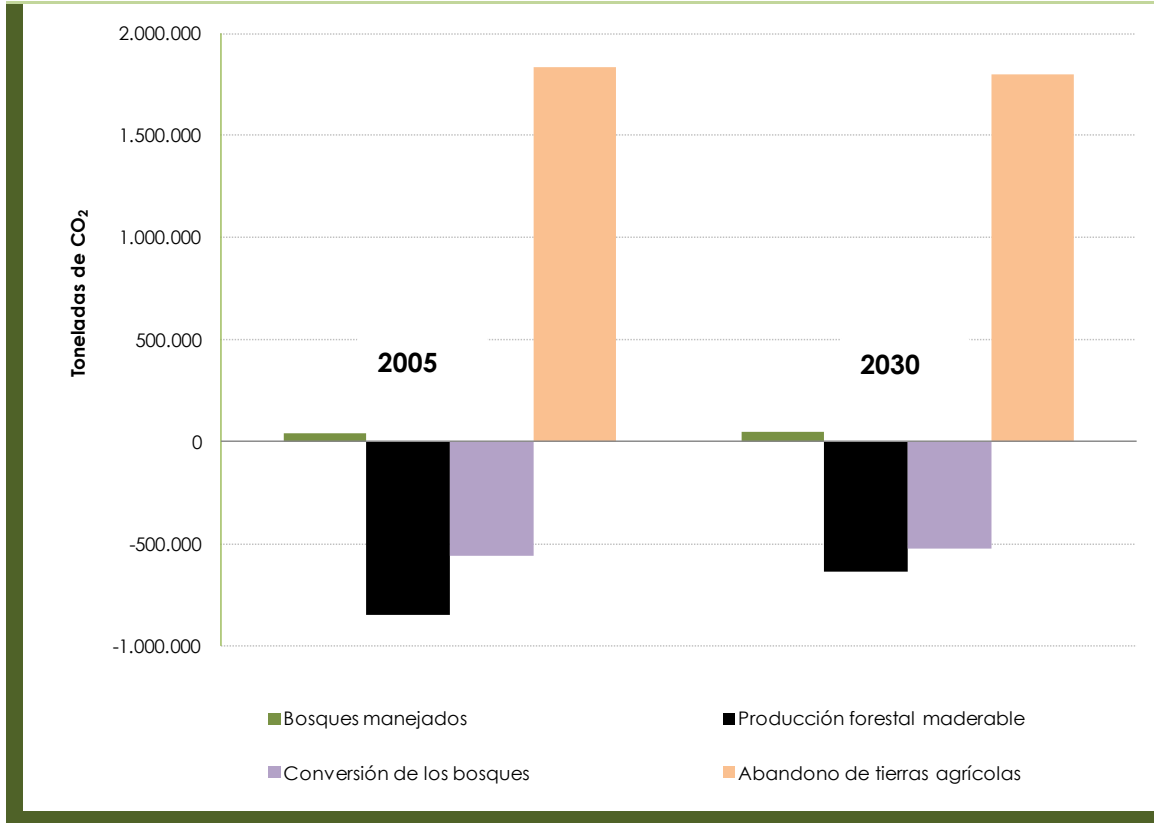
Tal y como se puede observar, el efecto de las medidas contribuiría al aumento de las remociones en el año 2030, ya que, en conjunto, las remociones se incrementarían en un 48% a 2030. Al igual que en el escenario conservador de medidas, las medidas de mitigación afectarían especialmente en el crecimiento de las masas forestales manejadas y en la disminución de la deforestación.

En el siguiente gráfico se muestra el reparto de las emisiones y absorciones de GEI del año 2005 y del año 2030 en el escenario optimista de medidas.

<sup>23</sup> Siguiendo las Directrices del IPCC para los Inventario de Gases de Efecto Invernadero del año 1996 para el sector USCUS, las emisiones de han representado con símbolo negativo.

