



PECC

PROGRAMA ESTATAL DE CAMBIO CLIMÁTICO CHIHUAHUA 2019

UACJ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE CIUDAD JUÁREZ



SECRETARÍA
DE DESARROLLO URBANO
Y ECOLOGÍA

ÍNDICE

Lista de figuras	6
Lista de cuadros	8
Acrónimos y siglas	14
Unidades	16
Potencial de calentamiento global	17
Especies químicas	17
Prefijos	17
Glosario	18
Resumen Ejecutivo	23
1.1 Contexto	29
1.1.1 Introducción	29
1.1.2 Objetivos del Programa	30
1.1.3 Antecedentes	30
1.1.3.1 Características geográficas	30
1.1.3.2 Situación sociodemográfica	39
1.1.3.3 Situación económica	42
1.2 Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero (IEEGEI)	51
1.2.1 Año base del inventario y periodo de emisiones estimado	52
1.2.2 Alcance del inventario, metodología de cálculo y resultados obtenidos	52
1.2.3 Principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero	56
1.3 Línea base de emisión de gases de efecto invernadero	63
1.3.1 Análisis de estudios previos	63
1.3.2 Correlación con variables macroeconómicas	65
1.3.3 Línea base estatal	65
1.3.4 Influencia de las principales categorías en la línea base	66
1.3.4.1 [3b] Tierra	66
1.3.4.2 [1A3b] Autotransporte	68
1.3.4.3 [1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	69
1.3.4.4 [3A1a] Bovino (fermentación entérica) y [3A2a] bovinos (gestión del estiércol)	75
1.3.4.5 [1A2] Industrias manufactura y de la construcción	78
1.3.4.6 [3C4] Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	79
1.3.4.7 [1A4a] y [1A4b] Residencial/comercial/institucional	79
1.3.4.8 Otras categorías	80
1.3.5 Contribución de las fuentes principales	80
1.3.6 Cambio de política energética a nivel federal	81
1.3.6.1 Síntesis del PIIRCE en el PRODESEN 2018 – 2032	81
1.3.6.2 Línea base para el PRODESEN 2018-2032	81
1.3.6.3 Síntesis del PIIRCE en el PRODESEN 2019 – 2033	81
1.3.6.4 Variación del PRODESEN	84
1.3.7 Impacto de la nueva política energética en las emisiones de GEI	85

1.4 Mitigación	89
1.4.1 Medidas de mitigación de mayor impacto para Chihuahua	90
1.4.1.1 Mitigación para el sector de producción de electricidad	90
1.4.1.2 Mitigación para el sector Autotransporte	120
1.4.1.3 Mitigación para el sector Ganadería - Bovinos	131
1.4.2 Metodología para estimar el costo de mitigación de cambio al SSPi.	136
1.4.3 Gráfica de abatimiento.	142
1.4.4 Enfoque regional	143
1.4.5 Monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación	145
1.5 Adaptación	149
1.5.1 Vulnerabilidad al cambio climático	149
1.5.2 enfoque metodológico para determinar la vulnerabilidad al cambio climático.	150
1.5.2.1 Paso 1: caracterización del clima en el estado de Chihuahua	150
1.5.2.2 Paso 2: identificación de eventos climáticos extremos pasados y sus consecuentes impactos	152
1.5.2.3 Paso 3: determinación de la vulnerabilidad al cambio climático	153
1.5.2.4 Paso 4: análisis de la capacidad de adaptación.	166
1.5.3 Monitoreo y evaluación	166
1.5.4 Diseño de las medidas de adaptación	167
1.5.4.1 Medidas de adaptación en biodiversidad	168
1.5.4.2 Medidas de adaptación en el sector agrícola	171
1.5.4.3 Medidas de adaptación en el sector hídrico	174
1.5.4.4 Medidas de adaptación en el sector ganadero	175
1.5.4.5 Medidas de adaptación para sector forestal.	178
1.5.4.6 Medidas de adaptación en los centros urbanos	180
1.5.5 Enfoque regional	183
anexo 1.	189
SECTOR [1] ENERGÍA	192
SECTOR [2] PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS	211
SECTOR [3] AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA	216
SECTOR [4] RESIDUOS	237
Recomendaciones	252
anexo 2.	253
anexo 3.	261
anexo 4.	267
Crecimiento de la demanda de electricidad	267
Síntesis del PIIRCE en el PRODESEN 2018-2032	269
Línea base para el PRODESEN 2018-2032	271
Síntesis del PIIRCE en el PRODESEN 2019-2033	272
Variación del PRODESEN	274
Emisiones de GEI	275
anexo 5.	277
anexo 6	279
anexo 7	281
anexo 8	283

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Orografía del estado de Chihuahua.....	31
Figura 2. Fisiografía del estado de Chihuahua.	31
Figura 3. Tipos de clima en el estado de Chihuahua.....	32
Figura 4. Distribución de Temperatura en el estado de Chihuahua.	33
Figura 5. Situación de la sequía en México, años 2014 a 2018.	34
Figura 6. Regiones áridas y semiáridas de México.....	37
Figura 7. Población y tasa de crecimiento promedio anual en el estado de Chihuahua, 1990 a 2015.....	40
Figura 8. Estructura de la población para los años 2000, 2010 y 2015 del estado de Chihuahua.....	40
Figura 9. Contribución de los sectores de la economía chihuahuense al PIB nacional con respecto al total nacional (% a 2014 en valores corrientes).	42
Figura 10. Desglose de los sectores económicos principales de Chihuahua en el PIB local y promedio nacional en 2014 (%).....	43
Figura 11. Composición del PIB estatal.	46
Figura 12. Matriz DEPOSITE	47
Figura 13. Mapa Desarrollo Potencial y Situación Territorial (por región)	48
Figura 14. Emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua en GgCO ₂ e (2017)	53
Figura 15. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.	57
Figura 16. Comparación entre estimaciones y proyecciones realizadas en 2010 y las estimaciones actualizadas....	64
Figura 17. Línea base de emisiones estatales de gases de efecto invernadero.....	66
Figura 18. Metodología de cálculo para la extrapolación de las emisiones de las [3A1a] y [3A2a].	76
Figura 19. Metodología de cálculo para la proyección del número de cabezas de ganado.....	77
Figura 20. Contribución de los principales sectores a la línea base	80
Figura 21. Pronóstico de oferta y demanda de energía eléctrica para Chihuahua 2019 — 2033	84
Figura 22. Pronóstico de las emisiones para dos escenarios de planeación comparados con la línea base	85
Figura 23. Efecto de las energías renovables sobre las emisiones de generación eléctrica en el estado de Chihuahua.	91
Figura 24. Potencial del recurso solar, promedio anual.....	95
Figura 25. Flujos de efectivo resultantes del análisis económico simplificado de un proyecto participante en la SLP (USD @ VPN)	96
Figura 26. Indicadores de los servicios de deuda del análisis económico simplificado de un proyecto participante en la SLP (USD @ VPN)	97
Figura 27. Evolución tarifaria de la energía eléctrica	98
Figura 28. Consumo de electricidad en el estado de Chihuahua (tarifas DAC y GDMTH).....	101
Figura 29. Diagramas de análisis financiero – generación distribuida para usuarios en tarifa GDMTH.....	103
Figura 30. Diagramas de análisis financiero – generación distribuida para usuarios en tarifa DAC.....	104
Figura 31. Plan de Desarrollo sustentable de la IEA.....	106
Figura 32. Cuencas sedimentarias y espesores.	108
Figura 33. Emisiones anuales de CO ₂ y el potencial de mitigación de CO ₂ (flechas) en el escenario de referencia (Ref) y de abatimiento de CO ₂ (Cli).....	109

Figura 34. Esquema del principio de operación del Sistema de Comercio de Emisiones.	110
Figura 35. Reducción absoluta de la demanda de energía eléctrica por sector económico, respecto al escenario base, debida a la implementación de proyectos de eficiencia energética.	114
Figura 36. Efecto de las medidas de eficiencia energética en los sectores económicos industrial, comercial y residencial a nivel nacional.	115
Figura 37. Comparativo del escenario base de emisiones de gases de efecto invernadero en CO ₂ e con el escenario en el que se aplican medidas de eficiencia energética exclusivamente.	116
Figura 38. Comparación del escenario base con el escenario de mitigación que consiste en actualizar la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.	122
Figura 39. Porcentaje de autos vendidos en Chihuahua respecto de los vendidos a nivel nacional	125
Figura 40. Escenarios de ventas de vehículos eléctricos en Chihuahua. Se indica el porcentaje de penetración de la tecnología de vehículos electrificados.	126
Figura 41. Emisiones de GEI por autos en el estado de Chihuahua bajo diferentes escenarios de mitigación.	127
Figura 42. Evolución ideal de las ventas de autos al 2050 hacia una descarbonización del sector transporte.	128
Figura 43. Proyección de las emisiones de GEI por vehículos ligeros en Chihuahua.	129
Figura 44. Escenarios de mitigación debido a la adopción del SSPi.	134
Figura 45. Regiones ganaderas de Chihuahua	135
Figura 46. Análisis financiero comparativo entre tres escenarios de un sistema de pastoreo.	142
Figura 47. Gráfica de abatimiento para el estado de Chihuahua.	143
Figura 48. Clima en el estado de Chihuahua.	151
Figura 49. Precipitación extrema acumulada del estado de Chihuahua en el mes de julio (1902 – 2015).	152
Figura 50. Temperatura máxima extrema absoluta del estado de Chihuahua (1902 – 2015).	153
Figura 51. Exposición climática y al cambio climático del estado de Chihuahua.	154
Figura 52. Sensibilidad climática y al cambio climático del estado de Chihuahua.	155
Figura 53. Vulnerabilidad al cambio climático del Estado de Chihuahua.	156
Figura 54. Vulnerabilidad al cambio climático a nivel municipal del estado de Chihuahua.	157
Figura A1.1 Categorías, subcategorías, fuentes y sub-fuentes de emisión de GEI asociadas al Sector [1] Energía en el estado de Chihuahua.	193
Figura A1.2 Categorías y subcategorías de emisión de GEI asociadas al sector procesos industriales y uso de productos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.	211
Figura A1.3 Resultados por permanencia y cambios de uso de suelo para la categoría [3B] Tierra en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	225
Figura A2.1. Regionalización del estado de Chihuahua.	254
Figura A4.1 Pronóstico de consumo bruto del Sistema Eléctrico Nacional 2019 — 2033, escenarios de planeación, alto y bajo.	268
Figura A4.2. Pronóstico de la demanda (consumo) bruto para Chihuahua 2019 — 2033: escenarios de planeación, alto y bajo.	268
Figura A4.3. Pronóstico de oferta y demanda de energía eléctrica para Chihuahua 2019 — 2033	274
Figura A4.4. Pronóstico de las emisiones para dos escenarios de planeación comparados con la línea base	275

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie estatal por región y cuenca hidrológica (porcentaje)	36
Cuadro 2. Sitios Ramsar en el estado de Chihuahua (datos al 31 de diciembre de 2016).	37
Cuadro 3. Normatividad aplicable.	39
Cuadro 4. Indicadores de pobreza a nivel de país y para el estado de Chihuahua.	41
Cuadro 5. Población económicamente activa (PEA) y no activa del estado de Chihuahua.	44
Cuadro 6. Comparativa datos demográficos 2019 - 2050.	44
Cuadro 7. Participación promedio de los sectores en cada región 1999-2009	45
Cuadro 8. Estimación de crecimiento poblacional y económico para Chihuahua de 2020 a 2050.	47
Cuadro 9. Emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua asociadas al periodo 2013-2017 en GgCO ₂ e.	54
Cuadro 10. Emisiones de la subcategoría [1A3] Transporte en GgCO ₂ e.	57
Cuadro 11. Emisiones de las principales fuentes de gases de efecto invernadero en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en GgCO ₂ e.	58
Cuadro 12. Principales emisores de gases de efecto invernadero en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en %..	59
Cuadro 13. Coeficientes de correlación entre emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua y dos variables macroeconómicas por sector productivo.	65
Cuadro 14. Resumen superficie de cambio entre las series V y VI de usos de suelo y vegetación del INEGI.	67
Cuadro 15. Datos para la regresión lineal múltiple entre emisiones de Autotransporte.	68
Cuadro 16. Resultados del análisis de regresión múltiple.	68
Cuadro 17. Programa indicativo para el retiro de centrales eléctricas 2018-2032 en Chihuahua.	69
Cuadro 18. Programa indicativo para la instalación de centrales eléctricas 2018-2032 en Chihuahua.	70
Cuadro 19. Datos de producción de las plantas de generación de electricidad que usan combustibles fósiles existentes en Chihuahua al 2017.	71
Cuadro 20. Eficiencia térmica correspondientes a las diferentes tecnologías de generación eléctrica en México.	72
Cuadro 21. Ajuste de las eficiencias térmicas por tecnología.	73
Cuadro 22. Cálculo del factor de emisión consolidado para diferentes combustibles.	74
Cuadro 23. Cálculo de emisiones que serían generadas con el aumento programado de capacidad de generación eléctrica en el estado de Chihuahua sin considerar medidas de mitigación.	75
Cuadro 24. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas, que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro y que de acuerdo con el PRODESEN 2019- 2033 podrían ser repotenciadas.	82
Cuadro 25. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033.	83
Cuadro 25. (Cont.)	84
Cuadro 26. Medidas generales y actividades específicas para lograr la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector energía para el estado de Chihuahua.	93
Cuadro 27. Características de proyecto de SLP.	96
Cuadro 28. Extracto de resultados de las subastas de largo plazo, totales nacionales.	99
Cuadro 29. Costos nivelados de generación.	100
Cuadro 30. Potencial de mitigación por generación distribuida para usuarios de tarifa DAC y GDMTH del estado de Chihuahua.	101
Cuadro 31. Especificaciones de los casos de estudio de generación distribuida.	102

Cuadro 32. Resumen de resultados de los casos de estudio de generación distribuida.....	103
Cuadro 33. Costo marginal de abatimiento por generación distribuida.	105
Cuadro 34. Costos totales para el participante del SCE (pesos)	111
Cuadro 36. Metas nacionales de eficiencia energética.....	112
Cuadro 35. Mitigación esperada por año de las instalaciones participantes del SCE.....	112
Cuadro 37. Metas de reducción estatal por implementación de medidas de eficiencia energética.....	116
Cuadro 38. Acciones de competencia estatal y municipal para lograr las metas de reducción de la demanda eléctrica por implementación de medidas de eficiencia energética	117
Cuadro 39. Medidas adicionales identificadas durante la realización de las consultas públicas en materia de eficiencia energética para el estado de Chihuahua.....	120
Cuadro 40. Ventas de autos nuevos en el estado de Chihuahua.	121
Cuadro 41. Pasos y resultados del cálculo de las emisiones de transporte para el escenario en el que se toma en cuenta la entrada en vigor de la propuesta de modificación a la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.....	123
Cuadro 42. Ventas de vehículos ligeros en Chihuahua y nacional.	125
Cuadro 43. Actividades para apoyar la mitigación del sector transporte en el estado de Chihuahua.	131
Cuadro 44. Potencial de Mitigación de SSPi.....	133
Cuadro 45. Escenarios de mitigación por cambio a SSPi.....	134
Cuadro 46. Factor de adopción del SSPi para tres escenarios.	135
Cuadro 47. Parámetros de desempeño de un SSPi.....	136
Cuadro 48. Características de una unidad modelo de producción con SSPi.	137
Cuadro 49. Inversión requerida para la conversión a un SSPi.....	137
Cuadro 50. Ingresos y egresos anuales requerida para la conversión a un SSPi.	138
Cuadro 51. Diferencias entre los escenarios de pastoreo con el sistema convencional y con el SSPi.	139
Cuadro 52. Diferencias de área requerida con el sistema convencional y con el SSPi.....	139
Cuadro 53. Datos de emisiones de dos sistemas de pastoreo.	140
Cuadro 54. Resultados del cálculo de las emisiones para el SPC y SSPi.	141
Cuadro 55. Costo marginal de abatimiento para el SSPi.	141
Cuadro 56. Clasificación de acciones de mitigación por región económica del estado de Chihuahua.....	144
Cuadro 57. Resultados del análisis de vulnerabilidad desarrollado para el estado de Chihuahua.....	158
Cuadro 58. Identificación de los riesgos hidrometeorológicos presentes en los municipios más vulnerables o con una exposición y sensibilidad climática media y alta en el estado de Chihuahua.	160
Cuadro 59. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el tema de biodiversidad para el estado de Chihuahua	170
Cuadro 60. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector agrícola para el estado de Chihuahua.....	173
Cuadro 61. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector hídrico para el estado de Chihuahua.....	175
Cuadro 62. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector ganadero para el estado de Chihuahua.....	178
Cuadro 63. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector forestal para el estado de Chihuahua.....	179
Cuadro 64. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en los centros urbanos para el estado de Chihuahua.....	181
Cuadro 65. Clasificación de acciones de adaptación por región económica del estado de Chihuahua.	183

Cuadro A1.1 Fuentes de emisión en el estado de Chihuahua y el tipo de gases de efecto invernadero que emiten.	190
Cuadro A1.2 Emisiones del sector energía en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	193
Cuadro A1.4 Centrales de generación en operación en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.	194
Cuadro A1.3 Emisiones de la fuente [1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	194
Cuadro A1.5 Datos de actividad para la producción de electricidad en el estado de Chihuahua, para el periodo 2013-2017 en m ³	195
Cuadro A1.6 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados para la producción de electricidad en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m ³	195
Cuadro A1.7 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible para la producción de electricidad en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m ³	196
Cuadro A1.8 Emisiones de la subcategoría [1A2] Industrias de la manufactura y de la construcción en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	197
Cuadro A1.9 Demanda interna de gas natural en el estado de Chihuahua, sectores industrial y autogeneración de electricidad en el periodo 2013-2017 en m ³	197
Cuadro A1.11 Estimación del consumo de combustóleo en la industria de la manufactura y de la construcción en el Estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en m ³	198
Cuadro A1.10 Demanda interna de diésel por los sectores industrial y autogeneración de electricidad en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en m ³	198
Cuadro A1.12 Estimación del consumo de coque de petróleo en la industria de la manufactura y de la construcción en el Estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en toneladas.	199
Cuadro A1.13 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados en la industria de la manufactura y de la construcción en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m ³	199
Cuadro A1.14 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible en la industria de la manufactura y de la construcción en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m ³	200
Cuadro A1.15 Emisiones de la subcategoría [1A3] Transporte en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	201
Cuadro A1.16 Demanda interna de gasolinas en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m ³	201
Cuadro A1.17 Demanda interna de diésel para las fuentes autotransporte y ferrocarril en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en m ³	202
Cuadro A1.18 Demanda interna de turbosina para la aviación civil en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m ³	202
Cuadro A1.19 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados en la aviación civil, autotransporte y ferrocarriles en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m ³	202
Cuadro A1.20 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible en los sistemas de transporte en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m ³	203
Cuadro A1.21 Emisiones de GEI asociadas a las fuentes [1A4a] Residencial y [1A4b] Comercial e Institucional en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	204
Cuadro A1.22 Consumo de gas LP a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m ³	204
Cuadro A1.24 Proporción que representa el consumo nacional de diésel a nivel comercial, respecto de la demanda total nacional en el periodo 2013-2017 en %..	205
Cuadro A1.23 Consumo de gas natural a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m ³	205
Cuadro A1.25 Consumo de diésel estimado a nivel comercial en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m ³	206
Cuadro A1.28 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados a nivel residencial, comercial e institucional en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m ³	207

Cuadro A1.26 Proporción que representa el consumo de leña en el estado de Chihuahua, respecto al consumo nacional en PJ.....	207
Cuadro A1.27 Consumo de leña estimado a nivel residencial en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en PJ.....	207
Cuadro A1.29 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en t/m3, y para la leña en t/PJ.....	208
Cuadro A1.30 Emisiones de GEI asociadas a la fuente [1B2b] Gas natural (transporte y distribución) en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	209
Cuadro A1.31 Volumen de gas natural transportado en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en MMm ³	210
Cuadro A1.32 Longitud de la red de ductos de distribución en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en km.	210
Cuadro A1.33 Factores de emisión asociados al transporte y distribución de gas natural en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.	210
Cuadro A1.35 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2A1] Producción de cemento en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	212
Cuadro A1.34 Emisiones de GEI asociadas al sector [2] Procesos industriales y uso de productos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	212
Cuadro A1.38 Producción de Clinker inferida en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.	213
Cuadro A1.37 Producción de cemento inferida en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.	213
Cuadro A1.36 Producción nacional de cemento en el periodo 2013-2017 en toneladas.....	213
Cuadro A1.40 Producción de plomo en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.	214
Cuadro A1.39 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2C5] Producción de plomo en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	214
Cuadro A1.41 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2C6] Producción de zinc en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	215
Cuadro A1.42 Producción de zinc en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.	215
Cuadro A1.43 Emisiones del sector AFOLU en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e....	216
Cuadro A1.44 Emisiones de la categoría [3A] Ganado en el período 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	218
Cuadro A1.45 Emisiones por tipo de gas de la categoría [3A] Ganado en el período 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	218
Cuadro A1.46 Emisiones de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	219
Cuadro A1.47 Emisiones de la subcategoría [3A2] por especie y por tipo de GEI en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	220
Cuadro A1.48 Emisiones netas de la categoría [3B] Tierra en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	224
Cuadro A1.49 Niveles metodológicos utilizados para el inventario de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua para la categoría [3B] Tierra.....	226
Cuadro A1.50 Resumen de la superficie de cambio entre la serie V y VI de usos de suelo y vegetación del INEGI.	227
Cuadro A1.51 Sistema de clasificación de tierras utilizado para el cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua.....	228
Cuadro A1.52 Emisiones de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO ₂ de la tierra en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	230

Cuadro A1.53 Emisiones de la subcategoría [3C1] Emisiones de gases de efecto invernadero por quemado de biomasa en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	231
Cuadro A1.54 Emisiones de la subcategoría [3C2] Encalado en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	232
Cuadro A1.55 Emisiones de la subcategoría [3C3] Fabricación de urea en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	233
Cuadro A1.56 Emisiones de la subcategoría [3C4] Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	234
Cuadro A1.57 Emisiones de la subcategoría [3C5] Emisiones indirectas de N ₂ O de los suelos gestionados en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	235
Cuadro A1.59 Emisiones en el sector [4] Residuos en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	237
Cuadro A1.58 Emisiones de la subcategoría [3C6] Emisiones indirectas de N ₂ O de la gestión de estiércol en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	237
Cuadro A1.61 Emisiones generadas por la categoría [4A] Eliminación de residuos sólidos urbanos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	238
Cuadro A1.60 Emisiones por tipo de gas de efecto invernadero en el sector [4] Residuos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	238
Cuadro A1.62 Viviendas particulares habitadas y ocupantes y su distribución porcentual según forma de desechar la basura para cada entidad federativa.	240
Cuadro A1.63 Porcentaje de residuos que llegan a los rellenos sanitarios en el estado de Chihuahua	240
Cuadro A1.64 Emisiones generadas por la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	242
Cuadro A1.65 Datos de actividad utilizados para el cálculo de las emisiones provenientes de la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el estado de Chihuahua, año 2012.....	243
Cuadro A1.66 Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O utilizados para el cálculo de las emisiones de la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el estado de Chihuahua, periodo 2013-2017.....	243
Cuadro A1.67 Emisiones generadas por la categoría [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.....	244
Cuadro A1.68 Información de la empresa prestadora de servicios de incineración de residuos peligrosos industriales identificada en el estado de Chihuahua.	245
Cuadro A1.69 Datos por defecto para los factores de emisión de CO ₂ para la incineración de residuos peligrosos y quema de residuos a cielo abierto.	245
Cuadro A1.70 Valores por defecto para contenidos de materia seca, total de carbono y fracción de carbono fósil para varios componentes de los residuos sólidos municipales.....	247
Cuadro A1.71 Emisiones generadas por la categoría [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	248
Cuadro A1.72 Emisiones por tipo de gas de efecto invernadero en categoría [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO ₂ e.	248
Cuadro A1.73 Datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones de la subcategoría [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en m ³ /año...	250
Cuadro A2.1. Descripción de las regiones económicas del estado de Chihuahua.	255
Cuadro A4.1. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas, que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro.	269
Cuadro A4.2. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas que en el PRODESEN 2018-2032 estuvieron programadas para su instalación.	270
Cuadro A4.3. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas por instalarse, para la línea base a partir del PIIRCE del PRODESEN 2018-2032.....	271

Cuadro A4.4. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro. 272

Cuadro A4.5. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033..... 273

Cuadro A4.5. (Cont.) 274

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

AFOLU	Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra, por sus siglas en inglés
ANP	Áreas Naturales Protegidas
ASAC	Agricultura Sostenible Adaptada al Clima
CANACEM	Cámara Nacional del Cemento
CCA	Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM
CDB	Convenio sobre Diversidad Biológica
CIMAV	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CND	Contribución Nacionalmente Determinada
COCEF	Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
ECUSBIOECH	Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Chihuahua
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
FOD	Modelo de Decaimiento o Descomposición de Primer Orden, por sus siglas en inglés
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GyCEI	Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INFyS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
LARCI	Iniciativa Climática Regional de América Latina (ahora Iniciativa Climática de México)
IEEGEI Chihuahua	Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del estado de Chihuahua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés
LGCC	Ley General de Cambio Climático
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
PACE	Programa de Acción para la Conservación de Especies
PCG	Potencial de Calentamiento Global
PIB	Producto Interno Bruto
PEA	Población Económicamente Activa
PECC	Programa Estatal de Cambio Climático
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PROCER	Programa de Conservación de Especies en Riesgo
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SDF	Sitios de Disposición Final
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SIE	Sistema de Información Energética
TMCA	Tasa Media de Crecimiento Anual
UMA	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
UNAM	Universidad Autónoma de México

UNIDADES

bpe	Barril de petróleo equivalente	m³	Metro cúbico
g	Gramo	mb	Miles de barriles
Gg	Gigagramo = 10 ⁹ gramos	mbd	Mies de barriles diarios
GgCO₂e	Gigagramos de dióxido de carbono equivalente	mbp	Miles de barriles de petróleo
GWh	Gigawatt hora	Mg	Megagramo = 10 ⁶ gramos
°C	Grado Celsius o centígrado	Mg/GWh	Megagramos por gigawatts hora
hab.	Habitante	MJ	Megajoule
hab/km²	Habitante por kilómetro cuadrado	mm	Milímetros
ha	Hectárea = 10,000 m ²	MMm³	Millones de metros cúbicos
hm³	Hectómetro cúbico	MMpcd	Millones de pies cúbicos diarios
h	Hora	msnm	Metros sobre el nivel del mar
J	Joule	MtCO₂e	Millón de toneladas de dióxido de carbono equivalente
kg	Kilogramos	Mt	Millones de toneladas
kg/hab/día	Kilogramo por habitante por día	MW	Megawatt
kJ	Kilojoule	MWh	Megawatt hora
km	Kilómetro	Pj	Petajoules
km²	Kilómetro cuadrado	t	Tonelada (1000 t = 1 Gg)
km/h	Kilómetro por hora	tCO₂/hab	Toneladas de CO ₂ por habitante
km/l	Kilómetro por litro	tCO₂e	Toneladas de CO ₂ equivalente
kWh	Kilowatt hora	TJ	Terajoule
kWh/hab	Kilowatt hora por habitante	t/hab	Tonelada por habitante
l	Litro	W	Watt
m	Metro	Wh	Watt hora (1Wh = 3600J)
m²	Metro cuadrado		

ESPECIES QUÍMICAS

C	Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CO₂e	Dióxido de carbono equivalente
CH₄	Metano
N	Nitrógeno
NH₃	Amoníaco
N₂O	Óxido nitroso
NO_x	Óxidos de nitrógeno
P	Fósforo

PREFIJOS

k	kilo = 10 ³
M	Mega = 10 ⁶
G	Giga = 10 ⁹
T	Tera = 10 ¹²
P	Peta = 10 ¹⁵
E	Exa = 10 ¹⁸

POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL¹

CO₂	1
CH₄	28
N₂O	265

¹ Valores a 100 años. Quinto Informe de Evaluación del IPCC.

GLOSARIO

ADAPTACIÓN: Ajustes en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. (Definición tomada de El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC).

CAMBIO CLIMÁTICO: un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. (Definición tomada de La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC).

GASES DE EFECTO INVERNADERO: Son gases que se encuentran presentes en la atmósfera terrestre y que dan lugar al fenómeno denominado efecto invernadero. Tienen la propiedad de retener momentáneamente la energía que la superficie terrestre, los océanos y los hielos devuelven a la atmósfera después de ser calentados por el sol, lo que hace posible la vida en la tierra.

Para que pueda haber vida en la Tierra es necesaria la presencia de los gases de efecto invernadero. Estos gases son los encargados de crear la atmósfera y permiten que los rayos del sol revoten además de que tienen la capacidad de retener el calor que genera el sol y permite que haya vida en la Tierra. Estos gases de efecto invernadero se generan naturalmente, pero también pueden ser generados por actividades humanas como lo son los vehículos, las empresas, la ganadería, etc. (Definición tomada de la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales SEMARNAT).

MITIGACIÓN: Intervención antropogénica para reducir la alteración humana del sistema climático. Ésta incluye estrategias para reducir las fuentes y las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la remoción o el secuestro de gases de efecto invernadero. (Definición tomada de El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático IPCC).

RIESGO: El riesgo es la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente debido a un fenómeno natural o a una acción humana. Los riesgos pueden clasificarse como Riesgos Naturales que son los asociados a fenómenos geológicos internos, como erupciones volcánicas, inundaciones, etc. Y están los Riesgos Antropogénicos que son producidos por actividades humanas, aunque las circunstancias naturales pueden condicionar su gravedad. (Definición tomada de la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales SEMARNAT)

VULNERABILIDAD: Nivel en el que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. (Definición tomada de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC).



RESUMEN EJECUTIVO



01

RESUMEN EJECUTIVO

² IPCC (2018). Global Warming of 1.5°C.
<https://www.ipcc.ch/sr15/>



Fuente: Jaime Álvarez

A partir de 1994, México es miembro activo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Hasta la fecha ha presentado seis Comunicaciones Nacionales, fue el segundo país en tener una Ley de Cambio Climático, y el primer país en vías de desarrollo en presentar su Contribución Nacionalmente Determinada (CND) como parte del compromiso para el Acuerdo de París ante la CMNUCC. En este acuerdo se comprometió a reducir en un 22% los gases de Efecto Invernadero (GEI) y en un 51 % el carbono negro, como meta no condicionada. No obstante, se considera que la participación de los estados y municipios es fundamental para poder alcanzar el compromiso adquirido por nuestro país en la Conferencia de las Partes (COP 21) en París, Francia (2015) y apoyar que el aumento de la temperatura sea menor a los 2°C.

Además, derivado del reciente informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Global Warning of 1.5°C², se menciona que aún si se cumplieran todas las metas comprometidas en el Acuerdo de París, a través de las CND, el incremento de temperatura a finales del siglo sería alrededor de 3°C; lo que traería consecuencias irreversibles para la vida en el planeta. Por lo anterior, hay un clamor mundial para que sean más ambiciosas las metas comprometidas y por ello, es esencial que los gobiernos subnacionales se comprometan con acciones eficaces y contundentes en materia de mitigación y adaptación.

En este sentido, la importancia de que el estado de Chihuahua cuente con un Programa Estatal de Cambio Climático (PECC), es un paso muy importante para establecer medidas en mitigación y adaptación que apoye a la política nacional en la materia y se pueda identificar medidas adicionales a las ya comprometidas, que permita al país contar con metas más ambiciosas ante la CMNUCC.

El programa del PECC presenta una actualización del inventario estatal de emisiones de GEI que arroja que las emisiones brutas (sin considerar las absorciones de la categoría de 3[B] Tierra en 2017), ascendieron a 31,008.66 gigagramos (Gg) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Las emisiones netas, para el mismo año,

fueron 18,266.98 Gg de CO₂e, reflejando la absorción de CO₂ que simboliza la captación del carbono asociado a las permanencias en el uso de suelo, y refleja la dinámica de los bosques como sumidero de carbono en la región.

En 2017, el Sector Energía representó el 54.39% de las emisiones estatales, totalizando 16,866.4 Gg de CO₂e. Donde fueron las emisiones de la subcategoría [1A3] transporte las más significativas, con una aportación del 22.94% (7,114.31 Gg de CO₂e). De manera similar la subcategoría [1A1] Industrias de la Energía tuvo una aportación del 19.76% a nivel estatal, (6,128.96 Gg de CO₂e). Para otros sectores, se identificó el Sector 3: Agricultura y Silvicultura y otros Usos de la Tierra como el segundo que más contribuyó a las emisiones de GEI en el estado para ese mismo año (38.28%), seguido del Sector Residuos (4.52%) y del Sector Procesos Industriales, aportando el 2.80%. Dentro del Sector 3 es importante distinguir que la categoría [3A] Ganado contribuyó con el 31.6% de las contribuciones estatales, pero la [3B] Tierra es catalogada como el sumidero de los gases de efecto invernadero.

Para elaborar los escenarios de mitigación, primero se determinaron las categorías principales de fuentes de emisión. Se encontró que 9 categorías cubren el 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua. De estas 9, la mayor fuente de emisión fue la categoría [1A1a] identificada como actividad principal para la producción de electricidad y calor; seguida de [1A3b] indicada como Autotransporte y por último las emisiones generadas por el ganado bovino, las cuales incluyen la fermentación entérica [3A1a] o por gestión de estiércol [3A2a]. La línea base se obtuvo utilizando las proyecciones de los datos de actividad de las 9 categorías principales y proyectando la tendencia del resto de las categorías conjuntamente. La proyección al 2032 da como resultado un incremento de las emisiones para la línea base de casi el 60% con respecto a las emisiones de 2017.

Para el sector Transporte se generó el escenario de mitigación por la actualización de la norma NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. La observancia de la actualización de esta norma incluye en parte la introducción de nuevas tecnologías, como son los autos híbridos y eléctricos. El programa de desarrollo

del sistema eléctrico nacional toma en cuenta el aumento en el consumo eléctrico del sector transporte por la introducción de este tipo de vehículos. El escenario resulta en una reducción de aproximadamente 1000 Gg CO₂e con respecto al escenario base.

Finalmente, para el Sector Ganadero, se hace la recomendación de implementar la ganadería sustentable con base al pastoreo racional para mitigar las emisiones del ganado bovino, no reduciéndolas sino promoviendo la restauración de la biomasa de los pastizales como contrapeso.

Para cumplir con los escenarios de mitigación propuestos, se plantean acciones específicas, que por su propia naturaleza deberían resultar en ahorros de energía y por lo tanto ser costo-efectivas.

Los escenarios de mitigación se realizaron para el sector eléctrico considerando que el programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional ya contempla escenarios de mitigación en línea con la ley de transición energética, la estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios, y la hoja de ruta en materia de eficiencia energética, entre otros. Entre los sectores que más demandan energía eléctrica se encontraron al industrial, residencial, y comercial. Asimismo, se definieron explícitamente las metas estatales de mitigación de emisiones por implementación de medidas de eficiencia energética.

Para el análisis de adaptación/vulnerabilidad se utilizaron herramientas desarrolladas por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Autónoma de México (UNAM). Los resultados arrojan que la exposición promedio del estado se puede clasificar en una magnitud media, aunque los municipios de Juárez, Madera, Chihuahua, Guadalupe y Calvo, Guachochi, Batopilas, Urique y Maguárichi, presentan una alta exposición. Sobre el parámetro de sensibilidad climática, arrojó que la sensibilidad promedio de la entidad se ubica en una magnitud de muy baja a baja, aunque se distingue al municipio de Guachochi con una sensibilidad alta, y a Carichí, Balleza, Guadalupe y Calvo, Morelos, Urique, Batopilas, Guazapares, Chínipas, Uruachi y Maguarichi con una sensibilidad media. De manera específica, y en función de la exposición y sensibilidad



analizadas, de acuerdo con los resultados obtenidos por el Centro de Ciencias de la Atmósfera, los puntos vulnerables en el estado de Chihuahua se encuentran en los grupos desatendidos como los hogares con jefatura femenina, las comunidades indígenas y la alta población en pobreza alimentaria.

Los resultados de vulnerabilidad al cambio climático también ubican al estado en un valor medio, destacando al municipio de Batopilas como el único que presenta un valor alto. De manera resumida, de los 67 municipios que integran el estado de Chihuahua, el 79.10% poseen una vulnerabilidad de muy baja a baja, mientras el 19.40% presenta una vulnerabilidad media y sólo el 1.49% una vulnerabilidad alta.

Las medidas de adaptación identificadas se enfocan al tema de biodiversidad, al sector agrícola, hídrico, ganadero y forestal.

Finalizado el proceso de actualización del inventario estatal de emisiones brutas de GEI y de la identificación de medidas de mitigación y de adaptación, en la segunda fase del proceso de elaboración del PECC se desarrollaron consultas públicas con el fin de someter a discusión de todos los sectores de la sociedad las acciones propuestas. Se inició con una consulta pública virtual en la cual participaron habitantes de todo el estado, también se desarrolló una consulta pública con la comunidad indígena y 6 consultas públicas presenciales en los municipios más grandes del estado: Ciudad Juárez, Nuevo Casas Grandes, Cuauhtémoc, Parral, Delicias y Chihuahua. En estas consultas públicas se contó con la participación de funcionarios de gobierno, empresarios, ganaderos, expertos, académicos, representantes de los colegios de arquitectos e ingenieros, sociedad civil organizada, grupos minoritarios y ciudadanía en general. Como resultado de este proceso se priorizaron las acciones a desarrollar, se recogieron nuevas propuestas y se evaluó la factibilidad de su implementación con la ciudadanía en el corto, mediano y largo plazo.





CONTEXTO



1.1

CONTEXTO

³ SEMARNAT-INECC (2018b). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Apoyado por GEF y PNUD.

⁴ Gobierno del estado de Chihuahua (2016). Programa Estatal de Cambio Climático: Identificación de Políticas de Mitigación. Con la colaboración de COCEF, CIMAV, Frontera 2012. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164901/1ra_Etapa_PECC_Chih_Reporte_final_presentado_marzo_2015.pdf



Fuente: Keith Hardy

1.1.1 INTRODUCCIÓN

El Programa Estatal de Cambio Climático del estado de Chihuahua es una herramienta de planeación e integración que contempla una serie de actividades. Dichas acciones involucran la participación de los diferentes actores de la sociedad, y del propio gobierno. El objetivo final es identificar acciones que ayuden a establecer las estrategias más adecuada para contribuir en la mitigación de las emisiones de los GEI, así como en la adaptación de los efectos del cambio climático, y reducir la vulnerabilidad a los mismos.

Este programa tiene un sustento normativo en la Ley de Cambio Climático del Estado de Chihuahua (Periódico Oficial del Estado No. 50, el 22 de junio de 2013), donde se establece que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno de Chihuahua (SEDUE) participará en su elaboración y contará la participación y aprobación de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Estado de Chihuahua (Art. 28). El Art. 29 establece los elementos mínimos que debe contener, y que debe de alinearse con la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC).

Adicionalmente, el programa debe seguir los lineamientos establecidos en el documento *Elementos Mínimos para la Elaboración de los Programas de Cambio Climático de las Entidades Federativas*, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). En este documento, se establece que se debe elaborar el inventario de gases de efecto invernadero, con base a las Directrices del IPCC 2006. Aunado a esto, el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) es considerado, desde 2014, como información de interés nacional y, por lo tanto, es obligatorio no solo para la federación, sino también para los estados y municipios.³

Por otro lado, es importante mencionar que existen ediciones previas de este programa. La primera⁴ fue elaborada en conjunto, por el Gobierno del Estado, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), con fondos del Programa Ambiental



México-Estados Unidos: Frontera 2012 y el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). Esta edición se orientó a la identificación de políticas de mitigación a partir del primer inventario desarrollado de gases de efecto invernadero (2010)⁵. La segunda edición⁶ fue realizado por la COCEF, en conjunto con el Colegio de la Frontera Norte y la Iniciativa Climática Regional de América Latina (LARCI), ahora Iniciativa Climática de México (ICM). La principal meta por alcanzar con este programa, fue ser el primer estado en desarrollar un modelo macroeconómico de simulación dinámica con las características socioeconómicas y ambientales locales.

En esta tercera edición se incluirá la variable de adaptación, la cual se contempla en la Ley de Cambio Climático del Estado de Chihuahua, donde se especifica la formulación, regulación e instrumentación de las acciones en materia de adaptación, en conjunto con las de mitigación.

1.1.2 OBJETIVOS DEL PROGRAMA

El Programa Estatal de Cambio Climático (PECC) 2019 es un instrumento de planeación que integra, coordina e impulsa acciones para disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos derivados del cambio climático el cual busca:

1. Instrumentar la vulnerabilidad de la población y sectores productivos y proponer medidas para incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica.
2. Priorizar acciones que ayuden a conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.

1.1.3 ANTECEDENTES

El estado de Chihuahua está ubicado en la región noroeste del país, su capital es Chihuahua y cuenta con 67 municipios⁷, de los cuales Ciudad Juárez y Chihuahua son los más poblados. El estado cuenta con 247,412.5 km² de superficie, convirtiéndolo en el estado más extenso del país. Tiene una densidad de población de 14.4 hab/km² y datos a 2015 indican que lo habitan 3,556,574 personas, lo que representa el 3% de la población nacional⁸.

Las principales regiones naturales presentes en el estado son áridas y templadas; la superficie forestal de Chihuahua está conformada mayoritariamente por vegetación de zonas áridas y bosque, mientras que los tipos de climas presentes son seco, templado y cálido, con un intervalo de temperatura entre los 8°C y 26°C y la precipitación anual oscila entre los 200 a 1200 mm⁹.

1.1.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

El estado de Chihuahua se localiza al norte del país entre los meridianos 103°18'24" y 109°04'30" de longitud oeste y entre las latitudes 31°47'04" y 25°33'32" norte¹⁰.

LÍMITE Y SUPERFICIE

El estado de Chihuahua cuenta con una superficie de 247,412.5 km², que corresponde al 12.6% de la superficie del país¹¹. Chihuahua se localiza en la parte central del norte del país y colinda al norte con los estados de Nuevo México y Texas de los Estados Unidos de América; al este con los estados de Coahuila de Zaragoza y Durango; al sur con Durango y Sinaloa; al oeste con Sinaloa, Sonora y los Estados Unidos de América. Es el estado con mayor línea fronteriza con el país vecino del norte con 760 km² de un total de 3,125 km²(¹²).

El municipio más extenso es Ahumada, ocupando el 6.8% de la superficie del estado, mientras que el menos extenso es Santa Bárbara con el 0.17%^{13, 14}.

OROGRAFÍA Y FIOGRAFÍA

El estado de Chihuahua cuenta con 4 elevaciones arriba de los 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm): el Cerro Mohinora (3286 msnm), el Cerro las Iglesias (3100 msnm), el Cerro Gasachi (3081 msnm) y el Cordón los Tres Picachos (3044). La Figura 1 muestra las principales elevaciones presentes en el estado¹⁵.

Está dividido por dos grandes provincias fisiográficas: la Sierra Madre Occidental al este y al oeste, la de Sierras y Llanuras del Norte, ocupando el 43.5% y el 56.5% del territorio chihuahuense, respectivamente¹⁶. La provincia de la Sierra Madre Occidental ha sido descrita como una altiplanicie de rocas volcánicas, angostas depresiones entre serranías, mesas y mesetas. En esta provincia se presenta cordones montañosos de relieve moderado y separados por valles de fondo plano;

⁵ Gobierno del estado de Chihuahua (2010). Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990-2025. Con la colaboración de COCEF y el Center for Climate Strategies. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164902/2010_chih_inventario.pdf.

⁶ Gobierno del estado de Chihuahua (2016). Programa Estatal de Cambio Climático: Cuantificación ambiental y socioeconómica de las políticas de mitigación de GEI. Con la colaboración de COCEF, Colegio de la Frontera Norte y LARCI.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164904/Reporte_Final__2da_Etapa_PECC-CHIH-abril_2016.pdf

⁷ INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua, pp. 18-19.

⁸ INEGI (2015a). Panorama sociodemográfico de México, p. 24.

⁹ INEGI (2017b). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa, pp. 43, 45-46.

¹⁰ INEGI (2017a). Op. Cit., p.18.

¹¹ INEGI (2015a). Op. Cit., p. 24.

¹² INAFED (a) Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/index.html>. Consultado 20 de diciembre de 2018.

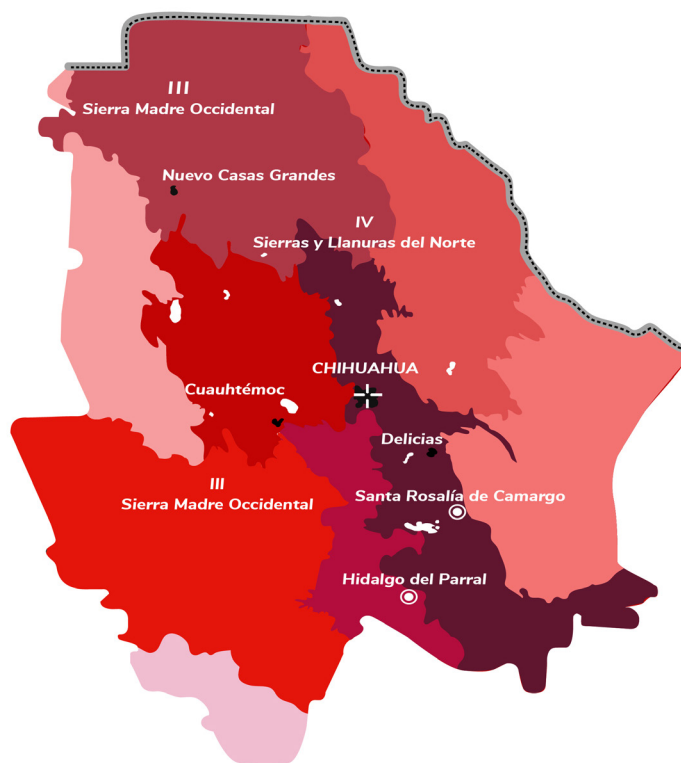
¹³ INAFED(b): <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08001a.html>; y <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08060a.html>. Consultado 20 de diciembre de 2018.

¹⁴ INEGI (2017c). Conociendo Chihuahua. Séptima Edición.

¹⁵ INEGI (2017a). Op. Cit. pp. 19 y 38.

¹⁶ Ibid. pp. 20 y 21.

La Provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una prolongación de la Provincia Bassin and Range del suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica. El relieve característico son llanuras áridas y uniformes que presentan un cambio gradual de su declive hacia el oriente y las cuencas internas denominadas bolsones¹⁸. La localización de las provincias y subprovincias fisiográficas en el estado de Chihuahua se muestra en la Figura 2.



Simbología	Subprovincia
 Provincia fisiográfica	 Del Bolsón de Mapimi
 CAPITAL	 Gran Meseta y Cañones Duranguenses
 Cabecera de provincia	 Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses
 Limite internacional	 Llanuras y Médanos del Norte
 Línea de costa	 Llanuras y Sierras Volcánicas
 Corriente de agua	 Sierras y Llanuras Tarahumaras
 Zona urbana	 Sierras y Cañadas del Norte
	 Sierras Plegadas del Norte
	 Sierras y Llanuras de Durango

Figura 2. Fisiografía del estado de Chihuahua.

¹⁷ INAFED(a). Nota 11

CLIMA

Aproximadamente el 40% del territorio del estado presenta un clima muy seco, principalmente en la provincia fisiográfica de Sierras y Llanuras del Norte. Alrededor del 33% del clima seco y semiseco se localiza en parte este de la provincia de la Sierra Madre Oriental, mientras que la región templada húmeda (24%) es común en la parte central-oeste de la misma. Chihuahua tiene un clima cálido subhúmedo de cerca del 3% de su territorio, en la región suroeste de la Sierra Madre Oriental que colinda con los estados de Sonora y Sinaloa (ver Figura 3)¹⁹.

La temperatura media anual en Chihuahua es de 17°C, mientras que la más alta es mayor de 30°C, presentándose entre los meses de junio y agosto. La más baja generalmente se registra en el mes de enero (Ver Figura 4).

Las lluvias no son muy abundantes y se presentan principalmente en verano, oscilando la precipitación anual entre los 200 a 1200 mm²⁰.

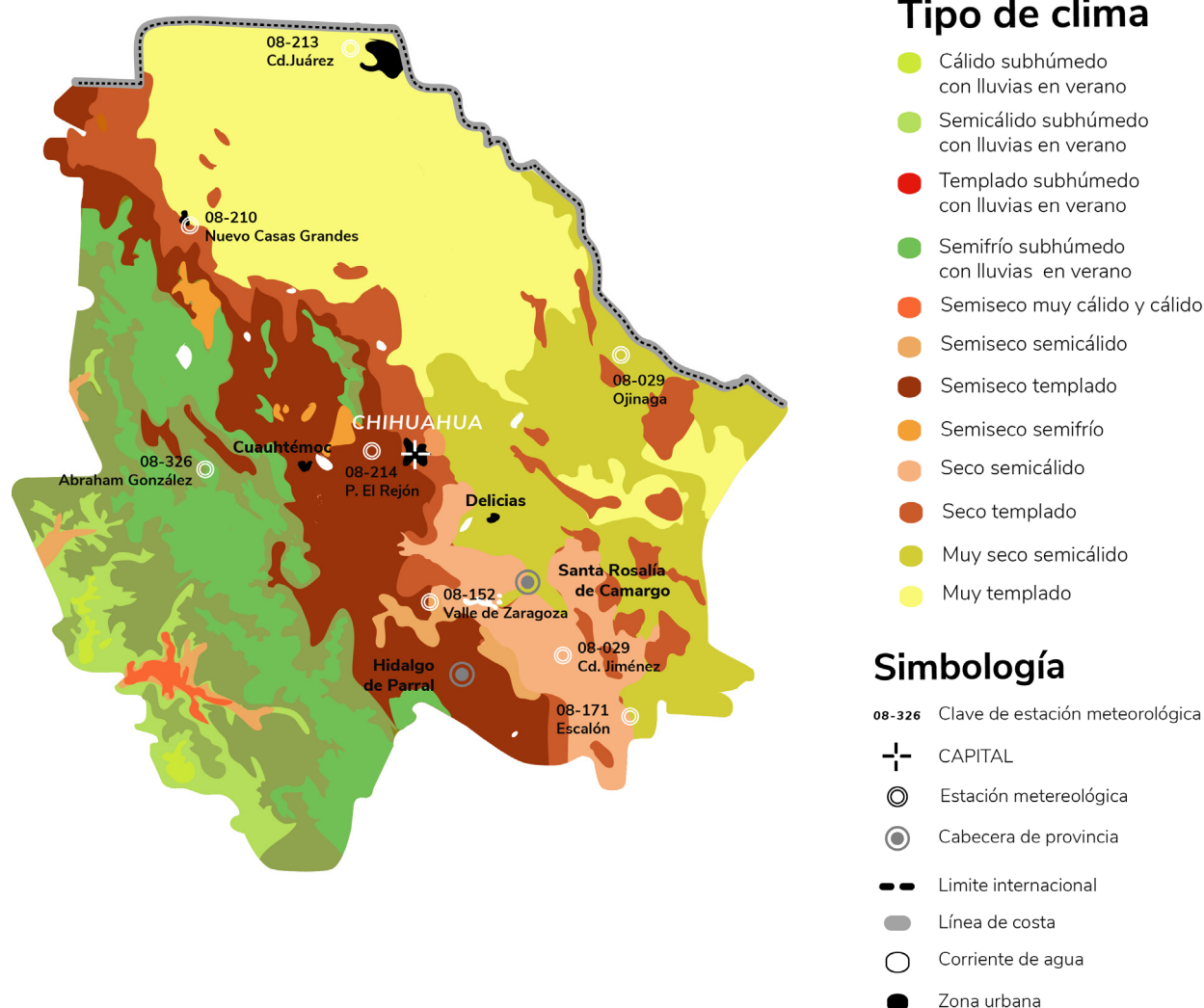
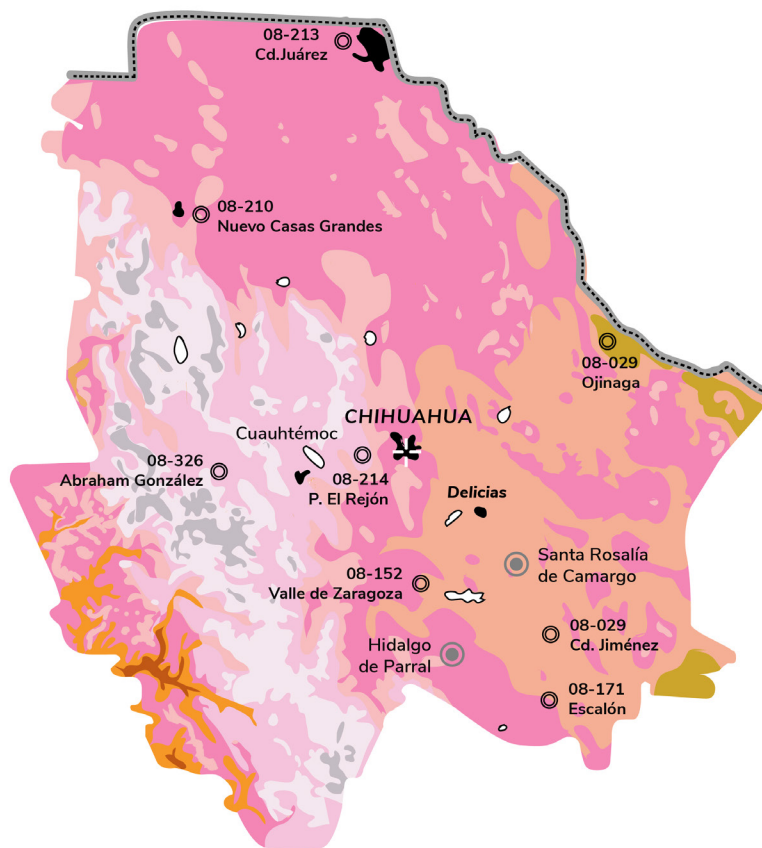


Figura 3. Tipos de clima en el estado de Chihuahua.

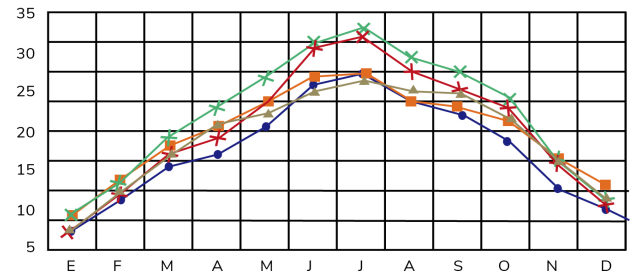
Fuente: INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua, pp. 43-44.

¹⁹ INEGI (2017a). Op. Cit., pp. 22 y 43.

²⁰ INEGI (2017b). Op. Cit., p. 46.



Temperatura media mensual registrada en las principales estaciones meteorológicas 2016 (C°)



▲ Cd. Jiménez ■ Valle de Zaragoza
● Nuevo Casas Grandes × Ojinaga
× Cd. Juárez

Variación Isotermal

Grados Celsius

- 24-26
- 22-24
- 20-22
- 18-20
- 16-18
- 14-16
- 12-14
- 10-12
- 8-10
- 8-10

Simbología

- 08-326 Clave de estación meteorológica
- ⛶ CAPITAL
- ⊙ Estación meteorológica
- ⊙ Cabecera de provincia
- Limite internacional
- Línea de costa
- Corriente de agua
- Zona urbana

Figura 4. Distribución de Temperatura en el estado de Chihuahua.

Fuente: INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua, pp. 43-44.

EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

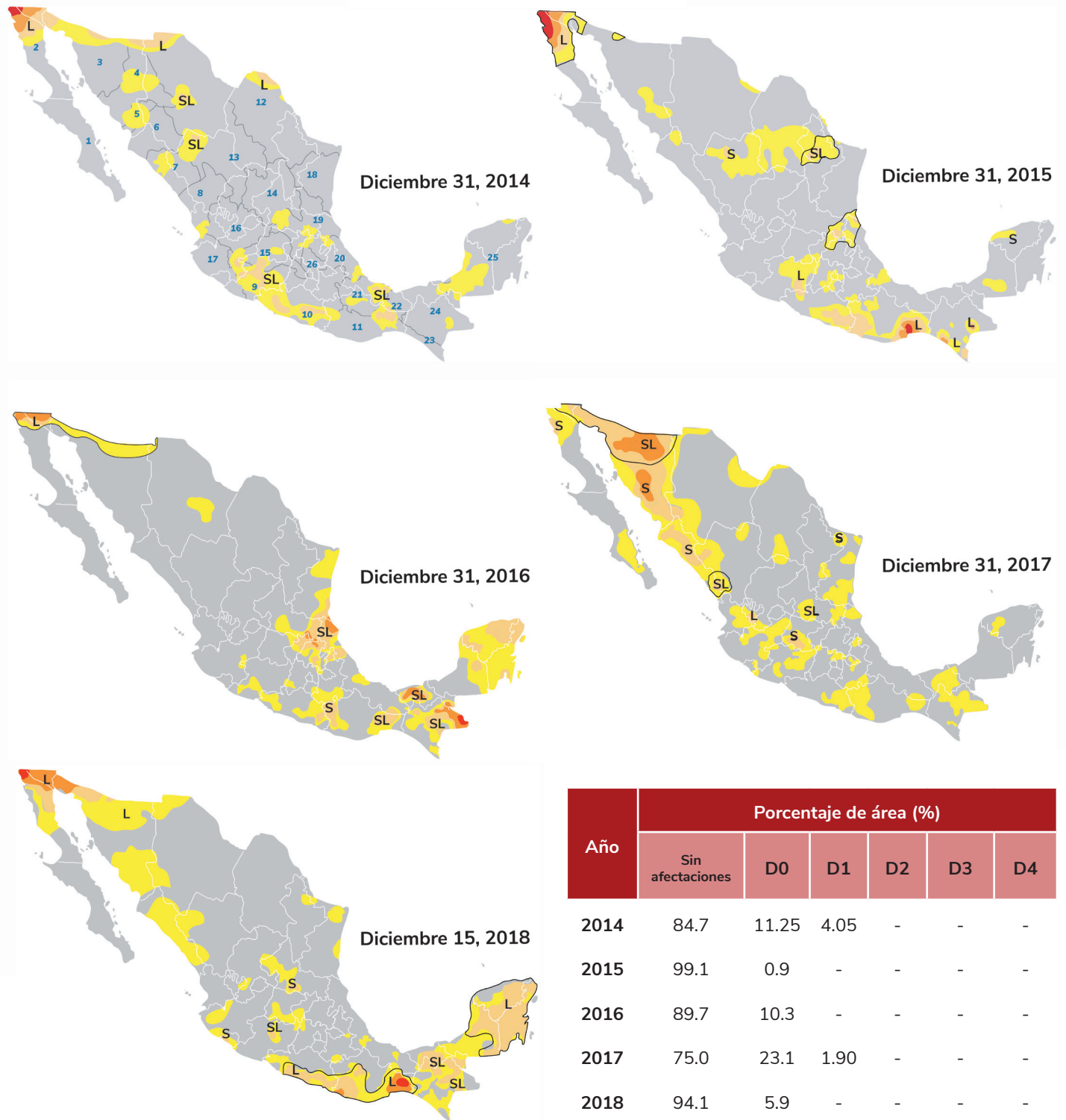
El estado de Chihuahua no es ajeno a los impactos en las alteraciones del clima global, principalmente con el incremento en la probabilidad asociada a la exacerbación de los vinculados a lluvias extremas durante la temporada del monzón de Norteamérica. Estos eventos continuarán generando peligros para las poblaciones asentadas en arroyos y bajos susceptibles de inundación. Por otro lado, fenómenos como el incremento en los eventos de ondas de calor, los eventos más frecuentes de sequía meteorológica e hidrológica y los incrementos en las temperaturas mínimas, con el consecuente incremento en plagas y vectores tropicales, son solo algunas de las nuevas realidades del estado. Esta sección describe algunos de los fenómenos hidrometeorológicos como sequías, así como el impacto de los incendios forestales.

SEQUÍAS

La información sobre sequías en Chihuahua y en el país se obtuvo del Monitor de Sequía de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)²¹, el cual considera información desde el 2014 a la fecha. La Figura 5 muestra el comportamiento de la sequía a través de estos años. Se observa que fue en el 2017 el período con mayor superficie territorial afectada por este fenómeno, y específicamente para el estado de Chihuahua fue de un 25%. El 2015 fue el año de menor afectaciones en el estado, con solo 0.9%. En la sección 1.3 se observa información anterior al 2014, donde se identificó que en 2013, Chihuahua padeció el peor período de sequía de los últimos 150 años.

²¹ CONAGUA (2018a). Monitor de Sequía en México: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>, consultado 22 de diciembre de 2018.

Monitor de Sequía en México



Intensidad de la sequía:

- D0 Anormalmente seco
- D1 Sequía Moderada
- D2 Sequía Severa
- D3 Sequía Extrema
- D4 Sequía Excepcional

Tipos de Impacto de la sequía:

Delimita impactos dominantes

S = Corto periodo, típicamente < 6 meses
(p.ej. agricultura, pastizales)

L = Largo periodo, típicamente > 6 meses
(p.ej. hidrología, ecología)

Año	Porcentaje de área (%)					
	Sin afectaciones	D0	D1	D2	D3	D4
2014	84.7	11.25	4.05	-	-	-
2015	99.1	0.9	-	-	-	-
2016	89.7	10.3	-	-	-	-
2017	75.0	23.1	1.90	-	-	-
2018	94.1	5.9	-	-	-	-

Figura 5. Situación de la sequía en México, años 2014 a 2018.

Fuente: CONAGUA. Monitor de sequía en México: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> (consultado 21 de diciembre de 2018).

INCENDIOS FORESTALES

El estado de Chihuahua ha sufrido a lo largo de los años diversos incendios, identificando que para el 2016, fue el quinto estado con mayor superficie afectada, registrando 702 incendios que impactaron 13,418 ha. Esta fue una cantidad mayor denle comparación a la registrada en el 2015, en donde se presentaron 252 incendios que afectaron 1,974 ha.²²

RECURSOS HÍDRICOS

La precipitación media total del estado es alrededor de 700 mm anuales; de dicho evento se proporciona una gran cantidad de recursos hídricos del estado de Chihuahua. Además, las corrientes que drenan al interior del estado, más las presas, lagunas y aguas subterráneas integran el potencial hídrico de la entidad.

El parteaguas continental discurre a lo largo de la Sierra Tarahumara, dividiendo la superficie del estado en tres vertientes: Vertiente del Golfo de California, Vertiente del Golfo de México y Vertiente Interna. A la primera le contribuyen los ríos Yaqui, Mayo, Fuerte y Sinaloa, pero poco es aprovechado en el estado, a excepción las aguas del río Papigochi (nacimiento del riego Yaqui) que se utilizan en riego. La segunda vertiente se conforma por ríos y arroyos de curso extenso y poco volumen que alimentan al río Bravo, siendo el río Conchos el más importante. La Vertiente Interna se alimenta de los ríos Casas

Grandes, Santa María y del Carmen, pero desembocan en lagunas de escaso almacenamiento, por dos causas filtraciones y rápida evaporación²³.

El estado de Chihuahua cuenta con 21 cuencas hidrológicas que pertenecen a 5 regiones hidrológicas²⁴, como se detalla en el Cuadro 1. En lo que se refiere a las aguas subterráneas, Chihuahua cuenta con 61 acuíferos, de los cuales 15 están sobreexplotados y 2 presentan salinización²⁵.

El agua renovable con la que contaba el estado de Chihuahua al 2016, era 12005 hm³/año, y per cápita 3205 m³/hab/año²⁶.

ECOSISTEMAS

Hay tres tipos principales de ecosistemas terrestres en el estado: bosques, pastizales y matorrales, aunque en menor cantidad existen pequeñas zonas cubiertas de selvas, dunas, chaparrales y mezquites²⁷.

Los matorrales cubren aproximadamente el 47% del estado, y se localizan principalmente en las zonas áridas y semiáridas en las regiones fisiográficas de la Sierra Madre Occidental y en específico en la Sierra Tarahumara, las Sierras, Lomeríos y Valles Centrales. Los tipos más comunes encontrados son: matorral desértico micrófilo, desértico rosetófilo, submontano y tropical²⁸.



Fuente: Redcharlie

²² INEGI (2017b). Op. cit. pp. 56-57.

²³ INAFED (a). Nota 11

²⁴ INEGI (2017a). Op. cit. pp.29-31.

²⁵ CONAGUA (2018b). Sistema Nacional de Información del Agua. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&n=estatal>, consultado 21 de diciembre de 2018.

²⁶ CONAGUA (2017). Estadísticas del agua en México. Edición 2017.

²⁷ CONABIO (2014). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p. 51.

²⁸ Ibid., p. 21.

Cuadro 1. Superficie estatal por región y cuenca hidrológica (porcentaje)

Región hidrológica	Cuenca	% de la superficie estatal
RH09 Sonora Sur	R. Mayo	2.12
	R. Yaqui	7.69
RH10 Sinaloa	R. Culiacán	0.38
	R. Sinaloa	1.74
	R. Fuerte	10.34
RH24 Bravo-Conchos	R. Bravo-Ojinaga	2.95
	R. Bravo-Cd. Juárez	2.87
	R. Conchos-Ojinaga	3.54
	R. Conchos-P. El Granero	4.86
	R. Conchos-Presa de la Boquilla	7.69
	R. Florido	4.27
	R. San Pedro	4.92
RH34 Cuencas Cerradas del Norte (Casas Grandes)	A. El Carrizo y otras	8.90
	R. Del Carmen	7.91
	R. Santa María	7.07
	R. Casas Grandes	10.35
	L. Bustillos y de los Mexicanos	1.6
RH-35 Mapimí	L del Guaje-Lipanes	2.08
	Polvorillos-Marqués	2.00
	El Llano-L. del Milagro	4.09
	A. La India-L. Palomas	2.47

Fuente: INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua 2017.

Los bosques presentes en Chihuahua son principalmente del tipo templado, cubriendo un poco más de la cuarta parte de la superficie del estado y están conformados por coníferas y latifoliadas, localizándose principalmente en la Sierra Madre Occidental. Si hay presencia de bosque tropical, pero solo ocupa un 2% de la superficie del estado. Este tipo de bosque se caracteriza por árboles que pierden sus hojas en la temporada de sequía y su presencia se ubica en los fondos de las barrancas de la Sierra Madre Occidental, cuyo clima es cálido y semicálido²⁹.

El pastizal cubre casi una quinta parte del territorio estatal (18.5%) y se localiza en las regiones del Altiplano y Sierras de Oriente y la Sierra Tarahumara, las Sierras, Lomeríos y Valles Centrales. Se ha identificado tres tipos de pastizales: natural, halófito y el inducido. El primero es seriamente amenazado

por el cambio de uso de suelo, el segundo se caracteriza por tener un alto contenido de sales y el tercero es utilizado en potreros y pastoreo para el ganado³⁰.

El ecosistema acuático de la entidad se compone de dos grandes sistemas: el lótico, que está conformado por corrientes de agua como son los ríos y arroyos y el léntico, que lo forman las lagunas, lagos y humedales, que son aguas tranquilas. Ambos tipos ejercen funciones hidrológicas importantes, por ejemplo, los ríos son la recarga de acuíferos, el suministro de agua de irrigación y las descargas de excedentes durante las épocas de lluvia intensa, así como también la vegetación que crece en las orillas filtra escorrentías, propicia infiltración, recarga acuíferos y provee hábitat a la fauna silvestre. Por lo anterior, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) considera la Cuenca del Río Conchos y

²⁹ Ibid., p. 53.

³⁰ Ibid., p. 21.

la Cuenca alta del río Santa María prioritarias³¹. Por otro lado, los humedales (sistema léntico) presentan una importancia alta por la gran biodiversidad que contienen y por su productividad, además que también actúan como filtradores de nutrientes y contaminantes, como zonas contra inundaciones y recarga de acuíferos.

En el Cuadro 2, se muestran los 5 sitios RAMSAR³² con los que cuenta el estado y que abarcan humedales de importancia internacional. Entre ellos destaca la Laguna de Babícora, la cual está considerada dentro de los 28 humedales de mayor relevancia en México, principalmente por la gran cantidad de aves acuáticas migratorias y neotropicales que la frecuentan. Aproximadamente 4 millones de aves la usan en invierno y más de 5 millones la utilizan durante el periodo de migración, sobresaliendo la población más grande de gansos registrada en el Altiplano Mexicano y la mayor población de grullas grises invernantes en México³³.

REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

De las dos regiones áridas que existen en México, una es la Chihuahuense, la cual comprende una superficie compartida entre Chihuahua, Coahuila, Durango y Zacatecas, como se puede ver en la Figura 6. En esta región se identifican

Cuadro 2. Sitios Ramsar en el estado de Chihuahua (datos al 31 de diciembre de 2016).

Fecha de designación	Denominación
02/02/2012	Río San Pedro-Vado de Meoqui
02/02/2008	Laguna de Babícora
10/30/2013	Manantiales Geotermales de Julimes
30/10/13	Humedales de Guachochi
10/30/2013	Laguna La Juanota

Fuente: INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua.

plantas que resisten la poca disposición de agua y la salinidad del suelo, como las biznagas, los nopales, las yucas, los magueyes, el sotol, los pastos nativos, los mezquites. Los ecosistemas presentes en esta área están conformados por matorral desértico y semidesértico y pastizal. Es posible observar especies animales como el bisonte americano, el perrito llanero, la zorra del desierto, el coyote, el gato montés y el puma. De las tres regiones semiáridas: Tamaulipeca, Centro-Hidalguense y Poblano-Oaxaqueñas, ninguna abarca el estado de Chihuahua^{34, 35}.



Figura 6. Regiones áridas y semiáridas de México.

Fuente: SEMARNAT-INECC (2018a). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Apoyado por PNUD y GEF.

³¹ Ibid., p. 472.
³² Los sitios Ramsar se refieren a humedales de importancia internacional, considerados como ecosistemas fundamentales en la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad, con importantes funciones (regulación recarga de acuíferos y estabilización del clima local), valores (recursos biológicos, pesquerías y suministro de agua) y atributos (refugio de diversidad biológica, patrimonio cultural y usos tradicionales). Estos sitios se han venido determinando y registrando en México a partir del 4 de noviembre de 1986 derivado de la Conven-

ción celebrada en 1971 en la ciudad de Ramsar, Irán. Cabe señalar que estos humedales pueden o no estar incluidos dentro de las denominadas áreas naturales protegidas.
³³ CONABIO (2014). Op. cit., p. 473.
³⁴ SEMARNAT-INECC (2018a). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Apoyado por PNUD y GEF.
³⁵ CONABIO (2014). Op. cit., p. 206.

BIODIVERSIDAD

El estado de Chihuahua cuenta con algunas de las regiones más biodiversas del mundo, como lo es la Sierra Madre Occidental y el Desierto Chihuahuense. Por ejemplo, la primera región es identificada por la gran diversidad de flora, aves, mamíferos, reptiles, insectos y peces. De las especies de flora se destacan los pinos, principalmente especies de encinos, mientras que en la fauna destacan especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo, como el bisonte, el perrito de la pradera, la cotorra serrana occidental, la guacamaya verde, el búho moteado, el águila real, el oso negro, el jaguar, el pájaro carpintero y diversas especies de víboras de cascabel³⁶.

Ejemplos de la flora y fauna dominante en el Desierto Chihuahuense se describen en la sección anterior: Regiones áridas y semiáridas.

CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL CAPITAL NATURAL

Como en casi cualquier lugar del mundo, el cambio de uso de suelo forestal para realizar actividades agrícolas y ganaderas constituye la amenaza más importante para el capital natural del estado de Chihuahua, generando extensas superficies de tierras de pastoreo³⁷. Se reporta que de estas tierras una tercera parte se clasifica como *sin vegetación*, mientras que tres cuartas partes del bosque cerrado se han degradado a la categoría de *bosque abierto*. Por otro lado, se ha identificado que la Sierra Madre Occidental ha perdido más del 11% de su cobertura vegetal en un periodo de 20 años. Otro factor que afecta a la biodiversidad y es consecuencia de las actividades de ganadería, es el sobrepastoreo. Esta actividad altera los ciclos biogeoquímicos, provoca pérdida de suelo y vegetación, reportándose hasta un 80% en algunas partes del estado. Por otro lado, la introducción de especies exóticas tiene un efecto en los ecosistemas, así como el tráfico de especies, como la de los cactus nativos o endémicos del Desierto de Chihuahua. Otro problema que se ha identificado es la electrocución de aves en líneas eléctricas; como el águila real, el halcón cola roja y el aguililla real, principalmente.

Por lo tanto, los retos para conservar la biodiversidad del estado de Chihuahua son muchos, y se han realizado grandes esfuerzos para implementar programas con el fin de contrarrestar las amenazas ya mencionadas. Algunos de estos programas se mencionan a continuación.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (ANP)

El estado de Chihuahua cuenta con 11 ANP³⁸ de carácter Federal, que en total suman 1,593,351 ha, lo que representa el 6.4% del estado. Más del 50% de esa superficie cubre bosques de pino y encino, y el 25% y 16% abarcan áreas de matorral xerófilo y pastizales, respectivamente.³⁹

UNIDADES DE MANEJO PARA LA

CONSERVACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE (UMA)

El aprovechamiento cinegético en el estado es una actividad importante, ya que se cuenta con 520 UMA, además de hasta 40 clubes de caza. Se han identificado 19 especies de aves y mamíferos que son del interés de los clientes de estas unidades de manejo, sin embargo uno de los objetivos principales es el vigilar el manejo adecuado de éstas para que realmente apoyen la conservación de los ecosistemas⁴⁰.

PLAN ESTATAL DE SALVAGUARDAS (PES)

El estado de Chihuahua cuenta con el Plan Estatal de Salvaguardas como parte de la Estrategia Estatal para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal de Chihuahua (EEREDD+), el cual está vinculado al Sistema Estatal de Información Forestal del Estado de Chihuahua.

El objetivo del PES es promover siete salvaguardas en cumplimiento con los acuerdos de la COP16, con la finalidad de mitigar posibles efectos negativos del cambio climático y promover los beneficios de la REDD+.

CERTIFICACIONES DE MANEJO

De acuerdo con datos de CONABIO, Chihuahua es el segundo estado con la mayor superficie de bosques certificados, con un total de 196,919 ha.⁴¹

OTROS PROGRAMAS

Ha habido una gran cantidad de programas de conservación, ya sea manejado por la federación, el propio gobierno estatal o particulares. Ejemplo de ellos son: El Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), a través del Programa de Acción para la Conservación de Especies (PACE), donde se asignó presupuesto para la conservación y recuperación de 30 especies en riesgo a nivel nacional durante el periodo 2006-2012. Entre las especies consideradas, se incluye al águila real, el jaguar, el lobo mexicano, el berrendo, la cotorra serrana, el oso negro, el perrito llanero y el bisonte, que son especies distribuidas o con distribución histórica en Chihuahua.

El Programa de Empleo Temporal es otra herramienta utilizada para la conservación, mediante el pago de los servicios prestados por las familias que habitan dentro de las Áreas Naturales Protegidas, así como también la proveeduría de materiales y equipo para la restauración y mantenimiento del ecosistema. El Programa de Conservación de Maíz Criollo y sus Variedades Silvestres es un ejemplo de este programa.

NORMATIVIDAD

Además de los programas o instrumentos mencionados en los párrafos anteriores, hay una serie de compromisos internacionales, así como leyes a nivel federal y estatal relacionado a la biodiversidad. En el Cuadro 3 se resumen la normatividad aplicable al estado de Chihuahua.

³⁶ Ibid., p. 205.

³⁷ Ibid., p. 223.

³⁸ Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del estado de Chihuahua. http://www.chihuahua.gob.mx/sedue/areas_protegidas_chih. Consultado 22 de diciembre de 2018.

³⁹ CONABIO (2014). Op. cit., p. 101.

⁴⁰ Ibid., p. 165.

⁴¹ Ibid., p. 185.

1.1.3.2 SITUACIÓN SOCIODEMOGRÁFICA

CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS

En 2015, Chihuahua contaba con 3,556,574 habitantes, lo que correspondía el 3% de la población nacional estimada para ese año. El 50.7% de la población chihuahuense eran mujeres, lo que indica que existían 97 hombres por cada 100 mujeres. Con respecto a la población indígena, se estimó que para ese mismo año el total era de 90,173 individuos.^{42, 43}

Cuadro 3. Normatividad aplicable.

INTERNACIONAL	NACIONAL	ESTATAL
Convención entre México y Estados Unidos para la protección de aves migratorias y de mamíferos cinegéticos (1937).	Ley Federal sobre Sanidad Vegetal (1974)	Ley de Cambio Climático del Estado de Chihuahua (2013)
Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de especies acuáticas (RAMSAR) (1971).	Ley General del Equilibrio y Protección al Ambiente (LGEEPA) (1988)	Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente del Estado de Chihuahua (2005 derogada y nueva en 2018)
Convención sobre la Conservación de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES) (1973).	Ley de Aguas Nacionales (1992)	Ley de Bienestar Animal (2010)
Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CITES) (1983)	Ley Federal de Variedades Vegetales (1996)	Ley Estatal de Coordinación de Sanidad Vegetal de Chihuahua (2015)
Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) (1989)	Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (1997)	Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Chihuahua (2015)
Acuerdo de cooperación ambiental entre México y Canadá (1990)	Ley General de Vida Silvestre (2000)	Ley de Vida Silvestre para el Estado de Chihuahua (2014)
Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB) (1992)	Ley de Energía para el Campo (2002)	Ley para el Fomento, Aprovechamiento y Desarrollo de Eficiencia Energética y de Energías Renovables del Estado de Chihuahua (2013)
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992)	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (2003)	Ley de Fomento para el Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Chihuahua (2004)
Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (1993)	Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (2005)	
Comité Trilateral Méx-Can-EUA de Vida Silvestre para la Conservación y Manjeo de Vida Silvestre y Ecosistemas (1996)	Nueva Ley Federal sobre Sanidad Animal (2007)	Ley de Bienestar Animal para el Estado de Chihuahua (2010)
Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (2004)	Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2001 y reformada en 2007)	Ley de Desarrollo Rural Integral Sustentable para el Estado de Chihuahua (2012)
	Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable (2007)	

Fuente: 1) CONABIO (2014). La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 2) Actualización propia.

⁴² Cálculo basado en la condición de hablante de lengua indígena y se tomó como base la población de 3 años y más, ya que a partir de esa edad los niños son capaces de comunicarse verbalmente. También hay datos basados en la pertenencia indígena, independiente de si habla o no una lengua indígena y con base en esto, se ha estimado que hay

401,200 personas que se reconocen a sí mismas como indígenas, valor que representa el 11.3% de la población del estado.

⁴³ INEGI (2015b). Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015: Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. p. 45.

Un análisis de la tasa de crecimiento promedio anual de la población muestra una disminución del 2.3% al 1.1% para los periodos del 1990-2000 al 2000-2010. Además de una disminución del 1.1% al 1% para los lapsos del 2000-2010 al 2010-2015 (Figura 7).⁴⁴

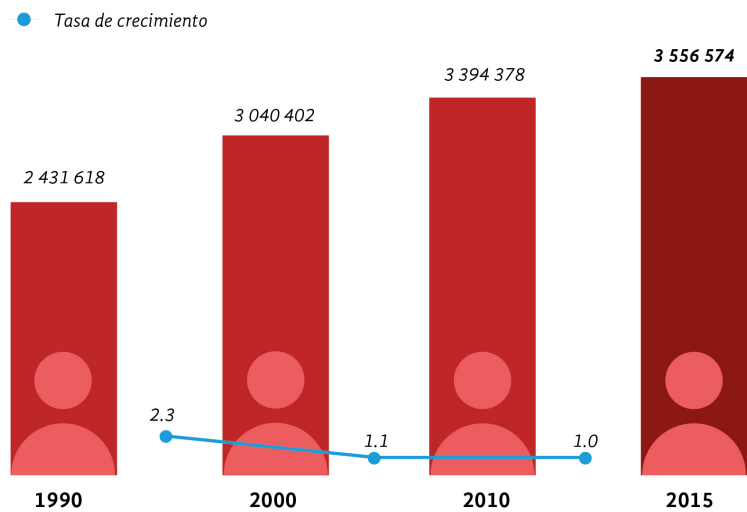


Figura 7. Población y tasa de crecimiento promedio anual en el estado de Chihuahua, 1990 a 2015.

Fuente: INEGI (2015b). Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015: Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

En la Figura 8 se muestra la estructura por edades de la población del estado de Chihuahua para los años 2000, 2010 y 2015. En esta se puede observar que tanto la población de 65 años y más, como la de 15 a 64 años han ido en aumento, mientras un ligero descenso se observa en el rango de edad entre 0 y 14 años. También se indica en la figura, la evolución de la edad mediana de la población, la cual registra un aumento de 4 años en 2015 con respecto al año 2000, al pasar de 23 años a 27 años, respectivamente.⁴⁵

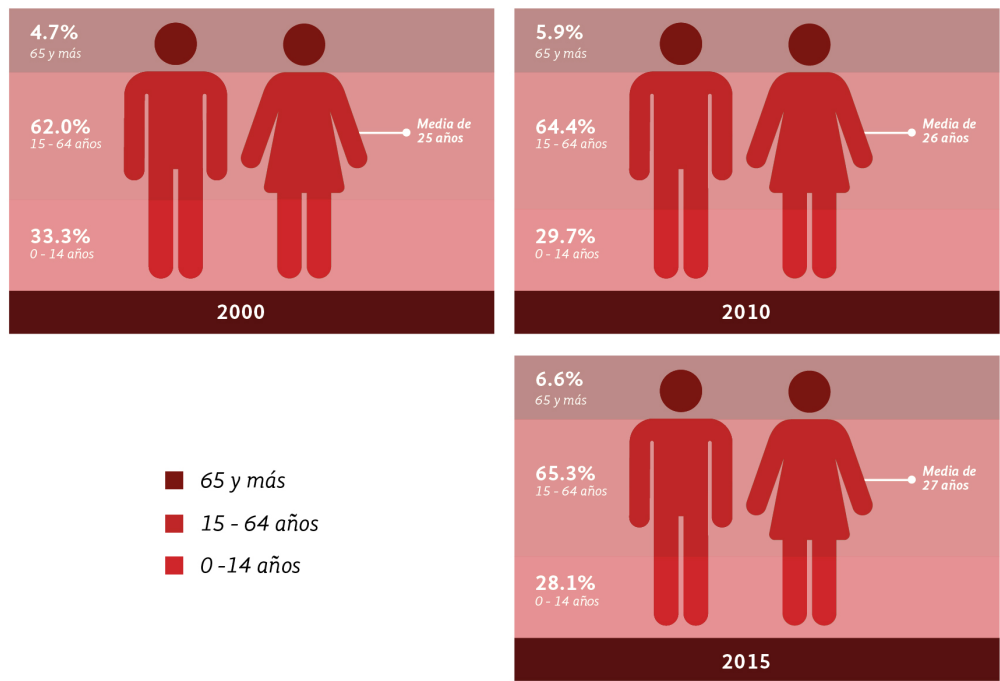


Figura 8. Estructura de la población para los años 2000, 2010 y 2015 del estado de Chihuahua.

Fuente: INEGI (2015b). Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015: Chihuahua. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

⁴⁴ Ibid., p. 1

⁴⁵ Ibid., p. 5.

Otro parámetro importante es el porcentaje de analfabetismo, como indicador de condiciones básicas de bienestar de la población. En Chihuahua, la tasa de analfabetismo de la población de 15 años y más disminuyó de 4.8 a 2.6% entre 2000 y 2015⁴⁶, valor muy por debajo de la media nacional.⁴⁷ Por lo que se puede deducir que las acciones implementadas para erradicar el analfabetismo en la población del estado han funcionado. En este mismo sentido, el promedio de escolaridad de la población chihuahuense de 15 años y más tuvo un incremento, pasando de 7.7 años en 2000 a 9.4 años en 2015, lo que equivale a tener estudios hasta tercero de secundaria.⁴⁸

DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

El estado de Chihuahua ha incrementado la superficie urbana urbano, ya que para el 2015 el 79.7% de la población residía en localidades de 15,000 o más habitantes, mientras que solo el 13.9% lo hacía en localidades de menos de 2,500 habitantes, mientras que el porcentaje para el año 2000 era de 75.4% y de 17.5%, respectivamente.⁴⁹

La superficie de la entidad es de 247,412.5 km² (12.6% del territorio nacional), lo que da una densidad de población de 14.4 hab/km², siendo Cd. Juárez y Chihuahua los municipios con mayor población, concentrando entre ambos casi el 64% de los habitantes del estado.⁵⁰

Para 2015, había 27% más de hogares registrados comparados con 2005, pasando de 813,273 a 1,033,216, contando el 95.8% con agua entubada y el 96.4% con energía eléctrica.⁵¹

EMISIONES PER CÁPITA

De acuerdo con los resultados presentados en la sección 2.2.1, las emisiones de gases de efecto invernadero de 2015 fueron, sin considerar las absorciones de la categoría [3B] Tierra, 29,879,730 tCO₂e, mientras que las emisiones netas fueron 17,138,040 tCO₂e. Esto da una emisión per cápita bruta de 8.40 t/hab y neta de 4.82 t/hab. Sin embargo, en la Sexta Comunicación Nacional y el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 presentadas por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología



Fuente: Jon Tyson

y Cambio Climático (INECC) en este año, las emisiones per cápita que reportan solo toman en cuenta la categoría [1A] Actividades de quema del combustible del sector [1] Energía, dando un valor nacional de 3.61 tCO₂/hab en 2015. Bajo estas condiciones, el valor per cápita para el estado, es de 4.73 tCO₂/hab para el mismo año, valor superior a la media nacional.^{52,53}

POBREZA Y DESIGUALDAD

La pobreza en México es un factor por considerar dentro de cualquier programa o política de desarrollo. En el país el porcentaje de pobreza extrema y de pobreza muestra que para el 2016 el 51.2% de la población vivía en esas condiciones. En Chihuahua, para el 2016, un tercio de la población (33.8%) vivía en condiciones de pobreza y pobreza extrema.

En el Cuadro 4, se muestra un comparativo de datos de pobreza extrema, pobreza, pobreza moderada y población no pobre y no vulnerable para los años 2014 y 2016, donde se nota una disminución en esos índices.

Cuadro 4. Indicadores de pobreza a nivel de país y para el estado de Chihuahua.

Año	País/Estado	Pobreza extrema (%)	Pobreza (%)	Pobreza moderada (%)	Población no pobre y no vulnerable (%)
2014	Total Nacional	9.5	46.2	36.6	20.5
	Chihuahua	5.4	34.4	28.9	27.8
2016	Total Nacional	7.6	43.6	35.9	22.6
	Chihuahua	3.2	30.6	27.4	30.9

Fuente: INEGI (2017b). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa, pp. 109-110.

⁴⁶ Ibid., p. 26.

⁴⁷ SEMARNAT-INECC (2018a). Op. cit., p. 43.

⁴⁸ INEGI (2015b). Op. cit., p. 29.

⁴⁹ Ibid., p. 4.

⁵⁰ Ibid., p. 3.

⁵¹ INEGI (2017b). Op. cit., pp. 112-113.

⁵² SEMARNAT-INECC (2018a). Op. cit., p. 46.

⁵³ SEMARNAT-INECC (2018b). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Apoyado por GEF y PNUD.



Fuente: Jezael Melgoza

1.1.3.3 SITUACIÓN ECONÓMICA

ESTRUCTURA Y CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA

La Figura 9 muestra la contribución al Producto Interno Bruto (PIB) local con respecto al nacional, de los grandes sectores que conformaron la economía estatal en 2014 en valores corrientes. Tanto el sector primario como el secundario están por arriba del promedio nacional, mientras que terciario es menor que el promedio del país.

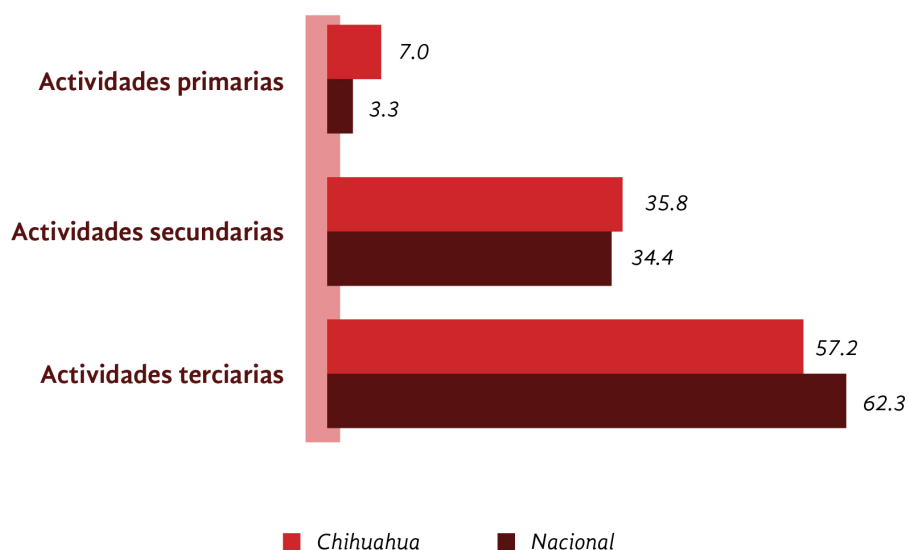


Figura 9. Contribución de los sectores de la economía chihuahuense al PIB nacional con respecto al total nacional (% a 2014 en valores corrientes).

Fuente: INEGI (2015b). Estructura económica de Chihuahua, en síntesis.

La actividad económica de la entidad se desarrolla en 20 sectores^{54, 55} principalmente, aunque para fines prácticos el sector 43 Comercio al por mayor y el 46 Comercio al por menor se consolida en uno solo. En 2014, se destacó el sector Industrias manufactureras con la participación más alta en el PIB estatal, con 21.7% arriba del promedio nacional de 17.7%. Le siguieron los sectores Comercio y Servicios inmobiliarios con 15.5% y 13.7%, respectivamente. Este último también se encuentra arriba del promedio total del país (ver Figura 10). Dentro de sector Industrias manufactureras, la rama de actividad más importante en Chihuahua es la fabricación de partes de vehículos.⁵⁶

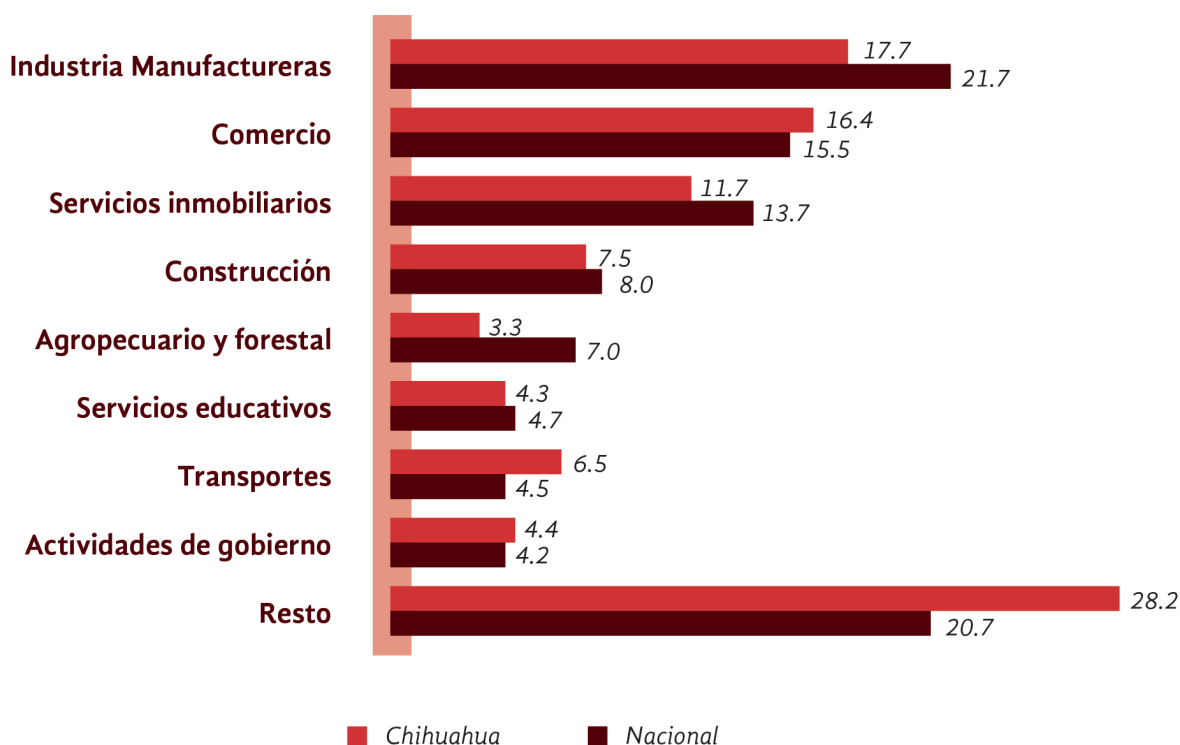


Figura 10. Desglose de los sectores económicos principales de Chihuahua en el PIB local y promedio nacional en 2014 (%).

Fuente: INEGI (2015b). Estructura económica de Chihuahua, en síntesis.

Para 2014, Chihuahua ocupó el lugar 13 a nivel nacional, con un Producto Interno Bruto (PIB) con 461,766 millones de pesos corrientes que corresponden al 2.84% del total, con un crecimiento entre 2003 y 2014 del 0.15%.⁵⁷

EMPLEO

El Cuadro 5 muestra la población económicamente activa (PEA) y no activa del estado de Chihuahua en el primer semestre de 2017. La población económicamente activa fue para el primer semestre del 60%, participando los hombres con el 63% y las mujeres con el 37% del PEA.⁵⁸

⁵⁴ Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN 2007).

⁵⁵ INEGI (2015b). Estructura económica de Chihuahua, en síntesis. p.1.

⁵⁶ INEGI (2017c). Op. cit., p. 13.

⁵⁷ INEGI (2015b). Op. cit., pp. 6-8.

⁵⁸ INEGI (2017a) Op. cit., pp. 359-360.

Cuadro 5. Población económicamente activa (PEA) y no activa del estado de Chihuahua.

Intervalo (año 2017)	Sexo	Total	Población económicamente activa		Población no económicamente activa	
			Ocupada	Desocupada	Disponibile	No disponible
Enero a marzo	Total	2,755,218	1,589,819	50,233	132,875	982,291
	Hombres	1,334,091	1,001,253	32,711	43,409	256,718
	Mujeres	1,421,127	588,566	17,522	89,466	725,573
Abril a junio	Total	2,760,809	1,617,998	45,172	157,891	939,748
	Hombres	1,342,224	1,004,228	28,883	47,533	261,580
	Mujeres	1,418,585	613,770	16,289	110,358	678,168

Fuente: INEGI (2017a). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua , pp.359-360.

CRECIMIENTO POBLACIONAL Y DESARROLLO ECONÓMICO

Es un hecho que en Chihuahua ha existido un crecimiento desigual entre sus regiones y sectores clave. En la actualidad, dos terceras partes del PIB estatal son aportadas por dos municipios (Chihuahua y Juárez), mientras los diez más rezagados aportan apenas por debajo del 1%. Debido a esto, será necesario identificar la manera de promover una nueva geografía con el propósito de llevar a cabo una transformación productiva para introducirse a la globalización y, a su vez, tener un desarrollo equilibrado entre sus regiones internas. Dicho lo anterior, los principales puntos a tratar para un óptimo desarrollo del estado sería lo siguiente:

- Observar el desempeño económico de los municipios para conocer su grado de competencia dentro del marco estatal, de esta manera se planearía una distribución diferente y una reasignación de recursos y factores productivos.
- Evaluar la posibilidad de crecimiento que hay actualmente para las regiones que permita elevar el nivel de vida de su población.

Para realizar las proyecciones propuestas anteriormente se deberá hacer un análisis sobre los desequilibrios territoriales, el efecto competitivo de la economía, el nivel de bienestar y las limitantes que hay con respecto al desarrollo poblacional y la distribución de los sectores económicos.

DATOS DEMOGRÁFICOS DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

Para realizar proyecciones de crecimiento económico primero se hará una comparativa entre los datos demográficos actuales y los datos proyectados al 2050, actualmente CONAPO cuenta con proyecciones que nos permite visualizar el comportamiento demográfico del país o, en su caso, de alguna entidad federativa en específico. Según los indicadores por dicho simulador, apuntan los siguientes datos para el estado de Chihuahua:

Cuadro 6. Comparativa datos demográficos 2019 - 2050

Factores	2019	2050
Crecimiento natural	41,393	5,592
Crecimiento social	-5,873	-6,016
Crecimiento total	35,520	-424
Defunciones	21,560	39,644
Edad mediana	28	39
Mujeres	1,917,220	2,211,208
Hombres	1,884,267	2,125,660
Nacimientos	62,953	45,236
Tasa bruta de mortalidad	5.67	9.14
Tasa bruta de natalidad	16.56	10.43

Dichos datos permiten hacer las siguientes conclusiones en la comparativa 2019-2050:

- El crecimiento natural del estado de chihuahua se disminuirá un 13.5%.
- Las defunciones a comparación del 2019 se incrementarán un 54%.
- Los nacimientos se verán reducidos en un 28%.

PRODUCTO INTERNO BRUTO ESTATAL

Chihuahua es uno de los estados con mayor aportación al PIB nacional, estando dentro de las diez primeras economías de México. A lo largo de los últimos cuatro sexenios, la variación porcentual anual ha tenido un comportamiento regular, manteniendo su porcentaje de contribución entre un 2% y 8% en promedio.

Según el comunicado de prensa núm. 694 del 16 de diciembre del 2019, al observar la dinámica de las entidades federativas y su participación en el Producto Interno Bruto nacional, se determinó que la aportación total al PIB durante el año 2018 fue de 22,191,164 millones de pesos corrientes, de los cuales Chihuahua colaboró con 749,889 millones, ocupando el noveno lugar de los estados en contribuir con un 3.4%.

Con base a la estructura del PIB Estatal por grupos de actividades económicas, el estado de Chihuahua aportó los siguientes porcentajes:

- Actividades primarias (agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza): 6.9%

- Actividades secundarias (minería, industria manufacturera, la construcción, transmisión y distribución de energía eléctrica y suministro de gas): 4.4%. Si se excluye como factor dentro de las actividades secundarias a la minería petrolera, el porcentaje aumentaría a un 4.9%.
- Actividades Terciarias: 2.6%

Considerando lo que generó el PIB Estatal de Chihuahua durante el ejercicio, se observa que su comportamiento fue positivo con respecto al año anterior, teniendo una variación creciente del 1.6% sobre todas las actividades económicas.

En los últimos veinte años, Chihuahua ha demostrado ser un gran aportador al Producto Interno Bruto del país, ya que en el mismo sentido que ha crecido la economía en México anualmente, el estado se ha mantenido constante con entre 3% y 7% en el mismo periodo. Así mismo, uno de los datos a destacar, es que debido a que el porcentaje de crecimiento estatal ha sido mayor al crecimiento nacional a partir del siglo XXI, se puede afirmar que Chihuahua cada vez tiene mayor impacto en la economía mexicana, por lo que sin importar qué tanta variación a favor o en su defecto en contra haya en el PIB nacional durante un año, el estado ha de mantener su nivel a la alza por lo general.

En el cuadro 7 se puede apreciar el grado de participación por región sobre las principales actividades económicas del estado.