**Gráfico 105: Reparto de emisiones y remociones de CO<sub>2</sub>e según la actividad del sector en el escenario optimista de medidas.**

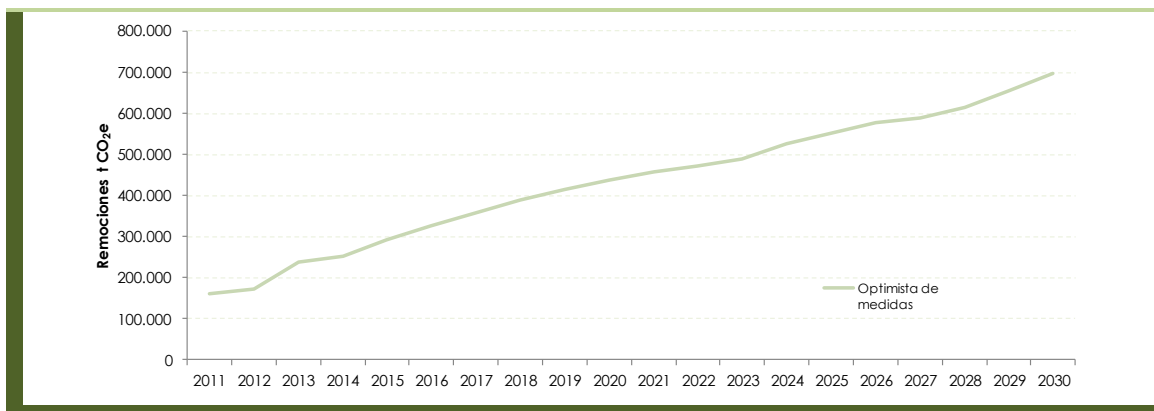
Fuente: Elaboración propia.



Tal y como se ha mencionado anteriormente, en el escenario optimista de medidas las remociones obtenidas en el sector USCUS aumentarán de forma progresiva a lo largo del periodo, alcanzando unas remociones de 696,378 t CO<sub>2</sub>e en 2030. Esto supondría un cambio de emisiones en el escenario tendencial conservador a absorciones en el escenario optimista con medidas.

**Gráfico 106: Evolución de las remociones de CO<sub>2</sub>e del sector USCUS el escenario optimista de medidas.**

Fuente: Elaboración propia.





## 7. Principales referencias bibliográficas.

Las principales referencias bibliográficas utilizadas durante el desarrollo del presente documento han sido las siguientes:

- Alejandro Velázquez, Aurelio Manuel Fierros, Arnulfo Aldrete, Armando Gómez, Silvia Fernández, Héctor de los Santos, Tangaxuhan Llanderal, Manuel de Jesús, Javier López, Carlos Ramírez (CONAFOR). *Situación actual y Perspectivas de las plantaciones Forestales Comerciales en México*. 2012
- Banco Mundial. *México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono*. 2009.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. 2007.
- Gobierno del Estado de Yucatán, CICY. *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Yucatán, 2005*. Septiembre 2013.
- Gobierno del Estado de Yucatán. *Plan Estatal de Desarrollo*. 2007-2012.
- Gobierno del Estado de Yucatán. *Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. 2007-2012.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. 2007.
- Instituto Nacional de Ecología. Jong, B., Olguín, M., Rojas, F., Maldonado, V., Paz, F., Etchevers, J., Cruz, C.O., Argumedo, J.A., (2012). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 a 2006. Actualización del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006 en la Categoría de Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra*.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Disponible en:  
<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>>.

- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Disponible en:  
  
< <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>>.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Disponible en:  
  
< <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>>.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. 2009.
- Dirección General de Políticas para el cambio Climático. *Programa Especial de cambio Climático para el periodo 2012-2020 con acciones adicionales y análisis de potencial*. Subsecretaría de Planeación y Política ambiental. 2011.
- Instituto Nacional de Ecología. *Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional*. 2011.
- Sánchez Aguilar, R.L., Rebollar Domínguez, S., 1999. *Deforestación en la Península de Yucatán, los retos a enfrentar*. Madera y Bosques, vol.5, num. 002. Instituto de Ecología. Xalapa.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. Sistema de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON)*. 2010
- Secretaría Nacional de Energía. *Balance Nacional de Energía 2010*. 2011.
- Secretaria Nacional de Energía. *Estrategia Nacional de Energía*. 2010.
- Secretaria Nacional de Energía. *Prospectivas del Sector Eléctrico*. 2010-2025.

## 8. Anexo. Análisis de modelos.

Los diferentes modelos analizados son los siguientes:

### ENPEP

<p><b>Descripción general</b></p>	<p>El modelo ENPEP es un modelo de energía no <i>ad-hoc</i>, que considera diferentes variantes económicas y se aplica de manera sectorial top-down, típicamente usado para las proyecciones en transporte e industrias con demanda energética intensiva.</p>
<p><b>Descripción técnica</b></p>	<p>Consiste en 10 módulos de análisis técnico (a partir de módulos macroeconómicos y módulos de impacto). Uno de estos módulos se encuentra en el modulo ENPEP-BALANCE, que forma una conexión donde el usuario puede proyectar el flujo de energía en todo el sistema, desde la extracción de los recursos, el procesamiento, la conversión y la demanda final en todos los sectores. Esto hace posible simular un mercado de energía a partir de la introducción de un listado de valores tales como petróleo, gas, carbón y energías renovables, dividiendo todas estas fuentes en diferentes sectores como residencial, agricultura, transporte, comercial e industrial (papel, cerámica, química, cemento, etc.).</p>
<p><b>Resultados</b></p>	<p>Los elementos resultantes de este modelo son representados en curvas de oferta y demanda y encuentran un equilibrio entre ellos. Otro elemento importante es el hecho de que refleja las emisiones de GEI asociadas a cada sector consumidor.</p>

### NEMS

<p><b>Descripción general</b></p>	<p>El National Energy Modelling System (NEMS) es un modelo de energía <i>ad-hoc</i>.</p>
<p><b>Descripción técnica</b></p>	<p>Está basado en un sistema informatizado de modelaje con datos económicos y energéticos divididos en 13 módulos diferentes, los cuales permiten auto adaptarse cuando cualquiera de ellos sufre una modificación.</p> <p>Este sistema se alimenta a partir de informaciones sobre fuentes de abastecimiento (petróleo, gas, transmisión y distribución de gas natural,</p>

	carbón y energías renovables), demanda (sector residencial, transporte, comercial e industrial), conversión (electricidad y módulos de refinerías de petróleo) y actividades macroeconómicas
<b>Resultados</b>	Muestra el resultado que se logra cuando se llega al equilibrio entre la demanda y el abastecimiento de energía en el sector del consumo y de la producción.

## DTI

<b>Descripción general</b>	El modelo DTI se divide en sectores de uso final y primario de la energía, incluyendo diferentes tipos de consumo de combustibles.
<b>Descripción técnica</b>	<p>DTI es un modelo de demanda top-down, en el que se establecen 150 relaciones econométricas sobre la demanda de combustible para uso en transporte, residencia, industria, servicios y agricultura. Las relaciones son estimadas entre demanda de energía, actividad económica y precios de la energía. El modelo fue realizado a través de submodelos del mercado de la energía en el Reino Unido, incluyendo los sectores de usuarios finales de la energía y el sector de abastecimiento de electricidad.</p> <p>La principal fuente de datos utilizada es obtenida de la Disgest UK Energy Statistics (DUKES). Los sectores de abastecimiento de energía modelada son estaciones eléctricas y otras industrias productoras de energía. Por su parte, los sectores de demanda se encuentran divididos entre residencial, servicios públicos y comerciales, transporte, industria y agricultura.</p>
<b>Resultados</b>	Después de haber obtenido el abastecimiento de energía y las estimaciones de demanda, las proyecciones de GEI son calculadas a fin de obtener una visión general de las previsiones de emisiones de cada sector.