Cuadro 7. Participación promedio de los sectores en cada región 1999-2009

Sector (%)/ Región	JUA	NCG	CUA	GUE	GUA	PARR	JIM	CAM	DEL	CHIH	OJI	RVP	Sector Total
VA pc Minería	28.75	11.41	37.20	70.91	0.00	45.27	17.12	35.08	63.80	24.19	0.00	0.00	40.80
VA pc Manufac.	25.41	31.71	24.77	9.63	27.33	17.88	28.98	20.18	17.00	31.45	28.51	30.76	20.71
VA pc Comercio	25.12	38.52	25.04	12.06	47.08	29.07	34.59	29.06	12.00	26.34	44.32	37.70	21.93
VA pc Servicios	20.73	18.36	12.99	7.41	25.59	7.79	19.31	15.69	7.20	18.02	27.17	31.54	16.48
FT Minería	0.07	0.62	3.36	1.87	0.00	12.75	2.22	8.15	2.32	0.84	0.00	0.00	1.29
FT Manufac.	63.94	53.12	28.83	36.01	44.06	28.05	20.96	37.80	38.75	44.30	22.61	17.20	53.45
FT Comercio	17.29	26.29	39.12	39.85	35.25	36.01	47.19	32.75	33.26	27.79	39.59	63.42	23.35
FT Servicios	18.83	19.97	28.68	22.27	20.68	23.19	29.63	21.30	25.67	27.07	37.79	19.38	21.91
PBT Minería	0.08	0.37	9.40	7.34	0.00	23.36	0.33	9.17	11.23	1.20	0.00	0.00	2.32
PBT Manufac.	67.57	65.62	60.46	39.72	34.63	40.27	39.34	52.34	58.12	57.00	27.15	28.72	62.48
PBT Comercio	14.24	22.17	20.25	37.39	46.04	25.04	43.12	26.73	19.87	19.42	43.07	58.80	16.97
PBT Servicios	18.11	11.84	9.90	15.54	19.33	11.33	17.21	11.76	10.73	22.38	29.78	12.47	18.24

Fuente: “Economía y desarrollo en Chihuahua, México. Una propuesta de análisis regional”, Meza, J, 2012, pág. 18

Como se mencionó con anterioridad, el estado de Chihuahua aporta un valor significativo al Producto Interno Bruto nacional con sus actividades económicas dentro del sector primario, secundario y terciario. Si bien hay muchas fuentes generadoras de riqueza, entre las principales se encuentran el turismo, la producción agrícola ganadera, la minería, la silvicultura, por supuesto el sector servicios y el más importante la industria manufacturera y de construcción, ya que hoy en día la industria maquiladora engloba el 40% de empleo en el estado.

Los sectores económicos actuales del Estado de Chihuahua se conforman por la industria maquiladora, la minería, la agricultura, la ganadería, y los comercios principalmente. A continuación en la Figura 11 se muestra el porcentaje correspondiente para cada uno de los sectores y las actividades económicas que abarcan.

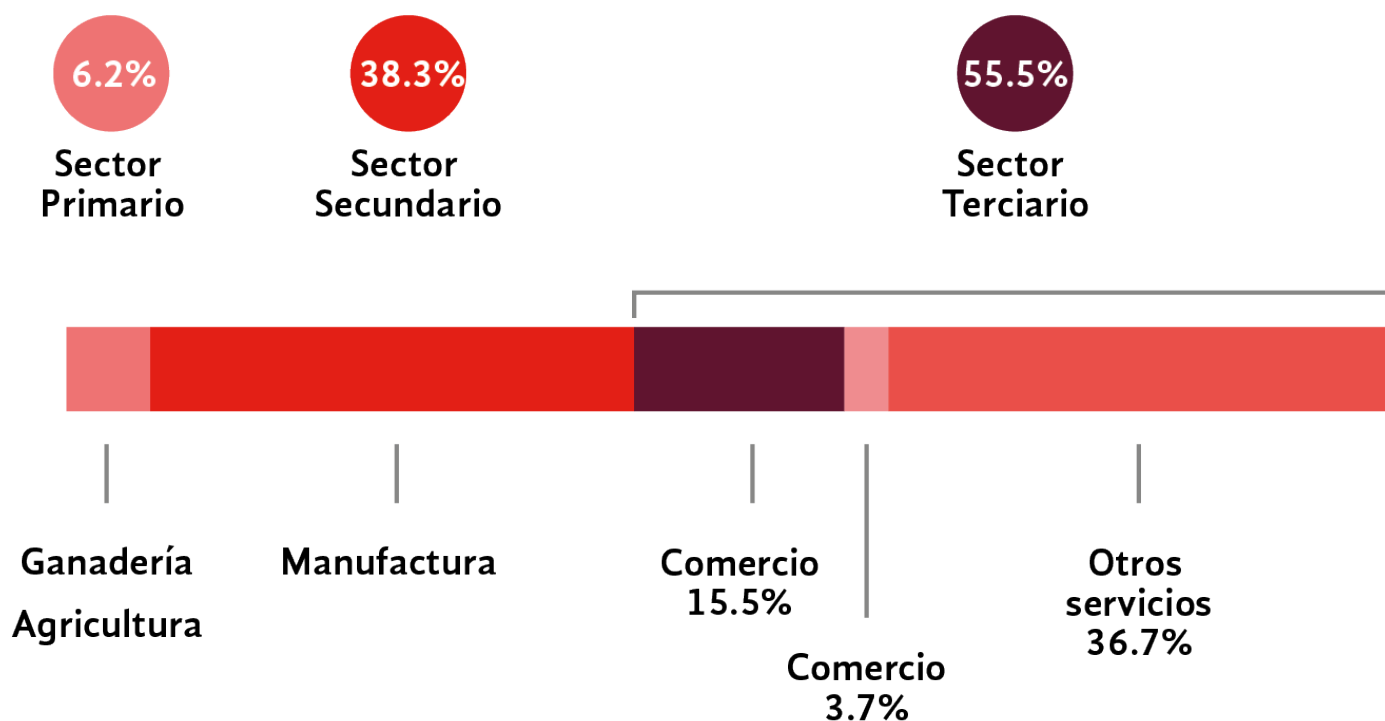


Figura 11. Composición del PIB estatal

Fuente: Plan Estatal de Desarrollo Gobierno de Chihuahua 2016 - 2021

Tomando esto en cuenta, se analizó el crecimiento anual de la población y se totaliza para conseguir un resultado de aumento bruto. Esto permitirá relacionar los conceptos de economía y población para llegar al cálculo del PIB per cápita, traducido a la riqueza que se genera en un municipio, estado o país durante un año por cada habitante que habita en él. Dicho lo anterior, se puede proceder a llevar a cabo una estimación más precisa sobre esta interrelación económica/poblacional. A continuación en el cuadro 8, se presentan aproximaciones de lo que puede surgir en Chihuahua partiendo de datos históricos:

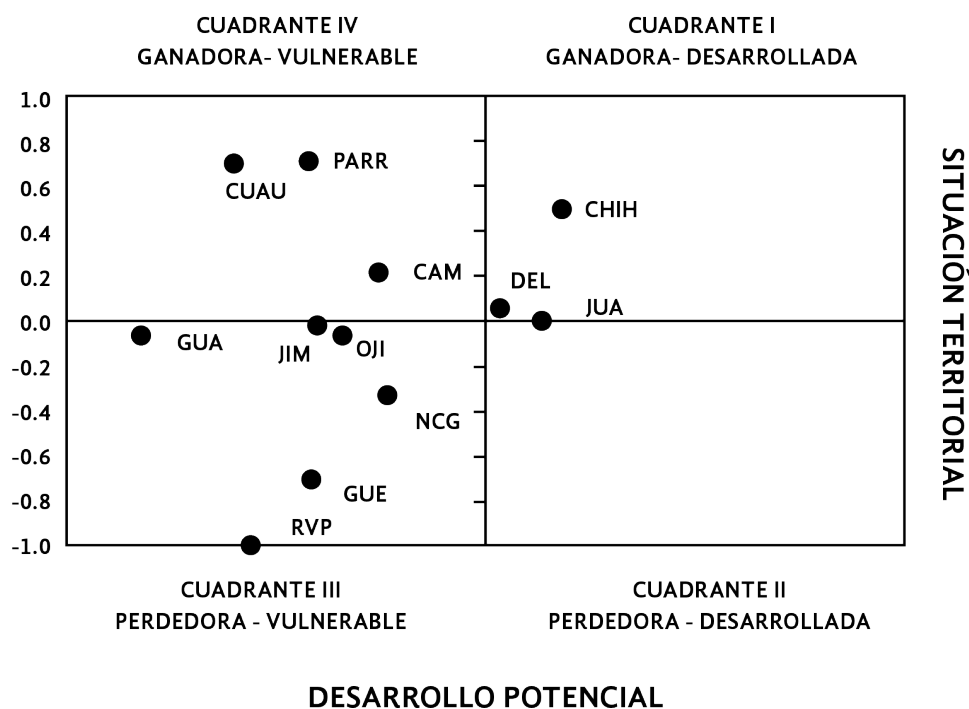
Cuadro 8. Estimación de crecimiento poblacional y económico para Chihuahua de 2020 a 2050.

Año	PIB Estatal (Millones)	Población en Chihuahua	PIB Per Capita (USD)
2020	607,734	3,801,487	7,993
2025	712,432	3,965,283	8,983
2030	835,166	4,075,987	10,183
2035	979,044	4,206,666	11,637
2040	1,147,710	4,281,229	13,404
2045	1,345,432	4,324,203	15,557
2050	1,577,216	4,336,868	18,184

Conforme a los datos presentados, en donde, se señalan las tendencias de las participaciones económicas de los municipios. Con esta información se realizó una matriz para denotar la situación territorial de cada región; esto con base a los siguientes parámetros:

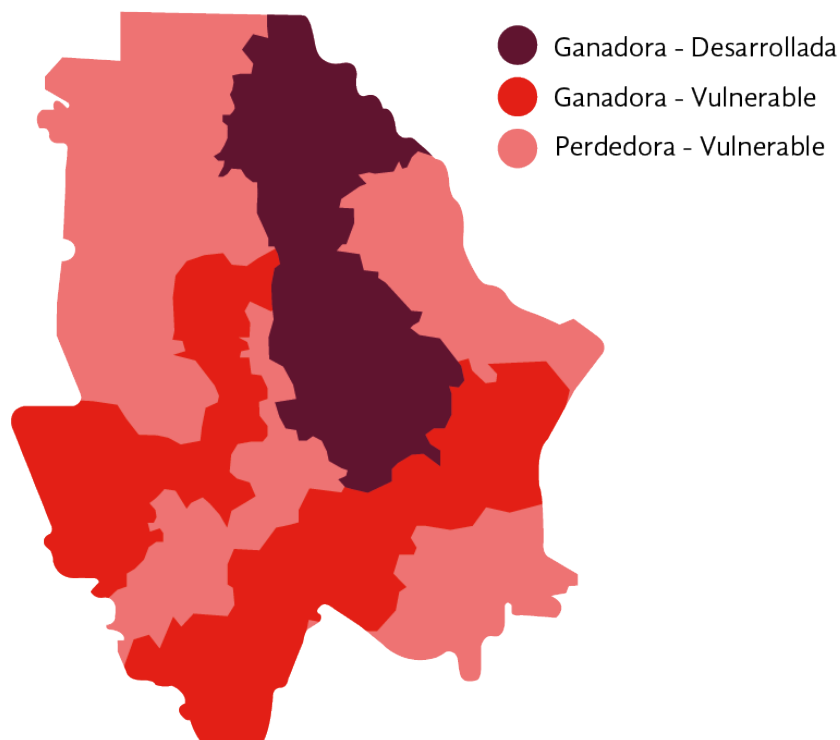
- Ganadora/Desarrollada: Efecto regional modificado positivo. Se mantienen o se incrementan los factores productivos para el desarrollo económico.
- Perdedora/Desarrollada: Regiones en posición económica favorable que han ido a la baja en su competitividad.
- Ganadora/Vulnerable: Regiones cuyo desempeño ha mejorado pero aun se encuentran subdesarrolladas. Ejemplo actividades primarias.
- Perdedora/Vulnerable: Regiones incapaces de crear o mantener valor, mostrando degradación.

Figura 12. Matriz DEPOSITE



Fuente: "Economía y desarrollo en Chihuahua, México. Una propuesta de análisis regional", Meza, J, 2012, pág. 34

Figura 13. Mapa Desarrollo Potencial y Situación Territorial (por región)



Fuente: "Economía y desarrollo en Chihuahua, México. Una propuesta de análisis regional", Meza, J, 2012, pág. 34

¿HACIA DÓNDE SE DIRIGE EL CRECIMIENTO POBLACIONAL Y LA ECONOMÍA EN CHIHUAHUA?

Se estima que las actividades económicas que tendrán un mayor auge en las regiones ganadoras-desarrolladas y ganadoras vulnerables serán: el sector agroindustrial, la industria automotriz, el desarrollo de bienes raíces, las franquicias comerciales y el sector inmobiliario, esta información según el reporte del Gobernador del Estado de Chihuahua dentro del plan de inversión 2019-2020.

Para poder obtener una proyección sobre el crecimiento económico y poblacional de Chihuahua lo más apegada a la realidad se deben considerar varios factores. Primeramente se debe ver el comportamiento del PIB estatal al año reflejado en cantidades de millones de pesos para lograr estimar una tendencia para los próximos periodos, también es necesario observar en promedio la variación que existe en el porcentaje durante un año con respecto del anterior.

INVENTARIO ESTATAL DE
**EMISIONES DE GASES DE
EFECTO INVERNADERO
(IEEGEI)**



1.2

INVENTARIO ESTATAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (IEEGEI)

⁵⁹ El potencial de calentamiento es con lo que un gas o compuesto de efecto invernadero determinado contribuye al calentamiento global y de acuerdo a la definición del IPCC, se calcula con base en la relación entre el forzamiento radiativo de un kg de gas de efecto invernadero emitido a la atmósfera y el de un kg de CO₂ a través de un periodo de tiempo (p. ej. 100 años).



Fuente: Jaime Álvarez

En esta sección se presenta y describe el Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Chihuahua (en adelante referido simplemente como IEEGEI Chihuahua), que es un instrumento de gestión indispensable para la toma de decisiones relacionadas en particular con el planteamiento de las acciones de mitigación, así como también de políticas públicas en materia de cambio climático que el gobierno estatal deberá desarrollar e implementar.

La cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero, en el marco de atención al cambio climático de cualquier país, entidad, institución u organización, representa el elemento base sobre el cual se despliega el análisis de las alternativas existentes para conducir una estrategia de mitigación del cambio climático. Por lo anterior, resulta un elemento clave en el desarrollo de política pública en la materia.

En este sentido, un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional y estatal, puede definirse como la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero generadas en un año y en una región determinada, consolidadas de manera sectorial en función de las actividades y fuentes identificadas como emisoras de dichos gases, resultado del aprovechamiento de energía de procedencia fósil, la producción industrial, el transporte, la fabricación de combustibles, la dinámica forestal de la región, las actividades agropecuarias y el tratamiento de residuos, entre otras.

Las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) son reportadas en unidades de CO₂ equivalente (CO₂e), que se obtienen al multiplicar la cantidad de emisiones estimadas de cada gas o compuesto por su Potencial de Calentamiento Global (PCG)⁵⁹. Estas unidades se usan con fines comparativos de modo que se pueda medir la contribución de cada fuente al efecto de calentamiento efectivo. En el IEEGEI Chihuahua se reportan las emisiones con el PCG a 100 años considerado en el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).



1.2.1 AÑO BASE DEL INVENTARIO Y PERIODO DE EMISIONES ESTIMADO

En el caso del estado de Chihuahua, y como parte de la elaboración del presente Programa Estatal de Cambio Climático, la actualización del IEEGEI Chihuahua comprenderá el periodo 2013-2017, con el fin de generar una base homologada con el año de referencia (2013) considerado para la Contribución Nacionalmente Determinada de México (CND). La CND asume una meta de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero hacia el año 2030 como parte del compromiso que México ha adquirido en el contexto de las negociaciones internacionales sobre cambio climático y, más recientemente, sobre los términos del Acuerdo de París, compromiso global, del cual México es signatario.

Por otra parte, el corte a 2017, obedece al análisis sobre disponibilidad y calidad de la información que se realizó al momento de diseñar el inventario, determinando que hasta este año se cuenta con la mejor y más actualizada información.

1.2.2 ALCANCE DEL INVENTARIO, METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y RESULTADOS OBTENIDOS

El alcance del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del estado de Chihuahua se determinó bajo el principio de ser consistente con el enfoque de reporte y consolidación de emisiones aplicado al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 (INEGYCEI 1990-2015) elaborado por el INECC, publicado en el año 2018, y, a partir de dicha premisa, fue que se realizó un análisis de las categorías, fuentes, sub-fuentes y actividades emisoras de gases de efecto invernadero existentes en el estado de Chihuahua para el periodo de reporte establecido.

En términos de la metodología para la estimación de emisiones de GEI utilizada, y manteniendo el principio de consistencia con el enfoque del inventario nacional, se determinó aplicar la metodología documentada en las Directrices de 2006 del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero⁶⁰, la cual considera 4 sectores: [1] Energía, [2] Procesos industriales y uso de productos, [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra y [4] Residuos.

Las emisiones brutas totales del estado de Chihuahua para el año 2017, ascendieron a 31,008.66 GgCO₂e (ver Cuadro 6), de las cuales, el Sector [1] Energía representó el 54.39% de las emisiones estatales, totalizando 16,866.40 GgCO₂e, siendo las fuentes de emisión más significativas, la subcategoría [1A3] Transporte, con una aportación del 22.94% (7,114.31 GgCO₂e) de las emisiones estatales para ese año, seguido de [1A1] Industrias de la energía, con una aportación del 19.76%

a nivel estatal, (6,128.96 GgCO₂e); la [1A2] Industria de la manufactura y de la construcción, cuyas emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles totalizaron 2,147.04 GgCO₂e, que representa el 6.92% de las emisiones del estado, y las fuentes [1A4a y 1A4b] Residencial y comercial e institucional, respectivamente, con una aportación al inventario estatal del 4.76%, equivalente a 1,476.08 GgCO₂e para el año referido.

Por su parte, en el Sector [2] Procesos industriales, y uso de productos se cuantifican las emisiones correspondientes a la liberación de CO₂ derivada de actividades distintas a la combustión fósil (reacciones químicas). En 2017, este sector emitió la cantidad de 869.54 GgCO₂e, aportando el 2.80% de las emisiones a nivel estatal, procedentes de actividades como la producción de cemento, plomo y zinc.

Asimismo, las emisiones derivadas del sector [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, específicamente las derivadas de la categoría [3A] Ganado, totalizaron 9,218.22 GgCO₂e en 2017, representando el 29.73% de las emisiones estatales, siendo las emisiones derivadas de la fermentación entérica, las que aportan el 13.16% de las emisiones estatales con 4,079.86 GgCO₂e, mientras las emisiones derivadas de la gestión del estiércol registraron la cantidad de 5,138.36 GgCO₂e, representando así, el 16.57% de las emisiones totales de Chihuahua.

En lo que respecta a las emisiones procedentes de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra, totalizaron 2,652.66 GgCO₂e, representando el 8.55% de las emisiones de la entidad. La principal actividad que aportó emisiones en este sector, fueron las emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados, con 1,573.17 GgCO₂e, con una aportación a las emisiones estatales del 5.07%.

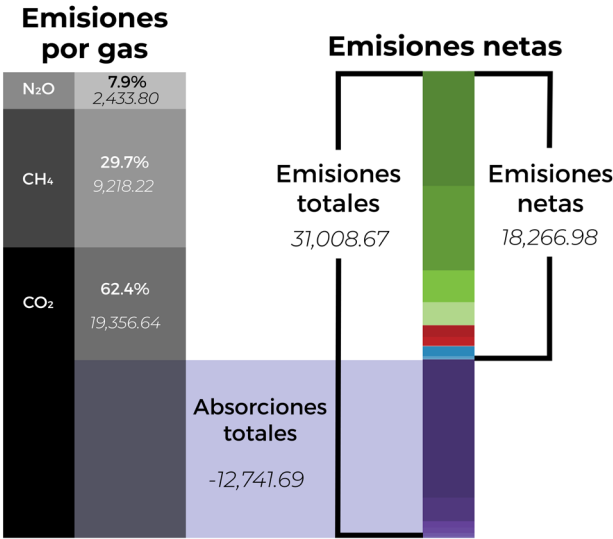
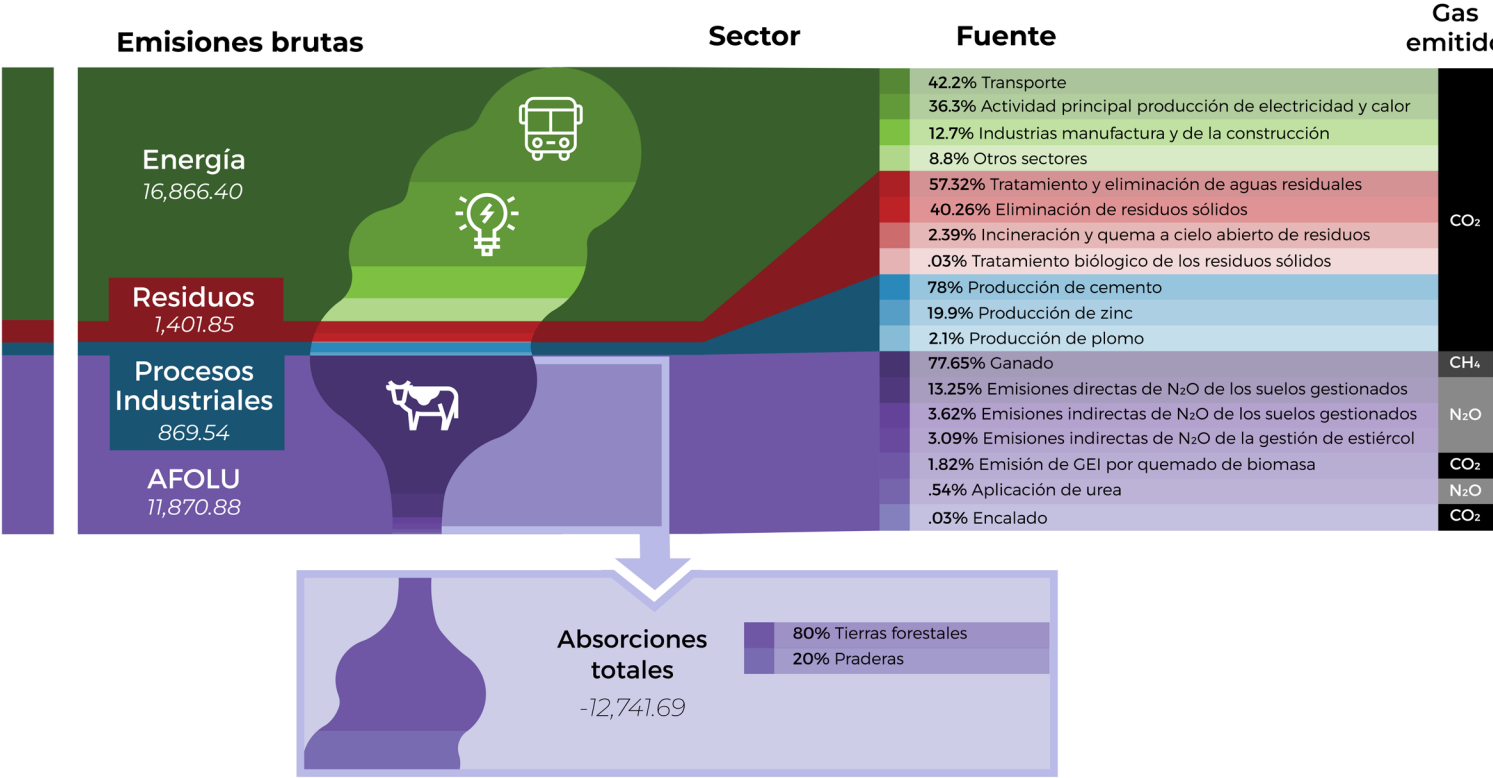
Las emisiones correspondientes al sector [4] Residuos registraron 1,401.85 GgCO₂e, lo que representa el 4.52% de las emisiones del estado, siendo la principal fuente de emisiones en este sector, el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales con el 2.59% de las emisiones estatales (803.47 GgCO₂e), mientras que la eliminación de residuos sólidos registró una aportación del 1.82% respecto de las emisiones estatales.

Finalmente, las emisiones netas estatales reportadas, que ascienden a 18,266.98 GgCO₂e, reflejan la absorción de CO₂ que simboliza la captación del carbono asociado a las permanencias en el uso de suelo, y refleja la dinámica de los bosques como sumidero de carbono en la región.

La metodología utilizada para la estimación de los gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua se detalla en el Anexo 1.

⁶⁰ IPCC (2006). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/index.html>

Figura 14. Emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua en GgCO₂e (2017)



Cuadro 9. Emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua asociadas al periodo 2013-2017 en GgCO₂e.

SECTOR/CATEGORÍA/SUBCATEGORÍA/FUENTE DE EMISIÓN	2013	2014	2015	2016	2017
EMISIONES BRUTAS ESTATALES (Gg de CO ₂ e): NO INCLUYE 3B TIERRA	29,717.49	29,893.68	29,879.73	30,652.02	31,008.66
EMISIONES NETAS ESTATALES (GgCO ₂ e)	16,975.80	17,151.99	17,138.04	17,910.33	18,266.98
[1] Energía	17,727.12	17,731.08	17,514.15	16,880.34	16,866.40
[1A] Actividades de quema del combustible	17,484.64	17,365.20	16,829.77	16,880.34	16,866.40
[1A1] Industrias de la energía	7,456.00	7,571.13	6,802.51	6,138.44	6,128.96
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	7,456.00	7,571.13	6,802.51	6,138.44	6,128.96
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	1,830.10	1,814.48	1,435.03	1,993.28	2,147.04
[1A3] Transporte	6,630.93	6,585.70	7,073.36	7,242.24	7,114.31
[1A3a] Aviación civil	122.41	131.24	140.06	148.88	157.70
[1A3b] Autotransporte	6,429.38	6,364.91	6,824.50	6,985.50	6,862.81
[1A3c] Ferrocarriles	79.14	89.55	108.80	107.86	93.80
[1A4] Otros sectores	1,567.61	1,393.89	1,518.88	1,506.38	1,476.08
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial/Institucional	1,567.61	1,393.89	1,518.88	1,506.38	1,476.08
[1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00
[1B2] Petróleo y gas natural	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00
[1B2b] Gas natural (Transporte y Distribución)	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00
[2] Procesos industriales	808.32	832.25	845.35	886.90	869.54
[2A] Industria de los minerales	564.00	596.36	645.50	661.20	677.90
[2A1] Producción de cemento	564.00	596.36	645.50	661.20	677.90
[2C] Industria de los metales	244.32	235.90	199.85	225.70	191.64
[2C5] Producción de plomo	29.55	28.88	19.51	22.20	18.77
[2C6] Producción de zinc	214.77	207.02	180.34	203.50	172.87
[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	-2,849.99	-2,734.54	-2,574.04	-1,231.84	-870.81
[3A] Ganado	7,516.72	7,583.29	7,907.59	8,910.08	9,218.22
[3A1] Fermentación entérica	3,359.71	3,435.88	3,599.29	3,979.85	4,079.86
[3A1a] Bovino	3,237.02	3,315.91	3,479.14	3,860.52	3,960.13
[3A1c] Ovinos	25.93	26.62	26.03	26.00	26.26
[3A1d] Caprino	21.50	21.55	21.33	21.22	20.98
[3A1f] Caballos	32.83	32.19	32.51	32.35	32.43
[3A1g] Mulas y asnos	34.11	33.39	33.75	33.55	33.65
[3A1h] Porcinos	8.32	6.23	6.53	6.20	6.42

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 9. (CONT.)

SECTOR/CATEGORÍA/SUBCATEGORÍA/FUENTE DE EMISIÓN	2013	2014	2015	2016	2017
EMISIONES BRUTAS ESTATALES (Gg de CO ₂ e): NO INCLUYE 3B TIERRA	29,717.49	29,893.68	29,879.73	30,652.02	31,008.66
EMISIONES NETAS ESTATALES (GgCO ₂ e)	16,975.80	17,151.99	17,138.04	17,910.33	18,266.98
[3A2] Gestión del estiércol	4,157.01	4,147.41	4,308.31	4,930.23	5,138.36
[3A1a] Bovino	3,600.34	3,684.27	3,817.64	4,423.69	4,605.36
[3A1c] Ovinos	31.66	33.06	34.22	34.34	34.75
[3A1d] Caprino	29.55	30.87	32.38	32.53	32.76
[3A1f] Caballos	27.84	28.70	30.24	30.32	30.13
[3A1g] Mulas y asnos	89.27	87.26	96.47	95.91	96.19
[3A1h] Porcinos	376.38	280.90	294.62	310.82	336.77
[3A2i] aves de corral	1.96	2.35	2.74	2.61	2.39
[3B] Tierra	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69
[3B1] Tierra forestales	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33
[3B2] Tierra de cultivo	967.19	967.19	967.19	967.19	967.19
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67
[3B3] Praderas	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	631.55	631.55	631.55	631.55	631.55
[3B4] Humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B5] Asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B6] Otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra	2,374.98	2,423.86	2,260.06	2,599.76	2,652.66
[3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa	149.55	132.06	90.43	110.63	216.59
[3C1a] Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales	35.20	32.08	1.17	14.81	56.36
[3C1b] Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo	91.40	89.60	87.50	85.60	83.65
[3C1c] Emisiones de quemado de biomasa en tierras praderas	22.95	10.38	1.76	10.22	76.59

Cuadro 9. (CONT.)

SECTOR/CATEGORÍA/SUBCATEGORÍA/FUENTE DE EMISIÓN	2013	2014	2015	2016	2017
EMISIONES BRUTAS ESTATALES (Gg de CO ₂ e): NO INCLUYE 3B TIERRA	29,717.49	29,893.68	29,879.73	30,652.02	31,008.66
EMISIONES NETAS ESTATALES (GgCO ₂ e)	16,975.80	17,151.99	17,138.04	17,910.33	18,266.98
[3C2] Encalado	2.11	2.16	2.13	2.22	2.26
[3C3] Aplicación de urea	69.21	75.27	60.12	74.19	64.31
[3C4] Emisiones directas de los N ₂ O de los suelos gestionados	1,468.58	1,510.82	1,429.25	1,618.94	1,573.17
[3C5] Emisiones indirectas de los N ₂ O de los suelos gestionados	447.90	462.93	425.64	459.73	429.35
[3C6] Emisiones indirectas de los N ₂ O de la gestión del estiércol	237.63	240.63	252.49	334.06	366.97
[4] Residuos	1,290.36	1,323.19	1,352.58	1,374.93	1,401.85
[4A] Eliminación de residuos sólidos	459.15	483.83	509.74	536.38	564.42
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	371.59	394.76	419.33	444.47	471.42
[4A2] Sitios no controlados de eliminación de residuos	87.56	89.07	90.41	91.91	93.00
[4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos	0.14	0.21	0.27	0.34	0.40
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos	31.15	31.73	32.33	32.94	33.56
[4C1] Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infeccioso	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
[4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos	31.10	31.68	32.28	32.89	33.51
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales	799.92	807.41	810.24	805.27	803.47
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	741.77	748.67	750.90	745.33	742.93
[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	58.14	58.74	59.34	59.94	60.54
EMISIONES BRUTAS ESTATALES (Gg de CO ₂ e): NO INCLUYE 3B TIERRA	29,717.49	29,893.68	29,879.73	30,652.02	31,008.66
EMISIONES NETAS ESTATALES (GgCO ₂ e)	16,975.80	17,151.99	17,138.04	17,910.33	18,266.98

1.2.3 PRINCIPALES FUENTES DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En la Figura 15 se muestran los resultados del inventario de gases de efecto invernadero que se ha actualizado para este trabajo. El sector [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra se ha desglosado por la importante absorción del sector [3] Tierra, que ocasiona que el sector [3] aparezca como negativo.

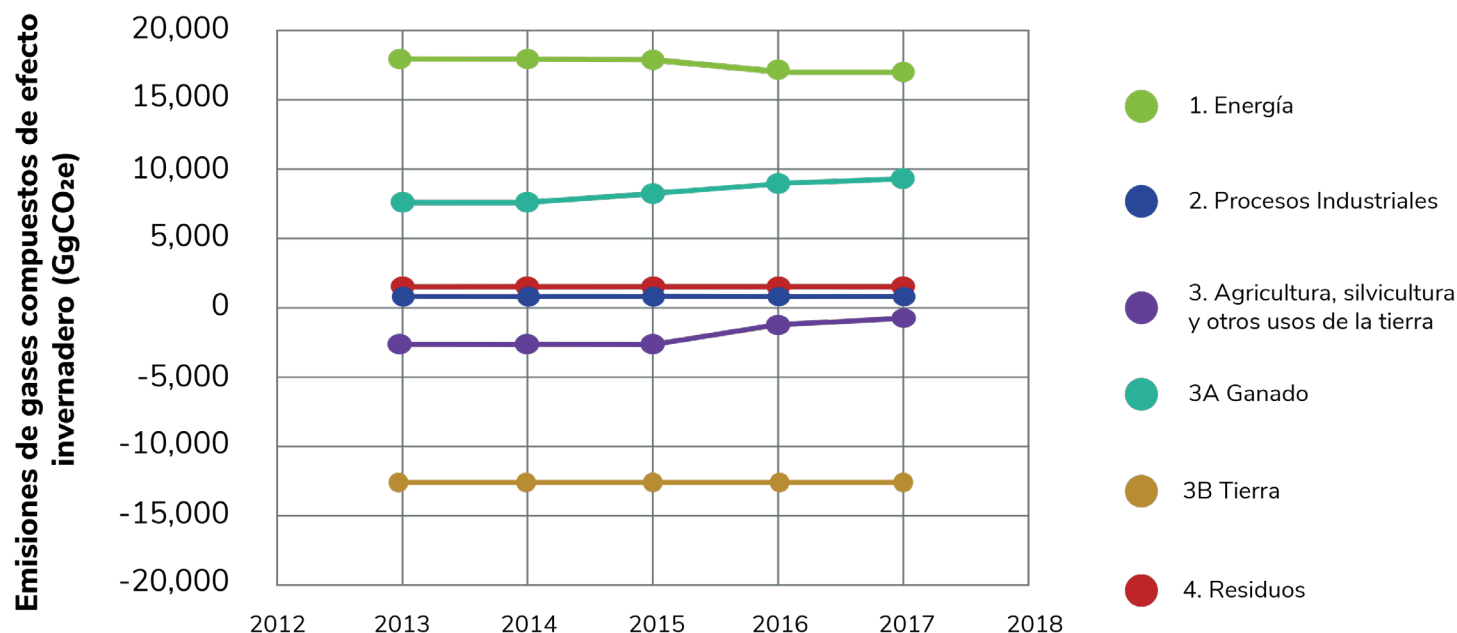


Figura 15. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: Elaboración propia.

Se pueden destacar al sector [1] Energía y la categoría [3A] Ganado como fuentes de emisión más importantes; y [3B] Tierra como sumidero de los gases de efecto invernadero. El sector [2] Procesos industriales y el de residuos contribuyen casi en la misma magnitud, pero muy por debajo de energía y ganado.

En el sector de energía, una de las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero son las centrales termoelectricas que se agrupan en la fuente [1A1a], y cuya actividad principal es la producción de electricidad y calor. En el periodo del 2013 al 2017, las emisiones de gases de efecto invernadero del sector [1] Energía presentan una variación media anual de -1.2%, lo cual se debe principalmente a la disminución de las emisiones de la industria de generación eléctrica. La razón entre las emisiones (en GgCO₂e) y la cantidad correspondien-

te de energía generada (GWh) para el estado de Chihuahua ha disminuido de 0.538 en 2013 a 0.382 en 2016, volviendo a aumentar a 0.425 en 2017. Un aumento de esta razón significa que se generan más emisiones por unidad de producción, pero no se cuenta con más información para saber a qué se debe este comportamiento.

Otra de las categorías que más contribuye es la de transporte, específicamente la fuente [1A3b] Autotransporte. Debido a la falta de información, no es posible desglosar más el uso de combustible para esta fuente, sin embargo, se estima que el 67% de estas emisiones se deben al consumo de gasolina, mientras que el 30% al consumo de diésel (ver Cuadro 10). El consumo de gasolina se asocia a automóviles y transporte de carga ligera, mientras que el diésel se asocia más a tracto camiones y en menor medida a transporte ferroviario.

Cuadro 10. Emisiones de la subcategoría [1A3] Transporte en GgCO₂e.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gasolina	4,428	4,426	4,703	4,881	4,796
Diésel - Autotransporte	2,001	1,939	2,122	2,105	2,067
Diésel - Ferroviario	79	90	109	108	94
Turbosina	122	131	140	149	158
Total	6,631	6,586	7,073	7,242	7,114

Fuente: Elaboración propia

La subcategoría [3A] Ganado es la otra fuente importante en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de esta subcategoría, alrededor del 92% de las emisiones generadas se deben al ganado bovino, ya sea por [3A1a] Fermentación entérica o por [3A2a] Gestión de estiércol. Las emisiones del ganado presentan un crecimiento del 5.3% en el período de 2013 a 2017, con un crecimiento muy pronunciado del 2015 al 2016, lo cual se puede atribuir a un fuerte incremento que tuvo lugar del 2015 al 2016 en el número de cabezas de bovinos dedicados a la producción de carne. En el período de 2013 a 2017, hubo un mayor número de cabezas de ganado para la producción de carne que para la de leche, en una razón de aproximadamente 7 a 1.

En mucho menor medida, la subcategoría [1A2] Industrias de la manufactura y de la construcción y las fuentes [1A4a] y [1A4b] Residencial y Comercial e institucional y residencial, respectivamente son generadoras de emisiones de importancia, pero solo contribuyen con aproximadamente el 6% y 5% respectivamente. No se cuenta con suficiente información para saber cuánto corresponde a la industria de la construcción y cuánto a la industria de la manufactura. Tampoco para hacer el desglose entre los sectores residencial, comercial e institucional.

Un análisis más detallado revela que son nueve tipos de fuente los que conjuntamente contribuyen con el 90% o más de las emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua (ver Cuadros 11 y 12). Por otra parte, existe un sumidero importante para la remoción de dichos gases, que principalmente está constituido por tierras forestales que permanecen como tal.



Fuente: Severin D.

Cuadro 11. Emisiones de las principales fuentes de gases de efecto invernadero en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en GgCO₂e.

Subcategoría/fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	7,456	7,571	6,803	6,138	6,129
[1A3b] Autotransporte	6,429	6,365	6,824	6,986	6,863
[3A2a] Bovino (gestión del estiércol)	3,600	3,684	3,818	4,424	4,605
[3A1a] Bovino (fermentación entérica)	3,237	3,316	3,479	3,861	3,960
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	1,830	1,814	1,435	1,993	2,147
[3C4] Emisiones directas de los N ₂ O de los suelos gestionados	1,469	1,511	1,429	1,619	1,573
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial/Institucional	1,568	1,394	1,519	1,506	1,476
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	742	749	751	745	743
[2A1] Producción de cemento	564	596	645	661	678
Resto de las fuentes (sin incluir la categoría [3B] Tierra)	2,823	2,893	3,176	2,719	2,834
Emisiones brutas estatales (no incluye [3B] Tierra)	29,717	29,894	29,880	30,652	31,009

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Principales emisores de gases de efecto invernadero en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en %.

Subcategoría/fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	25.1%	25.3%	22.8%	20.0%	19.8%
[1A3b] Autotransporte	21.6%	21.3%	22.8%	22.8%	22.1%
[3A2a] Bovino (gestión del estiércol)	12.1%	12.3%	12.8%	14.4%	14.9%
[3A1a] Bovino (fermentación entérica)	10.9%	11.1%	11.6%	12.6%	12.8%
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	6.2%	6.1%	4.8%	6.5%	6.9%
[3C4] Emisiones directas de los N ₂ O de los suelos gestionados	4.9%	5.1%	4.8%	5.3%	5.1%
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercia/Institucional	5.3%	4.7%	5.1%	4.9%	4.8%
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	2.5%	2.5%	2.5%	2.4%	2.4%
[2A1] Producción de cemento	1.9%	2.0%	2.2%	2.2%	2.2%
Contribución de estas fuentes	91%	90%	89%	91%	91%

Fuente: Elaboración propia



LÍNEA BASE DE EMISIÓN
**DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO**



1.3

LÍNEA BASE DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO



Fuente: Tim Foster

1.3.1 ANÁLISIS DE ESTUDIOS PREVIOS

Las políticas del PECC del estado de Chihuahua deben basarse en escenarios de proyecciones estimadas de las emisiones de GEI. El escenario de referencia, que se conoce como línea base, se basa en proyecciones de las emisiones de GEI. El documento “Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chihuahua y Proyecciones de Casos de Referencia 1990-2025”, elaborado por la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) en el 2010, presenta el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero que se estimó hasta el 2005, así como las proyecciones hacia el 2025. Las proyecciones que se realizaron en dicho trabajo se basaron en una compilación de proyecciones oficiales del gobierno y alternativamente en la extrapolación de tendencias históricas sobre la producción de energía, el consumo de combustible y otras actividades generadoras de gases de efecto invernadero en Chihuahua. La Figura 16 muestra una comparación de los resultados obtenidos en dicho trabajo y los obtenidos para este proyecto utilizando la metodología del IPCC 2006 e información oficial y actualizada.

Para el caso de las industrias de la energía se observa coincidencia entre las proyecciones y las estimaciones actualizadas solo hasta el año 2014, para años subsecuentes la tendencia es notablemente diferente. En el caso de las fuentes residencial, comercial e institucional no se observa coincidencia ni en valor ni en tendencia. Para la subcategoría [1A3] Transporte, se observa la misma tendencia del inventario previo y el actual, con las proyecciones siendo ligeramente sobrestimadas. En el caso de las emisiones de transporte y distribución de gas natural, hay coincidencias en valor hasta 2013, pero debido a la introducción de nuevos gasoductos las proyecciones quedan muy subestimadas en comparación con las estimaciones más actualizadas. En el caso de procesos industriales, debido al cambio de metodología, las proyecciones no coinciden ni en valor ni en tendencia. La tendencia de las emisiones generadas por el manejo de residuos parece coincidir en valor y tendencia entre las proyecciones y las estimaciones actualizadas, especialmente a partir del 2017. Las emisiones correspondientes a ganadería estimadas para este trabajo con la metodología del IPCC 2006 y con datos muy desagregados, no coinciden ni en valor ni en tendencia con el inventario previo ni con las proyecciones. En el sector correspondiente a las emisiones de silvicultura y uso de la tierra las absorciones del inventario previo están ligeramente subestimadas.



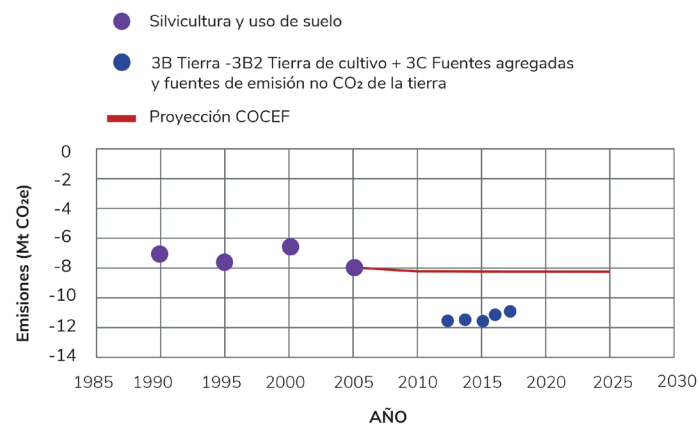
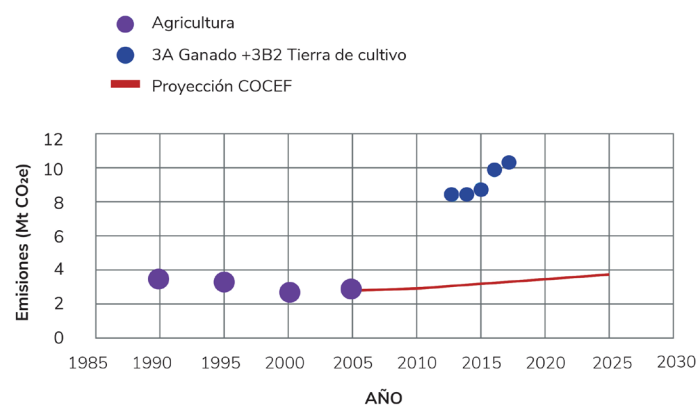
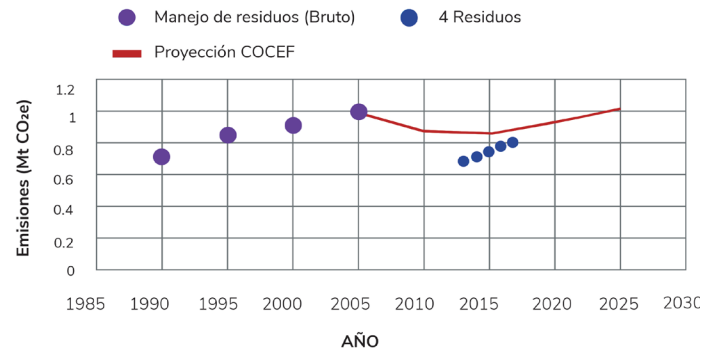
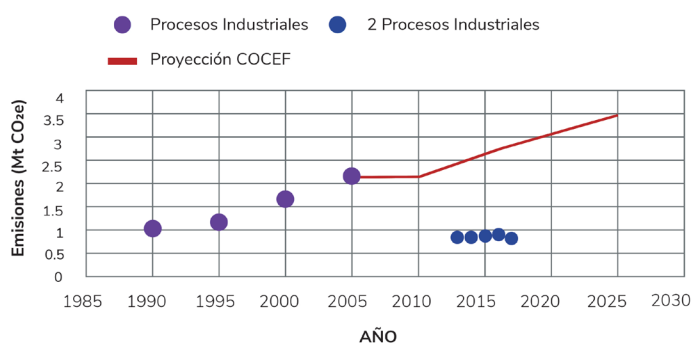
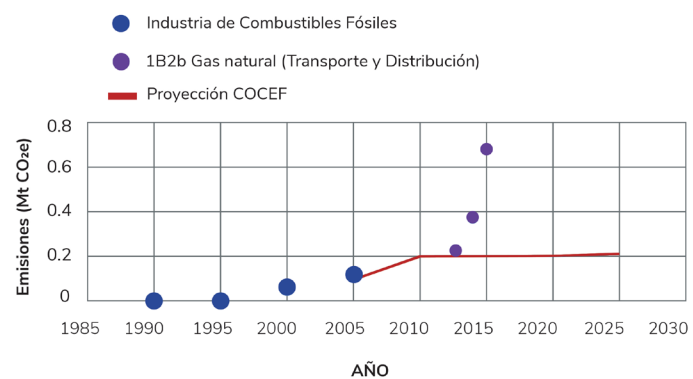
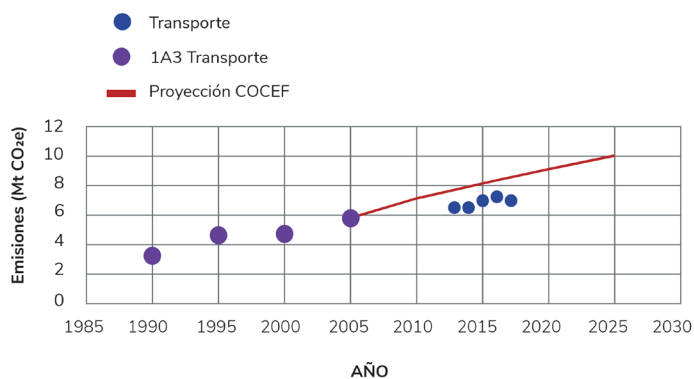
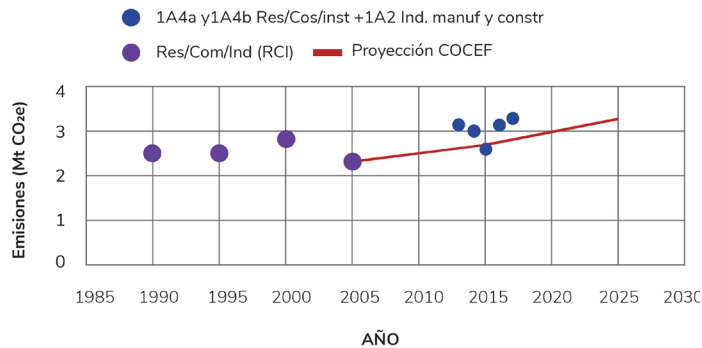
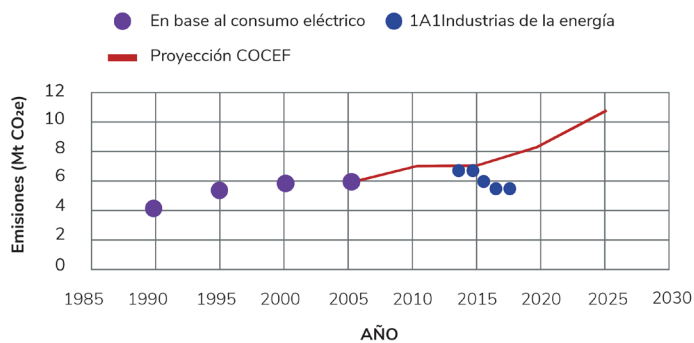


Figura 16. Comparación entre estimaciones y proyecciones realizadas en 2010 y las estimaciones actualizadas.

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior muestra que la línea base no puede ser definida con las proyecciones realizadas anteriormente por la COCEF en el 2010, como se hizo en las dos versiones anteriores del Programa Estatal de Cambio Climático de Chihuahua.

1.3.2 CORRELACIÓN CON VARIABLES MACROECONÓMICAS

Otra forma de definir la línea base es buscando alguna correlación con variables macroeconómicas. En el Cuadro 13 se muestra que salvo para el caso de autotransporte, no existe correlación de las emisiones con el producto interno bruto estatal del sector correspondiente. Por otra parte, la correlación de las emisiones con la población económicamente

activa es desconcertante ya que sectores como el ganadero o la producción de cemento muestran una inusualmente alta correlación, mientras que sectores como el de la industria de manufactura y de la construcción o el tratamiento de aguas residuales domésticas muestran coeficientes de correlación inusualmente bajos.

Cuadro 13. Coeficientes de correlación entre emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua y dos variables macroeconómicas por sector productivo.

Subcategoría/fuente	Factor de correlación (R^2)	
	Con el producto interno bruto de Chihuahua por sector	Con la población económicamente activa del estado de Chihuahua
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	0.14	0.87
[1A3b] Autotransporte	0.72	0.72
[3A2a] Bovino (gestión del estiércol)	0.20	0.90
[3A1a] Bovino (fermentación entérica)	0.24	0.94
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	0.19	0.23
[3C4] Emisiones directas de los N_2O de los suelos gestionados		0.42
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial/Institucional	0.00	0.03
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas		0.00
[2A1] Producción de cemento	0.16	0.96

Fuente: Elaboración propia con datos de: Instituto de información estadística y geográfica. Producto interno bruto, comparativo por entidad federativa, 2003-2017, IIEG. <https://www.iiég.gob.mx/general.php?id=2&idg=184> consultado el 1/2/2019. Consejo Nacional de Población. Indicadores Demográficos 1950 - 2015. Columna POM_MIT_AÑO http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Datos_Abiertos/Proyecciones2018/ind_dem_proyecciones.csv consultado el 1/02/2019. Consejo Nacional de Población. Proyecciones de la población económicamente activa de México y de las entidades federativas, 2005 - 2050. 15/01/2008. Inventario estatal de emisiones de Chihuahua desarrollado en este trabajo.

1.3.3 LÍNEA BASE ESTATAL

Debido a la falta de información oficial disponible públicamente, no fue posible evaluar el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero desde 1990, como en el caso del inventario nacional, por lo que la línea base se desarrolló con el inventario actualmente disponible y las variables macroeconómicas que se encontraron.

Dado que no se pudo encontrar consistencia de las correlaciones entre emisiones y variables macroeconómicas, la línea base se tuvo que obtener de la tendencia presentada ya sea por los datos de actividad o por las emisiones de las diferentes categorías de fuentes. La Figura 17 muestra la proyección de las emisiones estatales (línea base) y se compara con la

línea base nacional presentada en la 6ª Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Para obtener la línea base del estado de Chihuahua, las emisiones de las 9 principales categorías de fuentes emisoras (ver Cuadros 11 y 12) se proyectaron al 2032. Las emisiones de las fuentes restantes, que contribuyen colectivamente con el 10% al total de emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua, se proyectaron en conjunto al 2032. Finalmente, las proyecciones de las emisiones de las diferentes fuentes se suman para obtener la línea base. El procedimiento para hacer estas proyecciones se explica a continuación.

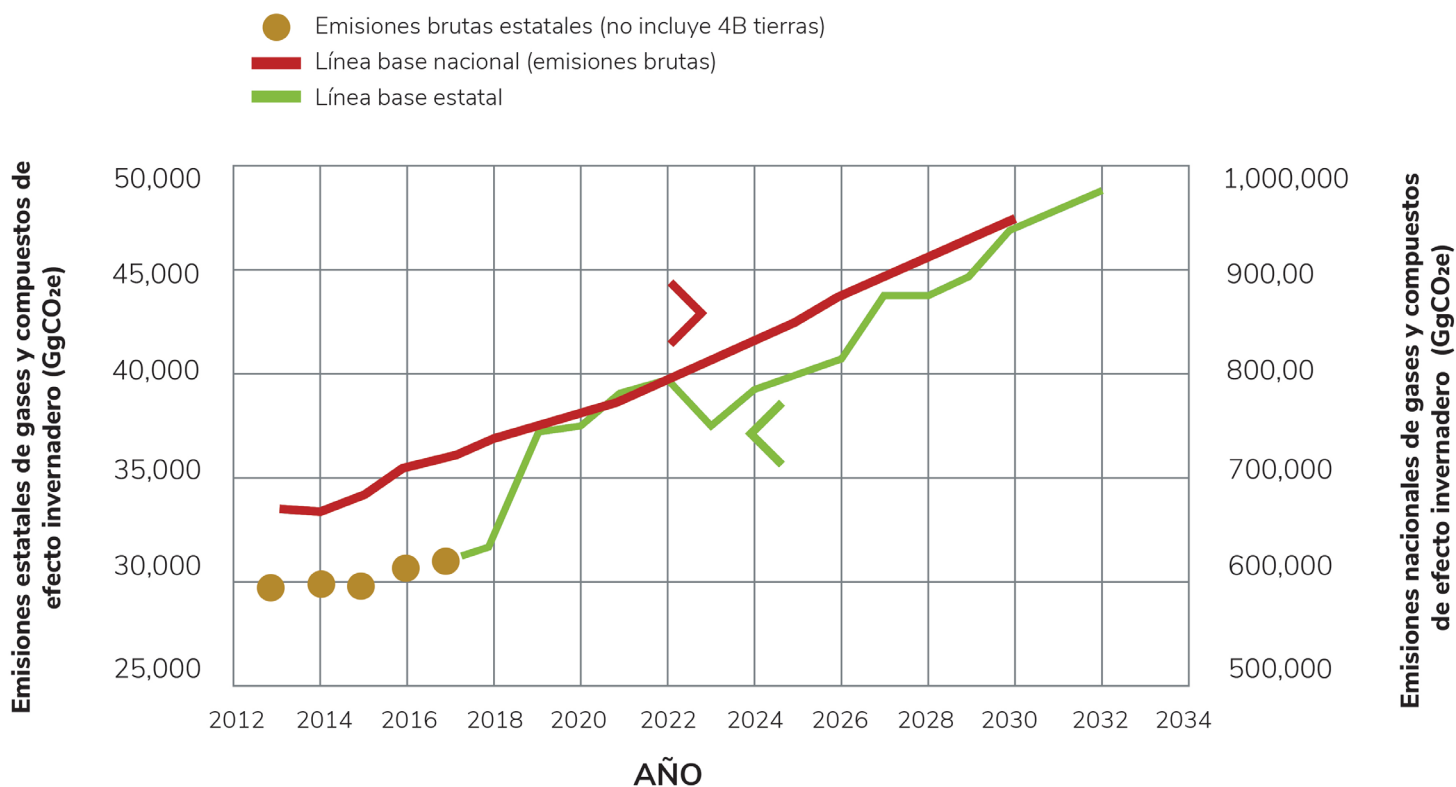


Figura 17. Línea base de emisiones estatales de gases de efecto invernadero.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.4 INFLUENCIA DE LAS PRINCIPALES CATEGORÍAS EN LA LÍNEA BASE

1.3.4.1 [3B] TIERRA

Cabe mencionar que ambas líneas base mostradas en la Figura 17, la estatal y la nacional, no consideran las absorciones de gases de efecto invernadero que ocurren en los sumideros considerados en la categoría [3B] Tierra. Se estima que la variación de la cubierta forestal de la entidad no varía significativamente, lo que se exhibe enseguida. El Cuadro 14 muestra la matriz de cambio de uso de suelo del periodo que corresponde a este análisis, de 2011 a 2014. Esta matriz se obtiene mediante comparación de las series Va y VI, que son las últimas series de usos de suelo y vegetación que el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ha publicado.



Fuente: Dylan de Jonge

Cuadro 14. Resumen superficie de cambio entre las series V y VI de usos de suelo y vegetación del INEGI.

Superficie anual de cambio (Serie Va - Serie VI)			
Clave Subcategoría	Cambio de	a	Superficie (ha)
01. FL - FL	Tierras forestales	Tierras forestales	7,555,177
02. FL - FLd	Tierras forestales	Tierras forestales degradadas	6,642
03. FLd - FL	Tierras forestales degradadas	Tierras forestales	7,480
04. FL - GL	Tierras forestales	Pastizales	19,026
05. FL - CL	Tierras forestales	Tierras agrícolas	18,096
06. FL - SL	Tierras forestales	Asentamientos humanos	222
07. FL - OL	Tierras forestales	Otro tipo de suelo	861
08. FL - WL	Tierras forestales	Humedales	44
09. CONVL - FL	Tierras convertidas de otro tipo	Tierras forestales	28,651
10. GL - GL	Pastizales	Pastizales	14,539,943
11. GL - CL	Pastizales	Tierras agrícolas	56,090
12. GL - SL	Pastizales	Asentamientos humanos	1,530
13. GL - OL	Pastizales	Otro tipo de suelo	1,167
14. GL - WL	Pastizales	Humedales	284
15. CONVL - GL	Tierras convertidas de otro tipo	Pastizales	12,766
16. CLPne - CLPne	Tierras agrícolas perenes	Tierras agrícolas perenes	26,166
17. NO APLICA			2,352,129

Fuente: Anexo 1: Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua desarrollado en este trabajo. Tabla A1.50.

Nota: Los mismos prefijos significa permanencia y diferentes prefijos significa deforestación (FL) o pérdida (otros)

FL = tierras forestales	GL = pradera	CL = tierras agrícolas
FLd - FL = recuperación de tierras forestales	WL = tierra de humedales	
FL - FLd = tierras forestales degradadas	S = asentamientos humanos	
CONVL = tierras convertidas	OL = otras tierras	

Este cuadro indica que la tierra forestal (FL) que permanece como tierra forestal es de 7.5 millones de hectáreas. Los cambios 2 y 3 son opuestos de modo que mientras se degradan 6,642 ha (FL – FLd), 7,480 ha de bosques degradados pasan a ser tierras forestales (FLd – FL) otra vez. Esto implica una recuperación neta de tierras forestales. Lo mismo ocurre con los cambios del 4 al 8 que representan pérdida de tierras forestales, mientras que el cambio 9 representa el cambio de tierras que en un momento dado se convirtieron a otro tipo de suelo y que ahora se convierten en tierras forestales. El

efecto neto es tener una pérdida neta de 2,920 ha de tierras forestales por año. Esto que parece una enorme cantidad de tierra (equivalente a 5,840 de canchas de fútbol) en términos relativos representa el 0.039% de las tierras forestales de Chihuahua. Por lo tanto, si no se toma ninguna acción, en 10 años se perderá, a esa tasa, el 0.39% de las tierras boscosas. Si las absorciones son de 11,016 GgCO₂e, en 10 años serán de 11,012 GgCO₂e. Por lo tanto, para efectos de la línea base, las absorciones se comportan como constantes.

1.3.4.2 [1A3B] AUTOTRANSPORTE

Las emisiones de la fuente [1A3b] Autotransporte se proyectaron hacia 2032 utilizando una regresión múltiple entre las emisiones, el producto interno bruto y la población total del estado en el período 2013 a 2017, con un nivel de significancia de 5%. Los datos de entrada al modelo de regresión se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Datos para la regresión lineal múltiple entre emisiones de Autotransporte.

Año	Producto interno bruto [1] (millones de pesos de 2013)	Población [2] (habitantes)	Emisiones 1A3b Autotransporte [3] (Gg CO ₂ e)
2013	476,290	3,561,704	6,429
2014	486,858	3,590,344	6,365
2015	515,188	3,616,481	6,824
2016	540,519	3,649,416	6,986
2017	556,563	3,689,398	6,863

[1] Instituto nacional de estadística y geografía. Sistema de cuentas nacionales de México. Producto interno bruto por entidad federativa. Año base 2013. Serie de 2003 a 2017. PIB de las entidades federativas por actividad económica / Chihuahua. Cuadro completo. <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/> (descargado el 2/2/2019) PIB por Entidad Federativa (PIBE). Base 2013. Tabulados Serie Anual. Por selección de variables Tabulados Completos. Archivo: PIBE_Entidad_Chih_53_8.xlsx Total a valores constantes (fila 9)

[2] Consejo Nacional de Población. Indicadores demográficos 1950 - 2015. Columna POM_MIT_AÑO. consultado el 1/02/2019. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Datos_Abiertos/Proyecciones2018/ind_dem_proyecciones.csv

[3] Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero de Chihuahua, este trabajo.

Los resultados del modelo de regresión se muestran en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Resultados del análisis de regresión múltiple.

Resultados del análisis de regresión múltiple	
Parámetro	Coefficientes
Constante	44095.538
PIB	0.028
Población	-0.014
Significancia F	1.7%
R ² ajustado	0.965
Error relativo estándar	0.77%

Fuente: Elaboración propia.

La referencia [2] del cuadro 15 cuenta con proyecciones al 2030, por lo que se extrapolaron las poblaciones de 2031 y 2032. El producto interno bruto del estado (referencia [1] del Cuadro 15) tuvo que ser proyectado mediante una regresión lineal obtenida del 2010 al 2017, que resultó en la siguiente correlación:

$$PIB = 20421.9573(\text{año}) - 40634634.7$$

Finalmente, las emisiones de gases de efecto invernadero de la fuente [1A3b] Autotransporte se obtuvieron con la siguiente fórmula derivada de la regresión lineal múltiple:

$$E_{1A3b} = 44,095.5 + 0.0278614(PIB) - 0.0142906(Población)$$

Donde el PIB está en millones de pesos a valor constante (año base 2013) y la población en número de habitantes.

1.3.4.3 [1A1a] ACTIVIDAD PRINCIPAL PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CALOR

Para el sector [1] Energía, cuya actividad principal es la producción de electricidad, se utilizó la programación de adición y retiro de plantas que usan combustibles fósiles, que se obtuvo

del programa de desarrollo del PRODESEN, 2018-2032. Los Cuadros 17 y 18 muestran la programación para el retiro y la instalación de centrales eléctricas en dicho periodo, respectivamente.

Para estimar las emisiones que se dejarán de emitir por el retiro de plantas o unidades de generación o que se emitirán por nuevas instalaciones es necesario estimar la generación eléctrica, para lo cual deben conocerse dos parámetros: el factor de planta y la eficiencia. Para las plantas existentes en Chihuahua, el factor de planta se calculó con datos del programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018-2032 (ver el Cuadro 19). El factor de planta, f , se calculó con la siguiente fórmula:

$$f = \frac{1000G}{24(365)C}$$

Donde G es la generación en GWh y C es la capacidad en MW.

Cuadro 17. Programa indicativo para el retiro de centrales eléctricas 2018-2032 en Chihuahua.

Num.	Central / Unidad [1]	Tecnología [1]	Año de retiro [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible [2]	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
1219	Francisco Villa U4	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.178	233.5	0.235	285,065
1219	Francisco Villa U5	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.178	233.5	0.235	285,065
1218	Industrial Juárez	Turbogás	2023	18	Diésel	0.029	4.6	0.335	3,595
1218	Parque U2	Turbogás	2023	18	Diésel	0.029	4.6	0.335	3,595
1218	Parque U3	Turbogás	2023	13	Diésel	0.029	3.3	0.335	2,596
1218	Parque U4	Turbogás	2023	28	Diésel	0.029	7.1	0.335	5,592
1248	Samalayuca U1	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.969	1,341.5	0.263	1,061,547
1248	Samalayuca U2	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.969	1,341.5	0.263	1,061,547
1248	Samalayuca II_PQ1	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.969	1,477.3	0.508	605,234
1248	Samalayuca II_PQ2	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.969	1,477.3	0.508	605,234
1248	Samalayuca II_PQ3	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.969	1,477.3	0.508	605,234

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.4, p 241-245. [2] Comisión reguladora de energía. www.cre.gob.mx/documento/1814.xlsx consultado el 16 de enero de 2019

Cuadro 18. Programa indicativo para la instalación de centrales eléctricas 2018-2032 en Chihuahua.

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta [2]	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
CS 004	Solar	2018	30					
CS 005	Solar	2018	30					
CCC 008	Ciclo combinado	2019	907	Gas natural	0.97	7,706.960	0.508	3,157,389
CS 036	Solar	2019	150					
CS 037	Solar	2019	148					
CS 039	Solar	2019	80					
CS 023	Solar	2019	30					
CS 027	Solar	2019	30					
CCI 003	Combustión interna	2021	111	Gas natural	0.73	707.625	0.419	351,478
CS 057	Solar	2021	150					
CBIO 014	Bioenergía	2022	3					
CBIO 019	Bioenergía	2023	30					
CH 028	Hidroeléctrica	2024	6					
CH 016	Hidroeléctrica	2024	4					
CS 069	Solar	2024	300					
CCC 030	Ciclo combinado	2027	450	Gas natural	0.97	3,823.740	0.508	1,566,511
CS 076	Solar	2027	100					
CS 077	Solar	2027	96					
CS 078	Solar	2028	350					
CH 044	Hidroeléctrica	2030	352					

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.1, p 217-233. [2] Se eligió el mayor factor de planta por tecnología del Cuadro 7, suponiendo que estas nuevas plantas operarán con gas natural.

Cuadro 19. Datos de producción de las plantas de generación de electricidad que usan combustibles fósiles existentes en Chihuahua al 2017.

Nombre [1]	Capacidad Total [1] (MW)	Generación Bruta [1] (GWh)	Tipo [2]	Combustible [2]	Factor de Planta
Samalayuca II	522	4,432	Ciclo combinado	Gas Natural	0.97
KST Electric Power Company, Norte II	433	3,277	Ciclo combinado	Gas Natural	0.86
Chihuahua II (El Encino)	619	3,274	Ciclo combinado	Gas Natural	0.60
Energía Chihuahua, Transalta Chihuahua	259	2,084	Ciclo combinado	Gas Natural	0.92
Samalayuca	316	757	Termoeléctrica convencional	Gas Natural	0.27
Energía Chihuahua	50	78	Ciclo combinado	Gas Natural	0.18
B-Energy Industries	8	51	Combustión interna	Gas Natural	0.73
Auma	2	0	Combustión interna	Gas Natural	-
Compañía Minera Dolores, Área de Procesos	11	32	Combustión interna	Diésel	0.33
Parque	59	15	Turbogás	Diésel	0.03
Coeur Mexicana	22	6	Combustión interna	Diésel	0.03
Industrial Juárez	18	6	Turbogás	Diésel	0.04
Minera Real de Ángeles, Unidad El Concheño	24	4	Combustión interna	Diésel	0.02
Compañía Minera Dolores, Área de Campamento	1	2	Combustión interna	Diésel	0.23
Agnico Eagle México	15	1	Combustión interna	Diésel	0.01
Agnico Eagle México, Proyecto Mascota	4	1	Combustión interna	Diésel	0.03
Minas de la Alta Pimería	9	0	Combustión interna	Diésel	-
Minera Bismark	3	0	Combustión interna	Diésel	-
Agropecuaria La Norteña	2	0	Combustión interna	Diésel	-
Teléfonos de México, Central Copérnico	1	0	Combustión interna	Diésel	-
Francisco Villa	300	467	Termoeléctrica convencional	Combustóleo	0.18
Generadora Pondercel	65	204	Termoeléctrica convencional	Carbón	0.36

[1] PRODESEN 2018 - 2032, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODES-EN-2018-2032-definitiva.pdf> consultado el 16 de enero de 2019. Tabla 2.2.9. pp 142 - 144 para ciclo combinado; Tabla 2.2.10. pp 145 - 146 para termoeléctricas convencionales; Tabla 2.2.12 p 148 - 150 para turbogás; Tabla 2.2.13. p 151 - 156 para combustión interna.

[2] Comisión reguladora de energía. www.cre.gob.mx/documento/1814.xlsx consultado el 16 de enero de 2019.

En el Cuadro 20 se muestran intervalos de eficiencia térmica correspondientes a las diferentes tecnologías de generación eléctrica en México.

Cuadro 20. Eficiencia térmica correspondientes a las diferentes tecnologías de generación eléctrica en México.

EFICIENCIA TÉRMICA			
Tecnología	Intervalo (%)	Promedio	Ajustada Gas Natural
Carboeléctrica	30 - 40	35.0%	
Ciclo combinado	40 - 51	45.5%	50.8%
Combustión Interna	30 - 45	37.5%	41.9%
Nucleoeléctrica	35	35.0%	
Termoeléctrica convencional	17 - 30	23.5%	26.3%
Turbogás	22 - 45	33.5%	

Fuente: Elaborado por la SENER. Valores calculados con base en información de las centrales eléctricas en operación (2013-2015).

Tomado de: PRODESEN 2018 - 2032, Tabla 4.2.2. p 196

Con el valor promedio indicado en el Cuadro 20, se calculó el consumo aproximado de gas natural que sería requerido para generar la cantidad de electricidad mostrada en el Cuadro 21. La suma de estos consumos debería coincidir con el valor de 2,734 millones de metros cúbicos, reportado en el sistema de información energética como demanda interna de gas natural por estado (para Chihuahua), valor que fue usado para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero del estado en este trabajo. Como ambos valores no coincidieron, las eficien-

cias se ajustaron mediante un factor de corrección de 1.1171 (que se obtiene de dividir el total del consumo aproximado entre el valor objetivo de 2,734 millones de metros cúbicos). En el Cuadro 21 se muestran los resultados obtenidos, incluyendo el nuevo consumo estimado y las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por consumo de gas natural en la generación de electricidad. Tanto el consumo estimado como las emisiones son prácticamente iguales a los valores tomados como referencia.



Fuente: Gandosh Ganbaatar

Cabe mencionar que el consumo estimado de gas natural (Q) se obtuvo utilizando la siguiente fórmula.

$$Q[m^3] = \frac{G[GW h] 3600 \left[\frac{s}{h} \right] 1000 \left[\frac{MJ}{GJ} \right]}{\eta H \left[\frac{MJ}{m^3} \right]}$$

Donde G es la generación eléctrica, η es la eficiencia térmica, H es el poder calorífico del gas natural y ρ la densidad del gas natural.

El poder calorífico del gas natural (38 MJ/m^3) fue el promedio de los valores encontrados en el balance nacional de energía de 2013 a 2017. Por otra parte, las emisiones de gases de efecto invernadero que se muestran en la última

columna del Cuadro 21 se estimaron usando un factor de emisión consolidado F_{GEI} , es decir que incluye las emisiones de CO_2 , N_2O y CH_4 . Las fórmulas son:

$$E_{GEI} = F_{GEI} \frac{G}{\eta}$$

Donde G es la generación eléctrica en GWh y

$$F_{GEI} = F_{CO2} + F_{CH4}P_{CH4} + F_{N2O}P_{N2O}$$

F_X es el factor de emisión del gas X (CO_2 , N_2O o CH_4), en Mg/GWh , y P_X es el potencial de calentamiento global del gas X (ver el Cuadro 22).

Cuadro 21. Ajuste de las eficiencias térmicas por tecnología.

Nombre	Tipo	Combustible	Generación Bruta [1] (GWh)	Eficiencia promedio [2]	Consumo aproximado (m^3)	Eficiencia ajustada	Consumo estimado (m^3)	Emisiones de gases de efecto invernadero ($\text{Mg CO}_2\text{e}$)
Samalayuca II	Ciclo combinado	Gas Natural	4,432	45.5%	922,799,306	50.8%	826,054,083	1,814,673
KST Electric Power Company, Norte II	Ciclo combinado	Gas Natural	3,277	45.5%	682,313,476	50.8%	610,780,512	1,341,760
Chihuahua II (El Encino)	Ciclo combinado	Gas Natural	3,274	45.5%	681,688,837	50.8%	610,221,360	1,340,532
Energía Chihuahua, Transalta Chihuahua	Ciclo combinado	Gas Natural	2,084	45.5%	433,915,558	50.8%	388,424,348	853,289
Energía Chihuahua	Ciclo combinado	Gas Natural	78	45.5%	16,240,602	50.8%	14,537,955	31,937
B-Energy Industries	Combustión interna	Gas Natural	51	37.5%	12,884,211	41.9%	11,533,445	25,337
Samalayuca	Termoeléctrica convencional	Gas Natural	757	23.5%	305,173,572	26.3%	273,179,524	600,120
Total			13,953		3,055,015,562		2,734,731,227	6,007,648
Inventario del estado de chihuahua [3]							2,734,731,227	6,008,930
Diferencia con respecto al Inventario del estado de chihuahua							0.00%	-0.02%

[1] PRODESEN 2018 - 2032, <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf> consultado el 16 de enero de 2019. Tabla 2.2.9. pp 142 - 144 para ciclo combinado; Tabla 2.2.10. pp 145 - 146 para termoeléctricas convencionales; Tabla 2.2.12 p 148 - 150 para turbogás; Tabla 2.2.13. p 151 - 156 para combustión interna.

[2] Ver Cuadro 8.

[3] Para el 2017, ver Tabla 8, celda: H72; hoja: SECTOR 1A1a; libro: Sector1A1a_GenEnerElec_Ch13-17_15Feb19.xls para las emisiones y hoja:Datos de actividad; celda: G35, para el consumo en m^3

De acuerdo a los datos del PRODESEN se infiere que será necesario aumentar la capacidad de generación eléctrica en el estado de Chihuahua. El PRODESEN ya incluye algunas medidas de mitigación, pero para resaltar el impacto de dichas medidas, la línea base se obtuvo suponiendo que toda la generación aumentada hasta el 2032 habría sido realizada con termoeléctricas a gas natural. En el Cuadro 23 se muestran los resultados de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero que se generarían por la nueva capacidad de generación programada, bajo los supuestos mencionados.

Cuadro 22. Cálculo del factor de emisión consolidado para diferentes combustibles.

Sector	Tipo	Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F _{GEl} ^[A]	
			kg/PJ				
1A1	Combustión Estacionaria	Carbón Bituminoso	96,100,000	1000	1500	96,525,500	347.5
		Combustóleo ligero	79,450,290	3000	600	79,693,290	286.9
		Diésel	72,850,770	3000	600	73,093,770	263.1
		Gas Natural	57,755,930	1000	100	57,810,430	208.1
Potencial de calentamiento global:			1	28	265		

Para el carbón bituminoso el factor de emisión utilizado para CO₂ fue tomado del Cuadro 2.2, volumen 2 de las directrices IPCC 2006.

Para el combustóleo, diésel y gas natural el factor de emisión para CO₂ fue tomado del informe técnico INECC/A1-008/2014, diciembre 2014, "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México" realizado por el IMP.

Para CH₄ y N₂O los factores de emisión se tomaron de las directrices del IPCC de 2006, volumen 2, capítulo 2, Cuadro 2.2, p. 2.16.

[A] F_{GEI} es el factor de emisión consolidado, que incluye CO₂, CH₄ y N₂O

Fuente: Inventario nacional de gases y compuestos de efecto invernadero, 2015 - INECC, salvo el F_{GEI} que fue calculado en este trabajo.

Cuadro 23. Cálculo de emisiones que serían generadas con el aumento programado de capacidad de generación eléctrica en el estado de Chihuahua sin considerar medidas de mitigación.

Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta [2]	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
2018	30	Gas natural	0.97	254.916	0.508	104,434
2018	30	Gas natural	0.97	254.916	0.508	104,434
2019	907	Gas natural	0.97	7,706.960	0.508	3,157,389
2019	150	Gas natural	0.97	1,274.580	0.508	522,170
2019	148	Gas natural	0.97	1,257.586	0.508	515,208
2019	80	Gas natural	0.97	679.776	0.508	278,491
2019	30	Gas natural	0.97	254.916	0.508	104,434
2019	30	Gas natural	0.97	254.916	0.508	104,434
2021	111	Gas natural	0.728	707.625	0.419	351,478
2021	150	Gas natural	0.97	1,274.580	0.508	522,170
2022	3	Gas natural	0.97	25.492	0.508	10,443
2023	30	Gas natural	0.97	254.916	0.508	104,434
2024	6	Gas natural	0.97	50.983	0.508	20,887
2024	4	Gas natural	0.97	33.989	0.508	13,925
2024	300	Gas natural	0.97	2,549.160	0.508	1,044,340
2027	450	Gas natural	0.97	3,823.740	0.508	1,566,511
2027	100	Gas natural	0.97	849.720	0.508	348,113
2027	96	Gas natural	0.97	815.731	0.508	334,189
2028	350	Gas natural	0.97	2,974.020	0.508	1,218,397
2030	352	Gas natural	0.97	2,991.014	0.508	1,225,359

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.1, p 217-233. [2] Se eligió el mayor factor de planta por tecnología del Cuadro 7, suponiendo que estas nuevas plantas operarán con gas natural.

1.3.4.4 [3A1A] BOVINO (FERMENTACIÓN ENTÉRICA) Y [3A2A] BOVINOS (GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL)

En la Figura 18 se muestra el análisis para obtener la función de crecimiento de las emisiones de las fuentes [3A1a] y [3A2a] en términos del crecimiento de la población de ganado bovino. Los datos de la población de ganado del 2013 al 2017 se ajustaron para obtener una tasa anual de crecimiento. Esta tasa se supone constante durante todo el periodo de 2013 a 2032 para obtener la proyección de crecimiento de la población de ganado como se explica a continuación.

Año	Población Ganadera Oficial (Número de cabezas)			Emisiones (Gg CO ₂ e)	
	Bovinos Carne [1] [2]	Bovinos Leche [1] [3]	Total	3A1a Fermentación entérica [4]	3A2a Gestión del estiércol [5]
2008	1,540,992	245,917	1,786,909		
2009	1,660,698	248,604	1,909,302		
2010	1,639,326	249,365	1,888,691		
2011	1,642,019	245,601	1,887,620		
2012	1,601,467	258,538	1,860,005		
2013	1,676,947	258,069	1,935,016	3,237	3,600
2014	1,708,423	269,940	1,978,363	3,316	3,684
2015	1,804,348	276,202	2,080,550	3,479	3,818
2016	2,054,634	275,285	2,329,919	3,861	4,424
2017	2,103,645	284,766	2,388,411	3,960	4,605

Fuentes:

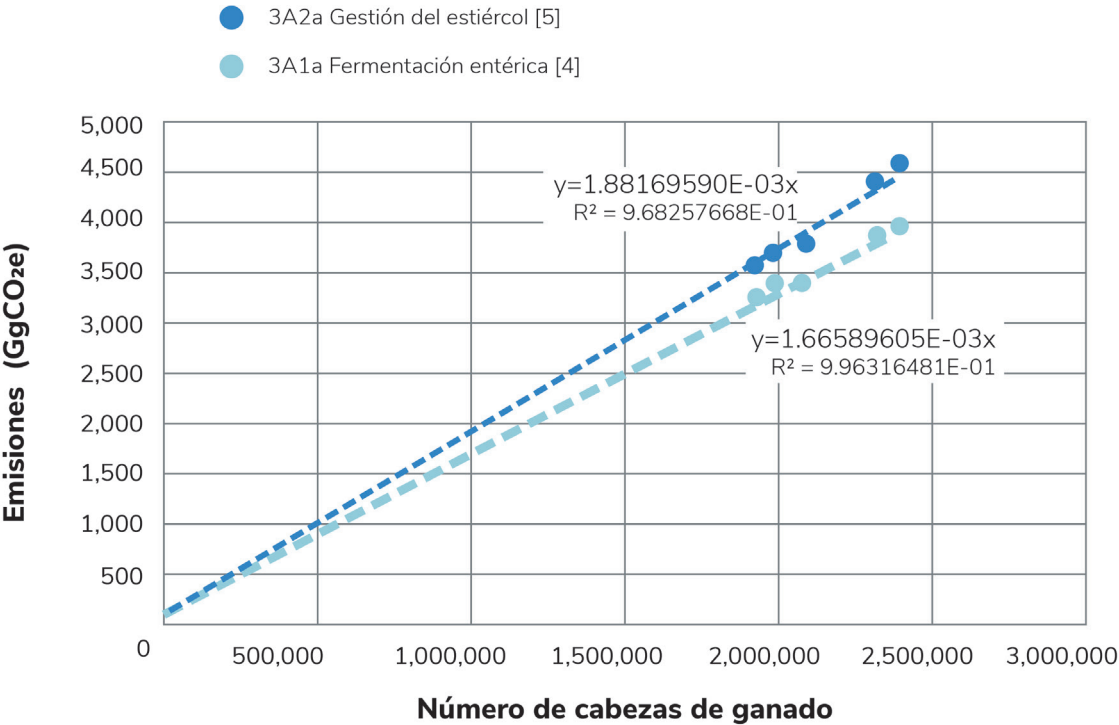
[1] <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762?idiom=es>

[2] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412563/Bovino_carne_2017.pdf

[3] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412564/Bovino_leche_2017.pdf

[4] Este trabajo. Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero - Fermentación entérica - 3A1a Bovino.

[5] Este trabajo. Inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero - Gestión del estiércol - 3A2a Bovino.



Simplificación para la proyección de las estimaciones del sector ganadero

3A1a Fermentación entérica:	$E_{3A1a} = 1.66589605E-03 \cdot p_{total}$	(Gg CO ₂ e)
3A2a Gestión del estiércol:	$E_{3A2a} = 1.88169590E-03 \cdot p_{total}$	(Gg CO ₂ e)
E_3Aia	Emisiones totales de la categoría 3A por fermentación entérica (i=1) o gestión del estiércol (i=2)	
p_total	Población total de cabezas de ganado: bovino carne más bovino leche (en número de cabezas)	

Figura 18. Metodología de cálculo para la extrapolación de las emisiones de las [3A1a] y [3A2a].

Teniendo los datos de población, p , en cierto periodo de tiempo, τ , del año y_i al año y_f , se hace un ajuste que represente suficientemente bien su tendencia. El ajuste más simple es el lineal, obteniendo una ecuación de regresión lineal del tipo

$$p = my + b$$

Donde los parámetros m y b se obtienen del ajuste de regresión lineal. La tasa de crecimiento anual se deriva con la siguiente fórmula, utilizando los parámetros de la ecuación de regresión lineal:

$$r = e^{\frac{\ln(z)}{\tau}} - 1$$

Donde

$$z = 1 + \frac{m\tau}{my_i + b}$$

$$\tau = y_f - y_i$$

Finalmente, la proyección de la población para años posteriores al año y_i se obtienen con la siguiente fórmula:

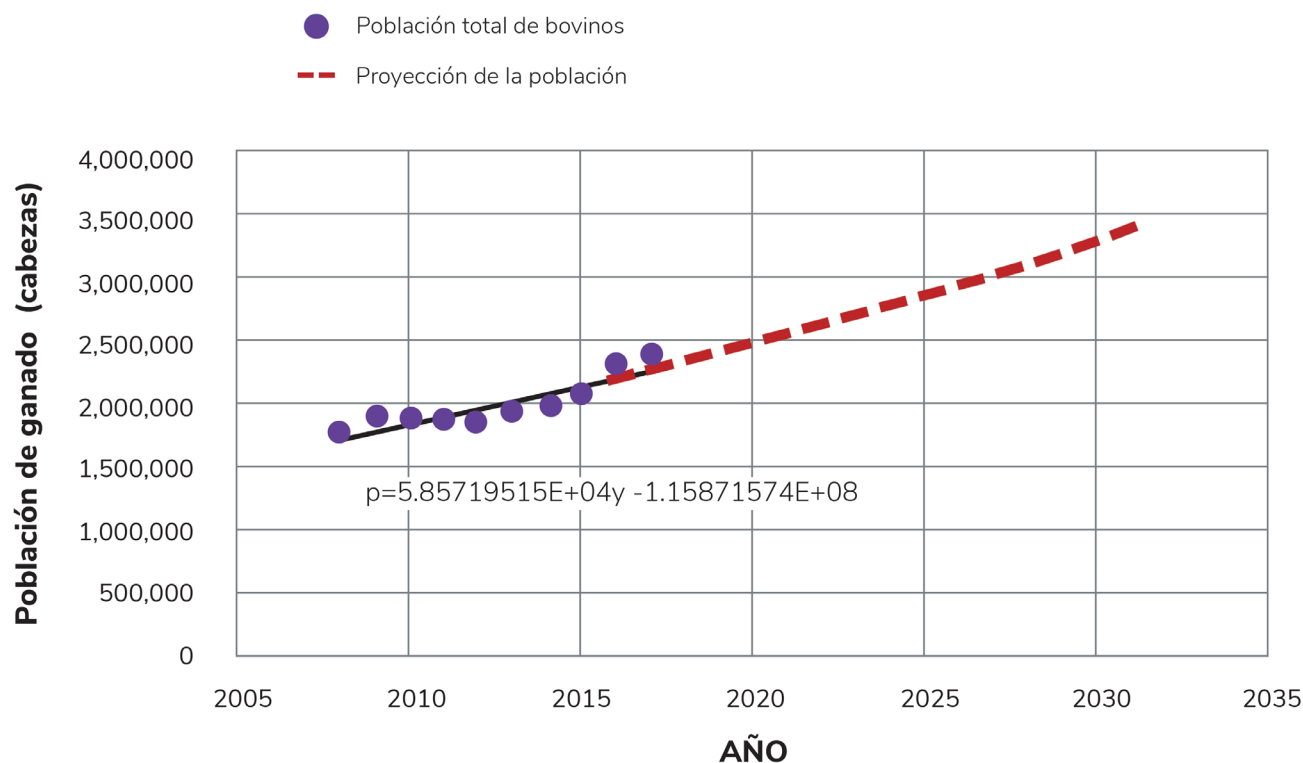
$$p_y = (1 + r)^{y - y_i}(my_i + b)$$

Equivalentemente,

$$p_y = (1 + r)p_{y-1}$$

Siempre que $y - 1 \geq y_i$; y $p_{y_i} = my_i + b$.

En la Figura 19 se muestran los resultados de la proyección de cabezas de ganado bovino al año 2032, para leche y para carne en conjunto, ajustando datos disponibles de población de ganado del 2008 al 2017. La tasa de crecimiento anual resultante fue de 2.98%.



Resultados de la regresión línea de los datos disponibles

y_i	2008
y_f	2017
m	5.85719515E+04
b	-1.15871574E+08
z	1.30280095
r	2.8%

Figura 19. Metodología de cálculo para la proyección del número de cabezas de ganado.



Fuente: The Milon

1.3.4.5 [1A2] INDUSTRIAS MANUFACTURA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

Para estimar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la subcategoría [1A2] Industrias de manufactura y de la construcción se utilizaron proyecciones de diferentes fuentes de información para los datos de actividad correspondientes a esta categoría, que están representados por la demanda interna de gas natural, diésel y combustóleo para el sector industrial y autogeneración de electricidad, y por la demanda interna de coque de petróleo del estado de Chihuahua.

Para el gas natural, se obtuvo información del sistema de información energética, pero solo se encontraron datos disponibles hasta el 2017 de la demanda interna total de gas natural de los sectores industrial y autogeneración de electricidad a nivel estatal y nacional. Por este motivo se tuvo que realizar el siguiente procedimiento. Del documento *Prospectiva de gas natural 2018-2032* (Secretaría de Energía) se obtuvo la demanda nacional de combustibles del sector industrial de 2007 a 2017. Al substraer la demanda nacional de combustibles del sector industrial de la demanda interna de gas natural de los sectores industrial y autogeneración de electricidad obtenida del sistema de información energética, se obtuvo una estimación de la demanda nacional de gas natural para autogeneración de electricidad, que se proyectó al 2032 siguiendo la tendencia que presentó de 2013 a 2016 (el valor de 2017 parecía fuera de esta tendencia por lo que no se consideró).

Por otra parte, del documento *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032* publicado por la Secretaría de Energía, se obtuvo el consumo nacional de combustibles en el sector industrial, 2018-2032. Sumando estos valores a los de la demanda nacional de gas natural para autogeneración de electricidad se obtuvo la demanda interna total de gas natural de los sectores industrial y autogeneración de electricidad a nivel nacional hasta el 2032.

Utilizando los datos de la demanda interna de gas natural por estado, sectores industrial y autogeneración de electricidad obtenidos del sistema de información energética se obtuvo un valor de prorrateo mediante el ajuste lineal de los valores estatales y nacionales de 2007 a 2017. Este valor (0.022614) se utilizó para prorratear la demanda interna total de gas natural de los sectores industrial y autogeneración de electricidad a nivel nacional para obtener la del estado de Chihuahua.

En el caso del consumo de diésel en el sector industrial, 2018-2032, los datos se tomaron de la *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032* publicada por la Secretaría de Energía. De acuerdo con dicho documento, la demanda de diésel para el sector autogeneración de electricidad disminuirá en 58% al 2032. Como los datos del sistema de información energética para la demanda de diésel para el sector autogeneración de electricidad correspondientes al periodo 2013 a 2018 fluctúan fuertemente, se tomó el promedio de esos valores, y a partir de ahí se hizo una proyección lineal de manera que al 2032 la disminución de la demanda fuera del 58%. La suma de la demanda de diésel para el sector industrial y para el sector autogeneración de electricidad se utilizó para estimar las emisiones generadas por el uso de este combustible en dicho sector.

Para el caso del combustóleo en el sector industrial, la *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032* de la Secretaría de Energía indica que a partir del 2020 este combustible dejará de utilizarse en este sector. Solo el dato del 2019 se consideró como la mitad del valor para 2018.

Los datos para la demanda interna de coque de petróleo por estado, 2014-2030, se obtuvieron del sistema de información energética. Para el 2031 y 2032 se usó el mismo valor que para 2030 dada la baja variabilidad a lo largo de los años previos.

1.3.4.6 [3C4] EMISIONES DIRECTAS DE N₂O DE LOS SUELOS GESTIONADOS

La proyección de las emisiones de la subcategoría [3C4] Emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados se realizó siguiendo la metodología para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero utilizada en este trabajo para la actualización del inventario estatal. En esta actualización, el nitrógeno incorporado en los suelos se toma como dato de actividad, y se integra por tres contribuciones originadas de los fertilizantes sintéticos nitrogenados (F_{SN}), del estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (F_{PRP}) y por los residuos agrícolas reincorporados al suelo en tierras de cultivo (F_{CR}).

La fracción de nitrógeno proveniente de los fertilizantes sintéticos nitrogenados se estimó prorrateando esta cantidad de nivel nacional a nivel estatal. El factor de prorrateo se calculó mediante un promedio móvil de los 5 años previos del cociente de la superficie cultivada fertilizada de Chihuahua y la nacional. Esto se hizo así para suavizar la gran variabilidad observada en el período de 2013 a 2017. La superficie cultivada fertilizada a nivel nacional se consideró como el 68% de la superficie sembrada a nivel nacional. El porcentaje referido se obtuvo con base en el promedio de los datos disponibles de dichas superficies para el periodo de 2013 a 2017. La superficie cultivada fertilizada del estado de Chihuahua se obtuvo como una fracción de la superficie cultivada fertilizada nacional, el 6.7%. Este porcentaje es el promedio del cociente de la superficie cultivada fertilizada de Chihuahua y la nacional para el periodo de 2013 a 2017. La cantidad de fertilizantes sintéticos nitrogenados a nivel nacional fue proyectada hasta el 2032 usando una regresión lineal de la serie temporal del consumo anual de fertilizante en México que se tomó de la base de datos de nutrición de plantas de la Asociación Internacional de Fertilizantes para el periodo 2013 a 2017.

La fracción de nitrógeno proveniente del estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo fue integrada por contribuciones de dos grupos: 1) Bovinos, aves y porcinos y 2) Ovinos y otros animales. Ambas contribuciones fueron proyectadas al 2032 utilizando la tasa media de crecimiento anual de cada una de estas fracciones en el periodo de 2013 a 2017 (obtenidas para la actualización del inventario estatal de emisiones de gases de efecto invernadero en este trabajo).

La fracción de nitrógeno incorporado por residuos de cultivos fue proyectada al 2032 mediante una ecuación obtenida por regresión lineal entre la superficie cosechada del estado de Chihuahua y la fracción de nitrógeno incorporado por residuos de cultivos para el periodo de 2013 a 2017. Para esta regresión se consideró que el rendimiento de cada cultivo (toneladas cosechadas por hectárea) fue el mismo para los cinco años (2013 a 2017) con el fin de reducir la variabilidad y mejorar el coeficiente de correlación al eliminar la dispersión de esta variable de la cual no se puede determinar cuál será su valor futuro. En otras palabras, se asume que el rendimiento a futuro es el del 2017. Por otra parte, la superficie de cultivos que reincorporan nitrógeno fue considerada como la super-

ficie cosechada y fue proyectada al 2032 como una fracción de la superficie cultivada fertilizada del estado de Chihuahua, el 77%. Este porcentaje corresponde al del año 2017 para el cual si se cuenta con datos oficiales (reales). En este caso no se promediaron los porcentajes correspondientes a los años en el periodo de 2013 a 2017 porque presentan una variación monótona decreciente muy pronunciada para la cual el promedio no sería representativa y una extrapolación lineal resultaría en valores excesivamente bajos fuera de la realidad. La proyección de la superficie cultivada fertilizada del estado de Chihuahua se explicó en el párrafo concerniente a la fracción de nitrógeno proveniente de los fertilizantes sintéticos nitrogenados.

1.3.4.7 [1A4A] Y [1A4B] RESIDENCIAL/COMERCIAL/ INSTITUCIONAL

La estimación de las emisiones de las fuentes residencial y comercial e institucional se basa en los consumos de gas natural, gas LP, diésel y leña, por lo que la proyección de las emisiones tuvo como base la proyección de estos combustibles en dichos sectores. La proyección del consumo de gas LP en el estado de Chihuahua se tomó de la *Prospectiva de gas L. P. 2018-2032* publicada por la Secretaría de Energía y se mantuvo la misma suposición realizada para la actualización del inventario de que el 62.5% del consumo total fue para el sector residencial y un 14.1% para el sector servicios.

El consumo de gas natural del estado de Chihuahua se obtuvo de la *Prospectiva de gas natural 2018-2032* publicada por la Secretaría de Energía. Para determinar la fracción de dicho consumo correspondiente a los sectores residencial, servicios y autotransporte se hizo una regresión lineal de dicha fracción en función del tiempo para el periodo de 2007 a 2017 con datos del sistema de información energética. Asimismo, la contribución del sector autotransporte se determinó con otra regresión similar y el resultado se substrajo para obtener solamente el consumo de los sectores residencial y de servicios (sin autotransporte).



Fuente: Breno Assis

El consumo de diésel en estos sectores se considera nulo a partir del año 2017.

La proyección del consumo de leña a nivel nacional para los sectores residencial y de servicios se obtuvo de la *Prospectiva de gas L. P. 2018-2032* publicada por la Secretaría de Energía. Se considera que solo el 1.84% del consumo nacional corresponde a Chihuahua.

1.3.4.8 OTRAS CATEGORÍAS

La proyección de las emisiones de otras categorías se realizó mediante extrapolación con la regresión lineal de las emisiones en función del tiempo para los años 2013 a 2017. Las

subcategorías [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas, y [2A1] Producción de cemento se extrapolaron independientemente, y el resto de las categorías se extrapolaron conjuntamente.

1.3.5 CONTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES PRINCIPALES

La contribución de las nueve fuentes principales se muestra en la Figura 20.

Cabe recalcar que estas proyecciones son las contribuciones a la línea base que se muestra en la Figura 17, y se han realizado bajo la suposición de que no se han implementado acciones de mitigación.

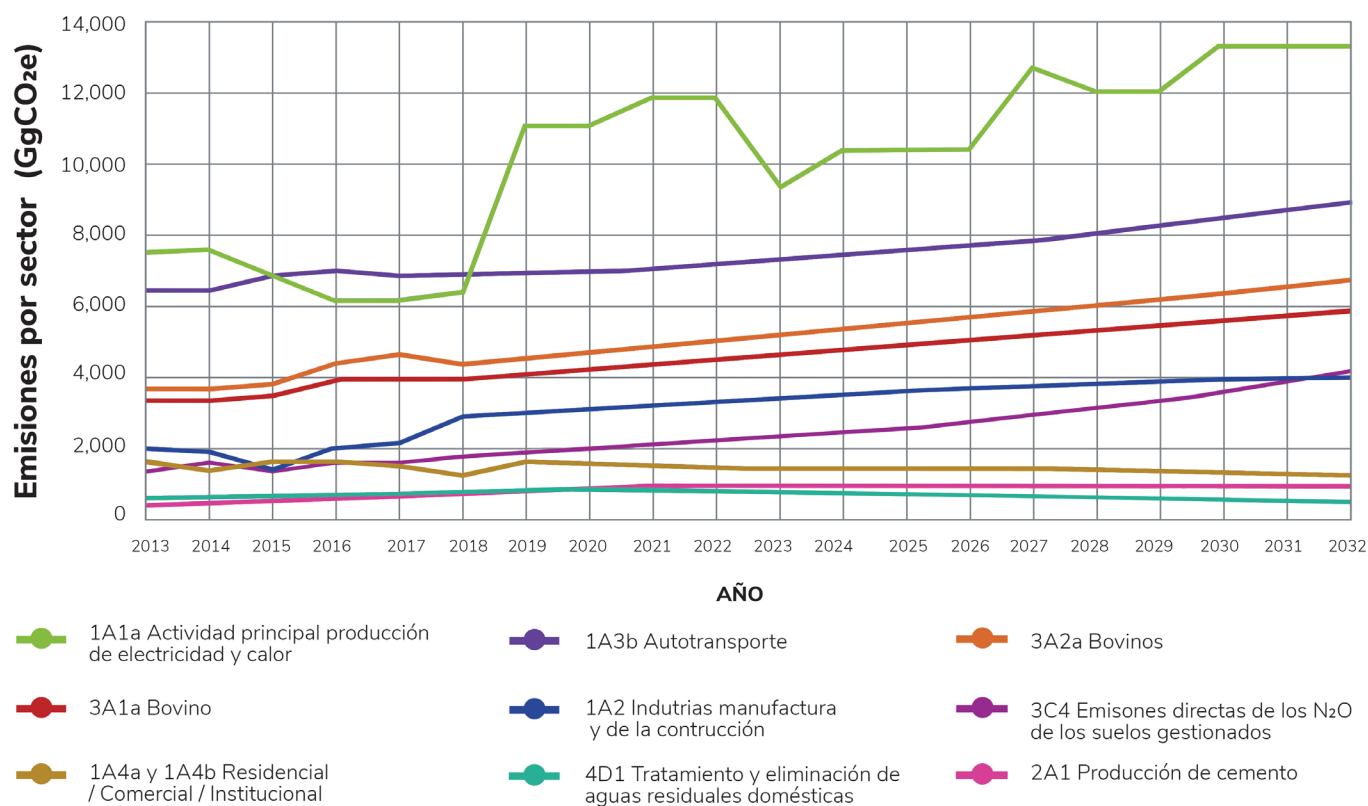


Figura 20. Contribución de los principales sectores a la línea base

De este desglose de contribuciones es claro que para tener una reducción significativa de emisiones hay que concentrar esfuerzos en las fuentes principales de emisión, lo que no significa que no deban hacerse esfuerzos en otros rubros.

Las cuatro principales fuentes de emisión que al 2017 contribuyen con el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua son:

- 1A1a Actividad principal producción de electricidad y calor
- 1A3b Autotransporte
- 3A2a Bovinos (gestión de estiércol)
- 3A1a Bovino (fermentación entérica)

1.3.6 CAMBIO DE POLÍTICA ENERGÉTICA A NIVEL FEDERAL

El cambio de política energética implementado por la administración pública federal (2018-2024) incide en el programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional, por lo que a continuación se realiza una evaluación del impacto de las nuevas políticas en la generación y emisiones de GEI mediante el análisis de las dos versiones del PRODESEN siguientes:

- PRODESEN 2018-2032
- PRODESEN 2019-2033

El análisis siguiente se restringe únicamente a lo que corresponde al estado de Chihuahua con base en el Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE) de estas versiones del PRODESEN.