## GTEM

<b>Descripción general</b>	El Modelo de Comercio Global y Medio Ambiente (GTEM, por sus siglas en inglés) está basado en tres módulos que combinan informaciones sobre población, economía y medio ambiente, mostrando un modelo de equilibrio general.
<b>Descripción técnica</b>	Analiza el cambio climático y abarca todos los aspectos clave del Protocolo de Kioto, incluyendo los sumideros de carbono, el Mecanismo de Desarrollo

	<p>Limpio y el comercio internacional de emisiones.</p> <p>Su base de datos de energía incluye tres categorías de carbón (marrón, negro y coque) y combustibles fósiles, así como la energía eléctrica e industrias intensivas, principales consumidoras de energía que influyen en el consumo energético.</p>
<b>Resultados</b>	Calcula las emisiones de GEI en CO <sub>2</sub> equivalente.

### MMRF

<b>Descripción general</b>	El Modelo Verde de Proyección Multi-Regional (MMRF, por sus siglas en inglés) es un modelo de equilibrio general informatizado destinado al sector energético (sector residencial e industria). Tiene como característica general el hecho de ser un modelo multi-regional, de equilibrio dinámico general informatizado.
<b>Descripción técnica</b>	Incluye modelos de energía y gas y contabiliza las emisiones para cada sector y región. El modelo contiene representaciones explícitas de comercio inter-regional y flujos de comercio internacional. Se basa en las tablas regionales de entrada-salida, incluyendo datos detallados de los presupuestos de gobiernos estatales y federales. Cada región es modelada como una mini-economía y es idealmente adecuado para determinar el impacto de choques económicos específicos.
<b>Resultados</b>	Los resultados del modelo MMRF incluyen proyecciones de varios datos económicos, tales como el PIB (nacional y regional), empleo (nacional y regional), balance de comercio, etc. Por otro lado, también incluye información sobre el uso de energía por combustible (nacional y regional) y sobre las emisiones de GEI por combustible. Las emisiones también se representan de acuerdo con el agente emisor, emitidas en la región en relación con diversas actividades. Las emisiones generadas sin combustión son también detectadas proporcionalmente para dar salida a las industrias relacionadas.

### POLES

<b>Descripción general</b>	El Modelo Prospective Outlook on Long-term Energy Systems (Poles, por sus siglas en inglés) es un modelo de equilibrio general dinámico desarrollado con el objetivo de ofrecer proyecciones sobre todos los sectores energéticos
----------------------------	---

	mundiales.
<b>Descripción técnica</b>	<p>Es un modelo de simulación mundial para el sector energético, que proyecta su demanda y oferta, desarrollado en el ámbito de una estructura jerárquica de submodelos integrados a nivel internacional (7 regiones del mundo), regional (11 subregiones mundiales) y a nivel nacional (32 países). La dinámica del modelo está basada en un año por los años de simulación en relación a la demanda y oferta de energía, con ajustes de precios y de ciclo de feedbacks a través de dos precios internacionales de la energía.</p> <p>Las previsiones de energía han sido realizadas en tres niveles. Por un lado, demanda final de energía eléctrica, derivados del petróleo, etc. (módulos de demanda como MAED, Mededd). Por otro, producción de electricidad y su demanda de energía relacionada (módulos de electricidad como el WASP). Y, por último, producción de combustibles fósiles y su transformación (como módulo BALANCE). Todos los módulos que han sido utilizados en el modelo ENPEP permiten conexiones entre ellos.</p>
<b>Resultados</b>	<p>El balance de energía del banco de datos internacional de la energía (que incluyen también datos macroeconómicos internacionales) es usado para simular el desarrollo de tecnología para el suministro de energía, las emisiones de CO<sub>2</sub>, el análisis de las políticas de reducción de CO<sub>2</sub> y los valores del carbono.</p>