1.3.6.1 SÍNTESIS DEL PIIRCE EN EL PRODESEN 2018 – 2032

En el Cuadro 17 se muestran las plantas o unidades que de acuerdo con el PRODESEN 2018 – 2032 se habían considerado para su retiro, algunas en el 2023 y otras en el 2028. En el cuadro se muestra también la generación eléctrica de estas unidades y sus correspondientes emisiones de GEI. Se supone que, al dejar de operar, las plantas o unidades dejarían de emitir la cantidad correspondiente de GEI. El retiro de estas plantas o unidades estaría en línea con la estrategia de mitigación de emisiones de GEI como parte de las acciones climáticas para alcanzar las contribuciones determinadas a nivel nacional. El programa indicativo de instalación de centrales eléctricas también debería estar en línea con tal estrategia, por lo que en el PRODESEN se contempla la generación con energías renovables.

En el Cuadro 18 se muestran las centrales eléctricas que figuran en el PIIRCE del PRODESEN 2018 – 2032 que serán instaladas en el año indicado en el mismo cuadro. Así mismo, se muestra la generación esperada y las emisiones de GEI que corresponden. Se puede observar que el 23% de la generación adicional, programada de 2018 a 2032, estaba planeada a partir de energías renovables con una emisión de GEI neta, o efectivamente, cero.

1.3.6.2 LÍNEA BASE PARA EL PRODESEN 2018-2032

Como se ha mencionado, el PIIRCE del PRODESEN está planeado tomando en cuenta los objetivos de Energías Limpias. Para estimar el nivel de reducción de emisiones de GEI que implícitamente se ha contemplado en el PRODESEN 2018 – 2032, es necesario contar con una referencia (línea base). Esta referencia se puede obtener suponiendo que, si no se implementaran acciones climáticas, la misma generación pro-

nosticada en el PRODESEN se tendría que obtener utilizando tecnologías convencionales, con gas natural. En el Cuadro 23 se muestra el cálculo de emisiones de GEI por la generación de la misma cantidad de electricidad que la del Cuadro 18, pero suponiendo que todas las centrales programadas para su instalación utilizaran tecnología de ciclo combinado. En el Cuadro 23 se muestran los mismos proyectos del Cuadro 18, dejando la tecnología original del PRODESEN, pero las columnas de Combustible, Factor de Planta y Eficiencia se llenan con valores que corresponderían a una instalación de ciclo combinado con gas natural, para estimar los valores en la columna de Emisiones.

1.3.6.3 SÍNTESIS DEL PIIRCE EN EL PRODESEN 2019 – 2033

En el ejercicio de planeación presentado en el PRODESEN 2019 – 2033, de conformidad con la nueva política energética de la administración pública federal, no se considera el retiro de Centrales Eléctricas. El programa de nueva capacidad en el corto/mediano plazo 2019 – 2021/2022, resultó de la revisión de los proyectos con altas expectativas de realización de cada uno de los participantes considerados en la LSPEE y en la LIE. Posterior a 2021, con fundamento en los lineamientos de política energética, se consideran proyectos de generación limpia-renovables, cogeneración eficiente y tecnologías convencionales.

En el Cuadro 24 se muestra la estimación de la generación y las emisiones correspondientes para las plantas que en la versión anterior del PRODESEN (2018 – 2032) se tenían programadas para su retiro; pero que bajo la planeación de la versión más reciente del PRODESEN (2019 – 2033), estas centrales serán repotenciadas. Se consideró un aumento de 20% en la eficiencia con un aumento de 45% de capacidad por repotenciación de las centrales que estaban destinadas al retiro.

Por otra parte, el Cuadro 25 muestra la estimación de la generación y las emisiones correspondientes de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019 – 2033. En este cuadro se muestra que ahora el 19% de la generación adicional, programada de 2019 a 2033, está planeada a partir de energías renovables. Sin embargo, este porcentaje se reduce cuando se incluye la generación de las plantas que serán repotenciadas.

Cuadro 24. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas, que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro y que de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033 podrían ser repotenciadas.

Central / Unidad [1]	Tecnología [1]	Año de retiro [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible [2]	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Francisco Villa U4	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.1777	233.5	0.235	285,065
Francisco Villa U5	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.1777	233.5	0.235	285,065
Industrial Juárez	Turbogás	2023	18	Diesel	0.0290	4.6	0.335	3,595
Parque U2	Turbogás	2023	18	Diesel	0.0290	4.6	0.335	3,595
Parque U3	Turbogás	2023	13	Diesel	0.0290	3.3	0.335	2,596
Parque U4	Turbogás	2023	28	Diesel	0.0290	7.1	0.335	5,592
Samalayuca U1	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.9692	1,341.5	0.263	1,061,547
Samalayuca U2	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.9692	1,341.5	0.263	1,061,547
Samalayuca II_PQ1	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234
Samalayuca II_PQ2	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234
Samalayuca II_PQ3	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.4, p 241-245. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019 - 2033. Secretaría de Energía. Sección VII.1 p. 45.

[2] Salinas S., S y Fernández M., M. F. "Repotenciación de centrales termoeléctricas" Revista Transición Energética. Agosto - Octubre 2019, Tabla 2.

[3] Comisión reguladora de energía. www.cre.gob.mx/documento/1814.xlsx consultado el 16 de enero de 2019.

Cuadro 25. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033.

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Norte III	Ciclo combinado	2020	907	Gas natural	0.970	7,707	0.508	3,157,389
Optimización	Ciclo combinado	2028	415	Gas natural	0.970	3,526	0.508	1,444,671
Ahumada IV Solar PV SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Eléctrica de Chihuahua SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Fotovoltaica de Ahumada SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Planta Solar Santa María	Fotovoltaica	2019	148		0.198	256		
BNB Villa Ahumada Solar	Fotovoltaica	2019	150		0.198	260		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1493/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	4		0.198	7		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1495/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	7		0.198	12		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1494/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	4		0.198	7		
Altair Importación y Exportación SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia V SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia IV SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia III SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia II SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Parque Solar Conejos	Fotovoltaica	2019	80		0.198	138		
Border Solar	Fotovoltaica	2019	150		0.198	260		
Sol de los Manzanos	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Optimización	Fotovoltaica	2025	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2025	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2025	25		0.198	43		
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		

Cuadro 25. (Cont.)

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	24		0.198	42		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2029	100		0.198	173		
Luis L. León (EL Grane-ro)	Hidroeléctrica	2023	30		0.300	79		
Rosetilla	Hidroeléctrica	2023	3		0.300	8		
RM Colina	Hidroeléctrica	2024	1		0.300	3		

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] PIIRCE, PRODESEN, 2018–2032 y 2019–2033. Secretaría de Energía.

1.3.6.4 VARIACIÓN DEL PRODESEN

Como se ha mencionado, debido al cambio de política energética a nivel federal, el programa indicativo de instalación y retiro de centrales eléctricas integrado en el PRODESEN 2019 – 2033 tuvo variaciones con respecto al presentado en el PRODESEN 2018 – 2032, lo que se manifiesta en el pronóstico de generación eléctrica para satisfacer la demanda de energía eléctrica (ver Figura 21).

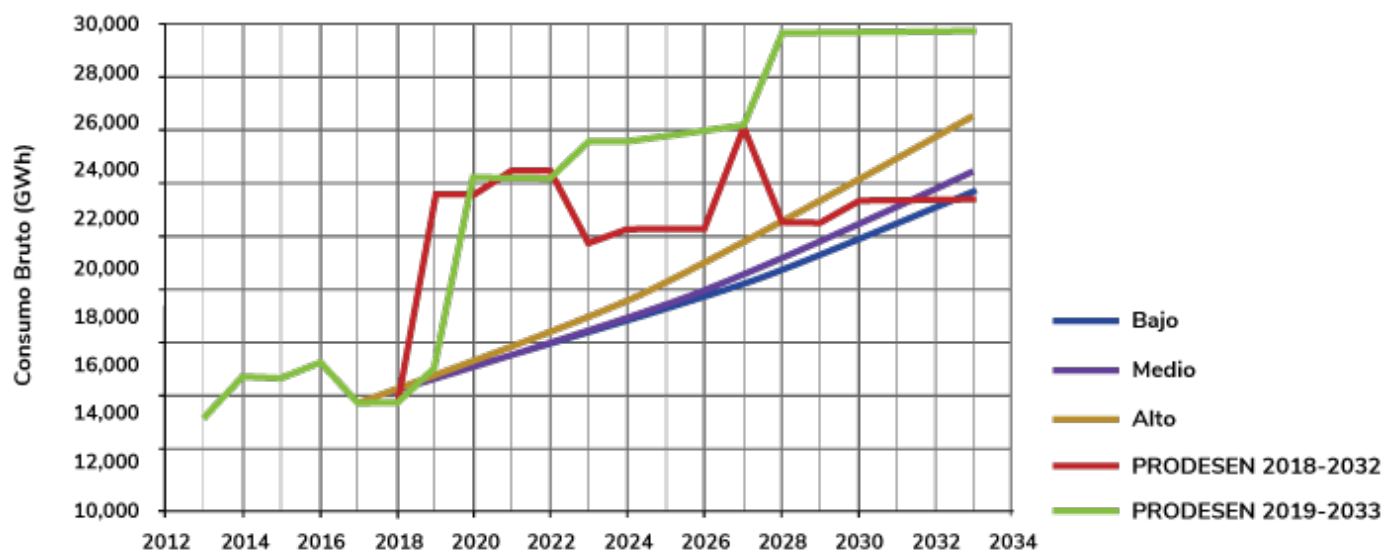


Figura 21. Pronóstico de oferta y demanda de energía eléctrica para Chihuahua 2019 — 2033

(Elaboración propia con datos del PRODESEN 2018-2032 y 2019 – 2033).

La curva en color rojo, correspondiente a la generación de electricidad pronosticada con base en el PIIRCE del PRODESEN 2018 – 2032, muestra reducciones en la generación (en 2023 y 2028) que corresponden al retiro de algunas centrales cuya vida útil llegaría a su fin en esos años. Con la nueva política energética, estas centrales serán repotenciadas y seguirán operando, por lo que las reducciones mencionadas no se notan en la curva verde, correspondiente al pronóstico con base en el PIIRCE del PRODESEN 2019 – 2033.

La curva de pronóstico de generación eléctrica de la Figura 21 correspondiente al PRODESEN 2018 – 2032 se calculó considerando que la generación aumenta por las plantas instaladas, pero en algún momento se reduce debido al retiro de las plantas que quedan fuera de operación en el año considerado. Por otra parte, la curva de pronóstico de generación eléctrica correspondiente al PRODESEN 2019 – 2033 considera que no hay retiro de plantas, sino repotenciación, por lo que la generación aumenta por las nuevas plantas instaladas y por el aumento en potencia de las plantas que en el PRODESEN 2018 – 2032 se habían considerado para su retiro.

Adicionalmente se presentan las curvas correspondientes a los tres escenarios de la demanda pronosticada en el PRODESEN 2019 – 2032. Las curvas de generación están por encima de las de demanda, pero la del PRODESEN más actual excede por mucho la demanda pronosticada, lo cual implicará menor factor de planta para algunas centrales.

Finalmente cabe mencionar que el proyecto Norte III, con 907 MW de potencia instalada efectivamente entró en operación en marzo del 2020, por lo que el aumento en la generación que se observa en las gráficas es de hecho ya real.

1.3.7 IMPACTO DE LA NUEVA POLÍTICA ENERGÉTICA EN LAS EMISIONES DE GEI

Las emisiones de GEI pronosticadas por generación de energía eléctrica de acuerdo con las dos últimas versiones del PRODESEN se muestran en la Figura 22, junto con la curva que representa la línea base, es decir la curva que representa el escenario en el que no se llevan a cabo acciones de mitigación.

Se puede observar que la planeación de la versión 2018 – 2032 del PRODESEN muestra una reducción de 19% respecto a la línea base, en cambio, la versión 2019 – 2033 queda por encima de la línea base con un incremento de 38% respecto a la línea base.

En términos del incremento respecto a los niveles de emisión de 2013, la línea base muestra un aumento del 10%, la planeación del PRODESEN 2018 – 2032 una disminución del 10% y la del PRODESEN 2019 – 2033 un significativo aumento del 51%.

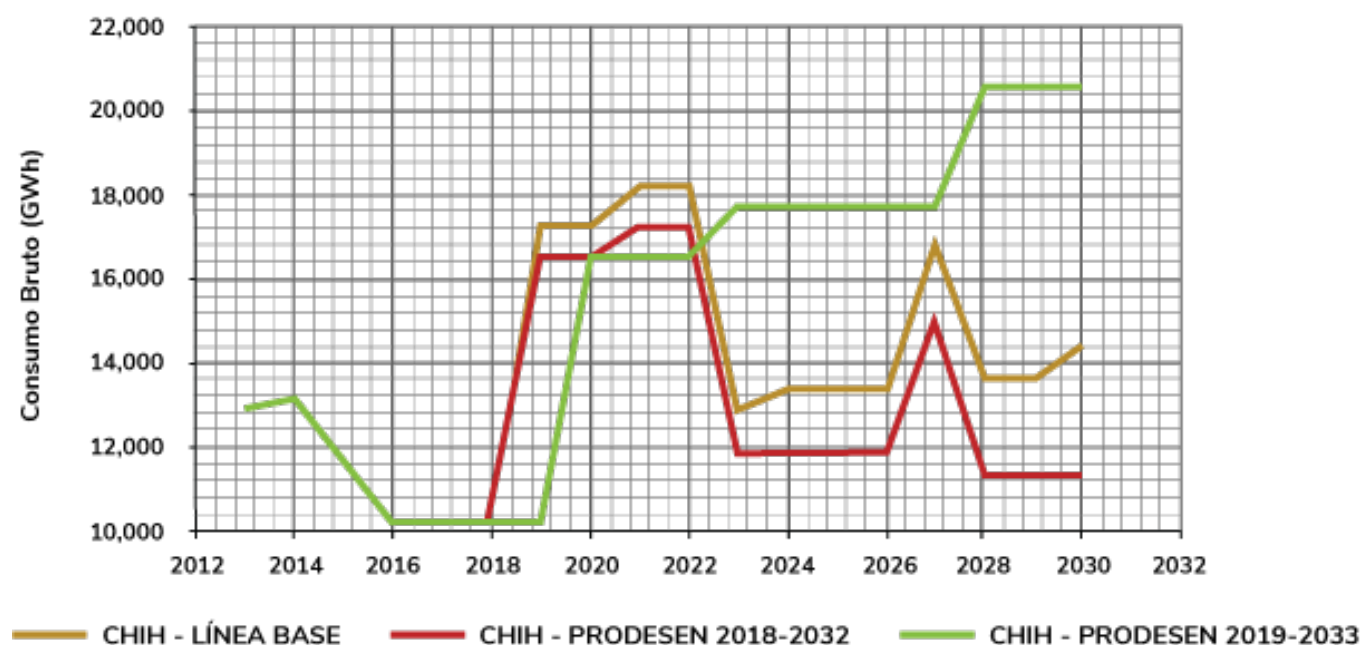


Figura 22. Pronóstico de las emisiones para dos escenarios de planeación comparados con la línea base

(Elaboración propia con datos del PRODESEN 2018-2032 y 2019 – 2033).



MITIGACIÓN



1.4

MITIGACIÓN

⁶¹ Ver, por ejemplo: Babatunde, K. A. et al. (2017). Application of computable general equilibrium (CGE) to climate change mitigation policy: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 78, pp. 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.064>.



Fuente: Mathew Schartz

De acuerdo con la Ley General de Cambio Climático, el término mitigación se define como la aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero. La mitigación, junto con la adaptación, es uno de los enfoques centrales donde el mundo ha puesto su atención para atender el fenómeno de cambio climático. En los últimos 200 años, la concentración de los gases y compuestos de efecto invernadero, principalmente CO₂, ha aumentado considerablemente, lo que ha llevado un cambio en la composición de la atmósfera, que a su vez ha afectado el sistema climático de la tierra, por lo que la necesidad de estabilizar las concentraciones de estos compuestos y evitar un incremento de la temperatura global ha generado acciones y compromisos de mitigación como se han establecido en el Acuerdo de París. En este sentido, se ha identificado que la participación de los gobiernos subnacionales es clave para poder cumplir con los compromisos que México ha adoptado al adherirse a este acuerdo internacional de mitigar en un 22% las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero al año 2030 con respecto a la línea base.

El problema de mitigación de emisiones de CO₂ es complejo puesto que, entre otros aspectos, toda actividad está vinculada a un número insospechado de otras actividades. Uno de los mayores retos de conceptos como el de la huella de carbón es dilucidar qué actividades están vinculadas a determinado proceso y luego prorratear cuánto de esas éstas se puede atribuir exclusivamente a la realización de dicho proceso. Por ejemplo, si se va a implementar un sistema de riego en un rancho para fomentar el crecimiento de vegetación para pastoreo, por un lado, se tendrá que utilizar energía para bombear el agua y ese consumo de energía puede estar asociado a la generación de cierta cantidad de emisiones de CO₂, pero, por otra parte, se reducirá el transporte de alimento adicional para el ganado, lo cual dependiendo de varios factores reducirá otra cantidad de emisiones de CO₂. Para tomar en cuenta todas estas interacciones se han desarrollado modelos de equilibrio general⁶¹, pero en este análisis se prefiere atacar las fuentes principales para generar un impacto mayor a corto plazo, y se espera que posteriormente se realice una nueva revisión, con un inventario actualizado que resalte las nuevas actividades de mayor impacto.

Tomando esto en consideración, en la siguiente sección se proponen acciones de mitigación para las fuentes principales de emisiones de gases de efecto invernadero generadas en el Estado de Chihuahua.



1.4.1 MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE MAYOR IMPACTO PARA CHIHUAHUA

Como se mencionó en la Sección 1.3.5, hay cuatro fuentes de emisión que al 2017 contribuyen con el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua:

- 1A1a Actividad principal producción de electricidad y calor
- 1A3b Autotransporte
- 3A2a Bovinos (Gestión de estiércol)
- 3A1a Bovino (Fermentación entérica)

En esta sección se analizan y proponen las medidas de mitigación de mayor impacto para reducir las emisiones de CO₂ de estas fuentes en el Estado de Chihuahua. En el análisis se incluyen algunos escenarios que podrían afectar el grado de reducción de emisiones. Este análisis se lleva a cabo en torno a un concepto fundamental conocido como potencial de mitigación. El potencial de mitigación de GEI se puede definir como el nivel de reducciones de GEI que se podrían realizar, en relación con la línea base de emisiones proyectada en un año determinado, por un precio de carbono determinado. En esta definición intervienen cuatro factores indispensables:

- La línea base
- La cantidad posible de reducir las emisiones respecto a la línea base
- El tiempo y
- El precio de carbono

El precio de carbono se especificará en términos del costo marginal de la medida de mitigación. El costo marginal de reducción (CMM) se calcula utilizando las siguientes fórmulas:

$$CMM = \frac{-VPN}{EE_{\tau}}$$

$$VPN = \frac{C_T - G_T}{(1 + r_d)^{\tau}}$$

Donde

CMM	es el Costo Marginal de Mitigación (USD/CO ₂ e)
VPN	es el Valor Presente Neto
EE_τ	son las emisiones evitadas de GEI durante la vida del proyecto
C_T	es el Costo Total del Proyecto
G_T	es el Ahorro o utilidad total del proyecto
r_d	es la tasa de descuento
τ	es la duración (vida) del proyecto

El valor presente neto (VPN) representa el valor total del proyecto sumando todos sus costos y utilidades o ahorros y ajustado por el valor del dinero en el tiempo. Cuando los costos superen las utilidades, el VPN será un valor negativo que representará un costo neto para el inversionista. Por el contrario, donde los ahorros superan los costos, el VPN será un número positivo que evidencia que el proyecto se pagará por sí mismo.

Para calcular el costo marginal de mitigación (CMM), es necesario multiplicar el VPN por menos 1. Esto es para dar la noción de que los proyectos con un CMM negativo son de hecho económicamente viables en el sentido de que ahorran dinero al inversionista. Por el contrario, un CMM positivo tiene un costo real por tonelada de CO₂e eliminado y está asociado con un VPN negativo.

Una recomendación general es que las medidas de mitigación con un CMM positivo deberían considerarse como una oportunidad para agencias gubernamentales, ONGs, fundaciones, etc para financiar dichas medidas y así contribuir a la mitigación de las emisiones de GEI.

1.4.1.1 MITIGACIÓN PARA EL SECTOR DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

En esta sección se consideran las medidas de mitigación para la fuente catalogada en el inventario estatal de emisiones como [1A1a], es decir, producción de electricidad y calor. Hay que tener en cuenta que en la programación para el retiro y adición de capacidad de generación del PRODESEN 2018 – 2032 se tenía contemplado que para cubrir los requerimientos de crecimiento poblacional y económico de manera sustentable debían implementarse las siguientes medidas de mitigación:

- 1) Que parte de la capacidad de generación de electricidad se realizara mediante energías limpias, y
- 2) Que se hiciera un uso más eficiente de la energía y, por lo tanto, se redujera el consumo eléctrico.

GENERACIÓN MEDIANTE ENERGÍAS LIMPIAS

En el Cuadro 18 se presentó la distribución de la nueva capacidad en términos de la tecnología programada PRODESEN 2018 – 2032, incluyendo la cantidad de emisiones de GEI en unidades de CO₂e. Con las emisiones resultantes de esta distribución se obtuvieron las curvas de la Figura 23. En esta figura se muestra el efecto sobre las emisiones de incorporar tecnologías de energía renovable a la matriz de generación eléctrica del estado de Chihuahua. En la figura se muestran tres curvas:

1. La línea base estatal (la misma de la Figura 17)
2. La proyección de las emisiones estatales tomando en cuenta la reducción por las medidas de mitigación del PRODESEN 2018 – 2032.

3. Las emisiones estimadas de la fuente [1A1a], tomando en cuenta la reducción por las medidas de mitigación del PRODESEN 2018 – 2032.

El efecto de la aplicación de las medidas de mitigación de este escenario es mantener prácticamente constante el nivel de emisiones de la fuente [1A1a] a pesar del aumento de capacidad de generación de electricidad desde el año base (2013) hasta el 2032.

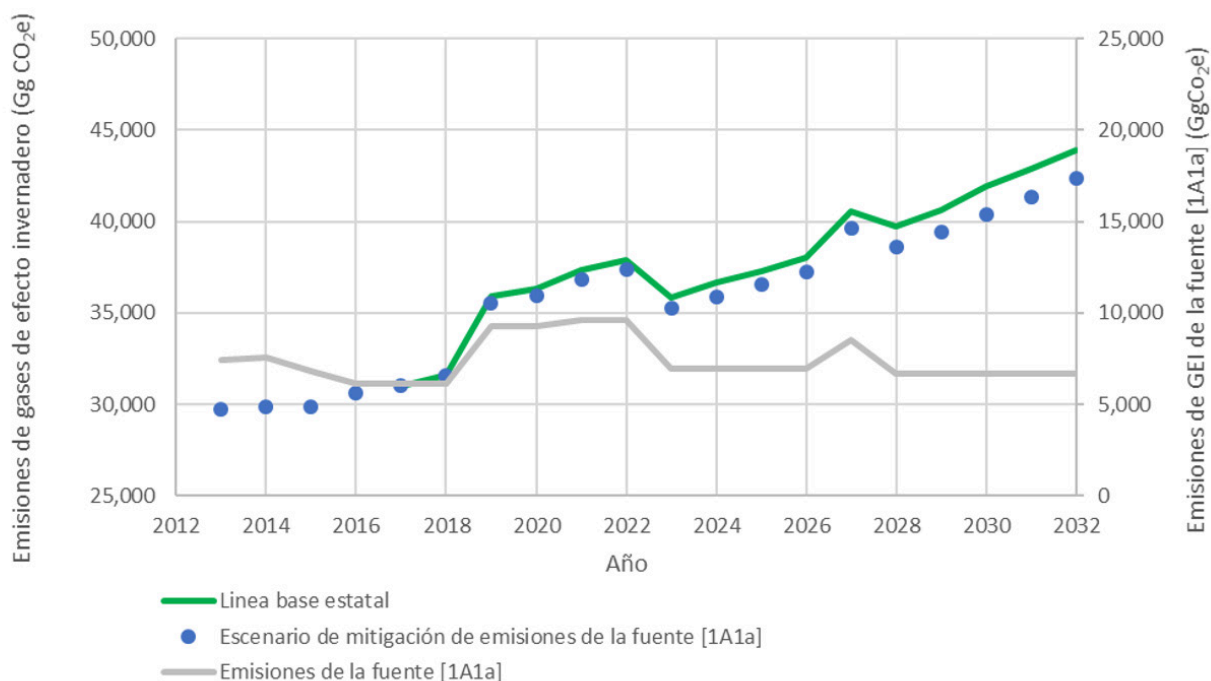


Figura 23. Efecto de las energías renovables sobre las emisiones de generación eléctrica en el estado de Chihuahua.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Para obtener la línea base de las emisiones de GEI generadas por las actividades de producción de electricidad (fuente [1A1a]), así como de los escenarios de mitigación de dichas emisiones, se utilizó como base la información del PRODESEN, complementándola con datos de muchas otras fuentes de información. Sin embargo, debido al cambio de administración federal y de sus políticas energéticas, las versiones del PRODESEN más recientes presentan cambios significativos e inconsistentes.

Para la línea base de emisiones de GEI de la fuente [1A1a] se consideró el aumento en generación de electricidad planeado en el PRODESEN 2018 – 2032 suponiendo que toda esta generación se realizaría con gas natural, y suponiendo que algunas plantas quedarían fuera de operación al final de su vida útil.

Cabe hacer notar que el aumento en la generación de electricidad de 2018 a 2032 pronosticado en el PRODESEN 2018 – 2032 supone que se aplicarán medidas de eficiencia energética, por lo que dicho aumento resulta menor que si no se aplicaran estas medidas, y por lo tanto, se requerirá menor capacidad de generación eléctrica, con lo que indirectamente se reducen las emisiones de CO₂.

Para el escenario de mitigación de emisiones de la fuente [1A1a] se consideró el mismo aumento en generación de electricidad que para la línea base, pero suponiendo que parte de esta generación se realizaría con fuentes renovables, de acuerdo con lo planeado en el PRODESEN 2018 – 2032. En este escenario, las emisiones de GEI al 2032 se reducen un 10% con respecto a las del 2013, y un 19% respecto a la línea base en el 2032.

Para reducir las emisiones por debajo del nivel de emisiones del 2013, una opción sería la de sacar de operación todas las plantas de generación eléctrica que queman combustibles fósiles. El programa de retiro de centrales eléctricas del PRODESEN 2018 – 2032 no tenía este enfoque (descarbonización de la matriz de generación eléctrica) sino más bien el de satisfacer criterios como los siguientes⁶²:

- Entrada en operación en la fecha programada de las centrales que sustituirán a las candidatas a retiro
- Entrada en operación en la fecha programada de las líneas y subestaciones
- Preservación de la confiabilidad del sistema eléctrico nacional
- Reducción de fallas prolongadas
- Garantía del suministro de combustibles
- El crecimiento pronosticado de la demanda de energía eléctrica

En el programa de retiro del PRODESEN 2018 – 2032 sólo se contemplaron centrales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Siendo esta empresa de competencia federal, es decisión del gobierno federal realizar los proyectos de mitigación en las centrales que actualmente generan la mayor parte de las emisiones de la fuente [1A1a], como la de Samalayuca II; KST Electric Power Company, Norte II; Chihuahua II (El Encino) y Energía Chihuahua, Transalta Chihuahua, que conforman casi el 90% de las emisiones de la subcategoría [1A1].

Con el cambio de política energética a nivel federal, se elimina el programa de retiro de centrales eléctricas y en cambio se planea su repotenciación u optimización. Esta política afecta al estado de Chihuahua de manera adversa porque en esta entidad se consideraba la salida de operación de dos importantes fuentes de emisión, una en el 2023 y otra en el 2028. Como consecuencia, las emisiones al 2032 presentarán un aumento significativo de 38% con respecto a la línea base y de 51% con respecto a las emisiones del 2013.

Si bien es cierto que los instrumentos federales de política en materia de cambio climático (2018 – 2024) apuntan hacia el cumplimiento de los compromisos adquiridos bajo el Acuerdo de París, en términos prácticos se está dando preferencia al aumento de capacidad de la CFE utilizando combustibles fósiles y se ha estado generando incertidumbre en el sector de manera que de facto se restringe el aumento de generación eléctrica a partir de los recursos renovables, particularmente solar y eólico.

El gobierno del estado tiene poca influencia sobre las decisiones que se toman en la CFE, por lo que para lograr una descarbonización de la matriz energética deben considerarse otras alternativas que salen del ámbito puramente técnico, como, por ejemplo:

- Desarrollo de proyectos de compensación dentro de los sistemas de comercio de emisiones
- Aplicación de recursos a proyectos con objetivos especiales

La entrada en vigor del Sistema de Comercio de Emisiones (SCE), el primero de enero de 2020, trae una gran oportunidad a los gobiernos estatales para fomentar proyectos que generen créditos de compensación en sectores no regulados (por el SCE) y apoyen a cumplir las metas de mitigación que México se ha comprometido al firmar el Acuerdo de París. Se otorga un crédito de compensación por cada tonelada de CO₂ capturada o evitada. Entre estos sectores no regulados se destacan el forestal, agrícola, ganadero y de residuos. Los proyectos de mitigación pueden realizarse siguiendo protocolos aprobados por SEMARNAT y registrándolos en el Registro Nacional de Emisiones. Los créditos de compensación generados por dichos proyectos pueden ser comprados y utilizados por las instalaciones del sector de generación eléctrica reguladas en el SCE para el cumplimiento de sus obligaciones (reducir 31% sus emisiones al 2030 respecto a las del 2013⁶³). En el Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones (DOF, 2019) se establece que estas instalaciones pueden utilizar créditos de compensación por un equivalente de hasta un 10% de sus obligaciones. De acuerdo con el tope de emisiones establecido para el subsector “generación de electricidad” en el programa de prueba del SCE, hay un potencial nacional de alrededor de 13.8 millones de créditos de compensación⁶⁴ que pudieran ser requeridos, y por ello, la importancia de que los gobiernos subnacionales apoyen proyectos para generar estos créditos. En este sentido, Chihuahua, por ejemplo, tiene el potencial de mitigación de 100 MtCO₂e en el sector ganadero, y aunque sólo se pueda lograr parcialmente esa mitigación, ciertamente es una línea de acción que debe ser tomada en cuenta por el Gobierno del Estado para generar este tipo de créditos y abonar a la meta nacional de reducción de emisiones.

Por otra parte, debe mencionarse que la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos, eólicos e incluso algunos sistemas hidroeléctricos son sistemas intermitentes de generación que no podrían por sí mismos proveer de la energía requerida por la entidad en todo momento, por ello, la generación mixta, que incluye combustibles fósiles se ha planteado como la alternativa más viable. Sin embargo, para lograr una completa descarbonización de la matriz energética, deben considerarse proyectos que actualmente ya han pasado las fases demostrativas, como los de almacenamiento de energía y los basados en hidrógeno, o los proyectos de captura de carbono que, aunque actualmente son excesivamente caros, cuentan ya con mucha investigación y desarrollo.

⁶² Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032. Secretaría de Energía. p 77.

⁶³ Ley General de Cambio Climático. Última reforma publicada DOF 06-11-2020.

⁶⁴ SEMARNAT. AVISO para el Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones. Noviembre 2019.

De acuerdo con un reporte⁶⁵ del programa de investigación y desarrollo sobre gases de efecto invernadero de la Agencia Internacional de Energía (IEA), la instalación de un sistema de captura y almacenamiento de CO₂, genera una pérdida neta de eficiencia de plantas de generación eléctrica de ciclo combinado a gas natural que va de 6.5 a 7.3% respecto a los casos sin captura. En el caso de carboeléctricas con ciclo a condiciones supercríticas, la pérdida neta de eficiencia es mayor, de 8.7 a 9.9%. Adicional a esta disminución de eficiencia, que repercute en un aumento de los costos de generación, el costo de la planta se ve fuertemente afectado por un aumento del 90-110% por la tecnología de captura. En cuanto a los costos nivelados de electricidad (LCOE), hay un aumento de un rango de 35 a 58 EUR/MWh para una carboeléctrica sin captura a uno de 67 a 106 EUR/MWh con captura de CO₂ y de manera similar para una planta de gas, pasa de 28 a 66 EUR/MWh a 48-93 EUR/MWh. Un reporte más reciente de la IEA⁶⁶, indica que dos tercios de las plantas de recuperación de CO₂ dependen de las ventas del CO₂ capturado a las operaciones de recuperación de petróleo, y que se requiere un mínimo en el precio del crudo de 60 USD/barril para cubrir los gastos de operación de las plantas de captura de CO₂. Muchas de las plantas de captura de CO₂ han tenido algún tipo de apoyo financiero por parte de los gobiernos.

Un crédito fiscal derivado de o en conjunción con una norma de emisiones podrían incentivar el desarrollo de sistemas de captura de CO₂. Por ejemplo, los créditos fiscales extendidos “45Q” han demostrado ser efectivos en estimular planes para nuevos proyectos. Los créditos fiscales 45Q aprobados por el senado de Estados Unidos en 2018⁶⁷, ofrecen, por un período efectivo de 12 años hasta 50 USD por tonelada de CO₂ almacenada permanentemente en formaciones geológicas.

La instalación de sistemas de almacenamiento de energía basados en hidrógeno puede eliminar la operación interconectada de sistemas eólicos y fotovoltaicos (con posible separación de circuitos para tener una parte conectada), con lo cual se evitan las restricciones que la administración federal está generando mediante acuerdos unilaterales. Precisamente para este tipo de proyectos se deben generar esquemas de subsidio o financiamiento blando (aplicación de recursos) para su implementación y/o desarrollo.

En el Cuadro 26 se muestran las medidas generales y las actividades específicas que pueden ser implementadas para la mitigación de gases de efecto invernadero en el estado de Chihuahua en el sector de generación de electricidad.

Como política de mitigación, el estado debe asegurarse de realizar los acuerdos, gestiones y todo lo que sea necesario para que se cumpla con el programa de retiro de centrales eléctricas que están contempladas en el PRODESEN 2018 – 2032, de manera que, por lo menos, las emisiones de la fuente [1A1a] no aumenten en dicho período.

Por otra parte, el estado en sí no tiene que realizar las inversiones para la instalación de las centrales de generación, pero sí debe sentar las bases para que se genere una libre competencia para los generadores, así como promover la instalación de más centrales de generación eléctrica con energías renovables, la generación de biogás y otras formas de almacenamiento de energía. Es una oportunidad para el estado para la promoción de empresas locales que generen empleo, beneficios sociales y riqueza en general.

Cuadro 26. Medidas generales y actividades específicas para lograr la mitigación de gases de efecto invernadero en el sector energía para el estado de Chihuahua.

	Medidas Generales		Actividades Específicas
1	Gestión ante autoridades federales	1	Gestionar que se cumpla el programa de retiro de centrales eléctricas del PRODESEN 2018 – 2032
2	Generación mediante energías limpias y renovables	1	Promover la generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables a gran escala
		2	Promover la producción de energía eléctrica a través de la generación distribuida en edificaciones en general
		3	Desarrollar esquemas de financiamiento para la adquisición de equipo fotovoltaico en hogares y en edificaciones en general
3	Investigación y desarrollo	1	Financiar y promover la implementación de sistemas de captura y almacenamiento de CO ₂
		2	Financiar y promover la implementación de sistemas de almacenamiento de energía basado en hidrógeno
4	Instrumentos de política en cambio climático	1	Apoyar proyectos de mitigación para la generación de créditos de compensación dentro del SCE
		2	Desarrollar incentivos fiscales para el desarrollo de proyectos de mitigación

Nota: Las actividades 2.2 y 2.3 se plantearon durante las consultas públicas del presente PECC.

⁶⁵ IEAGHG, “Effects of plant location on the costs of CO₂ capture”, 2018-04, Abril 2018.

⁶⁶ IEA, “Energy Technology Perspectives 2020. Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage”, septiembre 2020.

⁶⁷ Amendment to Section 45Q of the Internal Revenue Code of 1986 by the Senate of the United States. S.1535 — 115th Congress (2017-2018).

POTENCIAL DE MITIGACIÓN

En la sección anterior se identificaron algunas medidas que podrían adoptarse para que el estado de Chihuahua contribuya a las metas de mitigación comprometidas en el Acuerdo de París, pero aún más importante, que contribuya de manera trascendental a la descarbonización de la economía. En esta sección se analizan los potenciales de mitigación de las medidas citadas.

1. CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE RETIRO DE CENTRALES ELÉCTRICAS

Esta medida tiene un potencial de reducción de emisiones de 5,467 GgCO₂e/año al 2030, con respecto al escenario de línea base. Consiste en el retiro y desmantelamiento de 11 unidades de generación eléctrica que llegarán al final de su vida útil en el 2023 y en el 2028. Aunque en sí no es una medida de mitigación en el estricto sentido de la palabra, se considera como tal por el replanteamiento de repotenciar estas unidades bajo la nueva política energética. De llevarse a cabo la nueva estrategia, la reducción de emisiones mencionada no va a ocurrir, y por el contrario las emisiones aumentarían. La tendencia mundial de descarbonización de las economías apunta hacia objetivos con metas que cambian la matriz de generación de energía eléctrica a tecnologías como la eólica, la solar y los biocombustibles. Los generadores que usan tecnologías tradicionales tienen la mejor oportunidad de recortar costos, reducir las emisiones y volverse rentables mediante la racionalización de la capacidad, el ajuste de las carteras de generación de energía y, en última instancia, el cierre de plantas de energía menos eficientes y con emisión neta de GEI. Las termoeléctricas con un promedio de más de 30 o 40 años de servicio se mantienen activas con utilidades marginales y, además, deben pagar altos costos de operación y mantenimiento. Este perfil no es sostenible indefinidamente.

Los costos de desmantelamiento y demolición son relativamente bajos (alrededor de 10 USD/kW, sin incluir gastos por remediación del sitio, ni recuperación por venta de chatarra) comparados con el costo de repotenciación o reinstalación. Los costos por repotenciación son similares a los costos de instalación de una nueva planta⁶⁸ (hasta 1,000 USD/kW para el caso de ciclo combinado con turbina de gas, que es una de las tecnologías con menores emisiones y gastos de operación).

Por otra parte, el desmantelamiento de centrales eléctricas anticuadas es un paso esencial en el proceso de modernización de la infraestructura básica. Este es uno de los pasos que requieren más tiempo para planificar. A menudo surgen complicaciones con los permisos de cierre, que abordan problemas ambientales de suelo y subsuelo, así como en instalaciones auxiliares, con actividades que se caracterizan por plazos inciertos de terminación. Cualquier acción contemplada puede tardar años en implementarse por completo.

El cierre de las plantas consideradas en el Cuadro 24, se estima en 12.2 millones de dólares. Como referencia, se puede mencionar que la repotenciación de la central de ciclo combinado Francisco Pérez Ríos (Tula) que pasó de 489 MW a 550 MW tuvo una inversión de 323 millones de dólares, que resulta en un índice de 587.41 USD/kW, iniciando construcción el 2/2/2015 y entrando en operación el 15/4/2020⁶⁹ (estimación). Por lo tanto, lograr el potencial de mitigación de 5,467 GgCO₂e/año cerrando las plantas del Cuadro 24, tendría un costo de abatimiento de 2.23 USD/tCO₂.

2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A PARTIR DE RECURSOS RENOVABLES A GRAN ESCALA

El potencial de generación eléctrica en Chihuahua es uno de los más altos del país (ver Figura 24⁷⁰). De acuerdo con una publicación⁷¹ en la que se reporta sobre la elaboración de un modelo de geoprocesamiento capaz de identificar 8,660 km² con alto potencial fotovoltaico (mayor a 650 kWh/m²/año), el estado de Chihuahua requeriría sólo 23.74 km² para satisfacer plenamente su demanda de generación eléctrica. Cálculos más conservadores indican que se requerirían 34 km² que aun así es un área mucho menor que la identificada como de alto potencial. Este recurso por lo tanto debería ser aprovechado ampliamente. Actualmente ya es técnicamente factible instalar grandes plantas de generación fotovoltaica (>100 MWp). El costo para este tipo de instalaciones puede llegar a ser de menos de 0.75 USD/W, y sus costos de operación y mantenimiento son muy bajos (<12 USD/kW año)⁷². Los sistemas fotovoltaicos son intermitentes, pues sólo generan electricidad cuando la radiación sobrepasa cierto umbral. Por ello no son una fuente que reemplace completamente a otros tipos de generación basados en sistemas más controlables. Para lograr esto, se requeriría agregar algún tipo de almacenamiento de energía.

⁶⁸ Malley, E. and Zarider, D. "Decomisioning Obsolete Power Plants". TRC solutions.

⁶⁹ Comisión Federal de Electricidad (CFE) Informe Anual 2019.

⁷⁰ Inventario Nacional de Energías Limpias <https://dgel.energia.gob.mx/inel/index.html>

⁷¹ Nevárez-Rodríguez, M. C., y otros, 2016. Modelado del potencial

fotovoltaico del estado de Chihuahua. TECNOCENCIA Chihuahua. 10(3):154-160

⁷² INEC (2016) Estudios de Cadenas de Valor de Tecnologías Seleccionadas Para Apoyar la Toma de Decisiones en Materia de Mitigación en el Sector de Generación Eléctrica y Contribuir al Desarrollo de Tecnologías.

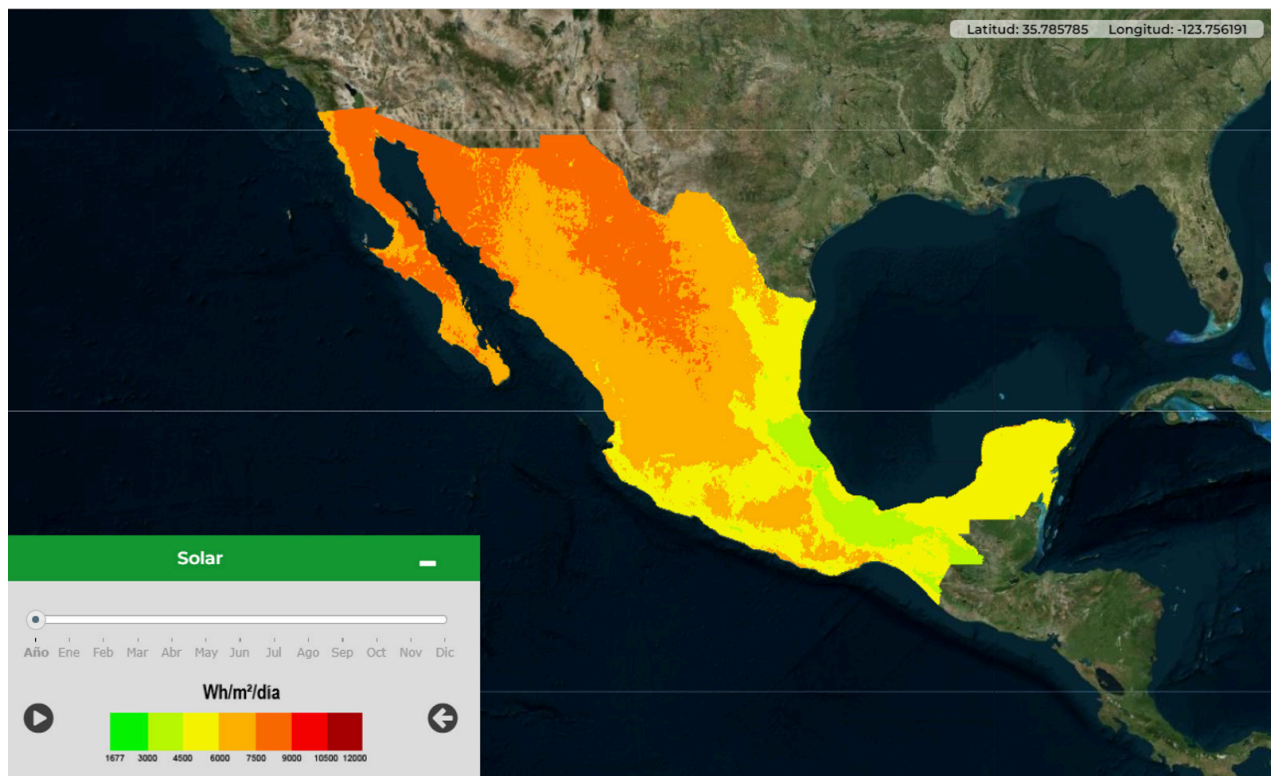


Figura 24. Potencial del recurso solar, promedio anual.

Fuente: SENER: Inventario Nacional de Energías Limpias

Aún bajo condiciones de libre mercado (que la reforma energética de 2013 garantizaba) los proyectos de generación fotovoltaica a gran escala son apenas rentables a los precios ofertados en las subastas de largo plazo (SLP), pues tienen que competir contra proyectos con tecnologías convencionales (típicamente ciclos combinados) que generan electricidad a muy bajo costo. Por este motivo, solo los gigantes de la industria eléctrica podrían ofertar energía fotovoltaica en las subastas de largo plazo. Aun así, una oferta bien planteada debería incluir excedentes importantes de energía no comprometida en el contrato de la SLP bajo una estrategia bien analizada y estructurada para optimizar las fuentes de ingresos. Un generador que participa en las subastas cuenta con varias opciones para obtener ingresos adicionales por sus excedentes:

- **Entrega al Comprador** – cualquier excedente sobre la energía contratada podrá ser adquirida por el comprador al precio que corresponda al PML Promedio Mensual Ponderado de las horas de inyección a lo largo del año.
- **Venta en el Mercado de Corto Plazo** – La energía excedente se valoriza al PML Horario del nodo de inyección.
- **Contrato Bilateral** – La energía excedente se valoriza al precio del PPA y con las condiciones comerciales del mismo.

Un proyecto adjudicado en la última subasta de largo plazo tiene las características mostradas en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Características de proyecto de SLP.

Concepto	Unidades	Valor
Tipo de contrato		Subasta de Largo Plazo
Potencia instalada	MWp	198.77
Horas solar pico	h/day	5.2322
Generación	GWh/yr	379.6
Certificados de energía limpia	CEL/yr	434,486.0
Superficie	ha	500
Inversión	USD	\$ 146,000,000.00
Período de venta de energía	yr	15
Período de venta de CELs	yr	20
Inicio de operaciones	Date	18-ene-19
Tipo de cambio	MXP/USD	22.10
Ventas de energía	USD/yr	\$ 7,149,167.23
Certificados de energía limpia	USD/yr	Incluidos en paquete
Costo de instalación	USD/W	0.73

En la Figura 25 se muestra un análisis económico simplificado de este proyecto.

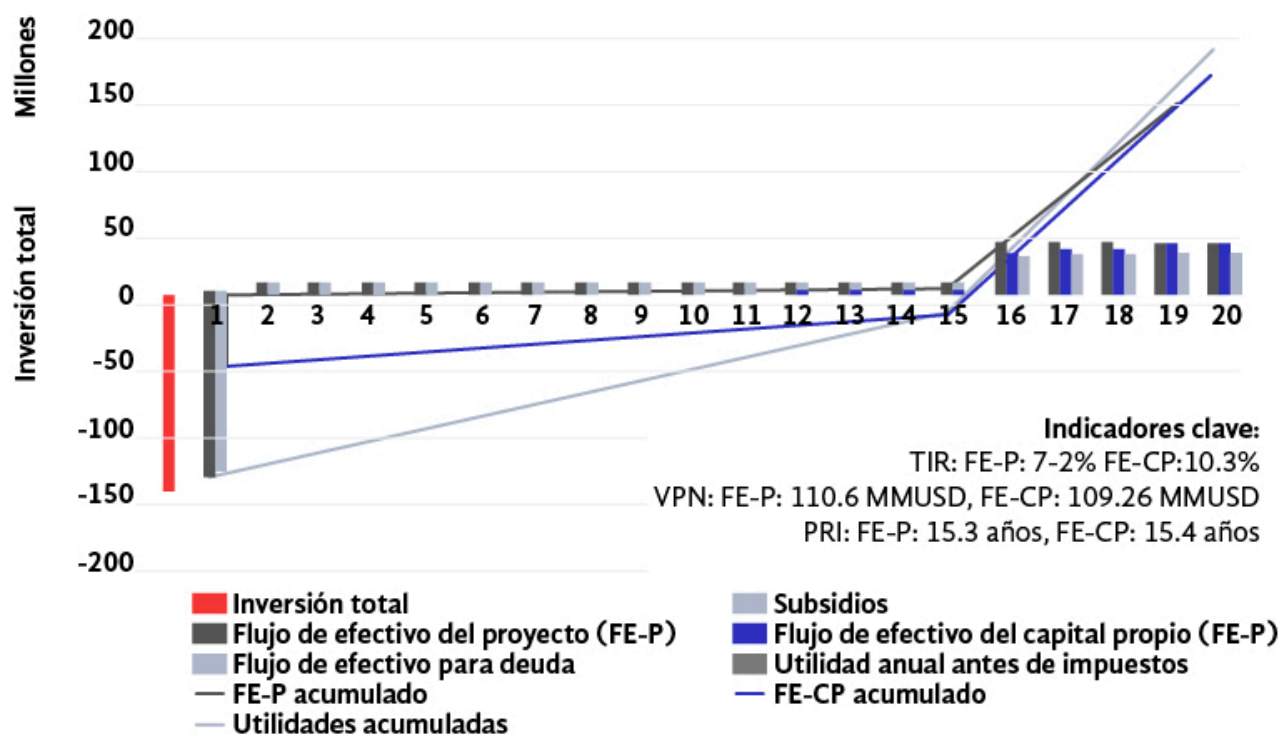


Figura 25. Flujos de efectivo resultantes del análisis económico simplificado de un proyecto participante en la SLP (USD @ VPN)

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores se calcularon bajo las siguientes suposiciones:

- Se supone que el contrato de la SLP es por el paquete de venta de energía (MWh) por 15 años más certificados de energía limpia (CEL) por 20 años, considerando 1 CEL = 1 MWh de energía limpia, con el factor de ajuste horario tomado en consideración en el precio.
- Se considera que la diferencia entre los CEL ofertados y la generación comprometida es energía excedente que se vendería mediante un PPA en un contrato bilateral a razón de 1.77 MXP/kWh, sin incluir productos con tarifa regulada (transmisión, servicios conexos y operación del MEM). El excedente de energía es el 12.6% de la energía comprometida en la SLP.
- Los servicios de operación y mantenimiento incluyen limpieza de los módulos, pintura, mantenimiento del sitio, comprobación de las instalaciones eléctricas, reparaciones estructurales y verificaciones de las medidas de seguridad, así como

la inspección de todos los componentes de la planta por fallas mecánicas, la comprobación del sistema de medición, seguridad y transmisión, y el cambio de los inversores al final de su vida útil, lo que representa el 17% de la inversión total.

- Se supone que el financiamiento se contrató en una entidad financiera europea que ofrece tasas de interés muy bajas (2%) en comparación con las que se ofrecen en México, con una cobertura de riesgo cambiaria.

COMENTARIOS DEL ANÁLISIS

El resultado final del proyecto es positivo con una tasa interna de retorno (IRR) del 7.2% para el proyecto y de 10.3% para capital propio. El valor presente neto es muy positivo arriba de los 110 millones de dólares. Sin embargo, el período de recuperación de la inversión (PBT) es un tanto largo, de 15.5 años, lo que aumenta el riesgo de la inversión. La tasa de cobertura del crédito es de 3.03 con un mínimo de 1.3 lo que indica que se podrá cumplir con las obligaciones del crédito, pero igualmente con un riesgo mayor (ver Figura 26).

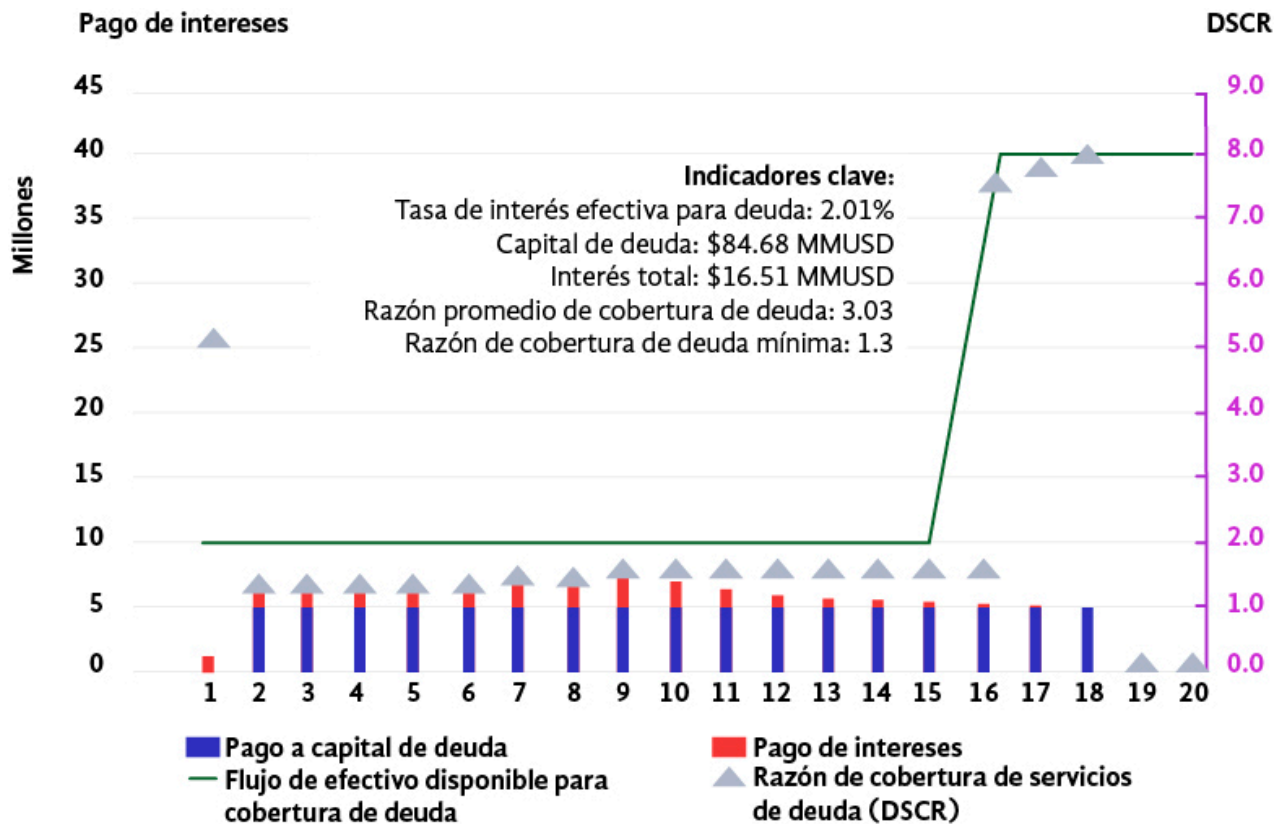


Figura 26. Indicadores de los servicios de deuda del análisis económico simplificado de un proyecto participante en la SLP (USD @ VPN)

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, las utilidades antes de impuestos promedian 8.35 millones de dólares por año, aunque las utilidades realmente se presentan en los últimos cinco años del proyecto. Cabe mencionar que puede reducirse el tiempo de recuperación de la inversión vendiendo acciones (hasta un 50%) en diferentes momentos de la vida del proyecto (desarrollo, construcción y operación y mantenimiento), lo cual permite hacer más inversiones y diversificar el portafolio de inversión.

Como puede verse, este tipo de proyectos sólo son atractivos a largo plazo, para organizaciones que no requieren que su capital reditúe de inmediato y que pueden aguantar niveles de operación con flujo de efectivo negativo por más de 10 años. El nivel de riesgo en el pago de la deuda es alto, sin embargo, dadas las bajas tasas de interés que se pueden llegar a contratar en Europa y dado que los ingresos están respaldados por un contrato con un gobierno federal, se puede asumir ese riesgo. Adicionalmente, la rentabilidad del

proyecto depende fuertemente de la venta de excedentes de la energía no comprometida en la subasta de largo plazo. Por su parte, la negociación de la venta de excedentes depende del momento y las condiciones prevalecientes del mercado. Entre las condiciones de mercado más importantes están las tarifas eléctricas. La Figura 27 muestra un histórico de las tarifas de generación cobradas por CFE, y establecidas por la CRE. La tarifa DAC es para usuarios domésticos cuyo consumo es elevado, pero no al grado del consumo de los usuarios comerciales, y su compromiso a largo plazo no es tan seguro. La tarifa 1B también es para usuarios domésticos, mientras que la tarifa HM tiene el inconveniente de ser alta en horario punta, pero relativamente baja fuera de ese horario, justo en el momento de la generación fotovoltaica. La venta del exceso de energía del proyecto analizado no podría negociarse a un precio suficiente para hacerlo rentable con usuarios en estas tarifas.

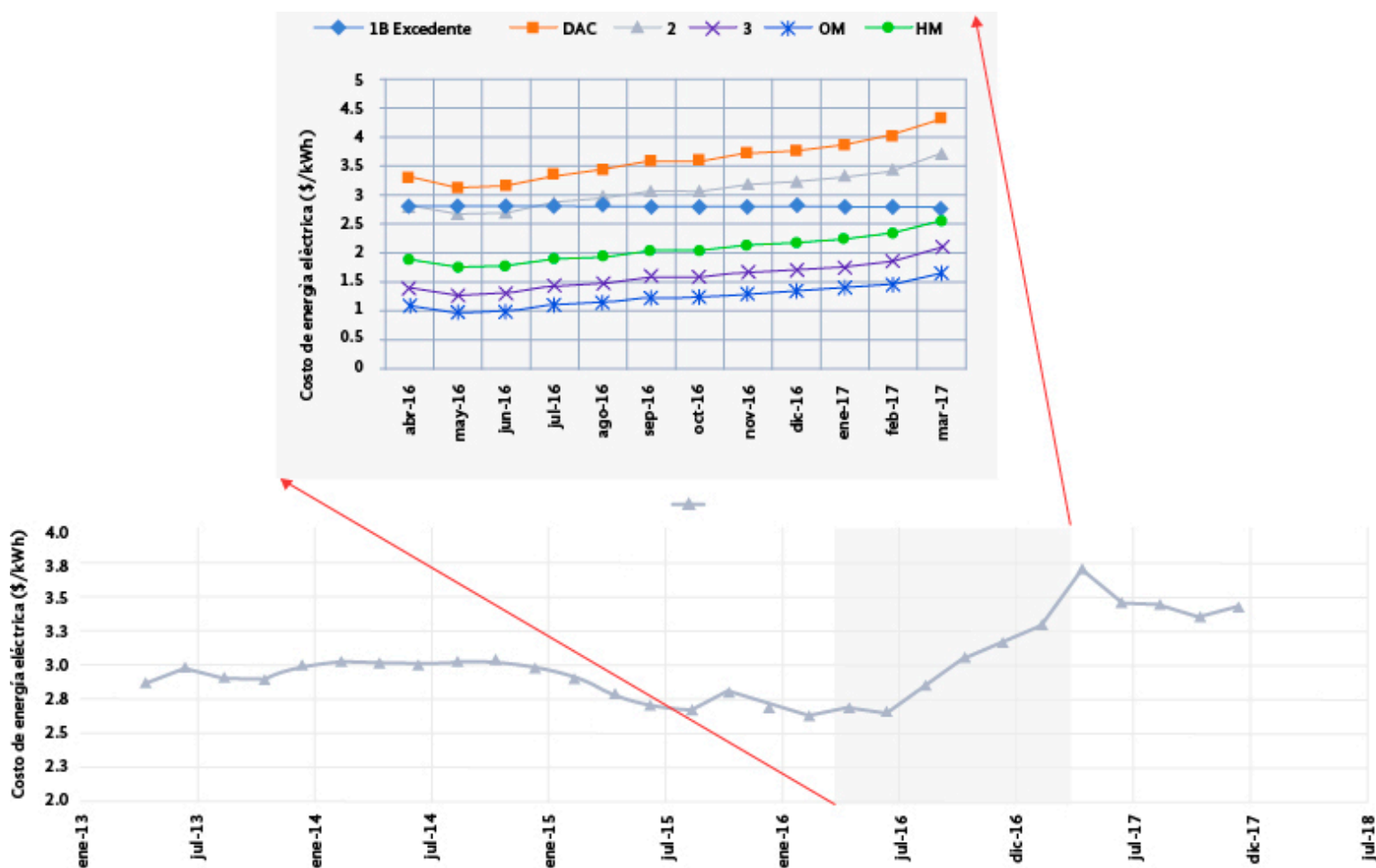


Figura 27. Evolución tarifaria de la energía eléctrica⁷³

Fuente: Elaboración propia con datos de CFE y Concha-Sánchez et al. (2017)

⁷³ Concha-Sánchez et al. (2017). Inclusión de sistemas fotovoltaicos interconectados en tarifas eléctricas para servicios domésticos y generales menores a 25 Kw. Revista de Aplicación Científica y Técnica. 2017, 3-10: 29-36.

Los PPA's que respaldan el proyecto analizado en la Figura 27 probablemente se negociaron para usuarios comerciales y de servicios con tarifa 2. Las bases de la SLP correspondiente a ese proyecto fueron emitidas a principios de mayo del 2017, cuando la tarifa 2 llevaba casi 1 año aumentando continuamente, y había presentado un incremento aun mayor de febrero a marzo de ese año (ver Figura 27). Para un usuario comercial en tarifa 2, pasar de un costo en aumento continuo de \$160 USD/MWh bajo el contrato con CFE, a uno fijo de \$80 USD/MWh bajo un PPA con un generador que usa tecnología fotovoltaica, parece muy atractivo (160 USD/MWh = 3.55 MXP/kWh al tipo de cambio usado en el contrato de la SLP). Incluso si se observa la tendencia de 5 años de esta tarifa (ver Figura 27) se puede ver que la tarifa 2 de la CFE va en aumento, lo que convencería a muchos usuarios con dicha tarifa a suscribir un PPA con precio fijo.

La conclusión de esta discusión es que los proyectos fotovoltaicos no pueden competir todavía a las condiciones de las SLP, ni siquiera tomando en cuenta los CEL, a menos que se tome ventaja de la venta de excedentes a usuarios que actualmente estén pagando tarifas penalizadas de CFE. Por lo tanto, la manipulación de las tarifas por CFE representa un riesgo y una limitación al potencial de reducción de emisiones de GEI mediante la generación eléctrica con sistemas fotovoltaicos

a gran escala. De acuerdo con el reporte de desempeño de la CFE, en el 2014 la energía consumida a nivel nacional por usuarios en tarifa PDBT (antes tarifa 2) fue de 12,274 GWh (5.9% del consumo nacional total)⁷⁴. Para 2017, el consumo de todos los usuarios en tarifa PDBT aumentó a 13,432 GWh, y en Chihuahua ese año fue de 349 GWh⁷⁵. Esto sería el excedente de energía que una planta SFV tendría que generar bajo el modelo de negocio utilizado para el caso de estudio cuyos resultados se muestran en la Figura 25. Por lo tanto, las plantas de generación fotovoltaica se tendrían que diseñar para generar 2,800 GWh en números redondos (12.5% de 2,800 GWh son 350 GWh), lo que equivaldría a aproximadamente 6.4 veces la capacidad de la planta cuyo análisis se presenta en la Figura 25, es decir aproximadamente 1,500 MWp. En las últimas tres subastas, se ha contratado un total de 1,112 MW con tecnología solar en la región Norte⁷⁶ (que incluye Chihuahua), por lo que solamente quedarían unos 400 MW (765 GWh/año) a ser instalados bajo este esquema de participación en SLP con venta de un 12.5% de exceso de energía mediante un PPA a usuarios de tarifa PDBT (antes tarifa 2). También cabe mencionar que el precio promedio de la energía eléctrica ha venido disminuyendo con cada SLP, por lo que los modelos de negocio se tienen que ir ajustando para lograr competitividad frente a las otras tecnologías participantes.

Cuadro 28. Extracto de resultados de las subastas de largo plazo, totales nacionales.

	Unidades	SLP 01/2015	SLP 01/2016	SLP 01/2017
Capacidad total	GW	2.1	4.0	2.7
Solar	GW	1.7	1.9	1.9
Precio promedio	USD/(MWh+CEL)	53.62	32.60	21.02

Fuente: Bancomext (2018)⁷⁷

El primer parque solar de gran escala que se instaló en Baja California Sur, sin subsidios ni piso en el precio de la energía, contrató su energía con base en un precio de \$238 USD/MWh.

Finalmente, para realizar una comparación de los costos marginales de mitigación, se considera como tecnología de referencia el ciclo combinado. En el Cuadro 29 se muestran los resultados del costo nivelado de la energía (LCOE) para el proyecto analizado y para la tecnología de referencia.

⁷⁴ SENER (2014) Informe pormenorizado del desempeño y las tendencias de la industria eléctrica.
⁷⁵ Iniciativa Climática de México, A.C. e Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (2018) Estudio de mercado de tecnología solar

fotovoltaica distribuida para MiPyMEs
⁷⁶ Bancomext (2018) Modelos de negocio para la generación de electricidad con energías renovables en México.
⁷⁷ Idem

Cuadro 29. Costos nivelados de generación.

Central	Capacidad por unidad (MW)		Costos a valor presente (USD/MWh)			
	Bruta	Neta	Inversión	Combustible	O&M	Total
Ciclo combinado gas [1]	833.6	710.4	\$ 14.28	\$ 38.84	\$ 5.54	\$ 58.67
Solar fotovoltaica [2]	227.5	227.5	\$ 19.86	—	\$ 3.03	\$ 22.89

Nota: Para la central de ciclo combinado se consideran 2 turbinas de gas por una turbina de vapor

[1] CENACE (2016) Informe de Tecnología de Generación de Referencia

[2] Estimación propia con base en resultados de la 3ª SLP

Como puede observarse, los costos de inversión son menores para la central de ciclo combinado, que para la instalación SFV, pero los gastos de operación, mantenimiento y consumo de combustible son mucho mayores para el caso de la central de ciclo combinado que para el de la SFV. Esto causa que el costo nivelado de energía sea menor para la tecnología solar fotovoltaica que para la central de ciclo combinado con gas natural.

Suponiendo una eficiencia de 50.8% (Cuadro 20), y un factor de emisión consolidado de 208.1 Mg/GWh (Cuadro 22), se estima que las emisiones de GEI liberadas por la generación de 765 GWh mediante una central de ciclo combinado serían alrededor de 313 Gg CO₂e/año. Se considera que estas emisiones serían evitadas en su totalidad si la electricidad se genera con plantas SFV, puesto que éstas no liberan emisiones en su etapa de operación y, por lo tanto, ese es el potencial de mitigación con esta opción.

El costo marginal de abatimiento, C_{ma} (USD/tCO₂e), por generación eléctrica con respecto a la tecnología elegida de referencia, es decir, la de ciclo combinado, se calculó con la siguiente fórmula:

$$C_{ma} = \frac{C_{ta} - C_{ref}}{E_{ref} - E_{ta}}$$

Donde:

C_{ta} es el costo de generación utilizando la tecnología de abatimiento (USD/MWh)

C_{ref} es el costo de generación utilizando la tecnología de referencia (USD/MWh)

E_{ta} son las emisiones de GEI con la tecnología de abatimiento (tCO₂e/MWh)

E_{ref} son las emisiones de GEI con la tecnología de referencia (tCO₂e/MWh)

El costo marginal de abatimiento por generación eléctrica mediante energía SFV resulta de -87 USD/tCO₂e.

3. PROMOVER LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ELECTRICIDAD

Análisis similares al realizado en el punto anterior indican que los sistemas fotovoltaicos para generación distribuida no son siempre rentables. Por ejemplo, los usuarios domésticos en tarifa DB1 (antes Tarifa 1) reciben un subsidio por parte del gobierno federal de manera que su gasto en energía eléctrica es extremadamente bajo, por lo cual la generación distribuida con sistemas fotovoltaicos queda fuera de este mercado. Los sistemas fotovoltaicos son más rentables para el mercado de usuarios con tarifas DAC y GDMTH. El consumo eléctrico histórico de usuarios en Chihuahua con contratos bajo estas tarifas se muestra en la Figura 28. Se observa una ligera disminución del consumo de la tarifa DAC a lo largo de los años, lo cual refleja la tendencia de los usuarios a optimizar su consumo o su necesidad de salir de esa tarifa. Por el contrario, el crecimiento económico seguramente es el motor que impulsa un crecimiento del consumo de usuarios en la tarifa GDMTH.

⁷⁸ Las tarifas que se mencionan aquí corresponden a las definidas por la Comisión Reguladora de Energía, en su Acuerdo A/058/2017. DB1 – Doméstico en Baja Tensión, consumiendo hasta 150 kWh mensualmente, DB2 – Doméstico en Baja Tensión, consumiendo más de 150

kWh mensualmente; GDMTH – Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Media Tensión Horaria, antes HM, HMC o Tarifa 6.

⁷⁹ Idem.

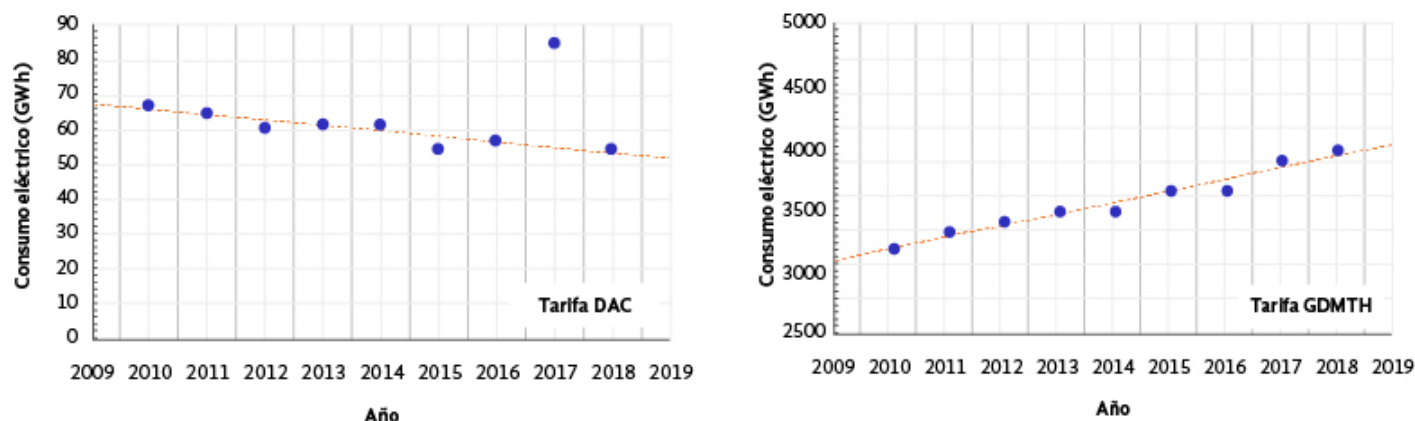


Figura 28. Consumo de electricidad en el estado de Chihuahua (tarifas DAC y GDMTH)⁸⁰

Para la estimación del potencial de mitigación por la implementación de generación distribuida se consideró, a partir de las tendencias mostradas, que el consumo eléctrico para tarifa DAC es de alrededor de 50 GWh, mientras que para tarifa GDMTH es de 4,000 GWh. Las emisiones correspondientes si se generaran con la matriz energética actual, con un factor de emisión de 0.505 tCO₂e/MWh serían de 25,250 MgCO₂e para DAC y poco más de 2 millones de MgCO₂e para GDMTH (ver Cuadro 30). Se puede ver que el potencial de mitigación para tarifa GDMTH es 80 veces mayor que para DAC.

El costo de abatimiento por generación distribuida para ambas tarifas se estimó mediante la comparación de los costos de generación a lo largo de la vida útil de un sistema fotovoltaico, incluyendo costos de inversión, financiamiento, operación y mantenimiento a valor presente neto con los costos tendenciales de seguir comprando la electricidad a CFE Suministro Básico ("business as usual"). Se tomaron dos casos de estudio reales cotizados por una empresa comercial de instalación de sistemas fotovoltaicos con los parámetros mostrados en el Cuadro 31.

Cuadro 30. Potencial de mitigación por generación distribuida para usuarios de tarifa DAC y GDMTH del estado de Chihuahua.

Concepto	Unidades	Valor
Factor de emisión	tCO ₂ e/MWh	0.505
Consumo eléctrico de usuarios en tarifa DAC	GWh	50
Consumo eléctrico de usuarios en tarifa GDMTH	GWh	4,000
Potencial de mitigación por generación distribuida para usuarios en tarifa DAC	tCO ₂ e	25,250
Potencial de mitigación por generación distribuida para usuarios en tarifa GDMTH	tCO ₂ e	2,020,000

Fuente: Elaboración propia.

⁸⁰ CFE (2018). Consumo de electricidad por municipio - Dirección de Suministro Básico Usuarios y Consumo por Municipio. <https://consultapublicamx.inai.org.mx/vut-web/faces/view/consultaPublica.xhtml#inicio> (29/01/2021).

La diferencia de escalas entre los proyectos se puede observar en las condiciones de financiamiento, con mejores tasas de interés y mayor participación financiera, así como en el menor costo unitario de instalación para el caso GDMTH que para el caso DAC. Sin embargo, se observan mejores tasas de retorno para el sistema DAC (38%-44%) que para el sistema GDMTH (30%-37%). Los tiempos de retorno también son mejores para el sistema DAC (3.7 – 4.6 años) que para el sistema GDMTH (4 – 5 años), lo que probablemente se debe al excesivo precio de la energía bajo tarifa DAC.

Los resultados del análisis económico-financiero de los casos de estudio se resumen en el Cuadro 32 y se presentan gráficamente en la Figura 29 para el caso de tarifa GDMTH y en la Figura 30 para el caso de la tarifa DAC. Ambos proyectos muestran buenos parámetros de inversión, por ejemplo, para el caso de tarifa GDMTH una tasa interna de retorno de 30% y períodos de recuperación de 4 años para el inversionista y de

5 años para el propietario, mientras que para el caso de tarifa DAC, una tasa interna de retorno de 38% y de 3 años 9 meses para el inversionista y de poco más de 4 años y medio para el propietario. En ambos casos, el valor presente neto es positivo representando más del 160% de la inversión total, pero 434% de la inversión de capital propio para el caso de tarifa GDMTH y 974% para el caso de tarifa DAC. Tal vez el único problema en este tipo de inversión ocurre en los primeros dos años por el gran desembolso que se tiene que hacer, con relativamente bajos ingresos. Esto hace mayor el riesgo en el pago de la deuda al inicio del proyecto, con valores de la razón de cobertura de la deuda siendo mínimos en este período del proyecto, de alrededor de 1. Para respaldar el pago de la deuda en los primeros dos años del proyecto, se debería poder contar con una suma adicional de capital, que bien podría provenir de subsidios o apoyos de programas gubernamentales, que es otra de las medidas de mitigación que surgieron de las consultas públicas.

Cuadro 31. Especificaciones de los casos de estudio de generación distribuida.

	Unidades	GDMTH	DAC
Comienzo	Año	1	1
Terminación	Año	25	25
Construcción	Mes	4	1
Capacidad	kWp	499.38	2.91
Generación específica	kWh/kWp año	1,595.55	1,430.80
Tarifa de generación	MXP/kWh	\$ 1.33	\$ 4.55
	USD/MWh	\$ 67.16	\$ 226.30
Aumento de precio tarifa	%/año	3%	3%
CAPEX sin IVA	USD	\$ 334,000.00	\$ 3,660.00
OPEX	USD/año	\$ 67.22	\$ 226.28
Aumento de precio OPEX	%	2%	2%
Otros gastos de mantenimiento	USD	\$ 79,924.28	\$ 872.35
Prestamo I			
Participación financiera %	%	60%	70%
Tasa de interés anual %	%	9%	15%
Pagos al año	Número/año	1	1
Capital propio	%	40%	30%
Interés anual para capital propio	%	7%	7%
Subsidios: 30% depreciación acelerada	USD	\$ 100,200.00	\$ -
Horas sol efectivas	hr/día	4.37	3.92
Generación anual	kWh/año	796,788	4,164
Tipo de cambio	MXP/USD	\$ 19.79	\$ 20.11
Consumo Estimado Anual	kWh/año	1,687,728	4,135
Porcentaje de cobertura	%	47%	101%
Costo unitario de instalación	USD/W	\$ 0.67	\$ 1.26

Cuadro 32. Resumen de resultados de los casos de estudio de generación distribuida.

	Unidades	GDMTH		DAC	
		Flujo de efectivo		Flujo de efectivo	
		del proyecto	del capital propio	del proyecto	del capital propio
Duración del proyecto	años	25		25	
Inversión total	USD	\$ 334,000.00		\$ 3,660.00	
Capital propio	USD	-	\$ 133,600.00	-	\$ 1,098.00
Deuda	USD	-	\$ 200,400.00	-	\$ 2,562.00
Flujo acumulado del proyecto	USD	\$ 1,629,531.62	\$ 1,575,423.62	\$ 29,818.16	\$ 28,665.26
Tasa de interés para descuento	%	7.9% [1]	7.0% [2]	12.6% [1]	7.0% [2]
Valor presente neto	USD	\$ 538,593.99	\$ 580,224.47	\$ 5,989.89	\$ 10,689.67
Tasa interna de retorno	%	30%	37%	38%	44%
Periodo de retorno	años	4.1	5.0	3.7	4.6
		Duración total	Promedio anual	Duración total	Promedio anual
Flujo acumulado del proyecto	USD	\$ 1,629,531.62	\$ 65,181.26	\$ 29,818.16	\$ 1,192.73
Flujo acumulado del capital propio	USD	\$ 1,575,423.62	\$ 63,016.94	\$ 28,665.26	\$ 1,146.61
Inversión total	USD	\$ 334,000.00	-	\$ 3,660.00	-
Ingresos	USD	\$ 2,046,362.42	\$ 81,854.50	\$ 34,350.51	\$ 1,374.02
Gastos	USD	\$ 470,938.80	\$ 18,837.55	\$ 5,685.25	\$ 227.41
Ganancias antes de impuestos	USD	\$ 1,575,423.62	\$ 63,016.94	\$ 28,665.26	\$ 1,146.61
		Indicadores de deuda		Indicadores de deuda	
Tasa de interés efectiva de la deuda	%	9%		15%	
Préstamo	USD	\$ 200,400.00		\$ 2,562.00	
Total de intereses	USD	\$ 54,108.00		\$ 1,153.00	
Razón de cobertura en el periodo de deuda	-	3.89		3.77	
Razón de cobertura mínima	-	1.0		1.1	

Notas: [1] Promedio ponderado del costo de capital [2] Tasa de interés del capital propio

Fuente: Elaboración propia

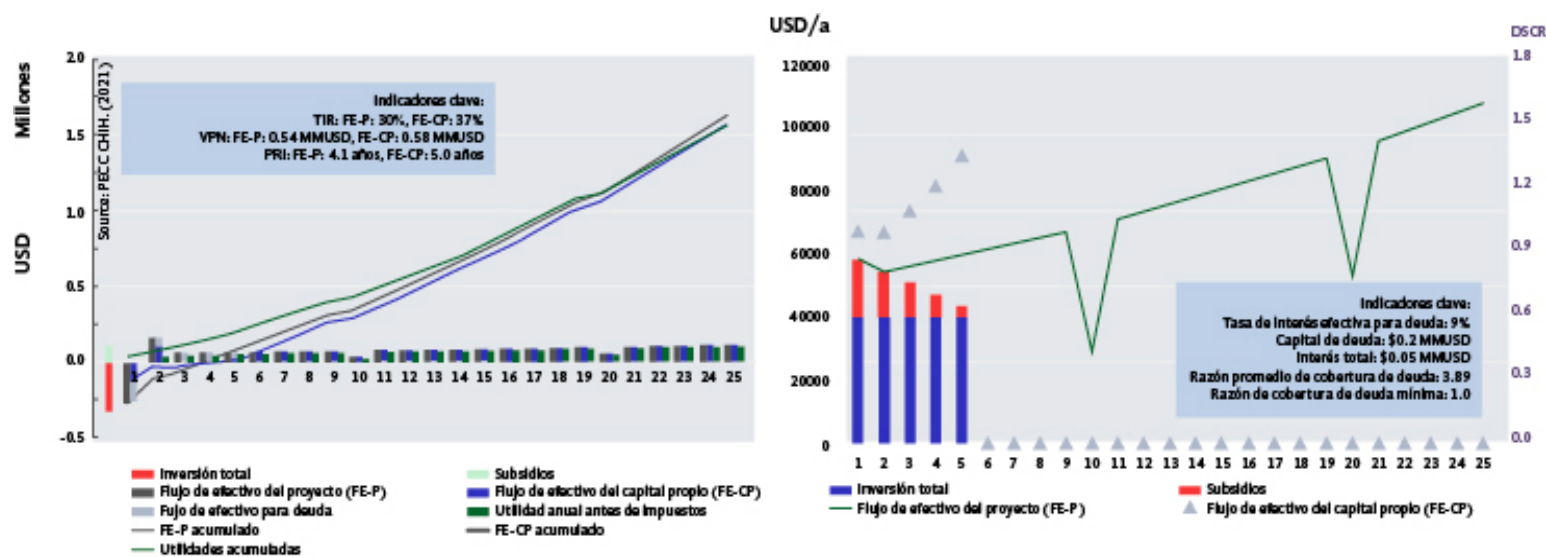


Figura 29. Diagramas de análisis financiero – generación distribuida para usuarios en tarifa GDMTH.

Fuente: Elaboración propia

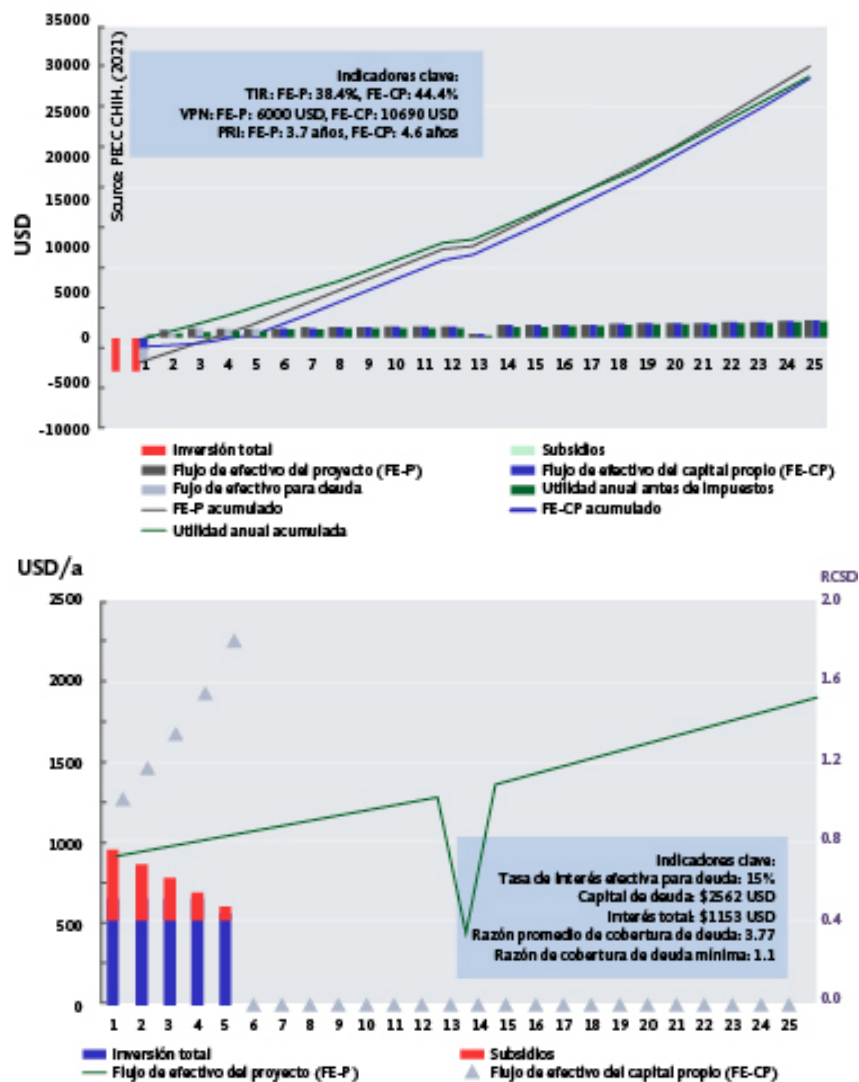


Figura 30. Diagramas de análisis financiero – generación distribuida para usuarios en tarifa DAC.

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del costo de abatimiento por generación distribuida con sistemas fotovoltaicos para usuarios en tarifas DAC y GDMTH, se utilizaron valores derivados de los análisis financieros descritos anteriormente. Los parámetros y el costo de abatimiento se muestran en el Cuadro 33.

Como era de esperarse, y en concordancia con otras evaluaciones⁸¹, el costo marginal de mitigación es muy favorable como para apoyar e incentivar este tipo de proyectos. Sin embargo,

dependiendo principalmente de las disposiciones tarifarias, los proyectos pueden ser rentables o no. Por ejemplo, si en algún momento el gobierno decide eliminar subsidios a tarifas domésticas, será necesario apoyar a usuarios con esta tarifa para solventar las inversiones iniciales y poder recuperar esos apoyos a lo largo de la vida útil de los proyectos.

⁸¹ Ver, por ejemplo, INECC-PNUD México (2017). Rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) del sector industria en México.

Cuadro 33. Costo marginal de abatimiento por generación distribuida.

Factor	Unidades	GDMTH	DAC
Generación	kWh/año	796,788.00	4,685.00
Tasa de descuento	%	5%	3%
Tipo de cambio	MXP/USD	19.7870	20.1075
Duración del sistema	años	25.00	25.00
Tecnología de referencia		Generación mixta CFE	
Emisiones	tCO ₂ /año	124.62	2.20
Tarifa	MXP/kWh	\$ 1.33	\$ 4.55
Precio Unitario (VPN)	USD/MWh	\$ 40.68	\$ 162.34
Tecnología de mitigación		Generación Distribuida	
Inversión inicial	USD	\$ 435,732.75	\$ 4,532.35
Total (VPN)	USD	\$ 580,224.47	\$ 10,690.00
Costo de Generación (VPN)	USD/MWh	\$ 29.13	\$ 91.27
Emisiones	tCO ₂ /año	0.00	0.00
Costo Marginal de abatimiento	USD/tCO ₂ e	-\$ 73.86	-\$ 151.35

Fuente: Elaboración propia

4. FINANCIAR Y PROMOVER LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂

El mercado eléctrico mayorista actualmente maneja una serie de productos de la industria eléctrica entre los que figuran la generación eléctrica acumulable, los certificados de energía limpia y la potencia. En las subastas de largo plazo se ofertaron estos tres productos, resultando ganadores un buen número de proyectos de generación por energías renovables, principalmente solar y eólica. Sin embargo, estas tecnologías no garantizan la oferta de potencia en todo momento ya que dependen de la disponibilidad del recurso solar o del viento, que son intermitentes. Las tecnologías renovables no generan potencia como las fósiles, las cuales no necesariamente deben estar generando para comprobar su disponibilidad de potencia. Por esta razón se ha considerado que la matriz de generación eléctrica debe contar con la participación de generadores que sí puedan garantizar potencia en todo momento, para cuándo esta sea requerida. Las tecnologías basadas en com-

bustibles fósiles sí pueden garantizar potencia, pero a costa de la emisión de gases de efecto invernadero. Un sistema de generación con emisiones prácticamente nulas requiere de una transformación profunda en la forma en que se produce y utiliza la energía que solo se puede lograr con un amplio conjunto de tecnologías. Junto con la electrificación, el hidrógeno y la bioenergía sostenible, la captura y almacenamiento de CO₂ seguramente desempeñará un papel importante. Es el único grupo de tecnologías que contribuye tanto a reducir las emisiones en sectores clave directamente como a eliminar el CO₂ para equilibrar las emisiones que no se pueden evitar, una parte fundamental de las metas netas cero.

En el reporte especial sobre captura, utilización y almacenamiento de Carbono de la Agencia Internacional de Energía (IEA), se resalta que, para lograr el escenario de desarrollo sustentable de la IEA (ver Figura 31), con emisiones netas nulas para el 2070, esta tecnología se debe focalizar en adaptación a plantas existentes y a la producción de hidrógeno.

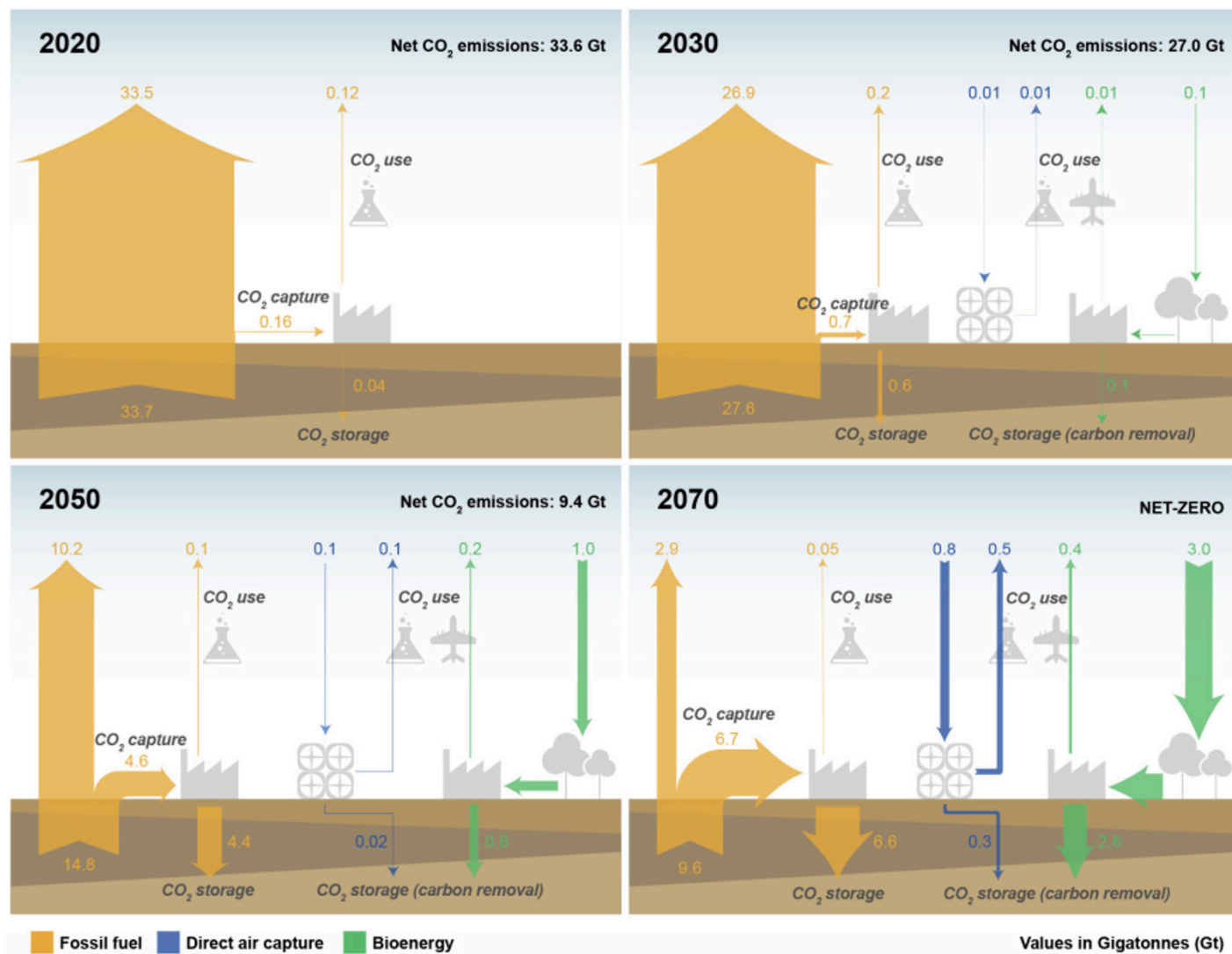


Figura 31. Plan de Desarrollo sustentable de la IEA

Fuente: IEA (2020)⁸²

En las últimas décadas se han venido desarrollando procesos de captura y almacenamiento de CO₂ que pueden eliminar las emisiones que de otra forma serían liberadas a la atmósfera durante la generación eléctrica. En otros sectores industriales, la captura y utilización de CO₂ ya se aplica exitosamente, como en la producción de fertilizantes y el procesamiento de gas natural, mientras que, en el sector de producción de cemento y acero, la aplicación de esta tecnología está un tanto retrasada. Entre los tipos de captura de CO₂ que pueden utilizarse dependiendo de su aplicación en el sector eléctrico se pueden identificar:

- **Captura post-combustión:** Los gases de escape de un proceso de combustión de combustibles fósiles contienen principalmente, vapor de agua, CO₂, Nitrógeno, Oxígeno, CO, hidrocarburos no quemados, otros compuestos en menor cantidad como los NO_x, SO_x, en ocasiones metales vaporizados y partículas. En los procesos de captura post-combustión, el CO₂ se separa de los gases de escape mediante un proceso de absorción química, utilizando solventes como el amoníaco o soluciones de carbonato de sodio. Cuando el solvente ha absorbido suficiente cantidad de CO₂, se pasa a un proceso de recuperación del solvente separando el CO₂ en una etapa altamente endotérmica, es decir que requiere la entrada de energía, entre 3.2 y 4.4 MJ/kg.

⁸² IEA (2020) Energy Technology Perspectives 2020 - Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage, All rights reserved.

- **Captura pre-combustión:** Las moléculas de los combustibles fósiles se forman principalmente de los elementos, C, H, O y N. Existen procesos como la reformación de metano, o la gasificación de combustibles sólidos o líquidos, que pueden derivar en un gas sintético que contiene básicamente, CO₂ y H₂, con mucho menores cantidades de N₂ (sólo lo derivado del combustible) y O₂. En este proceso resulta más fácil separar el CO₂ por su alta concentración en el gas sintético y por lo tanto se requiere menos energía para recuperar el solvente que en el caso de los procesos post-combustión. El hidrógeno es un combustible limpio (su combustión no emite CO₂) que se puede aprovechar para generar electricidad en procesos como turbogás o ciclo combinado o mediante procesos electroquímicos como en las celdas de combustible, que por cierto resulta solo en la producción de H₂O.

- **Proceso de “oxy-fuel”:** Este proceso inicia separando el O₂ del aire, para que al quemar el combustible con el O₂ separado, el resultado sea un gas de escape rico en CO₂ y H₂O. Simplemente condensando el agua se puede obtener el CO₂. Adicionalmente, se pueden implementar procesos parciales de captura de emisiones de CO₂, siendo posible llevar a cabo estos procesos de forma continua o discontinua, lo que también depende de la disponibilidad de energía para la captura, ya sea que se aproveche el calor de rechazo de la planta o cuando el recurso energético es favorable.

Una vez que se ha capturado el CO₂, se tienen dos alternativas: utilizarlo o almacenarlo. Por ejemplo, un proceso de reacción con óxido de calcio genera carbonato de calcio que se puede utilizar como material de relleno o como material para construcción. Otra aplicación importante es en la recuperación mejorada de petróleo, lo cual le da un valor agregado al proceso.

También es importante considerar que el uso o el almacén del CO₂ capturado deben estar cerca de la planta o plantas que generan el CO₂, pues de no ser así hay que transportarlo a presión y en estado líquido mediante una red de ductos colectores, o bien en carros tanque.

El almacenamiento de CO₂ implica la inyección de CO₂ capturado en un depósito geológico subterráneo profundo de roca porosa superpuesta por una capa impermeable de rocas, que sella el depósito y evita la migración ascendente de CO₂ y su escape a la atmósfera. Hay varios tipos de reservorios adecuados para el almacenamiento de CO₂. Las formaciones salinas profundas y los reservorios de petróleo y gas agotados son los que tienen la mayor capacidad. Las formaciones salinas profundas son capas de rocas porosas y permeables saturadas con agua salada (salmuera), que están muy exten-

didas tanto en cuencas sedimentarias en tierra como en alta mar. Los reservorios de petróleo y gas agotados son formaciones rocosas porosas que han atrapado petróleo crudo o gas durante millones de años antes de ser extraídos y que pueden atrapar de manera similar el CO₂ inyectado.

Cuando se inyecta CO₂ en un depósito, fluye a través de él, llenando el espacio poroso. El gas generalmente se comprime primero para aumentar su densidad, convirtiéndolo en líquido. El depósito debe estar a profundidades superiores a los 800 metros para retener el CO₂ en un estado líquido denso, incluso más pesado que el agua. El CO₂ queda atrapado permanentemente en el yacimiento a través de varios mecanismos: atrapamiento estructural por el sello, atrapamiento de solubilidad en el agua del espacio poroso, atrapamiento residual en individuos o grupos de poros y atrapamiento de minerales al reaccionar con las rocas del yacimiento para formar minerales de carbonato. La naturaleza y el tipo de los mecanismos de captura para el almacenamiento de CO₂ confiable y efectivo, que varían dentro y a lo largo de la vida de un sitio según las condiciones geológicas, se comprenden bien gracias a décadas de experiencia en la inyección de CO₂ para recuperación mejorada de petróleo y almacenamiento dedicado.

Estimaciones realizadas por el Massachusetts Institute of Technology indican que México cuenta con una capacidad de entre 138 y 967 Gt de almacenamiento de CO₂, en cuencas tanto en tierra como en alta mar, pero accesibles. En el norte de Chihuahua, donde se ha detectado yacimientos de gas (shale), también se han identificado formaciones que podrían servir como almacenes de CO₂. Sin embargo, se necesitan realizar estudios más completos al respecto.

En la Figura 32 se muestran las cuencas en tierra y las accesibles en alta mar. Las regiones con altos volúmenes de cuencas sedimentarias se correlacionan con mayores capacidades de almacenamiento de CO₂.

El costo de desarrollar sitios de almacenamiento de CO₂ será un factor importante en la rapidez con que se implemente la tecnología de uso o almacenamiento de carbono en las próximas décadas, aunque se espera que los costos sean bajos en relación con el costo del proceso de captura de CO₂. Los costos de almacenamiento de CO₂ actuales y estimados varían significativamente según la tasa de inyección de CO₂ y las características de los depósitos de almacenamiento, así como la ubicación de los sitios de almacenamiento de CO₂. El costo de desarrollar nuevos sitios, especialmente donde el almacenamiento de CO₂ no se ha llevado a cabo antes, es muy incierto, particularmente con respecto al efecto de las propiedades y características del yacimiento.

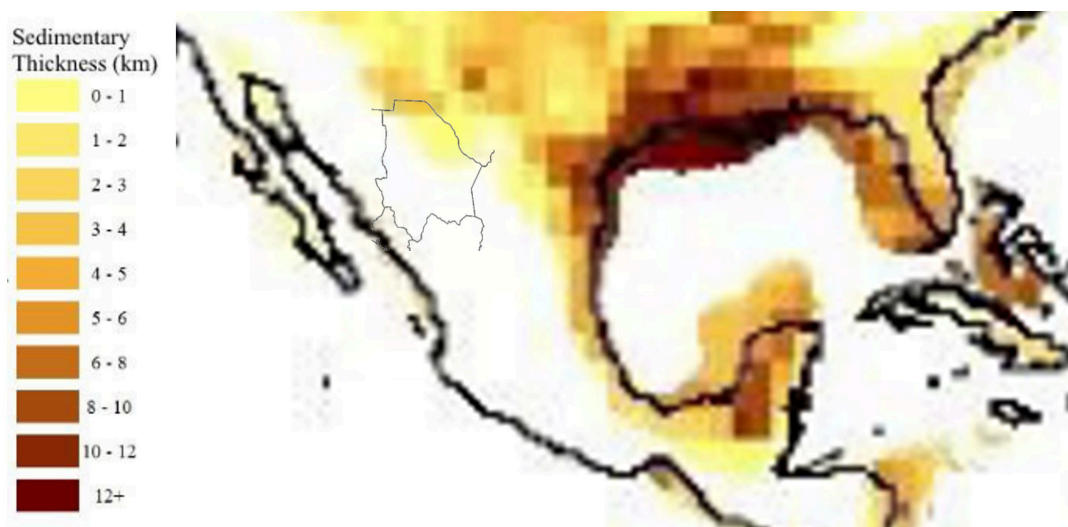


Figura 32. Cuencas sedimentarias y espesores.