### MedPro

<b>Descripción general</b>	<p>MedPro es un modelo de uso final de energía con enfoque especial sobre las proyecciones de emisiones de GEI. Con un enfoque bottom-up, pertenece a la familia de modelos MEDEE. Este modelo presta especial atención a las proyecciones de emisiones de GEI que son mostradas como futuros inventarios de GEI, de acuerdo con la metodología de la UNFCCC.</p>
<b>Descripción técnica</b>	<p>Está compuesto por un núcleo que se implementa automáticamente en los sectores seleccionados y por una serie de submodelos opcionales. Este modelo considera cinco sectores de forma separada: industria, residencial, comercio, transporte y agricultura. Todos ellos representan una actividad económica con un consumo energético específico en mayor detalle. La demanda final de energía de cada sector puede ser simulada separadamente, con base en la proyección común del ambiente macroeconómico y demográfico.</p> <p>Además, este modelo puede ser usado para fines de política estratégica. En</p>

	<p>primer lugar, para generar una visión de las consecuencias en el país de las evoluciones socio-económicas y tecnológicas actuales. Y, en segundo lugar, para evaluar el cambio provocado por la eficiencia energética, el reemplazo de energía y las políticas de mitigación de GEI en las medidas comparándolas con un escenario base.</p> <p>Por un lado, MedPro posee tres categorías de datos de entrada: datos macroeconómicos de contabilidad nacional y estadísticas macroeconómicas; datos demográficos de estadísticas demográficas y sociales; y datos sobre los precios de la energía en el mercado internacional.</p>
<p><b>Resultados</b></p>	<p>Los datos resultantes del modelo son de cinco tipos: resultados intermedios en todas las variables calculadas por el modelo; proyecciones de demanda de energía para todos los sectores y uso final / subsectores por tipo de energía; indicadores sectoriales para verificar la coherencia económica de las proyecciones (intensidad energética, coeficientes de presupuesto); proyecciones de emisiones de CO<sub>2</sub> ligadas a la energía y, con los mismos detalles, del sector de transformación de la energía (centrales eléctricas, refinerías, etc.); y proyecciones de carga de energía eléctrica.</p>

### SGM

<p><b>Descripción general</b></p>	<p>Modelo de segunda generación desarrollado por el Pacific Northwest National Laboratory y el Global Change Research Institute de la Universidad de Maryland, tiene la finalidad de proyectar todo el sector energético mundial, aunque sólo se aplica en regiones específicas designadas por el mismo.</p>
<p><b>Descripción técnica</b></p>	<p>Es un modelo de equilibrio general, concebido específicamente para analizar cuestiones relacionadas con economía, energía y emisiones de GEI. El modelo tiene como características 14 regiones globales, emisiones de GEI, varios stocks de capital, conexiones explícitas entre tecnología y economía, tratamiento explícito de energía y stocks de tierra. Éstos se desagregan para reflejar la importancia relativa de los sectores en la determinación de las emisiones de GEI.</p>
<p><b>Resultados</b></p>	<p>El modelo SGM fue proyectado desde el inicio para lidiar con problemas relacionados con el cambio climático, poniendo especial atención a las emisiones de GEI y su relación con la economía.</p>



## LEAP

<p><b>Descripción general</b></p>	<p>El modelo LEAP, sistemas alternativos de planeamiento energético de largo alcance, es un cuadro de contabilidad, fácil de usar, basado en escenarios y que integra las variables de energía y medio ambiente. El ámbito de aplicación engloba la demanda de energía, su abastecimiento, los recursos, las cargas ambientales, el análisis coste-beneficio de las diferentes opciones de reducción y las emisiones energéticas del sector.</p>
<p><b>Descripción técnica</b></p>	<p>Sirve como una herramienta para estudios estratégicos, integrando energía-medio ambiente en estudios de escenarios e incluyendo proyecciones energéticas, planeamiento integrado de recursos, análisis de mitigación de gases de efecto invernadero, balances energéticos e inventarios ambientales. El modelo también muestra las dimensiones de la demanda energética y presenta una contabilidad jerárquica de demanda energética (niveles de actividad intensiva por energía).</p> <p>Es, por tanto, una herramienta de modelaje integrado que puede ser usado para controlar el consumo de energía, la producción y extracción de recursos en todos los sectores de una economía y para incluir tanto los sectores energéticos como los no-energéticos, que son fuentes de emisiones de GEI, así como los sumideros de carbono pero de manera exógena – hay que modelizarlo y proyectarlo fuera del propio modelo -. Además de monitorizar las emisiones de GEI, LEAP también puede ser usado para analizar las emisiones de contaminantes atmosféricos locales y regionales, resultando adecuado para estudios de clima y de co-beneficios de la reducción local de la contaminación atmosférica.</p>
<p><b>Resultados</b></p>	<p>LEAP está diseñado en torno al concepto de análisis de escenarios de largo alcance. Los escenarios son históricamente auto-consistentes sobre cómo un sistema de energía puede evolucionar a lo largo del tiempo. Usando LEAP los analistas pueden crear y evaluar escenarios alternativos, comparando las necesidades energéticas, los costes y beneficios sociales y los impactos ambientales.</p>