Fuente: Kearns et al. (2017)⁸³

El costo de un proyecto completo de captura y almacenamiento de carbono por lo tanto deberá incluir los costos de captura, de transporte y de almacenamiento. Estos costos son altamente heterogéneos dependiendo de muchos factores que van desde el tipo de proceso donde se generan las emisiones de CO₂, el tipo de tecnología para su captura, el modo de transporte, y las condiciones y ubicación de los sitios de almacenamiento. A modo de ejemplo se considera aquí un caso hipotético que inicia con el proceso de captura de CO₂ de una planta termoeléctrica, para lo cual la tecnología ya está en etapa de demostración, seguida del transporte por ductos hasta un sitio adecuado y almacenamiento en un reservorio de gas agotado.

El costo nivelado de captura de CO₂ de un proceso de generación eléctrica está en el intervalo de 50 a 100 USD/t. El costo de transporte por ductos depende obviamente de la extensión de las líneas de ductos, de la cantidad de CO₂ transportada, de si ya hay infraestructura, etc. Un costo en el extremo alto de los estimados por la IEA es de alrededor de 16 USD/tCO₂/1000 km. Los costos de almacenamiento de CO₂ pueden variar considerablemente, la mayor parte de la capacidad de almacenamiento en tierra está disponible a menos de 10 USD/tCO₂. Por lo tanto, para una instalación a unos 1000 km de distancia del sitio de almacenamiento, el costo de abatimiento vendría siendo de hasta 126 USD/tCO₂.

Por otra parte, el potencial de captura de CO₂ podría abarcar las centrales más importantes que utilizan gas natural de CFE en el estado de Chihuahua. Esto suma 5,075 Gg CO₂e/año, por lo cual, considerando el menor potencial de almacenamiento, sólo podría mitigarse anualmente esta cantidad por 27 años.

VISIÓN DE ESTADO

Un proyecto de 36,000 millones de dólares para producir hidrógeno de forma masiva a partir de fuentes de energía renovables está en marcha en Australia. La construcción está programada para comenzar en 2026.

El Centro Asiático de Energía Renovable planea construir en 6,500 km² (80 x 80 km) turbinas eólicas y sistemas fotovoltaicos con capacidad de 26,000 MW; 1/3 de la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional de México en 2017.

Su objetivo es cumplir el objetivo de costos de producción de hidrógeno de \$1.5 USD/kg; en Japón, el costo actual es de aprox. \$9.60 USD/kg.

Australia recientemente otorgó al centro de energía el estatus de "proyecto importante", que reconoce su "importancia nacional" en el desarrollo económico y la creación de empleo al tiempo que facilita las aprobaciones gubernamentales.

Australia apunta a convertirse en una potencia de hidrógeno para 2030 bajo su Estrategia Nacional de Hidrógeno presentada en noviembre de 2019, y ha coprometido \$440 millones de dólares para apoyar el desarrollo de tecnología y las operaciones de prueba.

<https://asia.nikkei.com/Business/Energy/36bn-Australian-renewables-hub-to-produce-hydrogen-for-export>

⁸³ Kearns et al. (2017) Developing a consistent database for regional geologic CO₂ storage capacity worldwide. Energy Procedia 114 (2017) 4697 – 4709.

5. FINANCIAR Y PROMOVER LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Otra forma de lograr la descarbonización profunda del sector eléctrico es mediante la aplicación de tecnologías de almacenamiento integradas a la generación a gran escala de energía renovable. La disponibilidad de sistemas de almacenamiento a gran escala permitiría una integración muy alta de energía renovable a pesar de su naturaleza variable e intermitente. Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica permiten a las plantas solares fotovoltaicas o eólicas satisfacer la demanda pico, aun cuando los recursos primarios no estén disponibles en ese momento. Actualmente, para cubrir la demanda pico, se utilizan tecnologías que permiten una rápida entrada, tales como centrales de turbogás. Por otra parte, también se reducen las necesidades de reservas rodantes y el uso de termoeléctricas que queman combustibles fósiles para proporcionar otros servicios conexos⁸⁴. Cabe mencionar que los sistemas de almacenamiento de energía pueden utilizarse para almacenar energía proveniente tanto de fuentes renovables intermitentes como de centrales que queman combusti-

bles fósiles pero que generan excedentes de energía respecto a la demanda. Si la energía almacenada se genera con fuentes renovables, los sistemas de almacenamiento tienen un importante potencial de mitigación de gases de efecto invernadero.

En un análisis presentado por el INECC⁸⁵ se muestra la diferencia entre varios escenarios incluyendo el escenario que contempla la generación eléctrica integrada a tecnologías de almacenamiento. En la Fuente: INECC (2020)

Figura 33 se muestran los resultados de este análisis donde se puede ver el impacto del uso de almacenamiento, con un potencial de reducción al 2050 de hasta 63 MtCO₂ adicionales a la reducción lograda sólo con energía renovable. Sin embargo, para el 2030 sólo se esperaría una reducción adicional de 4 MtCO₂e. Trasladando estos escenarios al caso de Chihuahua, donde al 2030 se espera una emisión de 13 MtCO₂e al 2030 bajo el escenario base, con la tecnología de almacenamiento de energía se esperaría un potencial de reducción de solo 0.5 MtCO₂e.

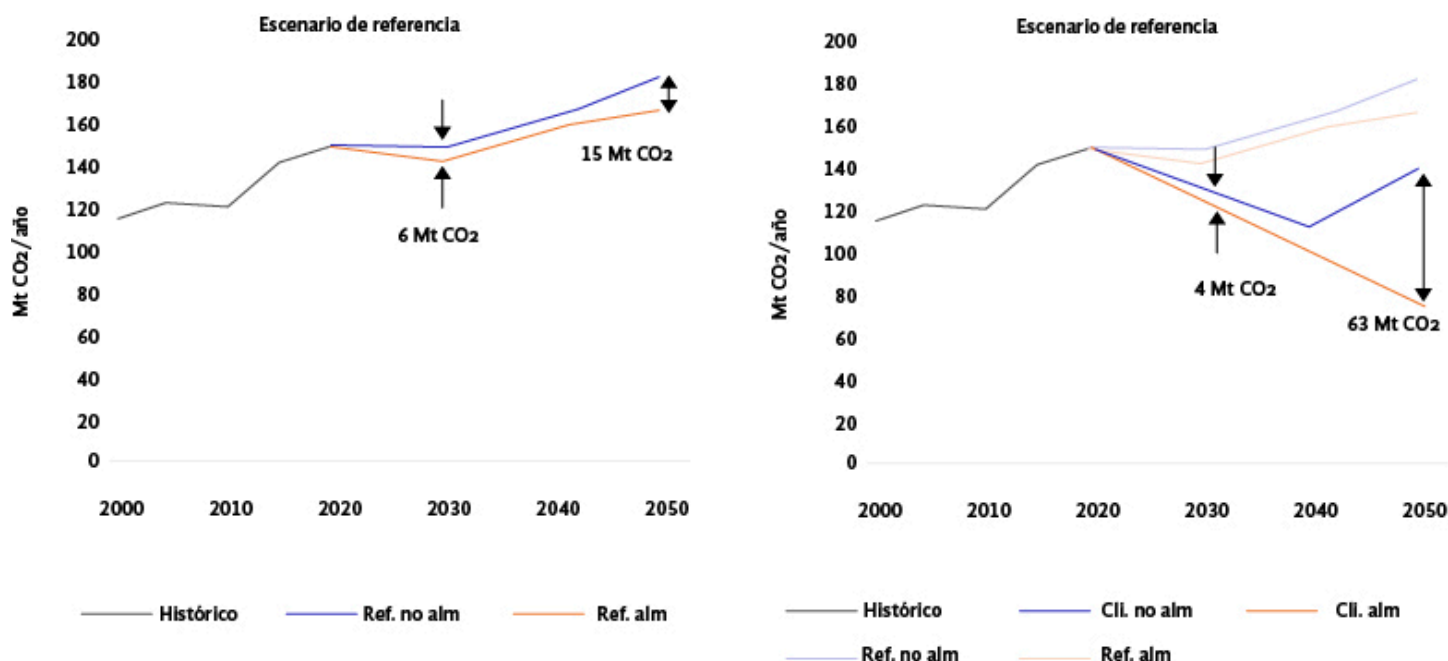


Figura 33. Emisiones anuales de CO₂ y el potencial de mitigación de CO₂ (flechas) en el escenario de referencia (Ref) y de abatimiento de CO₂ (Cli).

Fuente: INECC (2020)⁸⁶

⁸⁴ Son los servicios vinculados a la operación del SEN y que son necesarios para garantizar su Calidad, Confiabilidad, Continuidad y Seguridad, entre los que se podrán incluir: las reservas operativas, las reservas rodantes, la regulación de frecuencia, la regulación de voltaje y el arranque de emergencia, entre otros, que se definan en las Reglas del Mercado.

⁸⁵ INECC (2020) Hoja de ruta tecnológica y potencial de mitigación del almacenamiento de electricidad a escala de servicios públicos en México – Sección 5.3 Almacenamiento de energía a escala de servicios públicos como facilitador de la mitigación de CO₂.

⁸⁶ Idem

El potencial de 63 MtCO₂/año se obtuvo considerando un escenario en donde se despliega una combinación de tecnologías de almacenamiento, 11% correspondiente a almacenamiento hidroeléctrico por bombeo y 89% correspondiente a baterías de iones de litio y se consideró que el costo total de reducción de emisiones de GEI sería de 47 USD/tCO₂. Además, se hace la observación de que el momento más propicio para iniciar la implementación de esta tecnología es después del año 2040 puesto que las predicciones apuntan a un potencial creciente a partir de ese año.

6. APOYAR PROYECTOS PARA LA GENERACIÓN DE CRÉDITOS DE COMPENSACIÓN DENTRO DEL SCE

El sistema de comercio de emisiones (SCE) no es en sí una actividad de mitigación, sino un instrumento de política pública que incentiva, por un lado, el desarrollo de proyectos de mitigación de GEI y por el otro el intercambio de obligaciones de reducción para que todos los participantes logren sus reducciones al mismo nivel de precios. Esto último se ilustra mejor en la Figura 34, la cual muestra un esquema del principio de

funcionamiento del SCE, en el que dos empresas designadas A y B, tienen cierto nivel de emisiones y tienen que reducir obligatoriamente cierta cantidad. El costo de reducir sus emisiones es equivalente al área de los rectángulos correspondientes. El costo de abatimiento obligatorio de la empresa A es mayor si el abatimiento lo hace la empresa A al costo C_a (área del rectángulo azul) que si lo hace la empresa B al costo C_b (área del rectángulo amarillo) suponiendo que la empresa B pueda además cumplir con sus propias obligaciones de abatimiento. Dentro del SCE, ese exceso de abatimiento puede ser acreditado a la empresa A mediante una transacción de derechos de emisión. En esta transacción la empresa A paga a la empresa B el costo de los derechos de emisión a un precio intermedio entre los costos de abatimiento de las empresas participantes (rectángulo gris). La reducción de emisiones globalmente queda determinada más por las propias obligaciones que por el SCE, es decir con o sin SCE las emisiones deben reducirse de acuerdo con las obligaciones establecidas para las empresas. Las obligaciones las establece la autoridad regulatoria para cada empresa, por subsector de los sectores de energía e industrial.

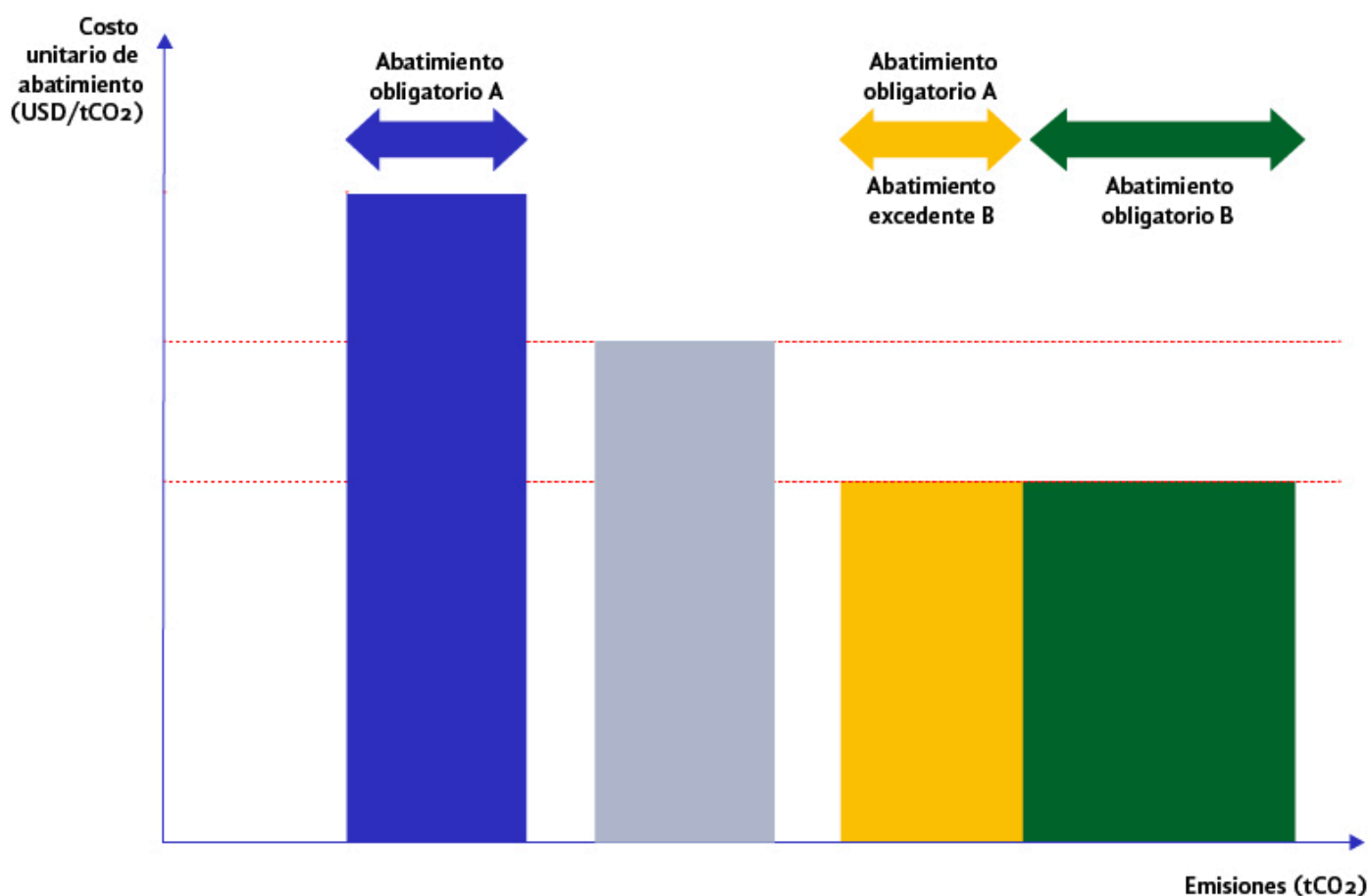


Figura 34. Esquema del principio de operación del Sistema de Comercio de Emisiones.

Fuente: Elaboración propia

El otro mecanismo, conocido coloquialmente como “offsets”, es el de créditos de compensación. Un crédito de compensación es un instrumento de cumplimiento que representa la reducción o absorción de una tonelada de CO₂e, o la misma cantidad de emisiones evitadas, resultantes de proyectos o actividades de mitigación elegibles. Los participantes sólo podrán utilizar créditos de compensación hasta por el 10% de sus obligaciones de entrega de derechos de emisión. Para poder obtener créditos de compensación, los proyectos o actividades de mitigación elegibles deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Realizarse bajo protocolos de compensación aprobados.
- Ejecutarse en el territorio nacional.
- Estar verificados y validados por un organismo de verificación acreditado.
- Estar inscritos previamente en el Registro Nacional de Emisiones.

Los participantes podrán obtener créditos de compensación mediante la realización de proyectos y actividades de mitigación de emisiones de GEI que no sean CO₂. Los proyectos y actividades de mitigación de emisiones directas de CO₂ no generarán créditos de compensación.

Aunque el sistema de comercio de emisiones no cambia el nivel de reducciones ya comprometido para el sector de energía, sí hace que todos los participantes puedan acceder a costos más uniformes para acreditar sus reducciones, y hace posible que empresas con procesos para los que es prácticamente imposible llevar a cabo acciones de mitigación puedan de alguna forma cumplir con sus obligaciones de mitigación de emisiones, de forma competitiva, a través de acciones en procesos de otras empresas. Si bien el SCE no cambia el nivel de reducciones de manera global, sí crea la oportunidad para reducir localmente las emisiones de CO₂ y obtener un beneficio extra a través de los créditos de compensación. Los créditos de compensación serían comprados y vendidos a precios de mercado, por lo cual no es posible dar en este momento un valor específico. Los precios de los offsets en otros mercados varían en un amplio intervalo que va desde menos de un dólar en uno de los mercados de China, hasta 18 dólares en Korea⁸⁷.

De acuerdo con el análisis de impacto regulatorio del sistema de comercio de emisiones, los costos generados a los particulares (establecimientos participantes del sistema) en los primeros 3 años de funcionamiento del sistema, debido al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del programa de prueba del sistema de comercio de emisiones, se estiman en \$46,918,080.72 pesos (ver Cuadro 34) que son aproximadamente \$2,345,904.04 USD a 20 MXP/USD.

Cuadro 34. Costos totales para el participante del SCE (pesos)⁸⁸

Costo de plan de monitoreo para los participantes	\$652,929.61
Costo de verificación para los participantes	\$36,960,000.00
Costo de administración para los participantes	\$9,305,151.12
Costo total en los 3 años	\$46,918,080.72

Fuente: Secretaría de Economía (2018)

Por otra parte, la mitigación esperada para las instalaciones participantes en el SCE se estimó en 28Mt CO₂ (ver Cuadro 35).

⁸⁷ World Bank (2017) Ecofys and Vivid Economics. 2017. State and Trends of Carbon Pricing.

⁸⁸ Secretaría de Economía (2018) CONAMER. Análisis de Impacto Regulatorio de impacto moderado - Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del programa de prueba del sistema de comercio de emisiones. Anexo I - Costos y Beneficios del Acuerdo.

Cuadro 35. Mitigación esperada por año de las instalaciones participantes del SCE⁸⁹

	Mitigación esperada de las instalaciones participantes (tCO ₂)		
	2019	2020	2021
Generación Eléctrica	3,627,145.70	7,372,127.60	11,645,899.50
Petróleo y Gas	533,488.90	1,123,065.90	1,709,251.60
Industria	326,852.20	661,344.20	1,022,305.50
Mitigación anual	4,487,486.80	9,156,537.70	14,377,456.60
Mitigación en los 3 años	28,021,481.10		

Fuente: Secretaría de Economía (2018)

Con esta información se estima un costo de abatimiento de 0.08 USD/tCO₂. Nótese que este no es el precio de los offsets, sino el costo de implementar el sistema de comercio de emisiones referido a la magnitud del abatimiento negociado.

Uso EFICIENTE DE LA ENERGÍA

PANORAMA NACIONAL

Una de las formas más rentables de reducir el consumo energético, sea eléctrico o por consumo de combustibles, es la administración adecuada de la energía, lo que se conoce como gestión de la energía. La gestión de la energía permite implementar proyectos de mejora en la eficiencia energética de manera sistemática y mantener una reducción continua del uso de la energía sin afectar la productividad. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)

ha estado promoviendo tanto la implementación de sistemas de gestión de la energía como el desarrollo de proyectos de eficiencia energética. Uno de los instrumentos de gestión de la Ley de Transición Energética es el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, en el cual se establece una estrategia para cumplir con las metas de eficiencia energética, en virtud de lo cual, la CONUEE desarrolló una hoja de ruta.

En la hoja de ruta en materia de eficiencia energética se establecen actores clave (entre los cuales se encuentran gobiernos estatales) tiempos de ejecución y recursos necesarios para implementar una serie de acciones de política pública con el fin de alcanzar las metas nacionales, mismas que se muestran en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Metas nacionales de eficiencia energética

2016 – 2030	2031 – 2050
Tasa anual promedio de 1.9% de reducción de la intensidad de consumo final de energía	Tasa anual promedio de 3.7% de reducción de la intensidad de consumo final de energía

Fuente: Secretaría de Energía y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2017). Hoja de ruta en materia de eficiencia energética, p. 18.

⁸⁹ Secretaría de Economía (2018) CONAMER. Análisis de Impacto Regulatorio de impacto moderado - Acuerdo por el que se establecen las bases preliminares del programa de prueba del sistema de comercio de emisiones. Anexo I - Costos y Beneficios del Acuerdo.

Vale la pena comentar algo sobre la forma de redacción de las metas de eficiencia energética que se muestran en el Cuadro 36. El nivel de eficiencia energética frecuentemente se evalúa mediante indicadores del progreso de la productividad energética que permitan comparabilidad tanto en el tiempo como entre unidades similares de actividad. El índice de intensidad energética es uno de tales indicadores, utilizado para evaluar el nivel de eficiencia energética. El índice de intensidad energética se define como:

$$IIE = \frac{CE}{PIB}$$

donde: CE es el consumo de energía del año; y PIB el producto interno bruto del año a precios constantes.

Bajo ciertas circunstancias, este índice puede usarse para monitorear la cantidad de energía requerida para producir una unidad de valor económico. El hecho de que este índice disminuya no necesariamente significa que se está utilizando más eficientemente la energía. Podría significar que una industria altamente intensiva en el uso de energía cierra operaciones mientras que otra menos intensiva en su uso de energía, pero con mayor producción inicia operaciones, lo cual no significa necesariamente que la energía se utilice eficientemente.

Si las actividades y productos que integran el producto interno bruto no cambian (aunque sí pueda cambiar la forma en la que se desarrollan) el índice de intensidad energética reflejará el grado de dependencia de la economía con respecto al consumo de energía.

El PRONASE 2014-2018 plantea seis objetivos estratégicos para lograr el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades de la cadena energética. Estos seis objetivos están directamente relacionados con acciones de eficiencia energética:

Objetivo 1. Diseñar y desarrollar programas y acciones que propicien el uso óptimo de energía en procesos y actividades de la cadena energética nacional

Objetivo 2. Fortalecer la regulación de la eficiencia energética para aparatos y sistemas consumidores de energía fabricados y/o comercializados en el país

Objetivo 3. Fortalecer los sistemas e instancias de gobernanza de la eficiencia energética a nivel federal, estatal y municipal e integrando instituciones públicas, privadas, académicas y sociales

Objetivo 4. Fomentar el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas vinculadas al aprovechamiento sustentable de la energía

Objetivo 5. Contribuir en la formación y difusión de la cultura del ahorro de energía entre la población

Objetivo 6. Promover la investigación y desarrollo tecnológico en eficiencia energética

Algunos objetivos incluyen actividades que salen del alcance de la eficiencia energética como la transición hacia fuentes de energía renovable.

De acuerdo con la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de diciembre de 2016, la implementación de proyectos de eficiencia energética a nivel nacional tendrá un impacto mucho mayor en el sector industrial y en menor medida en el sector residencial que en cualquiera de los otros sectores (Figura 35).

En la Figura 35 se observa que se espera que desde el año 2018, los proyectos de eficiencia energética en el sector industrial a nivel nacional detengan el crecimiento de la demanda eléctrica de este sector y reviertan la tendencia para que a pesar de un supuesto crecimiento anual medio de la actividad económica de 3.3% para el periodo 2016-2050, la demanda se reduzca en poco más del 45% respecto al escenario base, lo que equivale a casi 530 PJ, con lo que se lograría que la demanda de electricidad del sector industrial a nivel nacional permanezca casi constante a niveles de 2019 hasta el 2050.

El otro sector que vale la pena considerar por la magnitud absoluta de la reducción proyectada de su demanda eléctrica es el sector residencial, especialmente si se considera agrupado al sector comercial, como frecuentemente se hace. A nivel nacional, estos sectores conjuntamente tienen un potencial de reducción al 2050 de hasta el 55% respecto al escenario base, con una reducción absoluta de cerca de 200 PJ. Desde otro punto de vista, esto representaría una reducción de hasta el 40% de la demanda eléctrica con respecto a los niveles del 2015, pero este cambio sólo se vería reflejado a partir de 2030 con un 10% para ese año.

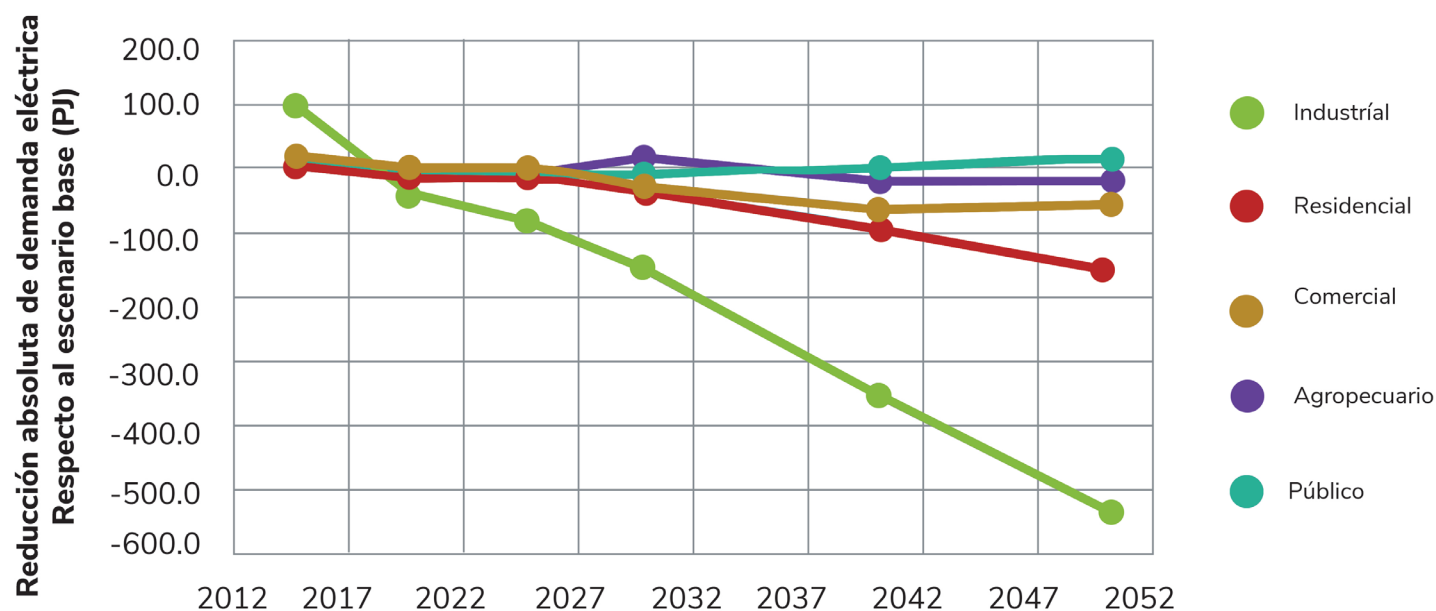


Figura 35. Reducción absoluta de la demanda de energía eléctrica por sector económico, respecto al escenario base, debida a la implementación de proyectos de eficiencia energética.

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de la Figura 35, p 90, de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Diario Oficial de la Federación. 2 de diciembre de 2016.

A nivel nacional, la variación de la demanda eléctrica de los sectores ganadero y público no presenta una tendencia definitiva en el período de 2015 a 2050, además de que la variación de demanda eléctrica de estos sectores proyectada al 2050 es relativamente pequeña comparada con los sectores industrial, residencial y comercial, por lo que la prioridad del sector ganadería, así como de la del sector público resulta ser secundaria. Esto no significa que no se recomiende llevar a cabo proyectos de eficiencia energética en estos sectores. De hecho, dejar que la demanda de electricidad siga la tendencia proyectada en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, resultaría en una imagen desastrosa para el sector público, ya que mientras la autoridad exige la reducción de la demanda de los otros sectores, su propia demanda crece, pasando de 23 PJ en 2015 a 50 PJ en 2050 para el escenario base (aumento de más del 100%), y a 61 PJ en el escenario con medidas de eficiencia energética (aumento de más del 165%).

En la Figura 36 se muestra el efecto de la aplicación de medidas de eficiencia energética a los sectores industrial, comercial y residencial. Como se ha mencionado, estos son los tres sectores económicos que mayor influencia tendrán en la reducción absoluta de la demanda eléctrica a nivel nacional por la implementación de las medidas de eficiencia energética. El efecto es el de mantener los niveles de 2020 hasta el 2050. Sin embargo, esta gráfica no refleja el efecto antagónico que trae consigo la introducción de medidas de mitigación en el sector transporte. Específicamente, la introducción de vehículos eléctricos generará un aumento considerable en la demanda eléctrica, lo cual prácticamente contrarrestará la reducción mostrada en la Figura 36.

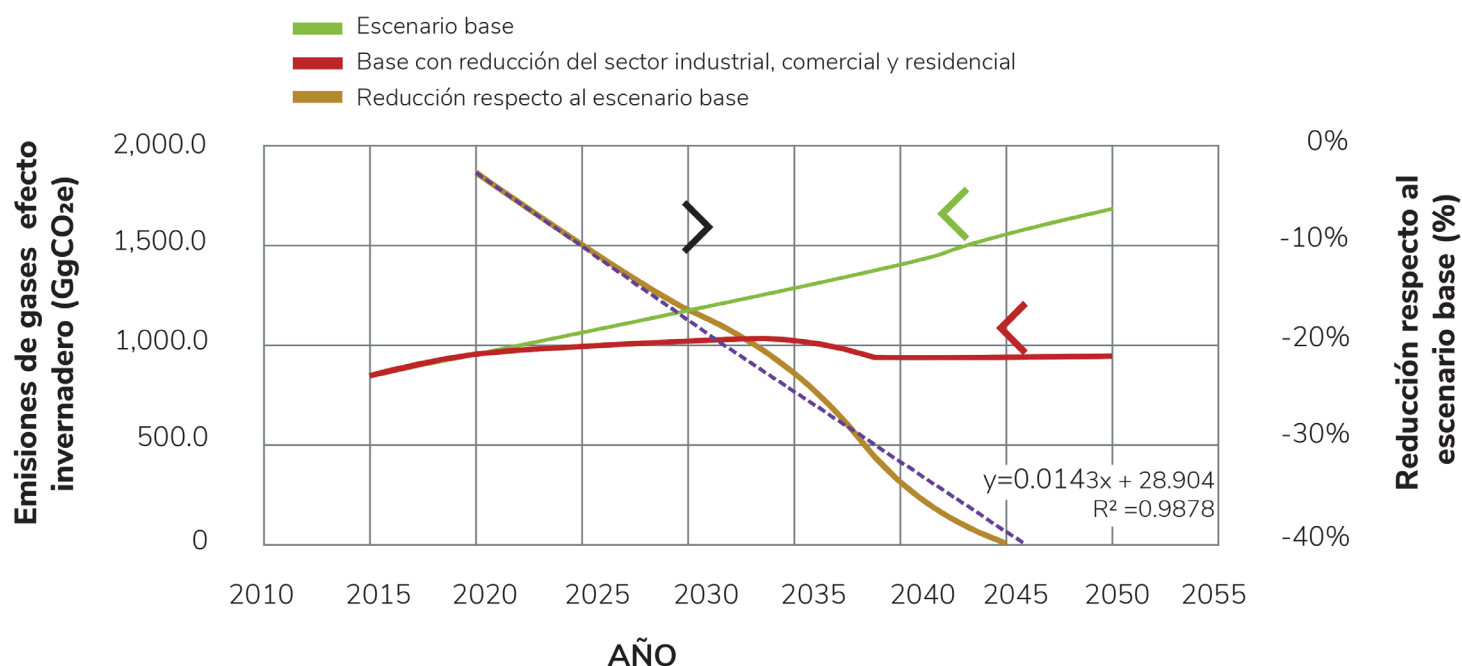


Figura 36. Efecto de las medidas de eficiencia energética en los sectores económicos industrial, comercial y residencial a nivel nacional.

Fuente: Elaboración propia con información de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Diario Oficial de la Federación. 2 de diciembre de 2016

Aunque en el resumen metodológico que se presenta en el PRODESEN 2018-2032 no se indica explícitamente el tratamiento de las metas de eficiencia energética, sí se establece que este programa está alineado con los otros instrumentos de política pública en materia energética, y en particular con la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios 2014-2018, al Programa Especial para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018 y al Programa Especial de la Transición Energética 2017-2018. En estos instrumentos de política energética se establecen objetivos para establecer metas y una hoja de ruta para la implementación de las metas de eficiencia energética que se han considerado en el programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional⁹⁰.

METAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL ESTADO DE CHIHUAHUA
La implicación al Programa Estatal de Cambio Climático de Chihuahua es que se deben generar las condiciones para que tanto el sector industrial prioritariamente, como los sectores residencial y comercial, con menor prioridad, implementen y mantengan proyectos de eficiencia energética que por lo menos ayuden a mantener los niveles actuales de demanda eléctrica. Aplicando la misma tasa anual de reducción por año que para el caso nacional, se puede obtener una meta estatal de reducción de demanda eléctrica por proyectos de eficiencia energética (ver Cuadro 37), de la cual se puede derivar el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero en equivalentes de CO₂ (ver Figura 37), considerando solamente las reducciones y no el incremento en el transporte, como se discutió previamente.

⁹⁰ Ver Tabla 1.1.1 Alineación del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional del documento "Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018 – 2032". SENER.

Cuadro 37. Metas de reducción estatal por implementación de medidas de eficiencia energética.

Año	Energía eléctrica ahorrada (MWh)
2020	-1,812
2021	-2,921
2022	-4,045
2023	-4,836
2024	-5,955
2025	-7,118
2026	-8,334
2027	-10,013
2028	-10,871
2029	-12,245
2030	-13,694
2031	-15,220
2032	-16,811

Para lograr las metas de reducción de la demanda eléctrica por la implementación de medidas de eficiencia energética se puede seguir la hoja de ruta que la CONUEE publicó en 2017 y debe revisar periódicamente. En esta hoja de ruta se identifica una serie de políticas, regulaciones y acciones, así como actores, períodos de ejecución y recursos necesarios para lograr alcanzar las metas de eficiencia energética nacionales. A los estados y municipios les corresponden ciertas acciones que desde su ámbito de competencia pueden ejercer, como se muestra en el Cuadro 38, donde se han resumido las acciones, divididas en cinco sectores y en cinco ejes rectores.

Fuente: Elaboración propia

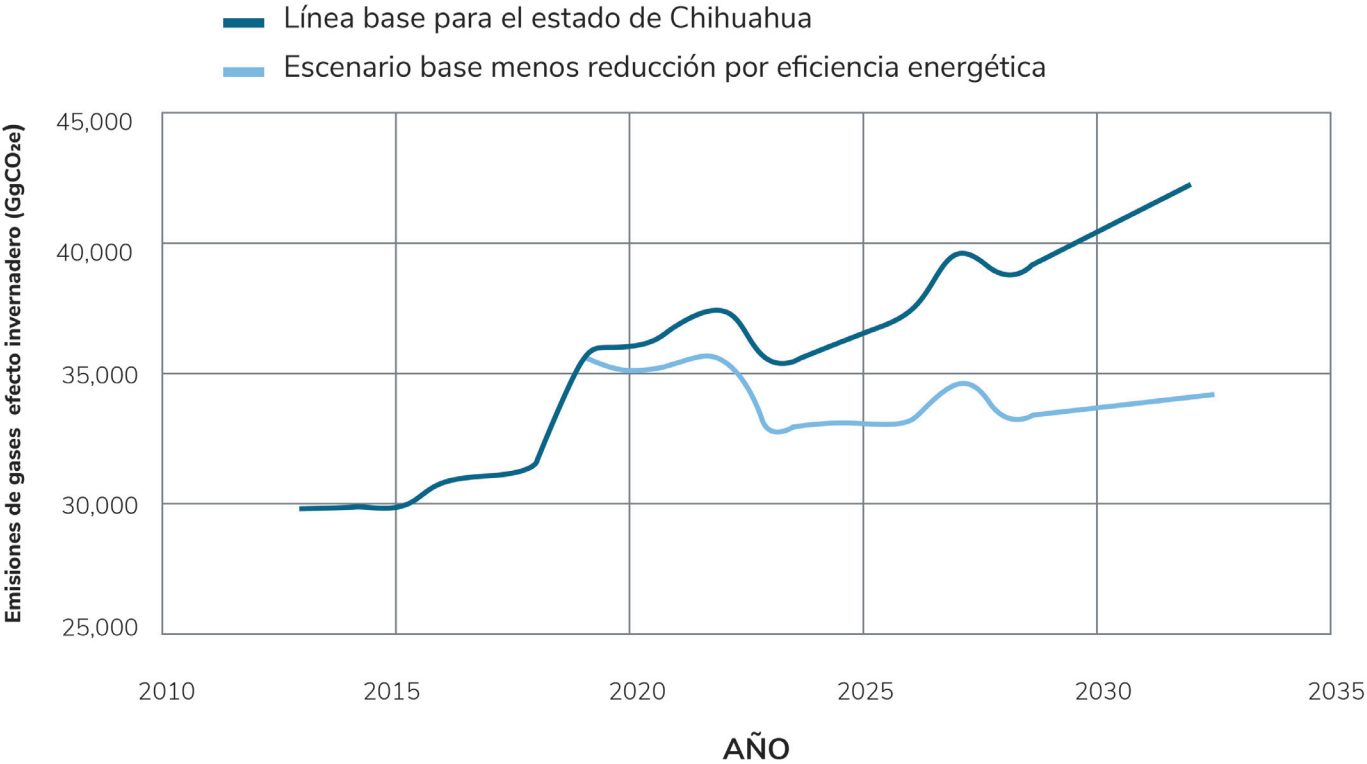


Figura 37. Comparativo del escenario base de emisiones de gases de efecto invernadero en CO_{2e} con el escenario en el que se aplican medidas de eficiencia energética exclusivamente.

Fuente: Elaboración propia con información de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. Diario Oficial de la Federación. 2 de diciembre de 2016.

Cuadro 38. Acciones de competencia estatal y municipal para lograr las metas de reducción de la demanda eléctrica por implementación de medidas de eficiencia energética

Ejes rectores	Sectores									
	Edificaciones	Rol	Industria	Rol	Transporte	Rol	Servicios municipales	Rol	Agroindustria	Rol
Regulaciones y política pública	Integrar y aplicar códigos de eficiencia energética en reglamentos de construcción locales (estatales y municipales).	FSP; I	Fortalecer la política fiscal con criterios de eficiencia energética y uso de energías limpias.	FSP	Fortalecer la regulación del tránsito vehicular con base en rendimiento de combustibles.	D; C; FSP; I; AM; E	Actualizar normas técnicas relacionadas con el diseño y operación de servicios municipales con TIC integradas, asociadas al concepto de ciudades inteligentes.	FSP; AM; FSP; I; AM	Fortalecer un marco de políticas coordinadas, estables y de largo plazo, para la mejora de la eficiencia energética en la agroindustria.	C; FSP; FSP; I
	Mantener, actualizar y fortalecer las NOM de eficiencia energética y sus sistemas de evaluación de la conformidad.	FSP; I	Simplificar la regulación para explotar potenciales de cogeneración y de energías limpias.	FSP; FSP	Promover el uso de vehículos híbridos, eléctricos y con tecnologías eficientes.	FSP; E			Fortalecer un marco de políticas coordinadas, estables y de largo plazo, para la mejora de la eficiencia energética en la agroindustria.	C; FSP; FSP; I
	Establecer registros públicos de edificaciones que permitan caracterizar y monitorear su desempeño energético.	FSP; I; I	Desarrollar programas de incentivos, acreditaciones y reconocimientos para promover los Sistemas de Gestión de Energía.	FSP	Promover programas obligatorios de sustitución del parque vehicular del transporte público por vehículos de alto rendimiento energético, incluyendo vehículos eléctricos.	D; FSP; I; AM; E			Desarrollar normas técnicas aplicables a equipos y sistemas utilizados en la agricultura.	C; FSP; I; FSP
	Implementar encuestas nacionales y regionales sobre características, equipamiento y patrones de consumo energético en edificaciones.	FSP; FSP	Fortalecer y ampliar los programas de promoción para eficiencia energética y uso de energías limpias en MiPyMEs.	FSP; FSP	Desarrollar normas técnicas para los sistemas de recarga eléctrica vehicular.	AM			Promover programas de tecnificación para ahorro energético en riego y bombeo de agua.	C; FSP; FSP
	Establecer mecanismos de contratos de desempeño energético para edificios existentes en la Administración Pública.	I; I		I; I	Desarrollar políticas y normatividad para el mejoramiento y aprovechamiento de la infraestructura para las diversas modalidades de transporte, buscando su integración con el acceso a nuevas tecnologías.	D; C; FSP; I; E				
	Establecer obligaciones y mecanismos de información sobre el desempeño energético de las edificaciones.	FSP; I; I		FSP; I; I	Fortalecer la política de movilidad multimodal.	D; C; FSP; I; AM				
	Incluir criterios de desempeño energético en los procesos públicos de adquisiciones.	I; I		I; I						

Cuadro 38. (CONT.)

Ejes rectores	Sectores									
	Edificaciones	Rol	Industria	Rol	Transporte	Rol	Servicios municipales	Rol	Agroindustria	Rol
Instituciones	Fortalecer las capacidades estatales y municipales para la integración y el cumplimiento de elementos de eficiencia energética en sus reglamentos de construcción y de manejo de programas de eficiencia energética en edificios.	FSP; I FSP; I			Establecer un programa nacional de fortalecimiento de instituciones municipales encargadas de la movilidad urbana.	D; C; FSP D; FSP	Fortalecer sistemas de información para la administración de servicios municipales.	D; C; FSP D; FSP; I	Fortalecer el cumplimiento de normas y regulaciones técnicas aplicables al bombeo de agua.	C; FSP FSP
					Fortalecer los esquemas de coordinación subnacional para facilitar la interconectividad del transporte público.	D; C; FSP; I	Fortalecer programas de asistencia técnica para la mejora de los servicios municipales.	D; C; FSP; I FSP		
					Diseñar e implementar programas de fortalecimiento de capacidades de diseño y gestión de acciones de reordenamiento urbano en los gobiernos subnacionales.	D; FSP D; FSP; I	Promover la colaboración entre ayuntamientos y organismos operadores municipales para la promoción de mejores prácticas en el diseño y operación de servicios públicos municipales.	D; C; FSP; I FSP; I		
							Promover la participación municipal en el mercado eléctrico mayorista.	FSP; I FSP		
Capacidades técnicas	Establecer programas y/o instituciones para profesionalizar a los administradores energéticos de edificios.	FSP FSP			Desarrollar programas de formación y capacitación de especialistas en la planeación, desarrollo y operación de sistemas de movilidad multimodal.	D; FSP; I	Diseñar programas para el desarrollo de capacidades en materia de energía en funcionarios responsables de los servicios municipales.	C; FSP; I FSP; I	Desarrollar programas de capacitación de eficiencia energética y aprovechamiento de energías limpias en la agroindustria.	C; FSP FSP
					Desarrollar programas de formación de especialistas en la planeación, desarrollo y operación de planes y programas de reordenamiento urbano.	FSP; AM; E	Desarrollar programas de formación y capacitación de técnicos en instalación, operación y mantenimiento de equipos y sistemas asociados a servicios municipales.	C; FSP I		

Cuadro 38. (CONT.)

Ejes rectores	Sectores									
	Edificaciones	Rol	Industria	Rol	Transporte	Rol	Servicios municipales	Rol	Agroindustria	Rol
Mercados y financiamiento			Establecer programas para la adopción de tecnología que mejora la eficiencia energética y reduce el impacto ambiental, y la implementación de SGE en industrias.	FSP FSP	Establecer programas de renovación del parque vehicular.	D; C; FSP; I; E	Fortalecer programas de financiamiento para la mejora de los servicios municipales en materia de energía.	C; FSP; I	Fortalecer programas de financiamiento para la adopción de tecnología que mejora la eficiencia energética y reduzca el impacto ambiental de equipos y sistemas utilizados en la agroindustria.	C; FSP FSP
			Desarrollar mecanismos de mercado para impulsar la eficiencia energética.	FSP FSP	Promover desarrollo de infraestructura para las diversas modalidades de movilidad.	D; C; FSP; I; E	Promover esquemas de contratos de desempeño en eficiencia energética municipal.	C; FSP FSP; I		
					Desarrollar infraestructura de movilidad y programas de reordenamiento urbano.	D; C; FSP; I; E	Desarrollar mecanismos de mercado para impulsar la eficiencia energética municipal y las energías limpias.	C; FSP FSP; I		
Investigación, desarrollo e innovación			Desarrollar y fortalecer capacidades de investigación, adopción y asimilación tecnológica asociadas a materiales, equipos, sistemas y procesos de carácter industrial orientados a las necesidades de la industria nacional.	FSP FSP	Desarrollar un mapa de ruta para la sustitución gradual del uso de combustibles fósiles por tecnologías limpias en ciudades.	D; C; FSP; I; E	Desarrollar y fortalecer capacidades de investigación, desarrollo, adopción y asimilación tecnológica asociadas a TIC en servicios municipales.	C; FSP FSP; I	Desarrollar y fortalecer capacidades de investigación, desarrollo y adopción y asimilación tecnológica asociadas a materiales, equipos, sistemas y procesos de carácter industrial orientados a las necesidades de la agroindustria.	FSP
					Fortalecer la capacidad de centros de investigación para apoyar el desarrollo, innovación, seguimiento y evaluación de tecnologías y modelos de movilidad urbana.	C; FSP				
					Fortalecer la capacidad de los centros académicos y de investigación para el desarrollo, seguimiento y evaluación de programas de reordenamiento urbano.	FSP				

Se indica si el rol corresponde al gobierno del estado (E:) o al del municipio (M:). Para el sector transporte el rol corresponde a ambos gobiernos. D: Diseño; C: Coordinación; FSP: Facilitación, soporte y promoción; I: Implementación; AM: Actor de mercado; E: Evaluación.

Fuente: Elaboración propia con información de la Hoja de Ruta en Materia de Eficiencia Energética publicada por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017.

Adicionalmente a las medidas mostradas en el Cuadro 38, durante las consultas públicas del presente programa estatal se identificaron acciones que se propusieron en el rubro de uso eficiente de la energía. Estas acciones se presentan en el Cuadro 39.

Cuadro 39. Medidas adicionales identificadas durante la realización de las consultas públicas en materia de eficiencia energética para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Uso eficiente de la energía (eficiencia energética)	Edificaciones
	Fomentar la certificación en materia de eficiencia energética de los edificios públicos
	Fomentar la implementación de acciones de eficiencia energética en edificaciones e infraestructura en general (como sustitución de lámparas o focos y la utilización de aislamiento térmico)
	Transporte
	Establecer programas de renovación vehicular que considere incentivos (tributarios o económicos)
	Servicios municipales
	Considerar los aspectos de uso eficiente de energía en la gestión de los recursos hídricos

Se debe mencionar que los costos asociados a la implementación de medidas de eficiencia energética son siempre negativos, dado que para que un proyecto de eficiencia energética sea aprobado, se debe garantizar su rentabilidad, que el tiempo de recuperación de la inversión sea menor a 3 años y que se generarán ahorros reales por un período mucho más largo, resultando en aumento de utilidades y producción.

No obstante, es necesario elaborar planes estratégicos muy bien estructurados para la implementación de medidas de eficiencia energética, contemplando por un lado la razón costo/beneficio y por otro lado las competencias que la empresa desea desarrollar o demostrar al mercado. Pero un aspecto de suma importancia es que estas medidas deben ser sistemáticas y basadas en información precisa para que los impactos sean cuantificables y de largo plazo.

1.4.1.2 MITIGACIÓN PARA EL SECTOR AUTOTRANSPORTE

MITIGACIÓN EN EL SECTOR TRANSPORTE A NIVEL NACIONAL

Una de las medidas que se ha considerado para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional es la actualización de la norma oficial mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, lo cual, si llega a ocurrir, será una restricción normativa que impactará positivamente a todos las entidades federativas. En esta norma se especifica, actualmente, un rendimiento de 14.6 km/L para vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857

kg. La actualización a la norma propone que el rendimiento se mejore con cada año modelo de vehículos hasta 22 km/L en 2025. Aunque esto parece excesivo para los autos de combustión interna a diésel o gasolina, los autos híbridos, que pueden operar con un motor eléctrico además del de gasolina y tener recuperación de energía en el frenado, fácilmente podrían alcanzar estos rendimientos. De hecho, el rendimiento especificado en las normas americanas sobre las que se basa la modificación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 es un rendimiento promedio para el fabricante (corporativo), lo que significa que puede vender autos que no cumplan con ese rendimiento (como los de combustión interna) siempre que compense vendiendo autos que superen dicho rendimiento (como los eléctricos o híbridos) de manera que el promedio cumpla el requerimiento. De esta manera, la introducción de la modificación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 incluye ya un componente de otra de las medidas de mitigación que consiste en acelerar la penetración de tecnologías limpias y eficientes en autotransporte.

MITIGACIÓN EN EL SECTOR TRANSPORTE EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA

APLICACIÓN DE LA MODIFICACIÓN DE LA NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013

El efecto de la introducción de esta nueva normatividad sobre las emisiones del sector transporte se estimó de la siguiente forma. La estimación de las emisiones del sector transporte se realizó en función del número total de vehículos del estado y de la población del estado. Se hicieron proyecciones supo-

niendo que el rendimiento de combustible fue el mismo para los años para los que se extrapoló siguiendo la tendencia de datos reales. En términos del rendimiento de combustible, las emisiones se pueden calcular de manera muy simple con la siguiente fórmula:

$$E_{b,i} = \frac{N_{b,i} F_E K_{RV}}{R_b}$$

Donde:

$N_{b,i}$ es el número de vehículos en el estado de Chihuahua al año i (vehículos) del escenario base

F_E es el factor de emisión de equivalentes de CO2 por litro de combustible (GgCO2e/L)

K_{RV} son los kilómetros recorridos por vehículo en promedio (km/vehículo)

R_b es el rendimiento de combustible (km/L) del escenario base

Con esta fórmula se ha extraído y hecha explícita la relación entre las emisiones y el rendimiento de combustible, independientemente de otros factores que influyan sobre el factor de emisión.

Si en el año m, se integran N_m vehículos nuevos a la flota vehicular del estado, entonces el número de vehículos de año modelo anterior a m es:

$$N_{b,m} - N_m$$

Suponiendo que la nueva norma empieza a aplicar en el año m, las emisiones generadas por los vehículos de año modelo anteriores al año m es:

$$E_{b,m}^a = \frac{(N_{b,m} - N_m) F_E K_{RV}}{R_b}$$

Donde:

$E_{b,m}^a$ son las emisiones de todos los vehículos anteriores al año m, con el rendimiento del escenario base.

Las emisiones generadas por los vehículos nuevos del año modelo m, con el rendimiento dado por la nueva normatividad será:

$$E_{n,m} = \frac{N_m F_E K_{RV}}{R_m}$$

Donde:

$E_{n,m}$ son las emisiones de los vehículos nuevos del año modelo m, con el rendimiento de combustible R_m correspondiente a ese año establecido por la nueva normatividad.

Se ha supuesto que se mantiene el factor de emisión y el promedio de recorrido por vehículo, para sólo analizar el efecto de la nueva normatividad.

Al año siguiente a m se integran nuevos vehículos, pero los vehículos de año modelo m se supone que siguen teniendo el mismo rendimiento y emisiones que al año m. Generalizando para cualquier año n posterior al año m de entrada en vigor de la nueva normatividad se obtiene la siguiente fórmula:

$$E_{n,m} = \frac{(N_{b,n} - \sum_{i=m}^n N_i) E_{b,n}}{N_{b,n}} + \frac{(\sum_{i=m}^n \frac{N_i}{R_i}) E_{b,n} R_b}{N_{b,n}}$$

Donde:

$E_{n,m}$ son las emisiones de equivalentes de CO2 del año n, posterior al año m de entrada en vigor de la nueva normatividad ($n \geq m$)

$N_{b,n}$ es el número total de vehículos del estado de Chihuahua en el año n

N_i es el número de vehículos nuevos que se integran a la flota vehicular del estado de Chihuahua en el año i

$E_{b,n}$ son las emisiones del escenario base correspondientes al año n

R_i es el rendimiento de combustible para el año i bajo la nueva normatividad

R_b es el rendimiento de combustible del año previo a la entrada en vigor de la nueva normatividad

Para llevar a cabo los cálculos utilizando las fórmulas anteriores es necesario contar con el número de autos nuevos de cada año. Las ventas hasta el 2015 de autos nuevos en el estado de Chihuahua se muestran en el Cuadro 40.

Cuadro 40. Ventas de autos nuevos en el estado de Chihuahua.

Año	No. de vehículos
2010	18,071
2011	22,746
2012	27,845
2013	28,898
2014	28,300
2015	37,202

Fuente: Ilustración 15 del Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua, Visión 2040. Quinta Actualización.

En la Figura 38 se muestra gráficamente la comparación entre el escenario base y el escenario de mitigación.

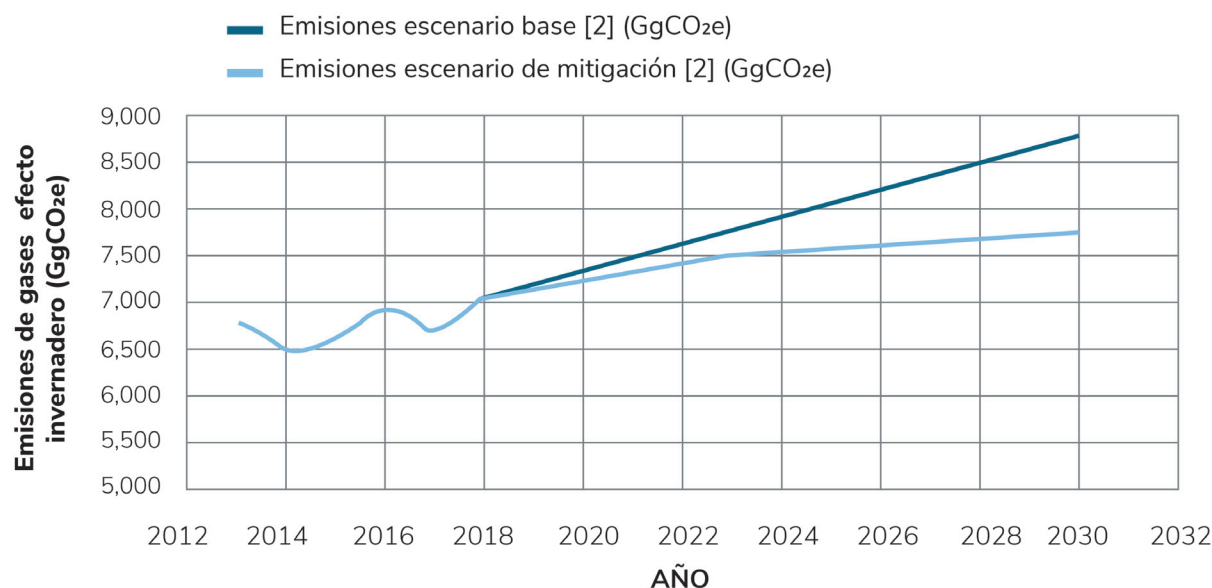


Figura 38. Comparación del escenario base con el escenario de mitigación que consiste en actualizar la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro 41 muestra los pasos y resultados del cálculo de las emisiones de transporte para el escenario en el que se toma en cuenta la entrada en vigor de la propuesta de modificación a la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.

De acuerdo con información del International Council on Clean Transportation, la normatividad para el promedio corporativo del rendimiento de combustible no tiene ningún costo, pero eso es en Estados Unidos, donde los precios de los automóviles, ajustados por inflación, no tuvieron cambio de 1997 a 2016 y, sin embargo, el rendimiento pasó de 8.5 a 13.6 km/L. De esto se infiere que la mejora continua del rendimiento de combustible no aumenta el precio de los vehículos. Cabe aclarar que la normatividad propuesta incluye un intervalo finito de tiempo en el entendido de que antes de que concluya dicho período se harán revisiones y se podrá extender el intervalo. En este caso el intervalo contemplado fue de 2018 a 2025, por lo que para años posteriores a 2025 se toma el rendimiento de combustible de 2025. De acuerdo con lo anterior, el potencial de mitigación sería de 1 Mt CO₂e. Estimaciones realizadas por el INECC⁹¹ indican un costo de abatimiento de -10 USD/tCO₂ a la industria automotriz por la implementación de esta medida.

⁹¹ INECC-PNUD México (2016). Rutas de instrumentación de las CND en materia de reducción y mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GYCEI) en el sector transporte. Proyecto 85488.

Cuadro 41. Pasos y resultados del cálculo de las emisiones de transporte para el escenario en el que se toma en cuenta la entrada en vigor de la propuesta de modificación a la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013.

Año	Población a mitad del año en Chihuahua [1]	No. de vehículos [2]	Emisiones escenario base [2] (Gg CO ₂ e)	Número de autos nuevos, N [3]	Acumulado autos nuevos	Rendimiento, R [4] (km/L)	Razón N/R	Acumulado N/R	Emisiones escenario de mitigación [2] (Gg CO ₂ e)
2013	3,561,704	1,565,409	6,791	28,898					6,791
2014	3,590,344	1,424,601	6,467	28,300					6,467
2015	3,616,481	1,487,207	6,611	37,202					6,611
2016	3,649,416	1,630,738	6,941	48,314		14.60			6,941
2017	3,689,398	1,536,013	6,724	47,353		14.60			6,724
2018	3,727,984	1,701,359	7,104	51,642	51,642	16.16	3,197	3,197	7,083
2019	3,765,325	1,760,589	7,240	55,931	107,574	16.75	3,339	6,536	7,190
2020	3,801,487	1,820,092	7,377	60,221	167,794	17.39	3,463	9,999	7,289
2021	3,836,506	1,879,844	7,514	64,510	232,304	18.15	3,554	13,552	7,377
2022	3,870,381	1,939,808	7,652	68,799	301,103	19.00	3,620	17,173	7,454
2023	3,903,129	1,999,954	7,791	73,088	374,191	19.90	3,673	20,846	7,519
2024	3,934,782	2,060,260	7,929	77,377	451,568	20.83	3,714	24,560	7,571
2025	3,965,283	2,120,660	8,068	81,666	533,234	21.81	3,744	28,305	7,612
2026	3,994,658	2,181,128	8,207	85,955	619,190	21.81	3,941	32,246	7,649
2027	4,022,902	2,241,624	8,346	90,245	709,434	21.81	4,138	36,384	7,683
2028	4,050,006	2,302,105	8,486	94,534	803,968	21.81	4,334	40,718	7,713
2029	4,075,987	2,362,543	8,625	98,823	902,791	21.81	4,531	45,249	7,741
2030	4,100,797	2,422,871	8,763	103,112	1,005,903	21.81	4,728	49,977	7,764

Fuentes:

[1] Consejo Nacional de Población. Indicadores Demográficos 1950 - 2015. Columna POM_MIT_AÑO. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Datos_Abiertos/Proyecciones2018/ind_dem_proyecciones.csv consultado el 1/02/2019.

[2] Estimación realizada en este trabajo

[3] De 2013 a 2016 ver cuadro X, de 2017 en adelante estimación realizada en este trabajo

[4] El dato para 2016 se tomó de: "Costos de las contribuciones nacionalmente determinadas de México" hecho público por el INECC y la SEMARNAT (2018). El dato para 2017 se tomó igual al de 2016 toda vez que no se ha modificado la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. Los datos de 2018 a 2025 se tomaron de los equivalentes ponderados para los promedios corporativos del rendimiento de combustible de: Code of Federal Regulations: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - 40 CFR Parts 85, 86, and 600. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION - National Highway Traffic Safety Administration 49 CFR Parts 523, 531, 533, 536, and 537. - 2017 and Later Model Year Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emissions and Corporate Average Fuel Economy Standards. Final rule. p. 62641 Table I-3.

ACCELERAR LA INTRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La actualización de la norma NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 se tenía prevista para entrar en operación en el 2017, pues se suponía que regularía los promedios corporativos de las emisiones de CO₂ de vehículos automotores nuevos, cuyo año modelo fuera 2017 y hasta 2025. Sin embargo, todo parece indicar que este proyecto de norma nunca entrará en vigor, pues a la fecha de escritura de este documento (2021) no se tiene prevista su aprobación. Además, el proyecto de norma ya es obsoleto toda vez que se demanda un cambio tecnológico profundo en el sector transporte por la urgencia de atender las causas del cambio climático.

Muchos países, desarrollados y no desarrollados están comprometiéndose a este cambio radical de tecnología, poniéndose como meta una penetración de vehículos eléctricos del 100% al 2030.

Se estima que el 90% de los automóviles ligeros en Estados Unidos deberían ser eléctricos para 2050 para lograr que el sector del transporte coadyuve con los objetivos de mitigación climática. Eso implicaría exigir que todas las ventas de automóviles nuevos de Estados Unidos sean eléctricas a partir de 2035, como ya lo ha establecido el gobierno de California⁹².

Por otra parte, los fabricantes de automóviles están cambiando sus modelos de negocio, enfocándose más en el desarrollo y venta de vehículos electrificados. En esta gama de vehículos se incluyen vehículos híbridos (HEV – Hybrid Electric Vehicles), vehículos híbridos que se conectan (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle), vehículos eléctricos con baterías (BEV – Battery Electric Vehicles) y vehículos de celdas de combustible (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle). Los vehículos híbridos han estado en el mercado ya por algún tiempo con un buen nivel de desempeño, mientras que los vehículos eléctricos y de celdas de combustible están actualmente entrando en la gama más cara del mercado, pero los planes de las empresas son bastante ambiciosos.

Toyota, por ejemplo, anunció recientemente su meta a mediano plazo de vender 5 millones y medio de unidades electrificadas para el 2030. Esto representa casi el 58% del número de unidades que vendieron en 2020. Incluida en esa meta está la venta de 1 millón de unidades FCEV o BEV. La meta a largo plazo de esta empresa es de emisiones cero para el 2050⁹³. La empresa General Motors (GM) también ha anunciado un plan para convertir sus productos y operaciones globales a emisiones netas cero para 2040 y se ha comprometido a establecer objetivos basados en la ciencia⁹⁴ para lograr la neutralidad en carbono. Para el 2035 planean eliminar las emisiones vehiculares de escape mediante la introducción de las tecnologías de autos eléctricos (BEV) y de celdas de combustible (FCEV).

Climate Ambition Summit

By the promethean power of our invention we can begin to defend the earth against the disaster of global warming.

... we can radically cut our dependence on fossil fuels, we can change our agricultural practices, and in short we can reverse the process by which for centuries, humanity has been quilting our planet in a toxic tea-cosy of greenhouse gases.

... wind power generation, enough wind power by 2030 to supply every single one of our homes with electricity.

We're going ahead with the massive solar programme, even though we can't hope to emulate the incredible things being done in India, Australia or Morocco for instance.

... we're liberating the awesome potential of hydrogen, whether for homes or all sorts of uses.

On electric vehicles we're going to ban internal combustion engines, new internal combustion engines by 2030.

Prime Minister Boris Johnson
12 December 2020

<https://www.gov.uk/government/speeches/pm-climate-ambition-summit-opening-remarks-12-december-2020>

En el mediano plazo, al 2025, planean que el 40% de sus vehículos ligeros vendidos en Estados Unidos sean BEV⁹⁵.

El potencial de mitigación por la transición a un mercado de vehículos eléctricos se analizó con la misma metodología descrita en la sección anterior, considerando que los autos eléctricos BEV y FCEV tienen emisiones cero de CO₂. Los escenarios fueron definidos en términos del porcentaje de penetración de vehículos electrificados, por lo cual fue necesario primeramente contar con las proyecciones de venta de vehículos tanto a nivel nacional como para el estado de Chihuahua. En el Cuadro 42 se muestran los resultados obtenidos con información del INEGI hasta el año 2018, y las proyecciones de ventas de acuerdo con estos datos. También se muestra la proporción de autos vendidos en Chihuahua respecto del número de autos vendidos a nivel nacional (ver Figura 39).

⁹² Iaconangelo (2020) Ninety Percent of U.S. Cars Must Be Electric by 2050 to Meet Climate Goals. Scientific American. <https://www.scientificamerican.com/article/ninety-percent-of-u-s-cars-must-be-electric-by-2050-to-meet-climate-goals/>

⁹³ <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/environmental-challenge-2050/challenge-1>. Consultado el 5/2/2021.

⁹⁴ Los "objetivos basados en ciencia", son una iniciativa que apoya a las empresas para especificar qué tanto y qué tan rápido una compañía debe reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero, para alinearse con las metas del Acuerdo de París contra el Cambio Climático.

⁹⁵ GM Corporate Newsroom. General Motors, the Largest U.S. Automaker, Plans to be Carbon Neutral by 2040. <https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2021/jan/0128-carbon.html> Consultado el 5/2/2021.

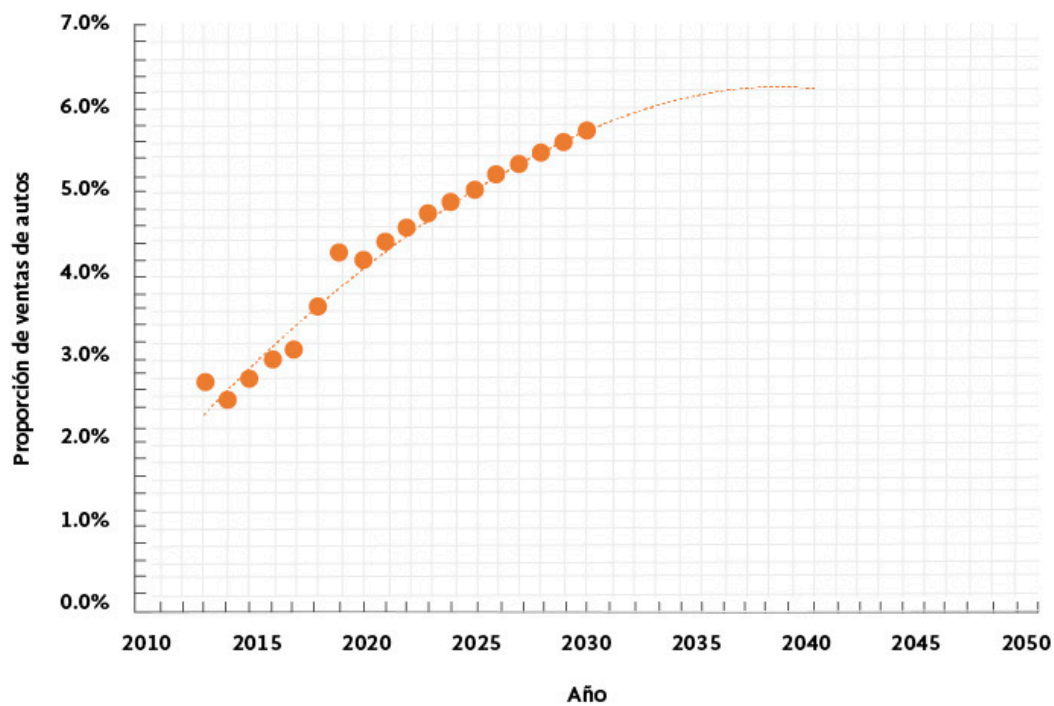


Figura 39. Porcentaje de autos vendidos en Chihuahua respecto de los vendidos a nivel nacional

Cuadro 42. Ventas de vehículos ligeros en Chihuahua y nacional

Año	Venta Total Nacional [1] (Vehículos ligeros)	Venta Total Chihuahua [2] (Vehículos ligeros)	Proporción de vehículos vendidos en Chihuahua de los vendidos a nivel nacional
2005	1,131,768		
2006	1,139,736		
2007	1,099,890		
2008	1,025,544		
2009	754,925		
2010	820,413	18,071	2.2%
2011	905,893	22,746	2.5%
2012	988,042	27,845	2.8%
2013	1,065,098	28,898	2.7%
2014	1,136,965	28,300	2.5%
2015	1,354,444	37,202	2.7%
2016	1,607,165	48,314	3.0%
2017	1,534,827	47,353	3.1%
2018	1,426,926	51,642	3.6%
2019	1,317,727	55,931	4.2%
2020	1,443,012	60,221	4.2%
2021	1,479,143	64,510	4.4%
2022	1,515,275	68,799	4.5%
2023	1,551,407	73,088	4.7%
2024	1,587,539	77,377	4.9%
2025	1,623,670	81,666	5.0%
2026	1,659,802	85,955	5.2%
2027	1,695,934	90,245	5.3%
2028	1,732,066	94,534	5.5%
2029	1,768,197	98,823	5.6%
2030	1,804,329	103,112	5.7%

Fuente: Elaboración propia con datos de [1] INEGI (2021) Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros, y [2] CIES con base en AMDA y UCAN. Tomado del Plan de desarrollo urbano de la Ciudad de Chihuahua, Visión 2040. Quinta Actualización. Los datos en negritas son resultado de la información en las fuentes citadas, los otros son estimaciones.

En la Figura 39 se observa que la proporción de autos vendidos en Chihuahua respecto de los vendidos a nivel nacional tienen una tendencia a estabilizarse después del 2035. Sin embargo, en el período de 2020 a 2030 sí se observa un cambio de 4% a 6%. Se considera que esta proporción es válida para la venta de autos electrificados, en otras palabras, que la penetración de ventas de autos eléctricos para Chihuahua es la misma que a nivel nacional. Se consideran tres escenarios de penetración: el tendencial con un 6% de penetración al 2030, un escenario de mediana penetración, 20% al 2030 y uno ambicioso con 60% al 2030 (ver Figura 40).

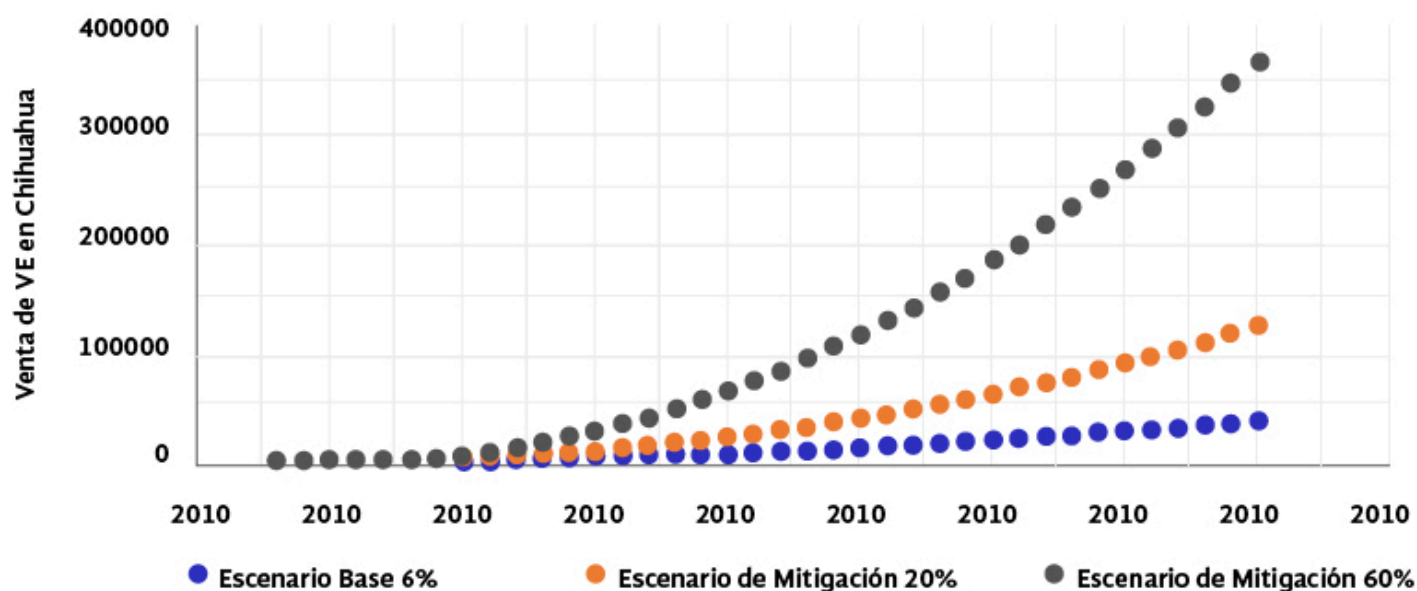


Figura 40. Escenarios de ventas de vehículos eléctricos en Chihuahua. Se indica el porcentaje de penetración de la tecnología de vehículos electrificados.

Fuente: Elaboración propia

Los dos primeros escenarios son consistentes con los propuestos por el INECC⁹⁶ en su evaluación de costos de las contribuciones nacionalmente determinadas de México. En dicha evaluación el escenario base considera una cierta penetración tecnológica con el avance tendencial, de manera que para 2030 se proyecta que sólo 6 por ciento de las ventas en el mercado doméstico será de vehículos con tecnologías diferentes al motor de combustión interna tradicional y, con base en la proyección de ventas, estos vehículos representarán 1.4 por ciento de la flota total nacional de ese mismo año. El escenario de mitigación supone que, mediante los incentivos económicos correctos, en 2030 la penetración tecnológica alcanzará 20 por ciento de las ventas totales de los vehículos ligeros. Con este nivel de ventas, se proyectó un costo bruto de 234 millones de dólares. Si la penetración tecnológica siguiera el escenario base el costo bruto sería 167.21 millones de dólares mayor, por lo que el costo medio de mitigación sería de -39 USD/tCO₂e.

En la Figura 41 se muestran los resultados de las proyecciones a 2030 de las emisiones de GEI provenientes de vehículos ligeros (autos) en el estado de Chihuahua bajo diferentes escenarios. En todas las gráficas se muestran cuatro curvas. La curva amarilla muestra el escenario de línea base correspondiente a la permanencia de la situación actual, es decir con el nivel de emisiones de GEI actual dadas por un rendimiento promedio de 14.6 km/L. La curva verde corresponde a las emisiones de todos los vehículos vendidos antes del 2018, año en que se supone inician las acciones de mitigación que correspondan. La curva azul claro corresponde a las emisiones de todos los vehículos vendidos en el 2018 o después de ese año, y la curva azul oscuro corresponde a las emisiones de todos los vehículos en circulación, esto es, la suma de las curvas azul claro y verde.

La primera gráfica corresponde a un escenario en el que la modificación a la norma NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 hubiese entrado en vigor en el 2018, de modo que

⁹⁶ INECC. (2018). Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México

el rendimiento promedio corporativo habría pasado de 16.2 km/L en 2018 a 21.8 km/L en el 2025, y así permanecería hasta el 2030. Los autos vendidos en años anteriores al 2018 tendrían el rendimiento del escenario base 14.6 km/L. Este escenario contempla por lo tanto la introducción de los autos híbridos que desplazan el rendimiento promedio hacia valores arriba de 20 km/L. La curva verde tiene una tendencia monótonamente descendiente debido a que los autos de mayor antigüedad van saliendo de circulación. Por otra parte, entran en circulación autos de modelos 2018 y posteriores por lo que las emisiones de este grupo de autos aumentan (curva azul claro). La suma de las emisiones de estos dos grupos de autos (curva azul oscuro) permanece prácticamente al mismo nivel durante todo el período de 2018 a 2030, a pesar del aumento en el número de autos en circulación (42% más que en 2018). En este caso se observa una reducción al 2030 de 971 GgCO₂e, con respecto al escenario de línea base.

En la gráfica superior derecha de la Figura 41 se muestran los resultados del escenario en el que ha entrado en vigor la modificación a la norma, y con baja penetración de autos electrificados de última tecnología, BEV y FCEV. En realidad, como la penetración de esta tecnología en el mercado se ha supuesto muy baja para este escenario (6% de las ventas de autos nuevos al 2030) el comportamiento es muy parecido al

de la primera gráfica. En este caso se observa una reducción al 2030 de 1,049 GgCO₂e, con respecto al escenario de línea base.

En la gráfica inferior izquierda de la Figura 41 se muestran los resultados del escenario en el que ha entrado en vigor la modificación a la norma, y con una moderada penetración de autos electrificados de última tecnología, BEV y FCEV (20% de las ventas de autos nuevos al 2030). El comportamiento general es el mismo al descrito anteriormente, pero en este caso se observa una reducción al 2030 de 1,225 GgCO₂e, con respecto al escenario de línea base.

En la gráfica inferior derecha de la Figura 41 se muestran los resultados del escenario en el que no entra en vigor la modificación a la norma, pero se considera una moderada penetración de autos electrificados de última tecnología, BEV y FCEV (20% de las ventas de autos nuevos al 2030). Se subraya que, a la fecha, la modificación a la norma NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 no ha entrado en vigor, por lo que este escenario es muy relevante. A pesar de la moderada penetración de la tecnología de vehículos eléctricos de cero emisiones, en este escenario la reducción de emisiones al 2030 se estima en sólo 370 GgCO₂e, con respecto al escenario de línea base. Pero lo más grave es que la tendencia es creciente.

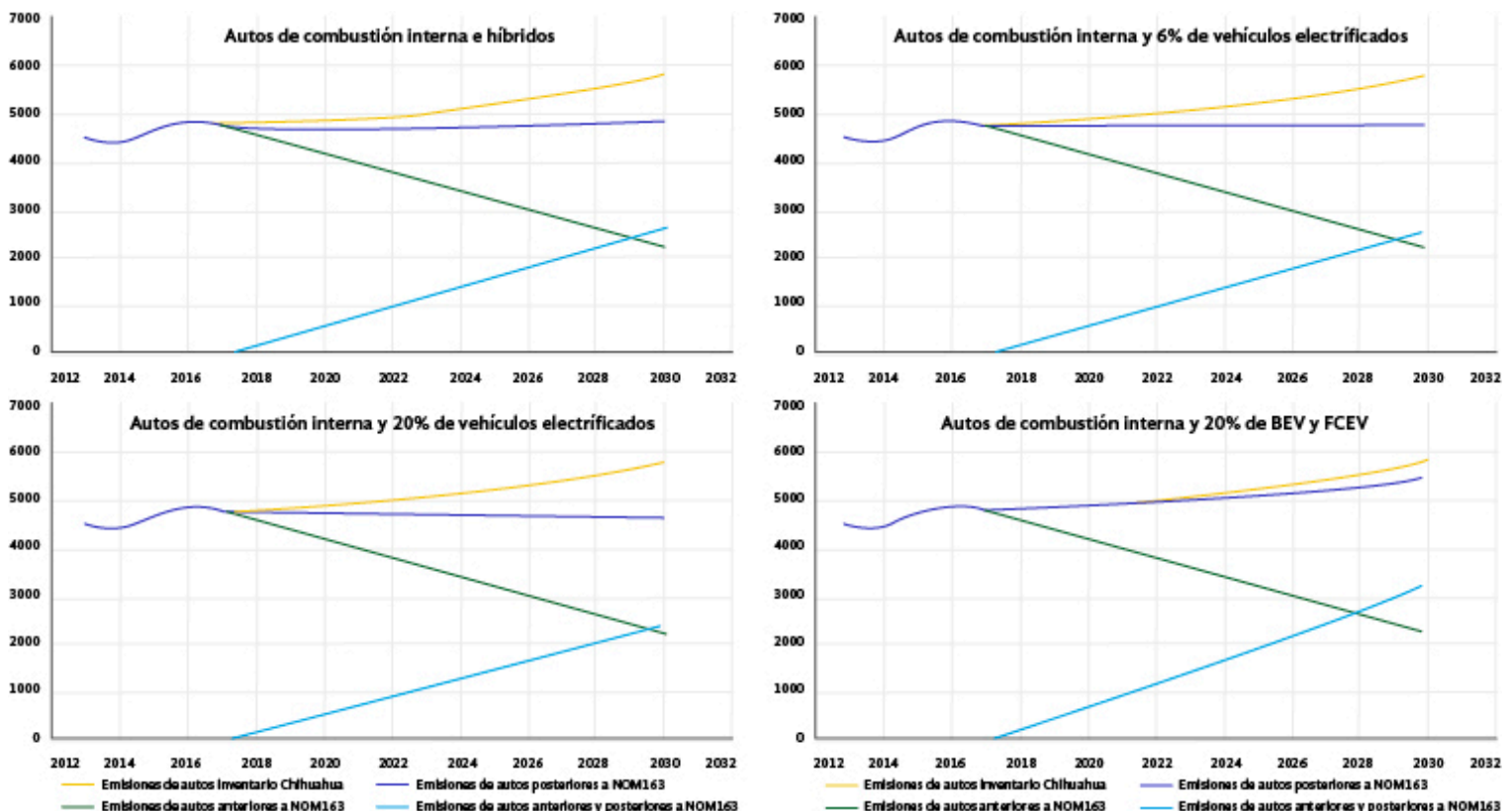


Figura 41. Emisiones de GEI por autos en el estado de Chihuahua bajo diferentes escenarios de mitigación.

Fuente: Elaboración propia

La situación de este último escenario muestra la urgencia de tomar medidas de mitigación sin dilación, porque entre más se retarden las acciones, más difícil será lograr los objetivos de prevención del cambio climático.

La pregunta surge, y ahora ... ¿qué hacemos? Las medidas que ahora se deben tomar implican mayores esfuerzos. Hay corrientes ideológicas que promueven el empobrecimiento de la calidad de vida, como la teoría de densificación de las comunidades, bajo el sofisma de que el hacinamiento de la población evitará los largos traslados y promoverá el uso de bicicletas y recorridos a pie, dejando de lado las conclusiones de la teoría malthusiana, y promoviendo una demanda excesiva de recursos ya observada en las grandes ciudades. La realidad es que la concentración de la población en grandes edificaciones crea cinturones de marginación que a la larga provocan grandes problemas, que van desde la provisión de servicios y disputas sobre tenencia de la tierra, hasta supresión de derechos humanos y pérdida de calidad humana.

Sin embargo, la tecnología puede todavía resolver algunos problemas. La Figura 42 es una muestra de los escenarios que se están contemplando a nivel global para poder lograr los objetivos del Acuerdo de París, y con ello evitar la catás-

trofe global en puerta⁹⁷. Como se puede apreciar, las ventas de autos con combustión interna deberían desvanecerse para antes del 2040, y 10 años más tarde el mercado debería estar dominado por vehículos eléctricos de emisiones cero, ya ni siquiera híbridos. Esto implica una penetración de tecnología de vehículos electrificado de hasta el 80% para el 2030.

Dos escenarios más fueron desarrollados, con proyecciones de largo plazo al 2050. El primero es extensión del escenario de la gráfica inferior derecha de la Figura 43, es decir con la flota vehicular actual y suponiendo que se introducen vehículos de emisión cero desde el 2018 con una penetración del 20% al 2030. Se proyecta que las emisiones continúen aumentando hasta alcanzar un nivel 1,597 GgCO₂e más elevado que en 2018. Es decir, no hay reducción efectiva. El otro escenario contempla una penetración muy agresiva, pero apenas suficiente, del 60% al 2030, en concordancia con los escenarios globales que actualmente se están manejando. En este escenario sí se observa una reversión en la tendencia de emisiones a partir de 2025 con una disminución efectiva de 2,384 GgCO₂e de 2018 a 2050. Hay que señalar que con este escenario hay una tendencia continua de reducción de emisiones y cierta esperanza de alcanzar el objetivo de cero emisiones.

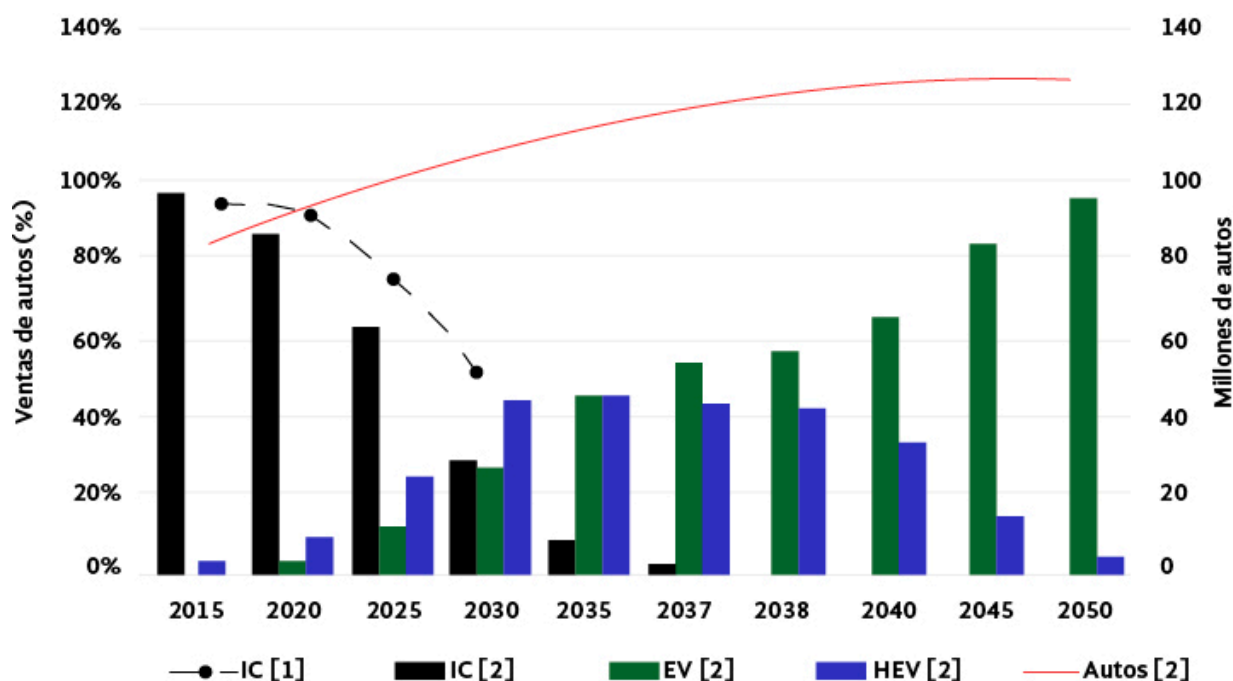


Figura 42. Evolución ideal de las ventas de autos al 2050 hacia una descarbonización del sector transporte.

Fuente: Elaboración propia con información de: [1] Mosquet et al. (2018)⁹⁸ y [2] Robeco Investment Solutions⁹⁹. IC: Autos de combustión interna; EV: Vehículos eléctricos a baterías y de celdas de combustible; HEV: Vehículos híbridos de todo tipo; Autos: Ventas de vehículos ligeros en millones de unidades. La curva IC[1] representa un escenario conservador.

⁹⁷ El informe especial del IPCC sobre la limitación del calentamiento global a 1.5°C (2019) dejó en claro que se necesitan transiciones rápidas y de largo alcance en todos los sectores, incluido el de transporte, para alcanzar emisiones netas cero para 2050 (<https://www.ipcc.ch/sr15/>).

⁹⁸ Mosquet et al. (2018) The Electric Car Tipping Point – The Future of Powertrains for Owned and Shared Mobility. Boston Consulting Group. <https://www.bcg.com/publications/2018/electric-car-tipping-point>

⁹⁹ Robeco Investment Solutions (2019) Investment Outlook 2019 “Turbulence Ahead”.

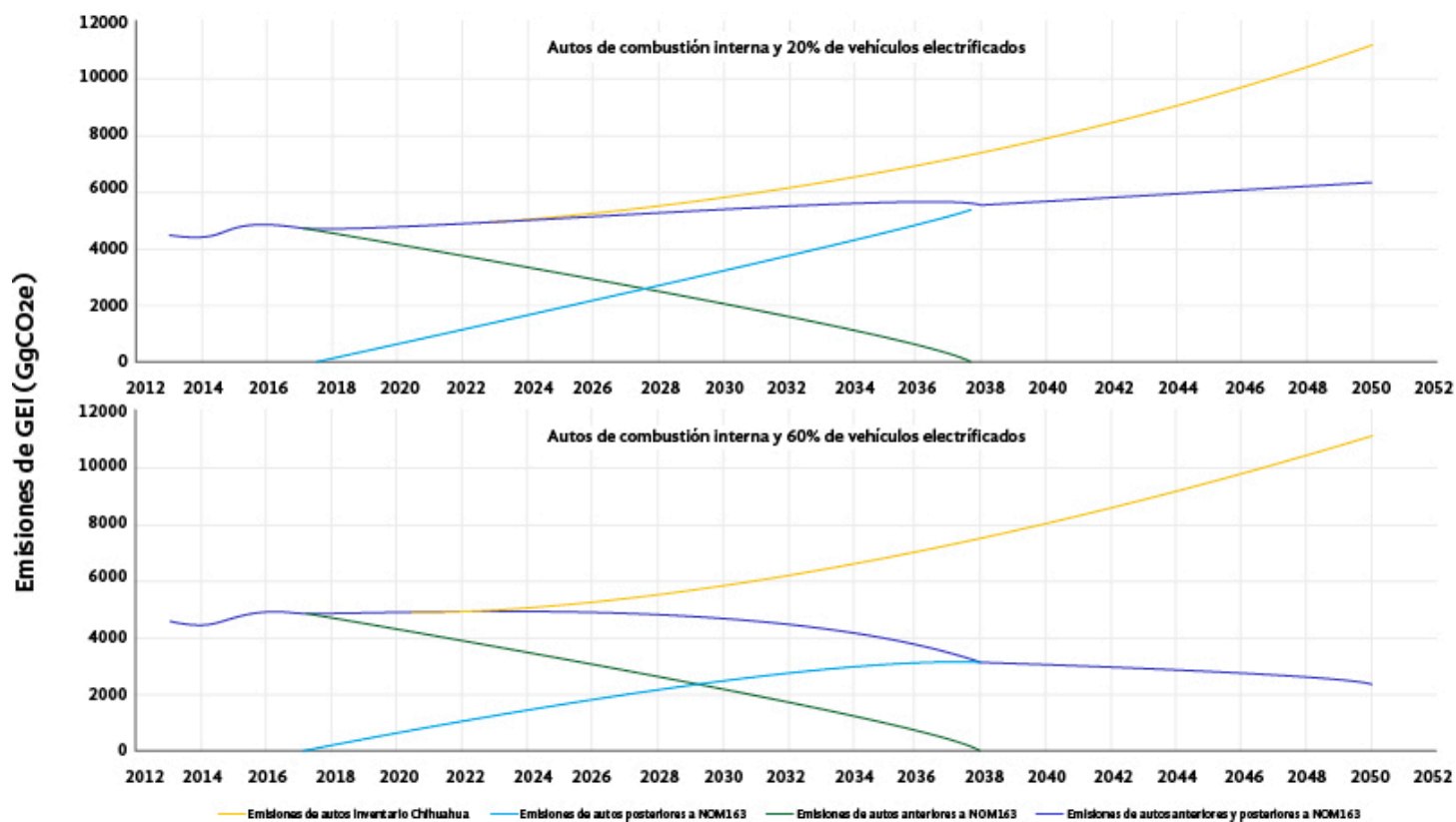


Figura 43. Proyección de las emisiones de GEI por vehículos ligeros en Chihuahua.

Fuente: Elaboración propia

OTRAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN EL SECTOR TRANSPORTE

Otras medidas que pueden aplicarse en el sector transporte, cuyo costo es mínimo o despreciable, consiste en promover la homologación y modificación de los reglamentos de tránsito para disminuir los ciclos de frenado y aceleración debido a la presencia de obstáculos como son baches, topes, embotellamientos e incluso las calles sin pavimentar.

Los topes han sido una medida paliativa para asegurar que los vehículos no excedan cierto límite de velocidad, debido a la incapacidad de las autoridades para aplicar de manera efectiva el reglamento de tránsito debido a la cultura de corrupción que prevalece en el país. El desorden vehicular es un aspecto similar. En el reglamento de tránsito debería establecerse el procedimiento para incorporarse a o desincorporarse de las diferentes vías mediante la designación de carriles exclusivos para ese fin. Asimismo, la pavimentación de las vialidades debería estar normada para asegurar que no se presenten baches, discontinuidades en la vialidad, coladeras sobre la zona de rodamiento o cualquier otra anomalía. La aplicación implacable de un reglamento de tránsito que tenga como uno de sus objetivos agilizar el tránsito puede ser una medida de bajo costo que resultaría en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, al reducir el tiempo de tránsito y reducir los ciclos de aceleración y frenado.

Medidas de alto costo, pero con muchos más beneficios que el de únicamente cumplir con las metas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero tienen que ver con la aplicación de los planes de ordenamiento territorial y distribución geográfica de la riqueza. En lugar de seguir densificando las ciudades, lo cual acarrea problemas de tránsito, demanda excesiva de recursos, aumento en la desigualdad social y un alto estrés entre la población, sería más conveniente promover el desarrollo de núcleos rurales y pequeñas localidades para convertirlos en centros de desarrollo de actividades de baja intensidad energética (bajo consumo energético y alto producto interno bruto). Estos centros que actualmente parecen olvidados son proclives al desarrollo de actividades ilícitas y tienen poca esperanza de prosperidad. El desarrollo de estos núcleos poblacionales reducirá la carga de tránsito en las grandes ciudades ayudando a resolver el problema de transporte, y por ende reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, es importante establecer programas de movilidad sustentables que ayuden a la disminución del uso del automóvil particular, sobre todo en las ciudades principales del estado. Estos programas, deben ir acompañados con otras acciones orientadas al buen mantenimiento de las vialidades y un diseño adecuado de las mismas para agilizar los tiempos de traslados. Es importante apoyarse en centros especializados en la materia para poder desarrollar programas efectivos.

La electrificación del sistema de transporte colectivo también ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sistemas de transporte colectivo (metro), o trolebuses son opciones altamente rentables y cuya viabilidad ha sido demostrada. El costo de un autobús eléctrico de baterías es de casi 1 millón de dólares (aproximadamente 20 millones de pesos) y en caso de necesitar nuevas baterías el costo de un módulo es de más de la mitad de ese monto, mientras un trolebús hecho en el país con tecnología de punta que puede recorrer 20 kilómetros sin estar conectado cuesta sólo 550 mil pesos¹⁰⁰. Los trolebuses por su diseño son más propensos a circular en orden que los autobuses o microbuses que frecuentemente ignoran el reglamento de tránsito, exceden límites de velocidad, hacen paradas en cualquier sitio entorpeciendo la circulación y como consecuencia aumentando de forma indirecta la emisión de gases de efecto invernadero.

En el estado de Chihuahua, los autos ilegales tienen una importante participación en el parque vehicular total de la entidad. El problema es que estos autos no pasan los controles ambientales ni de seguridad en los Estados Unidos, por lo que las emisiones de estos vehículos pueden ser mayores que un automóvil que cumple con la normatividad nacional. Ante esta problemática, durante las consultas públicas se propuso, como una actividad que puede apoyar la mitigación de gases de efecto invernadero, que se implemente un programa de retiro de estas unidades.

Por otro lado, también en las consultas públicas se propuso el fomentar el desarrollo de programas más eficientes en la distribución de productos; así como también la de implementar programas de verificación vehicular. Sobre este último punto, se recomienda que se realice un análisis de la pertinencia para implementar esta medida de manera general, pensando que sea solo en las ciudades principales del estado. También hay que considerar que en los verificatorios se analizan las emisiones de contaminantes criterio, no de CO₂, por lo que no podría determinarse el impacto en la disminución de GEI, a menos que se incluya este parámetro en el protocolo de verificación. Por otra parte, tanto este tipo de verificación como el problema de importación ilegal de vehículos tendrá cada vez menos impacto si se implementa un programa para acelerar la introducción de vehículos eléctricos.

En el Cuadro 43 se resumen las acciones de mitigación para el sector transporte.

¹⁰⁰ <https://www.eleconomista.mx/estados/Rechazan-sustitucion-del-Trolebus-en-CDMX-20161127-0038.html>. Consultado el 24/4/2019.

Cuadro 43. Actividades para apoyar la mitigación del sector transporte en el estado de Chihuahua.

Sector	Actividades Específicas
Transporte	Promover la modificación de la norma NOM-163-SEMARNAT-ENER-SC-FI-2013: Emisiones de bióxido de carbono (CO ₂ proveniente del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos
	Implementar un programa para acelerar la introducción de vehículos eléctricos
	Promover el desarrollo de un sistema colectivo de transporte eléctrico eficiente y seguro en las principales ciudades del estado
	Promover la homologación de los reglamentos de tránsito para disminuir los ciclos de frenado y aceleración, y para agilizar el tránsito en las ciudades o poblaciones
	Desarrollo de programas de movilidad y reglamentación que norme aspectos para agilizar los tiempos de traslados, buscando la integración de tecnologías sustentables
	Promover y desarrollar infraestructura de movilidad a través del fortalecimiento de centros académicos y de investigación
	Desarrollar un esquema para la eliminación del parque vehicular ilegal
	Fomentar el desarrollo de programas en el sector empresarial para efficientizar su red de distribución de productos
	Analizar la pertinencia de implementar un programa de verificación vehicular en las ciudades principales del estado

Nota: las 4 últimas actividades surgieron durante las consultas públicas del presente PECC.

1.4.1.3 MITIGACIÓN PARA EL SECTOR GANADERÍA - BOVINOS

PANORAMA GLOBAL

La ganadería contribuye de manera importante a las emisiones de gases de efecto invernadero a través de dos procesos: la fermentación entérica y por el manejo de estiércol. Se han ideado varias medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado bovino, sin embargo, como se concluye en un reporte⁶⁵ publicado en 2017 por la Sociedad de Innovación Agrícola Europea (Agricultural European Innovation Partnership), dichas medidas presentan un reto en cuanto a la razón costo – efectividad. Un extracto de estas conclusiones se presente a continuación:

La gestión de granjas es considerada como uno de los principales factores que afectan no solo a la rentabilidad de la granja, sino también a las emisiones del ganado. El clima y las condiciones del suelo también interactúan con el manejo de la granja, y por lo tanto influyen en las emisiones de N (N₂O, NH₃, NOX) y C (CH₄ y CO₂), la difusión de la con-

taminación a través de nitrógeno y fósforo a las fuentes de agua y la capacidad potencial de secuestro de C del suelo.

Tanto para las emisiones de amoníaco como de metano, los cambios en la composición del alimento pueden mejorar la eficiencia de la producción. Esto producirá menos emisiones por kg de leche o carne y puede ser un beneficio económico para el agricultor, pero no necesariamente reducirá las emisiones globales a escala local o nacional. También requerirá un manejo cuidadoso de los piensos para los cuales se necesita el desarrollo de sistemas de precisión mejorados para la alimentación y dosificación del ganado.

Para la reducción de las emisiones de metano se están desarrollando varios tipos de aditivos para piensos. Todavía deben ser probados exhaustivamente en condiciones de producción, y hasta ahora los costos de estos aditivos limitarán su aplicación generalizada.

Los programas de reproducción con el objetivo de reducir las emisiones, enfocados en mejorar la producción mientras

disminuyen las emisiones de amoníaco y metano, pueden mejorar la eficiencia de la producción. Más leche por vaca o por unidad de alimentación beneficia al agricultor y reduce las emisiones por kg de producto. Pero, de nuevo, esto no necesariamente reducirá las emisiones globales a escala local o nacional. Sin embargo, a mayor escala, el medio ambiente se beneficiará de una producción más eficiente en emisiones. Esta discrepancia entre los efectos locales y globales debe abordarse al evaluar las medidas de mitigación futuras.

La cría también puede ser clave para la reducción de las emisiones. Parece que hay una variación genética sustancial entre las vacas individuales en sus emisiones de metano y, por lo tanto, un potencial para reducir las emisiones totales de metano por vaca mediante selección genética. El principal obstáculo para utilizar este conocimiento para mejorar las emisiones en general es la falta de métodos de medición precisos y exactos para las emisiones de animales individuales.

Los problemas con la medición de las emisiones de metano y amoníaco también son evidentes en otras escalas. La mayoría de las vacas se encuentran en establos con ventilación natural o pastan al aire libre, lo que dificulta la medición de las emisiones. Por lo tanto, los errores de medición a menudo son grandes, lo que hace que sea muy difícil determinar si una determinada técnica afecta realmente a las emisiones. Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar métodos de medición más exactos, precisos y baratos para la determinación de las emisiones de metano y amoníaco.

Las tecnologías de estabulación son un tipo de medida que ya está disponible para las reducciones de amoníaco, pero en su mayoría no son rentables para los agricultores. Varias de estas medidas también requieren cambios estructurales en el alojamiento de los animales. Si tales medidas se implementan de manera más amplia, es mejor hacerlo al mismo tiempo que se reconstruyen o se construyen establos completamente nuevos. Por lo tanto, se necesita un plan de implementación a largo plazo.