El análisis de los diferentes modelos se ha basado en una estructura fija, de acuerdo a diferentes variables objetivas. Así, las principales características de estos modelos serán mostradas de forma resumida y analizada, de acuerdo a 15 parámetros.



**Tabla 190: Parámetros de análisis de modelos de proyección de emisiones de GEI.**

Fuente: Elaboración Propia.

PARÁMETROS DE ANÁLISIS	
<b>Nombre del Modelo</b>	
<b>Autor</b>	La organización (que puede ser una organización pública o una empresa privada) que desarrolla el modelo.
<b>Regiones</b>	El país o países que han usado este modelo en su comunicación nacional o en otros proyectos.
<b>Tipo</b>	Ámbito sectorial (demanda, suministro, energía, modelo, etc.) y cómo funciona la proyección de sus resultados.
<b>Top-Down</b>	El enfoque top-down permite una visión general del sistema, formulada a partir de la composición de sub-sistemas. Cada sub-sistema se refina en detalle, en otros niveles de sub-sistemas adicionales, hasta que sea reducido a elementos base.
<b>Bottom-up</b>	El enfoque bottom-up se compone de micro elementos básicos del sistema, los primeros en ser especificados en gran detalle. Estos elementos están conectados en conjunto para formar sub-sistemas de mayores dimensiones, hasta que un sistema de nivel superior completo sea formado.
<b>Equilibrio</b>	Los modelos basados en la economía pueden ser concebidos como modelos de equilibrio general o parcial.
<b>Modelo de optimización</b>	Tipo de modelo matemático que optimiza (maximizando o minimizando) una función objetiva sin violar las restricciones de recursos.
<b>Modelo linear / no-linear</b>	El primero solamente requiere ecuaciones algebraicas lineares, las llamadas técnicas de programación lineal son para modelos que requieren ecuaciones más complejas y llamadas programación no linear.
<b>Combinación de módulos</b>	Muchos modelos combinan diferentes sub-modelos. En teoría, todos los modelos tratan de funcionar como una unidad para incluir todas las emisiones de gases de efecto invernadero por sectores. En la práctica, la mayor parte dependen de cálculos a partir de fuentes exógenas diferentes.
<b>Ad-hoc</b>	Un modelo desarrollado específicamente para un país o región con alto grado de detalles para sus características específicas que evita generalizaciones.
<b>Uso final de la energía consumida por los sectores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residencial</li> <li>• Transporte</li> <li>• Comercio</li> <li>• Industria</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Otros</li> </ul>
<b>Relaciones</b>	Interconexiones básicas que fundamentan el modelo que puede ser visto, tales como: demanda energética y equilibrio entre oferta y datos de entrada.
<b>Datos de entrada</b>	Datos requeridos para que el modelo pueda funcionar

correctamente.

**Datos resultantes**

Los datos que el modelo va a mostrar como resultado de sus cálculos. Clasificados en dos tipos:

- Emisiones de GEI
- Proyecciones de datos de actividad

**Disponibles públicamente**

Indica si un modelo está disponible públicamente o no.