Un problema inherente con las emisiones de metano y amoníaco también es que tanto las emisiones como sus efectos son invisibles para el agricultor y el consumidor. Incluso los incentivos económicos para algunas medidas pueden ser difíciles de comprender para el agricultor. En este contexto, los modelos de granja pueden ser muy útiles para ilustrar, por ejemplo, cuánto significa una mejor eficiencia de nitrógeno para todo el balance de nutrientes de la granja y para el ingreso de la granja. Los proyectos de demostración también pueden ser una herramienta eficaz para mostrar los beneficios a otros agricultores.

Retomando el contexto de la ganadería en México, el país cuenta con una superficie de poco más de 196 millones de hectáreas, de las cuales se estima que casi un 56% tienen un uso pecuario; es decir casi 110 millones de hectáreas¹⁰¹. El resto son: bosques, tierras agrícolas y tierras de uso urbano, industrial y de otros usos. El manejo en pastoreo es principalmente el llamado convencional, es decir pastoreo extensivo, en el cual, el ganado recorre grandes distancias mientras se alimenta y busca de agua para beber, generalmente degradando los suelos y en consecuencia desertificando la superficie.

La capacidad que tiene el territorio de secuestrar gases de efecto invernadero es muy alta, sin embargo, una pradera con pastoreo continuo y extensivo puede perder casi en su totalidad esa capacidad por el mal manejo. Un bosque maduro tiene la capacidad de secuestrar hasta 30 toneladas de CO₂ al año, y una pradera manejada racionalmente, con ganadería sustentable, podría secuestrar hasta 10 toneladas por hectárea¹⁰².

La ganadería sustentable es una racionalización de la ganadería junto con una valorización del medio ambiente, muy especialmente de su componente biótico. Con esta práctica ganadera se pretende producir de forma sustentable (lo que se produzca en el presente no afecte lo que se pueda producir en el futuro), sin afectar el medio ambiente y en su caso, recuperando el medio ambiente deteriorado, aproximándose a las condiciones naturales anteriores a la introducción del ganado.

El pastoreo racional, conocido como Pastoreo Racional Voisin, considera como un todo a la comunidad biótica del complejo sistema suelo-vegetación-animal. Esta biocenosis inicia con la eliminación de insumos nocivos, y es estimulada por un manejo adecuado del pastoreo racional. Puede tomar varios años llevar el sistema perturbado por prácticas agrícolas convencionales hacia un sistema estabilizado con sus mejores niveles de producción agropecuaria en equilibrio.

La práctica de la ganadería sustentable promueve la conservación de los ecosistemas, con lo cual se generan beneficios ambientales al rancho: se conserva la biodiversidad aumentando la densidad de árboles y permitiendo el crecimiento de herbáceas que bajo el pastoreo convencional son consideradas como malezas. Como consecuencia se observa un aumento en la abundancia de insectos, lombrices, aves y muchos otros grupos de organismos vivos, lo que es un indicativo de la condición del suelo.

Una buena biodiversidad hace el sistema menos vulnerable a las plagas, al cambio climático y lo hace más resiliente, es decir, aumenta su capacidad de recuperarse ante una adversidad, como son los excesos de sequía o de agua, de las tormentas y también de la presión de pastoreo.

¹⁰¹ Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015. SEMARNAT 2016. p 111.

¹⁰² Caraza Stoumen, L. Experiencias exitosas: una alternativa económica y de conservación, p. 316. En Halffter, G., M. Cruz y C. Huerta (Comps.). 2018. Ganadería sustentable en el Golfo de México. Instituto de Ecología, A.C., México, 432 pp.

ACCIONES DE MITIGACIÓN EN CHIHUAHUA

En Chihuahua, ya se cuenta con casos de éxito que han implementado la ganadería sustentable para mejorar las condiciones de los pastizales. Tal es el caso de los ranchos Carretas y el Vado, en donde se implementó el manejo regenerativo de ranchos, lo que regresa la fertilidad a los suelos y por lo tanto la rentabilidad de la ganadería. El manejo regenerativo de ranchos es la combinación de varios sistemas de manejo y consta de cinco aspectos básicos: manejo holístico de los recursos donde todo se administra aplicando metodologías y principios; sistema de pastoreo con alta densidad de ganado por hectárea “no selectivo” (los animales no son selectivos); suplementación mínima correcta para favorecer la condición corporal del ganado; ganado genéticamente adaptado al medioambiente y al sistema de pastoreo “no selectivo”; y prácticas de manejo que permitan una producción en armonía con la naturaleza.

Debe tenerse en cuenta que cada rancho es muy diferente, incluso dentro del mismo rancho existen condiciones distintas, por ello se debe tener precaución cuando se intentan adaptar o replicar sistemas, métodos, razas y pastos de uno a otro lugar. Además de estudiar toda la literatura referente a manejo, sustentabilidad, manejo reproductivo, alimentación, etc., se deben tomar en cuenta las particularidades del sitio para lograr el resultado esperado. Por ello, es necesario llevar a cabo los estudios necesarios de topografía, climatología, biocenosis, genética del ganado, entre otros, antes de tomar decisiones que podrían resultar contraproducentes.

De lo anterior se desprende que algunas políticas de mitigación deben dirigirse a promover, apoyar y dar seguimiento a la implementación de sistemas de pastoreo sustentable en

oposición al pastoreo convencional. Se deben llevar a cabo los estudios necesarios para tomar en cuenta las particularidades de cada sitio, no solo para lograr el éxito de la implementación de los sistemas de pastoreo sustentables, sino para poder llevar a cabo la evaluación y el seguimiento del nivel de mitigación que resulte de dicha implementación.

La promoción puede llevarse a cabo mediante talleres, foros, expos y cualquier otra medida de acercamiento de los ganaderos a las nuevas prácticas sustentables. El apoyo debería incluir un componente de asesoría tanto por expertos como por ganaderos que ya hayan llevado a cabo la implementación de la ganadería sustentable, capacitación y estudios realizados por universidades y centros de investigación. Así mismo, la creación de instrumentos como el certificado de “Área Privada de Conservación” otorgado por la SEMARNAT, e instrumentos que protejan a los ganaderos de las presiones urbanas o de otro tipo de cambio de uso de suelo, así como de incentivos para obtener apoyos económicos o de financiamiento blando.

POTENCIAL DE MITIGACIÓN

De acuerdo con datos presentados en el programa sectorial 2010-2016 por la Secretaría de desarrollo rural del gobierno del estado de Chihuahua (p. 113), en este estado existen más de 17 millones de hectáreas con potencial de agostadero (casi 70% de la superficie del estado), de las cuales más de 10 millones de hectáreas presentan deterioro. Según esta información 4,684,731 ha presentan sobrepastoreo. En el Cuadro 44 se muestra el potencial de mitigación de la conversión del sistema de producción ganadera convencional que utiliza pastoreo extensivo al sistema silvopastoril intensivo (SSPi), aplicado a los 10 millones de hectáreas de agostadero que presentan deterioro.

Cuadro 44. Potencial de Mitigación de SSPi.

Parámetro	Unidades	Valor
Superficie del estado	ha	24,746,00
Potencial de agostadero	ha	17,000,000
Porcentaje de la superficie estatal	%	69%
Superficie con deterioro	ha	10,000,000
Superficie con sobrepastoreo	ha	4,684,731
Balance neto de CO ₂ con pastoreo racional	tCO ₂ /ha año	-10
Potencial de mitigación	tCO ₂ /año	100,000,000
Costo marginal de mitigación	USD@PV/tCO ₂ e	-477.5

Fuente: Elaboración propia. USD@PV: Dólares a valor presente.

El costo marginal de mitigación representa el costo de reducir o compensar una tonelada de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y su estimación se detalla en un apartado posterior.

ESCENARIOS DE MITIGACIÓN

Como se discutió en la sección anterior, el potencial de mitigación por cambio de tipo de pastoreo es alto y trae muchos beneficios adicionales. Sin embargo, cualquier cambio enfrenta resistencias y es probable que, si no se aplica una estrategia de convencimiento efectiva, no todos los ganaderos adoptarán el nuevo sistema de forma inmediata, si es que finalmente lo adoptan. Adicionalmente, debido a que cada rancho posee características únicas, el balance neto de GEI de cada rancho que adopte el SSPi puede oscilar significativamente desde -2 tCO₂e/ha hasta -10 tCO₂e/ha.

En el Cuadro 45 se muestran los posibles escenarios que resultan de considerar la interacción de estos factores.

En la Figura 44 se muestra cómo se ve afectada la proyección de las emisiones de GEI de las categorías 3A1a y 3A2a en

el período de 2017 a 2030, considerando un escenario conservador, uno medio y uno ambicioso, bajo las condicionantes del Cuadro 45. En esta gráfica se ha considerado un período de 5 años para lograr el porcentaje de adopción del SSPi en su totalidad, y se supuso que el crecimiento de la población bovina conservará la tendencia de los últimos años.

Se puede observar que el máximo potencial de reducción al 2030 estimado bajo el escenario más ambicioso es de alrededor de 18 MtCO₂e, lo cual contrasta con el potencial máximo citado en el Cuadro 44 de 100 MtCO₂e. Las emisiones del escenario ambicioso en la Figura 44 fueron estimadas a partir de la superficie necesaria para producir el número de cabezas proyectadas siguiendo su tendencia de crecimiento; esta superficie resulta mucho menor que la superficie de agostadero disponible en el estado, citada en el Cuadro 44, cuando se adopta el SSPi.

Cuadro 45. Escenarios de mitigación por cambio a SSPi.

Porcentaje de adopción	Balance neto de GEI (tCO ₂ e/ha)		
	-2.0	-5.0	-10.0
20%	Conservador		
50%		Medio	
90%			Ambicioso

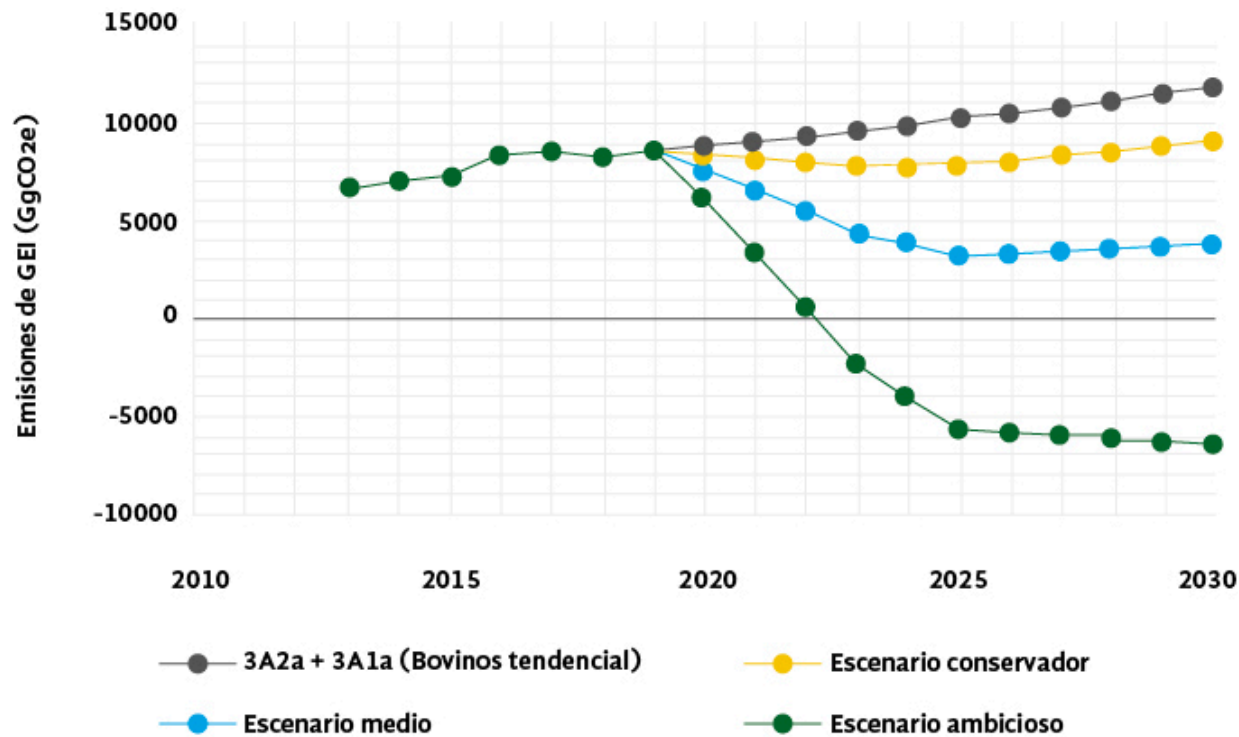


Figura 44. Escenarios de mitigación debido a la adopción del SSPi

Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA DE CÁLCULO EMISIONES BAJO LOS ESCENARIOS CONSIDERADOS

Para obtener los escenarios mostrados en la Figura 40 se hicieron las siguientes consideraciones. Como se ha mencionado, se considera un período de 5 años para lograr el porcentaje de adopción del SSPi en su totalidad. Esto implica que el porcentaje de adopción se consideró como una función del tiempo. Esta función se muestra en forma tabular en las dos primeras columnas del Cuadro 46. En las otras columnas se muestra el resultado obtenido para los tres escenarios considerados.

Como el balance neto se da en unidades de emisión de GEI (secuestrados o absorbidos o removidos) por unidad de superficie, es necesario calcular primero la superficie que será convertida a SSPi. Para producir una unidad (de carne o leche) se requiere más superficie en el pastoreo convencional que en el SSPi. La medida de superficie requerida para sostener cierta cantidad de animales durante un año se conoce como el coeficiente de agostadero. El pastoreo extensivo en Chihuahua se caracteriza por coeficientes de agostadero de 16.3 ha/UA en la sierra¹⁰³, con una superficie de 7.556 millones de ha, de 15 a 25 ha/UA en la llanura con una extensión de aproximadamente 4.580 millones de ha, y de 35 a 50 ha/UA en la zona de desierto que cubre unos 12.136 millones de ha (ver Figura 45).

Cuadro 46. Factor de adopción del SSPi para tres escenarios.

Año	Factor	Escenario Conservador	Escenario Medio	Escenario Ambicioso
2020	0.20	4%	10%	18%
2021	0.40	8%	20%	36%
2022	0.60	12%	30%	54%
2023	0.80	16%	40%	72%
2024	0.90	18%	45%	81%
2025	1.00	20%	50%	90%
2026	1.00	20%	50%	90%
2027	1.00	20%	50%	90%
2028	1.00	20%	50%	90%
2029	1.00	20%	50%	90%
2030	1.00	20%	50%	90%
2031	1.00	20%	50%	90%
2032	1.00	20%	50%	90%

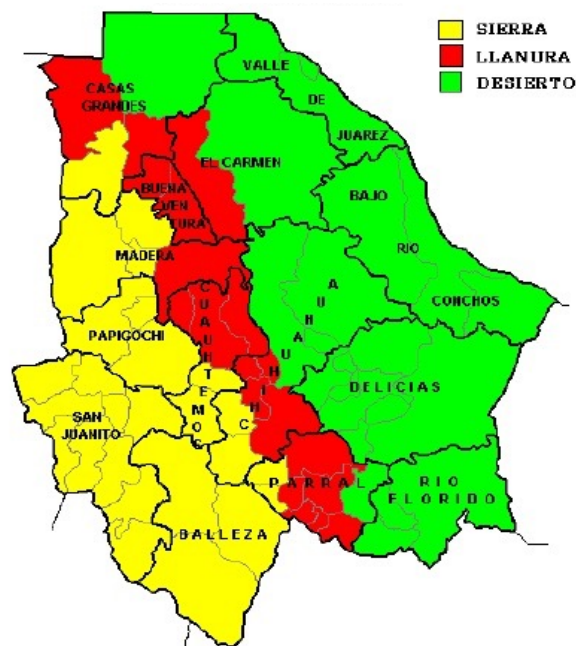


Figura 45. Regiones ganaderas de Chihuahua

Fuente: Unión Ganadera Regional de Chihuahua¹⁰⁴

¹⁰³ Rubio, E. y Pérez, E. Desarrollo de la ganadería en el estado de Chihuahua 2000-2011: líneas de trabajo para un estudio del impacto ambiental. UACJ. Revista Chihuahua Hoy. Vol. 10 (2012) pp. 271-292.

¹⁰⁴ Sánchez G., E. Hacia la eficiencia en los costos de producción: eslabón primario de la cadena bovinos carne. UGRCH Sistema Producto Bovinos Carne-Chihuahua, 2010.

Esta variación de coeficientes de agostadero para las diferentes regiones ganaderas de Chihuahua influye de forma importante en el éxito de adoptar el sistema SSPi, siendo más probable que se obtengan mejores resultados en la región de llanura que en la región de desierto o de la sierra. Por lo tanto, se supone que el balance neto de emisiones de GEI podrá variar desde -2 tCO₂e/ha hasta -10tCO₂e/ha.

Los valores de emisiones correspondientes a los escenarios mostrados en la Figura 44 se obtuvieron de la siguiente forma: las emisiones de estas categorías se generan suponiendo que la producción, en número de cabezas, para un año determinado se divide en producidas por pastoreo convencional y con el SSPi, en una proporción dada por el factor de adopción del SSPi. Las emisiones generadas por pastoreo convencional serán las de la línea base habiendo descontado las correspondientes al número de cabezas que se producen bajo el SSPi. Adicionalmente, se considera que el balance neto de emisiones de GEI bajo el SSPi es negativo, y se incluye como una absorción. Esto se expresa de la siguiente forma:

$$E = (E_{fe} + E_{ge})(1 - f_{ad}) + N_{UA}f_{ad}F_{bn}/C_A$$

Donde

E_{fe} son las emisiones por fermentación entérica, basadas en el número de cabezas calculadas para un año determinado para la línea base de este sector (GgCO₂e/año)

E_{ge} son las emisiones por gestión de estiércol, basadas en el número de cabezas calculadas para un año determinado para la línea base de este sector (GgCO₂e/año)

f_{ad} factor de adopción del SSPi, del Cuadro 43 expresado en fracción, para cada escenario

N_{UA} es el número de unidades animal, calculadas para un año determinado para la línea base de este sector (Unidades Animal, UA/año)

F_{bn} es el factor de balance neto que toma en cuenta las emisiones y las absorciones generadas por la producción de ganado bajo el SSPi y se considera negativo (GgCO₂e/ha)

C_A es la carga animal (UA/ha)

El número de unidades animal se calcula a partir del número de cabezas:

$$N_{UA} = N/f_{C-UA}$$

Donde

f_{C-UA} es un factor de conversión de Cabezas a Unidades Animal

El factor de balance neto que se aplicó para cada escenario fue tomado del Cuadro 45. Los otros parámetros necesarios para estos cálculos se muestran en el Cuadro 47.

Cuadro 47. Parámetros de desempeño de un SSPi.

Parámetro	Unidades	SSPi
Carga animal	UA/ha	3.024
Cabezas/UA	Cabezas/UA	1.316

La carga animal del SSPi varía de un rancho a otro. El valor en el Cuadro 44 fue obtenido del análisis de un estudio realizado en Michoacán puesto que no se conoce un estudio similar en el estado de Chihuahua. Dicho valor fue obtenido comparando el número total de cabezas con el de unidades animal reportados en dicho análisis, considerando que en la carga animal del SSPi se incluyeron los siguientes tipos de animal: vacas en producción, vacas secas, vaquillas, novillos y becerros.

1.4.2 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR EL COSTO DE MITIGACIÓN DE CAMBIO AL SSPi.

Para estimar el costo de mitigación del cambio de tipo de pastoreo al SSPi se calculó el valor total del proyecto sumando todos sus costos y utilidades o ahorros y ajustado por el valor del dinero en el tiempo. Se considera una vida del proyecto de 20 años. Se tomó como caso de estudio una unidad de producción (UP) bajo manejo de SSPi en Apatzingán, Michoacán con las características mostradas en el Cuadro 48.



Fuente: Andy Kelly

Cuadro 48. Características de una unidad modelo de producción con SSPi.

Parámetro	Unidades	Valores
Superficie total	ha	58
Superficie de riego	ha	48
Pastizal natural	ha	10
Construcciones e instalaciones	ha	1
% ha de sup cultivada con L/pasto T		82.80%
% ha de superficie con pastizal natural		17.20%
Número de vacas total	cabezas	86
% vacas en producción/vacas totales		69.80%
% vacas secas/vacas totales		30.20%
Número de vaquillas	cabezas	25
Número de novillos	cabezas	40
Número de becerros	cabezas	40
Unidades animal totales (UA)	UA	145.3
% UA vaca en producción/UA	%	47.3
% UA vaca secas/UA	%	22
% UA vaquilla/UA	%	9.9
% UA novillo/UA	%	17.1
% UA becerro/UA	%	3.6

Fuente: Estrada et al. (2018)

La inversión inicial para la conversión a SSPi se muestra en el Cuadro 49.

Cuadro 49. Inversión requerida para la conversión a un SSPi.

Parámetro	Unidades	Valores
Valor del terreno	Pesos	\$ 5,220,000.00
Construcciones e instalaciones	Pesos	\$ 2,460,000.00
Maquinaria y equipo	Pesos	\$ 500,000.00
Pie de cría	Pesos	\$ 946,000.00
Plantación y mantenimiento del SSPi	Pesos	\$ 650,880.00

Fuente: Estrada et al. (2018)

Para el análisis financiero, se considera que el terreno es propio y que se ha amortizado, puesto que en general serán reconversiones más que compra de ranchos. Esta consideración, de hecho, juega a favor de los ranchos que utilizan el pastoreo convencional puesto que requieren áreas mucho mayores, y por ende su costo sería mayor. Un resumen de los ingresos por venta de leche y carne, así como de gastos se muestra en el Cuadro 50.

Cuadro 50. Ingresos y egresos anuales requerida para la conversión a un SSPi.

Parámetro	Unidades	Valores
Ingresos		
Producción de leche total	kg	115,339
Precio de la leche	\$/kg leche	\$5.50
Venta total de leche	Pesos/año	\$634,362.00
Novillos en venta	Cabezas	59
Precio de novillos	\$/cabeza	\$13,350.00
Venta total de novillos	Pesos/año	\$782,250.00
Vacas de desecho	Cabezas	4
Precio de las vacas	\$/cabeza	\$19,080.00
Venta total de vacas de desecho	Pesos/año	\$78,609.60
Venta total de carne	Pesos/año	\$860,859.60
Ingresos totales	Pesos/año	\$1,495,221.60
Costos de alimentación		
Sorgo	Pesos/año	\$176,400.00
Costo total de bombeo	Pesos/año	\$94,668.00
Costo total de agua	Pesos/año	\$4,800.00
Costo de establecimiento del SSPi	Pesos/año	\$130,176.00
Costo total de alimentación	Pesos/año	\$406,044.00
Mano de obra	Pesos/año	\$262,500.00
Mantenimiento	Pesos/año	\$24,000.00
Comercialización de leche y animales	Pesos/año	\$73,000.00
Costo total de operación y mantenimiento	Pesos/año	\$765,544.00

Fuente: Adaptado de Estrada et al. (2018)

Para la determinación del valor presente neto del proyecto se consideran todos los gastos e ingresos anuales con una tasa de descuento del 12%.

Debe considerarse que el caso de estudio citado (Estrada et al. 2018) se llevó a cabo en condiciones de sequía atípica, lo cual repercutió en un incremento de 56.4% sobre el costo de alimentación (sorgo) y un aumento de prácticamente el 60% en necesidades de riego.

Por otra parte, como escenario de referencia, se consideró una unidad de producción bajo el sistema de pastoreo convencional, conservando el mismo número de unidades animal. El coeficiente de agostadero de los sistemas convencionales de pastoreo es mucho mayor que el del SSPi, y repercute sobre todo en la extensión del terreno requerido. En el pastoreo convencional no se considera la necesidad de riego, por lo tanto, la inversión en instalaciones de riego se reduce significativamente, así como la inversión en maquinaria y equipo y

los gastos de mantenimiento. En el Cuadro 51 se resumen las diferencias en los costos de inversión entre seguir produciendo como siempre (business as usual) y cambiando al SSPi.

Con respecto al rendimiento, en una comparación de un sistema convencional de pastoreo contra tres unidades de producción con SSPi¹⁰⁵, se estimó que el sistema convencional (con coeficiente de agostadero de 1.18 ha/UA) tuvo menores rendimientos de producción de carne que los SSPi (40%, 63% y 70%), y 70% menos en producción de leche por vaca. Por esta razón se consideró que el pastoreo convencional tendría un rendimiento 50% menor que el SSPi, tanto para producción de carne como de leche.

De extrema importancia es la diferencia de superficie requerida entre los sistemas convencionales de pastoreo y los SSPi. Esto no solo repercute en el monto de inversión (5 millones vs 90 millones de pesos, ver Cuadro 51) sino también en la disponibilidad de recursos. Ya se ha mencionado el coeficiente de agostadero, que bajo ganadería extensiva en Chihuahua va de 15 a 50 ha/UA, mientras que para los SSPi oscila entre 0.25 y 0.5 ha/UA. En el Cuadro 52 se muestra una comparación del área requerida por unidades de producción con diferentes coeficientes de agostadero, tomando como base 100 UA, que corresponde al caso de estudio descrito en el Cuadro 48 (Estrada et al. 2018), para el cual, el coeficiente de agostadero fue de 0.48.

Cuadro 51. Diferencias entre los escenarios de pastoreo con el sistema convencional y con el SSPi.

Variable	Unidades	SSPi – Normal	Convencional
Coeficiente de agostadero	ha/UA	0.48	10
Producción de leche	kg/vaca-día	9.15	4.6
Superficie de riego	ha	48	1,007
Valor del terreno	Pesos	\$5,220,000.00	\$90,623,610.00
Construcciones e instalaciones	Pesos	\$2,460,000.00	\$123,000.00
Maquinaria y equipo	Pesos	\$500,000.00	\$25,000.00
Plantación y mto del SSPi	Pesos	\$650,880.00	\$32,544.00
Producción de carne	kg carne/año	19,631	9,815
Riegos		4.40	—

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 52. Diferencias de área requerida con el sistema convencional y con el SSPi.

Variable	Unidades	SSPi		Pastoreo Convencional			
Coeficiente de agostadero	ha/UA	0.25	0.48	1.18	10.00	15.00	50.00
Superficie requerida	ha	25.16	48.30	118.38	1,006.20	1,509.30	5,031.00

Fuente: Elaboración propia

¹⁰⁵ Rivera-Herrera, J. E. et al. (2017) Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. Pastos y Forrajes, 40(3), 171-183.

El coeficiente de agostadero para el caso de pastoreo convencional no afecta la valoración del costo de abatimiento debido a la suposición de que el terreno es propio y no se considera como parte de la inversión del proyecto, aunque ya se ha señalado la enorme diferencia entre la superficie requerida por el sistema de pastoreo convencional (con un coeficiente de agostadero de 10) y la requerida por el SSPi (coeficiente de agostadero de 0.48) como se puede observar en el Cuadro 51.

La mayor eficiencia productiva de los SSPi, aunado a las características de los forrajes comúnmente usados en este tipo de sistemas intensivos de ganadería bovina, resultan en menores emisiones de gases de efecto invernadero, estimándose que los SSPi pueden absorber entre 5 y 20 tCO₂/ha año¹⁰⁶.

Para calcular el balance neto de emisión - absorción se utilizó un modelo fenomenológico muy simple de emisión y captura de CO₂. Considerando que las emisiones son principalmente debidas a la presencia del ganado, mientras que las absorciones a la cubierta vegetal de la superficie, las emisiones se estiman con la siguiente ecuación:

$$E = cAF_E - AF_A$$

Donde

E Emisiones netas de la unidad de producción, kgCO₂e

c carga animal, UA/ha

A Área de la superficie de pastoreo, ha

F_E Factor de emisión por unidad animal, kgCO₂e/UA

F_A Factor de absorción Carbono por unidad de área, kg-CO₂e/ha

El factor de emisión F_E es diferente para el sistema convencional de pastoreo (SCP) que para el sistema silvopastoril intensivo (SSPi); para el SCP se considera que el coeficiente de absorción F_A es nulo. Estos factores se obtuvieron del análisis de los datos mostrados en el Cuadro 53.

Cuadro 53. Datos de emisiones de dos sistemas de pastoreo.

Parámetro	Unidades	PSCA	SSPi
Coeficiente de agostadero	ha/UA	2.0	0.3
Animales	UA/año	74,047	36,531
Producción específica de carne	kg Carne/ha año	67.5	821.3
Producción anual de carne	kg Carne/año	10,000,000	10,000,000
Rendimiento	kg Carne/UA	135	274
Área requerida	ha	148,093	12,177
Emisión de metano	kgCO ₂ e/año	48,204,000	26,849,000
Captura de C en el suelo, árboles y arbustos	kgCO ₂ e/año	0	-30,161,000
Balance GEI	kgCO ₂ e/año	48,204,000	-3,312,000
Factor de emisión	kgCO ₂ e/UA	651	735
Factor de absorción	kgCO ₂ e/ha año	0	-2,477

PSCA: Pastoreo convencional sin árboles; SSPi: Sistema silvopastoril intensivo

Fuente: Adaptado de Murgueitio et al. (2012)¹⁰⁷

Los factores de emisión y absorción fueron obtenidos en este trabajo.

Con este modelo fue posible estimar las emisiones y absorciones de las unidades de producción que se describieron anteriormente. Los resultados se muestran en el Cuadro 54.

¹⁰⁶ Idem.

¹⁰⁷ Murgueitio et al. (2012) Los sistemas silvopastoriles intensivos, herramienta de mitigación y adaptación del cambio climático. IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Memorias, Morelia y Valle de Apatzingán/Tepalcatepec pp 1-8.

Cuadro 54. Resultados del cálculo de las emisiones para el SPC y SSPi.

Parámetro	Unidades	SPC	SSPi
Coeficiente de agostadero	ha/UA	10.0	0.48
Animales	UA/año	100.7	100.7
Producción específica de carne	kg Carne/ha año	9.7	409.0
Producción anual de carne	kg Carne/año	9,815	19,631
Rendimiento	kg Carne/UA	97.5	195.0
Área requerida	ha	1,007	48
Emisión de metano	kgCO ₂ e/año	65,555	74,006
Captura de C en el suelo árboles y arbustos	kgCO ₂ e/año	0	-118,890
Balance GEI	kgCO ₂ e/año	65,555	-44,885

SSPi: Sistema silvopastoril intensivo; SPC: Sistema de pastoreo convencional.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis financiero se muestran gráficamente en la Figura 15. No se considera aumento de precios a lo largo del tiempo, considerado que esto afectaría del mismo modo a los tres escenarios. Los puntos de retorno se encuentran entre 5 y 6 años. Obsérvese también que los tres escenarios son rentables. En el Cuadro 55 se puede ver el valor presente neto de los tres proyectos a 20 años.

Cuadro 55. Costo marginal de abatimiento para el SSPi.

Parámetro	Unidades	Normal	Sequía
Valor presente neto del SSPi	USD	\$113,493.85	\$76,801.48
Valor presente neto del SPC	USD	\$24,056.53	\$24,056.53
Emisiones del SSPi	tCO ₂ e	-44.88	-44.88
Emisiones del SPC	tCO ₂ e	65.56	65.56
Costo marginal de abatimiento	USD/tCO ₂ e	-\$809.83	-\$477.59

SSPi: Sistema silvopastoril intensivo; SPC: Sistema de pastoreo convencional.

Fuente: Elaboración propia.

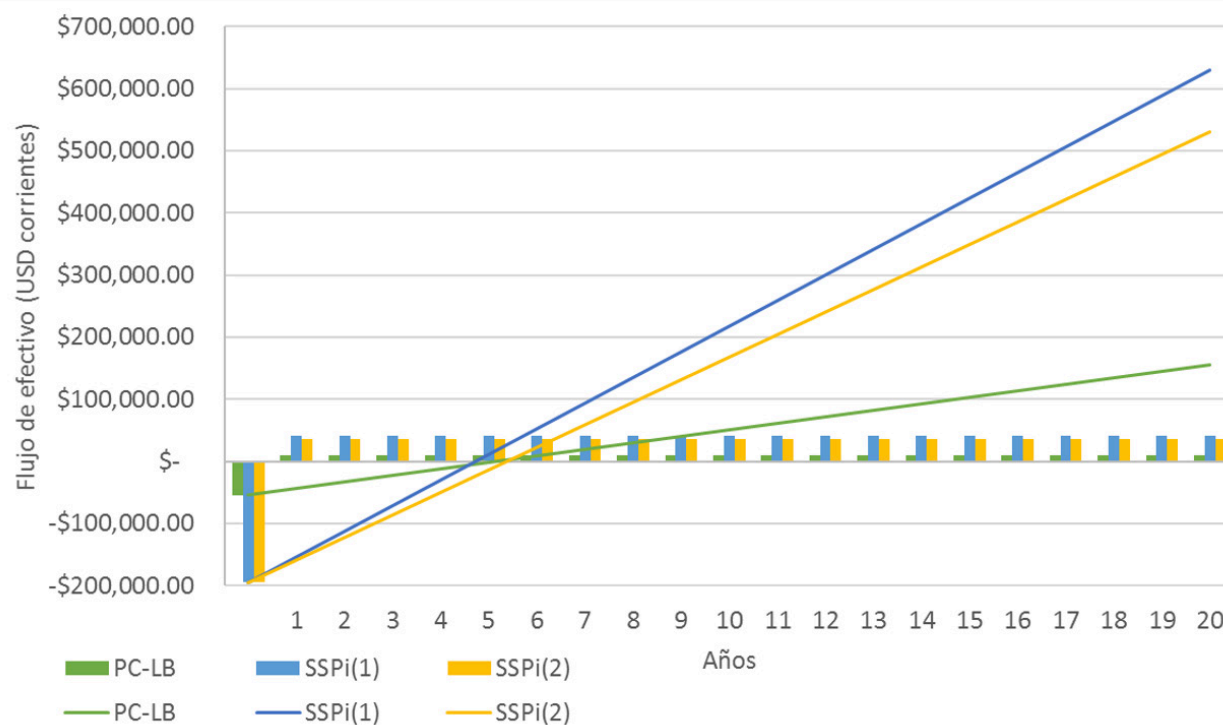


Figura 46. Análisis financiero comparativo entre tres escenarios de un sistema de pastoreo.

PC-LB: pastoreo convencional, SSPi(1): Sistema silvopastoril de pastoreo bajo condiciones normales, SSPi(2): bajo condiciones de sequía. Líneas son para el flujo de efectivo acumulado.

Fuente: Elaboración propia.

Evidentemente se espera que la sequía no dure 20 años, pero el escenario calculado fija un límite inferior como peor escenario. El valor presente neto del SSPi bajo condiciones normales es casi 5 veces superior al del sistema de pastoreo convencional. El costo marginal de abatimiento (CMM), por lo tanto, se espera entre -810 y -477 USD/tCO₂e.

Como los proyectos son rentables, su costo marginal de abatimiento resulta negativo, por lo cual se debe aclarar que hay que tomar con reserva estos valores porque, dada la propia definición del costo de abatimiento, un valor negativo puede ser malinterpretado. En ocasiones, un bajo valor de abatimiento resulta en un valor absoluto del CMM mayor que para abatimientos más elevados. En este caso, ambos escenarios presentan una reducción de 2.3 tCO₂e/ha, por lo que, el de mayor valor absoluto sí es el más conveniente, pero, aun así, hay que tener reservas al compararlo con otras opciones de abatimiento. Dicho sea de paso, el valor de reducción de emisiones de 2.3 tCO₂e/ha es consistente con el menor valor de abatimiento establecido en el Cuadro 45.

Por otra parte, también es necesario enfatizar que este tipo de proyectos ofrece muchos beneficios adicionales que no se consideraron como parte de los ingresos percibidos, como

son los servicios ambientales (reducción de plagas y por lo tanto de uso de pesticidas, por ejemplo), aumento en la retención de agua, etc.

Finalmente vale la pena comentar que este tipo de proyectos, como los de energía distribuida y los de mitigación en el sector transporte, aunque son rentables a largo plazo y tienen un gran potencial de abatimiento, adolecen de tener que hacer una inversión inicial importante que desalienta su adopción. Por lo tanto, se beneficiarían de financiamientos blandos, incentivos fiscales o de inversión a fondo perdido.

1.4.3 GRÁFICA DE ABATIMIENTO

La gráfica de abatimiento que se ha obtenido a partir de los resultados obtenidos en la sección anterior se muestra en la Figura 47. La medida que resultó ser más atractiva tanto por su potencial como por su rentabilidad es el cambio de sistema ganadero al sistema silvopastoril intensivo. También aparecen como rentables, aunque con menos potencial, la generación eléctrica a gran escala con sistemas fotovoltaicos, la generación distribuida para usuarios en tarifa GDMTH, y la electrificación del parque vehicular, que sería promovida por la actualización de la norma 163.

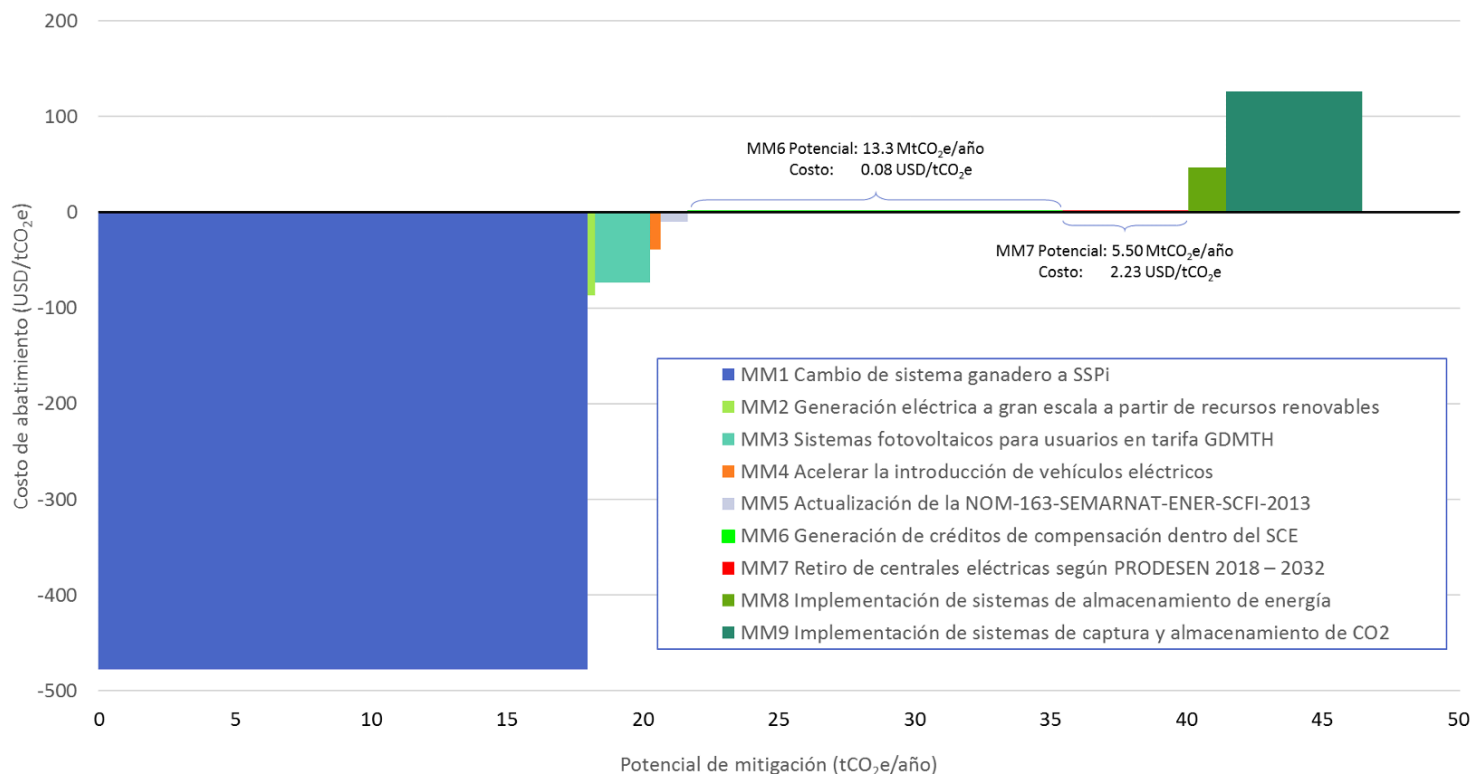


Figura 47. Gráfica de abatimiento para el estado de Chihuahua.

La generación de créditos de compensación para el sistema de comercio de emisiones de México y el retiro de centrales eléctricas siguiendo el PRODESEN 2018 – 2032 aparecen con costos de abatimiento positivos, pero suficientemente bajos y realmente asequibles. Proyectos que son ineludibles en la ruta hacia la neutralidad de carbono como la implementación de sistemas de almacenamiento de energía y de captura y almacenamiento de CO₂ todavía aparecen con un elevado costo marginal de abatimiento.

Finalmente, es importante considerar el impulso tanto de la gestión como de la eficiencia energética como parte de las acciones importantes de mitigación, ya que siempre llevarán costos marginales de mitigación negativos. El potencial de mitigación al 2030 por acciones de eficiencia energética se ha establecido en aproximadamente 6.79 MtCO₂e/año, pero no aparece en la gráfica de abatimiento puesto que incluye acciones, procesos y áreas tan diversas que lo más recomendable es tomar proyecto a proyecto para su valoración, diseño, ejecución, monitoreo y verificación.

1.4.4 ENFOQUE REGIONAL

En un esfuerzo para orientar las acciones de mitigación de acuerdo con la vocación de cada región en la que se ha dividido el estado, se procedió a hacer una investigación de las principales actividades económicas de cada una. El análisis resultante se puede ver en el Anexo 2 y a partir de los resultados se agruparon las acciones de mitigación como se muestra en el Cuadro 56.

Estas medidas son las que podrían tener un mayor impacto en la mitigación de cada región, sin embargo, hay acciones que, en cualquier municipio, independiente de su vocación, pueden ser implementadas, tales como las de eficiencia energética en edificaciones, transporte y servicios municipales.

Cuadro 56. Clasificación de acciones de mitigación por región económica del estado de Chihuahua.

Regiones	Actividades económicas principales	Medidas de mitigación
Juárez	Industria y comercio y servicios	Para estos sectores económicos: Generación mediante energías limpias y renovables Medidas de eficiencia energética en edificaciones, industria, transporte y servicios municipales. Acciones en el sector transporte: desde acelerar la introducción de vehículos eléctricos, promover sistemas colectivos de transporte eléctrico, desarrollo de programas de movilidad sustentables, etc.
Chihuahua		
Subregión Chihuahua	Industria y comercio y servicios	Mismas que en la Región de Juárez
Subregión Ojinaga	Agricultura	Generación mediante energías limpias y renovables Medidas de eficiencia energética en riego y bombeo además de fortalecer el marco jurídico en la materia y su cumplimiento, así como fortalecer capacidades de investigación y adopción de tecnologías que reduzca el impacto de equipos y sistemas utilizados en el sector
Cauhtémoc		
Subregión Cauhtémoc	Agricultura, ganadería y minería (industria)	Para agricultura se recomiendan las mismas que en la subregión Ojinaga Para ganadería el pastoreo sustentable es la acción principal Para minería (industria), la generación mediante energías limpias y renovables y medidas de eficiencia energética serían las principales acciones recomendadas
Subregión Guerrero	Ganadería y agricultura	Para agricultura se recomiendan las mismas que en la subregión Ojinaga Para ganadería el pastoreo sustentable es la acción principal
Subregión Riva Palacio	Agricultura y ganadería	Mismas que en la subregión Guerrero
Delicias		
Subregión Delicias	Industria, agricultura y ganadería	Para agricultura y ganadería se recomiendan las mismas que en la subregión de Guerrero Para industria las acciones principales serían: generación mediante energías limpias y renovables y medidas de eficiencia energética
Subregión Camargo	Agricultura, ganadería e industria	Mismas que en la subregión de Delicias
Parral		
Subregión Hidalgo del Parral	Minería (industria), agricultura y ganadería, comercio y servicios	Mismas que en la subregión de Delicias
Subregión Guachochi	Forestal y ganadería	Para ganadería se recomienda el implementar el pastoreo sustentable y para forestal ver medidas de adaptación
Subregión Jiménez	Agricultura y ganadería	Mismas que en la subregión Guerrero
Nuevo Casas Grandes	Agricultura, ganadería e industria	Mismas que en la subregión de Delicias

Nota: En el Anexo 2 se dan más detalle de las regiones económicas del estado de Chihuahua.

1.4.5 MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN DE LAS ACCIONES DE MITIGACIÓN

1.4.5.1 ACTIVIDAD PRINCIPAL PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CALOR

Se propusieron dos tipos de acciones para la mitigación de emisiones de la fuente [1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor: a) seguir el programa de adición y retiro de plantas de generación eléctrica del PRODESEN 2018 – 2032, de la SENER; y b) implementar acciones de eficiencia energética en los sectores industrial, comercial y residencial. Para verificar que efectivamente alcanzan las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero debido a estas dos acciones de mitigación, se debe llevar a cabo un programa de monitoreo, reporte y verificación. Este programa debe considerar una fase inicial en la que se mida y registre el estado actual, por un lado, de la energía eléctrica y de las emisiones generadas por las plantas de generación eléctrica existentes en el estado de Chihuahua y, por otro lado, de la demanda de energía eléctrica que los sectores económicos industrial, comercial, residencial y de transporte requieren.

En la fase de verificación, se debe llevar el seguimiento del PRODESEN para evitar que se aumenten las emisiones mediante plantas de generación basadas en combustibles fósiles, más allá de lo que se ha considerado en el Cuadro 15, o que se cambie el combustible de las que están contempladas en dicho cuadro a combustibles de mayor contenido de carbono. Por supuesto, no importa si se aumenta la capacidad de generación eléctrica mediante plantas de generación basadas en energías renovables. El seguimiento anual de la generación eléctrica y de las emisiones de las centrales de generación eléctrica permitirá verificar que se logran las reducciones planeadas. Cualquier desviación en cualquiera de estas cantidades deberá resultar en una revisión de las acciones de mitigación para que, en su caso, se realice la compensación correspondiente más viable. Vale la pena comentar en este punto que conviene más el seguimiento de los valores absolutos y no de indicadores como la razón de emisiones (Gg CO₂e) a generación (GWh), porque este indicador podría mantenerse constante bajo un aumento de generación eléctrica, resultado de un aumento no planeado en la demanda. Un aumento no planeado de la demanda exige que se modifiquen las medidas de mitigación, ya que el programa de adición y retiro de las centrales de generación eléctrica se planea en base a la demanda proyectada.

La instalación de centrales de generación en base a energías renovables se debe considerar como una acción que da lugar a cierta reducción respecto al escenario base, puesto que el escenario base se definió con base en la demanda proyectada, misma que, sin acciones de mitigación, bien podría satisfacerse con base en combustibles fósiles. Por lo tanto, debe llevarse un registro detallado de la instalación de este tipo de centrales, incluyendo su puesta en operación, capacidad

instalada, generación anual y de preferencia costos de capital y de operación. Con estos datos podrá calcularse la reducción de emisiones respecto al escenario base, por lo menos de forma anual.

En cuanto a las metas de eficiencia energética, el monitoreo se puede llevar a cabo mediante el seguimiento del índice de intensidad energética definido anteriormente. Este índice debe evaluarse consistentemente, tomando en cuenta el mismo tipo de actividades para cada sector económico cada determinado periodo (por ejemplo, anual). Adicionalmente, se puede ofrecer un estímulo económico o fiscal al promocionar la implementación de proyectos de eficiencia energética, con el fin de llevar un control de dichos proyectos y así poder recabar la información sobre la reducción en el consumo eléctrico derivado de la implementación de estos proyectos.

1.4.5.2 TRANSPORTE

La implementación de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 para vehículos livianos es el punto de partida para el programa de monitoreo, reporte y verificación. La misma norma contiene el cronograma de adopción, los ciclos de evaluación y los objetivos esperados, lo que limita los supuestos de modelado y reduce la incertidumbre para el análisis ex ante.

Los indicadores de desempeño se basan en objetivos reglamentarios ex ante, mientras que el trabajo ex post se puede realizar después de la evaluación de cumplimiento normativo. Las ventas de vehículos nuevos pueden ser proporcionadas por el Registro Público Vehicular o la Secretaría de Hacienda del Estado¹⁰⁸, u obtenidas directamente de fabricantes o proveedores. Los valores de la actividad vehicular se pueden revisar durante las fases preliminares de diseño de regulación y mitigación, y también se pueden planificar para su actualización como parte del desarrollo de la mitigación.

Los indicadores de impacto para evaluar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de combustible son el resultado de las emisiones de CO₂ y los factores de emisión proporcionados por la norma, el padrón actualizado de la flota de vehículos y los valores de actividad vehicular. Estos indicadores de impacto pueden reportarse anualmente o después del final del ciclo reglamentario. Los indicadores de impacto dependen de la precisión de la actividad vehicular, lo que sugiere que, aunque el análisis ex ante puede realizarse con valores predeterminados de otros lugares, un estudio de los valores locales de la actividad vehicular aumentaría la precisión de las evaluaciones ex post.

Se debe tener en cuenta que la PROFEPA, en su papel de vigilante del cumplimiento de la norma, puede respaldar las actividades de supervisión y presentación de informes. Un memorando de entendimiento entre el gobierno del estado, PROFEPA, así como con los organismos internacionales de verificación, puede resultar conveniente al permitir el acceso a

¹⁰⁸ Ley de vialidad y tránsito para el estado de Chihuahua. Artículo 21.

datos reales desagregados producidos durante los ciclos regulatorios. La participación de organizaciones internacionales puede propiciar una mejora en el acceso a los datos o al desarrollar mejores mecanismos para monitorear la flota, a través de estudios sobre la actividad de los vehículos y el consumo de combustibles real. Estas medidas tienen el potencial para el desarrollo de la capacidad local (es decir, las organizaciones de investigación locales pueden encargarse de actualizar o desarrollar la actividad vehicular y datos de consumo real) que se agreguen a los beneficios sociales.

Respecto a las actividades de verificación, vale la pena mencionar dos acciones que pueden complementarse. Desde una perspectiva reglamentaria nacional, la promesa de beneficios ambientales y económicos por la actualización de la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 requiere que se haga cumplir la política a través de un programa efectivo de verificación de emisiones de vehículos que asegure que la norma se esté implementando de manera efectiva. El objetivo de los programas de cumplimiento es verificar que la información proporcionada por los fabricantes sea precisa, y así lograr los objetivos de las políticas establecidos por la reglamentación. Desde la perspectiva de la CMNUCC, la verificación iría más allá del cumplimiento reglamentario, que está basado en el laboratorio, logrando una reducción de las emisiones reales de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, un componente de verificación cuidadosamente elaborado incluiría consideraciones para asegurar que se logren reducciones de emisiones de CO₂ y ahorros de combustible reales. Esto puede implicar el desarrollo de capacidad técnica local, laboratorios, métodos de prueba y capacitación del personal, planeados en paralelo con la implementación de medidas de mitigación. Se requeriría financiamiento para desarrollar capacidades locales¹⁰⁹.

Adicionalmente, el uso del modelo MOVES¹¹⁰ puede ser utilizado para estimar una línea base y la reducción de emisiones por la aplicación de mejoras en el reglamento de tránsito y otras medidas de mitigación, lo que en este momento no es posible debido a la falta de información de entrada para el modelo.

1.4.5.3 GANADO

Se debe llevar un estrecho contacto con los ganaderos para promover la práctica de pastoreo racional, y al mismo tiempo brindar los apoyos necesarios en cuanto a asesorías y el desarrollo de los estudios necesarios para determinar las mejores prácticas de conservación adecuadas para cada rancho. Esto además debe permitir llevar un seguimiento del progreso de la restauración de los pastizales bajo pastoreo racional de donde se puede verificar que el secuestro de carbono está teniendo lugar de acuerdo con lo planeado. Para las actividades de mitigación de las emisiones generadas por el ganado bovino se requiere el monitoreo de las áreas actualmente deforestadas o degradadas. Actualmente esto se lleva a cabo mediante imagenología satelital, pero sería más conveniente utilizar otro tipo de imágenes con mejor resolución y que permitiera clasificar la vegetación de manera más sencilla.

¹⁰⁹ UNFCCC, GIZ. Compendium on GHG Baselines and Monitoring. Passenger and freight transport. 2nd revised edition. February 2018.

¹¹⁰ Ver, por ejemplo, Guía del Usuario de MOVES-México. Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED). Contrato: AID-523-C-11-00001





ADAPTACIÓN



1.5

ADAPTACIÓN



Fuente: Jaime Álvarez

En materia de adaptación al cambio climático, el marco legal del estado de Chihuahua contempla dicha variable dentro de su Ley de Cambio Climático publicada en el Periódico Oficial del Estado N° 50 el 22 de junio de 2013, destacando el impulso a la creación de política pública para el establecimiento de objetivos, metas y estrategias específicas para la mitigación, la adaptación y la creación de indicadores de sustentabilidad.

Asimismo, dentro de esta ley, en su capítulo séptimo, se refiere el apoyo que el estado podrá otorgar a proyectos que incluyan acciones de prevención, minimización, mitigación y adaptación al cambio climático, entre otras consideraciones.

Con base en lo anterior, el análisis de mitigación entorno a las acciones para la reducción de la generación de emisiones GEI; evaluar la vulnerabilidad que el estado guarda en relación con los impactos a los que puede encontrarse. Estos eventos son consecuencia de eventos climáticos extremos, en función de las variaciones en la temperatura y precipitación que puedan prevalecer en el estado. Es por ello que resulta de suma importancia para identificar las mejores alternativas de adaptación que puedan ser implementadas en esta entidad federativa.

1.5.1 VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

La vulnerabilidad se define como el grado en que un sistema es incapaz de presentar una respuesta efectiva a los impactos derivados del cambio climático. Es decir, la propensión o susceptibilidad del sistema a ser afectado negativamente por los riesgos derivados del cambio climático.

Por tales motivos, debería ser posible expresar la vulnerabilidad en función del carácter, la dimensión y el índice de variación climática al que está expuesto un sistema, así como de su sensibilidad y su capacidad de adaptación.



1.5.2 ENFOQUE METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Por lo antes expuesto, en esta sección se analiza, con base en datos estadísticos, geográficos y climáticos, la vulnerabilidad actual y futura que el estado de Chihuahua guarda ante el fenómeno del cambio climático, así como su capacidad de adaptación bajo un enfoque metodológico dividido en 4 pasos como se muestra a continuación:

Paso 1: Caracterización del clima

Paso 2: Identificación de eventos climáticos extremos pasados y sus consecuentes impactos

Paso 3: Determinación de la vulnerabilidad al cambio climático

Paso 4: Análisis de la capacidad de adaptación

La incapacidad de afrontar los efectos negativos del cambio climático implica exponer a grupos poblacionales a riesgos y peligros de diferente índole. Por lo tanto, la gestión efectiva del riesgo a los efectos del cambio climático debe contar con una cartera de acciones para reducirlo y responder a los eventos y desastres, en lugar de un enfoque único en cualquier acción o un solo tipo de acción (confianza alta). Estos enfoques integrados son más eficaces cuando son informados e incorporados a las circunstancias locales (IPCC, 2012)¹¹¹.

En el caso del presente Programa de Cambio Climático, el análisis de vulnerabilidad desarrollado para el estado de Chihuahua es el resultado de integrar y relacionar la información provista por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de las siguientes herramientas:

- El estudio denominado “Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México”
- El compendio de mapas y análisis disponibles a través del Atlas Virtual Interactivo Climático de la misma Universidad

Cabe señalar que estas herramientas ya poseen datos históricos previamente cargados (periodo 1980-2005), mismos que se toman en consideración para la elaboración de escenarios climáticos futuros a partir de la combinación de las siguientes variables:

- Precipitación
- Temperaturas
- Fenómenos hidrometeorológicos extremos

De esta forma, al ejecutar las herramientas es posible definir un índice de vulnerabilidad a partir de diversas variables agrupadas, bajo los conceptos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Con base en lo referido, a continuación, se describen los 4 pasos que definen el enfoque metodológico desarrollado para el análisis de vulnerabilidad del estado de Chihuahua en el marco del presente Programa de Cambio Climático.

1.5.2.1 PASO 1: CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA

RELIEVE

En lo que respecta a su relieve, Chihuahua puede dividirse en tres grandes regiones: sierra, llanura o meseta y desierto. En este sentido, el 18.1% del territorio pertenece a la Gran Meseta y Cañones Chihuahuenses, el 17.4%, a las Llanuras y Médanos del Norte; mientras el territorio restante, corresponde al desierto y otras zonas fisiográficas.

SIERRA

La Sierra de Chihuahua está conformada por la zona más septentrional de la Sierra Madre Occidental, que en el territorio alcanza su mayor altura en el Cerro Mohinora, con 3,300 msnm. Comprende un tercio de la superficie del Estado y se encuentra cubierta de espesos bosques de coníferas, a excepción del fondo de las barrancas, que debido a la poca altitud tienen un clima y vegetación tropical durante el verano y clima templado durante el invierno.

Las temperaturas en el fondo de las barrancas pueden superar los 40 °C en verano y muy rara vez caen a menos 0 °C en el invierno, mientras que en las partes altas el clima es semifrío con máximas que rara vez superan los 30 °C en verano y que pueden llegar a caer por debajo de los -20 °C en el invierno.

La precipitación promedio anual de esta zona varía entre los 750-900 mm anuales, agrupadas principalmente en los meses de mayo a septiembre. En los meses de noviembre a marzo es común que se registren nevadas que varían en intensidad según la altitud.

LLANURA

La meseta es una zona de transición entre la sierra y el desierto. Es la extensión más al norte de la Altiplanicie Mexicana que comienza desde El Bajío. Es una estepa donde su vegetación depende de las lluvias estacionales. Durante esta temporada reverdecen pastos, forrajes y pequeños arbustos, que durante las sequías se consumen.

Las precipitaciones son más escasas que en la sierra, registrándose 400 mm de lluvia en promedio al año, agrupadas en los meses de verano (julio, agosto y septiembre).

¹¹¹ IPCC, 2012: Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M.

Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.

Las temperaturas son extremas pudiendo alcanzar los 40 °C en el verano y llegando incluso a los -15 °C en el invierno, las nevadas son frecuentes en los meses de noviembre a marzo.

En esta zona se lleva a cabo agricultura de temporal, pero también existen importantes desarrollos de agricultura de riego, con ayuda de los ríos y presas. Se encuentra atravesada por varias serranías, aunque su terreno es mayoritariamente plano. En la meseta se encuentra la principal zona agrícola y ganadera del estado, así como el asentamiento de la mayoría de la población y sus principales ciudades.

DESIERTO

El desierto constituye una tercera parte del territorio chihuahuense. Es la prolongación en el estado del Bolsón de Mapimí y forma parte del gran bioma norteamericano denominado Desierto de Chihuahua, por estar en su mayor parte en territorio del estado y que se extiende tanto al vecino estado de Coahuila como al norte, con los Estados Unidos.

Es una gran cuenca endorreica donde las corrientes de agua no tienen salida y son consumidas por evaporación. Su territorio es mayoritariamente plano, aunque tiene serranías de baja altura que lo cruzan, casi todas ellas en sentido norte-sur.

El clima de esta zona es muy seco, las precipitaciones rara vez superan los 250 mm anuales, las temperaturas llegan a superar los 40 °C durante el verano y en invierno suele haber heladas, aunque no tan intensas como en la zona serrana, la caída de nieve también se da en esta región, sin embargo, esto resulta menos frecuente. En Villa Ahumada se dio la temperatura más baja registrada en Chihuahua, de -30,4 °C en enero de 1962.

En resumen, 40% del territorio en el Estado de Chihuahua, presenta un clima muy seco localizado en las sierras y las llanuras del norte; 33% es seco y semiseco ubicado en las partes bajas de la Sierra Madre Occidental y 24%, resulta poseer un clima templado subhúmedo en las zonas altas de la misma. Finalmente, sólo el 3% del territorio presenta clima cálido subhúmedo (ver Figura 48).

En términos generales, la temperatura media anual del Estado es de 17°C, mientras la precipitación promedio anual es de 50 mm con lluvias escasas que se presentan sobre todo durante el verano.

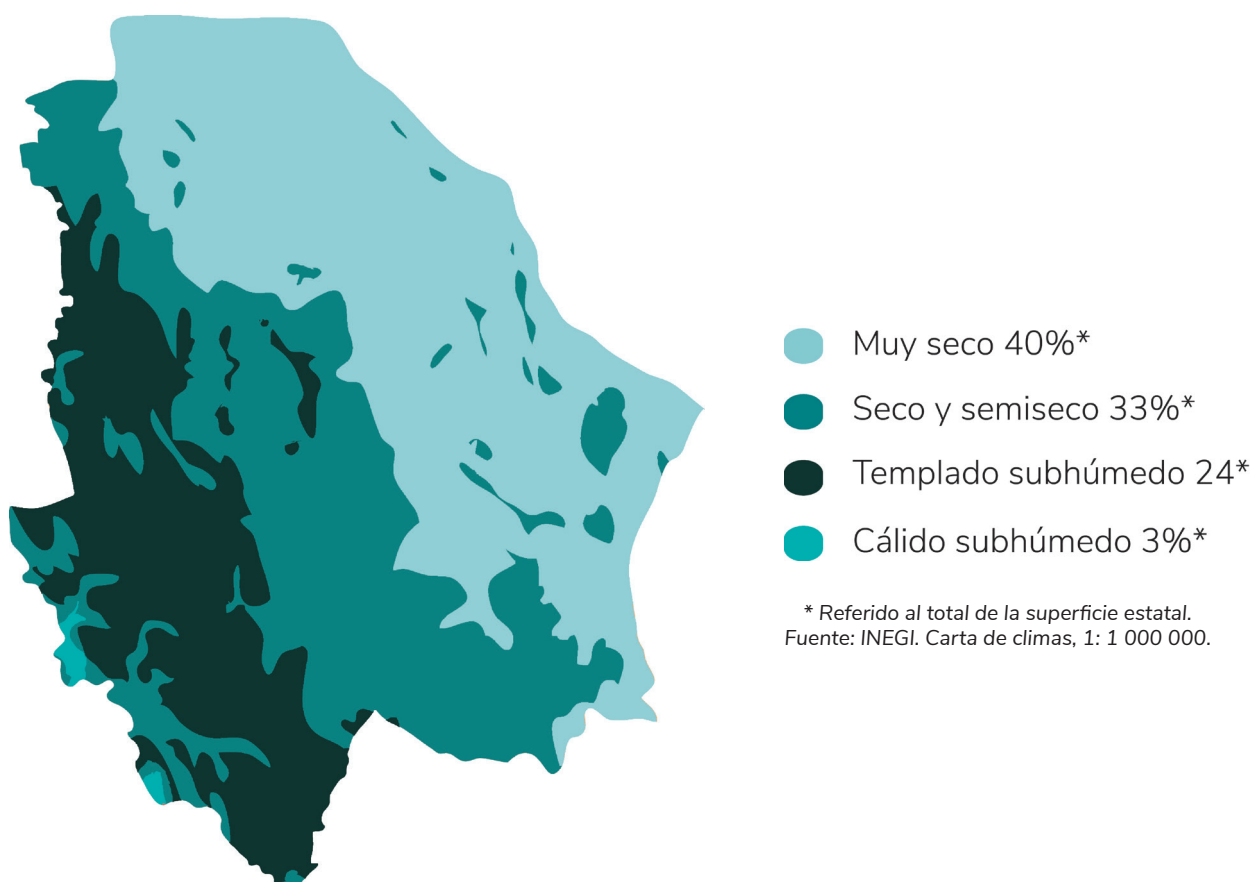


Figura 48. Clima en el estado de Chihuahua.

1.5.2.2 PASO 2: IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS PASADOS Y SUS CONSECUENTES IMPACTOS

La frecuencia de eventos climáticos extremos ha representado una constante amenaza en México y, en consecuencia, en sus estados. Lo anterior, debido a la alta variabilidad climática que históricamente ha dado pie a la presencia de eventos climáticos extremos cuyas consecuencias han afectado a las regiones en diversos ámbitos, reflejando así su exposición climática.

De esta forma, entre los eventos climáticos extremos que se han presentado en Chihuahua en el pasado, se encuentra el

Huracán Manuel, que en 2013 ocasionó la declaratoria de alerta máxima en 16 municipios del estado, debido a niveles de precipitación que no se presentaban desde 1958, los cuales afectaron directamente diversos asentamientos humanos.

Al referirnos a la precipitación como una de las variables derivadas de los huracanes, al analizar los registros históricos sobre los niveles de precipitación extrema acumulada del mes de julio durante el periodo 1902 – 2015 en el estado de Chihuahua, es posible identificar como ésta ha rebasado en dicho periodo, los niveles de precipitación total anual que suelen presentarse en la entidad, y que rondan los 500 mm por año (ver Figura 49).

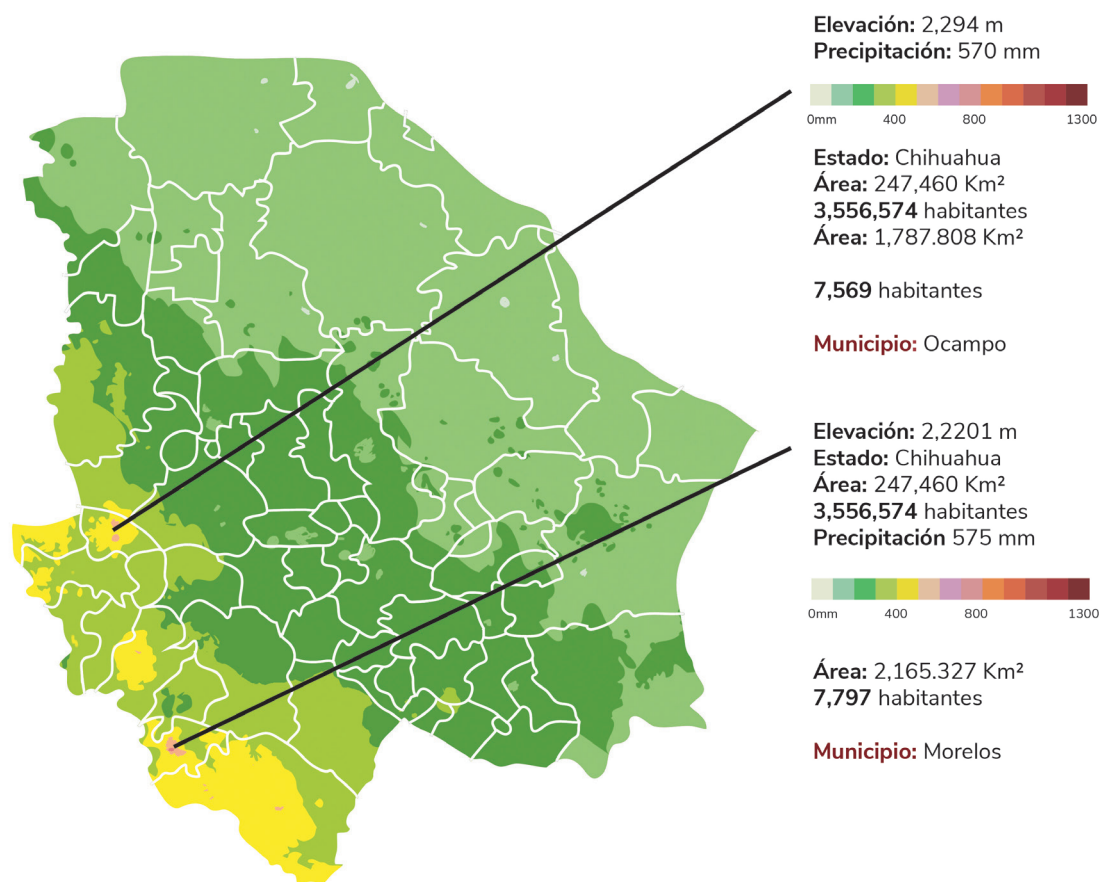


Figura 49. Precipitación extrema acumulada del estado de Chihuahua en el mes de julio (1902 – 2015).

Fuente: Elaboración propia con insumos de: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>

Por otra parte, otros eventos climáticos extremos acontecidos en el estado han sido las sequías prolongadas y las heladas severas, cuyos efectos repercuten directamente en la exposición y vulnerabilidad social y ambiental de la región geográfica donde éstos han ocurrido.

En el caso de las sequías, en 2013, Chihuahua enfrentó su peor escenario en los últimos 150 años, impactando directamente en las actividades económicas productivas como la ganadería

y la agricultura. La pérdida de biomasa afectó la productividad de los ecosistemas, ocasionando una disminución en el valor económico de las tierras, lo que propició un abandono del campo y la consecuente migración hacia las ciudades.

En cifras, dicha sequía, considerada como la peor en la historia del estado, dejó a su paso más de 100 mil cabezas de ganado muertas, millones de hectáreas siniestradas y cerca de 250 mil habitantes, principalmente indígenas tarahumaras, afectados

por dicho fenómeno. Es así, como diversos eventos climáticos extremos, llevaron a Chihuahua a ser considerado como una de las tres entidades con más efectos negativos derivados del cambio climático, esto, debido al incremento en un 30% de su territorio desértico.

En este sentido, al analizar los registros históricos relacionados con la temperatura máxima extrema absoluta registrada en el periodo 1902 – 2015 en el estado de Chihuahua (ver Figura 50), es posible identificar registros severos como los

que se ubican en municipios como Ahumada, donde la temperatura máxima posee un registro de 46.6 °C, o municipios como Ojinaga donde dicha temperatura alcanzó los 47.7 °C en el periodo referido.

En términos de las heladas extremas, aquella que se presentó en el noroeste de México del 2 al 4 de febrero de 2011 afectó severamente al estado de Chihuahua. Las temperaturas más bajas fluctuaron de -3 °C en tierras bajas (zonas históricamente libres de heladas), hasta -17 °C en las partes montañosas.

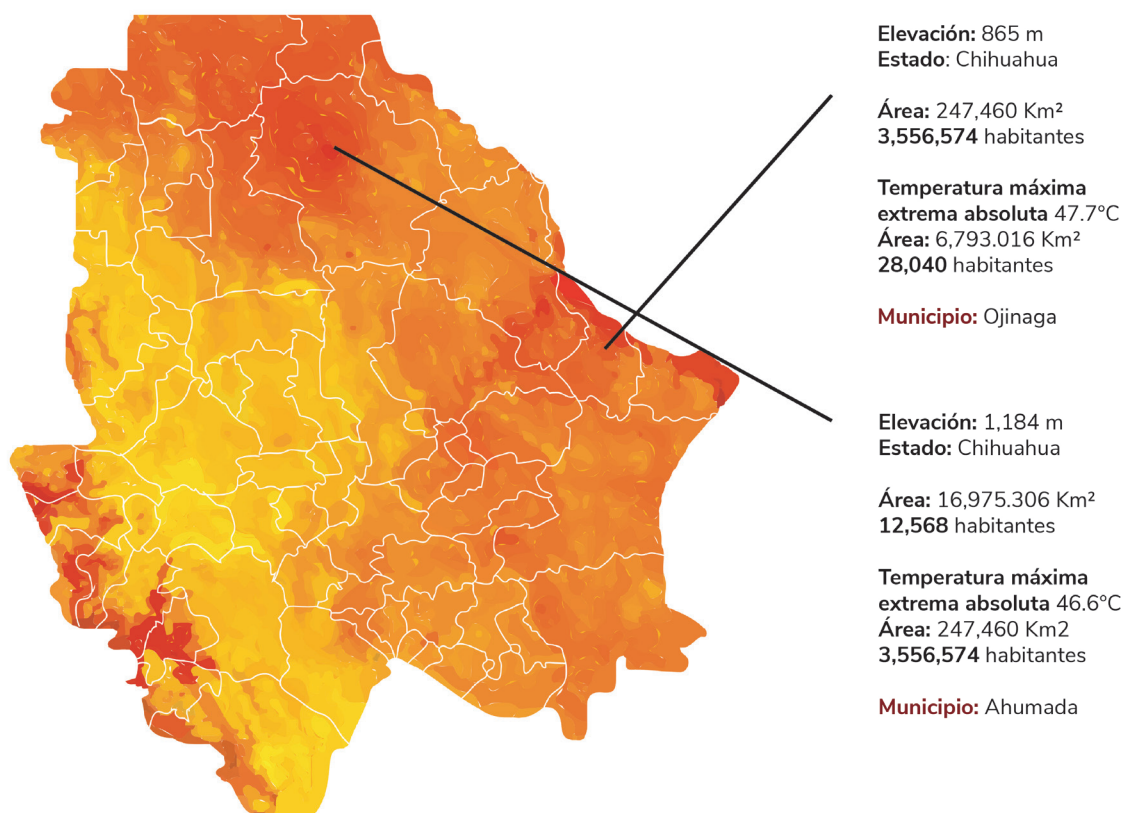


Figura 50. Temperatura máxima extrema absoluta del estado de Chihuahua (1902 – 2015).

Fuente: Elaboración propia con insumos de: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>

1.5.2.3 PASO 3: DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Con base en la información disponible en el Atlas Virtual Interactivo Climático de la UNAM¹¹², y siguiendo el enfoque definido por el CCA para la determinación de la vulnerabilidad que posee determinada región, se ha evaluado en primera instancia, la exposición y sensibilidad climática y al cambio climático. Los resultados se describen a continuación.

EXPOSICIÓN CLIMÁTICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con el mapa de exposición climática y al cambio climático, es posible identificar que la exposición promedio del estado se clasifica en una magnitud Media (ver Figura 51), siendo los municipios de Juárez, Madera, Chihuahua, Guadalupe y Calvo, Guachochi, Batopilas, Urique y Maguarichi, los que presentan una Alta exposición al clima y al cambio climático. Lo anterior, en virtud de la magnitud y frecuencia de eventos climáticos extremos, bajo la siguiente premisa: entre más ad-

¹¹² <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>

versos sean los impactos derivados del cambio climático, mayor dificultad experimentan los municipios mencionados para poder ajustarse, estando en consecuencia, más expuestos.

Entre las variables consideradas para la determinación del análisis de exposición al clima y al cambio climático desarrollado por el CCA de la UNAM, podemos mencionar las siguientes en el marco de tres componentes:

a) **Componente 1. Frecuencia de eventos climáticos extremos¹¹³:**

- Total de inundaciones
- Total de heladas
- Total de lluvias intensas
- Total de deslizamientos
- Total de otros problemas

b) **Componente 2. Problemática ambiental¹¹⁴:**

- Total de problemas ambientales

- Superficie municipal sin vegetación (%)
- Unidades de producción (%), en un municipio que reportaron pérdidas por cuestiones climáticas
- Unidades de producción (%), en un municipio que reportaron pérdidas por falta de fertilidad

c) **Componente 3. Clima y cambio climático¹¹⁵:**

- Razón de cambio (°C), entre temperatura media y escenarios climáticos al 2050
- Razón de cambio (°C), entre precipitación media y escenarios climáticos al 2050

Una vez que se tienen las variables, éstas se estandarizan y se integran en cada componente para obtener tres subíndices, los cuales, a su vez, se conjuntan para obtener el puntaje final de exposición por municipio. Finalmente, los valores se normalizan en una escala de 0 a 100, catalogándolos en 5 partes iguales: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México: Estado de Chihuahua.

Exposición climática y al cambio climático.

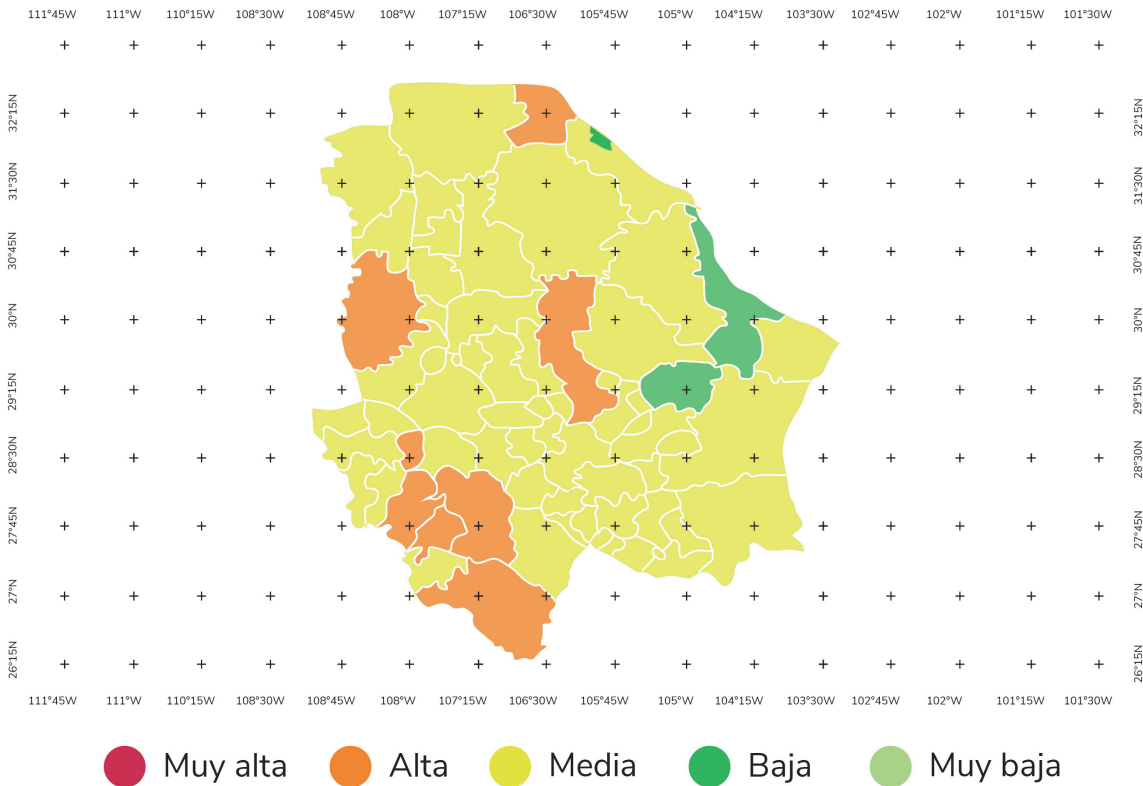


Figura 51. Exposición climática y al cambio climático del estado de Chihuahua.

Fuente: <http://atlasclimatico.unam.mx/VulnerabilidadalCC/Exposicion/chih/chih.html>

¹¹³ Este componente evalúa si un municipio ha reportado afectaciones por este tipo de eventos, denotando así exposición climática.

¹¹⁴ Se refiere a las cuestiones ambientales que denotan que el municipio se encuentra con algún grado de degradación de sus recursos, lo que lo hace más expuestos a sufrir algún daño.

¹¹⁵ Abarca los cambios modelados por cambio climático. Entre más adversos sean los cambios mayor dificultad se experimentará para poder ajustarse, lo que hace que el municipio esté más expuesto.

SENSIBILIDAD CLIMÁTICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO

Tomando en consideración los resultados reflejados en el mapa de sensibilidad climática y al cambio climático, puede observarse que la sensibilidad promedio del estado se ubica en una magnitud de Muy Baja a Baja (ver Figura 52), siendo los municipios que presentan una sensibilidad Media, los que se mencionan a continuación: Carichí, Balleza, Guadalupe y Calvo, Morelos, Urique, Batopilas, Guazapares, Chínipas, Uruachi y Maguarichi; mientras que el municipio de Guachochi presenta una sensibilidad Alta.

De esta forma, la sensibilidad puede interpretarse como el grado en que un sistema es potencialmente modificado o afectado por factores, ya sean internos o externos, y es, a través de este parámetro, que puede determinarse el grado en el que los municipios del estado pueden verse afectados por un estrés, afectando en consecuencia, las condiciones humanas y ambientales de la región.

Para la determinación de la sensibilidad climática y al cambio climático, fueron consideradas las siguientes variables dados sus respectivos componentes:

a) Componente 1. Población¹¹⁶:

- % de población municipal con una jefa de familia
- % de población municipal indígena
- % de población municipal en pobreza alimentaria

b) Componente 2: Salud¹¹⁷:

- % municipal de niños con baja talla al nacer
- % municipal de niños con bajo peso al nacer
- % de personas sin acceso a servicios de salud

c) Componente 3. Productivo¹¹⁸:

- % de superficie municipal en actividades primarias
- % de superficie municipal que no cuenta con riego
- % de población municipal dedicada a actividades primarias

El tratamiento de las variables de sensibilidad es el mismo que se describe para las variables de exposición.

Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México: Estado de Chihuahua.

Sensibilidad climática y al cambio climático

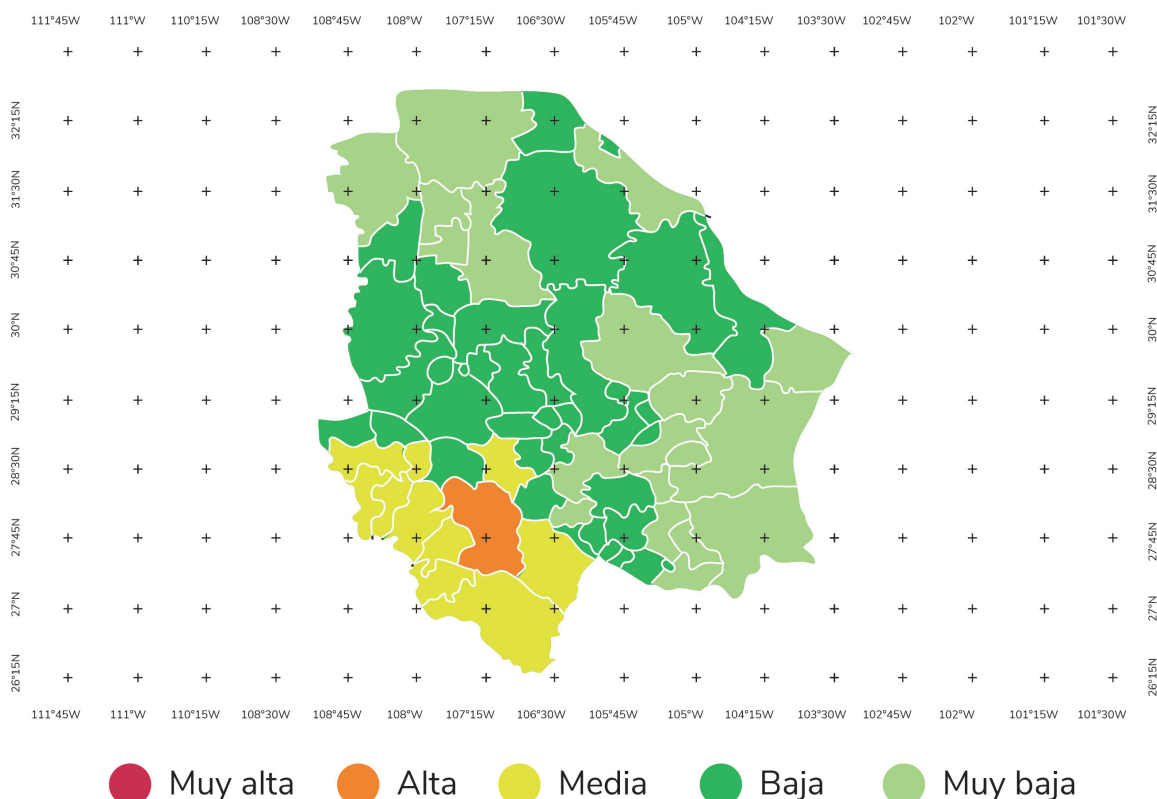


Figura 52. Sensibilidad climática y al cambio climático del estado de Chihuahua.

Fuente: <http://atlasclimatico.unam.mx/VulnerabilidadalCC/Exposicion/chih/chih.html>

¹¹⁶ Este componente evalúa algunas características de sensibilidad de los grupos que habitan el municipio. Las variables más sensibles son las indicadas en la sección.

¹¹⁷ Evalúa las características que dan vigor a la población de un municipio.

¹¹⁸ El componente considera al sector productivo primario y a su población de cada municipio.

RESULTADOS DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

Sobre el resultado obtenido a través del mapa de vulnerabilidad al cambio climático, puede observarse que la vulnerabilidad que posee el estado de Chihuahua ante el fenómeno del cambio climático se ubica en una magnitud de Muy Baja a Baja (Ver Figura 53), sin embargo, existe un conjunto de municipios que presentan una vulnerabilidad Media al cambio climático y que son los que se citan a continuación: Huejotitán, Balleza, Guadalupe y Calvo, Urique, Guachochi, Guazapares, Chínipas, Uruachi, Magurichi, Bocoyna, Carichí, Nonoava y Morelos; mientras el municipio de Batopilas, es el único que presenta una vulnerabilidad al cambio climático Alta.

De manera específica, y en función de la exposición y sensibilidad analizadas, de acuerdo con los resultados obtenidos por el Centro de Ciencias de la Atmósfera, los puntos vulnerables en el estado de Chihuahua se encuentran en los grupos desatendidos como los hogares con jefatura femenina, las comunidades indígenas y la alta población en pobreza alimentaria. Esta situación, guarda una estrecha relación con el aprovechamiento de los recursos naturales de la entidad, pues los ecosistemas de la zona no permiten adaptarlos para generar un bien capital natural, con lo cual la población estaría mejor preparada para responder a las adversidades del cambio climático¹¹⁹.

Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México: Estado de Chihuahua.

Vulnerabilidad al cambio climático.

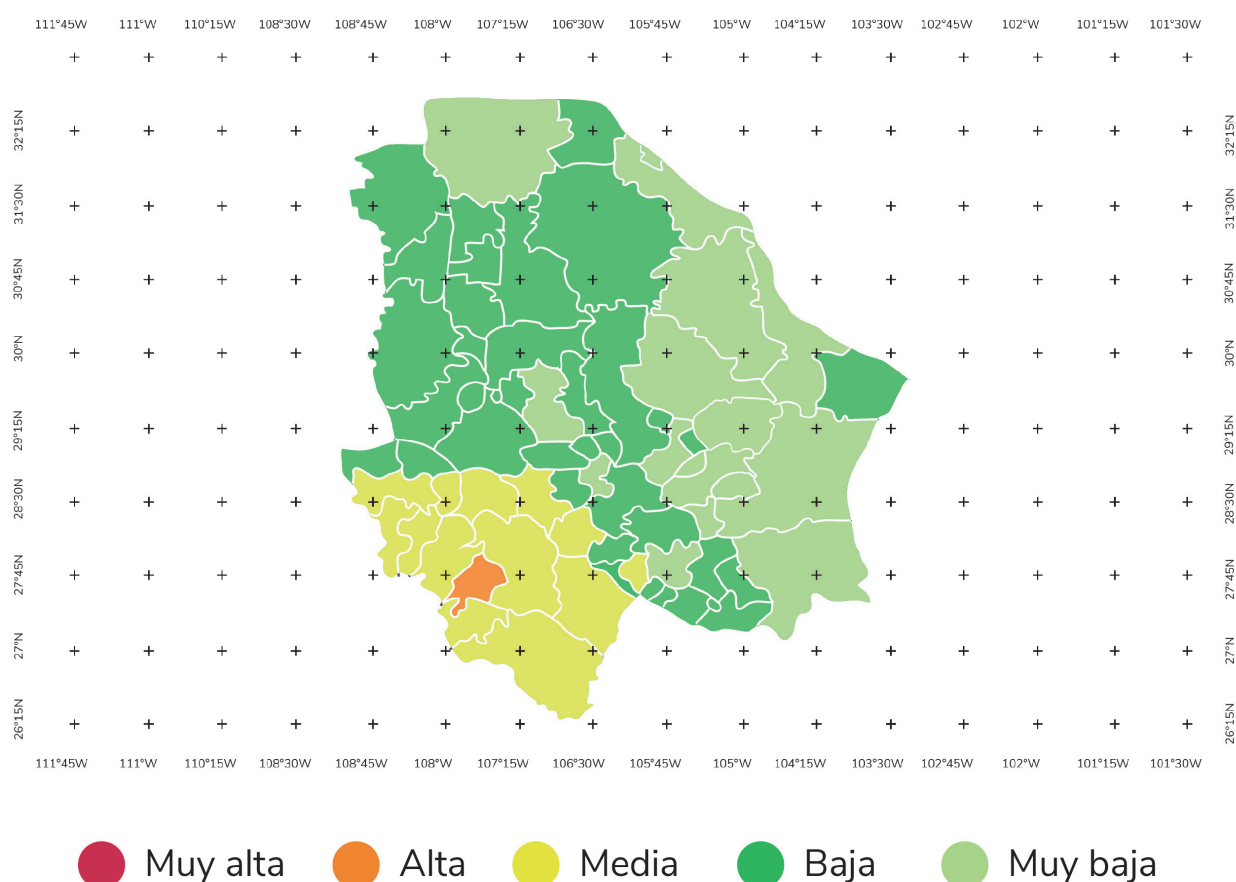


Figura 53. Vulnerabilidad al cambio climático del Estado de Chihuahua.

Fuente: <http://atlasclimatico.unam.mx/VulnerabilidadalCC/Exposicion/chih/chih.html>

¹¹⁹ Monterroso Rivas A. I. 2012. Contribución al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México. Tesis de Doctorado. Programa de Doctorado en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

A nivel sectorial, la vulnerabilidad del estado de Chihuahua presenta el siguiente orden de magnitud:

a) Vulnerabilidad de la biodiversidad

- Alta: 55%
- Media: 37%
- Baja: 8%

b) Vulnerabilidad del sector agrícola

- Media: 87%
- Baja: 13%

c) Vulnerabilidad del sector hídrico

- Media: 99%
- Alta: 1%

d) Vulnerabilidad del sector ganadero

- Alta: 5%
- Media: 85%
- Baja: 10%

e) Vulnerabilidad del sector forestal

- Media: 67%
- Baja: 33%

De manera resumida, de los 67 municipios que integran el estado de Chihuahua, el 79.10% poseen una vulnerabilidad de Muy Baja a Baja, mientras el 19.40% presenta una vulnerabilidad Media y sólo el 1.49% una vulnerabilidad Alta como se muestra a continuación (ver Figura 54):



Figura 54. Vulnerabilidad al cambio climático a nivel municipal del estado de Chihuahua.

Fuente: Elaboración propia con datos del Atlas Climático de la UNAM: <https://goo.gl/EqPxYC>

En el Cuadro 57 se resumen los resultados del análisis de vulnerabilidad realizado, indicando los municipios que presentan exposición y sensibilidad climática entre media y alta, así como la mayor vulnerabilidad. Como se puede observar en este cuadro Batopilas, Guachochi, Guadalupe y Calvo, Maguarichi y Urique son los municipios que resultaron podrían ser los más afectados por el cambio climático.

En el Cuadro 58 se resumen los peligros naturales que estos municipios han registrado y que han sido documentados en el Atlas de Peligros Naturales del estado de Chihuahua. Los fenómenos que se han revisado son lluvias/inundaciones, temperaturas extremas, granizadas, sequías, nevadas, vientos, tormentas eléctricas, neblinas y tornados. Se puede observar que todos estos riesgos hidrometeorológicos están presentes en los municipios identificados con una vulnerabilidad media y alta.

Cuadro 57. Resultados del análisis de vulnerabilidad desarrollado para el estado de Chihuahua

Municipio	Exposición climática	Sensibilidad climática		Vulnerabilidad climática	
	Alta	Media	Alta	Media	Alta
Batopilas	X	X			X
Bocoyna				X	
Carichí		X		X	
Chihuahua	X				
Guachochi	X		X	X	
Guadalupe y Calvo	X	X		X	
Guazapares		X		X	
Juárez	X				
Madera	X				
Maguarichi	X	X		X	
Morelos		X		X	
Nonoava				X	
Urique	X	X		X	



Cuadro 58. Identificación de los riesgos hidrometeorológicos presentes en los municipios más vulnerables o con una exposición y sensibilidad climática media y alta en el estado de Chihuahua.

Regiones climáticas	Municipios	Lluvias/ Inundaciones	Temperaturas extremas	Granizadas
Desértica	Cd. Juárez	Presencia de lluvias torrenciales e importantes inundaciones se han reportado para este municipio con alto impacto a la comunidad, afectando extensas zonas de viviendas e infraestructura urbana	Sin datos	Graniza con regularidad cada año, en la mayoría de los casos no provoca daños
Serrana	Bocoyna	No son graves en el municipio, aunque algunas poblaciones se pueden ver afectadas si se presentan crecientes en los ríos Conchos y Tomochi	Presentes en todo el municipio	Aparecen en forma esporádica en todo el municipio, afectando a la agricultura y en algunos casos a las viviendas
Serrana	Carichí	Algunas poblaciones se ven afectadas por la creciente de algunos ríos o arroyos. La intensidad del peligro es media	Se presentan temperaturas muy bajas con duración de días, considerando la intensidad del peligro alta	La intensidad del peligro es medio
Serrana	Guachochi	Aparecen en todo el municipio, provocando desprendimiento de rocas en los caminos, con riesgos de afectación en la agricultura y fallas de comunicación	Se presentan en prácticamente todo el municipio, afectando a la población de bajos recursos	Se presentan en prácticamente todo el municipio, afectando a la producción agrícola
Serrana	Guadalupe y Calvo	En temporada de lluvias se presentan inundaciones en varias localidades del municipio, afectando las comunicaciones	Se presentan en prácticamente todo el municipio, afectando los sistemas carreteros y la infraestructura de viviendas	Se presentan en prácticamente todo el municipio, afectando a la producción agrícola, techos de viviendas y la infraestructura carretera

Sequías	Nevadas	Vientos	Tormentas eléctricas	Neblinas	Tornados
Sin datos	Sin datos	Hay presencia de fuertes vientos en el municipio, ocasionando tolvaneas, algunas trombas caídas de árboles y espectaculares, fallas en el suministro de energía eléctrica	Se presentan en el estado, con algunas trombas importantes	Sin incidencias	Sin incidencias
Se presenta en todo el municipio, afectando la agricultura, la disponibilidad de agua y generación de incendios	Están presentes en todo el municipio y las afectaciones principales es a la agricultura y el cierre de caminos	Fenómeno presente en todo el municipio, afectando los techos de las casas, cortes de energía eléctrica y telefonía	Hay presencia de este fenómeno durante la temporada de lluvias sin representar peligro hacia la población	En algunas localidades pueden presentarse en tiempo de frío con posibles afectaciones a la visibilidad	Hay registros de que se dan estos fenómenos en alguna localidad
Se presenta en todo el municipio, por lo que la intensidad del peligro es alta. Hay localidades donde no se han presentado lluvias por varios años	Se presentan principalmente en la sierra, lo que hace que la intensidad del peligro sea alta	Afectan a la mayor parte del municipio y la intensidad del peligro es medio	Presencia en algunas localidades en temporada de lluvias, aunque no se dan con frecuencia	Presencia en todo el municipio en temporada de lluvias, aunque no se dan con frecuencia	No hay registros
El fenómeno se presenta en todo el municipio, afectando de manera importante a la agricultura	Se presentan en prácticamente todo el municipio, afectando a la producción agrícola, los sistemas de telefonía y energía eléctrica	Afectan a la mayor parte del municipio, ocasionando daños en los techos de viviendas, cortes de energía eléctrica y fallas en los sistemas de telefonía	Se presentan en todo el municipio afectando la energía eléctrica y sistemas de comunicación	Se llegan a presentar sin generar peligro o riesgo alguno	No hay registros
El fenómeno se presenta en todo el municipio, afectando de manera importante a la agricultura, ganadería, y provocando escasez de agua potable y de riego	Están presentes en todo el municipio y las afectaciones principales es a la agricultura, el cierre de caminos, comunicaciones, energía eléctrica y en viviendas	Se presentan fuertes vientos en todo el municipio, afectando los sistemas de comunicación, los techos de las viviendas y presentando cortes de energía eléctrica	Si se presentan en el municipio sin riesgo o peligro aparente	Se llegan a presentar sin generar peligro o riesgo alguno	No hay registros

Cuadro 58. (CONT.)

Regiones climáticas	Municipios	Lluvias/ Inundaciones	Temperaturas extremas	Granizadas
Serrana	Madera	Se presentan algunas inundaciones sin que los niveles del agua generen un daño mayor a la población y algunas localidades se ven afectadas por la creciente de algunos ríos o arroyos. La agricultura puede verse afectada	En el 70% del municipio se presentan temperaturas extremas y la intensidad del peligro es catalogada como baja. Las temperaturas bajas afectan principalmente a la población de bajos recursos, así como también a la ganadería	Se presentan en algunos ejidos del estado, provocando el cierre de calles y carreteras y afectando a la agricultura y ganadería, así como a la población de bajos recursos
Serrana	Maguarichi	El municipio se ha visto afectado por estos fenómenos quedando incomunicado. El agua de lluvia baja por la sierra dañando viviendas	Se presentan en todo el municipio, afectando a la población de bajos recursos, y a las viviendas	Se presenta esporádicamente afectando a la ganadería y cultivos, así como a viviendas
Serrana	Nonoava	Las localidades que residen cerca de los ríos son las zonas de más riesgo en el municipio cuando se presentan lluvias, pudiendo generarse cierres de caminos	Se presentan en todo el municipio, afectando a la población de bajos recursos, a las viviendas, presentándose cierres de caminos	Se presentan en todo el municipio, afectando a la producción agrícola, el suministro de energía eléctrica
Semidesértica	Chihuahua	Hay presencia de lluvias torrenciales entre julio y septiembre, generando crecidas de algunos ríos y arroyos, lo que afecta a la agricultura, viviendas, vialidades, transporte, sistemas de drenaje	Se presenta en todo el municipio, y se considera que de un alto riesgo. Afecta tuberías, labores cotidianas y los cultivos	No se presenta este fenómeno en forma periódica y por lo tanto no representa un riesgo mayor. Pueden afectar a las viviendas, construcciones, áreas verdes y los cultivos

Sequías	Nevadas	Vientos	Tormentas eléctricas	Neblinas	Tornados
Presentes en el municipio, y con duraciones de varios años, afectando la agricultura, la ganadería y generando incendios forestales, por lo que se considera que la intensidad del peligro es medio	Varias localidades sufren nevadas, con una intensidad del peligro medio. Hay cierre de caminos y afectaciones en viviendas	Se presentan fuertes vientos en varias localidades del municipio, clasificándose la intensidad del peligro en medio	Presentes en todo el municipio	Se llegan a presentar en todo el municipio, pero no son muy frecuentes, por lo que la intensidad del peligro es baja	Si se han presentado en algunas localidades del municipio
Este fenómeno está presente en el municipio, afectando la agricultura, la ganadería y la disponibilidad de agua potable a la población. Ha estado presente desde hace ya varios años	Fenómeno que afecta a todo el municipio, hay cierre de caminos y afectaciones en viviendas	Afectan a todo el municipio, ocasionando daños en los techos de viviendas, cortes de energía eléctrica y caída de árboles	No hay información	No hay información	No hay información
Este fenómeno está presente en el municipio, afectando la agricultura, la disponibilidad de agua potable a la población por la falta de luz en los pozos	Se presentan en prácticamente todo el municipio, provocando cierre de caminos, sin representar un peligro aparente	Afectan a todo el municipio, ocasionando daños en los techos de viviendas, cortes de energía eléctrica y caída de árboles	Presentes en todo el municipio, sin presentar peligro alguno	Aparecen sin consecuencias	No hay registros de que ocurran
La afectación de este fenómeno se da en el nivel I de agua de las presas	En la cabecera municipal el nivel de riesgo es bajo, pero en las comunidades aledañas se presente con más frecuencia este fenómeno	Representan un alto riesgo, presentándose principalmente en enero y febrero. Las principales afectaciones se dan en los techos de lámina, caída de árboles, tinacos y espectaculares, alumbrado público y líneas telefónicas, así como el cierre de caminos por problemas de visibilidad	Si hay registros de este fenómeno en el municipio, no se especifica la periodicidad y frecuencia	Sin incidencias	Sin incidencias

Cuadro 58. (CONT.)

Regiones climáticas	Municipios	Lluvias/ Inundaciones	Temperaturas extremas	Granizadas
Subtropical	Batopilas	Presentes en el municipio. Hay registro de haberse hecho una declaratoria de emergencia. Las inundaciones se deben a la creciente del río que atraviesa el municipio, reportando periodos largos de incomunicación	Se presentan principalmente altas temperaturas	Se presentan en todo el municipio, afectando los cultivos, y viviendas con techos de lámina
Subtropical	Guazapares	Se presentan en el municipio provocando el desborde o crecimiento de arroyos, ocasionando el cierre de camino, deslaves de cerros e inundaciones y afectando cultivos y en algunas ocasiones ahogamiento de personas	Se presentan principalmente altas temperaturas, afectando los cultivos	Es un fenómeno que aparece en todo el municipio, afectando a los cultivos y viviendas
Subtropical	Morelos	No se pudo generar la información		
Subtropical	Urique	Se presentan en varias localidades del municipio, provocando encharcamientos y lodo en las calles de terracería durante la temporada de lluvias	Se presentan principalmente altas temperaturas, afectando la agricultura y ganadería, así como la deshidratación entre la población	Presentes en todo el municipio, afectando la agricultura, y cuando son muy fuertes, hay el cierre de caminos y carreteras

Sequías	Nevadas	Vientos	Tormentas eléctricas	Neblinas	Tornados
Se presentan en todo el municipio, afectando a los cultivos y ganadería de la región	Si se presentan en el municipio	Hay presencia de este fenómeno en todo el municipio, provocando cortes de energía eléctrica y afectando a los techos de lámina de viviendas	Se presentan en todo el municipio en temporada de lluvias, provocando corte de energía eléctrica y de telefonía	No se indica	No se indica
Al ser una región de clima cálido, este fenómeno se presenta en todo el municipio, afectando las actividades agrícolas y ganaderas	Se presentan ocasionalmente en el municipio	Se presentan en todo el municipio, provocando desprendimiento de los techos de lámina de las viviendas, provoca el derriben de árboles, lo que genera el cierre de caminos	Si se presentan en el municipio generando cortes de telefonía y energía eléctrica. Esto último provoca que los pozos no funcionen	No se indica	Se han registrado ocasionalmente
Fenómeno que se presenta en todo el municipio con afectaciones importantes en los cultivos y ganadería	Aparecen en casi todo el municipio afectando e incomunicando a varias localidades, así como a los cultivos y en la infraestructura de tuberías de las viviendas	Los vientos se presentan en todo el municipio provocando el volado de techos de viviendas, tirado de árboles, lo que puede afectar las vías de comunicación	Se presentan en todo el municipio, no hay grandes afectaciones	Se presentan en todo el municipio, no hay grandes afectaciones	Se presentan pequeños tornados que no afectan a las poblaciones

Fuente: Atlas de Peligros Naturales del estado de Chihuahua.

<https://www.dropbox.com/s/9mcsr115dfvj53p/Atlas%20de%20Peligros%20Chihuahua%202017%20DEF.pdf>

1.5.2.4 PASO 4: ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN

Una vez que la vulnerabilidad al cambio climático ha sido determinada, es necesario generar un análisis de las posibles medidas de adaptación que se pueden poner en marcha en el estado de Chihuahua. De esta forma, la información relacionada con las medidas de adaptación identificadas se obtuvo a partir de la revisión tanto de las comunicaciones nacionales que hasta ahora han sido publicadas por el gobierno federal, así como por programas estatales de acción ante el cambio climático y planes de acción climática a nivel municipal y urbano desarrollados en otras entidades.

A través de este análisis, se buscó determinar la capacidad que puede llegar a tener el estado de Chihuahua para hacer frente a los efectos del cambio climático, y de esta forma, determinar el potencial que la entidad federativa puede alcanzar para poner en marcha las medidas identificadas.

De acuerdo con el CCA de la UNAM, para la determinación de la capacidad de adaptación se han considerado las siguientes variables y sus respectivos componentes:

COMPONENTES DEL ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN

Componente humano. Se evalúan las condiciones de vida de las personas como una medida de capacidad para hacer frente a vulnerabilidades:

- % de cambio del número de habitantes al 2030
- % de población en el municipio que sabe leer
- % de población de 5 a 14 años que asiste a la escuela
- % de población total alfabeta en el municipio

Componente social. Se representa por la organización de los productores, donde las redes conformadas permiten el acceso a información, recursos y créditos. Además, facilitan la cooperación en temas colectivos, donde la adopción de tecnologías puede ayudar a hacer frente a los cambios:

- % de Unidades de Producción en un municipio que están organizadas
- % de Unidades de Producción en un municipio que no tienen litigio por la tierra
- % de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener falta de capacitación
- % de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener problemas para producir

Componente financiero. Proveen información general de la situación económica de los municipios, buscando identificar las regiones que se encuentran mejor preparadas para responder a adversidades:

- % de Unidades de Producción en un municipio que señalaron no tener dificultad para acceder a créditos
- % de Unidades de Producción en un municipio que reciben remesas de país extranjero
- % de Unidades de Producción en un municipio que señalaron tener ahorros
- % de Unidades de Producción en un municipio que señalaron tener crédito
- % de población que recibe más de 2 salarios mínimos mensuales de ingreso Cambio porcentual en el PIB del 2000 al proyectado en 2030

Componente natural. Es una medida del grado de riqueza de ecosistemas y sus funciones, así como de las acciones para incrementar su superficie:

- Relación de superficie municipal con bosque o selva
- Relación de hectáreas reforestadas a nivel municipal

Las medidas de adaptación que pueden ser implementadas en el estado de Chihuahua en función de los componentes analizados se pueden ver en la sección correspondiente (Adaptación).

1.5.3 MONITOREO Y EVALUACIÓN

El exitoso desarrollo de mecanismos de monitoreo y evaluación a las medidas de adaptación al cambio climático identificadas, enfrenta una serie de retos. Entre estos se puede mencionar: los plazos potencialmente prolongados a través de los cuales puede darse la adaptación al cambio climático; la falta de parámetros de medición y criterios claros para evaluar el “éxito”, de la adaptación; la naturaleza de la adaptación, dependiente del contexto y la necesidad de evaluarla en un entorno de condiciones climáticas cambiantes e inciertas.

Con base en lo anterior, para la definición de un esquema de monitoreo y evaluación, se ha tomado en consideración el enfoque desarrollado por el Instituto Internacional de Desarrollo y Ambiente (IIED), denominado “Tracking Adaptation and Measuring Development” (seguimiento de la Adaptación y Evaluación del Desarrollo)¹²⁰, el cual, ofrece un mecanismo de monitoreo y evaluación basado en las siguientes categorías de indicadores:

1. Indicadores de la gestión del riesgo climático
2. Indicadores de la resiliencia y temas relacionados con la misma
3. Indicadores del bienestar humano
4. Índices climáticos

De esta forma, se ha optado por elegir el enfoque basado en estas categorías, el cual es aplicable a todas las medidas de adaptación identificadas. El propósito es sentar una base metodológica que permita detectar de manera sistemática la

¹²⁰ <https://pubs.iied.org/pdfs/17273SIIED.pdf>

efectividad de las mismas, a fin de que sea posible dar seguimiento al progreso del estado durante un periodo lo suficientemente prolongado, para detectar cambios significativos y estos sean interpretados en el contexto de las tendencias y las variaciones climáticas y de esta forma, identificar la efectividad de las medidas de adaptación implementadas.

Para su monitoreo y evaluación, cada categoría contiene una serie de indicadores con preguntas para analizar el fenómeno del cambio climático. Para lo anterior se ha considerado tres términos: Sí, Parcialmente y No. A estos rubros se les asigna una puntuación; 0, 1 y 2 respectivamente, donde el valor acumulado más alto evidencia la falta de atención al cambio climático en la región.

A continuación se describen las categorías de indicadores antes referidas:

1. Indicadores de la gestión del riesgo climático: Se evalúa el alcance y la calidad de los procesos y mecanismos institucionales al momento de llevar a cabo planeaciones a nivel municipal y estatal. Esta planeación toma en consideración los riesgos relacionados con el cambio climático que se pueden presentar, al momento de seleccionar proyectos, actividades o inversiones. Se evalúa el nivel de conocimientos sobre los riesgos climáticos y las potenciales medidas planificadas. Como estos proyectos, actividades o inversiones pueden realizarse a corto y mediano plazo, conviene evaluar estos indicadores anualmente.

2. Indicadores de resiliencia: A través de estos indicadores, se evalúa la capacidad que puede tener una región para retornar a las condiciones que existían previo al impacto de eventos climáticos extremos. De esta manera, los indicadores relativos a la resiliencia se construyen a partir de bases de datos como censos y encuestas estatales sobre el nivel de vida y se emplean para detectar cambios a escala estatal. La periodicidad de la evaluación de este tipo de indicadores dependerá de la planeación de los censos y encuestas que sean elegidas para evaluar los indicadores.

3. Indicadores del bienestar: El éxito de las medidas de adaptación se medirá en términos de bienestar humano y de los resultados del desarrollo. Estos se pueden representar mediante indicadores que rastrean los costos de los impactos del cambio climático, sus efectos en los bienes materiales, el sustento, las vidas y otros aspectos como la pobreza, la nutrición y la salud. Así mismo, estos indicadores se pueden definir en términos absolutos para averiguar si los costos para los bienes materiales, el sustento y calidad de vida, o aspectos clave del bienestar humano, son estables, están mejorando o empeorando. Los insumos para la evaluación de este tipo de indicadores incluyen índices económicos como el PIB, inflación, índice de pobreza, de privación social, carencia social y el índice de bienestar, entre otros. Estos indicadores se evalúan por el CONEVAL bianualmente para los estados y quinquenalmente para los municipios, por lo que estos períodos podrían ser apropiados para esta parte del MRV en adaptación al cambio climático.

4. Indicadores e índices climáticos: Para integrar datos sobre el clima a fin de interpretar los cambios en los indicadores del bienestar, se buscará que éstos tengan un efecto demostrable sobre tales indicadores, así como asegurar que sean medidos en las escalas correctas. Los índices como el punto en que se inicia la temporada lluviosa, la duración de los episodios secos durante la época de crecimiento de la cosecha, y la máxima intensidad de las precipitaciones, se analizan con el propósito de determinar una línea de base histórica. Dado el avance en los sistemas de medición meteorológica, este tipo de índices se pueden obtener prácticamente en tiempo real. Será conveniente contar con una red de estaciones meteorológicas distribuidas apropiadamente en el estado. Dependiendo del uso que se le dé a la información, esta se podrá re-interpretar en forma momentánea, mensual, anual o por evento.

Bajo un enfoque adaptado del marco “Tracking Adaptation and Measuring Development”, es posible definir el marco de monitoreo y evaluación de acuerdo a los siguientes criterios:

- Integración del cambio climático a la planeación
- Coordinación institucional para la integración
- Presupuesto y finanzas
- Conocimiento y capacidad institucional
- Uso de la información climática
- Planeación
- Participación
- Sensibilización entre las partes interesadas

1.5.4 DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Una parte esencial del Plan Estatal de Cambio Climático del estado de Chihuahua es el diseño de las políticas de adaptación y mitigación que se deben desarrollar para poder, por un lado contribuir en la disminución de las emisiones de GEI y por el otro, al ser México un país particularmente vulnerable a los impactos del cambio climático, generar una serie de acciones que permitan al país, y en este caso en particular, al estado de Chihuahua reducir la vulnerabilidad ante el embate de los efectos de este fenómeno.

México, por su posición geográfica, así como por su topografía y sus características socioeconómicas, se ve fuertemente afectado por los impactos del cambio climático, principalmente en la ocurrencia e intensidad de eventos climáticos extremos, como los ciclones, sequías y lluvias torrenciales. En conjunto, estos fenómenos generan grandes impactos en los ecosistemas y de manera específica provocan afectaciones importantes en los sectores agropecuario, forestal, hídrico, así como en la infraestructura en general, y en las zonas urbanas y, por ende, en las economías locales. Adicionalmente, y de acuerdo, a la información dada en la Sexta Comunicación Nacional, se proyectan temperaturas anuales mayores hasta en 2°C en el norte del país, mientras que en la mayoría del territorio podría

oscilar entre 1 y 1.5°C. En el Reporte Mexicano de Cambio Climático, publicado por la UNAM¹²¹, se menciona que las temperaturas extremas (máximas y mínimas) han aumentado en el estado de Chihuahua, lo que indicaría que ya se presenta un posible calentamiento. Con respecto al parámetro de precipitación, la proyección derivada de los escenarios climáticos, indica que habrá una disminución entre el 10 y el 20% en general en el territorio nacional y aunque la cantidad de precipitación no se ha modificado en el periodo 1960-2013, si se ha observado que su distribución está cambiando de manera diferencial en el territorio¹²². Estos cambios podrían traer consecuencias económicas, sociales y ambientales muy importantes.

Ante este panorama, la identificación e implementación de medidas de adaptación son necesarias y urgentes, ya que de no reducir la vulnerabilidad a las que nos estamos viendo expuestos por los efectos del cambio climático, los impactos a futuro se volverán seriamente disruptivos en todos los aspectos de nuestra vida. De hecho, se considera que la adaptación es esencialmente una estrategia de gestión de riesgo¹²³.

Las medidas de adaptación propuestas giran alrededor de los siguientes ejes prioritarios: biodiversidad, sector agrícola, recursos hídricos, ganadería, sector forestal y sector urbano. Todos estos sectores se ven afectados fuertemente por el cambio climático y se encuentran íntimamente relacionados, por lo que, las medidas de adaptación tomadas para un sector, puede beneficiar a algunos de los otros. También es recomendable que las acciones que se adopten coadyuven a cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

Las medidas que se presentan a continuación son generales, debido a la diversidad de los ecosistemas presentes en el estado y las particularidades de cada uno de ellos, así como de las mismas actividades económicas que se desarrollan en éstos. Las medidas propuestas son el inicio del diálogo que debe tener el gobierno Estatal, tanto con el gobierno Federal como Municipal, pero también con cada uno de los actores presentes en las diferentes regiones de la entidad, incluyendo las instituciones académicas y las organizaciones de la sociedad civil. Esto con el objetivo de trazar la mejor ruta crítica para fortalecer su capacidad adaptativa. Sin embargo, es importante alinear los esfuerzos con las políticas nacionales e internacionales y poder coadyuvar a que, en conjunto, se pueda llegar a cumplir las metas y compromisos que se han adquirido como país. También, el rol de liderazgo que debe tomar el gobierno estatal en materia de cambio climático es fundamental para que los municipios que conforman el estado puedan, a su vez, enfrentar de manera eficaz los embates de este fenómeno y ser más resilientes al mismo.

En las siguientes secciones se describen las medidas que se sugieren desarrollar e implementar en la entidad.

1.5.4.1 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN BIODIVERSIDAD

La rica biodiversidad que presenta el estado de Chihuahua es innegable, ya que forma parte del área boscosa de la Sierra Madre Occidental y del Desierto de Chihuahua, ambas regiones caracterizados por una riqueza en flora y fauna importante. Se tienen registradas 3131 especies en los principales ecosistemas identificados en el estado: bosques, pastizales y matorrales; así como también en pequeñas zonas de selvas, dunas, chaparrales y mezquiales¹²⁴. En estos ecosistemas conviven una gran cantidad de animales como reptiles, aves, mamíferos, insectos y peces. Dentro de esta fauna se destacan especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo, como el bisonte, el perrito de la pradera, el águila real, el oso negro, el jaguar, por mencionar algunos¹²⁵.

Toda esta biodiversidad se encuentra amenazada por las actividades primarias, secundarias y terciarias presentes en el estado, principalmente en el Desierto Chihuahuense y la Sierra Madre Occidental. De estas destaca el sector manufacturero, minería, ganadería, silvicultura y agricultura, que a su vez han provocado el sobrepastoreo, cambio de uso de suelo para cultivos, tala inmoderada, erosión del suelo, pérdida del hábitat y explotación acelerada del agua subterránea¹²⁶. Esto hace más vulnerable a los mismos ecosistemas, así como a la población a causa de los efectos del cambio climático. Por ello, y en concordancia con los principios derivados de la Cumbre de la Tierra, es importante conciliar la preservación futura de la biodiversidad con el progreso humano.

Las principales acciones de adaptación que se identificaron a través de las herramientas utilizadas para el análisis de la vulnerabilidad para el estado de Chihuahua y que pueden contribuir a recuperar y preservar la biodiversidad de la entidad son:

- Reducción de la degradación de los ecosistemas
- Establecimiento de nuevas áreas protegidas
- Establecimiento de corredores biológicos o ecológicos
- Inversión en restauración o conservación de la infraestructura ecológica
- Diseño de programas para apoyar alternativas económicas a la tala extensiva del bosque

Todas estas acciones generales están contempladas en alguno de los ejes de la Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del estado de Chihuahua (ECUS-BIOECH)¹²⁷, la cual se publicó en 2015 y se desarrolló en conjunto entre CONABIO y la Secretaría de Desarrollo Urbano

¹²¹ UNAM (2015). Reporte Mexicano de Cambio Climático. Grupo 1 Bases Científicas. Modelos y Modelación. Programa de Investigación en Cambio Climático.

¹²² Idem

¹²³ National Research Council (2010). Adapting to the Impacts of Climate Change. Washington, DC: The National Academic Press. <https://doi.org/10.17226/12783>.

¹²⁴ CONABIO (2014). Op. cit., p. 259.

¹²⁵ Ibid., p. 105. (Nota: En la sección 2.1.3.1 Características geográficas se amplía más la información sobre la biodiversidad de la entidad).

¹²⁶ Ibid., p. 64.

¹²⁷ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del estado de Chihuahua (2015). Estrategia para la Conservación y el uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua. CONABIO.

y Ecología del Gobierno del estado de Chihuahua. La estrategia se fundamenta en el Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), del cual México es parte desde 1992 y además está alineada al Plan Estratégico 2011-2020 del CDB y las Metas de Aichi¹²⁸.

La estrategia tiene acciones proyectadas a 30 años, las cuales están organizadas en 6 ejes prioritarios, 20 líneas de acción y 84 acciones. Como parte importante del proceso, se han indicado las instituciones responsables de la ejecución seguimiento, así como los plazos para la implementación y evaluación. Los ejes, las líneas de acción y las acciones resultaron de talleres y trabajos participativos realizados para la elaboración de esta estrategia, con el apoyo de especialistas en la materia.

Previamente a esta estrategia, se llevó a cabo un trabajo de diagnóstico sobre el capital natural del estado denominado *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*¹²⁹. Este trabajo fue publicado en 2014 e incluyó no solo la perspectiva biológica de la entidad, sino también consideró las interrelaciones de carácter sociocultural, económicas y legales vigentes en ella. La información generada en este trabajo sirvió de base para desarrollar la estrategia, ya que es el referente más actualizado y completo sobre la biodiversidad que hay en el estado de Chihuahua.

Por todo lo anterior, se considera que la estrategia puede ser el punto de partida, ya que contiene acciones estratégicas, ya consensuadas y analizadas por los sectores interesados, para poder revertir y controlar las tendencias de deterioro de la biodiversidad y con ello, poder asegurar un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. No hay que olvidar, que los ecosistemas son generadores de servicios ambientales, de los cuales se beneficia las comunidades y la sociedad en general y por ello, el valor de los ecosistemas, no solo deben basarse en los aspectos biológicos mismos, si no también se deben considerar los factores económicos y sociales.

En la ECUSBIOECH se ha identificado que los pastizales y los bosques templados son los ecosistemas de mayor importancia para implementar acciones de conservación, las cuales contribuyen, a su vez, a una mejor adaptación a los embates del cambio climático. Esto es porque son el hábitat de diversas especies en riesgo, y de otras de importancia para la conservación, además de desempeñar importantes procesos ecológicos¹³⁰. De hecho, a través del Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) de la CONANP se han llevado acciones para recuperar los hábitats y especies como el águila real, lobo gris, berrendo, cotorra serrana, oso negro, perro llanero cola negra, bisonte americano, entre otros. Por ejemplo, una acción de conservación que se ha llevado a cabo para proteger al águila real es la modificación de las redes de conducción de energía eléctrica, mientras que las mejoras de prácticas agropecuarias en torno a su hábitat se han realizado para el berrendo, perro llanero cola negra y el bisonte americano¹³¹.

Por otro lado, es importante mencionar la existencia de varios modelos de sustentabilidad donde se puede garantizar la conservación y el aprovechamiento sustentable como las áreas naturales protegidas (ANP), las unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA), diversas iniciativas privadas y comunitarias de conservación, certificaciones internacionales como los sitios Ramsar y certificaciones de manejo. Otros programas que se han instaurado para fomentar y fortalecer las acciones de conservación son el PROCODES, el Programa de Empleo Temporal y el Programa de Conservación de Maíz Criollo y sus Variedades Silvestres que maneja CONANP. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con el Programa Nacional Forestal, antes ProÁrbol, es otro mecanismo que apoya acciones de conservación de ecosistemas forestales.

También es importante darle una prioridad a las áreas verdes o bosques urbanos, en el World Forum of Urban Forest (2018) dan a conocer que la biodiversidad en las ciudades es relevante pues un mal manejo puede llevar a la fragmentación del hábitat y amenaza la vida silvestre y a los ecosistemas naturales. La FAO menciona a los bosques urbanos como una estrategia prometedora, ya que un buen manejo de bosques urbanos sanos puede mejorar la calidad del aire manteniendo una captura y retención de contaminantes. Además de que ayuda a disminuir las temperaturas lo que ayudaría a disminuir el uso de aires acondicionados por lo que se ahorra el consumo de energía y reducen las emisiones de GEI entre otros beneficios ambientales en cuestión disminución de erosión del suelo y un aumento en la disposición y calidad del agua.

Todas estas referencias de programas existentes permiten visualizar que hay un trabajo muy importante que se está llevando a cabo en el estado de Chihuahua, por lo que es primordial que continúen los apoyos de estas acciones.

En el Anexo 3 se presentan las líneas de acción y acciones específicas que se desarrollaron en la ECUSBIOECH y que es transcendental que se implemente. Estas se generaron a partir las aportaciones de los tres órdenes de gobierno, la academia, así como del sector productivo y organizaciones de la sociedad civil. Además, en el Objetivo 14 del Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021 de Chihuahua, una de las acciones es precisamente, promover la implementación de la estrategia. Sin embargo, como paso previo, sería conveniente realizar un análisis de estas y, determinar su pertinencia o simplemente actualizarlas o rediseñarlas, en función de las circunstancias actuales. También es importante señalar que muchas de las acciones presentadas en la ECUSBIOECH abonan a los otros ejes: agrícola, hídrico, ganadero, forestal y urbano.

En el Cuadro 59 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en la biodiversidad en el estado de Chihuahua.

¹²⁸ Las metas de Aichi son las 20 metas del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020. <https://www.cbd.int/doc/strategic-plan/2011-2020/Aichi-Targets-ES.pdf>

¹²⁹ CONABIO (2014). Op. cit.

¹³⁰ Una de las funciones ecológicas que desempeña el águila real es la de controlar las poblaciones de mamíferos pequeños; el lobo gris ayuda a controlar las poblaciones de los grandes herbívoros, mientras que

el berrendo y la cotorra serrana ayudan a la estabilidad y productividad del ecosistema ayudando en la dispersión de semillas.

¹³¹ CONABIO (2015). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno del estado de Chihuahua (2015). Estrategia para la Conservación y el Uso Sustentable de la Biodiversidad del Estado de Chihuahua. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. p. 35

Cuadro 59. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el tema de biodiversidad para el estado de Chihuahua

Medidas Generales	Actividades Específicas
Reducción de la degradación de los ecosistemas	Desarrollo de programas para la restauración y recuperación de ecosistemas y especies, principalmente las catalogadas como prioritarias. El incremento y rehabilitación de las áreas verdes urbanas, suburbanas y sistemas naturales en el estado. Realizar estudios para determinar las especies de flora y fauna que se encuentren en algún estatus de riesgo para establecer las acciones de conservación correspondientes Desarrollo e implementación de instrumentos de política en materia de diversidad. Creación de la Ley para la protección, conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Chihuahua. Gestión integral de los recursos hídricos para el mantenimiento y conservación de las especies Desarrollo e implementación de prácticas y tecnologías sustentables Establecer e implementar el Programa de Ordenamiento Ecológico, principalmente en la región de los pastizales centrales Prohibir las autorizaciones de cambio de uso de suelo en hábitats críticos Elaborar escenarios de vulnerabilidad y adaptación en materia de diversidad
Establecimiento de nuevas áreas protegidas	Establecer y asegurar la consolidación del Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas Identificar posibles nuevas áreas protegidas de acuerdo con las necesidades ambientales y sociales del estado
Establecimiento de corredores biológicos o ecológicos	Promover la certificación de corredores biológicos o ecológicos Restringir la apertura de pozos en áreas prioritarias para la conservación, corredores biológicos, u otros
Inversión en restauración o conservación de la infraestructura ecológica	Reducción del cambio de uso de suelo y pérdida de ecosistemas Identificar los corredores biológicos, humedales y otras áreas de importancia que deban ser restaurados Prevención, control y erradicación de especies invasoras Crear y fortalecer mecanismo de financiamiento para la adopción de tecnología para la restauración o conservación de la biodiversidad* Fomentar el cumplimiento de la normatividad aplicable en el uso y aprovechamiento para regular el uso y aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres y exóticas, incluyendo las zonas de veda* Elaborar e implementar programas de conservación y restauración de suelos a través del manejo comunitario Desarrollar e implementar un programa para el manejo integral para cada tipo de los ecosistemas del estado, incluyendo manantiales, humedales asociadas y su diversidad biológica

Cuadro 59. (CONT.)

Medidas Generales	Actividades Específicas
Inversión en restauración o conservación de la infraestructura ecológica (CONT.)	Establecer bancos de germoplasma, viveros, jardines botánicos, colecciones y centros de producción de propágulos de las especies nativas Tomar en cuenta especies nativas para la paleta vegetal de las ciudades Fortalecer las acciones de prevención y combate de incendios forestales* así como la conservación y recuperación de especies nativas silvestres, con fines medicinales y agrícolas, además establecer programa de monitoreo, reporte y verificación constante para evitar el uso de transgénicos
Diseño de programas para apoyar alternativas económicas a la tala extensiva del bosque	Estudiar la pertinencia de actividades acuacultura, el aprovechamiento forestal planificado, el desarrollo de invernaderos y actividades ecoturísticas Establecer las regulaciones de aquellas actividades económicas alternas a la tala extensiva, como los sumideros de carbono* Promover la diversificación productiva a través de las Unidades de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA)

*Actividades nuevas o modificadas como resultado de las consultas públicas (ver sección sobre Consultas Públicas).

1.5.4.2 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA

Datos indican que la agricultura ocupa el 5.7% de la superficie total del estado de Chihuahua, lo que equivale a 1,413,518 ha¹³². Los principales cultivos de temporal que se producen en el estado son el frijol, el maíz, la avena y el algodón y de los cultivos perennes sobresalen la alfalfa, el nogal, el durazno y el manzano¹³³. La actividad agrícola genera el 6.2% del PIB estatal¹³⁴.

En el Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021, se indica que en el 50% de la superficie sembrada se utiliza riego y el otro 50% son cultivos de temporal. Sin embargo, hay una diferencia importante en el valor de producción entre uno y otro: cada hectárea producida bajo el sistema de riego produce 55.6 pesos promedio, mientras que la hectárea por temporal solo obtiene 4.5 pesos. Otro dato importante que refleja cómo se emplea el recurso hídrico en la agricultura identifica que el 89% del agua que se extrae del subsuelo se ocupa en el riego, lo que ha resultado en la sobreexplotación de 11 de los 61 acuíferos que hay en la entidad¹³⁵.

La actividad agrícola se concentra en los municipios de Namiquipa, Cuauhtémoc, Guerrero, Cusiuhiriachi, Riva Palacio, Madera, Guachochi y Buenaventura¹³⁶. Esta práctica, en conjunto con la ganadería extensiva, ha provocado la tala de bosques,

así como el desmonte de matorrales, lo que han generado impactos negativos como la erosión del suelo, sobrepastoreo y la deforestación que finalmente ha derivado en la pérdida gradual de la productividad de los suelos. También se ha identificado que ha afectado a la fauna, por ejemplo, se calcula que el 65% de las colonias de los perritos de la pradera en Janos se han eliminado por las prácticas agrícolas en el lugar, así como también se ha visto afectado el hábitat de las lechuzas¹³⁷.

En el Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021 se considera que el sector agrícola tiene la mayor oportunidad de aumentar la eficiencia y productividad en el uso del agua. Esto definitivamente provocaría que la vulnerabilidad en este sector fuera menor y que la resiliencia aumentara.

Por otro lado, un aspecto importante para desarrollar una agricultura sostenible es el de mantener o mejorar la salud del suelo. Se dice que un suelo es saludable si se tiene una cobertura vegetal extensa, si los niveles de carbono en suelo¹³⁸ están cercanos al límite, si la pérdida de nutrientes por lixiviación es mínima, si se presentan índices mínimos o nulos de escorrentía y erosión del suelo, y si no hay acumulación de contaminantes en el suelo¹³⁹. Las siguientes acciones de adaptación que se identificaron a través de las herramientas utilizadas para el análisis de la vulnerabilidad para el estado de Chihuahua pueden contribuir a un manejo sustentable del sector agrícola, incluyendo la mejora de la salud del suelo y de la productividad y son:

¹³² Ibid., p. 28

¹³³ CONABIO (2014). Op. cit., p. 220.

¹³⁴ Gobierno del estado de Chihuahua. Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021.

¹³⁵ CONABIO (2015). Op. cit., p. 28.

¹³⁶ Ibid., p. 21.

¹³⁷ CONABIO (2014). Op. cit., p. 226.

¹³⁸ Se refiere el carbono del suelo a la materia orgánica que contiene el suelo, la cual está compuesta por material animal y vegetal en distintas etapas de descomposición.

¹³⁹ Banco Mundial. Guía ASAC (Agricultura Sostenible Adaptada al Clima). <https://es.csa.guide/#main-index> artículo 5: <https://es.csa.guide/csa/practices#article-5>

- Zonificación agroecológica
- Introducción de variedades altamente productivas
- Instalación de sistemas de irrigación
- Sistemas para el control de plagas y de enfermedades
- Manejo integral de suelos
- Uso de modelos de simulación de cultivos
- Prácticas agroforestales

La zonificación agroecológica es una metodología desarrollada por la FAO para caracterizar extensiones de tierra utilizando información sobre clima de suelos y otros parámetros con el objeto de predecir la productividad potencial para varios cultivos de acuerdo a sus necesidades de manejo y de su entorno¹⁴⁰. Esta herramienta es un mecanismo para potenciar la diversificación de la producción agrícola, con base en variedades altamente productivas, lo que abona a un manejo integral de suelos. Otro aspecto, a considerar en el manejo integral de suelos, es disminuir el riesgo de escorrentías y erosión, que se da principalmente en laderas por fenómenos pluviales intensos. Para ello, existen una serie de acciones que se pueden adoptar como la labranza con curvas a nivel o con caballos entrelazados en curvas de nivel, cobertura de la superficie con rastrojos, elaboración de terrazas, instalación de mojoneras de piedra en curvas a nivel y reforestación¹⁴¹.

Por otro lado, sería importante analizar la pertinencia de realizar prácticas agroforestales, la cual se entiende como la producción conjunta agrícola, forestal, frutal y/o ganadera, con el objeto de tener una explotación múltiple y estable de la tierra al usar diferentes arreglos espaciales y temporales¹⁴². Esta práctica es una opción para manejar la gestión de riesgos climáticos en este sector.

El término de gestión de riesgos climáticos ha tomado importancia, ya que como se ha mencionado, se proyecta un aumento en sequías en el estado, lo que también podría provocar brotes de plagas y enfermedades, y con relación a la agricultura, se podría presentar la disminución del rendimiento o una mala cosecha. Por ello, la adaptación es un tema urgente y se deben desarrollar variedades de cultivos que sean tolerantes al calor, a la sequía o la salinidad o bien cambiando a cultivos que tengan tolerancia a estos factores mencionados. En la literatura se menciona que el mijo y el sorgo son especies más tolerantes a ambientes severos¹⁴³.

Otro aspecto que no está listado en la propuesta de medidas de adaptación, pero que se le está dando un fuerte impulso es la reutilización del agua residual tratada para el riego de culti-

vos, lo que permitirá dejar de utilizar agua de primer uso para canalizarlas a otras actividades o usos, por ejemplo, como agua potable para las ciudades¹⁴⁴. Sin embargo, la construcción de infraestructura para canalizar las aguas residuales tratadas a las áreas de cultivo es, un factor a considerar, para determinar si es costo-efectiva la medida. También estas aguas tratadas pueden ser reutilizadas en los parques industriales o reinyectarse a los acuíferos.

En lo que respecta a los sistemas de irrigación, es importante considerar que se puede eficientizar el uso del agua en varios puntos del proceso de riego, que puede ser desde la fuente, la conducción y aplicación, su programación y la disponibilidad misma de este recurso¹⁴⁵. También es importante considerar que si se desarrollan estrategias de ahorro de agua se tendría una demanda menor en el suministro, lo que es muy importante para aquellas áreas donde el recurso es escaso.

Hay otras metodologías que se han desarrollado para transformar y reorientar las actividades agrícolas ante el reto que representa el cambio climático, una de ellas es la llamada agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC) y se define como aquella agricultura que incrementa de manera sostenible la productividad, la resiliencia o adaptación, y reduce o mitiga gases de efecto invernadero donde es posible y fortalece los logros de metas nacionales de desarrollo y de seguridad alimentaria¹⁴⁶. El Banco mundial ha generado una guía sobre este concepto que se puede consultar en: <https://es.csa.guide/#main-index>, de la cual se recomienda mucho que se tomen los elementos señalados en la misma, ya que es una visión integral que une los contextos normativo, social, ambiental y económico de esta actividad primaria.

Por último, hay otras acciones que se han identificado en diversos documentos como el Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021 y el Programa Sectorial 2010-2016 de la Secretaría de Desarrollo Rural, ambos del Gobierno del estado de Chihuahua, que se considera deben revisarse, ya que presentan programas y metas que, como el caso de la ECUSBIOECH, han pasado por una consulta pública y su realización han incluido aportes de expertos en la materia. Estas acciones se resumen en el Anexo 5.

En el Cuadro 60 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en el sector agrícola en el estado de Chihuahua y que resumen los trabajos indicados en los párrafos anteriores. Como en el caso de biodiversidad, en el proceso de consultas públicas, se enriqueció una de las medidas de este sector, la cual se señala en el cuadro.

¹⁴⁰ FAO (1997). Zonificación agro-ecológica. Guía general. Boletín de Suelos de la FAO 73. Servicios de Recursos, manejo y Conservación de suelos, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. <https://www.mpl.ird.fr/crea/taller-colombia/FAO/AGLL/pdfdocs/aezs.pdf>

¹⁴¹ Banco Mundial. Op. cit.

¹⁴² CONAFOR y Universidad Autónoma de Chapingo (2013). Sistemas Agroforestales Maderables en México.

<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/8/5572SISTEMAS%20AGROFORESTALES%20MADERABLES%20EN%20MEXICO%20AVM.pdf>

¹⁴³ Banco Mundial. <https://es.csa.guide/csa/practices#article-34>.

¹⁴⁴ Conagua-SEMARNAT. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/PNH2014-2018.pdf>

¹⁴⁵ Banco Mundial. <https://es.csa.guide/csa/practices#article-30>.

¹⁴⁶ Banco Mundial. <https://es.csa.guide/csa/what-is-climate-smart-agriculture>.

Cuadro 60. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector agrícola para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Zonificación agroecológica	Realizar estudios para caracterizar extensiones de tierra utilizando información sobre clima de suelos y otros parámetros y potenciar la diversificación de la producción agrícola
Introducción de variedades altamente productivas	Programa de agricultura protegida y de alto rendimiento
Instalación de sistemas de irrigación	Desarrollo de programas de modernización de riego parcelario Programa de medición de uso de agua parcelario Implementar programas de aumento de la eficiencia de los procesos de riego considerando desde la fuente, la conducción, aplicación, programación y disponibilidad del recurso mismo Actualizar las normas de uso de riego e implementar un sistema de vigilancia de su aplicación*
Sistemas para el control de plagas y de enfermedades	Desarrollo de programa de sanidad vegetal estatal
Manejo integral de suelos	Capacitar y fomentar la agricultura orgánica y uso de biofertilizantes Programa de recuperación de suelos agrícolas Programa de control de contingencias climáticas en la fruticultura Programa de tecnificación de los procesos productivos agrícolas Identificar áreas donde se puedan presentar escorrentías y erosión e implementar medidas para disminuir el riesgo Desarrollar variedades de cultivos que sean tolerantes al calor, sequía o salinidad Determinar los caudales ecológicos y los mecanismos de gestión para la regulación de los ecosistemas de agua dulce Realizar proyectos piloto utilizando la tecnología agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC)
Uso de modelos de simulación de cultivos	Desarrollo de capacidades en el uso de estos modelos, para el análisis integral de los impactos tecnológicos, económicos y ambientales para determinar la estrategia productiva y el rendimiento de los cultivos
Prácticas agroforestales	Identificar los tipos de explotación múltiple que pueden implementarse en las diferentes regiones del estado

*Actividades nuevas o modificadas como resultado de las consultas públicas (ver sección sobre Consultas Públicas).

1.5.4.3 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO

El recurso hídrico en el estado no es muy abundante, ya que por la misma orografía con que cuenta Chihuahua, no se puede aprovechar la lluvia que se recibe. Es decir, es mayor el volumen que sale del estado del que entra y se debe principalmente a la elevación de la Sierra Madre Occidental¹⁴⁷. Este recurso, al igual que el suelo, son indispensables para el desarrollo, por ello, es importante cuidarlos, a través de prácticas sustentables que ayuden a tener una mayor respuesta de adaptación a los fenómenos extremos derivados del cambio climático.

La entidad cuenta con 10 presas con una capacidad de almacenamiento de 4,688 millones de m³, las cuales proporcionan el agua potable a la población y para el riego de los cultivos. Con respecto a las aguas subterráneas, el estado cuenta con 61 acuíferos, de los cuales, 17 están sobreexplotados, de éstos, 4 tienen una situación crítica y 5 en alerta¹⁴⁸.

En el estado de Chihuahua, al igual que se ha reportado en todo el mundo, la agricultura es el sector productivo que más consume agua^{149,150}. Por lo que, el manejo sustentable del recurso hídrico es crucial, ya que además y como se mencionó en párrafos anteriores, el implementar medidas en este eje, contribuye a tener una mejor gestión también en los otros ejes prioritarios, y por ende, se espera un aumento en la capacidad adaptativa del estado. Sin embargo, también existen oportunidades de implementar acciones de adaptación en otros sectores como el industrial y urbano, aunque su consumo es solo el 1% y 10%, respectivamente del agua extraída del subsuelo en la entidad, vs el 89% que se ocupa para uso agrícola¹⁵¹.

En este eje, las acciones de adaptación que se identificaron a través de las herramientas utilizadas para el análisis de la vulnerabilidad para el estado de Chihuahua se enlistan a continuación:

- Cumplimiento de las regulaciones de las zonas de riesgo
- Reevaluación de criterios de diseño y seguridad de las estructuras para la gestión del agua
- Manejo integral de recursos hídricos
- Protección de agua subterránea y planes de restauración

En el punto que se refiere al manejo integral de recursos hídricos engloba las demás acciones de adaptación propuestas, sin embargo, la importancia de desglosar acciones específicas se deriva por las variables para determinarlas, las cuales incluyen

el componente humano, social, financiero y natural, como se explicó en la sección Paso 4: Análisis de la capacidad de adaptación. También se mencionó en párrafos anteriores, casi el 90% del agua extraída del subsuelo se ocupa para el riego de cultivos y se ha identificado que de los 61 acuíferos que hay en el estado, alrededor del 28% de ellos están sobreexplotados, por lo que la atención específica a estos problemas es prioritaria dentro de una estrategia integral de los recursos hídricos.

Se entiende por gestión integral de recursos hídricos como el proceso sistemático para el desarrollo, concesión y monitoreo de los usos del agua, basándose en el concepto de que los recursos hídricos son limitados y que sus usos son interdependientes¹⁵², tomando en cuenta la demanda con una visión multisectorial y participativa. Hay varios aspectos claves para lograr una buena gestión integral, una de ellas es la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, sectores productivos, instituciones académicas y las organizaciones no gubernamentales, con el objeto de lograr una adecuada gobernanza del recurso hídrico. Otro punto sería la determinación de prioridades y la planificación de las cuencas hidrológicas¹⁵³. Así mismo, para lograr esta gestión integral se debe considerar los procesos y servicios hidrológicos de los ecosistemas como la regulación del ciclo del agua y la de conservar y restaurar las cuencas hidrológicas¹⁵⁴. Otro aspecto, importante a tomar en cuenta, son las aguas subterráneas, enfocándose en controlar que no sean sobreexplotados y evitar su contaminación, ya que son pilares importantes de las actividades productivas y como fuentes de agua potable. La degradación de las aguas subterráneas aumenta la vulnerabilidad de las comunidades al cambio climático. Contar con una calidad del agua buena es otro parámetro importante en la gestión integral del recurso hídrico, ya que su deterioro reduce su disponibilidad para los seres humanos, así como también para los ecosistemas.

Finalmente, es importante señalar que una buena gestión del agua genera seguridad hídrica y alimentaria a la entidad, pero además trae otros beneficios importantes como la conservación de la diversidad, que en conjunto provee servicios ecológicos que ayudan a ser más resilientes a las comunidades como a los ecosistemas al reducir los riesgos ante desastres hidrometeorológicos extremos provocados por el cambio climático.

En el Cuadro 61 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en el sector hídrico en el estado de Chihuahua y que resumen los trabajos indicados en los párrafos anteriores.

¹⁴⁷ Gobierno del estado de Chihuahua. Programa Sectorial 2010-2016. p. 18.

¹⁴⁸ Ibid., p. 20.

¹⁴⁹ CONABIO (2014). Op. cit., p. 514.

¹⁵⁰ Banco Mundial. <https://es.csa.guide/csa/practices#article-30>.

¹⁵¹ CONABIO (2014). Op. cit., p. 62.

¹⁵² UICN Sur (2018). Aguas Compartidas, enfoques y herramientas para una mejor gestión del agua. UICN, Quito, Ecuador.

¹⁵³ Una cuenta hidrológica se define como el área de terreno que drena agua hacia un punto común, como un río, estuario, un lago o el mar

y donde interactúan los ecosistemas terrestres, los acuáticos y los socioeconómicos, convirtiéndola en un sistema complejo y dinámico.

¹⁵⁴ El enfoque de considerar a los ecosistemas es un concepto que ha evolucionado al concepto de soluciones basadas en la naturaleza (SbN). Este enfoque se basa en utilizar las funciones de los ecosistemas para resolver los problemas, en lugar de solo depender de acciones convencionales como la construcción de infraestructura o el uso de tecnologías humanas. Algunos ejemplos de SbN es la reforestación y restauración de ecosistemas riparios, los cuales pueden ser utilizados para estabilizar ríos y prevenir desbordamientos. (ver referencia UICN Sur (2018)).

Cuadro 61. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector hídrico para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Cumplimiento de las regulaciones de las zonas de riesgo	Llevar a cabo el ordenamiento del uso del agua para la agricultura
Reevaluación de criterios de diseño y seguridad de las estructuras para la gestión del agua	Desarrollo de mayor infraestructura de tratamiento de aguas residuales, considerando medidas alternas, previo a su descarga a los cuerpos de agua y reinyección de acuíferos*
Manejo integral de recursos hídricos	Revisión y ajuste del esquema de pago por servicios ambientales hidrológicos y cobro por exportación de agua a otros estados*
	Desarrollar programas y acciones para el ahorro y uso eficiente del agua
	Desarrollar programas de uso de aguas residuales para producción agrícola
	Programa de rehabilitación de la red de distribución del agua
Protección de agua subterránea y planes de restauración	Programa de pozos de absorción y abanicos aluviales
	Programa de administración de riesgos para contribuir en la reducción de siniestros agrícolas
	Determinar los caudales ecológicos y los mecanismos de gestión para la regulación de los ecosistemas de agua dulce
	Elaborar e implementar un programa de restauración y manejo de las cuencas hidrológicas para garantizar su calidad y disponibilidad

*Actividades nuevas o modificadas como resultado de las consultas públicas (ver sección sobre Consultas Públicas).

1.5.4.4 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN EL SECTOR GANADERO

De acuerdo al Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021, el sector ganadero junto con la agricultura (sector primario) representan alrededor del 6.2% del PIB estatal. Esta actividad primaria provoca grandes afectaciones en los recursos naturales de la entidad principalmente a los acuíferos y suelos. El diagnóstico realizado en este plan, indica que ha habido una inversión limitada en el sector primario, lo que a su vez ha generado, por ejemplo, que el rendimiento por hectárea de cultivo no sea tan alto y, por lo tanto, la productividad del sector sea baja, con costos de producción mayores. Lo anterior ha generado un valor agregado escaso, sin embargo, y como en muchos de los países en desarrollo, esta actividad contribuye a la subsistencia y a la seguridad alimentaria de personas en condiciones de marginación^{155,156}. Es por ello que es importante aumentar su

valor agregado, con base en un manejo sustentable, y con ello, aumentar la resiliencia a los efectos del cambio climático de las comunidades donde se desarrollan estas actividades.

La superficie del estado que se utiliza en la ganadería es de aproximadamente 12,6000,000 ha, la cual representa el 51% del total estatal. El ecosistema donde se desarrolla la mayoría de esta actividad primaria es el de pastizales ubicados principalmente en las regiones áridas y semiáridas¹⁵⁷.

De acuerdo a los tipos de especies que se producen en el estado, se clasifican en ganado mayor, refiriéndose al ganado vacuno y equino y ganado menor, que incluye principalmente a ovinos, caprinos, porcinos, y gallinas¹⁵⁸. Los sistemas de producción más comunes en la entidad son ranchos extensivos¹⁵⁹ en cría de ganado “al destete para exportación”, los ranchos extensivos de ganado para pie de cría, ranchos dedicados al

¹⁵⁵ Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras (2010). Ganadería y Cambio Climático. Documento de referencia.

¹⁵⁶ Rubio, E. y Pérez E. (2012). Desarrollo de la Ganadería en el Estado de Chihuahua 2000-2011: Líneas de Trabajo para un Estudio del Impacto Ambiental. Chihuahua Hoy 2012. Visiones de su Historia, Economía, Política y Cultura. Tomo X. Coordinador: Víctor Orozco. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Universidad Autónoma de Chihuahua e Instituto Chihuahuense de la Cultura. [http://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/](http://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/view/62/57/465-1)

[view/62/57/465-1](http://elibros.uacj.mx/omp/index.php/publicaciones/catalog/view/62/57/465-1)

¹⁵⁷ CONABIO (2014). Op cit.

¹⁵⁸ Rubio, E. y Pérez E. (2012). Op. cit.

¹⁵⁹ Se entiende por ganadería extensiva al conjunto de sistemas de producción ganadera que aprovechan de manera eficiente los recursos del territorio con las especies y razas adecuadas, compatibilizando la producción con la sostenibilidad y generando servicios ambientales y sociales. <https://agronomaster.com/ganaderia-extensiva/>

desarrollo y engorda de animales destetados y explotaciones pequeñas que pueden ser privadas o ejidales, estas últimas prácticamente de subsistencia¹⁶⁰. Para el caso de bovinos productores de leche se emplea principalmente sistemas intensivos¹⁶¹ de producción, aunque la cría de porcinos, ovinos y aves están en proceso de reconversión a este tipo de sistemas¹⁶². La reconversión que se está observando a sistemas intensivos, obedece, en parte, a la necesidad de respuesta al incremento de la demanda de productos de origen animal.

Esta reconversión es preocupante ya que, a las emisiones generadas en la cría misma del ganado, se suman las generadas en su producción. Por ejemplo, las emitidas por el uso de combustibles fósiles que se necesita para la ventilación, calefacción, equipamiento, transporte de insumos, distribución, entre otros; o por la deforestación que se produce al requerir más tierras de cultivo para producir cereal y soja para la alimentación del ganado en estos sistemas¹⁶³.

Por otro lado, se ha reportado en la literatura^{164,165,166} la contribución que puede hacer la ganadería para enfrentar los fenómenos extremos como consecuencia del cambio climático, principalmente a los pequeños productores quienes son generalmente la población más vulnerable. Tan solo, contar con un animal constituye una red tradicional de seguridad muy eficaz; por ejemplo, en zonas desfavorecidas e incomunicadas, el contar con aves, cerdos, etc., puede ser la única fuente de ingreso de mujeres campesinas, pero también mejora la alimentación y el equilibrio nutricional de las dietas al contar con huevos, leches o la misma carne del animal. Otro punto importante es la adaptación de prácticas ganaderas a las temporadas y a las cambiantes condiciones climáticas que se han estado observando en los últimos años. La valoración, el mantenimiento y protección de ecosistemas frágiles y muy pocos productivos también ayuda a mejorar la capacidad de resiliencia de esas poblaciones vulnerables. En otras palabras, el conocimiento adquirido por estos actores, se orientan a tener un mejor manejo de la tierra, del agua, de los pastizales, basándose en la integración de las prácticas agrícolas con las ganaderas.

La ingestión y el bienestar animal serán fuertemente afectados por la variación en la temperatura y precipitaciones como consecuencia de los efectos del cambio climático. El primer punto se refiere a la disponibilidad de forraje para el ganado a lo largo de todo el año y el segundo se entiende como el estado de salud de las distintas especies animales presentes en la entidad en relación con las condiciones climáticas prevalecientes¹⁶⁷. También se verá afectada la producción de leche y carne, así como la fertilidad, sobre todo en las hembras. Además de la temperatura y precipitación, hay otros elementos climáticos que afectan el desarrollo de los animales: humedad relativa, ra-

diación neta, movimiento del aire y presión barométrica¹⁶⁸, sin embargo, la temperatura es considerado uno de los parámetros más importantes. De hecho, la mayor parte de las medidas de adaptación presentadas en esta sección, están orientadas a dar respuesta al efecto del aumento de temperatura que se prevé sufrirá el estado de Chihuahua y, por ende, afectará el bienestar animal, en general.

Las medidas de adaptación propuestas tienen un carácter general y pretender servir de referencia para poder determinar las mejores opciones, de acuerdo, a las características propias de cada región que conforma el estado. En este eje, las acciones de adaptación también se determinaron a través de las herramientas utilizadas para el análisis de la vulnerabilidad para el estado de Chihuahua y se enlistan a continuación:

- Promover, apoyar y dar seguimiento a la implementación de sistemas de pastoreo sustentable
- Mejorar las prácticas en el manejo de ganado
 - o Acceso a fuentes de agua;
 - o Reducir la densidad de animales en explotación
 - o Evitar el trasiego de animales en largas distancias
 - o Mejorar la dieta y cambios en los horarios de alimentación
- Mejorar el diseño de las instalaciones de los sistemas de producción
- Elaboración de programas de formación a ganaderos

Como se mencionó en la sección de mitigación de emisiones provenientes del ganado, promover, apoyar y dar seguimiento a la implementación de sistemas de pastoreo sustentable es una medida que hace a los ecosistemas donde se practica el pastoreo, menos vulnerables a las plagas, al cambio climático y los hace más resilientes, es decir, aumenta su capacidad de recuperarse ante una adversidad, como son los excesos de sequía o de agua, de las tormentas y también de la presión propia del pastoreo. Para poder fomentar la adopción de prácticas más sustentables que ayuden a la adaptación al cambio climático, es recomendable el acompañamiento que asegure el seguimiento de la implementación del nuevo sistema de pastoreo, así como un sistema de incentivos. Por ejemplo, para el caso de Chihuahua, prácticas que optimicen el uso del agua, podrían ser objeto de estímulos.

La medida para mejorar las prácticas en el manejo de ganado está orientada a enfrentar las altas temperaturas que se espera se presenten en la entidad. Para ello, se recomienda desarrollar un plan de manejo de ganado¹⁶⁹ que incluya: 1) el tener asegurado el acceso a agua suficiente, especialmente cuando estén presentes altas temperaturas, ya que su consumo ayuda a re-

¹⁶⁰ Rubio, E. y Pérez E. (2012). Op. cit.

¹⁶¹ Se entiende por ganadería intensiva a la práctica de la ganadería donde los animales se hallan cercados, y las condiciones de humedad, luz y temperatura son creadas en forma artificial, con el objeto de aumentar la producción en el menor tiempo posible. <https://agronomaster.com/ganaderia-intensiva/>

¹⁶² Rubio, E. y Pérez E. (2012). Op. cit.

¹⁶³ Agrónomos y Veterinarios Sin Fronteras (2010). Op. cit.

¹⁶⁴ Ibid.

¹⁶⁵ Van't Hooft K. (2010) El ganado: ¿amigo o enemigo? LEISA revista

de agroecología. Vol. 26, No. 1.

¹⁶⁶ Jiménez F. G., Quechulpa S., Esquivel B. E., Soto P. L., Reyes M. F., Ruíz M. y Márquez R. C. (2010). Ganadería y cambio climático: mitigación y adaptación en comunidades indígenas de Chiapas, México. LEISA revista de agroecología. Vol. 26, No. 1.

¹⁶⁷ Consejería de Medio Ambiente (2012). Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático, Sector Ganadero. Fondo Europeo de Desarrollo Regional. Unión Europea.

¹⁶⁸ Ibid.

¹⁶⁹ Ibid.

ducir la temperatura corporal¹⁷⁰; 2) la reducción de la densidad de animales en explotación, principalmente en la época de más calor es recomendable, y sobre todo si el hato está confinado, ya que a mayor densidad de animales, mayor es la cantidad de calor producida en el interior de la instalación; 3) evitar el trasiego de animales, especialmente en las horas de más calor; 4) el mejorar la dieta y cambiar horarios de alimentación tiene que llevarse a cabo evitando cambios bruscos de horario y de los componentes de la porción, esto incluye modificaciones en la presentación física del pienso y en las técnicas de manejo de la propia alimentación.

El desarrollo del sector lechero que se realiza principalmente en las regiones de Delicias, Valle de Juárez, Cuauhtémoc, Ahumada, Chihuahua y en la región de Casas Grandes, se basa en un fuerte incremento en los sistemas intensivos de producción de ganado en establos con un alto nivel de tecnificación¹⁷¹. Para este tipo de ganadería, el mejoramiento en el diseño de las instalaciones de los sistemas de producción también incluye medidas para enfrentar las altas temperaturas y evitar que los animales enfrenten estrés térmico. Con ellas se busca evitar en lo posible la aparición de hipertemia en los días con mayores temperaturas y favorecer la eficacia de los mecanismos biológicos de los propios animales para combatir el estrés calórico. Entre las medidas destaca la ventilación, la cual tiene la finalidad de regular la temperatura, aportar oxígeno a los propios animales y eliminar vapor de agua, gases nocivos, partículas de polvo y malos olores. Dos parámetros, a tomar en cuenta para la ventilación, son el caudal y la velocidad del aire. Hay dos tipos de ventilación: la natural o estática y la forzada o dinámica¹⁷².

A su vez, la ventilación natural o estática puede ser horizontal o vertical y consiste en aprovechar las corrientes naturales de aire que se generan por diferencia de temperatura y/o presión que existe entre el exterior y el interior. Para beneficiarse de este tipo de ventilación, es muy importante tomar en cuenta los vientos dominantes del área para orientar la construcción, de tal forma, que se aproveche al máximo el proceso de convección por diferencia de temperaturas¹⁷³.

La ventilación forzada o dinámica se da forzando el movimiento del aire y se considera más eficiente que la ventilación natural, ya que se puede controlar de mejor forma el ambiente dentro de la instalación. Hay dos tipos: extracción o depresión e inyección o sobrepresión. En el primer tipo se saca el aire del interior utilizando extractores, lo que crea una depresión en el interior lo que permite que el aire del exterior entre y se iguale las presiones. En el segundo tipo, el aire del exterior se introduce por medio de inyectores, creando una sobrepresión que favorece la salida del aire viciado. En este tipo de proceso hay que tomar en cuenta la inversión inicial y los costos de mantenimiento del sistema de ventilación¹⁷⁴.

Algunas recomendaciones para el diseño de la instalación con el objeto de disminuir la carga de calor son el emplazamiento mismo de dicha instalación y el aislamiento de los edificios que lo conforman. Por lo que, es aconsejable contar con los parámetros climatológicos donde se piensa ubicar la instalación y poder, con base en la dirección del viento y las horas de sol elegir la mejor ubicación posible. Se recomienda que sea en una depresión o sobre una colina y que el eje longitudinal de la instalación este orientada en la dirección Este-Oeste, evitando los vientos dominantes en ángulo recto. El que se cuente con un aislamiento apropiado reduce los intercambios de temperatura entre el interior y el exterior, además que propiciará que los sistemas de refrigeración y calefacción, si se cuenta con ellos, sean más eficientes. Otro parámetro, a considerar en el diseño, es la altura del techo, el cual debe ser suficientemente alto para que el aire caliente se mueva hacia arriba, lejos de los animales. Otras recomendaciones es aislar el techo y las paredes y pintar las superficies exteriores de blanco o con pinturas reflectantes. Para evitar la incidencia directa de los rayos solares en los animales, es aconsejable habilitar zonas de sombra, que pueden ser desde arbolados, tejados, cobertizos, voladizos, entre otros, cuidando que no se perturbe el movimiento del aire. También se sugiere contar con un anillo de hierba y árboles alrededor del edificio donde alberguen a los animales porque disminuye la cantidad de luz reflejada y, por lo tanto, también la temperatura que entra a la instalación. Mecanismos de refresco, como aspersores y ventiladores, junto con estructuras que den sombra, ayudan a mejorar la producción de leche y mejorar la eficiencia reproductiva¹⁷⁵.

Los programas de formación a ganaderos, permite que nuevas prácticas en materia de cambio climático y adaptación, así como en ganadería sean transmitidas. También es importante considerar en estos programas, que los mismos ganaderos pueden compartir experiencias sobre qué tipo de manejo les ha resultado mejor, las razas más resistentes al cambio climático, etc., con lo que pueden coadyuvar a alcanzar un manejo más integral.

En el Anexo 6 se resumen acciones que se han identificado en diversos documentos como el Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021 y el Programa Sectorial 2010-2016 de la Secretaría de Desarrollo Rural, ambos del Gobierno del estado de Chihuahua, considerándose importante que se revisen, ya que, como el caso de la ECUSBIOECH, han sido consultadas con los sectores de interés.

En el Cuadro 62 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en el sector ganadero en el estado de Chihuahua y que resumen los trabajos indicados en los párrafos anteriores. En este mismo cuadro, se indican varias acciones que fueron modificadas o agregadas como resultado de las consultas públicas.

¹⁷⁰ Durante la época de calor, el consumo de agua puede ser el doble con respecto al requerido en invierno. El ganado bovino, por ejemplo, consume en verano aproximadamente 32.4 l/día, cuando en invierno su consumo es de alrededor de 17.3 l/día.

¹⁷¹ Rubio, E. y Pérez E. (2012). Op. cit.

¹⁷² Consejería de Medio Ambiente (2012). Op. cit.

¹⁷³ Ibid.

¹⁷⁴ Ibid.

¹⁷⁵ Ibid.

Cuadro 62. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector ganadero para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Promover, apoyar y dar seguimiento a la implementación de sistemas de pastoreo sustentable	Introducir sistemas silvopastorales que incluye el sembrado de pastos mejorados, arbustos forrajeros y árboles
Mejorar las prácticas en el manejo de ganado	Acceso a fuentes de agua Reducir la densidad de animales en explotación Evitar el trasiego de animales en largas distancias Mejorar la dieta y cambios en los horarios de alimentación Creación de sistemas de incentivos a actividades pecuarias sustentables*
Mejorar el diseño de las instalaciones de los sistemas de producción ganadera	Analizar la implementación de mejores sistemas de ventilación, analizar si el emplazamiento mismo de la instalación es adecuado y la posibilidad de utilizar aislamiento en los edificios, así como la altura del techo y el pintar las superficies exteriores con pinturas reflejantes
Elaboración de programas de formación a ganaderos	Programas de capacitación y asistencia técnica

*Actividades nuevas o modificadas como resultado de las consultas públicas (ver sección sobre Consultas Públicas).

1.5.4.5 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA SECTOR FORESTAL

El principal tipo de bosque presente en el estado de Chihuahua es el templado, cubriendo aproximadamente el 29% de la superficie estatal. Entre los numerosos bienes y servicios ambientales que proveen sobresalen la regulación de los regímenes hídricos, el abastecimiento de agua a las cuencas, también capturan carbono y proporcionan materias primas como la madera. Los principales tipos de bosques presentes en este ecosistema son los bosques de pinos, de pino-encino, encino y bosque de pino-encino-táscate. Se caracterizan por tener suelos profundos y ricos en materia orgánica, propicios para el desarrollo de la agricultura, la ganadería y plantas medicinales y alimenticias. Se ha observado la presencia de mamíferos como el oso negro, el lobo mexicano, el puma, el jaguar y el venado cola blanco, por mencionar algunos¹⁷⁶.

Entre las principales amenazas a los que está sujeto este ecosistema y que han propiciado se vaya disminuyendo las áreas de bosques antiguos son: el cambio de uso de suelo, sobrepastoreo, extracción y comercio ilegal de especies, introducción de especies invasoras y el turismo no planificado. Hay acciones importantes para contrarrestar estos efectos en el estado, entre los cuales sobresalen la creación de áreas naturales protegidas y las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA)¹⁷⁷.

El otro tipo de bosque que está presente en la entidad es el tropical caducifolio y se localiza principalmente en el suroeste del estado en los barrancos de la Sierra Tarahumara. Su extensión es de solo el 3% del territorio estatal y su principal característica es que los árboles que lo conforman pierden sus hojas durante la época seca del año. Los principales tipos de vegetación presentes son el bosque de encino, matorral de acacias, bosque alto de mauto y bosque bajo de mauto. Su ubicación limita las actividades humanas, lo que también no ha permitido caracterizar de manera amplia la diversidad biológica presente, aunque la región es un importante corredor biológico y hábitat de numerosas especies. Las actividades mineras y turísticas son las principales amenazas a este ecosistema y aunque se han promovido ordenamientos ecológicos que abarcan parte de esta área, no hay una vigilancia en su aplicación¹⁷⁸.

La importancia de los ecosistemas forestales en el mundo, y en Chihuahua no es la excepción, es que son uno de los principales sumideros de carbono al capturar el CO₂, a través de la fotosíntesis de la vegetación que los conforman, por lo que la deforestación y degradación de este tipo de ecosistemas hacen que pierdan su condición de captadores de CO₂¹⁷⁹. En 2015, el área forestal de Chihuahua absorbió alrededor del 7.42% de CO₂ del total nacional¹⁸⁰, lo cual es una de las razones importantes, además de los otros servicios ambientales que provee, para conservar los bosques en el estado y mejorar su capacidad de adaptación. Para ello, se proponen las siguientes acciones:

¹⁷⁶ CONABIO (2015). Op. cit.

¹⁷⁷ Ibid.

¹⁷⁸ Ibid.

¹⁷⁹ CONAFOR (2015). Estrategia Nacional para REDD+ (EN A REDD+). Versión para consulta pública.

¹⁸⁰ Dato calculado utilizando los datos del IEEGI y el INEGYCEI para el año 2015.

- Gestión preventiva, flexible y localizada ante eventos climáticos potenciales
- Aprovechamiento sustentable de procesos forestales

Las medidas propuestas van orientadas a reducir de la degradación de los recursos forestales, y se recomienda que se apliquen a las especies más importantes, los bosques más vulnerables y los que tienen más potencial de producción en condiciones climáticas más adversas a las actuales¹⁸¹.

Con el manejo o aprovechamiento forestal se busca que la producción de diversos bienes y servicios derivados de los ecosistemas forestales sea de tal forma, que conserven su diversidad biológica, su productividad, su capacidad de regeneración, su vitalidad y su capacidad de cumplir, en el presente y el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales, en todas las escalas, sin dañar otros ecosistemas¹⁸². El manejo o aprovechamiento forestal sustentable debe incluir acciones preventivas, por ejemplo, la reducción de vulnerabilidad del sistema; otro punto es establecer iniciativas para modificar el nivel de exposición a los efectos del cambio climático y como último punto, mejorar la capacidad de recuperación después de un evento extremo. En este mismo contexto, se considera que debe haber un cierto grado de diversidad estructural y biológica, en varias escalas, para mantener la capacidad de adaptación de los bosques al cambio climático. Un ejemplo, para lograr esa diversidad, sería llevar a cabo prácticas de extracción de impacto reducido, disminuyendo con esta acción efectos en la vegetación, suelos y agua¹⁸³. Otras acciones que pueden apoyar los procesos de adaptación son la prevención y manejo de incendios y opciones silviculturales específicas para favorecer la adaptación genética¹⁸⁴.

Todavía no hay certeza de cómo afectarán las variables climáticas a las especies forestales, y aunque todas las especies

en general han pasado por procesos de adaptación natural, éstos han sido en periodos muy largos, por lo que el reto que se identifica es si estas especies podrán adaptarse a cambios bruscos de las condiciones ambientales en un relativo período corto de tiempo. Los posibles efectos que se han identificado que pueden causar los eventos climáticos actuales son en los procesos de polinización, floración, fructificación y producción de semilla¹⁸⁵.

Adicionalmente, se estima que habrá una demanda de productos forestales y de los servicios que los bosques proveen, lo cual ejercerá una presión a este tipo de ecosistemas¹⁸⁶. Por lo que será muy importante poder generar las políticas públicas que apoyen a contrarrestar los efectos que esta demanda generaría y poder mantener las múltiples productos y servicios ambientales que este sector genera. Esto no solo se refiere a que los bosques son una fuente de productos maderables, si no también es internalizar el valor del bosque como parte fundamental en la conservación de la biodiversidad, los servicios hidrológicos que proporcionan y su papel como sumidero de carbono, entre los más importantes.

En el Anexo 7 se resumen otras acciones que se han identificado en diversos documentos como el Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021 y el Programa Sectorial 2010-2016 de la Secretaría de Desarrollo Rural, ambos del Gobierno del estado de Chihuahua, que se recomienda que se revisen, ya que, como el caso de la ECUSBIOECH, han pasado por una consulta pública y su realización han incluido aportes de expertos en la materia.

En el Cuadro 63 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en el sector forestal en el estado de Chihuahua y que resumen los trabajos indicados en los párrafos anteriores.

Cuadro 63. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en el sector forestal para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Gestión preventiva, flexible y localizada ante eventos climáticos potenciales	Incrementar la cobertura forestal Vigilar y evitar la explotación ilegal y vigilar la extracción legal de los recursos forestales no maderables
Aprovechamiento sustentable de procesos forestales	Regular la explotación forestal planificada de especies maderables y no maderables de interés económico Recuperar áreas forestales utilizando especies nativas

¹⁸¹ Viteri A. (2010). Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo, y silvicultura (forestal) en el Ecuador. UNDP. Edición: Ing. Pablo Cuenca, Ec. Verónica Cordero.

[https://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Forestry%20\(mitigation\)/05_Ecuador%20NIP_forestry%20mitigation.pdf](https://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Forestry%20(mitigation)/05_Ecuador%20NIP_forestry%20mitigation.pdf)

¹⁸² Aguirre-Calderón O.A. (2015). Manejo Forestal en el Siglo XXI. Madera y Bosques. Vol. 21, núm. Especial: 17-28. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea2.pdf>

¹⁸³ La extracción de impacto reducido se sabe que retiene más carbono del bosque en comparación de la tala selectiva convencional (ver referencia 129).

¹⁸⁴ Guariguata M. R. (2009). El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. Revista de Estudios Sociales No. 32.

¹⁸⁵ Viteri A. (2010). Op. cit.

¹⁸⁶ Aguirre-Calderón O.A. (2015). Op. cit.

1.5.4.6 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN LOS CENTROS URBANOS

Las dos ciudades principales del estado de Chihuahua son Juárez y Chihuahua, las cuales, en conjunto, suman el 63% de la población total de la entidad. Por la misma razón, estas dos ciudades son los polos más importantes de desarrollo del estado, en comparación con el resto de los municipios¹⁸⁷. De acuerdo al Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021, en 2030, la ciudad capital crecerá medio punto porcentual, mientras que la población de Juárez disminuirá medio punto. Estas proyecciones indican que la población seguirá concentrándose en estas dos ciudades y seguirán siendo localidades atractivas para personas que buscan una calidad de vida diferente.

En ambas ciudades, se ha producido un acelerado crecimiento demográfico que ha originado un rápido proceso de urbanización desordenado e irregular, afectando de manera sustancial el entorno original e impactando los procesos naturales de los ecosistemas en que se localizan ambas ciudades. Estas condiciones, mayor población y una urbanización mal planeada, hacen que estos centros urbanos sean muy poco resilientes a los efectos del cambio climático^{188,189}. Además, hay reportes que indican que las ciudades son el principal escenario de desastres¹⁴⁸. Por lo tanto, es indispensable implementar acciones para prevenir riesgos, reducir su exposición de las ciudades a ellos y generar esquemas para su recuperación (adaptación). Algunas de las acciones necesarias para poder fortalecer la resiliencia de las áreas urbano del estado de Chihuahua son:

- Incorporar en los Programas de Desarrollo Urbano los criterios del Atlas de Riesgos a fin de evitar el crecimiento de las ciudades hacia zonas de alta vulnerabilidad y hacia zonas de recarga, con un enfoque basado en la funcionalidad de las cuencas hidrográficas y unidades de paisaje, que identifiquen las zonas principales de captación de agua de las cuencas para priorizar acciones de conservación y restauración.
- Un punto importante a considerar es que se modifique el reglamento interno de los consejos de cuenca para incorporar criterios de ordenamiento ecológico como instrumento de protección preventiva a escala municipal, así mismo es necesario incorporar planes de emergencia que consideren la reubicación de los asentamientos humanos más vulnerables al incremento a condiciones de sequía, así como una planificación del crecimiento de las ciudades de los municipios con criterios de adaptación al cambio climático, integrando en la planeación que los asentamientos humanos y el desarrollo de las actividades económicas un enfoque de utilización de agua de manera sustentable con un diagnóstico actualizado de sus acuíferos locales. Incluir e integrar criterios que mejoren las obras de drenaje y reciclaje de agua es, sin duda indispensable.

- La inclusión e integración de criterios de adaptación al cambio climático en los programas de urbanización y provisión de servicios en las cabeceras ejidales y comunales, así como en rancherías y pequeños centros de población.

- En relación con la infraestructura vial, ante incrementos en la temperatura y olas de calor, se puede impulsar la creación de nuevos estándares de diseño para soportar temperaturas más altas, así como brindar mayor mantenimiento a la infraestructura existente.

- Ante eventos de lluvia extremos e inundaciones, crear mapas de inundaciones para identificar las áreas más vulnerables, donde la infraestructura necesita ser protegida, mejorada y evitada en lo futuro.

- En materia de edificación, disponer de sistemas de ventilación y enfriamiento diseñados para usar la menor energía fósil posible por la incorporación de energías renovables y eficiencia energética.

- Minimizar el uso de agua en edificios, considerar el uso de recolectores de agua de lluvia y sistemas de reúso y contemplar el impacto ambiental, por consumo de agua, sobre productos, materiales y métodos de construcción.

- Incorporar un rango apropiado de espacios públicos y privados en proyectos con sombra, vegetación y agua.

- Zonas verdes en los tejados de los edificios, a través de la colocación de "jardines" en la parte superior de los edificios que, además de absorber CO₂, favorecerían la climatización de estos y reducirían la escorrentía del agua en las zonas urbanas. Además, contribuirían a aumentar la concienciación por parte de la ciudadanía respecto al cambio climático y la necesidad de fomentar las zonas verdes en la ciudad.

El Gobierno de México, a través de la Secretaría de Gobernación, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano y Protección Civil con apoyo de ONU-HABITAT, generaron una guía que permite estimar el Perfil de Resiliencia Urbana¹⁹⁰, con el cual, las ciudades podrán dimensionar las situaciones que se pudieran generar ante algún fenómeno perturbador y poder establecer que mecanismos o estrategias deben ser implementados para poder aumentar la resiliencia de las ciudades en caso de ser afectado por algún fenómeno natural. Por lo que se recomienda analizar la información dada en esa guía.

En el Cuadro 64 se presentan las medidas generales y las actividades específicas que pueden tener un impacto relevante para mejorar la capacidad adaptativa en los centros urbanos del estado de Chihuahua y que resumen los trabajos indicados en los párrafos anteriores.

¹⁸⁷ Ibid.

¹⁸⁸ Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN Chihuahua). <https://implanchihuahua.gob.mx/Entorno.html>

¹⁸⁹ SEGOB, SEDATU, Sistema de Protección Civil y ONU-Habitat

(2016). Guía de Resiliencia Urbana 2016.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/179708/Guia_de_Resiliencia_Urbana_2016.pdf

¹⁹⁰ Ibid.

Cuadro 64. Medidas generales y actividades específicas de adaptación en los centros urbanos para el estado de Chihuahua.

Medidas Generales	Actividades Específicas
Incorporar en los Programas de Desarrollo Urbano criterios de riesgos meteorológicos y movilidad	Identificar las zonas de alta vulnerabilidad, de recarga y captación de agua de las cuencas Asegurar que el crecimiento de las ciudades no se dé hacia zonas de alta vulnerabilidad, de recarga o captación de agua de las cuencas Desarrollo de sistemas de movilidad urbana o pública sostenible para reducir la dependencia del vehículo privado Construcción de infraestructura alterna para incentivar el uso de vehículos de menores emisiones y el transporte no motorizado. Desarrollo de incentivos para el uso de vehículos eléctricos. Tecnologías amigables con el medio ambiente y de bajo impacto tanto en las viviendas como en los sistemas de movilidad. Estudiar la posibilidad de peatonalizar el primer cuadro de la ciudad y restricción del tráfico vehicular* Promover esquemas de flexibilidad laboral/estudios a distancia (tele-commuting)* Promover y desarrollar programas de reordenamiento urbano a través del fortalecimiento de centros académicos y de investigación*
Modificar el reglamento interno de los consejos de cuenca para incorporar criterios de ordenamiento ecológico como instrumento de protección preventiva a escala municipal,	Desarrollar criterios de planificación del crecimiento de las ciudades con elementos de adaptación al cambio climático, así como acciones para utilización del agua de manera sustentable en las viviendas y en las actividades económicas Desarrollar planes de emergencia que consideren la reubicación de los asentamientos humanos más vulnerables al incremento a condiciones de sequía
La inclusión e integración de criterios de adaptación al cambio climático en los programas de urbanización y provisión de servicios en las cabeceras ejidales y comunales, así como en rancherías y pequeños centros de población.	Desarrollar la reglamentación para incluir criterios de adaptación en las políticas públicas y estrategias de comunicación sobre dicha reglamentación, así como programas de capacitación y apoyo técnico en la materia* Promover la figura de un Plan de Adaptación al Cambio Climático Regional (PACC Regional). Crear un sistema de información para el seguimiento de la implementación de criterios de adaptación que atienda a la población más vulnerable* Establecer colaboración entre los ayuntamientos y organismos operadores municipales para coadyuvar en la mitigación de gases de efecto invernadero*

Cuadro 64. (CONT.)

Medidas Generales	Actividades Específicas
En relación con la infraestructura vial, ante incrementos en la temperatura y olas de calor, se puede impulsar la creación de nuevos estándares de diseño para soportar temperaturas más altas, así como brindar mayor mantenimiento a la infraestructura existente.	Desarrollo de programas de mantenimiento para la infraestructura y análisis de prácticas internacionales de diseño para afrontar temperaturas más extremas en infraestructura vial
Ante eventos de lluvia extremos e inundaciones, crear mapas de inundaciones para identificar las áreas más vulnerables, donde la infraestructura necesita ser protegida, mejorada y evitada en lo futuro.	Desarrollo y/o actualización de Programas de Protección Civil y Planes de Contingencias o Sistemas de Alerta Temprana y atlas de riesgo ante el cambio climático con escenarios de vulnerabilidad actual y futura para asentamientos humanos, producción y abasto de alimentos y ecosistemas vulnerables, en la cual se resalten también los peligros en los diversos municipios del estado que puedan ser presentados en plataforma en tiempo real.*
Mejorar el diseño de edificaciones	Establecer criterios en las edificaciones sobre los sistemas de ventilación y enfriamiento para usar la menor cantidad de energía fósil Establecer criterios en las edificaciones para el uso de energías renovables y estrategias de eficiencia energética Fomentar el uso de recolectores de agua de lluvia y sistemas de reúso para minimizar el uso de agua en edificios y valorar el desarrollo de regulación del tema* Apoyar a los municipios en la elaboración y aplicación de reglamentos municipales que integren criterios amigables con el ambiente en las edificaciones
Incorporar un rango apropiado de espacios públicos y privados en proyectos con sombra, vegetación y agua	Llevar a cabo un programa de reforestación en las zonas urbanas* Desarrollar y/o actualizar reglamento de parques urbanos*
Impulsar el desarrollo de zonas verdes en los tejados de los edificios, a través de la colocación de “jardines” en la parte superior de los edificios que, además de absorber CO ₂ , favorecerían la climatización de estos y reducirían la escorrentía del agua en las zonas urbanas	Desarrollo de programas de capacitación sobre el desarrollo de zonas verdes en azoteas

*Actividades nuevas o modificadas como resultado de las consultas públicas (ver sección sobre Consultas Públicas).

1.5.5 ENFOQUE REGIONAL

Como se comentó en la sección de mitigación, en un esfuerzo para clasificar las acciones, en este caso de adaptación, de acuerdo con la vocación de cada región en la que se ha dividido el estado, se procedió a hacer una investigación de las principales actividades económicas de cada una. El análisis resultante se puede ver en el Anexo 2 y partir de los resultados se agruparon las acciones de adaptación como se muestra en el Cuadro 65, con base en su actividad económica preponderante.

Estas medidas son las que podrían tener un mayor impacto en la resiliencia de cada región, sin embargo, no hay restricción para aplicar cualquier otra acción que aplique. Por otro lado, es importante señalar que la clasificación está basada, como se mencionó, en las actividades económicas, por lo que muchas de las acciones, principalmente de biodiversidad, y en específico aquellas sobre restauración o conservación pueden no encajar. Sin embargo, hay muchas zonas del estado en que deben aplicarse.

Cuadro 65. Clasificación de acciones de adaptación por región económica del estado de Chihuahua.

Regiones	Actividades económicas principales	Medidas de mitigación
Juárez	Industria y comercio y servicios	Muchas de las acciones de adaptación para estos sectores están orientadas a las ciudades, ya que generalmente es donde están ubicadas. Ejemplo de ellas son: desarrollo de mayor infraestructura de aguas residuales, desarrollo de programas para el ahorro y uso eficiente del agua y de rehabilitación de la red de distribución del agua. Incorporar en los Programas de Desarrollo Urbano criterios de riesgos meteorológicos, movilidad y de adaptación al cambio climático que incentiven el uso de vehículos eléctricos, que el crecimiento de las ciudades no sea a zonas de alta vulnerabilidad y que se desarrollen sistemas de movilidad eficientes, mejora en la infraestructura, incluyendo edificios, incorporar mayores espacios públicos y impulsar el desarrollo de zonas verdes en los edificios.
Chihuahua		
Subregión Chihuahua	Industria y comercio y servicios	Mismas que en la Región de Juárez
Subregión Ojinaga	Agricultura	En este sector, las medidas que ayudan a mejorar la adaptabilidad serían llevar a cabo una zonificación agroecológica, introducir variedades altamente productivas, instalación de sistemas de irrigación más eficientes, establecer sistemas para el control de plagas y de enfermedades, orientar acciones a manejar integralmente los suelos y los recursos hídricos, utilizar modelos de simulación de cultivos y llevar a prácticas agroforestales. Otras acciones deben llevar al cumplimiento de las regulaciones de las zonas de riesgo y proteger el agua subterránea.
Cuauhtémoc		
Subregión Cuauhtémoc	Agricultura, ganadería y minería (industria)	Para agricultura se recomiendan las mismas que en la subregión Ojinaga. Para ganadería el pastoreo sustentable, mejorar las prácticas en el manejo de ganado y el diseño de los sistemas de producción ganadera son las acciones principales. Para minería (industria), que generalmente se ubican en zonas alejadas de la población, las medidas a seguir deben ser orientadas a las acciones de conservación y restauración de las áreas afectadas por esa actividad económica. También se debe prestar atención en tener una buena gestión de los recursos hídricos.

Cuadro 65. (CONT.)

Regiones	Actividades económicas principales	Medidas de mitigación
Subregión Guerrero	Ganadería y agricultura	Para agricultura se recomiendan las mismas que en la subregión Ojinaga Para ganadería se recomiendan las mismas que en la subregión Cuauhtémoc
Subregión Riva Palacio	Agricultura y ganadería	Mismas que en la subregión Guerrero
Delicias		
Subregión Delicias	Industria, agricultura y ganadería	Para agricultura y ganadería se recomiendan las mismas que en la subregión de Guerrero Para industria las acciones principales serían: tratamiento de aguas residuales, desarrollo de programas para el ahorro y uso eficiente del agua
Subregión Camargo	Agricultura, ganadería e industria	Mismas que en la subregión de Delicias
Parral		
Subregión Hidalgo del Parral	Minería (industria), agricultura y ganadería, comercio y servicios	Para agricultura y ganadería se recomiendan las mismas que en la subregión de Guerrero Para minería (agricultura) serían las descritas en la subregión de Cuauhtémoc Para comercio y servicios serían las indicadas para la región de Juárez
Subregión Guachochi	Forestal y ganadería	Para ganadería se recomiendan las mismas que la subregión Cuauhtémoc Para el sector forestal se debe realizar gestión preventiva, flexible y localizada ante eventos climáticos potenciales, con la ayuda de programas para mantener e incrementar la cobertura forestal y la aplicación de la ley; también llevar a cabo aprovechamientos sostenibles de procesos forestales
Subregión Jiménez	Agricultura y ganadería	Mismas que en la subregión Guerrero
Nuevo Casas Grandes	Agricultura, ganadería e industria	Mismas que en la subregión de Delicias

Nota: En el Anexo 2 se dan más detalle de las regiones económicas del estado de Chihuahua.

Derivado de las consultas públicas realizadas en varias localidades del estado, se identificaron acciones que son comunes tanto a adaptación como mitigación, y se clasificaron en 3 grupos: acciones normativas, acciones de divulgación, educación y capacitación, y acciones de financiamiento e incentivos. A continuación, se desglosan las acciones transversales mencionadas.

Hay tres acciones normativas comunes que se identificaron, entendiendo que la comunicación interinstitucional es importante para que las actividades que se implementen puedan ser exitosas. Por otro lado, también se considera

muy importante la participación de todos los sectores como actores en la vigilancia y seguimiento de los proyectos que se emprendan, incluyendo la autoridad. Las medidas son:

- 1) Establecer la coordinación interinstitucional para mejorar la sinergia y complementariedad entre la federación, estado y municipios, y al interior del gobierno estatal y los municipales, para articular, focalizar y optimizar acciones de aplicación e implementación de la ley, asistencia técnica y para desarrollar estrategias de participación del sector privado, ONGs y academia en proyectos en pro del medio ambiente y cambio climático

2) Revisar que existan los mecanismos de participación de los sectores productivos, ONGs y academia en la vigilancia, y seguimiento de proyectos y programas, así como de la política ambiental y acciones para combatir el cambio climático

3) Fortalecer, y en su caso, apoyar la creación de cuerpos de vigilancia ambiental en los municipios del estado, apoyados con tecnologías avanzadas en la materia

Las acciones de divulgación, educación y capacitación, como el título lo refiere, están orientados principalmente al desarrollo de programas tanto a la sociedad en general, como a especialistas, y a funcionarios públicos y son fundamentales para el mejor entendimiento y sensibilización del de los efectos del cambio climático, así como de la forma que pueden enfrentarlos:

- 1) Desarrollo de programas de capacitación para generar educación, conciencia y cultura ambiental a la comunidad
- 2) Desarrollo de programas de capacitación especializados para apoyar las acciones de adaptación y mitigación al cambio climático
- 3) Implementación de programas de capacitación permanentes al personal encargado de la aplicación de la ley
- 4) Desarrollo de estrategias de comunicación/difusión de programas ecológicos/ambientales, políticas ambientales, normas oficiales, reglamentos y leyes
- 5) Inserción de temas ambientales en los planes educativos de todos los niveles

Muchas de las acciones específicas indicadas en mitigación y adaptación requieren de recursos o incentivos para que puedan ser implementadas exitosamente. Las actividades propuestas tienen dos vertientes:

1) Identificar fuentes de financiamiento nacionales e internacionales para apoyar la implementación de acciones de adaptación y mitigación de GEI

2) Identificar a que acciones de adaptación y mitigación deben apoyarse con incentivos para su realización exitosa

También en las mesas de consulta salió el tema relativo al manejo de residuos, el cual se considera una acción de menor prioridad, ya que la contribución de este sector al total de las emisiones de GEI es muy baja. En este sentido, se tiene que valorar el efecto que tendría si se implementara la acción en la mitigación en comparación de otras acciones, además de costo-efectivas, tengan un alto impacto en la reducción de emisiones de GEI. La acción que se englobó a partir de todos los comentarios generados en las consultas es:

1) Implementar programas regionales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, incluyendo el desarrollo de infraestructura de recolección, transporte y disposición final y el aprovechamiento energético de los residuos

Por último, se mencionaron dos acciones adicionales que se deben estudiar para determinar si se deben implementar:

- 1) Estudiar la posibilidad de establecer los institutos municipales de investigación, y en su caso, hacer las gestiones necesarias para instituirlos
- 2) Estudiar la posibilidad de crear el departamento de salud ambiental en la SEDUE, y en su caso, hacer las gestiones necesarias para instituirlo





ANEXOS



ANEXO 1

INVENTARIO ESTATAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

¹ El sector residuos se denomina desechos en las Directrices del IPCC, pero las autoridades ambientales mexicanas han sustituido el término (ver más detalle en la sección correspondiente).



Fuente: Jaime Álvarez

México, al ser parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), debe de seguir los lineamientos y metodologías establecidos por dicha Convención, la Conferencia de las Partes (COP) y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de los inventarios nacionales, lo cual también aplica a los inventarios subnacionales. Por ello, la actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Estado de Chihuahua (INEGEI Chihuahua) se basa en las metodologías de las Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) de 2006.

Esta metodología considera 4 sectores: 1) energía, 2) procesos industriales y uso de productos (IPPU, por sus siglas en inglés), 3) agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) y 4) residuos¹. Cada sector, comprende a su vez categorías, subcategorías, fuentes y sub-fuentes. De acuerdo a las Directrices del IPCC, el inventario se va construyendo a partir del nivel de la subcategoría y por sumatoria se calculan las emisiones totales.

Asimismo, las emisiones que se consideraron son la de los seis gases de efecto invernadero (GEI) que se indican en el Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), aunque por el tipo de fuentes existentes en la entidad, las emisiones que se estimaron fueron, solamente, los tres primeros. Las emisiones de los GEI son reportadas en unidades de CO_2 equivalente (CO_2e), con la finalidad de compararlas entre sí y medir la contribución de cada fuente al total de emisiones del inventario. Se reportan las emisiones utilizando el Potencial de Calentamiento Global (PCG) a 100 años considerado en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC. En esta actualización no se calcularon las emisiones de carbono negro.

Las emisiones reportadas consideran el periodo de actividades 2013-2017, lo anterior, a fin de homologar el mismo punto de partida (año 2013), establecido en la Contribución Nacionalmente Determinada de México (CND). El corte a 2017 se dio porque hasta ese año es el que posee la mejor y más actualizada información disponible.



En el Cuadro A1.1 se resume qué sectores, categorías, fuentes y sub-fuentes de emisión, se identificaron en el estado, señalando para cada uno de ellos, los tipos de gases que emiten.

Cuadro A1.1 Fuentes de emisión en el estado de Chihuahua y el tipo de gases de efecto invernadero que emiten.

SECTOR/CATEGORÍA/FUENTE/SUBFUENTE DE EMISIÓN	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
[1] Energía						
[1A] Actividades de quema de combustible						
[1A1] Industrias de la energía	•	•	•	NA	NA	NA
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	•	•	•	NA	NA	NA
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	•	•	•	NA	NA	NA
[1A3] Transporte	•	•	•	NA	NA	NA
[1A3a] Aviación civil	•	•	•	NA	NA	NA
[1A3b] Autotransporte	•	•	•	NA	NA	NA
[1A3c] Ferrocarriles	•	•	•	NA	NA	NA
[1A4] Otros sectores	•	•	•	NA	NA	NA
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial/Institucional	•	•	•	NA	NA	NA
[1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	•	•	NA	NA	NA	NA
[1B2] Petróleo y gas natural	•	•	NA	NA	NA	NA
[1B2b] Gas natural (Transporte y distribución)	•	•	NA	NA	NA	NA
[2] Procesos Industriales						
[2A] Industria de los minerales						
[2A1] Producción de cemento	•	NA	NA	NA	NA	NA
[2C] Industria de los metales						
[2C5] Producción de plomo	•	NA	NA	NA	NA	NA
[2C6] Producción de zinc	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra						
[3A] Ganado						
[3A1] Fermentación entérica	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1a] Bovino	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1c] Ovinos	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1d] Caprino	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1f] Caballos	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1g] Mulas y asnos	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A1h] Porcinos	NA	•	NA	NA	NA	NA
[3A2] Gestión del estiércol	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A1a] Bovino	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A1c] Ovinos	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A1d] Caprino	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A1f] Caballos	NA	•	•	NA	NA	NA

Cuadro A1.1 (CONT.)

SECTOR/CATEGORÍA/FUENTE/SUBFUENTE DE EMISIÓN	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
[3A1g] Mulas y asnos	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A1h] Porcinos	NA	•	•	NA	NA	NA
[3A2i] Aves de corral	NA	•	•	NA	NA	NA
[3B] Tierra						
[3B1] Tierras forestales	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B2] Tierra de cultivo	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B3] Praderas	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B4] Humedales	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B5] Asentamientos	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B6] Otras tierras	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra						
[3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa	NA	•	•	NA	NA	NA
[3C1a] Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales	NA	•	•	NA	NA	NA
[3C1b] Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo	NA	•	•	NA	NA	NA
[3C1c] Emisiones de quemado de biomasa en tierras praderas	NA	NA	NA	NA	NA	NA
[3C2] Encalado	•	NA	NA	NA	NA	NA
[3C3] Aplicación de urea	•	NA	•	NA	NA	NA
[3C4] Emisiones directas de los N ₂ O de los suelos gestionados	NA	NA	•	NA	NA	NA
[3C5] Emisiones indirectas de los N ₂ O de los suelos gestionados	NA	NA	•	NA	NA	NA
[3C6] Emisiones indirectas de los N ₂ O de la gestión del estiércol	NA	NA	•	NA	NA	NA
[4] Residuos						
[4A] Eliminación de residuos sólidos urbanos						
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	NA	•	NA	NA	NA	NA
[4A2] Sitios no controlados de eliminación de residuos	NA	•	NA	NA	NA	NA
[4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos	NA	•	•	NA	NA	NA

Cuadro A1.1 (CONT.)

SECTOR/CATEGORÍA/FUENTE/SUBFUENTE DE EMISIÓN	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos						
[4C1] Incineración de residuos peligrosos (Industriales y biológicos infecciosos)	•	•	•	NA	NA	NA
[4C2] Quema de residuos a cielo abierto	•	•	•	NA	NA	NA
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales						
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales	NA	•	•	NA	NA	NA
[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	NA	•	NA	NA	NA	NA

Para 2017, las emisiones brutas, es decir, sin considerar las absorciones de la categoría [3B] Tierra, ascendieron a 31,008.66 GgCO₂e. Las emisiones netas, para el mismo año, fueron 18,266.98 GgCO₂e, reflejando la absorción de CO₂ que simboliza la captación del carbono asociado a las permanencias en el uso de suelo, y refleja la dinámica de los bosques como sumidero de carbono en la región.

En 2017, el Sector [1] Energía representó el 54.39% de las emisiones estatales, totalizando 16,866.4 GgCO₂e; el Sector [3] Agricultura y Silvicultura y otros Usos de la Tierra fue el segundo sector que más contribuyó a las emisiones de GEI en el estado para ese mismo año, con el 38.28%, seguido del Sector [4] Residuos y del Sector [2] Procesos Industriales y usos de productos aportando con el 4.52% y el 2.80%, respectivamente.

En las siguientes secciones, se presenta la narrativa de la actualización del inventario con base en los sectores mencionados.

SECTOR [1] ENERGÍA

Las categorías principales en este sector se conforman por las emisiones derivadas de las actividades que queman combustibles [1A], las cuales liberan principalmente dióxido de carbono (CO₂) y en cantidades mucho menores metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) y las emisiones fugitivas derivadas de la fabricación de combustibles [1B], emitiendo principalmente metano (CH₄).

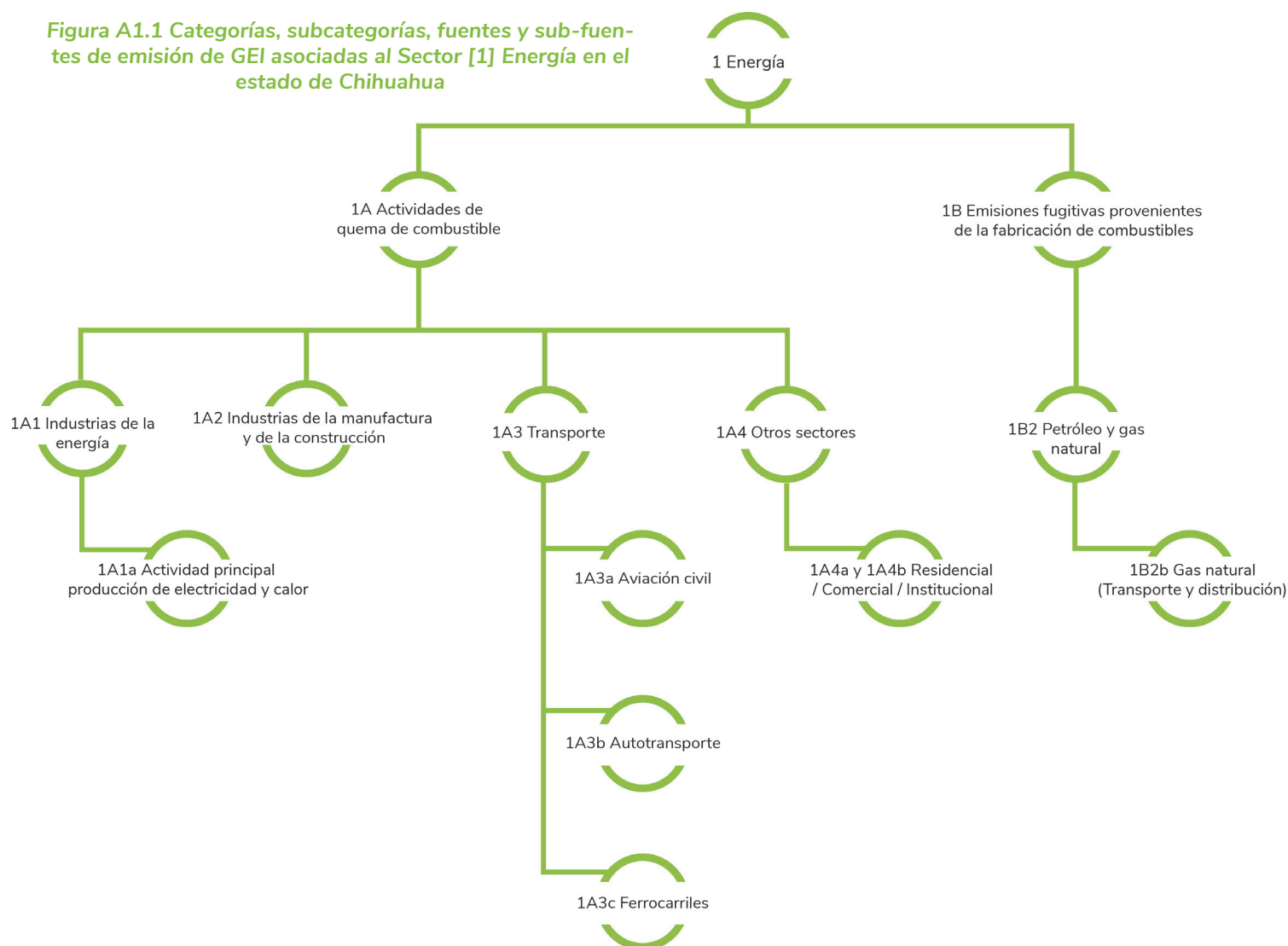
Con base en las Directrices de IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones, y de acuerdo con los resultados del análisis correspondiente a la identificación de actividades emisoras de GEI en el estado de Chihuahua, las categorías, subcategorías, fuentes y sub-fuentes de emisión que se incluyen en el sector [1] Energía, son las que se muestran a continuación (Figura A1.1).

En el Cuadro A1.2 se presentan las emisiones del sector [1] Energía para el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua. Como se puede observar, las emisiones provenientes de las actividades de quema de combustible, contribuye con más del 96%, en promedio, del total del sector. Dentro de las fuentes, la producción de electricidad y el autotransporte generan, en conjunto, más del 77% de las emisiones dentro del sector en el periodo del inventario.



Fuente: LEMUR

Figura A1.1 Categorías, subcategorías, fuentes y sub-fuentes de emisión de GEI asociadas al Sector [1] Energía en el estado de Chihuahua



Cuadro A1.2 Emisiones del sector energía en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Sector/Categoría/Subcategoría/Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1] Energía	17,727.12	17,731.08	17,514.15	16,880.34	16,866.40
[1A] Actividades de quema del combustible	17,484.64	17,365.20	16,829.77	16,880.34	16,866.40
[1A1] Industrias de la energía	7,456.00	7,571.13	6,802.51	6,138.44	6,128.96
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	7,456.00	7,571.13	6,802.51	6,138.44	6,128.96
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	1,830.10	1,814.48	1,435.03	1,993.28	2,147.04
[1A3] Transporte	6,630.93	6,585.70	7,073.36	7,242.24	7,114.31
[1A3a] Aviación civil	122.41	131.24	140.06	148.88	157.70
[1A3b] Autotransporte	6,429.38	6,364.91	6,824.50	6,985.50	6,862.81
[1A3c] Ferrocarriles	79.14	89.55	108.80	107.86	93.80
[1A4] Otros sectores	1,567.61	1,393.89	1,518.88	1,506.38	1,476.08
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial/Institucional	1,567.61	1,393.89	1,518.88	1,506.38	1,476.08
[1B] Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00
[1B2] Petróleo y gas natural	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00
[1B2b] Gas natural (Transporte y Distribución)	242.48	365.88	684.38	0.00	0.00

A continuación, se detalla el proceso aplicado para la estimación de emisiones de GEI correspondiente a las categorías, subcategorías, fuentes y sub-fuentes de emisión asociadas a este sector.

[1A] ACTIVIDADES DE LA QUEMA DEL COMBUSTIBLE

Dentro de las actividades de la quema de combustible se consideran todas las emisiones de GEI que emanan de la combustión. De todo el universo que conforma esta categoría, las fuentes identificadas en la entidad son la producción de electricidad, la quema de combustibles en las industrias manufacturera y de la construcción, en transporte y en el sector residencial/comercial e institucional. Las consideraciones metodológicas de cada una de estas actividades se explican a continuación.

[1A1a] ACTIVIDAD PRINCIPAL PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CALOR
Como su nombre lo indica, las emisiones de GEI de esta fuente incluyen aquellas derivadas de la producción de electricidad. En el Cuadro A1.3 se muestran las emisiones generadas en el periodo del inventario, observándose una disminución en las cantidades emitidas entre 2013 y 2017 de 1,327.04 GgCO₂e. Revisando los datos de consumo de combustible, la razón de esta baja se debe por una disminución importante en el uso del combustóleo para generar electricidad.

Dichas emisiones, proceden del uso de gas natural, diésel y combustóleo como fuentes de energía para la producción de electricidad en las diez centrales de generación eléctrica a base de combustión fósil en termoeléctricas de vapor convencional, ciclo combinado y turbogás con las que cuenta la entidad.

Las centrales de generación del sector público que se consideraron se describen en el Cuadro A1.4.

Cuadro A1.3 Emisiones de la fuente [1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	7,456.00	7,571.13	6,802.51	6,138.44	6,128.96

Cuadro A1.4 Centrales de generación en operación en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.