En base a ello, a continuación se muestran los modelos analizados de acuerdo a sus diferentes aspectos: principales características, alcance y arquitectura técnica.

**Tabla 191: Principales Características.**

Fuente: Elaboración Propia.

	Nombre del Modelo	Autor	Regiones	Tipo	Combinación de Modelos	Ad hoc
1	ENPEP	Laboratorio Nacional de Argonne	Turquía	Sectorial top-down Equilibrio / modelo medio ambiente	10 módulos	No
2	DTI Modelo Energético	Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido	Reino Unido	Top-down modelo de demanda	<b>Submodelos:</b> usuario final sector energético y suministro de electricidad	Sí
3	Sistema Nacional de Modelización Energética	Administración de Información Energética del Departamento de Energía de EE UU	EE UU	Modelo Económico Energético	<b>13 módulos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 4 elementos proveedores de módulos (petróleo y gas, transmisión y distribución de gas natural, carbón y energías renovables).</li> <li>■ 2 módulos de conversión (electricidad y equilibrio de petróleo).</li> <li>■ 4 módulos de uso de demanda final (residencial, comercial, transporte e industrial).</li> </ul>	Sí

	Nombre del Modelo	Autor	Regiones	Tipo	Combinación de Modelos	Ad hoc
					■ 1 módulo que proporciona un mecanismo para conseguir un equilibrio de mercado general entre todos los otros módulos (módulo de integración).	
4	<b>Modelo de Comercio Global y Medio Ambiente</b>	Instituto Australiano de Agricultura y Recursos Económicos	Australia	Modelo de equilibrio general bottom-up	3 módulos: población, equilibrio y medio ambiente	Sí
5	<b>Modelo Verde de Proyección Multi-Regional</b>	Centro de Estudios de Políticas (COPS) de la Universidad de Monash	Australia	Modelo de equilibrio General Computable		No
6	<b>POLES</b>	Enerdata	13 regiones	Equilibrio General Dinámica	Demanda de energía final, energía renovable y difusión de tecnologías. Electricidad y sistema de transformación. Suministro de combustibles fósiles, precios de la energía en el mercado internacional.	No
7	<b>MEDPRO</b>	Enerdata	N/A	Modelo Uso-Final	N/A	No
8	<b>MODELO SEGUNDA GENERACIÓN</b>	Pacific Northwest National Laboratory y el Global Change Research Institute de la Universidad de Maryland.	14 regiones	Equilibrio General	N/A	No
9	<b>LEAP – Sistemas alternativos de planeamiento energético de largo alcance</b>	Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo	Más de 150 países alrededor del mundo	Herramienta de software para uso-final en análisis de políticas energéticas y evaluación de mitigación del cambio climático.	Combina elementos de optimización, simulación y contabilidad. Opera en dos niveles: las relaciones fundamentales de contabilidad construidas internamente y los usuarios que pueden añadir sus propios modelos de simulación en la parte superior.	No

**Tabla 192: Alcance.**  
Fuente: Elaboración Propia.

SECTORES									
Nombre del Modelo	Sector Energético Primario	Combinación de Módulos	Ad hoc	Energía	Residencial	Transporte	Comercial	Agricultura	Otros
ENPEP	x	10 módulos	No	X	X	X	X	X	-
DTI Modelo Energético	x	Sub-modelos: usuario final, sectores energéticos y suministro de electricidad	Sí	X	X	X	X	X	-
Sistema Nacional de Modelización Energética	x	13 módulos	Sí	X	X	X	X	X	-
Global Trade and Environment Model		3 módulos: económico, población y medio ambiente	No	X	X			X	-
Modelo Verde de Proyección Multi - Regional			No	X					-
POLES	X	X	X	X	X	X			
MEDPRO		X	X	X	X	X			
MODELO DE SEGUNDA GENERACIÓN	X	X	X	X	X	X			
LEAP	X	X	X	X	X	X	X		