Centrales de generación	Tipo de tecnología
Francisco Villa	Termoeléctrica de vapor convencional
Samalayuca	Termoeléctrica de vapor convencional
Chihuahua II (El encino)	Ciclo Combinado
Samalayuca II	Ciclo Combinado
Norte II*	Ciclo Combinado
Transalta Chihuahua III*	Ciclo Combinado
Chaveña	Turbogás
Chihuahua	Turbogás
Industrial Juárez	Turbogás
Parque	Turbogás

*Productor Independiente de Energía

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de emisiones de GEI asociadas a la producción de electricidad en el estado de Chihuahua, se ha realizado aplicando un método nivel 1 de acuerdo con las Directrices de IPCC 2006² para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones, cuyo principio se basa en el dato de actividad que, en el caso de esta fuente de emisión, resulta ser la cantidad de combustible quemado, como elemento de entrada para dicha estimación como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Emisiones_{GEI} = \sum Consumo\ de\ combustible_i \times FE_{GEI, combustible\ i}$$

donde:

$Emisiones_{GEI}$ = emisiones de un gas de efecto invernadero dato por tipo de combustible (i), en kg

$Consumo\ de\ combustible_i$ = cantidad de combustible quemado (tonelada, m³)

$FE_{GEI, combustible\ i}$ = Factor de emisión por defecto o propio del país (kg GEI/t, m³)

DATOS DE ACTIVIDAD

En lo que respecta a la obtención de datos de actividad sobre combustible quemado para la producción de electricidad en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017, la información se obtuvo del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER), la cual se muestra en el Cuadro A1.5.

Cuadro A1.5 Datos de actividad para la producción de electricidad en el estado de Chihuahua, para el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas natural	2,833,344,070	3,163,342,062	2,900,722,450	2,696,478,829	2,734,731,227
Diésel	29,073	174	174	290	290
Combustóleo	376,343	204,039	118,197	66,240	37,122

Fuente: Sistema de Información Energética (SIE), SENER. Gas natural: IMP: Demanda Interna de Gas Natural por estado, Sectores Eléctrico Público y Exportación de Electricidad; Diésel: IMP: Demanda Interna de Diésel por estado, Sector Eléctrico Público; Combustóleo: IMP: Demanda Interna de Combustóleo por estado, Sector Eléctrico Público.

FACTORES DE EMISIÓN

Para la estimación de emisiones es necesario contar con factores de emisión por tipo de GEI en función de su correspondiente combustible, siendo éstos, a partir de los cuales es posible obtener dicho resultado.

Asimismo, y considerando que usualmente los factores de emisión se encuentran dados en unidades energéticas, es necesario convertir estos a las unidades de consumo de los datos

de actividad; que, en el caso del proceso de estimación de emisiones para el estado de Chihuahua, se realizó a través de la aplicación de los datos sobre poder calorífico para cada tipo de combustible emitidos por la SENER en su Balance Nacional de Energía. Lo anterior, para los años considerados en el periodo de reporte y que son los que se muestran en el Cuadro A1.6.

Cuadro A1.6 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados para la producción de electricidad en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas natural	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diésel	0.036	0.035	0.040	0.038	0.038
Combustóleo	0.040	0.040	0.041	0.040	0.040

Fuente: Balance Nacional de Energía 2017, SENER, Cuadro 30, Página 81.

² Directrices del IPCC 2006. Vol. 2, Cap. 2: Combustión estacionaria.

Para el caso de los factores aplicados en la estimación de emisiones por producción de electricidad, y tomando en consideración que sus unidades de origen se encuentran dadas en términos energéticos (kgGEI/TJ), se han homologado dichas unidades a términos de volumen (tonelada de GEI/m³), para hacerlo consistente con la referencia de los datos de actividad, situación que se aplicó para cada uno de los años considerados en el periodo de reporte. Los resultados se muestran en el Cuadro A1.7.

Cuadro A1.7 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible para la producción de electricidad en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m³.

Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Factores de Emisión 2013			
Gas natural	2.18E-3	1.13E-8	3.77E-9
Gas/Diésel oil	2.62E+0	1.08E-4	2.16E-5
Combustóleo	3.19E+0	1.20E-4	2.41E-5
Factores de Emisión 2014			
Gas natural	2.19E-3	1.14E-8	3.79E-9
Gas/Diésel oil	2.58E+0	1.06E-4	2.12E-5
Combustóleo	3.15E+0	1.19E-4	2.38E-5
Factores de Emisión 2015			
Gas natural	2.21E-3	1.15E-8	3.83E-9
Gas/Diésel oil	2.88E+0	1.19E-4	2.38E-5
Combustóleo	3.26E+0	1.23E-4	2.46E-5
Factores de Emisión 2016			
Gas natural	2.20E-3	1.14E-8	3.80E-9
Gas/Diésel oil	2.74E+0	1.13E-4	2.25E-5
Combustóleo	3.20E+0	1.21E-4	2.42E-5
Factores de Emisión 2017			
Gas natural	2.20E-3	1.14E-8	3.80E-9
Gas/Diésel oil	2.74E+0	1.13E-4	2.25E-5
Combustóleo	3.20E+0	1.21E-4	2.42E-5

Fuente: Factores de CO₂: Estudio "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México", Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf. Excepto coque de petróleo que se toma del IPCC 2006; Factores de CH₄ y N₂O: Directrices del IPCC 2006, Vol. 2: Energía, Capítulo 2: Combustión estacionaria, y Capítulo 3: Combustión móvil.

[1A2] INDUSTRIAS DE LA MANUFACTURA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

Con base en las Directrices del IPCC de 2006, las emisiones que se estiman en esta categoría corresponden a las derivadas de la quema de combustibles fósiles en la industria, incluyendo aquellas derivadas del consumo de combustibles fósiles para la autogeneración de electricidad³.

Con base en la anterior, las emisiones de GEI correspondientes a la industria de la manufactura y de la construcción en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua se muestran en el Cuadro A1.8.

Cuadro A1.8 Emisiones de la subcategoría [1A2] Industrias de la manufactura y de la construcción en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[1A2] Industrias de la manufactura y de la construcción	1,830.10	1,814.48	1,435.03	1,993.28	2,147.04

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

De la misma forma que en la fuente anterior, la estimación de emisiones de GEI de la industria de la manufactura y de la construcción se basa en el dato de actividad, de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006. Para el caso de esta fuente de emisión, el dato de actividad es la cantidad de combustible quemado, y las emisiones se estiman, bajo un método nivel 1, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Emisiones_{GEI} = \sum Consumo\ de\ combustible_i \times FE_{GEI,combustible\ i}$$

donde:

$Emisiones_{GEI}$ = emisiones de un gas de efecto invernadero dato por tipo de combustible (i), en kg

$Consumo\ de\ combustible_i$ = cantidad de combustible quemado (tonelada, m³)

$FE_{GEI,combustible\ i}$ = Factor de emisión por defecto o propio del país (kg GEI/t, m³)

DATOS DE ACTIVIDAD

Para la consolidación de los datos de actividad, con base en la información disponible a través del Sistema de Información Energética (SIE) de SENER, se identificaron los siguientes consumos de combustibles fósiles en la industria de la manufactura y de la construcción:

- Gas natural
- Diésel para la autogeneración de electricidad
- Diésel para consumo en industria distinto a la autogeneración
- Combustóleo
- Coque de petróleo

En virtud de lo anterior, los datos y supuestos aplicados para su obtención se describen a continuación:

Gas natural

Con base en la información disponible en el SIE de SENER, se obtiene la demanda interna de gas natural por entidad federativa en el sector industrial y la autogeneración de electricidad en millones de pies cúbicos diarios (MMpcd), mismos que se convierten para obtener dicho consumo en unidades de m³ como se muestra en el Cuadro A1.9.

Cuadro A1.9 Demanda interna de gas natural en el estado de Chihuahua, sectores industrial y autogeneración de electricidad en el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas natural	395,319,568	385,355,961	377,469,827	436,217,904	474,511,644

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. IMP: Demanda Interna de Gas Natural por estado, Sectores Industrial y Autogeneración de Electricidad.

³ Ibid., Recuadro 2.1.

Diésel

En el caso de este combustible, el SIE de SENER ofrece la información asociada al consumo dividida en dos rubros, por una parte, la demanda interna de diésel por estado en el sector de autogeneración de electricidad y, por otra parte, la demanda interna de diésel en el estado por parte del sector industrial, ambos datos en miles de barriles diarios, que son convertidos a m³. Estos datos se enlistan en el Cuadro A1.10.

Cuadro A1.10 Demanda interna de diésel por los sectores industrial y autogeneración de electricidad en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Diésel Autogeneración	27,680	49,732	16,480	38,183	13,172
Diésel Industria	185,581	169,912	189,062	144,147	368,144

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. Diésel, Autogeneración: IMP: Demanda Interna de Diésel por estado, Sector Autogeneración de Electricidad; Diésel, Industrial: IMP: Demanda Interna de Diésel por estado, Sector Industrial.

Combustóleo

La determinación del consumo de combustóleo en el sector industrial proviene de la aplicación de un par de supuestos, ya que, a diferencia del gas natural y el diésel, el SIE no cuenta con una estadística directa para identificar este consumo en el estado, sin embargo, sí existe un registro de consumo de combustóleo en Chihuahua, por lo que se asume lo siguiente:

Supuesto: A partir de la demanda interna de combustóleo por estado, se cuenta con un consumo total; por otra parte, el SIE ofrece datos sobre el consumo de combustóleo para

la generación de electricidad. Por lo tanto, se asume que, si se resta la demanda de combustóleo para generación de electricidad en Chihuahua, se obtendrá un aproximado del consumo de combustóleo en el sector industrial.

A partir de este supuesto, la aproximación obtenida para el consumo de combustóleo en la industria de la manufactura y de la construcción en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 se detallan en el Cuadro A1.11.

Cuadro A1.11 Estimación del consumo de combustóleo en la industria de la manufactura y de la construcción en el Estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en m³.

Dato de actividad	2013	2014	2015	2016	2017
Demanda total de combustóleo en Chihuahua ^a	397,217.85	214,596.29	119,484.52	232,063.43	54,432.48
Demanda total de combustóleo para generación de electricidad en Chihuahua ^b	376,343.42	204,039.12	118,197.35	66,239.87	37,121.98
Demanda total de combustóleo en el sector industrial ^c	20,874.43	10,557.18	1,287.17	165,823.56	17,310.50

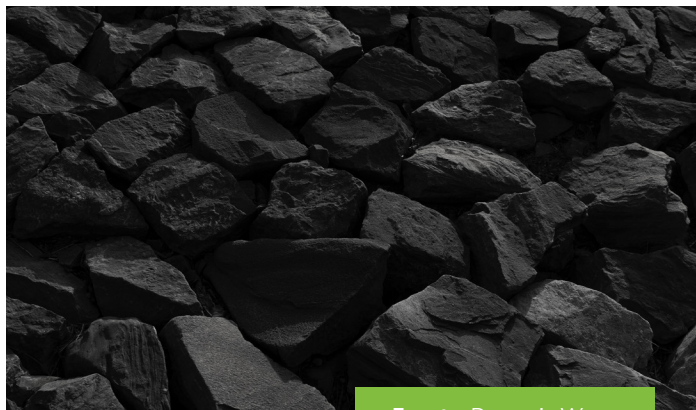
Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. a: Demanda Total de Combustóleo en Chihuahua; b: Demanda Total de Combustóleo para Generación de Electricidad en Chihuahua; c: Estimación propia.

Cabe mencionar, que en el caso de la “Demanda total de combustóleo para generación de electricidad en Chihuahua” que se muestra en el Cuadro A1.11, para los años 2016 y 2017 no existen datos disponibles, sin embargo, y con base en el análisis de la Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA), estimada

en -43.96%, se derivan los datos para dichos años, situación que es consistente con el enfoque de eliminación de consumo de este energético hacia el corto y mediano plazo en el sector industrial. Contexto que puede encontrarse en las Perspectivas de Petróleo Crudo y Petrolíferos de SENER.

Coque de petróleo

Para el caso de este combustible, al igual que con el combustóleo, el SIE no ofrece una estadística asociada directamente al sector industrial. Sin embargo, y derivado del análisis de actividades y fuentes emisoras de GEI que se realizó para determinar el alcance del Inventario, se identificó la presencia de la industria cementera en dicha entidad. Partiendo de una estadística del SIE que registra la demanda interna de coque de petróleo por estado, se obtiene el dato, el cual, se asume corresponde en su totalidad al sector industrial (ver Cuadro A1.12).



Fuente: Dynamic Wang

Cuadro A1.12 Estimación del consumo de coque de petróleo en la industria de la manufactura y de la construcción en el Estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en toneladas.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Coque de petróleo	119,052	119,052	304	305	308

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. Demanda interna de coque de petróleo por estado, 2014-2030.

Cabe señalar, que a pesar de existir una estadística en el SIE denominada “Consumo estatal de coque de petróleo de la industria del cemento, 2014-2030”, ésta no contiene información asociada al estado de Chihuahua, razón por la cual se ha optado por utilizar los datos ofrecidos a nivel estatal bajo el contexto antes referido.

FACTORES DE EMISIÓN

Para convertir los factores de emisión dados en unidades energéticas, a las unidades de consumo de los datos de actividad, se utilizaron los datos de poder calorífico para cada tipo de combustible emitidos por la Secretaría de Energía en su Balance Nacional de Energía. Lo anterior, para los años considerados en el periodo de reporte y detallándose en el Cuadro A1.13.

Cuadro A1.13 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados en la industria de la manufactura y de la construcción en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas natural	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diésel	0.036	0.035	0.040	0.038	0.038
Combustóleo	0.040	0.040	0.041	0.040	0.040
Coque de petróleo	0.029	0.032	0.033	0.033	0.033

Fuente: Balance Nacional de Energía 2017, SENER, Cuadro 30, Página 81.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones derivadas de la quema de combustible en la industria de la manufactura y de la construcción se resumen en el Cuadro A1.14.

Cuadro A1.14 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible en la industria de la manufactura y de la construcción en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m³.

Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Factores de Emisión 2013			
Gas natural	2.18E-3	1.13E-8	3.77E-9
Gas/Diésel oil	2.62E+0	1.08E-4	2.16E-5
Combustóleo	3.19E+0	1.20E-4	2.41E-5
Factores de Emisión 2014			
Gas natural	2.19E-3	1.14E-8	3.79E-9
Gas/Diésel oil	2.58E+0	1.06E-4	2.12E-5
Combustóleo	3.15E+0	1.19E-4	2.38E-5
Factores de Emisión 2015			
Gas natural	2.21E-3	1.15E-8	3.83E-9
Gas/Diésel oil	2.88E+0	1.19E-4	2.38E-5
Combustóleo	3.26E+0	1.23E-4	2.46E-5
Factores de Emisión 2016			
Gas natural	2.20E-3	1.14E-8	3.80E-9
Gas/Diésel oil	2.74E+0	1.13E-4	2.25E-5
Combustóleo	3.20E+0	1.21E-4	2.42E-5
Factores de Emisión 2017			
Gas natural	2.20E-3	1.14E-8	3.80E-9
Gas/Diésel oil	2.74E+0	1.13E-4	2.25E-5
Combustóleo	3.20E+0	1.21E-4	2.42E-5

Fuente: Factores de CO₂: Estudio "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México", Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014.

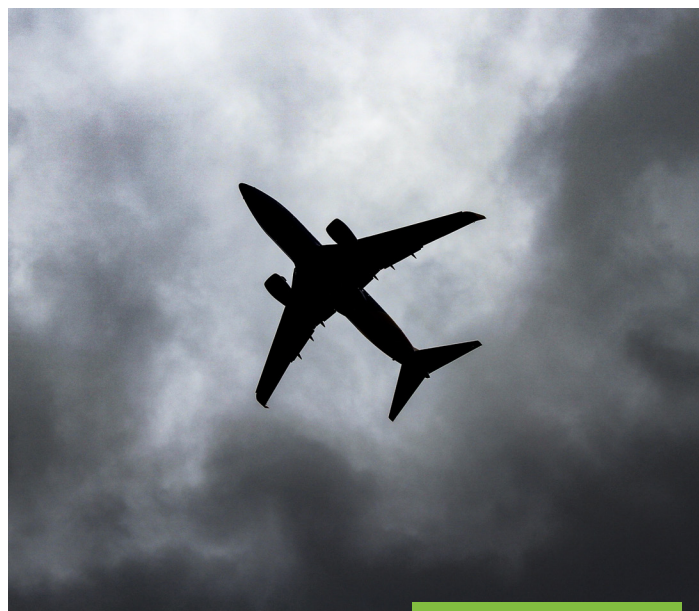
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf, excepto coque de petróleo que se toma del IPCC 2006; FACTORES DE CH₄ y N₂O: Directrices del IPCC 2006, Vol. 2: Energía, Capítulo 2: Combustión estacionaria, y Capítulo 3: Combustión móvil.

[1A3] TRANSPORTE

De acuerdo con las Directrices de IPCC 2006, las emisiones asociadas a esta categoría son aquellas derivadas de la quema de combustibles fósiles para los distintos sistemas de transporte existentes en el estado de Chihuahua. Los tres sistemas de transporte que se identificaron como fuentes de emisión en la entidad son:

- [1A3a] Aviación civil
- [1A3b] Autotransporte
- [1A3c] Ferrocarriles

En el Cuadro A1.15 se muestran las emisiones generadas por el transporte en la entidad. Como se puede observar en la tabla, el autotransporte es el mayor emisor de los tres tipos de sistemas de transporte contabilizados, contribuyendo con más del 96% de las emisiones en esa categoría. Dichas emisiones son derivadas del uso de gasolina, diésel y turbosina.



Fuente: Trinity Moss

Cuadro A1.15 Emisiones de la subcategoría [1A3] Transporte en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1A3] Transporte	6,630.93	6,585.70	7,073.36	7,242.24	7,114.31
[1A3a] Aviación civil	122.41	131.24	140.06	148.88	157.70
[1A3b] Autotransporte	6,429.38	6,364.91	6,824.50	6,985.50	6,862.81
[1A3c] Ferrocarriles	79.14	89.55	108.80	107.86	93.80

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

De la misma forma que en la categoría anterior, la estimación de emisiones de GEI en la fuente de emisión [1A3] Transporte de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006, se basa en el principio del dato de actividad; que, en este caso, resulta ser la cantidad de combustible quemado para dicha actividad, bajo un método nivel 1 como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Emisiones_{GEI} = \sum Consumo\ de\ combustible_i \times FE_{GEI, combustible\ i, Transporte}$$

donde:

$Emisiones_{GEI}$ = emisiones de un gas de efecto invernadero dato por tipo de combustible (i), en kg

$Consumo\ de\ combustible_i$ = cantidad de combustible quemado (tonelada, m³)

$FE_{GEI, combustible\ i}$ = Factor de emisión por defecto o propio del país (kg GEI/t, m³)

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI en la fuente [1A3] Transporte, fueron recopilados a partir de la información disponible en el SIE los cuales, fueron:

- Gasolina
- Diésel
- Gasolina para aviación

Derivado de lo anterior, los datos y supuestos aplicados para la obtención de los datos de actividad de la subcategoría [1A3] Transporte, se describen a continuación:

Gasolina

Con base en la información disponible en el SIE de SENER, se obtiene la "Demanda interna de gasolinas automotrices por estado", en miles de barriles diarios (mbd), mismos que son convertidos a metros cúbicos (m³), obteniendo los datos que se enlistan en el Cuadro A1.16.

Cuadro A1.16 Demanda interna de gasolinas en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m3.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gasolinas	1,822,792	1,817,685	1,915,582	1,992,647	1,958,235

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. IMP: Demanda interna de gasolinas automotrices por estado.

Diésel

En el caso de este combustible, el SIE de SENER ofrece la información asociada al consumo dividida en dos rubros, por una parte, la “Demanda interna de diésel por estado, sector autotransporte”, y, por otra parte, la “Demanda interna de diésel por estado, sector transporte ferroviario”, ambos datos en miles de barriles diarios (mbd), que son convertidos a metros cúbicos, como se detallan en el Cuadro A1.17.

Cuadro A1.17 Demanda interna de diésel para las fuentes autotransporte y ferrocarril en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Diésel Autotransporte	752,364	741,222	724,335	756,948	743,137
Diésel Ferroviario	27,332	31,452	34,122	35,631	30,988

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. IMP: Demanda Interna de diésel por estado, sector autotransporte; IMP: Demanda Interna de diésel por estado, sector transporte ferroviario.

Gasolina para aviación

Con base en la información disponible del SIE, se obtiene la “Demanda interna de turbosina por estado”, en miles de barriles diarios, misma que se convierte a metros cúbicos (m³). Cabe señalar que para determinar el consumo para el periodo 2013–2017, fue necesario realizar una interpolación tomando en consideración el último dato disponible previo a 2017, que corresponde al año 2001, a partir de éste, el periodo 2002-2016 se obtiene bajo dicho enfoque, como se muestra en el Cuadro A1.18.

Cuadro A1.18 Demanda interna de turbosina para la aviación civil en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Turbosina	53,199	57,033	60,867	64,700	68,534

Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. IMP: Demanda interna de turbosina por estado.

FACTORES DE EMISIÓN

Como en las fuentes anteriores, hay que convertir los factores de emisión dados en unidades energéticas, a las unidades de consumo de los datos de actividad. Para ello, se utilizan los datos de poder calorífico para cada tipo de combustible emitidos por la Secretaría de Energía en su Balance Nacional de Energía. Los poderes caloríficos empleados se indican en el Cuadro A1.19.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones en aviación civil, autotransporte y ferrocarriles se resumen en el Cuadro A1.20.

Cuadro A1.19 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados en la aviación civil, autotransporte y ferrocarriles en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gasolinas	0.032	0.032	0.033	0.032	0.032
Diésel	0.036	0.035	0.040	0.038	0.038
Gasolina para aviación	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031

Fuente: Balance Nacional de Energía 2017, SENER, Cuadro 30, Página 81.

[1A4] OTROS SECTORES

De acuerdo con las Directrices de IPCC 2006, las emisiones asociadas a esta categoría son aquellas derivadas de la quema de combustibles fósiles a nivel residencial [1A4a] y comercial e institucional [1A4b] en el estado de Chihuahua.

Las emisiones estimadas en el periodo 2013-2017 asociadas a estas fuentes de emisión en el estado, se muestran en el Cuadro A1.21. Dichas emisiones son derivadas del uso de gas LP y gas natural a nivel residencial y comercial, diésel en comercios y leña en residencias.

Cuadro A1.20 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible en los sistemas de transporte en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en t/m³.

Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Factores de Emisión 2013			
Gas/Diésel oil (Transporte terrestre)	2.62E+0	1.40E-4	1.40E-4
Gas/Diésel oil (Transporte ferroviario)	2.62E+0	1.49E-4	1.03E-3
Gasolinas y naftas (Transporte terrestre)	2.38E+0	1.22E-4	1.84E-4
Turbosina (Gasolina para aviación)	2.28E+0	1.57E-5	6.29E-5
Factores de Emisión 2014			
Gas/Diésel oil (Transporte terrestre)	2.58E+0	1.38E-4	1.38E-4
Gas/Diésel oil (Transporte ferroviario)	2.58E+0	1.47E-4	1.01E-3
Gasolinas y naftas (Transporte terrestre)	2.38E+0	1.23E-4	1.84E-4
Turbosina (Gasolina para aviación)	2.28E+0	1.57E-5	6.29E-5
Factores de Emisión 2015			
Gas/Diésel oil (Transporte terrestre)	2.88E+0	1.54E-4	1.54E-4
Gas/Diésel oil (Transporte ferroviario)	2.88E+0	1.64E-4	1.13E-3
Gasolinas y naftas (Transporte terrestre)	2.40E+0	1.24E-4	1.86E-4
Turbosina (Gasolina para aviación)	2.28E+0	1.57E-5	6.29E-5
Factores de Emisión 2016			
Gas/Diésel oil (Transporte terrestre)	2.74E+0	1.47E-4	1.47E-4
Gas/Diésel oil (Transporte ferroviario)	2.74E+0	1.56E-4	1.07E-3
Gasolinas y naftas (Transporte terrestre)	2.40E+0	1.23E-4	1.85E-4
Turbosina (Gasolina para aviación)	2.28E+0	1.57E-5	6.29E-5
Factores de Emisión 2017			
Gas/Diésel oil (Transporte terrestre)	2.74E+0	1.47E-4	1.47E-4
Gas/Diésel oil (Transporte ferroviario)	2.74E+0	1.56E-4	1.07E-3
Gasolinas y naftas (Transporte terrestre)	2.40E+0	1.23E-4	1.85E-4
Turbosina (Gasolina para aviación)	2.28E+0	1.57E-5	6.29E-5

Fuente: Factores de CO₂: Estudio "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México", Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf. excepto coque de petróleo que se toma del IPCC 2006; FACTORES DE CH₄ y N₂O: Directrices del IPCC 2006, Vol. 2: Energía, Capítulo 2: Combustión estacionaria, y Capítulo 3: Combustión móvil.

Cuadro A1.21 Emisiones de GEI asociadas a las fuentes [1A4a] Residencial y [1A4b] Comercial e Institucional en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[1A4a] y [1A4b] Residencial/Comercial e Institucional	1,567.61	1,393.89	1,518.88	1,506.38	1,476.08

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Derivado de las Directrices de IPCC 2006 y de un método de estimación nivel 1, con base en el principio del dato de actividad, las emisiones estimadas a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua son producto de la cantidad de combustible quemado como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_{GEI} = \sum \text{Consumo de combustible}_i \times FE_{GEI, \text{combustible } i},$$

donde:

Emisiones_{GEI} = emisiones de un gas de efecto invernadero dato por tipo de combustible (i), en kg

$\text{Consumo de combustible}_i$ = cantidad de combustible quemado (tonelada, m³)

$FE_{GEI, \text{combustible } i}$ = Factor de emisión por defecto o propio del país (kg GEI/t, m³)

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI en las fuentes a nivel residencial, comercial e institucional, fueron recopilados a partir de la información disponible en el Sistema de Información Energética (SIE), de SENER, los cuales, fueron:

- Gas LP
- Gas natural
- Diésel
- Leña

A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para la recopilación e integración de dichos datos.

Gas LP

Para la obtención de los datos sobre consumo de gas LP a nivel residencial, comercial e institucional, se parte de la “demanda interna de Gas LP por estado”, disponible en el SIE de SENER, a partir de la cual, se aplica el siguiente supuesto:

"SUPUESTO: Se sabe que el gas LP es prioritariamente usado en estos sectores para la coacción de alimentos y el calentamiento de agua. A partir de esta premisa, se obtiene la Demanda Interna de Gas LP por estado del SIE. Por otra parte, para estimar la proporción del consumo total de Gas LP en Chihuahua, que se encuentra asociada al sector residencial y comercial, se aplica de manera conservadora el % de uso a nivel nacional reportado en el documento: "Transición hacia mercados competitivos de energía: Gas LP-COFECE" (https://www.cofece.mx/wp-content/uploads/2018/06/Libro-GasLP_web.pdf), que indica en su página 26, que en el periodo 2000-2015, el sector residencial fue el mayor consumidor de gas LP con un 62.5% del consumo total, seguido del sector servicios con un 14.1%. Con base en lo anterior, el supuesto se basa en aplicar dicha proporción a la demanda total del estado para derivar los consumos en el sector residencial y comercial:"

De esta forma, los datos de actividad sobre el consumo de gas LP a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en metros cúbicos (m³) están indicados en el Cuadro A1.22.

Cuadro A1.22 Consumo de gas LP a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas LP residencial	461,849	392,503	367,006	365,120	375,928
Gas LP Comercio	104,193	88,549	82,797	82,371	84,809

Fuente: Elaboración propia a partir de datos sobre "Demanda interna de gas LP por estado", disponibles en el Sistema de Información Energética de SENER, e información sobre distribución de uso disponible en el documento "Transición hacia mercados competitivos de energía: Gas LP – COFECE.

Gas natural

En el caso de los datos sobre consumo de gas natural a nivel residencial, comercial e institucional, la información disponible en el SIE de SENER únicamente agrupa a nivel estatal la demanda de gas natural para los sectores residencial, servicios y autotransporte; siendo necesario separar a este último sector para fines de la estimación de emisiones de estas fuentes.

Con base en lo anterior, el supuesto aplicado para la obtención de este consumo fue el siguiente:

“SUPUESTO: Se parte de la base disponible en el SIE, que contiene la demanda interna de Gas Natural por estado a nivel residencial, servicios y autotransporte. Con base en lo

anterior, para separar la cantidad de gas natural destinado al autotransporte, se sabe que de acuerdo con el INEGYCEI 1990-2015, el 0.0418% del consumo de gas natural fue destinado al autotransporte. Por lo anterior, se aplica de manera conservadora dicha proporción al dato estatal, asumiendo que la fracción restante corresponde al sector residencial y de servicios”.

De esta forma, los datos sobre consumo de gas natural a nivel residencial, comercial e institucional en estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 que se obtuvieron se presentan en el Cuadro A1.23.

Cuadro A1.23 Consumo de gas natural a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas natural	252,364,429	237,879,845	314,125,372	314,900,225	293,865,551

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del INEGYCEI 1990-2015.

Diésel

Debido a que no existen datos estatales sobre consumo de diésel a nivel comercial, la obtención de estos datos para la estimación de las emisiones de GEI se realiza a partir de los siguientes supuestos:

“SUPUESTO 1: A partir de los datos disponibles en el SIE sobre la “Demanda interna de diésel por estado”, que incluye información sobre la demanda total nacional; y sobre el “Consumo de energía en los sectores residencial, comercial

y público”, que permite identificar el consumo nacional de diésel asociado al sector comercial; se obtiene la proporción que representa el consumo nacional de diésel a nivel comercial, respecto de la demanda nacional de este mismo combustible”

El Cuadro A1.24 muestra, a partir de este supuesto, la aproximación obtenida para el consumo de diésel a nivel comercial en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017.

Cuadro A1.24 Proporción que representa el consumo nacional de diésel a nivel comercial, respecto de la demanda total nacional en el periodo 2013-2017 en %.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Demanda total nacional	24,021,669	23,801,502	23,478,215	23,081,519	22,757,536
Consumo nacional comercial	121,705	123,560	144,601	54,429	0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIE de SENER sobre: “IMP: Demanda Interna de Diésel por Estado”; y “Balance Nacional de Energía: Consumo de energía en los sectores residencial, comercial y público”.

En función de las proporciones estimadas, se aplica un segundo supuesto:

“SUPUESTO 2: Con base en la “Demanda interna de diésel por estado”, se obtienen los datos para el estado de Chihuahua, a los cuales, se les aplican las proporciones estimadas, considerando dicho resultado, una aproximación del consumo estatal de diésel a nivel comercial como se muestra a continuación (Cuadro A1.25)”:

Cuadro A1.25 Consumo de diésel estimado a nivel comercial en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo estatal	1,021,972	992,493	964,232	975,200	1,155,500
Diésel comercio	5,178	5,152	5,939	2,300	0.00*

*Dato no disponible

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIE de SENER sobre: “IMP: Demanda Interna de Diesel por Estado”

Leña

Aunque no existen datos disponibles en el SIE sobre consumo de leña a nivel estatal, se sabe que se utiliza en el estado. Para la obtención de dichos datos, se aplicó el supuesto siguiente:

“SUPUESTO 1: Con datos disponibles en el SIE, se obtiene el consumo de leña a nivel nacional en PJ, y posteriormente, con base en el documento “Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024”, se obtiene el consumo de leña para el estado de Chihuahua en los años 1990, 2000, 2005 y 2010, y se estima la fracción promedio que representa del total nacional, siendo dicho promedio 1.84%, el cual, se aplica al consumo nacional de leña para el periodo 2013-2017 con el fin de derivar el consumo a nivel estatal (Cuadro A1.26).”



Fuente: Sven Scheuermeier

⁴ Masera, O. et al. (2010) Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024. UNAM, Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Disponible en: http://www.academia.edu/22326399/Estudio_sobre_la_evoluci%C3%B3n_nacional_del_consumo_de_le%C3%B1a_y_carb%C3%B3n_vegetal_en_M%C3%A9xico_1990_2024.

Cuadro A1.26 Proporción que representa el consumo de leña en el estado de Chihuahua, respecto al consumo nacional en PJ.

Combustible	1990	2000	2005	2010	Promedio
Consumo nacional de leña ^a	276	285	266	259	1.84
Consumo de leña en Chihuahua ^b	6	5	5	5	
% de consumo de leña en Chihuahua	2.07	1.74	1.80	1.75	

Fuente: Elaboración propia a partir de: a) Datos del SIE sobre: "Consumo nacional de leña", y b) "Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024", Tablas 2 y 3.

A partir de la fracción promedio estimada, se deriva el consumo estatal en función de los datos sobre consumo nacional para el periodo 2013–2017 en PJ como se muestra en el Cuadro A1.27.

Cuadro A1.27 Consumo de leña estimado a nivel residencial en el estado de Chihuahua en el periodo 2013-2017 en PJ.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo nacional de leña ^a	255.42	254.12	252.84	251.56	250.31
Consumo estatal estimado de leña	4.71	4.68	4.66	4.63	4.61

Fuente: Elaboración propia a partir de: a) Datos del SIE sobre: "Consumo nacional de leña", y b) "Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024", Tablas 2 y 3.

FACTORES DE EMISIÓN

Los poderes caloríficos utilizados para convertir los factores de emisión en unidades de consumo de los datos de actividad se muestran en el Cuadro A1.28.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de las emisiones derivadas de la quema de combustible a nivel residencial, comercial e institucional se resumen en el Cuadro A1.29.

Cuadro A1.28 Poderes caloríficos asociados a los combustibles utilizados a nivel residencial, comercial e institucional en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en TJ/m³.

Combustible	2013	2014	2015	2016	2017
Gas LP	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
Gas natural	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Diésel	0.036	0.035	0.040	0.038	0.038

Fuente: Balance Nacional de Energía 2017, SENER, Cuadro 30, Página 81

Cuadro A1.29 Factores de emisión por tipo de GEI asociados a la quema de combustible a nivel residencial, comercial e institucional en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en t/m³, y para la leña en t/PJ.

Combustible	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Factores de Emisión 2013			
Gas natural (Residencial y Comercial)	2.18E-3	1.89E-7	3.77E-9
Gas/Diésel oil (Comercial)	2.62E+0	3.59E-4	2.16E-5
Gas LP (Residencial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Gas LP (Comercial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Leña (Residencial)	1.12E+5	3.00E+2	4.00E+0
Factores de Emisión 2014			
Gas natural (Residencial y Comercial)	2.19E-3	1.89E-7	3.79E-9
Gas/Diésel oil (Comercial)	2.58E+0	3.53E-4	2.12E-5
Gas LP (Residencial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Gas LP (Comercial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Leña (Residencial)	1.12E+5	3.00E+2	4.00E+0
Factores de Emisión 2015			
Gas natural (Residencial y Comercial)	2.21E-3	1.91E-7	3.83E-9
Gas/Diésel oil (Comercial)	2.88E+0	3.96E-4	2.38E-5
Gas LP (Residencial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Gas LP (Comercial)	1.69E+0	1.30E-4	2.59E-6
Leña (Residencial)	1.12E+5	3.00E+2	4.00E+0
Factores de Emisión 2016			
Gas natural (Residencial y Comercial)	2.20E-3	1.90E-7	3.80E-9
Gas/Diésel oil (Comercial)	2.74E+0	3.76E-4	2.25E-5
Gas LP (Residencial)	1.70E+0	1.31E-4	2.61E-6
Gas LP (Comercial)	1.70E+0	1.31E-4	2.61E-6
Leña (Residencial)	1.12E+5	3.00E+2	4.00E+0
Factores de Emisión 2017			
Gas natural (Residencial y Comercial)	2.20E-3	1.90E-7	3.80E-9
Gas/Diésel oil (Comercial)	2.74E+0	3.76E-4	2.25E-5
Gas LP (Residencial)	1.70E+0	1.31E-4	2.61E-6
Gas LP (Comercial)	1.70E+0	1.31E-4	2.61E-6
Leña (Residencial)	1.12E+5	3.00E+2	4.00E+0

Fuente: Factores de CO₂: Estudio "Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México", Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2014. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf. excepto coque de petróleo que se toma del IPCC 2006; Factores de CH₄ y N₂O: Directrices IPCC 2006 para la elaboración de inventarios nacionales, Vol. 2: Energía, Capítulo 2: Combustión estacionaria, y Capítulo 3: Combustión móvil.

[1B] EMISIONES FUGITIVAS PROVENIENTES DE LA FABRICACIÓN DE COMBUSTIBLES

De acuerdo con las Directrices de IPCC 2006, las emisiones asociadas a esta categoría derivan de los sistemas usados para transportar gas natural procesado a los mercados, es decir, a los consumidores industriales y a los sistemas de distribución de gas natural. Asimismo, considera las emisiones fugitivas de la distribución de gas natural a los usuarios finales [1B2b] Gas natural, la cual es la fuente dentro de esta categoría que se cuantifica para la entidad.

Las emisiones generadas en esta fuente aumentaron de 242 GgCO₂e en 2013 a 684 GgCO₂e en 2015, desafortunadamente no hay datos sobre el volumen transportado de gas natural para los años 2016 y 2017 (ver Cuadro A1.30).

Cuadro A1.30 Emisiones de GEI asociadas a la fuente [1B2b] Gas natural (transporte y distribución) en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[1B2b] Gas natural (transporte y distribución)	242	366	684	nd	nd

nd: no disponible contar con la cantidad de volumen transportado de gas natural.

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Derivado de las Directrices de IPCC 2006⁵ y tomando el método de estimación nivel 1, con base en el principio del dato de actividad, las emisiones estimadas para el transporte y distribución de gas natural en el estado de Chihuahua se derivan del siguiente arreglo metodológico:

$$Emisiones_{GEI, segind} = Actividad_{segind} * Factor\ de\ emisión_{GEI, segind}$$

donde:

$Emisiones_{GEI, segind}$ = emisiones GEI por tipo de actividad, por segmento de la industria, en tCO₂e

$Actividad_{segind}$ = valor de la actividad (unidades de la actividad)

$Factor\ de\ emisión_{GEI, segind}$ = cantidad de GEI emitido por volumen de actividad y GEI (t_{GEI}/unidades de actividad)

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI en la fuente [1B2b] Gas natural (transporte y distribución), fueron recopilados a partir de la información disponible en el SIE, los cuales fueron:

- Volumen de gas natural transportado
- Longitud de la red de ductos de distribución

A continuación, se describe el proceso llevado a cabo para la recopilación e integración de dichos datos.

Volumen de gas natural transportado

Con base en los permisos de transporte de acceso abierto de gas natural disponibles en el SIE, se obtuvieron los volúmenes de gas natural transportado en la entidad. Los valores se muestran en el Cuadro A1.31.

⁵ Directrices del IPCC 2006, Vol. 2, Capítulo 4: Emisiones fugitivas, Ecuación 4.2.1.

Cuadro A1.31 Volumen de gas natural transportado en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en MMm³.

Dato de actividad	2013	2014	2015	2016	2017
Gasoducto de Chihuahua (San Isidro - Samalayuca)	2,067	2,067	3,328	ND	ND
Tarahumara Pipeline, S. de R. L. de C. V. (Cd. Juárez-Chihuahua)	708	683	9,234	ND	ND
Transportadora de Gas Natural del Noroeste, S. de R.L. de C.V. (El Encino, Chihuahua - Mazatlán, Sinaloa)	ND	5,385	9,789	ND	ND
Volumen total de gas natural transportado	2,775	8,135	22,351	0	0

Fuente: Sistema de Información Energética, Permisos de transporte de acceso abierto de gas natural, CRE y CENAGAS

Longitud de la red de ductos de distribución

Con base en la información disponible a través del SIE, se recopilan los datos sobre permisionarios de distribución de gas natural en el estado de Chihuahua, para identificar la longitud de la red de ductos que se indica en el Cuadro A1.32.

Cuadro A1.32 Longitud de la red de ductos de distribución en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en km.

Dato de actividad	2013	2014	2015	2016	2017
Ecogas México (antes DGN de Chihuahua) Q4/Chihuahua	2,031	2,088	2,088	ND	ND
Gas Natural de Juárez Q4/Ciudad Juárez	4,656	4,722	4,722	ND	ND
Longitud de Red de Ductos de Distribución	6,687	6,810	6,810	0	0

Fuente: Sistema de Información Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas, Datos y compromisos quinquenales de los permisionarios de distribución.

FACTORES DE EMISIÓN

Para la estimación de emisiones de GEI, se ha integrado una compilación de factores a partir del estudio denominado "Determinación de factores de emisión para emisiones fugitivas de la industria petrolera en México", asociados a los datos de actividad antes descritos por tipo de GEI. Los resultados se muestran en el Cuadro A1.33.

Cuadro A1.33 Factores de emisión asociados al transporte y distribución de gas natural en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.

Dato de actividad	Factor de emisión	
	CO ₂	CH ₄
Unidades	t/MMm ³	t/MMm ³
Fugitivas: transporte de gas natural	8.80E-4	4.80E-1
Ventoeo: transporte de gas natural	3.10E-3	3.20E-1
Unidades	t/km	t/km
Fugitivas: distribución de gas natural	2.68E-2	9.62E-1

Fuente: Estudio "Determinación de factores de emisión para emisiones fugitivas de la industria petrolera en México", Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Instituto Mexicano del Petróleo, Tablas 48 y 49. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/167851/emisiones_fugitivas.pdf

Los archivos que respaldan los resultados presentados son:

Subcategoría/Fuente/Sub-fuente	Nombre archivo
1A1a Actividad principal Producción de electricidad y calor	Sector1A1a_GenEnerElec_Ch13-17_15Feb19
1A2 Industrias manufacturera y de la construcción	Sector1A2_IndManyConst_Ch13-17_15Feb19
1A3 Transporte	Sector1A3_Transporte_Ch13-17_15Feb19
1A4a Comercial/Institucional / 1A4b Residencial	Sector1A4_RyC_Ch13-17_15Feb19
B2 Petróleo y gas natural	Sector1B2_P&G_Ch13-17_15Feb19

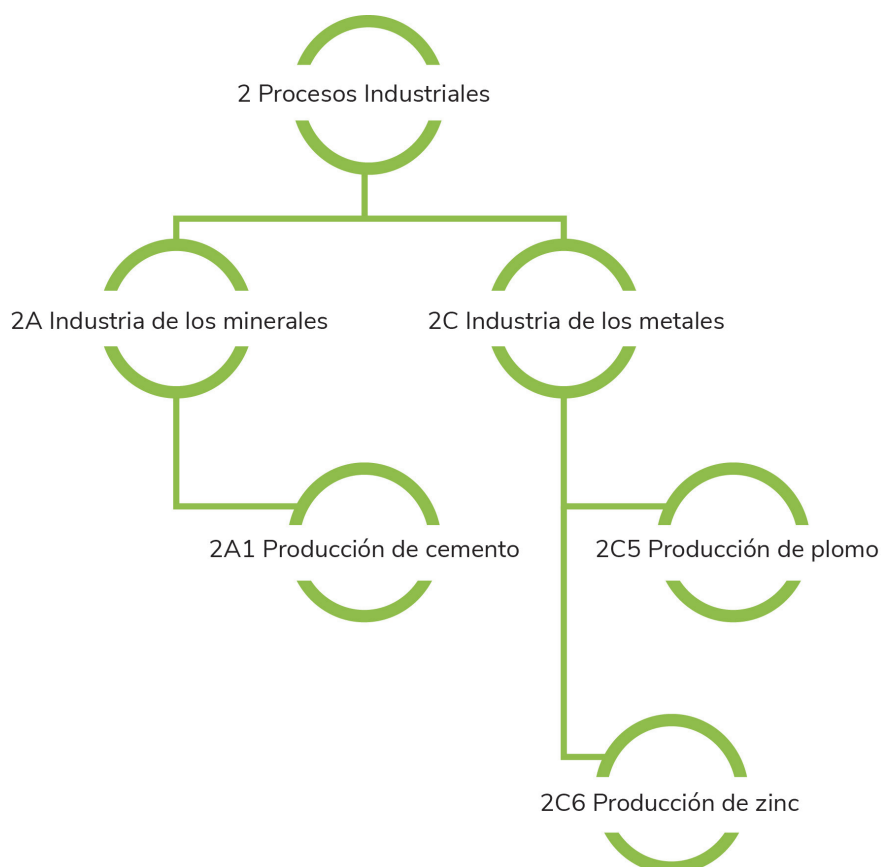
SECTOR [2] PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

En esta sección se abordan las emisiones de GEI que se originan por los procesos industriales, por el uso de gases de efecto invernadero en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles.

Las categorías, subcategorías y fuentes de emisión que han sido cuantificadas en el presente inventario se muestran en la Figura A1.2.

Las emisiones provenientes de los procesos industriales y uso de productos están en un rango entre 808 GgCO₂e en el 2013 y 869 GgCO₂e en 2017, lo que representa un incremento de 7.5%. La producción de cemento es la fuente más importante, contribuyendo en promedio, en el periodo del inventario, con el 74% de las emisiones totales del sector. La estadística completa se puede ver en el Cuadro A1.34.

Figura A1.2 Categorías y subcategorías de emisión de GEI asociadas al sector procesos industriales y uso de productos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua.



Cuadro A1.34 Emisiones de GEI asociadas al sector [2] Procesos industriales y uso de productos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Sector/Categoría/Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
2 Procesos industriales	808.32	832.25	845.35	886.90	869.54
2A Industria de los minerales	564.00	596.36	645.50	661.20	677.90
2A1 Producción de cemento	564.00	596.36	645.50	661.20	677.90
2C Industria de los metales	244.32	235.90	199.85	225.70	191.64
2C5 Producción de plomo	29.55	28.88	19.51	22.20	18.77
2C6 Producción de zinc	214.77	207.02	180.34	203.50	172.87

A continuación, se describen las consideraciones hechas para el cálculo de las subcategorías [2A1] Producción de cemento, [2C5] Producción de plomo y [2C6] Producción de zinc.

[2A1] PRODUCCIÓN DE CEMENTO

En esta subcategoría se estiman las emisiones de CO₂ que se generan durante la producción de Clinker, como parte del proceso de fabricación de cemento.

Las emisiones de GEI derivadas de la producción de cemento en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 se muestran en el Cuadro A1.35. Dichas emisiones, proceden de la fabricación de cemento con base en su contenido de Clinker.

Cuadro A1.35 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2A1] Producción de cemento en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[2A1] Producción de cemento	564.00	596.36	645.50	661.20	677.90

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de emisiones de GEI asociadas a la producción de cemento en el estado de Chihuahua se ha realizado aplicando un método nivel 1 de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006⁶, cuyo principio se basa en el dato de actividad que, en el caso de esta fuente de emisión, resulta ser la cantidad de cemento producido asociado a la cantidad de Clinker contenida en éste, como elemento de entrada para dicha estimación como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = [((\text{Cemento}_{\text{producido}} * \text{Fracción}_{\text{clinker}}) - \text{Imp} + \text{Exp}) * \text{FE}_{\text{CLK}}] * \text{PCG}$$

donde:

Emisiones_{GEI} = emisiones GEI derivadas de la producción de cemento en tCO₂e

Cemento_{producido} = cantidad de cemento producido en toneladas

Fracción_{clinker} = fracción de Clinker contenido en el cemento

Imp = importaciones de Clinker en toneladas

Exp = exportaciones de Clinker en toneladas

FE_{CLK} = factor de emisión asociado a la producción de Clinker (t GEI/t Clinker)

PCG = potencial de calentamiento global por tipo de GEI

⁶ Directrices del IPCC de 2006, Vol. 2, Capítulo 2: Combustión estacionaria, Ecuación 2.1.

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI derivadas de la producción de cemento en el estado de Chihuahua, fueron obtenidos a partir de la información disponible a nivel nacional en el Servicio Geológico Mexicano (SGM), por medio de los Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana para los años 2014-2017.

Sin embargo, y debido a que los datos no se encuentran disponibles a nivel estatal, como se ha mencionado en el párrafo anterior, éstos han sido derivados a partir de los siguientes supuestos:

Producción nacional de cemento

Con base en el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana del SGM, la producción nacional de cemento para el periodo 2013-2017 se detalla en el Cuadro A1.36.

A partir de los datos anteriores, y para derivar la producción a nivel estatal, se ha recurrido a la aplicación de un juicio de experto gracias al cual se ha identificado que la producción en el estado de Chihuahua, respecto a la total nacional, representa aproximadamente el 4%, valor a partir del cual, se deriva la producción estatal (Cuadro A1.37).

Cuadro A1.36 Producción nacional de cemento en el periodo 2013-2017 en toneladas.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017
Producción nacional de cemento	34,611,941.00	36,597,438.00	39,613,040.00	40,576,827.00	41,601,494.00

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2017; Edición 2018 (Años 2016 y 2017), Página 420, Cuadro 47.- Cemento, A.- Producción en volumen y Valor, por Presentación, 2016 – 2017 (http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2017_Edicion_2018.pdf); Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2016; Edición 2017 (Año 2015), Página 427, Cuadro 47.- Cemento, A.- Producción en volumen y Valor, por Presentación, 2015 – 2016 (https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2016_Edicion_2017.pdf); Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2015; Edición 2016 (Año 2014), Página 425, Cuadro 47.- Cemento, A.- Producción en volumen y Valor, por Presentación, 2014 – 2015 (http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2015_Edicion_2016.pdf); Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2014; Edición 2015 (Año 2013), Página 447, Cuadro 47.- Cemento, A.- Producción en volumen y Valor, por Presentación, 2013 – 2014 (http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2014_Edicion_2015.pdf).

Cuadro A1.37 Producción de cemento inferida en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017
Producción estatal de cemento	1,276,025.00	1,349,224.00	1,460,399.00	1,495,931.00	1,533,707.00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Anuario Estadístico de la Minería Mexicana.

Una vez que la producción estatal de cemento ha sido derivada, con base en información del INEGYCEI 1990-2015, la producción de Clinker se estimó tomando en consideración la fracción promedio de 85%⁷ dada por la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), obteniendo los siguientes resultados sobre la producción total de Clinker en el estado de Chihuahua (ver Cuadro A1.38).

Cuadro A1.38 Producción de Clinker inferida en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017
Producción estatal de clinker	1,084,622.00	1,146,840.00	1,241,339.00	1,271,541.00	1,303,651.00

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Anuario Estadístico de la Minería Mexicana y INEGYCEI 1990-2015.

⁷ Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), 1990 – 2015, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Anexo E (2) Procesos industriales y uso de productos, (2A) Industria de los minerales, (2A1) Producción de cemento, "Elección de los factores de emisión" página 561.

FACTORES DE EMISIÓN

Para estimar las emisiones de GEI asociadas a la producción de cemento con base en el contenido de Clinker en el estado de Chihuahua, se ha utilizado el factor de emisión disponible en las Directrices de IPCC 2006, cuyo valor es 0.52 tCO₂/t Clinker.

[2C5] PRODUCCIÓN DE PLOMO

De acuerdo al análisis de información existente, se identificó que existe producción de plomo en la entidad. Las emisiones generadas, en el periodo del inventario, van de 30 GgCO₂e en 2013 a 19 GgCO₂e en 2017, lo que representa la disminución de una tercera parte de las emisiones, como se puede observar en el Cuadro A1.39.

Cuadro A1.39 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2C5] Producción de plomo en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[2C5] Producción de plomo	30	29	20	22	19

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de emisiones de GEI asociadas a la producción de plomo en el estado de Chihuahua, se ha realizado aplicando un método nivel 1 de acuerdo con las Directrices de IPCC 2006, cuyo principio se basa en el dato de actividad, que, en el caso de esta fuente de emisión, resulta ser la cantidad de plomo producido, como elemento de entrada para dicha estimación como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = (\text{Plomo}_{\text{producido}} * \text{FE}) * \text{PCG}$$

donde:

$\text{Emisiones}_{\text{GEI}}$ = emisiones GEI derivadas de la producción de plomo en tCO₂e

$\text{Plomo}_{\text{producido}}$ = cantidad de plomo producido en toneladas

FE = factor de emisión asociado a la producción de plomo (t_{GEI}/t_{plomo})

PCG = potencial de calentamiento por tipo de GEI

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI derivadas de la producción de plomo en el estado de Chihuahua, fueron derivados a partir de la información disponible a nivel nacional en el Servicio Geológico Mexicano (SGM), por medio de los Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana para los años 2014-2017.

Con base en el Anuario Estadístico de la Minería Mexicana del SGM, la producción estatal de plomo para el periodo 2013-2017 se resume en el Cuadro A1.40.

FACTORES DE EMISIÓN

Para estimar las emisiones de GEI asociadas a la producción de plomo, se ha utilizado el factor de emisión disponible en las Directrices del IPCC 2006, cuyo valor es: 0.52 tCO₂/t_{plomo}.

Cuadro A1.40 Producción de plomo en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017
Producción estatal de plomo	56,827	55,539	37,514	42,688	36,093

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2017; Edición 2018, Página 58, Cuadro 6.6 (http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2017_Edicion_2018.pdf).

[2C6] PRODUCCIÓN DE ZINC

También se detectó producción de zinc en el estado de Chihuahua. Las emisiones generadas por esta fuente fueron un poco mayores que las de plomo, aunque también presentaron una disminución en el periodo del inventario. En 2013, se emitieron 215 GgCO₂e y en 2017, las emisiones fueron 173 GgCO₂e, como puede observarse en el Cuadro A1.41.

Cuadro A1.41 Emisiones de GEI asociadas a la subcategoría [2C6] Producción de zinc en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[2C6] Producción de zinc	215	207	180	204	173

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de emisiones de GEI asociadas a la producción de plomo en el estado de Chihuahua, se ha realizado aplicando un método nivel 1 de acuerdo con las Directrices del IPCC 2006, cuyo principio se basa en el dato de actividad, que en el caso de esta fuente de emisión resulta ser la cantidad de zinc producido, como elemento de entrada para dicha estimación como se muestra en la siguiente ecuación⁸:

$$\text{Emisiones}_{\text{GEI}} = (\text{Zinc}_{\text{producido}} * \text{FE}) * \text{PCG}$$

donde:

$\text{Emisiones}_{\text{GEI}}$ = emisiones GEI derivadas de la producción de zinc en tCO₂e

$\text{Zinc}_{\text{producido}}$ = cantidad de zinc producido en toneladas

FE = factor de emisión asociado a la producción de zinc ($\text{t}_{\text{GEI}}/\text{t}_{\text{zinc}}$)

PCG = potencial de calentamiento por tipo de GEI

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad identificados para la estimación de emisiones de GEI derivadas de la producción de zinc en el estado de Chihuahua, fueron derivados a partir de la información disponible a nivel nacional en el Servicio Geológico Mexicano (SGM), por medio de los Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana para los años 2014-2017. Los resultados se muestran en el Cuadro A1.42.

FACTORES DE EMISIÓN

Para estimar las emisiones de GEI asociadas a la producción de zinc, se ha utilizado el factor de emisión disponible en las Directrices del IPCC 2006: 1.72 tCO₂/t_{zinc}⁹.

Los archivos que respaldan los resultados del sector procesos industriales y usos de productos presentados son:

Subcategoría/Fuente/ Sub-fuente	Nombre archivo
2A1 Producción de cemento	Sector2_ProcIndustriales _Ch13-17_15Feb19
2C5 Producción de plomo	
2C6 Producción de zinc	

Cuadro A1.42 Producción de zinc en el periodo 2013-2017 para el estado de Chihuahua en toneladas.

Parámetro	2013	2014	2015	2016	2017
Producción estatal de zinc	124,866	120,359	104,851	118,316	100,507

Fuente: Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2017; Edición 2018, Página 58, Cuadro 6.6 (http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2017_Edicion_2018.pdf).

⁸ Directrices del IPCC 2006, Vol. 3, Capítulo 4: Emisiones de la industria de los metales, Ecuación 4.32.

⁹ Ibid. p.4.88.

SECTOR [3] AGRICULTURA, SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA

El sector [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU por sus siglas en inglés) puede tanto emitir como absorber emisiones. El uso y la gestión de la tierra influyen, de manera importante, en procesos como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición, la nitrificación/desnitrificación, la fermentación entérica y la combustión. En este inventario y siguiendo las Directrices del IPCC 2006, las emisiones y absorciones cuantificadas serán las que se producen en tierras gestionadas¹⁰, es decir, la estimación considera solo las emisiones o absorciones antropogénicas directas de gases de efecto invernadero. En otras palabras, el método de cuantificación se basa, en que todos los efectos directos inducidos por el hombre en las emisiones y absorciones de GEI ocurren solamente en tierras gestionadas¹¹.

Los gases estimados en este sector son dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). En el caso del CO₂ las emisiones o absorciones se derivan por la fotosíntesis de las plantas y la descomposición y la combustión de materia orgánica, mientras que las fuentes de CH₄ son la fermentación entérica y la combustión incompleta del quemado de materia

orgánica y para el N₂O los procesos de nitrificación y la desnitrificación de los suelos, así como la también la combustión incompleta de la materia orgánica.

El sector AFOLU está conformado por 3 categorías: [3A] Ganado, [3B] Tierra y [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra. Esta categoría presenta emisiones netas con magnitud negativa que van desde -2,741.69 GgCO₂e en 2013 a -870.81 GgCO₂e en 2017. La categoría que más contribuye al total de las emisiones es la [3A] Ganado, seguida por [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO₂ de la tierra y algunas subcategorías de [3B] Tierra. La categoría [3B] Tierra también capta importantes cantidades de CO₂, contribuyendo la subcategoría [3B1] Tierras forestales con alrededor del 86% del total de absorciones de esta categoría. En el Cuadro A1.43 se presentan las emisiones de AFOLU para el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua. Como se podrá observar, todas las categorías y subcategorías fueron estimadas, quedando solo algunas fuentes sin cuantificar, ya sea porque no hubo información o porque no aplicaban.

Cuadro A1.43 Emisiones del sector AFOLU en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Sector/Categoría/Subcategoría/Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	-2,849.99	-2,734.54	-2,574.04	-1,231.84	-870.81
[3A] Ganado	7,516.72	7,583.29	7,907.59	8,910.08	9,218.22
[3A1] Fermentación entérica	3,359.71	3,435.88	3,599.29	3,979.85	4,079.86
[3A1a] Bovino	3,237.02	3,315.91	3,479.14	3,860.52	3,960.13
[3A1c] Ovinos	25.93	26.62	26.03	26.00	26.26
[3A1d] Caprino	21.50	21.55	21.33	21.22	20.98
[3A1f] Caballos	32.83	32.19	32.51	32.35	32.43
[3A1g] Mulas y asnos	34.11	33.39	33.75	33.55	33.65
[3A1h] Porcinos	8.32	6.23	6.53	6.20	6.42
[3A2] Gestión del estiércol	4,157.01	4,147.41	4,308.31	4,930.23	5,138.36
[3A2a] Bovinos	3,600.34	3,684.27	3,817.64	4,423.69	4,605.36
[3A2c] Ovinos	31.66	33.06	34.22	34.34	34.75
[3A2d] Caprino	29.55	30.87	32.38	32.53	32.76
[3A2f] Caballos	27.84	28.70	30.24	30.32	30.13
[3A2g] Mulas y asnos	89.27	87.26	96.47	95.91	96.19
[3A2h] Porcinos	376.38	280.90	294.62	310.82	336.77
[3A2i] Aves de corral	1.96	2.35	2.74	2.61	2.39

¹⁰ Se entiende como tierra gestionada a aquella en la que ha habido intervención humana y donde se han aplicado prácticas para la realización de actividades de producción, ecológicas o sociales.

¹¹ Directrices del IPCC 2006. Vol. 4, Cap. 1.: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Cuadro A1.43 (CONT.)

Sector/Categoría/Subcategoría/Fuente	2013	2014	2015	2016	2017
[3B] Tierra	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69
[3B1] Tierra forestales	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33
[3B2] Tierra de cultivo	967.19	967.19	967.19	967.19	967.19
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67
[3B3] Praderas	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	631.55	631.55	631.55	631.55	631.55
[3B4] Humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B5] Asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B6] Otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ de la tierra	2,374.98	2,423.86	2,260.06	2,599.76	2,652.66
[3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa	149.55	132.06	90.43	110.63	216.59
[3C1a] Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales	35.20	32.08	1.17	14.81	56.36
[3C1b] Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo	91.40	89.60	87.50	85.60	83.65
[3C1c] Emisiones de quemado de biomasa en tierras praderas	22.95	10.38	1.76	10.22	76.59
[3C2] Encalado	2.11	2.16	2.13	2.22	2.26
[3C3] Aplicación de urea	69.21	75.27	60.12	74.19	64.31
[3C4] Emisiones directas de los N ₂ O de los suelos gestionados	1,468.58	1,510.82	1,429.25	1,618.94	1,573.17
[3C5] Emisiones indirectas de los N ₂ O de los suelos gestionados	447.90	462.93	425.64	459.73	429.35
[3C6] Emisiones indirectas de los N ₂ O de la gestión del estiércol	237.63	240.63	252.49	334.06	366.97

En las secciones siguientes se describen con más detalle la metodología de cálculo y los parámetros utilizados para cada categoría que conforman el Sector AFOLU.

[3A] GANADO

Esta categoría abarca a las actividades pecuarias en el estado de Chihuahua y dentro de los sistemas de producción animal, el ganado bovino es la fuente principal de emisiones de GEI. Los gases de efecto invernadero que se contabilizan en esta categoría son metano y óxido nitroso. El primero se genera en las subcategorías [3A1] Fermentación entérica y en [3A2] Gestión de estiércol, mientras que el óxido nitroso solo se emite en esta última subcategoría. Ambas subcategorías se estimaron para el estado.

Asimismo, las fuentes para ambas subcategorías que se consideraron fueron:

- Bovino
- Ovinos
- Caprino
- Caballos
- Mulas y asnos
- Porcinos
- Aves de corral (solo en [3A2])

En las fuentes [3A1a] y [3A2a] se hace otra subdivisión, separando bovinos leche (vacas lecheras) y otros bovinos (carne) y en aves de corral se consideraron aves (huevo y carne) y guajolotes. No se consideraron ni a los búfalos ni camellos.

En el Cuadro A1.44 se presentan las emisiones totales de la categoría [3A] del periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua. Como se puede observar en dicha tabla, la subcategoría [3A2] Gestión de estiércol es la que más emite en la categoría de ganado, oscilando su contribución entre el 54% y 56% de las emisiones para el periodo considerado en este inventario. Esta tendencia, diferente a la observada en el INEGYCEI 1990-2015, donde la fermentación entérica es la mayor fuente de emisiones, responde a que la cuantificación de las emisiones de CH₄ en el inventario de del estado de Chihuahua se realizó bajo un nivel 2 para los bovinos. En el caso del inventario nacional, solo se tiene ese nivel de detalle para los bovinos en producción de leche bajo manejo de excretas con biodigestor. Este tipo de resultados han sido objeto de análisis, ya que Wolf et al¹², han encontrado que las emisiones se encuentran subestimadas y que, al mejorar el nivel de estimación, el incremento esperado es por lo menos del 30%.

Cuadro A1.44 Emisiones de la categoría [3A] Ganado en el período 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	2013	2014	2015	2016	2017
[3A1] Fermentación entérica	3,359.71	3,435.88	3,599.29	3,979.85	4,079.86
[3A2] Gestión de estiércol	4,157.01	4,147.41	4,308.31	4,930.23	5,138.36
Total	7,516.72	7,583.29	7,907.59	8,910.08	9,218.22

En el Cuadro A1.45 se muestra la contribución por tipo de gas de efecto invernadero en la categoría [3A], siendo el metano el que más contribuye con más del 86% en todo el periodo estimado del inventario.

Cuadro A1.45 Emisiones por tipo de gas de la categoría [3A] Ganado en el período 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

GEI	2013	2014	2015	2016	2017
CH ₄	6,601.52	6,715.22	7,002.60	7,764.83	7,960.29
N ₂ O	915.19	868.07	905.00	1,145.25	1,257.93
Total	7,516.72	7,583.29	7,907.59	8,910.08	9,218.22

A continuación, se describen las consideraciones hechas para el cálculo de las subcategorías [3A1] Fermentación entérica y [3A2] Gestión de estiércol.

¹² Wolf, J., Asrar, G. R., & West, T. O. (2017). Revised methane emissions factors and spatially distributed annual carbon fluxes for global livestock. Carbon Balance and Management. <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0084-y>

[3A1] FERMENTACIÓN ENTÉRICA

A nivel mundial, una de las fuentes antropogénicas más importantes de emisiones de CH₄ es el ganado. Dentro de éstos, los rumiantes son los que contribuyen con las mayores cantidades de este gas, derivado del proceso digestivo de estas especies. La fermentación microbiana o entérica convierte el alimento ingerido en productos que puedan ser utilizados por el animal, produciendo metano como subproducto, el cual se emite, principalmente, a través de la exhalación¹³.

Las emisiones de CH₄ generadas en la subcategoría durante el periodo 2013-2017 se muestran en el Cuadro A1.46. Como se puede observar, la fuente [3A1aii] Otros bovinos (carne) es la principal especie emisora dentro de esta subcategoría, seguida por la [3A1ai] Bovinos leche, contribuyendo conjuntamente con más del 96% al total.

Cuadro A1.46 Emisiones de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/Fuente	GgCO ₂ e				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3A1] Fermentación entérica	3,359.71	3,435.88	3,599.29	3,979.85	4,079.86
[3A1ai] Bovinos leche	665.90	696.53	712.69	710.32	734.79
[3A1aii] Otros bovinos (carne)	2,571.12	2,619.38	2,766.45	3,150.20	3,225.34
[3A1c] Ovinos	25.93	26.62	26.03	26.00	26.26
[3A1d] Caprinos	21.50	21.55	21.33	21.22	20.98
[3A1f] Caballos	32.83	32.19	32.51	32.35	32.43
[3A1g] Mulas	1.29	1.19	1.24	1.21	1.23
[3A1g] Asnos	32.82	32.20	32.51	32.34	32.42
[3A1h] Porcinos	8.32	6.23	6.53	6.20	6.42

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de metano

El método empleado para la estimación de emisiones de CH₄ proveniente de la subcategoría [3A1] se realizó bajo el nivel uno, siguiendo las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10. La fórmula utilizada para determinar las emisiones por fermentación entérica se describe a continuación:

$$E_{CH_4} = \sum_T EF_{(T)} * \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

donde:

E_{CH_4} = emisiones totales de metano por fermentación entérica, en GgCH₄/año

$EF_{(T)}$ = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄/cabeza*año

$N_{(T)}$ = la cantidad de cabezas de ganado de la especie T del estado

T = especie de ganado

¹³ FAO – LEAD (2009). La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. Se puede consultar en el siguiente enlace: <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>

DATOS DE ACTIVIDAD

La construcción del inventario y la serie histórica del estado se realizó utilizando información sobre las poblaciones ganaderas provenientes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)¹⁴. Los datos de caballos, mulas y asnos se tomaron del INEGYCEI¹⁵ para los años 2013 a 2015, obteniendo los datos de 2016 y 2017 usando un promedio móvil. La información para establecer las diferentes etapas productivas proviene de los últimos resultados de la encuesta nacional agropecuaria del INEGI 2017. Respecto a los pesos promedios utilizados son el promedio reportado por municipio del estado de Chihuahua y provienen también del SIAP. Los datos de las edades de las etapas productivas de los porcinos provienen del Análisis de la Industria Porcina en Latinoamérica de PIC de los años 2013¹⁶ y 2015¹⁷, mientras que para las edades de las aves de corral, ovinos y caprinos se utilizó la información proveniente del INEGYCEI 1990-2015.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión se tomaron de las tablas 10.10 y 10.11 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10. Para seleccionar el factor se utilizó la información de los niveles de producción y las características productivas del estado. Para el caso de la fuente [3A1a] bovinos leche, se utiliza la información de la producción anual proveniente del SIAP, para seleccionar el factor de emisión de la tabla 10.11, de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10.

Para la fuente [3A1b] Otros bovinos, se consideraron las características productivas del estado descritas por Saldaña¹⁸, por lo que, para los vientres se asume se encuentran en pastoreo y por tanto, se utiliza el factor de América Latina proveniente de la tabla 10.11 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10. Finalmente, para el resto de las especies (caballos, mulas, asnos, porcinos, ovinos y caprinos) se utilizaron los factores de emisión provenientes de la tabla 10.10 de las mismas directrices.

[3A2] GESTIÓN DE ESTIÉRCOL

En esta subcategoría se estiman las emisiones generadas de CH₄ y N₂O durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol o excretas de los diferentes tipos de ganado. En las Directrices del IPCC 2006, se define al estiércol a los sólidos (bosta) y líquidos (orina) producidos por el ganado.

Las emisiones de CH₄ y N₂O generadas en la subcategoría durante el periodo 2013-2017 se muestran en el Cuadro A1.47. Como se puede observar, la fuente [3A1aii] Otros bovinos (carne) es la principal especie emisora dentro de esta subcategoría, seguida por la [3A1ai] Bovinos leche, y [3A2h] Porcinos. Entre los dos GEI, el metano es el que contribuye a las emisiones en la gestión de estiércol.

Cuadro A1.47 Emisiones de la subcategoría [3A2] por especie y por tipo de GEI en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/Fuente	GEI	GgCO ₂ e				
		2013	2014	2015	2016	2017
[3A2] Gestión de estiércol		4,157.01	4,147.41	4,308.31	4,930.23	5,138.36
[3A2ai] Bovinos leche	CH ₄	443.93	466.72	481.32	496.69	515.53
	N	69.79	73.00	74.25	87.91	97.82
[3A2aii] Otros bovinos (carne)	CH ₄	2,543.11	2,590.85	2,681.36	3,053.29	3,126.13
	N	543.50	553.70	580.71	785.80	865.88
[3A2c] Ovinos	CH ₄	18.46	18.96	20.65	20.63	20.84
	N	13.20	14.10	13.57	13.71	13.92
[3A2d] Caprinos	CH ₄	18.46	18.96	20.65	20.63	20.84
	N	11.09	11.91	11.72	11.90	11.92
[3A2f] Caballos	CH ₄	16.75	16.78	18.51	18.42	18.21
	N	11.09	11.91	11.72	11.90	11.92

¹⁴ Fuente: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762?idiom=es>

¹⁵ Fuente: ver el enlace siguiente: http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/226/833_2018_Mexico_Inventario_INEGYCEI_.pdf?sequence=5&isAllowed=y (pp 402, 405 y 408 de 2013 a 2015 para 2016 y 2017 se continuó el ejercicio realizado con moving average)

¹⁶ PIC. (2013). Análisis de la industria porcina en latinoamérica 2013

¹⁷ PIC. (2015). Análisis de la industria porcina en latinoamérica. Retrieved from http://piclatam.com/news/galeria/upload/documentos/tQEYFq_Benchmark_Latam_Febrero_2015.pdf

¹⁸ Saldaña, J. R. (2016). Estudio bibliográfico de la producción de bovino de carne en el estado de Chihuahua. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro A1.47 (CONT.)

Subcategoría/Fuente	GEI	GgCO ₂ e				
		2013	2014	2015	2016	2017
[3A2g] Mulas	CH ₄	2.70	2.49	2.89	2.83	2.86
	N	1.74	1.60	1.67	1.64	1.66
[3A2g] Asnos	CH ₄	69.80	68.43	77.03	76.64	76.83
	N	15.03	14.74	14.88	14.81	14.85
[3A2h] Porcinos	CH ₄	128.26	95.76	100.45	95.38	98.74
	N	248.11	185.14	194.16	215.44	238.04
[3A2j] Aves huevo	CH ₄	0.27	0.33	0.36	0.39	0.40
	N	0.88	1.08	1.18	1.27	1.30
[3A2j] Aves carne	CH ₄	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	N	0.29	0.29	0.31	0.32	0.30
[3A2j] Guajolote	CH ₄	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02
	N	0.46	0.58	0.81	0.57	0.34

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de metano

Respecto a la subcategoría [3A2] Gestión de estiércol se realizó bajo un nivel dos, dado que, se construyó el factor de emisión considerando la información productiva y climática del estado, con excepción de las aves de corral (aves para la producción de huevo, carne y guajolote). La ecuación utilizada fue:

$$E_{CH_4 \text{ Estiércol}} = \sum_T \frac{EF_{(T)} * N_T}{10^6}$$

donde:

E_{CH_4} = emisiones totales de metano por la gestión de estiércol para una población definida, en GgCH₄/año

$EF_{(T)}$ = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄/cabeza*año

$N_{(T)}$ = la cantidad de cabezas de ganado de la especie T del estado

T = especie de ganado

DATOS DE ACTIVIDAD

Adicional a los datos de las poblaciones ganadera y pesos promedios que se describieron en la sección de la subcategoría [3A1], para la subcategoría [3A2] se utilizó los tipos de sistemas de manejo de excretas para cada especie y la temperatura promedio del estado para el periodo del inventario¹⁹.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión para la estimación del metano por manejo de estiércol se construyeron a partir de la información de las temperaturas promedio del estado, el peso promedio y los sistemas de manejo de excretas característicos para cada especie:

- Bovinos leche, manejo líquido en corral y lagunas aerobias con aireación natural. Para el caso de los animales cuyo manejo de excretas incluye el biodigestor se asume que se encuentra antes de la laguna de acuerdo con lo descrito por FIRCO-SAGARPA²⁰ y Pampillón²¹.
- Otros bovinos, vientres en pastoreo y animales en engorda corral para posteriormente pasar a un estercolero.

¹⁹ CONAGUA. Reporte del Clima en México. Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.accuweather.com/en/mx/mexico-weather>

²⁰ FIRCO-SAGARPA. (2011). Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México. Ciudad de México.

²¹ Pampillón, L. (2014). Biodigestores en la ganadería de México: Aprovechamiento de lodos. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

• Porcinos, se asume un manejo en piso de rejilla (manejo líquido) y posteriormente a laguna aerobia con ventilación natural, al igual que para bovinos leche para los animales con de excretas que incluye el biodigestor se asume que se encuentra antes de la laguna de acuerdo con lo descrito por FIRCO-SAGARPA²² y Pampillón²³.

• Ovinos, caprinos, caballos, mulas y asnos se asume que el manejo de las excretas sucede en pastoreo.

Para el caso de bovinos leche y porcinos se tomaron los datos, hasta 2015, de la capacidad instalada de biodigestores y del tiempo de retención hidráulica del INEGYCEI 1990-2015, asumiéndose que no hubo cambios para los siguientes años, para construir el factor de emisión para los biodigestores instalados en el estado de Chihuahua.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación del óxido nítrico

El método empleado para la estimación de emisiones directas de N_2O proveniente de la subcategoría [3A2] se realizó bajo el nivel uno, siguiendo las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10. La fórmula utilizada para determinar las emisiones por fermentación entérica se describe a continuación:

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} * Nex_{(T)} * MS_{(T,S)}) \right] * EF_{3(S)} \right] * \frac{44}{28}$$

donde:

$N_2O_{D(mm)}$ = emisiones directas de N_2O por la gestión de estiércol, en kgN_2O /año

$N_{(T)}$ = la cantidad de cabezas de ganado de la especie T del estado

$Nex_{(T)}$ = Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie T en el estado en $kg N/animal*año$

$MS_{(T,S)}$ = Fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin unidades

$EF_{3(S)}$ = factor de emisión para emisiones directas de N_2O del sistema de gestión del estiércol S en el estado, $kg N_2O-N/kgN$ en el sistema de gestión del estiércol S

S = sistema de gestión de estiércol

T = especie de ganado

$44/28$ = Conversión de emisiones $N_2O-N_{(mm)}$ a emisiones de $N_2O_{(mm)}$

DATOS DE ACTIVIDAD

Mismos datos utilizados para la estimación de metano.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de excreción de nitrógeno provienen de la tabla 10.19 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10. Para seleccionar el factor se consideró el peso promedio por especie y etapa productiva de acuerdo con los datos obtenidos del SIAP²⁴ e INEGI provenientes de la Encuesta Nacional Agropecuaria. Los factores de emisión para la estimación de los óxidos de nitrógeno provienen de las tablas 10.21, 10.22, 10.23, 11.1 y 11.3 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 10 y 11 y fueron seleccionados de acuerdo con los sistemas de manejo de excretas antes descritos.

Los archivos que respaldan los resultados presentados son:

Archivo	Descripción
3A GANADO Ch.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3A]

²² Op. cit., p. 16.

²³ Op. cit., p. 17.

²⁴ <https://www.gob.mx/siap>



Fuente: Roman Synkevych

[3B] TIERRA

A diferencia de las otras categorías, el uso de la tierra incluye tanto emisiones como absorciones de CO_2 , ya que es también un depósito biológico de carbono. Los flujos de CO_2 entre la atmósfera y la superficie terrestre se dan por captación, mediante la fotosíntesis de las plantas y por la liberación, a través de la respiración y la descomposición y combustión de materia orgánica. Estos flujos pueden estimarse de dos maneras: 1) midiendo la diferencia en las reservas de carbono y 2) midiendo los caudales de flujo de gas hacia y desde la atmósfera. Esta última opción se utiliza, principalmente, para estimar emisiones de no CO_2 , que son en su mayor parte, producto de procesos microbiológicos y de la combustión de materiales orgánicos²⁵.

Las Directrices del IPCC 2006 clasifican la tierra en 6 categorías²⁶, las cuales a su vez se subdividen en tierras que se mantienen en la misma categoría y las que se convierten de una categoría a otra²⁷, es decir, representan las permanencias y transiciones, respectivamente. Las categorías incluidas en el inventario de emisiones del estado de Chihuahua son:

- Tierras forestales
- Tierras agrícolas
- Praderas²⁸
- Humedales
- Asentamientos
- Otras tierras

Para cada una de estas categorías, se calculan las emisiones y las absorciones con base en tres componentes:

- 1) Biomasa, que incluye las partes aéreas y subterráneas y constituye el principal medio de absorción de CO_2 de la atmósfera
- 2) Materia orgánica muerta, por ejemplo, madera muerta y hojarasca
- 3) Suelos, incluye el carbono orgánico

Para el inventario del estado de Chihuahua se estimaron las 6 categorías de tierra, como se muestra en el Cuadro A1.48. Se puede observar que las emisiones netas de la categoría [3B] Tierra fueron de -12,741.69 Gg CO_2e , valor constante a lo largo del periodo del inventario, dada la naturaleza del procedimiento de información derivado de las Series de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, que es homólogo al procedimiento en el INEGYCEI 1990-2015. Del total, las tierras forestales participaron con -11,015.98 que corresponde al 86.46%.

²⁵ Directrices del IPCC 2006, Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

²⁶ Las definiciones de cada una de las categorías de tierra pueden consultarse en Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 3 y en el INEGYCEI 1990-2015.

²⁷ En la Tabla 47, se podrá ver la subdivisión de las categorías de tierra que consideran las Directrices del IPCC 2006.

²⁸ El IPCC nombra a esta subcategoría pastizales, pero para homogenizar el lenguaje se tomó el del INEGYCEI 1990-2015.

Cuadro A1.48 Emisiones netas de la categoría [3B] Tierra en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/Fuente	GgCO ₂ e				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3B] Tierra	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69	-12,741.69
[3B1] Tierra forestales	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98	-11,015.98
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65	-10,878.65
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33	-137.33
[3B2] Tierra de cultivo	967.19	967.19	967.19	967.19	967.19
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48	-201.48
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67	1,168.67
[3B3] Praderas	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91	-2,757.91
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46	-3,389.46
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	631.55	631.55	631.55	631.55	631.55
[3B4] Humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B4a] Humedales que permanecen como tal	-	-	-	-	-
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
[3B5] Asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B5a] Asentamientos que permanecen como tal	-	-	-	-	-
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
[3B6] Otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24
[3B6a] Otras tierras que permanecen como tal	-	-	-	-	-
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	45.24	45.24	45.24	45.24	45.24

En la Figura A1.3 se muestran los resultados agrupados en absorciones por permanencias y emisiones por cambios de uso de suelo.

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

México elaboró el INEGYCEI 1990-2015²⁹, bajo los lineamientos de las Directrices del IPCC 2006 (Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra³⁰) y para ser consistentes y comparables, la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua se realizó siguiendo la misma metodología.

Se ha usado información oficial, que consta de dos fuentes principales, las Series de Uso de Suelo y Vegetación generadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía 2011 y 2014 y los factores de emisión reportados en el INEGYCEI 1990-2015 que incluye información reciente de los contenidos de carbono para las estimaciones de biomasa aérea y subterránea, suelos minerales y materia orgánica muerta.

²⁹ El INEGYCEI se puede consultar en: http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/226/833_2018_Mexico_Inventario_INEGYCEI_.pdf?sequence=5&isAllowed=y

³⁰ Las Directrices para determinar las emisiones y absorciones de la categoría [3B] se pueden consultar en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

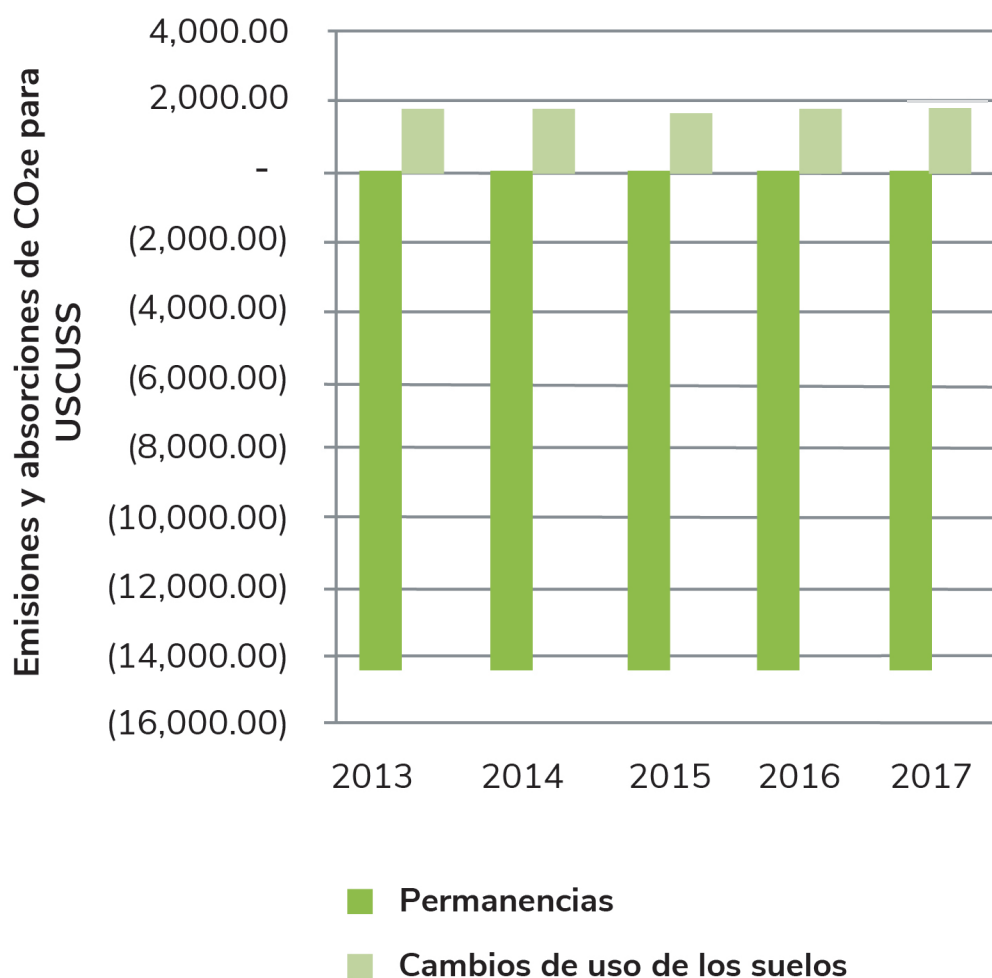


Figura A1.3 Resultados por permanencia y cambios de uso de suelo para la categoría [3B] Tierra en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Es importante mencionar, y para mayor entendimiento del cálculo, que una vez que se obtiene el contenido de carbono (se obtiene multiplicando el factor de emisión por el dato de actividad), se requiere convertirlo a GgCO₂. Esto se hace usando la fórmula $(\text{tonelada de C}) \times (44/12) \times (10^{(-3)}) \times (-1)$, que es la relación estequiométrica del carbono y el CO₂, así como la relación de tonelada a gigagramo. El (-1) representa lo siguiente: cuando se pierde contenido de carbono (hay pérdida de biomasa) entonces el valor es negativo, al convertido a emisiones de CO₂, el valor se multiplica por -1 para representar un valor positivo que representa emisiones. En cambio, si es una permanencia, o

si ganó biomasa por el crecimiento de la vegetación, entonces se ganó carbono, el valor es positivo, se multiplica por -1 para que en emisiones de CO₂ represente una absorción³¹.

En el Cuadro A1.49 se detallan las subcategorías reportadas en este inventario y los niveles metodológicos utilizados, en función de las emisiones y absorciones por cambios de uso de suelo, así como las emisiones por degradación y absorciones por la permanencia y recuperación de tierras. También, como se hizo en el INEGYCEI 1990-2015, en este inventario se utilizaron las abreviaciones y acrónimos en inglés, los cuales se indican en esta misma tabla.

³¹ Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra, 2.2.3. Conversión de cambios de existencias de C a emisiones de CO₂, en: Directrices del IPCC 2006, Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.

Cuadro A1.49 Niveles metodológicos utilizados para el inventario de gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua para la categoría [3B] Tierra.

Categoría	Clave IPCC	Transición	Reservorio estimado/reportado				
			Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Madera muerta	Hojarasca	Suelos
[3B1] FL	[3B1a]	FL-FL (Permanencia)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
		FLd-FL (Recuperación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
		FL-FLd (Degradación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
	[3B1b]	CONVL-FL (Reforestación)	Nivel 2	Nivel 2	NE	Nivel 2	NE
[3B2] CL	[3B2a]	CL-CL (Permanencia; agricultura perenne)	Nivel 1	NE	NE	NE	NE
	[3B2bi]	FL-CL (Deforestación) 3B2bi	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	[3B2bii]	GL-CL (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
[3B3] GL	[3B3a]	GL-GL (Permanencia pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1*	Nivel 1*	Nivel 1*
	[3B3bi]	FL-GL (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	[3B3b]	CONVL-GL (Recuperación pradera)	Nivel 2	Nivel 2	NE	Nivel 2	NE
[3B4] WL	[3B4bii]	FL-WL (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
		GL-WL (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
[3B5] S	[3B5bi]	FL-S (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	[3B5biii]	GL-S (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
[3B6] OL	[3B6bi]	FL-OL (Deforestación)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2
	[3B6biii]	GL-OL (Pérdida pradera)	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 1 y 2

* Se asume en equilibrio

FL = tierras forestales

FLd - FL = recuperación de tierras forestales

FL - FLd = tierras forestales degradadas

CONVL = tierras convertidas

CL = tierras agrícolas

GL = pradera

WL = humedales

S = asentamientos (humanos)

OL = otras tierras

NE = no estimado

DATOS DE ACTIVIDAD

Para la obtención de datos de actividad se utilizaron las metodologías de Representación Coherente de Tierras del Capítulo 3, Vol. 4 de las Directrices del IPCC 2006. Para las estimaciones se usó el enfoque de “cambio en las existencias de carbono”, dado que el país posee valores de factores de emisión en tiempo 1 y 2. Lo anterior se describe a continuación:

Para determinar las superficies de cambio y permanencias para el estado de Chihuahua, se generó una matriz de cambio, la cual permite que las conversiones del uso de la tierra sean seguidas de forma espacial. Para el caso de Chihuahua, la matriz generada se derivó del procesamiento de la serie V vs. la serie VI de Uso de Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de los años 2011 y 2014, respectivamente.

El resultado es la identificación de las superficies por tipo de vegetación que cambian de uso de suelo y las superficies que permanecen con el mismo uso en hectáreas. La forma de extraer la información específica del estado de Chihuahua es a través del Programa ArcGis®, donde se selecciona el estado y luego se aplica la función "extract by attributes", para obtener los datos requeridos. Posteriormente, se realiza un traslape entre las series para la generación de la matriz de cambio del periodo.

Las superficies de aquellas tierras que permanecen en el mismo uso de suelo (valores en diagonal en la matriz de cambio) dentro de ambas series se utilizan sin anualizar, ya que repre-

sentan la cantidad de vegetación que permanece a lo largo de ese periodo; mientras que los cambios de uso de un tipo de tierra a otro se dividen entre los años transcurridos entre el periodo (3 años), para obtener el valor de cambio anual.

El periodo que corresponde a este análisis comprende de 2011 a 2014, dado que la serie V y VI son las últimas series de usos de suelo y vegetación que el INEGI ha publicado. Por lo que los datos de 2015 a 2017 se toman de acuerdo a esta dinámica observada en este periodo, tal como lo ha realizado México a nivel nacional, es decir, se toman los mismos valores anuales de cambio y permanencias. El Cuadro A1.50 resume la superficie de cambio entre los dos periodos.

Cuadro A1.50 Resumen de la superficie de cambio entre la serie V y VI de usos de suelo y vegetación del INEGI.

Superficie anual de cambio (Serie Va - Serie VI)			
Clave Subcategoría	Cambio de	a	Superficie (ha)
01. FL - FL	Tierras forestales	Tierras forestales	7,555,177
02. FL - FLd	Tierras forestales	Tierras forestales degradadas	6,642
03. FLd - FL	Tierras forestales degradadas	Tierras forestales	7,480
04. FL - GL	Tierras forestales	Pastizales	19,026
05. FL - CL	Tierras forestales	Tierras agrícolas	18,096
06. FL - SL	Tierras forestales	Asentamientos humanos	222
07. FL - OL	Tierras forestales	Otro tipo de suelo	861
08. FL - WL	Tierras forestales	Humedales	44
09. CONVL - FL	Tierras convertidas de otro tipo	Tierras forestales	28,651
10. GL - GL	Pastizales	Pastizales	14,539,943
11. GL - CL	Pastizales	Tierras agrícolas	56,090
12. GL - SL	Pastizales	Asentamientos humanos	1,530
13. GL - OL	Pastizales	Otro tipo de suelo	1,167
14. GL - WL	Pastizales	Humedales	284
15. CONVL - GL	Tierras convertidas de otro tipo	Pastizales	12,766
16. CLPne - CLPne	Tierras agrícolas perenes	Tierras agrícolas perenes	26,166
17. NO APLICA			2,352,129

Nota: Los mismos prefijos significa permanencia y diferentes prefijos significa deforestación (FL) o pérdida (otros)

FL = tierras forestales

FLd - FL = recuperación de tierras forestales

FL - FLd = tierras forestales degradadas

CONVL = tierras convertidas

GL = pradera

WL = tierra de humedales

S = asentamientos humanos

OL = otras tierras

CL = tierras agrícolas

Por otro lado, México tiene desarrollado un sistema de clasificación de tierras aplicable a las seis categorías de tierra del IPCC (Cuadro A1.51), con sus respectivas subcategorías de vegetación, la cual se tomó como base para la estimación de las emisiones de la categoría [3B] Tierras en el estado de Chihuahua. En este sistema se homologó los tipos de la clasificación del INEGI, usada en las Series y particularizada a las condiciones de México, con la recomendada por el IPCC³². Dicha clasificación se utiliza desde el Primer Informe Bienal de Actualización³³, que presentó el gobierno mexicano ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. También se utilizó como referencia el INEGYCEI 1990-2015, específicamente el anexo D, [3] AFOLU, Sección [3B] Tierra.

Dentro de las tierras forestales que permanecen tenemos los siguientes tipos de transiciones: 1) las que no cambian a ningún tipo de vegetación distinta; 2) aquellas que conservan el tipo

de vegetación, pero cambian en su “estado”, por ejemplo, de una condición primaria a secundaria. Para fines de inventario la condición primaria a secundaria se conoce como “degradación” y el cambio de condición secundaria a primaria como “recuperación”.

En las permanencias de tierras forestales, se tienen falsos cambios, derivados de la unión de las dos series INEGI. Esto sucede al comparar dos mapas temáticos para la detección de cambios, generándose cambios que no reflejan necesariamente los cambios reales y que son resultantes de las diferencias en la delimitación de los polígonos y de los errores de atributo, para atender estas diferencias; dichos cambios se agrupan y se suman solo considerando el uso de suelo final, como el valor real de la permanencia.

Cuadro A1.51 Sistema de clasificación de tierras utilizado para el cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero del estado de Chihuahua.

Categoría	Subcategoría	Descripción
Tierras forestales (FL)	BC	Bosque cultivado
	BCO/P	Bosque de coníferas primario
	BCO/S	Bosque de coníferas secundario
	BE/P	Bosque de encino primario
	BE/S	Bosque de encino secundario
	BM/P	Bosque mesófilo primario
	BM/S	Bosque mesófilo secundario
	EOTL/P	Especial otros tipos leñoso primario
	EOTL/S	Especial otros tipos leñoso secundario
	MXL/P	Matorral Xerófilo leñoso primario
	MXL/S	Matorral Xerófilo leñoso secundario
	SC/P	Selva caducifolia primaria
	SC/S	Selva caducifolia secundaria
	SP/P	Selva perennifolia primaria
	SP/S	Selva perennifolia secundaria
	SSC/P	Selva subcaducifolia primaria
	SSC/S	Selva subcaducifolia secundaria
	VHL/P	Vegetación hidrófila leñosa primaria
	VHL/S	Vegetación hidrófila leñosa secundaria

³² En esta clasificación se definieron 33 subcategorías, distribuyéndose de la siguiente: 19 en tierras forestales, 7 en praderas, 2 en tierras agrícolas, 3 en humedales, y 1 tanto para asentamientos humanos como para otras tierras. Para más detalle ver el INEGYCEI 1990-2015.

³³ El informe bienal se puede consultar en el siguiente enlace: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/314955/2015_bur_mexico.pdf

Cuadro A1.51 (CONT.)

Categoría	Subcategoría	Descripción
Praderas (GL)	EOTnL/P	Especial otros tipos no leñosa primaria
	EOTnL/S	Especial otros tipos no leñosa secundaria
	MXnL/P	Matorral Xerófilo no leñoso primario
	MXnL/S	Matorral Xerófilo no leñoso secundario
	P	Pastizal
	VHnL/P	Vegetación hidrófila no leñosa primaria
	VHnL/S	Vegetación hidrófila no leñosa secundaria
Tierras agrícolas (CL)	CL	Agricultura anual
	RCL	Agricultura perenne
Humedales (WL)	ACUI	Acuícola
	H2O	Agua
	PRE	Presas
Otras tierras (OL)	OT	Otras tierras
Asentamientos (S)	AH	Asentamientos humanos
País extranjero	P/E	País extranjero

Nota 1: Los prefijos de las subcategorías son utilizados en las hojas de cálculo.

Nota 2: la agricultura anual también se puede abreviar como AGR_AN y la agricultura perenne como AGR_PER

FACTORES DE EMISIÓN

México tiene valores de factores de emisión y absorción para cada tipo de vegetación y para diferentes transiciones. Estos factores provienen del procesamiento del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) a cargo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), que aporta información para los cinco almacenes de carbono, así como del procesamiento de datos del INEGI, que provee información complementaria para la estimación de carbono en suelos.

Los factores de emisión y absorción para los diferentes reservorios fueron obtenidos de las Tablas 64 a 81 del Anexo E, [3] AFOLU, Sección [3B] Tierra del INEGYCEI 1990-2015. En este Anexo, se especifica cómo aplicar los factores de emisión dependiendo el tipo de vegetación y la transición. Por ejemplo,

existen factores de emisión que se aplican a las permanencias de vegetación, los cuales tienen magnitudes pequeñas, dado que representan tasas de crecimiento; o aquellos para deforestación, relacionan la pérdida de contenido de carbono en una hectárea, por lo que los valores son mayores, ya que indican densidad. Se toman los factores de emisión de deforestación cuando hay cambios de tierras forestales a cualquier otra categoría.

Para el caso específico de tierras agrícolas que permanecen, se toma el valor por defecto del IPCC con un valor de 2.1 tC/ha. Este mismo valor es utilizado en el INEGYCEI 2000-2015.

Los archivos que respaldan los resultados presentados son:

Archivo	Descripción
Matriz Chihuahua SV-SVI.xlsx	Matriz de cambio generada del procesamiento de la serie V vs. la serie VI de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI de los años 2011 y 2014, respectivamente
Emisiones Tierras forestales Ch.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3B1]
Emisiones Tierras agrícolas.xlsx	Concentrado de parámetros necesarios para la estimación de las emisiones de la categoría [3B2]
Emisiones Praderas.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3B3]
Emisiones OT-AS-HUM Ch.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3B4], [3B5] y [3B6]
Emisiones suelos Ch.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar los contenidos de carbono y las emisiones de suelos
Datos de actividad Ch.xlsx	Hoja que concentra los datos de actividad necesarios para el cálculo de las emisiones de GEI para la categoría [3B]

[3C] FUENTES AGREGADAS Y FUENTES DE EMISIÓN NO CO₂ DE LA TIERRA

Los gases de efecto invernadero que se generan en esta categoría son: CO₂, CH₄ y N₂O. Siendo este último el gas que más se emite en las fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO₂ de la tierra. La subcategoría [3C4] Emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados es la que más contribuye a la

categoría [3C], cuyas emisiones van desde 1,468.58 GgCO₂e en 2013 a 1,573.17 GgCO₂e en 2017, lo que, en promedio en el periodo del inventario, equivale a un 64.75% del total de las emisiones en esta categoría.

En el Cuadro A1.52 se presentan las emisiones de GEI por las actividades agrupadas en esta categoría para el periodo 2013-2017 en la entidad.

Cuadro A1.52 Emisiones de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO₂ de la tierra en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/fuente	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C1] Emisiones de gases de efecto invernadero por quemado de biomasa	102.49	87.32	46.43	66.06	172.50
[3C1a] Emisiones del quemado de biomasa en tierras forestales	35.20	32.08	1.17	14.81	56.36
[3C1b] Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo	44.34	44.85	43.50	41.03	39.56
[3C1c] Emisiones del quemado de biomasa en praderas	22.95	10.38	1.76	10.22	76.59
[3C2] Encalado	2.11	2.16	2.13	2.22	2.26
[3C3] Aplicación de urea	69.21	75.27	60.12	74.19	64.31
[3C4] Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	1,468.58	1,510.82	1,429.25	1,618.94	1,573.17
[3C5] Emisiones indirectas de N ₂ O de los suelos gestionados	368.99	379.37	356.82	402.58	386.71
[3C6] Emisiones indirectas de N ₂ O resultantes de la gestión entérica	237.63	240.63	252.49	334.06	366.97
Total	2,249.01	2,295.57	2,147.23	2,498.05	2,565.93

Dentro de esta categoría también se consideran las emisiones de [3C7] Cultivo de arroz, sin embargo, el Anuario Estadístico de la Producción Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)³⁴ de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) no reporta el cultivo de arroz en el estado de Chihuahua.

Los archivos que amparan los resultados se describen en cada subcategoría o fuente.

[3C1] EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR QUEMADO DE BIOMASA

Dentro de esta subcategoría se estimaron las emisiones de CH₄ y N₂O generados por incendios producidos en tierras forestales, tierras de cultivo y pastizales. Las emisiones generadas por el quemado de biomasa en tierras de cultivo fue la que más contribuyó a las emisiones totales de esta categoría, con valores entre 44 GgCO₂ y 39.56 GgCO₂ durante el periodo del inventario, como se puede observar en el Cuadro A1.53.

Cuadro A1.53 Emisiones de la subcategoría [3C1] Emisiones de gases de efecto invernadero por quemado de biomasa en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría/fuente	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C1] Emisiones de gases de efecto invernadero por quemado de biomasa	102.49	87.32	46.43	66.06	172.50
[3C1a] Emisiones del quemado de biomasa en tierras forestales	35.20	32.08	1.17	14.81	56.36
[3C1b] Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo	44.34	44.85	43.50	41.03	39.56
[3C1c] Emisiones del quemado de biomasa en praderas	22.95	10.38	1.76	10.22	76.59

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La metodología que se siguió para determinar las emisiones de GEI por quemado de biomasa en el estado de Chihuahua fue la de las Directrices del IPCC 2006 (Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra³⁵), misma que fue utilizada en el INEGYCEI 1990-2015. Esto trae consistencia y comparabilidad a la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero que se hizo en la entidad.

La fórmula genérica que se utilizó para estimar las emisiones de cada GEI por quema de biomasa, nivel 1, es:

$$L_{\text{quema}} = A * M_B * C_F * G_{ef} * 10^{-3}$$

donde:

L_{quema} = emisiones de GE provocados por la quema de biomasa en tonelada de cada GEI/año

A = superficie quemada en ha³⁶

M_B = masa de combustible disponible para la combustión en t/ha

C_f = factor de combustión sin dimensión

G_{ef} = factor de emisión en g/kg de materia seca quemada

Es importante aclarar que solo se reportan las emisiones de CH₄ y N₂O y no de CO₂, de acuerdo a las Directrices del IPCC 2006.