**Tabla 193: Arquitectura Técnica.**  
Fuente: Elaboración Propia.

Nombre del Modelo	Relaciones	Informaciones que alimentan el modelo	Datos Resultantes			
			Emisiones de GEI		Proyecciones	Público
<b>ENPEP</b>	Equilibrio energético entre demanda y suministro de energía	Sistema basado en el año base del flujo de energético, los precios, las proyecciones de crecimiento de la demanda energética y las limitaciones políticas.	Sí	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , VOC, SOX, NOX, CO	PIB	Sí
					Consumo de Combustible	
					Precio de la Energía	
<b>DTI</b>	Demanda Energética, proveedor energético, actividad económica y precio de la energía.	Crecimiento del PIB, industria, precio de combustible fósil y crecimiento demográfico.	Sí	CO <sub>2</sub>	Precio de combustible fósil	Sí
					crecimiento demográfico y económico	
<b>Sistema Nacional de Modelización Energética</b>	Equilibrio entre suministro y demanda de consumo.	Suministro: petróleo y gas, gas natural, carbón y tipos de energía renovable. Conversión: energía eléctrica y del petróleo, modelos de refinerías. Demanda: residencial, industrial, comercial y de transporte. Actividad macroeconómica: energía e interacción de la economía. Módulo de Integración del mercado general entre todos los modelos.	Sí	CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> sistema energético.	PIB y empleo agregado nacional, producción sectorial, valor adicional y empleo por región. Pago adicional de la balanza comercial, uso de energía por combustible y región. Estado y territorio ingresos y gastos. Producto Interior Bruto regional y empleo.	Sí
		Actividad macroeconómica: energía e interacción económica. Módulo de integración: el equilibrio del mercado general entre todos los modelos.				

<b>Modelo de Comercio Global e Medio Ambiente</b>	PIB, precio, consumo, producción, comercio e inversión, eficiencia, competitividad y GEI.	No disponible	Sí	CO <sub>2</sub>	N/A	No
<b>Modelo Verde de Proyección Multi -Regional</b>	-	No disponible	Sí	CO <sub>2</sub>	PIB y empleo agregado nacional, producción sectorial, valor adicional y empleo por región. Pago de balance comercial, uso de energía por combustible y región. Estado y territorio ingresos y gastos. Producto Interior Bruto regional y empleo.	Sí
<b>POLES</b>	Demanda de oferta de energía con ajuste de precio internacional de la energía.	PIB, Tasas de cambio. Precios de Energía, coste de tecnologías energéticas, agotamiento de recursos.	Sí	CO <sub>2</sub> e No-CO <sub>2</sub>	Precios usuario final Tendencia de precios anuales. Demanda de energía.	-
<b>MEDPRO</b>	Balance energético.	Balance energético detallado principal, de uso final y año base por subsector. Datos socioeconómicos y técnicos complementarios para el año base. (enfoque de habitación por tipo, enfoque de vehículos por tipo, producción física de industrias que consumen grandes cantidades de energía, energía específica consumida por vehículos. Variable histórica entre el escenario de consumo de energía por sector entre años más recientes. Escenario variable para captar las tendencias socioeconómicas a largo plazo,	Sí	CO <sub>2</sub>	Resultados intermedios, sobre todas las variables calculadas. Demanda energética, proyecciones para todos los sectores y uso final por subsector y por tipo de energía.	-

		escenario de políticas energéticas y nuevas metas de desarrollo.				
<b>MODELO DE SEGUNDA GENERACIÓN</b>	Actividad económica, consumo de energía y emisiones de GEI.	-	Sí	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	Actividad económica y consumo de energía.	-
<b>LEAP- Sistemas alternativos de planeamiento energético de largo alcance</b>	Demanda energética, abastecimiento de energía, recursos, cargas ambientales, análisis coste-beneficio, emisiones de los sectores no-energéticos. La mayoría de estos aspectos son opcionales.	Escenario base integrado con herramienta de construcción de modelos de energía y medio ambiente.	Sí	Todas las emisiones	Conversión de la Demanda Energética	Sí