DATOS DE ACTIVIDAD

Para estimar las emisiones de las fuentes [3C1a] y [3C1c] se necesita la superficie afectada por incendios, así como factores de consumo y masa disponible. La determinación de estos dos últimos parámetros factores se basó en la metodología usada en el INEGYCEI 1990-2015.

Para la determinación de superficie afectada por incendios, se realizó una inferencia con la información disponible de tipos de vegetación forestal afectada por incendios en el estado, de la superficie por tipo de vegetación forestal y el estrato afectado por incendios en el reporte de CONAFOR³⁷.

Para los incendios superficiales los estratos que la conforman son: el horizonte de fermentación, hojas superficiales, material leñoso caído, vegetación de baja altura (estrato herbáceo) y arbustos. Para caracterizar y cuantificar la biomasa y necromasa de estos estratos por tipo de vegetación, se realizó bajo la metodología indicada en el INEGYCEI 1990-2015.

³⁴ Se puede consultar este dato en: <https://nube.siap.gob.mx/cierrea-agricola/>

³⁵ Las Directrices para determinar las emisiones y absorciones de la categoría [3B] se pueden consultar en: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>

³⁶ En este caso, que se aplicó el nivel uno, y de acuerdo a las Directrices

del IPCC 2006, la hojarasca molida y madera muerta equivalen a cero, ya que no mueren a causa del fuego o quema.

³⁷ Comisión Nacional Forestal. 2018. Reporte anual de incendios y terminología. Fecha de publicación: 5 de enero de 2018. Consultado en: <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reporte-anual-de-incendios-y-terminologia>

Para estimar las emisiones de la fuente [3C1b] generadas por la quema de biomasa en tierras de cultivo, se necesita la superficie sembrada nacional y la específica del estado de Chihuahua, datos que se obtuvieron del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SIAP), de la ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social. Con estas estadísticas se infirió que la entidad contribuye con cerca del 5% de las emisiones nacionales de GEI por esta actividad.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión para las fuentes [3C1a] y [3C1c] se tomaron del IPCC.

Los archivos que respaldan los resultados presentados y detallan los parámetros utilizados son:

Archivo	Descripción
3C1b.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la subcategoría [3C1b] Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo
Superficies incendios Ch	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones CH ₄ y N ₂ O de las subcategorías [3C1a] y [3C1c]. (Nota. Por la naturaleza de la información requerida, estas subcategorías son estimadas dentro de la categoría [3B])
Emisiones Incendios CO ₂ e Ch	Hoja de cálculo donde se convierte las emisiones de CH ₄ y N ₂ O de las subcategorías [3C1a] y [3C1c] a GgCO ₂ e. Misma nota.

[3C2] ENCALADO

El encalado es un proceso utilizado para reducir la acidez del suelo y mejorar el crecimiento de los cultivos. Los compuestos utilizados en este procedimiento, pueden ser cal o dolomita, los cuales se disuelven y liberan bicarbonatos, para finalmente convertirse en CO₂ y agua. Las emisiones provenientes de esta subcategoría son muy pequeñas, contribuyendo con alrededor del 0.1% anualmente al total de la categoría [3C], como puede observarse en el Cuadro A1.54.

Cuadro A1.54 Emisiones de la subcategoría [3C2] Encalado en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C2] Encalado	2.11	2.16	2.13	2.22	2.26

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones provenientes del proceso de encalado se cuantifican utilizando la metodología indicada en las Directrices del IPCC 2006, Vol. 5, Capítulo 11. Como método se selecciona el nivel 1, conforme a la siguiente ecuación:

donde:

Emisiones CO₂ = emisiones anuales de C por aplicación de cal en t de C/año

M = cantidad anual de piedra caliza o dolomita en t/año

FE = factor de emisión en t de C (t cal o dolomita)⁻¹

$$Emisiones CO_2 = (M_{Caliza} * EF_{Caliza}) + (M_{Dolomita} * EF_{Dolomita})$$

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de producción de cal y dolomita son los datos de actividad necesarios para la determinación de las emisiones de CO₂ derivadas del proceso de encalado. Estos datos se obtuvieron del Banco de Información Económica del INEGI³⁹. Es importante precisar que la información es agregada a nivel nacional, no está desglosada por entidad federativa.

Otras consideraciones importantes para la cuantificación de las emisiones de esta subcategoría, es la establecida en el INEGYCEI 1990-2015, donde se explica que el encalado de suelos no suele ser una práctica que se haga comúnmente en el país, por lo que se determinó que el 2% de la producción nacional de estos compuestos es el que se destina a usos agrícolas⁴⁰. Con este parámetro se procedió a determinar la cantidad de cal y dolomita incorporados anualmente a las superficies cultivadas del país.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión utilizados fueron por defecto: 0.12 t de C (t cal)⁻¹ para la piedra caliza y 0.13 t de C (t dolomita)⁻¹ para la dolomita⁴¹.

El archivo, que respalda los resultados presentados y detalla los parámetros utilizados, es:

Archivo	Descripción
3C2.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3C2] Encalado

[3C3] APLICACIÓN DE UREA

La urea es un compuesto que se utiliza en la fabricación de fertilizantes agrícolas por su alto contenido en nitrógeno. Al aplicar este químico a los suelos, se convierte en amonio, ion hidroxilo y bicarbonato. Este último se convierte en CO₂ y agua.

Las emisiones de CO₂ generadas en esta subcategoría contri-buyen, en promedio, del periodo del inventario, en alrededor del 3% del total de la categoría [3C]. El Cuadro A1.55 muestra los valores cuantificados en el estado de Chihuahua que se emiten por la aplicación de la urea a los suelos durante la fertilización.

Cuadro A1.55 Emisiones de la subcategoría [3C3] Fabricación de urea en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C3] Aplicación de urea	69.21	75.27	60.12	74.19	64.31

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La cuantificación de las emisiones provenientes en la aplicación de urea se realizó utilizando la metodología, nivel 1, de las Directrices del IPCC 2006 (Vol. 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra⁴²), misma que fue utilizada en el INEGYCEI 1990-2015.

La ecuación empleada para estimar las emisiones de CO₂ generadas en esta subcategoría es:

$$CO_2 - C = M * EF$$

donde:

CO₂ - C = emisiones anuales de C por aplicación de urea en t C/año

M = cantidad anual de fertilización con urea en t urea/año

EF = Factor de emisión en t C (t de urea)⁻¹

DATOS DE ACTIVIDAD

Las emisiones por esta fuente se estimaron a partir de los datos sobre el consumo de urea en México proporcionados por la Asociación Internacional de Industrias del Fertilizante⁴³. Este dato se proporciona en miles de toneladas de nitrógeno por

³⁹ [https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserPa-dre=104001000142013000400010]

⁴⁰ INEGYCEI 1990-2015, p. 186. (Parámetro basado por juicio de expertos)

⁴¹ Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 11: Emisiones de N₂O de los

suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea.

⁴² Las Directrices para determinar las emisiones y absorciones de la categoría [3B] se pueden consultar en:

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html

⁴³ [https://www.ifastat.org]

año. Para obtener la cantidad de urea incorporada en suelos en el periodo 2013-2017 en México, se dividió la cantidad de nitrógeno registrada, entre la proporción de este elemento químico en la molécula de urea (0.47).

También se consultaron las superficies totales cultivadas y las superficies cultivadas fertilizadas en el país y en el estado de Chihuahua, publicadas por el SIAP.

Con las estimaciones de la urea consumida y las superficies cultivadas fertilizadas en el país se determinó la cantidad de urea incorporada en suelos por unidad de área (kg C/ha) en México.

Bajo el supuesto de que la cantidad de urea incorporada en suelos por unidad de superficie es la misma en todo el país, se estimó la cantidad de urea consumida en el estado de Chihuahua.

Ante la falta de datos sobre consumo de urea correspondiente al año 2017, se computó un pronóstico basado en los valores registrados en el periodo 2013-2016.

FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión utilizado fue por defecto y es igual a 0.20 toneladas de C/toneladas de urea⁴⁴.

El archivo que respalda los resultados presentados y detalla los parámetros utilizados, es:

Archivo	Descripción
3C3.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3C3] Aplicación de urea

[3C4] EMISIONES DIRECTAS DE N₂O DE LOS SUELOS GESTIONADOS

En esta categoría se contabilizan las emisiones de óxido nitroso provenientes de la incorporación en nitrógeno por tres vías: fertilizante sintético, excretas del ganado en pastoreo y acumulación y descomposición de biomasa por parte de los cultivos.

En el Cuadro A1.56 se muestran las emisiones de esta subcategoría, contribuyendo, en promedio, con casi el 65% del total de la categoría, en el periodo del inventario.

Cuadro A1.56 Emisiones de la subcategoría [3C4] Emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C4] Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	1,468.58	1,510.82	1,429.25	1,618.94	1,573.17

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Para estimar las emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados en el estado de Chihuahua, se empleó el nivel 1, de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11. La ecuación general que se utilizó es la siguiente:

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N \text{ aportes}} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP}$$

donde:

$N_2O_{Directas} - N$ = emisiones directas anuales de N₂O – N producidas a partir de suelos gestionados en kg N₂O – N/año

$N_2O - N_{N \text{ aportes}}$ = emisiones directas anuales de N₂O – N producidas por aportes de N a suelos gestionados en kg N₂O – N/año (fertilizantes sintéticos nitrogenados, F_{SN})

$N_2O - N_{OS}$ = emisiones directas anuales de N₂O – N de suelos orgánicos gestionados en kg N₂O – N/año (cantidad de N contenida en residuos agrícolas, F_{cr})

$N_2O - N_{PRP}$ = emisiones directas anuales de N₂O – N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo en kg N₂O – N/año (cantidad de N proveniente del manejo de excretas de los animales, F_{PRP})

⁴⁴ Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Cap. 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea.

Para calcular cada término de esta ecuación, ver la fórmula desarrollada completa de la ecuación 11.1 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11. Para estimar FCR se utilizó un método alternativo, con la ecuación 11.7a de las mismas directrices.

La conversión de emisiones de N_2O-N en emisiones de N_2O se realiza a través de la siguiente relación:

$$N_2O = N_2O - N * 44/28$$

DATOS DE ACTIVIDAD

Para cuantificar las emisiones provenientes de los fertilizantes sintéticos nitrogenados aplicados a los suelos se utilizó los datos de consumo anual de fertilizante, el cual se obtuvo, a nivel nacional, de la Asociación Internacional de Industrias del Fertilizante⁴⁵. También se utilizó la superficie cultivada fertilizada nacional y del estado de Chihuahua, las cuales se consultaron en el SIAP⁴⁶.

Para estimar las emisiones provenientes del manejo de excretas de los animales se necesitó contar con las poblaciones de bovinos, caprinos, caballos, mulas, asnos y ovinos en el periodo del inventario. Estos datos son los mismos que se utilizaron para cuantificar las emisiones de las subcategorías [3A1] y [3A2]⁴⁷.

Para determinar las emisiones originadas por la acumulación y descomposición de biomasa proveniente de los cultivos, los datos de actividad necesarios son principalmente la superficie cosechada y el rendimiento por hectárea, los cuales se obtuvieron del SIAP⁴⁸.

FACTORES DE EMISIÓN

Para las tres actividades generadoras de emisiones de N_2O se utilizan los factores de emisión por defecto, los cuales son tomados del Cuadro 11.1 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11⁴⁹.

Los archivos que respaldan los resultados presentados y los parámetros utilizados son:

Archivo	Descripción
3C4.xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [3C4]
3C4(FCR).xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar la cantidad de N proveniente del manejo de excretas de los animales

[3C5] EMISIONES INDIRECTAS DE N_2O DE LOS SUELOS GESTIONADOS

Estas emisiones corresponden a las fracciones de nitrógeno que por los procesos de volatilización y lixiviación se desprenden de las fuentes anteriormente mencionadas: fertilizantes sintéticos, excretas del ganado en pastoreo y acumulación y descomposición de biomasa de los cultivos.

En el Cuadro A1.57 se muestran las emisiones de esta subcategoría, contribuyendo, en promedio, con alrededor del 16% del total de la categoría [3C], en el periodo del inventario.

Consideraciones metodológicas

Cuadro A1.57 Emisiones de la subcategoría [3C5] Emisiones indirectas de N_2O de los suelos gestionados en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C5] Emisiones indirectas de N_2O de los suelos gestionados	368.99	379.37	356.82	402.58	386.71

⁴⁵ <https://www.ifastat.org/databases/>

⁴⁶ <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/tecnologia/Fertilizada.pdf>

⁴⁷ <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762?idiom=es>

⁴⁸ <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola>

⁴⁹ Usar siempre los valores de las versiones de las Directrices en inglés.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Para estimar las emisiones directas de N_2O de los suelos gestionados en el estado de Chihuahua, se empleó el nivel 1, de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11.

La ecuación para determinar las emisiones de los procesos de volatilización es la 11.9 del mismo volumen mencionado de las directrices:

donde:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * Frac_{GASM})] * EF_4$$

$N_2O_{(ATD)} - N$ = cantidad anual de $N_2O - N$ producida por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados en kg $N_2O - N/año$

F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada a los suelos kg N/año

$Frac_{GASF}$ = fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x en kg N volatilizado/kg N aplicado a los suelos en kg N/año

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos en kg N/año

F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada

por animales de pastoreo en pasturas, prados y praderas en kgN/año

$Frac_{GASF}$ = fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F_{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (F_{PRP}) que se volatiliza como NH_3 y NO_x en kg N volatilizado/kg N aplicado o depositado

EF_4 = Factor de emisión en kg N – N_2O /kg $NH_3 - N + NO_x - N$ volatilizado

La ecuación para determinar las emisiones de los procesos de lixiviación es la 11.10 de las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11:

$$N_2O_{(L)} - N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) * Frac_{LIXIVIACIÓN-(H)} * EF_5$$

donde:

$N_2O_{(L)} - N$ = cantidad anual de $N_2O - N$ producida por lixiviación y escurrimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos en kg $N_2O - N/año$

F_{SN} = cantidad anual de N de fertilizantes sintéticos aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kg N/año

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal gestionado, compost, lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kg N/año

F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por animales de pastoreo en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kgN/año

F_{CR} = cantidad de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y de la renovación de forraje/pastura, devuelta a los suelos anualmente en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kg N/año

F_{SOM} = cantidad anual de N mineralizado en suelos minerales relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo, como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kg N/año

$Frac_{LIXIVIACIÓN-(H)}$ = fracción de todo el N agregado/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrimiento en kg N/kg de agregados de N

EF_5 = Factor de emisión en kg N – N_2O /kg N por lixiviación y escurrido

La conversión de emisiones de N_2O Directas – N y $N_2O(L) - N$ en emisiones de N_2O se realiza con la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O - N * 44/28$$

DATOS DE ACTIVIDAD

Para estimar las emisiones indirectas de N_2O de los suelos gestionados, se utilizan los mismos datos de actividad que en la subcategoría [3C4].

FACTORES DE EMISIÓN

En la cuantificación de las emisiones de esta subcategoría, se emplearon los factores de emisión por defecto indicados en las Directrices del IPCC 2006, Vol. 4, Capítulo 11. También se requiere valores para las fracciones de N que se pierden por volatilización o lixiviación. Estos valores por defecto fueron tomados de la Tabla 11.3⁵⁰ de las directrices mencionadas.

[3C6] EMISIONES INDIRECTAS DE N_2O RESULTANTES DE LA GESTIÓN DE ESTIÉRCOL

Esta fuente de emisión se cuantificó, en conjunto, con la subcategoría [3A2] Gestión de estiércol, ya que la misma información que se usó para ésta, se utiliza para determinar las emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión de estiércol.

Las emisiones N_2O generadas en la subcategoría durante el periodo 2013-2017 se muestran en el Cuadro A1.58, siendo la tercera fuente más importante de la categoría [3C]. En promedio, participan con alrededor del 12% del total, en el periodo del inventario.

Consideraciones metodológicas

Para revisar la metodología y los parámetros usados para cuantificar las emisiones de esta subcategoría, favor de ver la sección [3A2] Gestión de estiércol.

Cuadro A1.58 Emisiones de la subcategoría [3C6] Emisiones indirectas de N_2O de la gestión de estiércol en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en $GgCO_2e$.

Subcategoría	GgCO ₂				
	2013	2014	2015	2016	2017
[3C6] Emisiones indirectas de N_2O resultantes de la gestión entérica	237.63	240.63	252.49	334.06	366.97

SECTOR [4] RESIDUOS⁵¹

Las emisiones del sector residuos incluyen las generadas en el tratamiento y eliminación de residuos. La estructura de este sector engloba a 4 categorías, de acuerdo a las directrices del IPCC 2006: [4A] Eliminación de residuos sólidos urbanos, [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos, [4C] Incineración y quema abierta de residuos y [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Los gases que se contabilizan en estas fuentes son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido

nitroso (N_2O) y de éstos, el metano es el principal gas que se emite en el sector residuos, con una aportación de 727.08 Gg- CO_2e , equivalente al 89.72% en 2017.

En el Cuadro A1.59 se presentan las emisiones del periodo 2013-2017, mientras que en el Cuadro A1.60 presenta la contribución de cada gas estimado en el sector residuos.

Cuadro A1.59 Emisiones en el sector [4] Residuos en el periodo 2013 al 2017 en el estado de Chihuahua en $GgCO_2e$.

Categoría	GgCO _{2e}				
	2013	2014	2015	2016	2017
[4A] Eliminación de residuos sólidos urbanos	459.15	483.83	509.74	536.38	564.42
[4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos	0.14	0.21	0.27	0.34	0.40
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos	33.50	34.19	34.83	35.49	36.15
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales	192.39	193.12	198.78	204.85	209.39
TOTAL	685.19	711.35	743.62	777.05	810.36

⁵⁰ Usar siempre los valores de las versiones de las Directrices en inglés.

⁵¹ En este sector, las autoridades mexicanas han sustituido algunos de los nombres de las categorías por palabras que son usadas en nuestro país para entender mejor los términos. Por lo tanto, se decidió adop-

tar los mismos nombres que en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero para el Inventario de Chihuahua.

Cuadro A1.60 Emisiones por tipo de gas de efecto invernadero en el sector [4] Residuos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Gas	GgCO ₂ e				
	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	17.09	17.46	17.79	18.13	18.47
CH ₄	610.87	634.75	665.96	696.01	727.08
N ₂ O	57.23	59.13	59.87	62.92	64.82
Total	685.19	711.35	743.62	777.05	810.36

A continuación, se describen los aspectos más importantes que se consideraron para el cálculo de cada categoría del sector residuos.

[4A] ELIMINACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En esta categoría se contabilizan las emisiones generadas en los sitios de disposición final (SDF) de los residuos sólidos urbanos. A nivel internacional, estos sitios contribuyen entre tres y cuatro por ciento del total de emisiones de metano, que es el gas de efecto invernadero que más se emite en esta categoría. Los sitios de disposición final también producen dióxido de carbón, pero como se origina, principalmente, de la descomposición de materia orgánica proveniente de cultivos o madera, se considera emisiones biogénicas y, por lo tanto, no se incluye como tal en las emisiones totales nacionales⁵².

En esta categoría se estimaron las subcategorías:

- [4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)
- [4A2] Sitios no controlados de eliminación de residuos

El INECC⁵³ describe a la subcategoría [4A1] Sitios gestionados, a aquellos que tienen una infraestructura que incluye métodos y obras de ingeniería que controlan la fuga de lixiviados y la generación de biogás y que se rigen por la NOM-083-SEMAR-NAT-2003; mientras que los sitios no controlados, los define como aquellas instalaciones que disponen de cierto nivel de ingeniería, pero no cumplen con la totalidad de la norma referida.

Las emisiones de la categoría [4A] aumentaron un poco más de 100 GgCO₂e entre 2013 y 2017, principalmente debido al crecimiento que se observó en la subcategoría [4A1] (ver Cuadro A1.61). De acuerdo al INECC⁵⁴, esto se debe al incremento del número de rellenos sanitarios, así como de las cantidades de residuos que se disponen en estos sitios de disposición final.

Cuadro A1.61 Emisiones generadas por la categoría [4A] Eliminación de residuos sólidos urbanos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GEI	GgCO ₂ e				
		2013	2014	2015	2016	2017
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	CH ₄	371.59	394.76	419.33	444.47	471.42
[4A2] Sitios no controlados de eliminación de residuos	CH ₄	87.56	89.07	90.41	91.91	93.00
TOTAL		459.15	483.83	509.74	536.38	564.42

⁵² Directrices del IPPC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 3: Eliminación de desechos sólidos (versión en inglés).

⁵³ SEMARNAT-INECC (2018b). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Apoyado por GEF y PNUD.

⁵⁴ Ibid.

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de las emisiones de metano proveniente de los sitios de disposición final se realiza utilizando la metodología planteada en las Directrices del IPCC 2006, Vol. 5, Capítulo 3. Como método se selecciona el nivel 1, el cual se basa en un modelo de decaimiento o descomposición de primer orden (FOD, por sus siglas en inglés). Los parámetros utilizados son principalmente por "defecto" recomendados por el IPCC. Los datos de actividad provienen en su mayor parte del documento "Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Chihuahua, 2012" publicado por el Gobierno del Estado de Chihuahua y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Las emisiones de metano provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos se generan como resultado de la degradación del material orgánico bajo condiciones anaeróbicas. El modelo FOD utilizado, parte de la idea de que el potencial de generación de metano de los residuos que se depositan en un sitio dado decrece gradualmente a través del tiempo, recomendando estimar las emisiones partiendo de 50 años atrás. En este ejercicio, se tomó el año 1970 como inicio en el cálculo de emisiones.

La estimación se realizó utilizando una herramienta Excel, desarrollada por el IPCC (ver archivo IPCC_Waste_Model_Chihuahua.xls) y que puede descargarse de https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/IPCC_Waste_Model.xls.

La base para el cálculo de las emisiones de CH₄ es la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC por sus siglas en inglés) o DDOC_m⁵⁵ como se define en la siguiente ecuación, e indica la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaeróbicas en los SDF.

$$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF$$

donde:

DDOC_m = masa de carbón orgánico degradable depositado en Gg

W = masa de residuos depositados en Gg

DOC = carbón orgánico degradable en el año en que se depositó (fracción)

DOC_f = fracción de DOC que puede descomponerse

MCF = fracción de corrección de metano

Los valores de DOC y DOC_f son parámetros por defecto y se abordan más adelante.

DATOS DE ACTIVIDAD

La estimación de cantidad de materia degradable por tipo de materia que llega a los sitios de disposición final se calcula mediante la siguiente ecuación, para cada año a partir de 1970:

$$W_{m(año\ n)} = Población \times GPC_{año} \times \%tSWDS \times \%Comida$$

donde:

W_{m(año n)} = cantidad de materia degradable por tipo de materia

Población = Población (habitantes)

GPC_{año} = generación per cápita para el año n

%tSWDS = porcentaje del total de residuos generados que llegan a los sitios para el año n

%Comida = porcentaje de comida respecto al total de residuos para el año n

Para determinar la población, se utilizaron los datos de los censos y conteos de población de 1970 a 2005 de INEGI, y con base en ellos, se calculó la tasa media de crecimiento anual, dando un valor de 1.9%; los datos de los años intermedios se obtuvieron por interpolación.

Para determinar la generación per cápita (gdp), se utilizaron los datos a nivel nacional que ha reportado SEMARNAT⁵⁶, y a partir de ellos, se calculó la tasa media de crecimiento anual a partir de los años 1975 y 2012 que fue de 2.7%.

Sobre la composición de los residuos depositados en los sitios de disposición final, se consideró que se mantenía constante todo el periodo y se tomó de los datos publicados por SEMARNAT en 2012⁵⁷, clasificándolos en comida, jardín, papel, madera, textiles y pañales desechables. Para el caso del % de comida, el valor determinado fue de 25.57%. Los lodos provenientes de plantas de tratamiento, y según lo reportado por el gobierno del estado de Chihuahua⁵⁸, se generan aproximadamente 640,000 t/año en base seca, los cuales son utilizados como material de cubierta y, por lo tanto, no se canalizan a los sitios de disposición final.

Para determinar el porcentaje del total de residuos generados que llegan a los sitios de disposición final, a la generación total se le resta los residuos que se queman en traspatio, o se entierran o se tiran en barrancas o ríos o que no se especifican. Estos datos se tomaron del INEGI⁵⁹ y se muestran a continuación (Cuadro A1.62):

⁵⁵ El índice m se refiere a la masa.

⁵⁶ SEMARNAT-INECC (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Gobierno del Estado de Chihuahua y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (2012). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Chihuahua.

⁵⁹ INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del Cuestionario Ampliado.

Cuadro A1.62 Viviendas particulares habitadas y ocupantes y su distribución porcentual según forma de desechar la basura para cada entidad federativa.

Entidad federativa	Forma de desechar la basura (%)								Proporción de la población que no deposita en SDF
	Recolección domiciliaria	Basurero público	Contenedor o depósito	Quema	Entierra	Terreno baldío o calle	Barranca, río, lago o mar	No especificado	
08 Chihuahua	89.61	1.48	1.03	6.75	0.21	0.28	0.18	0.47	92.4

Una vez obtenida toda la información que se acaba de describir, se procede a cargar los datos para correr el modelo FOD. Para el cálculo de las emisiones de esta categoría, solo se consideraron los residuos sólidos municipales, ya que no se contó con información de residuos industriales.

FACTOR DE CORRECCIÓN DE METANO (MCF)

EL MCF cuantifica el hecho de que un sitio de disposición final sin manejo produce menos metano que un sitio con manejo anaeróbico, por la misma cantidad de residuos. En las Directrices del IPCC 2006, los SDF son clasificados en 4 categorías, y a cada una de estas categorías se les asigna un factor de corrección de metano. En caso de que no se puedan categorizar los SDF dentro de las cuatro categorías, hay un valor de MCF para los SDF no categorizados que puede ser empleado. Estos valores por defecto ya están cargados en el modelo FOD y pueden consultarse en la Tabla 3.1 de las Directrices del IPCC 2006⁶⁰.

Posteriormente, se determinó el promedio ponderado del MFC para cada año, bajo el supuesto de que los rellenos sanitarios (RS) se instalan en ciudades grandes y que el 84% de los residuos se disponen en estos⁶¹. También se hicieron búsquedas en internet para buscar la antigüedad de los rellenos sanitarios.

El promedio ponderado⁶² del MCF por año se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$MCF_p = \sum_1^n FCM_n UM$$

donde:

MCF_p = factor de corrección de metano ponderado

FCM_n = factor de corrección de metano para el tipo de sitio n , por año

UM = porcentaje de residuos que llegan al sitio de disposición final del tipo n , por año

n = Tipos de sitio (superficiales no gestionados y rellenos sanitarios)

También se estimó la evolución del porcentaje de residuos que se manejan en los rellenos sanitarios del estado, asumiendo que de 1970 a 1993, el 100% de los residuos se dispusieron en sitios superficiales no gestionados y a partir de 1993, los porcentajes fueron los siguientes (Cuadro A1.63):

Cuadro A1.63 Porcentaje de residuos que llegan a los rellenos sanitarios en el estado de Chihuahua

Año	% de residuos que llegan a rellenos sanitarios
1993	39.44
1995	73.74
2004	74.25
2014	75.71
2016	77.60

Con estos resultados y considerando que la suma de los residuos que se depositan en sitios superficiales no gestionados más los que se depositan en rellenos sanitarios conforman el 100%, se puede calcular el MCF ponderado por medio del modelo FOD.

METANO GENERADO A PARTIR DEL DECAIMIENTO DE DDOCM

Con la información calculada hasta esta etapa, se aplican las ecuaciones de decaimiento de primer orden para determinar el DDOCm, ecuaciones 3.4 y 3.5 de las Directrices del IPPC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 3. Con este parámetro se puede estimar la generación de metano, utilizando la siguiente fórmula:

⁶⁰ Directrices del IPPC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 3: Eliminación de desechos sólidos (versión en inglés).

⁶¹ Gobierno del estado de Chihuahua y Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (2012). Programa Estatal para la Prevención y Gestión

Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Chihuahua.

⁶² Este cálculo del promedio ponderado se encuentra programado en el modelo FOD.

$$CH_{4\text{ generado } T} = DDOC_{m\text{ descomp } T} * F * 16/12$$

donde:

$CH_{4\text{ generado } T}$ = cantidad de metano generado

$DDOC_{m\text{ descomp } T}$ = DDOCm descompuesta en el año T en Gg

F = fracción de CH_4 por volumen en el gas generado

16/12 = la relación de peso molecular

Como en casos anteriores, estas ecuaciones también están programadas en el modelo FOD y dan resultados por tipo de residuos (comida, jardín, papel, madera, textiles y pañales desechables).

Finalmente, se calculan las emisiones totales de metano por medio de la siguiente ecuación:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = [\Sigma CH_4\ generado_{x,T} - R_T] * (1 - OX_T)$$

donde:

Emisiones de CH_4 = cantidad de metano emitido

durante el año T en Gg

T = año del inventario

x = categoría o tipo de residuo y/o material

R_T = metano recuperado durante el año T en Gg

OX_T = factor de oxidación durante el año T en fracción

Los archivos que respaldan los resultados presentados se describen a continuación:

Archivo	Descripción
Solo RS_2_IPCC_Waste_Model_Chihuahua.xls	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de los [4A1] sitios gestionados de disposición de residuos (rellenos sanitarios)
Solo SNC_2_IPCC_Waste_Model_Chihuahua.xls	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de los [4A2] sitios no controlados de disposición de residuos
IPCC_Waste_Model_Chihuahua.xls	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [4A]
Hoja de cálculo Categoría 4A.xls	Concentrado de parámetros necesarios para la estimación de las emisiones de la categoría [4A]

[4B] TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El tratamiento biológico de los residuos sólidos se refiere a la fabricación de abono orgánico o composta y la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos, por ejemplo, de comida, de jardines y parques y de lodos residuales⁶³. Los gases que se estiman en esta categoría son CH_4 y N_2O .

Las emisiones totales de la categoría 4B fueron muy pequeñas en comparación de las otras categorías del sector residuos. Los valores oscilaron entre 0.14498 GgCO₂e en 2013 hasta 0.39938 GgCO₂e en 2017, creciendo 2.75 veces entre el periodo de tiempo considerado. En esta categoría, el óxido nitroso es el que más contribuye a las emisiones, como se puede ver en el Cuadro A1.64.

⁶³ Directrices del IPCC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 4: Tratamiento biológico de los desechos sólidos.

Cuadro A1.64 Emisiones generadas por la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Categoría	GEI	GgCO ₂ e				
		2013	2014	2015	2016	2017
Tratamiento biológico de los residuos sólidos	CH ₄	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
	N ₂ O	0.05	0.12	0.18	0.24	0.31
TOTAL		0.14	0.21	0.27	0.34	0.40

A continuación, se describen los aspectos más importantes que se utilizaron para el cálculo de esta categoría del sector residuos.

Consideraciones metodológicas

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de metano

El método empleado para la estimación de emisiones de CH₄ proveniente de la subcategoría [4B] es el descrito en las Directrices del IPCC 2006⁶⁴, utilizando la siguiente fórmula:

$$Emisiones CH_4 = \sum_i (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R$$

donde:

Emisiones CH₄ = total de las emisiones de CH₄ durante el año del inventario en Gg de CH₄

M_i = masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i

EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g CH₄/kg de residuos tratados

i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

R = cantidad total de CH₄ recuperado durante el año del inventario

Estimación de óxido nitroso (N₂O)

El método empleado para la estimación de emisiones N₂O proveniente de la subcategoría [4B] es el descrito en las Directrices del IPCC 2006⁶⁵, utilizando la siguiente fórmula:

$$Emisiones N_2O = \sum_i (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R$$

donde:

Emisiones N₂O = total de las emisiones de N₂O durante el año del inventario en Gg de N₂O

M_i = masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i

EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g N₂O/kg de residuos tratados

i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

Para ambos gases, el método seleccionado es nivel 1, ya que se utilizaron los parámetros por “defecto” recomendados por el IPCC, como se indica en las secciones siguientes.

DATOS DE ACTIVIDAD

En el estado se identificaron plantas de composta en los sitios de disposición final de los municipios de Guerrero y Aldama. Ambos municipios cuentan con el dato de la cantidad de residuos que ingresan al sitio. Se asume que el porcentaje de residuos de comida es el mismo que el nacional y la proporción de residuos que se convierten a composta se toma de los factores por defecto del IPCC. Dado que la cantidad de composta producida depende fundamentalmente de la capacidad instalada, se asume que ésta permanece constante del 2013 al 2017. Los datos obtenidos se muestran en el Cuadro A1.65. Se resume la información para el cálculo de las emisiones provenientes de la categoría [4B].

Cabe señalar que es posible que existan más plantas de composta, sin embargo, no fue posible ubicar ninguna otra en el momento de la realización del inventario. Se recomienda el levantamiento y sistematización de información de dichas instalaciones.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión utilizados fueron por defecto y se muestran en el Cuadro A1.66⁶⁶.

⁶⁴ Ibid.

⁶⁵ Ibid.

⁶⁶ Ibid. Valores tomados del Cuadro 4.1.

Cuadro A1.65 Datos de actividad utilizados para el cálculo de las emisiones provenientes de la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el estado de Chihuahua, año 2012.

Municipio	Cantidad de residuos que ingresan (1) (t/día)	Fracción de los residuos de comida y jardín (2)	Fracción transformados en abono orgánico (3)	Cantidad total de residuos ingresados a tratamiento biológico (Gg)
Guerrero	35	0.349	0.06	0.767
Aldama	2.7	0.349	0.06	0.059
TOTAL				0.826

Fuente:

- 1) Gobierno del estado de Chihuahua y Universidad Autónoma de Cd. Juárez (2012). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Chihuahua. Pag. 233."
- 2) SEMARNAT, 2012. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos.
- 3) Factor por defecto tomado de IPCC. Directrices del IPCC 2006 para inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 5. Capítulo 2. Cuadro 2.1.

Cuadro A1.66 Factores de emisión de CH₄ y N₂O utilizados para el cálculo de las emisiones de la categoría [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos en el estado de Chihuahua, periodo 2013-2017.

Tipo de tratamiento biológico	Factores de emisión CH ₄ (g CH ₄ /kg de residuos tratados)		Factores de emisión N ₂ O (g N ₂ O/kg de residuos tratados)	
	Base seca	Base húmeda	Base seca	Base húmeda
Preparación abono orgánico	10	4	0.6	0.3

Los archivos que respaldan los resultados presentados para la categoría [4B] se resumen a continuación:

Archivo	Descripción
Cálculo Residuos sólidos Edo de Chihuahua.xls	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de las categorías [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos y [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos
Hoja de cálculo Categoría 4B - 4C.xls	Concentrado de parámetros necesarios para la estimación de las emisiones de las categorías [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos y [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos

[4C] INCINERACIÓN Y QUEMA A CIELO ABIERTO DE RESIDUOS

En esta categoría se contabilizan las emisiones de combustión de residuos sólidos y líquidos en instalaciones de incineración controladas y de aquellas procedentes de la quema al aire libre de materiales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, aceites, entre otros⁶⁷. En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015,

dentro de la combustión controlada, se incluye a la eliminación por la combustión de residuos peligrosos industriales y biológico-infecciosos, mientras que, en la quema al aire libre, son las generadas en viviendas. Esta misma clasificación se consideró en el inventario del estado de Chihuahua:

- [4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológico infeccioso)
- [4C2] Quema de residuos a cielo abierto

⁶⁷ Directrices del IPCC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos.

La incineración y quema a cielo abierto de residuos son fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero incluyendo el CO₂, el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Normalmente, las emisiones de CO₂ provenientes de la incineración de desechos son más significativas que las emisiones de CH₄ y N₂O⁶⁸.

Las emisiones de la categoría [4C] aumentaron muy poco entre 2013 y 2017, pasando de 33.5 a 36.15 GgCO₂e (Cuadro A1.67). La subcategoría que más emisiones generó fue la [4C2], mientras que el CO₂ fue el GEI que más contribuyó en esta categoría.

Cuadro A1.67 Emisiones generadas por la categoría [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GEI	GgCO ₂ e				
		2013	2014	2015	2016	2017
[4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológico infeccioso)	Total	-	0.05	0.05	0.05	0.05
[4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológico infeccioso)	CO ₂	-	0.05	0.05	0.05	0.05
[4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológico infeccioso)	CH ₄	-	0.00	0.00	0.00	0.00
[4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológico infeccioso)	N ₂ O	-	0.00	0.00	0.00	0.00
[4C2] Quema de residuos a cielo abierto	Total	33.50	34.13	34.78	35.43	36.10
[4C2] Quema de residuos a cielo abierto	CO ₂	17.09	17.41	17.74	18.08	18.42
[4C2] Quema de residuos a cielo abierto	CH ₄	14.01	14.27	14.54	14.81	15.09
[4C2] Quema de residuos a cielo abierto	N ₂ O	2.41	2.45	2.50	2.54	2.59
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos	Total	33.50	34.19	34.83	35.49	36.15

Nota: en la subcategoría [4C1], se puede observar que no hay emisiones para el año 2013, lo cual se debe a que la única empresa detectada en el estado inició operaciones a partir de 2014.

A continuación, se describen las consideraciones hechas para el cálculo de las subcategorías [4C1] Incineración de residuos peligrosos (industriales y biológicos infecciosos) y [4C2] Quema de residuos a cielo abierto.

[4C1] INCINERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS (INDUSTRIALES Y BIOLÓGICO INFECCIOSO)

Como se mencionó en párrafos anteriores, la incineración se define como la combustión de los residuos sólidos y líquidos en instalaciones de incineración controladas. Los tipos de residuos incinerados incluyen los residuos sólidos municipales, residuos industriales, residuos peligrosos, residuos hospitalarios y lodos de aguas servidas⁶⁹.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de bióxido de carbono

El método empleado para la estimación de emisiones de CO₂ proveniente de la subcategoría [4C1] es el descrito en las Directrices del IPCC, basándose en la siguiente ecuación:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

⁶⁹ Ibid.

donde:

$E_{\text{emisiones CO}_2}$ = emisiones de CO_2 durante el año del inventario en Gg/año

SW_i = cantidad total de residuos sólidos de tipo i (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta en Gg/año

d_{mi} = contenido de materia seca en los residuos (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta en fracción

CF_i = fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total)

FCF_i = fracción de carbono fósil en el carbón total

OF_i = factor de oxidación en fracción

$44/12$ = factor de conversión de carbón en CO_2

i = tipo de residuo incinerado/quemado al aire libre.

De acuerdo a la información sobre las fuentes en esta subcategoría en el estado de Chihuahua, el único tipo de residuos que se incinera son los hospitalarios.

DATOS DE ACTIVIDAD

En el estado de Chihuahua se cuenta con una instalación autorizada en el año de 2014 para incineración de residuos biológico-infecciosos, por lo que fue considerada como única fuente de esta subcategoría (Cuadro A1.68). Se tomó como supuesto que usa la totalidad de la capacidad instalada reportada y se tomaron los parámetros propuestos en las Directrices del IPCC 2006.

Cuadro A1.68 Información de la empresa prestadora de servicios de incineración de residuos peligrosos industriales identificada en el estado de Chihuahua.

Empresa	Municipio	Estado	Tipo de residuo	Vigencia inicio	Vigencia término	Capacidad (t)
Ecoresiduos, Desechos y Reciclados, SA de CV.	Delicias	Chihuahua	Biológico Infecciosos tales como; Patológicos; No anatómicos; Punzocortantes	3/19/2014	3/19/2024	86.4

Fuente: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos-peligrosos>

FACTOR DE EMISIÓN

Los parámetros CF y FCF correspondientes a los residuos hospitalarios son los datos por defecto del Cuadro 5.2 del capítulo 5, Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006 (versión en inglés), y se muestran en el Cuadro A1.69.

El dato sobre el contenido de materia seca en los residuos (peso húmedo) incinerados o quemados por incineración abierta (d_{mi}), fue de 65% y se tomó del Cuadro 2.6, del capítulo 2, Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006.

Cuadro A1.69 Datos por defecto para los factores de emisión de CO_2 para la incineración de residuos peligrosos y quema de residuos a cielo abierto.

Parámetro	Residuos hospitalarios (%)
Contenido de carbono total en % del peso en seco	60
Fracción de carbono fósil en % del contenido de carbono total	40

⁷⁰ Del cuadro se toma el valor de 35%, lo que implica que el contenido de materia seca sería $100-35 = 65\%$

Estimación de metano

El método empleado para la estimación de emisiones de CH_4 provenientes de la subcategoría [4C1] es el descrito en las Directrices del IPCC, basándose en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de } \text{CH}_4 = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

donde:

Emisiones de CH_4 = emisiones de CH_4 durante el año del inventario en Gg/año

IW_i = cantidad de residuos sólidos de tipo i incinerado o quemado por incineración abierta en Gg/año

EF_i = factor de emisión de CH_4 agregado en kg CH_4 /Gg de residuos

10^{-6} = factor de conversión de kilogramos a gigagramos

i = categoría o tipo de residuo incinerado/quemado al aire libre.

De acuerdo a la información sobre las fuentes en esta subcategoría en el estado de Chihuahua, el único tipo de residuos que se incinera son los hospitalarios.

DATOS DE ACTIVIDAD

El dato de actividad a utilizar es la cantidad de residuos incinerados y corresponde a la capacidad instalada para incineración de residuos biológico infeccioso autorizada a partir de 2014 y es el mismo valor utilizado para estimar las emisiones de CO_2 y N_2O . La capacidad instalada es de 86.4 t.

FACTOR DE EMISIÓN

El factor de emisión es el mostrado por defecto del Cuadro 5.3 del capítulo 5, Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006. Se supuso que se utiliza una incineración por lotes con cargador, lo que corresponde a un FE igual a 60 kg CH_4 /Gg de residuo incinerado sobre una base de peso húmedo.

[4C2] QUEMA DE RESIDUOS A CIELO ABIERTO

La quema de residuos a cielo abierto se define como la combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna. La incineración abierta también puede incluir dispositivos de incineración que no controlan el aire de combustión para mantener una temperatura adecuada y no garantizan el tiempo de residencia necesario para una combustión completa⁷¹.

Se utilizó la composición de residuos sólidos a nivel nacional y se tomaron los parámetros por defecto recomendados por el IPCC.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de bióxido de carbono

En el caso de la incineración de residuos a cielo abierto, se utiliza la misma ecuación para determinar las emisiones de CO_2 , que la de la subcategoría [4C1]. Los datos de actividad y los factores utilizados para determinar las emisiones de la subcategoría [4C2] se detallan a continuación.

DATOS DE ACTIVIDAD

La cantidad de residuos incinerados a cielo abierto es el dato de actividad utilizado para estimar las emisiones provenientes de esta subcategoría y se estima a través de la siguiente ecuación:

$$DSM_B = P * P_{frac} * DSM_P * B_{frac} * 365 * 10^{-6}$$

donde:

DSM_B = cantidad total de residuos sólidos municipales incinerados a cielo abierto en Gg/año

P = población

P_{frac} = fracción de la población que quema residuos

DSM_P = fracción de la cantidad de residuos que se incinera respecto de la cantidad total de residuos tratados

365 = cantidad de días en el año

10^{-6} = Factor de conversión de kilogramos a gigagramos

Se utilizaron los datos de población y el cálculo de la generación per cápita para cada año utilizado en la categoría [4A].

FACTOR DE EMISIÓN

Los parámetros dm, CF y FCF por tipo de residuos son los datos por defecto del Cuadro 2.4 del capítulo 2 del Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006 y se resumen en el Cuadro A1.70.

⁷¹ Directrices del IPCC 2006, Vol. 5. Desechos. Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos.

Cuadro A1.70 Valores por defecto para contenidos de materia seca, total de carbono y fracción de carbono fósil para varios componentes de los residuos sólidos municipales.

Componentes residuos	Contenido de materia seca en % del peso húmedo	Contenido total en % del peso seco		Fracción de carbono fósil en % del total de carbono	
	Por defecto	Por defecto	Rango	Por defecto	Rango
Papel/cartón	90	46	42 - 50	1	0 - 5
Textiles	80	50	25 - 50	20	0 - 50
Residuos de alimentos	40	38	20 - 50	0	-
Madera	85	50	46 - 54	0	-
Residuos de jardín y parques	40	49	45 - 55	0	0
Pañales	40	70	54 - 90	10	10
Caucho y cuero	84	67	67	20	20
Plásticos	100	75	67 - 85	100	95 - 100
Metales	100	0	0	0	0
Vidrio	100	0	0	0	0
Otros, residuos inertes	90	3	0 - 5	100	50 - 100

Fuente: Cuadro 2.4 del capítulo 2 del Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006, versión en inglés.

Estimación de metano

Para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de la quema de residuos a cielo abierto, las Directrices del IPCC reportan que el factor de emisión es 6500 g/t de residuos en peso húmedo que se utiliza la misma ecuación que se emplea en la subcategoría [4C1].

Estimación de óxido nitroso

Para determinar las emisiones de óxido nitroso, se utiliza la cantidad total de residuos sólidos municipales incinerados a cielo abierto en base seca y el factor de emisión por defecto que se utiliza es de 150 kgN₂O/Gg residuo, dato que se tomó del Cuadro 5.6 del capítulo 5, Vol. 5 de las Directrices del IPCC 2006. Estos datos se emplean en la misma ecuación de la subcategoría [4C1] para N₂O.

Los archivos que respaldan los resultados presentados para la categoría [4C] se resumen a continuación.

Archivo	Descripción
Cálculo Residuos Sólidos Edo de Chihuahua.xls	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de las categorías [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos y [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos
Hoja de cálculo Categoría 4B - 4C.xls	Concentrado de parámetros necesarios para la estimación de las emisiones de las categorías [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos y [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos

[4D] TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Se denomina aguas residuales a las aguas que resultan después de haber sido utilizadas en residencias, industrias, actividades ganaderas y otras actividades económicas. Las aguas residuales son fuente de metano (CH_4) cuando se les da un tratamiento anaeróbico. También pueden ser una fuente de óxido nitroso (N_2O). Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), de acuerdo a las Directrices del IPCC 2006, procedentes de aguas residuales no se consideran en este inventario porque son biogénicas y no deben incluirse en la cuantificación de emisiones⁷².

Esta categoría se subdivide en dos y ambas fueron estimadas en este inventario:

- [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales (ARM)
- [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales (ARI)

Los principales sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales⁷³ que son utilizados en el estado de Chihuahua son:

- Lagunas de estabilización
- Lodos activados
- Humedales (Wetland)
- Sedimentación + Wetland
- Primario o Sedimentación

Las emisiones totales de la categoría [4D] variaron entre 192.39 GgCO₂e en 2013 hasta 209.29 GgCO₂e en 2017, con un crecimiento medio anual de 1.34% (Cuadro A1.71). Como se puede observar, la fuente principal de emisiones es la subcategoría 4D1.

Por tipo de gas, las emisiones de CH_4 generadas contribuyen con un poco más de las dos terceras partes del total de esta categoría, como se ve en el Cuadro A1.72 y el resto corresponde al óxido nitroso (N_2O).

Cuadro A1.71 Emisiones generadas por la categoría [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Subcategoría	GgCO ₂ e				
	2013	2014	2015	2016	2017
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales (ARM)	741.77	748.67	750.90	745.33	742.93
[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales (ARI)	58.14	58.74	59.34	59.94	60.54
Total	799.92	807.41	810.24	805.27	803.47

Cuadro A1.72 Emisiones por tipo de gas de efecto invernadero en categoría [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales en el periodo 2013-2017 en el estado de Chihuahua en GgCO₂e.

Gas	GgCO ₂ e				
	2013	2014	2015	2016	2017
CH ₄	745.14	750.85	753.05	745.14	741.56
N ₂ O	54.77	56.56	57.19	60.13	61.92
Total	799.92	807.41	810.24	805.27	803.47

⁷² Directrices del IPCC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 6: Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales.

⁷³ Información obtenida de la publicación anual de CONAGUA sobre los Inventarios de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento

de Aguas Residuales (se pueden consultar en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>)

A continuación, se describen las consideraciones hechas para el cálculo de las subcategorías [4D1] y [4D2].

[4D1] TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Los gases de efecto invernadero que se emiten en el tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales son el CH₄ y N₂O. La cantidad de CH₄ que se produce en esta subcategoría depende de la materia orgánica degradable presente en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento, siendo la materia orgánica el factor principal para determinar el potencial de generación de este gas. Las emisio-

nes del óxido nitroso tienen como fuente principal las que se generan en los efluentes generados en el tratamiento de aguas residuales que se eliminan en medios acuáticos, como ríos, lagos o en el mar⁷⁴.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de metano

El método empleado para la estimación de emisiones CH₄ proveniente de la subcategoría [4D1] es el descrito en las Directrices del IPCC 2006, utilizando la siguiente fórmula:

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

donde:

E_{CH_4} = emisiones de metano ocurridas durante el año del inventario (kg/año)

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario (kg de DBO/año)

S = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (kg de DBO/año)

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

$T_{i,j}$ = grado de utilización del sistema de tratamiento j para cada grupo i

i = grupo rural o urbano

j = sistema de tratamiento

EF_j = factor de emisión (kg de CH₄/kg de DBO)

R = cantidad de CH₄ recuperado durante el año del inventario (kg de CH₄/año)

Para estimar el factor de emisión se emplea la siguiente ecuación:

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

donde:

EF_j = factor de emisión (kg de CH₄/kg de DBO)

j = cada sistema de tratamiento

B_o = capacidad máxima de producción de CH₄ (kg de CH₄/kg de DBO)

MCF_j = factor de corrección para el metano (fracción)

Al no contar con los datos específicos de Bo y MCF para el estado, se tomaron los valores por defecto de la Tabla 6.2 para el primero y de la 6.3 del Vol. 5, Cap. 6, de las Directrices del IPCC 2006, y los utilizados a nivel nacional en el INEGYCEI 1990-2015 para el segundo. Para el caso específico de sedimentación + wetland, se tomaron los datos de Fosa Séptica + Filtro Biológico por ser un proceso similar.

La ecuación para estimar la cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas residuales es:

$$TOW = P * DBO * 0.001 * I * 365$$

Donde:

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario (kg DBO/año)

P = población del país en el año del inventario (personas)

DBO = DBO per cápita específico del país en el año del inventario (g/persona/día)

0.001 = conversión de gramos de DBO a kilogramos de DBO

I = factor de corrección para DBO industrial adicional eliminado en las cloacas

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad para contabilizar las emisiones de esta subcategoría se estimaron con base en la información que genera CONAGUA anualmente, en su publicación *Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales*⁷⁵. Con la información de los caudales y procesos de las plantas de tratamiento de aguas existentes en el estado, se estima la cantidad generada y recolectada de aguas residuales municipales. Los datos de actividad utilizados se muestran en el Cuadro A1.73.

⁷⁴ Directrices del IPCC 2006. Vol. 5. Desechos. Capítulo 6: Tratamiento y Eliminación de Aguas Residuales.

⁷⁵ Los Inventarios Nacionales de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, del

periodo del inventario (se pueden consultar en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>)

Cuadro A1.73 Datos de actividad utilizados en la estimación de emisiones de la subcategoría [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales en el estado de Chihuahua para el periodo 2013-2017 en m³/año.

Caudal (m ³ /año)	2013	2014	2015	2016	2017*
Cantidad generada	286,467,388	289,412,136	292,310,479	295,158,792	297,974,330
Cantidad recolectada	266,414,671	269,153,287	271,848,746	274,497,677	277,116,127
Cantidad recolectada y tratada	213,069,450	219,854,850	221,787,900	221,923,608	221,923,608

a Calculado con un factor de 79m³/hab/año⁷⁶ (Ver hoja de cálculo).

b Calculado con base al 93% de cobertura de alcantarillado⁷⁷.

c Datos del 2017 fueron proyectados con base la población y caudales reportados en 2013-2016, para más detalle, ver la hoja de cálculo.

FACTORES DE EMISIÓN

Para el cálculo del factor de emisión se utiliza la ecuación mencionada, la cual está en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) y del factor de corrección para este gas (MCF). Para más detalle, ver la hoja de cálculo.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Estimación de óxido nítrico (N₂O)

El método empleado para la estimación de emisiones N₂O proveniente de la subcategoría [4D1] es el descrito en las Directrices del IPCC 2006, utilizando la siguiente fórmula:

$$E_{N_2O} = N_E \times EF_E \times 44/28$$

donde:

E_{N_2O} = emisiones de N₂O durante el año del inventario (kg N₂O/año)

N_E = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos (kg N/año)

EF_E = factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la eliminación en aguas servidas (kg N₂O/kg N)

44/28 = Este factor corresponde a la conversión de Kg de N₂O-N en kg de N₂O

La ecuación para calcular el N_E es:

$$N_E = (P * Proteína * F_{NPR} * F_{NON-CON} * F_{IND-COM}) - N_{LODO}$$

donde:

N_E = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales (kg N/año)

P = población humana

$Proteína$ = consumo per cápita anual de proteínas (kg/persona/año)

F_{NPR} = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0.16 Kg de N/kg de proteína

$F_{NON-CON}$ = factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

$F_{IND-COM}$ = factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

N_{LODO} = Nitrógeno separado con el lodo residual, por defecto = 0 kg de N/año

DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad utilizadas para la estimación de las emisiones del óxido nítrico de esta subcategoría se tomaron del Cuadro 6.11, Capítulo 6, Vol. 5, de las Directrices del IPCC 2006.

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión que se usaron para la estimación de las emisiones del óxido nítrico de esta subcategoría se tomaron del Cuadro 6.11, Capítulo 6, Vol. 5, de las Directrices del IPCC 2006.

⁷⁶ SEMARNAT (2012). Aguas residuales municipales generadas por entidad federativa, 2012. Tomado de: https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_3.html

⁷⁷ CONAGUA. (2017). Sistema Nacional de Información del Agua (pag. 249). Tomado de: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

[4D2] TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Las emisiones resultantes del tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales en el estado de Chihuahua incluyen las que fueron generadas en los procesos de producción de los siguientes giros: alimentos, celulosa y papel, jabón y detergentes, plásticos y resinas, y sustancias químicas orgánicas. Estos giros están descritos en las metodologías del IPCC, por tal motivo, las actividades industriales del estado que generan aguas residuales se homologaron según las directrices para determinar los parámetros de estimación según el giro.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Para la estimación de emisiones provenientes de las residuales industriales sólo se contempló las emisiones de CH₄ de aguas que contenían cargas significativas de carbono y que se trata bajo condiciones anaeróbicas. Las sustancias orgánicas contenidas en las aguas residuales industriales suelen expresarse en términos de demanda química de oxígeno (COD). Se empleó la siguiente ecuación para estimar estas emisiones:

$$E_{CH_4} = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$$

donde:

E_{CH_4} = emisiones de metano ocurridas durante el año del inventario (kg/año)

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales de la industria i durante el año del inventario (kg de DBO/año)

S = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (kg de COD/año)

i = sector industrial

EF_i = factor de emisión para la industria (kg de CH₄/kg de COD) para el sistema de tratamiento utilizado en el año del inventario

R = cantidad de CH₄ recuperado durante el año del inventario (kg de CH₄/año)

DATOS DE ACTIVIDAD

Los valores de volúmenes de agua residual industrial tratada se tomaron del portal Sistema Nacional de Información del Agua de CONAGUA⁷⁸, de los documentos en el portal “Estadísticas del agua en México” que para la serie 2013-2017 reportó un volumen de 20,656,080 m³ generados de aguas residuales industriales, se trató sólo 43% (8,824,688 m³); el 67% restante (11,738,329.92 m³) no fue tratado.

Para la estimación de las emisiones de CH₄ y de acuerdo a datos de la CONAGUA⁷⁹, la generación de aguas residuales se ha mantenido constante en el periodo 2013 a 2017. Por ello, los datos del volumen generado, tratado y no tratado permanecen constante en el periodo.

FACTORES DE EMISIÓN

Para el cálculo del factor de emisión se utiliza la misma ecuación que para las aguas residuales municipales, la cual está en función de la capacidad máxima de producción de CH₄ (B_0) y del factor de corrección para este gas (MCF). De acuerdo a las Directrices del IPCC 2006, si no se dispone de los datos en el país, es una buena práctica utilizar para B_0 el factor del COD por defecto del IPCC que es: 0.25 kg de CH₄/kg de COD. Los datos de MCF se tomaron del Cuadro 6.8, Capítulo 6, Vol. 5 del IPCC (versión en inglés).

Los archivos que respaldan los resultados presentados para la categoría [4D] se resumen a continuación.

Archivo	Descripción
Base_datos_Aguas_Residuales_Ch_040219 V1 LMP. xlsx	Hoja de cálculo utilizada para estimar las emisiones de la categoría [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales
Inventario-de-plan-tas-de-tratamiento-aguas-residuales-PTAR-2016. xls	Concentrado de datos sobre las PTAR utilizados en la estimación de las emisiones de las categorías [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales

⁷⁸ <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=2&n=estatal>

⁷⁹ <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>

RECOMENDACIONES

A) GENERALES

Las recomendaciones generales que se proponen se detallan a continuación:

1. Para actualizaciones futuras del IEEGEI Chihuahua sería importante estimar su incertidumbre. Habría que analizar a qué parámetros se debería obtener la incertidumbre, ya que es un proceso muy laborioso y si a nivel nacional se hace, por ejemplo, esta cuantificación a los factores de emisión de los combustibles, ya no sería necesario realizarla.

2. Establecer los mecanismos con el gobierno federal para el intercambio sistemático de información sobre las instalaciones de competencia federal.

B) ESPECÍFICAS

En la realización del inventario se identificaron las siguientes oportunidades de mejora:

1. En la categoría [3A] Ganado se recomienda generar información más precisa sobre la cantidad consumida de alimento por edad y determinar la cantidad de ganado, ambos parámetros por especie.

2. Sobre la subcategoría [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales, se considera necesario solicitar al sector industrial datos sobre los caudales generados y tratados de sus aguas residuales generadas en sus procesos de producción, con el fin de conocer las variaciones reales anuales y por un lado, estimar de manera más precisa las emisiones generadas en esta subcategoría y, por otro, poder determinar posibles adecuaciones y mejoras en los procesos productivos para disminuir las emisiones de GEI.

3. Sobre las oportunidades detectadas en la categoría [4A] Eliminación de residuos sólidos, la principal es contar con información más confiable, sistematizada y oportuna. Uno de los datos más importantes es contar con la cantidad generada de residuos per cápita en el estado, sin embargo, generar el dato de manera sistemática puede ser costoso. Una alternativa más viable es calcular las emisiones a partir de los datos de los sitios de disposición final, para lo cual se recomienda establecer un sistema de recolección de datos, que se actualice de manera anual e incluya la siguiente información:

- Cantidad de residuos que llegan al sitio
- Municipios a los que les da servicio
- Composición de los residuos
- Tipo de sitio (relleno sanitario, sitio controlado, no controlado)

- Identificar a qué categoría pertenece
- Si tiene planta de composta y la cantidad producida
- Si existe recuperación de metano
- El método de cálculo del volumen de residuos ingresados

Adicionalmente, el registro también debe de incluir el año de inicio de funciones y los sitios cerrados.

4. Sobre los datos de actividad de la categoría [3B] Tierra se recomendaría hacer un procesamiento digital derivado de imágenes satelitales, que puede generar estos datos con una mejor resolución y precisión posicional, particularmente a nivel estatal, de lo que se genera con las series INEGI de Uso de Suelo y Vegetación. Esto es porque, como aproximación nacional es adecuado su uso, sin embargo, para una escala local (1:250,000) puede resultar demasiado gruesa. Hay algunos inconvenientes con el uso de imágenes satelitales, ya que la presencia de nubosidad puede afectar las observaciones, además el procesamiento de estas imágenes requiere una importante inversión de tiempo, recursos humanos y de equipo de cómputo. Sin embargo, con información más precisa, se puede dar un mejor seguimiento a las acciones de mitigación y adaptación que se establezcan.

5. Sobre los factores de emisión de la categoría [3B] Tierra, se aconsejaría que se desarrollaran los factores de emisión estatales, ya que como en el caso de los datos de actividad, los factores de emisión nacionales (que se emplearon en las estimaciones de este inventario) son una aproximación demasiado gruesa, dado que cada región del país posee características muy específicas respecto a su vegetación y dinámica de carbono. Los FE se pueden estimar a partir de los puntos de muestreos del INFyS en el estado, así como de estudios locales de variables dasométricas⁸⁰.

6. Se recomienda al gobierno del estado, acercarse a CONAFOR para capacitarse en el desarrollo de los inventarios, en el marco del mecanismo de Reducción de Emisiones por deforestación y degradación de los bosques (REDD+) y generar sus propios datos de actividad y factores de emisión para la categoría [3B] Tierra.

7. Para los sectores de la agenda gris, sector [1] Energía y sector [2] Procesos industriales y uso de productos, es importante elaborar un censo de las industrias, que incluya la cantidad y el tipo de combustible. También es importante generar la misma información para los giros comercial, residencial e institucional.

⁸⁰ Dasometría se refiere a la ciencia que se ocupa de la determinación de volúmenes y crecimientos de los árboles y de las masas forestales, así como del estudio de las relaciones métricas y leyes que rigen su desarrollo. Consultado en: <https://drive.google.com/file/d/1au9SkWW-ju4bkuQR6oEFZ9QtOZh5VSZTA/view>

ANEXO 2

ENFOQUE REGIONAL



Fuente: Jaime Álvarez

Debido a la gran extensión territorial del estado de Chihuahua y a que en dicha extensión se presentan muy diversas características geográficas, demográficas, sociales, culturales, económicas y de infraestructura, el gobierno del estado ha establecido seis regiones económicas integradas por 12 subregiones que comparten algunas de dichas características y que permiten atender de manera más efectivas sus respectivas necesidades. Esta división obedece también a propuestas y criterios de regionalización del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial, a la conformación natural de las redes sociales, económicas y de desarrollo, así como a los análisis realizados por las Secretarías de Desarrollo Urbano, Ecología y Salud.

En la Figura A2.1 se muestra la regionalización del estado de Chihuahua.

Tomando ventaja del esfuerzo de análisis ya realizado para establecerla, esta regionalización se utilizará en el Programa Estatal de Cambio Climático del estado de Chihuahua para, a través de consultas públicas, definir las acciones prioritarias que se llevarán a cabo en materia de mitigación y adaptación al cambio climático. En el Cuadro A2.1 se presenta una descripción un tanto más detallada de las regiones con el fin de contar con elementos concretos para la asignación de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático más apropiadas a cada región.





Región JUÁREZ	Población en 2015: 1 millón 414 mil 506 habitantes. Extensión en km²: 28 mil 995. PIB: 220 mil 69 millones.	Municipios: Juárez, Ahumada, Guadalupe y Praxedis G. Guerrero.
Región NUEVO CASAS GRANDES	Población en 2015: 147 mil 146 habitantes. Extensión en km²: 36 mil 320. PIB: 16 mil 410 millones.	Municipios: Nuevo Casas Grandes, Ascensión, Buenaventura, Casas Grandes, Galeana, Ignacio Zaragoza y Janos.
Región CUAUHTÉMOC	Población en 2015: 390 mil 438 habitantes. Extensión en km²: 56 mil 381. PIB: 48 mil 812 millones.	Subregión Cuauhtémoc: Cuauhtémoc, Bachíniva, Carichí, Cusihiurichi, Gómez Farias, Namiquipa y Rivapalacio. Subregión Bocoyna: Bocoyna, Chínipas, Guazapares, Maguarichi, Moris, Ocampo, Urique, Uruachi. Subregión Guerrero: Guerrero y Matachi. Subregión Madera: Madera y Temósachi.
Región CHIHUAHUA	Población en 2015: 966 mil 391 habitantes. Extensión en km²: 48 mil 380. PIB: 180 mil 731 millones.	Subregión Chihuahua: Aldama, Aquiles Serdán, Chihuahua, Santa Isabel, Satevó, San Francisco de Borja, Belisario Domínguez, Gran Morelos, Nonoava. Subregión Ojinaga: Ojinaga, Coyame, Manuel Benavides.
Región DELICIAS	Población en 2015: 352 mil 204 habitantes. Extensión en km²: 39 mil 773. PIB: 40 mil 446 millones.	Subregión Delicias: Delicias, Julimes, Meoqui, Rosales y Saucillo. Subregión Camargo: Camargo, La Cruz y San Francisco de Conchos. Subregión Jiménez: Coronado, Jiménez, López.
Región HIDALGO DEL PARRAL	Población en 2015: 285 mil 889 habitantes. Extensión en km²: 37 mil 319. PIB: 27 mil 532 millones.	Subregión Guachochi: Guachochi, Balleza, Batopilas, Guadalupe y Calvo, Morelos. Subregión Parral: Parral, Allende, El Tule, Huejotitlán, Matamoros, Rosario, San Francisco del Oro, Santa Bárbara, Valle de Zaragoza.

Figura A2.1. Regionalización del estado de Chihuahua.

Fuente: Gobierno del Estado de Chihuahua. Plan Estatal de Desarrollo 2017 – 2021.

Cuadro A2.1. Descripción de las regiones económicas del estado de Chihuahua.

ID	Municipios (región/subregión)	Principales actividades económicas
1	JUÁREZ	
	Juárez	21 Parques industriales con 255 empresas de fabricación de accesorios, aparatos eléctricos, prendas de vestir, y productos agroindustriales y de manufacturera
	Ahumada	El Sector terciario contribuye con el 27% de la producción regional
	Praxedis G. Guerrero	La agricultura representa 1.7% de la producción regional, destacando que la región es la principal productora nacional de pistache
	Guadalupe	Principales actividades: industria y comercio y servicios
2	CHIHUAHUA	
2.1	Subregión Chihuahua	
	Chihuahua	11 Parques industriales con 259 empresas. La industria manufacturera representa el 50% de esa producción, destacando la fabricación de accesorios y aparatos eléctricos, equipos y material para uso médico, prendas de vestir y productos agroindustriales (destacando embutidos y carnes frías)
	Aldama	El comercio y servicios representan el 40 % de la actividad regional
	Aquiles Serdán	La minería tiene presencia produciendo concentrados de plomo y zinc, con cantidades importantes de plata
	Santa Isabel	En la agricultura destacan producción de nuez y algodón hueso; y en ganadería sobresalen la producción de aves y la carne de bovino.
		Principales actividades: industria, comercio y servicios
2.2	Subregión Ojinaga	
	Ojinaga	Ojinaga, es un punto relevante de comercio y exportación de la región, concentrando gran actividad de circulación vehicular para ese fin. A cambio, la Industria sólo contribuye con el 7.4% de la producción regional (maquinaria y equipo)
	Coyame	El sector primario aporta el 62% de la producción regional, destacando los cultivos de algodón hueso, maíz grano y alfalfa achicalada
	Manuel Benavides	Principal actividad: agricultura

Cuadro A2.1 (CONT.)

ID	Municipios (región/subregión)	Principales actividades económicas
3	CUAUHTÉMOC	
3.1	Subregión Cuauhtémoc	
	Namiquipa	Un parque industrial (18 empresas instaladas). La Industria Manufacturera participa con un 13%, el cual se concentra en la agroindustria, como la fabricación de lácteos y bebidas.
	Carichí	La agricultura aporta 23.8 % al producto regional, destacando una abundante cosecha de manzana.
	Bachíniva	La ganadería representa el 23% del producto con cría de ganado bovino y producción avícola.
	Cusihuiachi	La actividad minera aporta un 24% al producto regional; con trabajos sobre importantes yacimientos de oro y plata. Esa producción destaca a nivel estatal.
	Maguarichi	Principales actividades: minería, agricultura y ganadería
3.2	Subregión Guerrero	
	Guerrero	La minería aporta el 15% del producto regional, con importantes actividades de producción de oro y plata
	Madera	El sector primario genera el 69.2% de la producción regional, con actividades agrícolas de cultivos de manzana, avena forrajera y maíz grano. El sector ganadero abarca la producción bovina y avícola.
	Temósachic	
	Matachí	Principales actividades: agricultura y ganadería
3.3	Subregión Riva Palacio	
	Riva Palacio	En esta región la industria participa con el 0.2% del producto, básicamente con agroindustrias, principalmente de productos lácteos y la matanza, empackado y procesamiento de carne y aves
	Satevó	
	Nonoava	El sector primario en esta región participa con el 98.9 % del producto. Comprende actividades de ganadería; con producción de bovinos y la crianza de aves. Los cultivos agrícolas más importantes son frijol, sorgo forrajero verde y la avena forrajera achicalada
	Dr. Belisario Domínguez	
	Gran Morelos	
	San Francico de Borja	Principales actividades: agricultura y ganadería

Cuadro A2.1 (CONT.)

ID	Municipios (región/subregión)	Principales actividades económicas
4	DELICIAS	
4.1	Subregión Delicias	
	Delicias	7 parques industriales, con 11 empresas manufactureras y 2 de hidroponía. Otras actividades industriales abarcan giros agroindustriales de producción de muebles y la producción de leche, que ha generado una importante derrama al estimular la producción de forrajes, equipo de ordeña, y otros servicios conexos
	Meoqui	La ganadería participa con un 24% del producto, concentrándose en ganado bovino lechero y producción avícola. La agricultura representa un 17% del producto, con productos como nuez, alfalfa y chile verde
	Saucillo	La minería en esta región comprende una de las minas de plomo más ricas y grandes de México
	Rosales	Principales actividades: industria, agricultura y ganadería
	Julimes	
4.2	Subregión Camargo	
	Camargo	Dos parques industriales con 12 empresas instaladas Algunas de las actividades manufactureras se orientan a la fabricación de accesorios y aparatos eléctricos; equipo y material de uso médico, y la fabricación de prendas de vestir
	La Cruz	La minería regional destaca por su giro: de la región se extrae el 100% de fierro que produce la entidad La agricultura aporta 34% al producto regional, resaltando la nuez y el chile chipotle. La ganadería aporta un 20% del producto, con producción de bovinos y producción avícola.
	San Francisco de Conchos	Principal actividad: agricultura, ganadería e industria

Cuadro A2.1 (CONT.)

ID	Municipios (región/subregión)	Principales actividades económicas
5	PARRAL	
5.1	Subregión Hidalgo del Parral	
	Hidalgo del Parral	
	Guadalupe y Calvo	Esta región cuenta con un parque industrial con 9 empresas establecidas. Específicamente la industria aporta sólo con el 9.8% del producto, destacando la fabricación de equipo de transporte y la agroindustria La minería aporta el 38% de la producción regional, con extracción de plata, plomo y zinc El sector primario que contribuye con el 26.4% de la producción regional, con actividades preponderantes de cultivo de nuez, maíz y sorgo forrajero. En la actividad ganadera destaca la crianza de ganado bovino y la producción avícola. El sector terciario (Comercio, Transporte y Servicios), generan el 24% de la producción regional Principales actividades: minería, agricultura y ganadería, comercios y servicios
	Balleza	
	Santa Bárbara	
	Allende	
	Valle de Zaragoza	
	San Francisco del Oro	
	Matamoros	
	Rosario	
	El Tule	
	Huejotitán	
5.2	Subregión Guachochi	
	Guachichi	La actividad forestal aporta el 45% del producto regional. Esa actividad productiva influye en la manufactura o transformación de la madera en productos múltiples La ganadería participa con un 22%, concentrada en la producción de ganado bovino y porcino Principal actividad: forestal y ganadería
	Batopilas	
	Morelos	
5.3	Subregión Jiménez	
	Jiménez	Es una región predominantemente agrícola (61.39%), siendo la nuez su principal producto, le sigue la alfalfa acicalada, y el chile verde. La producción ganadera como segunda actividad relevante comprende la producción bovina para carne para leche. La industria manufacturera (8.2% del producto regional) comprende la fabricación de accesorios y aparatos eléctricos, la fabricación de prendas de vestir y la agroindustria, ya que también participa en la elaboración de chile chipotle, elaboración de productos lácteos y en la matanza, procesamiento y empaque de carne de ganado y aves Principal actividad: agricultura y ganadería
	López	
	Coronado	

Cuadro A2.1 (CONT.)

ID	Municipios (región/subregión)	Principales actividades económicas
6	NUEVO CASAS GRANDES	
	Nuevo Casas Grandes	Esta región cuenta con 2 parques industriales con 14 empresas establecidas. La industria participa con el 10% de la producción regional, orientada a la fabricación de equipo eléctrico, y las actividades de matanza, empacado y procesamiento de carnes y aves. El sector primario contribuye con 65% del producto. La agricultura ostenta el mayor peso (47%), donde destacan los cultivos de chile verde, maíz grano, durazno y el procesamiento de chile seco. En la actividad pecuaria destaca la crianza del guajolote Principales actividades: agricultura y ganadería e industria
	Ascensión	
	Buenaventura	
	Casas Grandes	
	Janos	
	Gómez Farías	
	Ignacio Zaragoza	
	Galeana	

ANEXO 3

RESUMEN DE LAS LÍNEAS DE ACCIÓN Y ACCIONES ESPECÍFICAS DE LA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN Y EL USO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD DEL ESTADO DE CHIHUAHUA (ECUSBIOECH)



Fuente: Miguel Urieta

Eje 1. Conocimiento científico y manejo de la información	
Líneas de acción	Acciones
1.1. Generación de conocimiento científico	1.1.1. Incrementar los recursos del Fondo Estatal de Protección al Ambiente del Estado de Chihuahua para el financiamiento de proyectos de investigación sobre la biodiversidad en el estado 1.1.2. Generar una agenda estatal de investigación 1.1.3. Realizar estudios de vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático de la biodiversidad del estado 1.1.4. Incrementar la investigación relativa a la reproducción y propagación de especies vegetales nativas útiles 1.1.5. Realizar programas de monitoreo, evaluación y un inventario integral de ecosistemas, hábitat y especies 1.1.6. Aplicar el conocimiento en ingeniería genética y métodos tradicionales de selección artificial y técnicas de clonación en la investigación agropecuaria para un mejor aprovechamiento de la actividad
1.2. Documentación, sistematización y difusión del conocimiento	1.2.1. Publicar la información disponible en el sistema de información sobre biodiversidad del estado de Chihuahua 1.2.2. Actualizar y validar y dar mantenimiento al sistema de información sobre biodiversidad del estado de Chihuahua 1.2.3. Recopilar, sistematizar y resguardar el conocimiento tradicional de las comunidades locales en el sistema de información sobre biodiversidad del estado
1.3. Formación de cuadros científicos y técnicos	1.3.1. Crear un programa de capacitación permanente dirigido a los actores clave relacionados con la biodiversidad del estado de Chihuahua 1.3.2. Formar técnicos en los pueblos originarios para la transferencia tecnológica orientada al manejo y aprovechamiento sustentable de sus territorios

Eje 2. Alternativas de desarrollo económico sustentable	
Líneas de acción	Acciones
2.1. Integración y promoción de los fundamentos de sustentabilidad	2.1.1. Instrumentar alternativas de desarrollo y aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del estado 2.1.2. Crear y fortalecer mecanismos de financiamiento conjuntos para la cooperación regional, estatal, nacional e internacional 2.1.3. Destinar presupuesto para las actividades de inclusión de la valoración de la biodiversidad 2.1.4. Implementar programas de capacitación y apoyo (económico o en especie) a productores 2.1.5. Realizar estudios sobre la valoración económica del impacto de obras y actividades respecto a la pérdida de ecosistemas, especies y servicios ambientales
2.2. Desarrollo e implementación de prácticas y tecnologías sustentables	2.2.1. Desarrollar programas para el rescate de actividades económicas tradicionales que sean sustentables 2.2.2. Capacitar y dar mayor difusión sobre prácticas ganaderas que consideren el índice actualizado de agostadero y la capacidad de carga de los ecosistemas 2.2.3. Crear e implementar programas de pesca y acuicultura sustentables con especies nativas 2.2.4. Identificar las comunidades locales con potencial para desarrollar actividades ecoturísticas y generar proyectos que aseguren su manejo y administración permanente 2.2.5. Diversificar las actividades en las áreas de ganadería extensiva y en su caso, sustituirlas por sistemas integrales 2.2.6. Realizar programas de actualización tecnológica en actividades productivas
2.3. Diversificación de actividades económicas vinculadas con el uso y conservación de la biodiversidad	2.3.1. Regular la explotación forestal planificada y especies maderables y no maderables de interés económico, favoreciendo la diversificación, el manejo integrado y la agrosilvicultura 2.3.2. Capacitar y dar mayor difusión a la agricultura orgánica y uso de biofertilizantes 2.3.3. Implementar el pago por servicios ambientales hidrológicos y captura de carbono, entre otros, incluyendo al ecosistema de pastizal 2.3.4. Regular las actividades ecoturísticas y promover nuevos proyectos bajo un esquema de respeto del medio ambiente 2.3.5. Regular el uso y aprovechamiento de las especies de flora y fauna silvestres susceptibles de aprovechamiento 2.3.6. Identificar y promover en los mercados nacionales e internacionales los productos o subproductos derivados de elementos de la biodiversidad del estado 2.3.7. Establecer un programa de cultivo de maíces nativos rescatando las prácticas tradicionales de grupos originarios del estado

Eje 3. Cultura de conservación y participación	
Líneas de acción	Acciones
3.1. Educación ambiental	3.1.1. Realizar convenios para integrar transversalmente los temas de conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado en todas las asignaturas de enseñanza básica y de nivel medio superior 3.1.2. Desarrollar y difundir programas de educación ambiental con un enfoque integral y participativo especialmente en el ámbito municipal 3.1.3. Actualizar los contenidos del programa de educación ambiental del estado de Chihuahua conforme al Estudio de Estado y a la Estrategia Nacional de Educación Ambiental 3.1.4. Ampliar la cobertura del programa de educación ambiental del estado de Chihuahua 3.1.5. Diseñar e implementar programas de capacitación para la profesionalización de la educación ambiental 3.1.6. Desarrollar un centro de educación ambiental para la formación profesional y técnica de educadores formales
3.2. Reconocimiento y conservación de los servicios y productos ambientales	3.2.1. A través de los esquemas formales y no formales, sensibilizar sobre la importancia de los recursos naturales de cada región (valores biológico, social y económico) 3.2.2. Difundir los diversos programas de apoyo económico y/o técnico institucionales destinados al manejo y aprovechamiento de los recursos naturales
3.3. Gestión de la sociedad civil organizada	3.3.1. Realizar foros y otros mecanismos de información y participación entre los diferentes sectores de la sociedad 3.3.2. Desarrollar y aplicar programas educativos en materia de biodiversidad y de extensionismo, incluyendo a los pueblos originarios 3.3.3. Incorporar la transversalidad de los programas de conservación de la biodiversidad entre los diversos consejos
3.4. Mecanismos efectivos de participación	3.4.1. Crear un programa de difusión y orientación sobre la denuncia popular ambiental entre la sociedad civil 3.4.2. Asegurar que los mecanismos de denuncia popular ambiental que garantizan la confidencialidad de los denunciantes sean efectivos
Eje 4. Protección y conservación	
4.1. Restauración y recuperación de ecosistemas y especies	4.1.7. Implementar y fortalecer los programas in situ y ex situ de protección y recuperación del hábitat de las especies catalogadas como prioritarias 4.1.8. Continuar los estudios de determinación de las especies de flora y fauna que se encuentren en algún estatus de riesgo para establecer acciones de conservación

Eje 4. Protección y conservación	
Líneas de acción	Acciones
4.2. Desarrollo e implementación de instrumentos de política en materia de biodiversidad	4.2.1. Decretar e implementar los planes de ordenamiento territorial de Barrancas del Cobre, municipio de Chihuahua y de los pastizales centrales de Chihuahua 4.2.2. Desarrollar e implementar el Programa de Ordenamiento Ecológico 4.2.3. Establecer y asegurar la consolidación del Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas 4.2.4. Crear nuevas ANP en sus diversas modalidades contempladas en la LGEEPA, de acuerdo con las necesidades y sociales del estado 4.2.5. Promover la certificación de áreas de conservación y decretos internacionales de sitios naturales como patrimonios de la humanidad y reservas de la biosfera 4.2.6. Difundir, orientar y apoyar la adopción voluntaria, comunal, ejidal y privada de áreas de conservación 4.2.7. Promover la diversificación productiva del sector rural a través de las Unidades de Manejo para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA)
4.3. Gestión integral de los recursos hídricos para el mantenimiento y conservación de las especies	4.3.1. Determinar los caudales ecológicos y establecer los mecanismos de gestión para la regulación de los ecosistemas de agua dulce 4.3.2. Elaborar e implementar un programa de restauración y manejo de las cuencas hidrológicas 4.3.3. Incorporar las experiencias exitosas en el manejo de cuencas hidrográficas y sus recursos naturales 4.3.4. Restringir la apertura de pozos en áreas prioritarias para la conservación, corredores biológicos, entre otros
Eje 5. Desarrollo institucional y fortalecimiento del marco jurídico y normativo	
5.1. Creación y fortalecimiento de capacidades institucionales	5.1.1. Fortalecer la comunicación con las instancias de los tres niveles de gobierno 5.1.2. Gestionar la creación de la secretaría de medio ambiente en el estado 5.1.3. Crear una procuraduría ambiental estatal 5.1.4. Establecer un mecanismo de rendición de cuentas para el fondo ambiental del estado de Chihuahua 5.1.5. Fortalecer a través del Consejo Estatal para la Protección al Ambiente y Desarrollo Sustentable la vinculación academia-sociedad-gobierno 5.1.6. Crear programas de capacitación para funcionarios públicos, estatales y municipales

Eje 5. Desarrollo institucional y fortalecimiento del marco jurídico y normativo	
Líneas de acción	Acciones
5.2. Armonización del marco jurídico y normativo, las políticas públicas y su aplicación en la toma de decisiones	5.2.1. Elaborar y publicar normas técnicas ecológicas estatales para el uso sustentable y conservación de la biodiversidad 5.2.2. Proponer iniciativas de creación y reforma de legislación ambiental estatal y sus reglamentos para su armonización con el marco federal y municipal 5.2.3. Apoyar a los municipios en la elaboración y aplicación de reglamentos municipales ambientales que integren criterios de conservación de la biodiversidad 5.2.4. Incluir en la estructura de gestión de los municipios áreas que atiendan temas de ecología 5.2.5. Incorporar en la legislación estatal la conservación de especies forestales no maderables no consideradas en la legislación existente
Eje 6. Atención de amenazas a la biodiversidad	
6.1. Reducción del cambio de uso del suelo y la pérdida de ecosistemas	6.1.1. Prohibir las autorizaciones de cambio de uso de suelo en hábitats críticos de conservación de especies prioritarias y corredores biológicos 6.1.2. Elaborar e implementar los ordenamientos ecológicos territoriales 6.1.3. Apoyar el extensionismo rural a través de capacitación, apoyo financiero, transferencia de tecnología y planes de manejo específicos 6.1.4. Actualizar el coeficiente de agostadero adecuado para los ecosistemas del estado
6.2. Prevención, control y erradicación de especies invasoras	6.2.1. Validar, publicar e implementar el plan de acción para la prevención y control de especies exóticas invasoras
6.3. Mitigación y adaptación al cambio climático	6.3.1. Incorporar en la legislación estatal el tema de los efectos del cambio climático en la biodiversidad 6.3.2. Elaborar escenarios de vulnerabilidad y adaptación en materia de biodiversidad 6.3.3. Mantener e incrementar la cobertura forestal
6.4. Prevención y control de la sobre-explotación de la biodiversidad	6.4.1. Fortalecer los cuerpos de vigilancia participativa para el control de las extracciones autorizadas 6.4.2. Vigilar y evitar la explotación ilegal y vigilar la extracción legal de los recursos forestales no maderable
6.5. Reducción y prevención de la contaminación	6.5.1. Reducir el uso de agroquímicos y sustituirlos por productos orgánicos 6.5.2. Incrementar la adopción generalizada del tratamiento de las aguas residuales previo a su descarga a los cuerpos de agua y reinyección de acuíferos

ANEXO 4

COMPARACIÓN GENERACIÓN PIIRCE 2018 VS 2019

¹ En esta sección el término “demanda” se usa en su sentido de requerimiento de un bien o servicio, y no en el sentido utilizado comúnmente en el argot de la industria eléctrica (disponibilidad de potencia). Así, la demanda eléctrica en esta sección se refiere al requerimiento de electricidad que equivale al consumo bruto de electricidad.



Fuente: Fre Sonneveld

CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD

Para realizar la planeación del desarrollo del sistema eléctrico nacional, se tiene que llevar a cabo un análisis de la demanda¹ (consumo) de electricidad a futuro. En el PRODESEN, se presentan varias proyecciones de la demanda nacional de electricidad, obtenidas mediante una metodología que considera entre otros factores, el estudio regional del consumo final de electricidad, los requerimientos de los grandes usuarios y variables macroeconómicas como el crecimiento del PIB, el crecimiento poblacional y la cantidad de usuarios de la industria eléctrica. Con base en dicha metodología, que se describe en detalle en el PRODESEN, se obtienen pronósticos del consumo bruto 2019-2033 por gerencia de control regional bajo tres escenarios:

- alto,
- medio o de planeación, y
- bajo.

Al integrar las proyecciones para todas las gerencias de control regional, se obtiene la proyección del consumo bruto de electricidad a nivel nacional, bajo los mismos tres escenarios, como se muestra en la Figura A4.1.



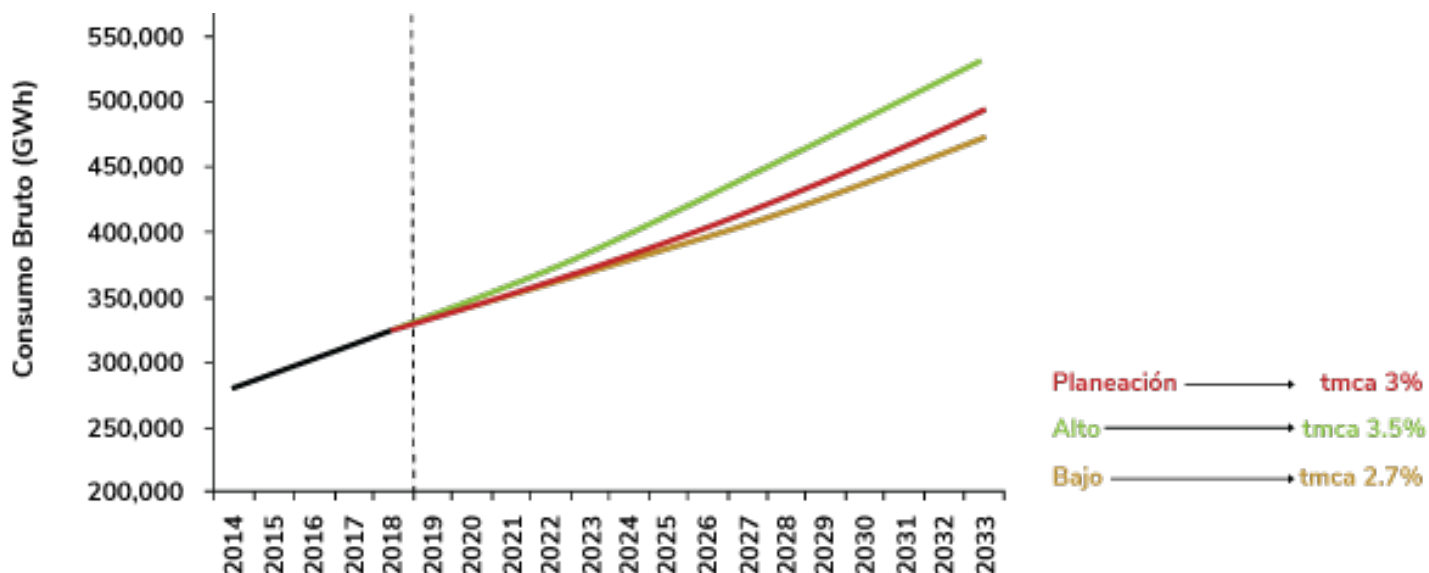


Figura A4.1 Pronóstico de consumo bruto del Sistema Eléctrico Nacional 2019 — 2033, escenarios de planeación, alto y bajo.

(Reproducida del Gráfico 6.9, p. 41 del PRODESEN 2019 – 2033).

El estado de Chihuahua queda dentro de la Gerencia de Control Norte, junto con el estado de Durango y algunos municipios de Coahuila. Para realizar un pronóstico de la demanda de energía eléctrica del estado de Chihuahua, se consideraron las tasas medias de crecimiento anual de la gerencia de control norte que fueron utilizados para obtener el pronóstico del Sistema Eléctrico Nacional en el PRODESEN 2019-2033. Con estas tasas de crecimiento se proyectó la demanda anual bruta de energía eléctrica de Chihuahua, partiendo de la que se registró para 2017 en el Sistema de Información Energética de la SENER, obteniendo los pronósticos mostrados en la Figura A4.2.

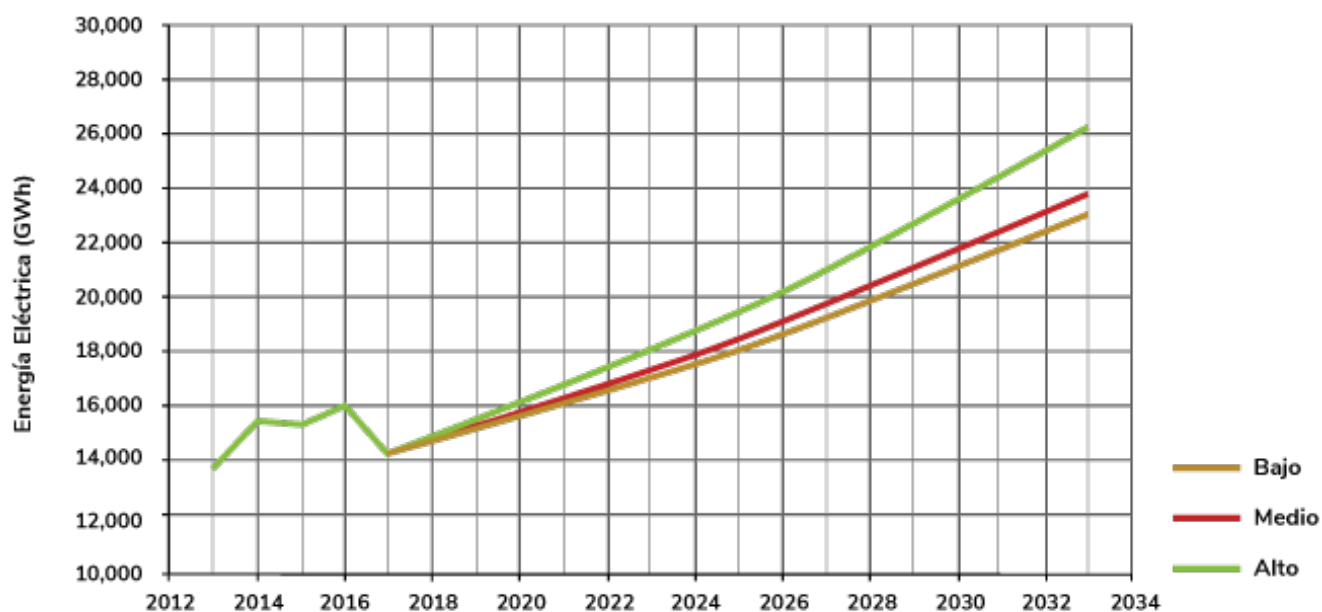


Figura A4.2. Pronóstico de la demanda (consumo) bruta para Chihuahua 2019 — 2033: escenarios de planeación, alto y bajo

(Elaboración propia con datos del PRODESEN 2019 – 2033).

Para satisfacer la demanda prevista, en el PRODESEN se considera el escenario medio (escenario de planeación) y se establece el programa indicativo de instalación y retiro de centrales eléctricas (PIIRCE). Este programa se desarrolla con el objeto de promover la instalación de los recursos suficientes para satisfacer la demanda en el Sistema Eléctrico Nacional y cumplir los objetivos de Energías Limpias.

El cambio de política energética implementado por la actual administración pública federal incide en el programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional, por lo que a continuación se realiza una evaluación del impacto de las nuevas políticas en la generación y emisiones de GEI mediante el análisis de las últimas dos versiones del PRODESEN:

- PRODESEN 2018-2032
- PRODESEN 2019-2033

El análisis siguiente se restringe únicamente a lo que corresponde al estado de Chihuahua.

SÍNTESIS DEL PIIRCE EN EL PRODESEN 2018-2032

En el Cuadro A4.1 se muestran las plantas o unidades que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032 se habían considerado para su retiro, algunas en el 2023 y otras en el 2028. En el cuadro se muestra también la generación eléctrica de estas unidades y sus correspondientes emisiones de GEI. Se supone que, al dejar de operar, las plantas o unidades dejarían de emitir la cantidad correspondiente de GEI. El retiro de estas plantas o unidades estaría en línea con la estrategia de mitigación de emisiones de GEI como parte de las acciones climáticas para alcanzar las contribuciones determinadas a nivel nacional. El programa indicativo de instalación de centrales eléctricas también debería estar en línea con tal estrategia por lo que en el PRODESEN se contempla la generación con energías renovables.

Cuadro A4.1. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas, que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro.

Central / Unidad [1]	Tecnología [1]	Año de retiro [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible [2]	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Francisco Villa U4	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.1777	233.5	0.235	285,065
Francisco Villa U5	Termoeléctrica convencional	2023	150	Combustóleo ligero	0.1777	233.5	0.235	285,065
Industrial Juárez	Turbogás	2023	18	Diesel	0.0290	4.6	0.335	3,595
Parque U2	Turbogás	2023	18	Diesel	0.0290	4.6	0.335	3,595
Parque U3	Turbogás	2023	13	Diesel	0.0290	3.3	0.335	2,596
Parque U4	Turbogás	2023	28	Diesel	0.0290	7.1	0.335	5,592
Samalayuca U1	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.9692	1,341.5	0.263	1,061,547
Samalayuca U2	Termoeléctrica convencional	2023	158	Gas natural	0.9692	1,341.5	0.263	1,061,547
Samalayuca II_PQ1	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234
Samalayuca II_PQ2	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234
Samalayuca II_PQ3	Ciclo combinado	2028	174	Gas natural	0.9692	1,477.3	0.508	605,234

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.4, p 241-245. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019 - 2033. Secretaría de Energía. Sección VII.1 p. 45.

[2] Salinas S., S y Fernández M., M. F. "Repotenciación de centrales termoeléctricas" Revista Transición Energética. Agosto - Octubre 2019, Tabla 2.

[3] Comisión reguladora de energía. www.cre.gob.mx/documento/1814.xlsx consultado el 16 de enero de 2019.

En el Cuadro A4.2 se muestran las centrales eléctricas que figuran en el PIIRCE del PRODESEN 2018-2032 que serían instaladas en el año indicado en el mismo cuadro. Así mismo, se muestra la generación esperada y las emisiones de GEI que corresponden. Se puede observar que el 23% de la generación estaba planeada a partir de energías renovables con una emisión de GEI neta, o efectivamente, cero.

Cuadro A4.2. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas que en el PRODESEN 2018-2032 estuvieron programadas para su instalación.

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta [2]	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO _{2e})
CS 004	Solar	2018	30		0.198	51.903		
CS 005	Solar	2018	30		0.198	51.903		
CCC 008	Ciclo combinado	2019	907	Gas natural	0.970	7706.960	0.508	3,157,389
CS 036	Solar	2019	150		0.198	259.515		
CS 037	Solar	2019	148		0.198	256.055		
CS 039	Solar	2019	80		0.198	138.408		
CS 023	Solar	2019	30		0.198	51.903		
CS 027	Solar	2019	30		0.198	51.903		
CCI 003	Combustión interna	2021	111	Gas natural	0.728	707.625	0.419	351,478
CS 057	Solar	2021	150		0.198	259.515		
CBIO 014	Bioenergía	2022	3		0.620	16.294		
CBIO 019	Bioenergía	2023	30		0.620	162.936		
CH 028	Hidroeléctrica	2024	6		0.300	15.768		
CH 016	Hidroeléctrica	2024	4		0.300	10.512		
CS 069	Solar	2024	300		0.198	519.030		
CCC 030	Ciclo combinado	2027	450	Gas natural	0.970	3823.740	0.508	1,566,511
CS 076	Solar	2027	100		0.198	173.010		
CS 077	Solar	2027	96		0.198	166.090		
CS 078	Solar	2028	350		0.198	605.535		
CH 044	Hidroeléctrica	2030	352		0.300	925.056		

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.1, pp 217-233. [2] Se eligió el mayor factor de planta por tecnología del Cuadro 7, suponiendo que estas nuevas plantas operarán con gas natural. Para tecnologías limpias, el factor se calculó en la hoja Factor de Planta E. Limpia de este mismo libro, con base en datos del PRODESEN 2018-2032 de Capacidad y Generación por tecnología.

LÍNEA BASE PARA EL PRODESEN 2018-2032

Como se ha mencionado, el PIIRCE del PRODESEN está planeado tomando en cuenta los objetivos de Energías Limpias. Para estimar el nivel de reducción de emisiones de GEI que implícitamente se ha contemplado en el PRODESEN 2018-2032, es necesario contar con una referencia (línea base). Esta referencia se puede obtener suponiendo que, si no se implementarían acciones climáticas, la misma generación pronosticada en el PRODESEN se tendría que obtener utilizando tecnologías

convencionales, con gas natural. En el Cuadro A4.3 se muestra el cálculo de emisiones de GEI por la generación de la misma cantidad de electricidad que la del Cuadro A4.2, pero suponiendo que todas las centrales programadas para su instalación utilizaran tecnología de ciclo combinado. En el Cuadro A4.3 se muestran los mismos proyectos del Cuadro A4.2, dejando la tecnología original del PRODESEN, pero las columnas de Combustible, Factor de Planta y Eficiencia se llenan con valores que corresponderían a una instalación de ciclo combinado con gas natural, para estimar los valores en la columna de Emisiones.

Cuadro A4.3. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas por instalarse, para la línea base a partir del PIIRCE del PRODESEN 2018-2032.

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta [2]	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO _{2e})
CS 004	Solar	2018	30	Gas natural	0.1975	51.9	0.508	21,264
CS 005	Solar	2018	30	Gas natural	0.1975	51.9	0.508	21,264
CCC 008	Ciclo combinado	2019	907	Gas natural	0.9700	7,707.0	0.508	3,157,389
CS 036	Solar	2019	150	Gas natural	0.1975	259.5	0.508	106,318
CS 037	Solar	2019	148	Gas natural	0.1975	256.1	0.508	104,901
CS 039	Solar	2019	80	Gas natural	0.1975	138.4	0.508	56,703
CS 023	Solar	2019	30	Gas natural	0.1975	51.9	0.508	21,264
CS 027	Solar	2019	30	Gas natural	0.1975	51.9	0.508	21,264
CCI 003	Combustión interna	2021	111	Gas natural	0.7277	707.6	0.419	351,478
CS 057	Solar	2021	150	Gas natural	0.1975	259.5	0.508	106,318
CBIO 014	Bioenergía	2022	3	Gas natural	0.6200	16.3	0.508	6,675
CBIO 019	Bioenergía	2023	30	Gas natural	0.6200	162.9	0.508	66,752
CH 028	Hidroeléctrica	2024	6	Gas natural	0.3000	15.8	0.508	6,460
CH 016	Hidroeléctrica	2024	4	Gas natural	0.3000	10.5	0.508	4,307
CS 069	Solar	2024	300	Gas natural	0.1975	519.0	0.508	212,636
CCC 030	Ciclo combinado	2027	450	Gas natural	0.9700	3,823.7	0.508	1,566,511
CS 076	Solar	2027	100	Gas natural	0.1975	173.0	0.508	70,879
CS 077	Solar	2027	96	Gas natural	0.1975	166.1	0.508	68,044
CS 078	Solar	2028	350	Gas natural	0.1975	605.5	0.508	248,076
CH 044	Hidroeléctrica	2030	352	Gas natural	0.3000	925.1	0.508	378,977

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.1, p 217-233. [2] Se eligió el mayor factor de planta estimado para las centrales de ciclo combinado que operaron en Chihuahua en 2017 (PRODESEN 2018-2032, Tabla 2.2.10). Para tecnologías limpias, el factor de planta se calculó con base en datos del PRODESEN 2018-2032 de Capacidad y Generación por tecnología (Tablas 4.5.6 y 4.5.7).

SÍNTESIS DEL PIIRCE EN EL PRODESEN 2019-2033

En el ejercicio de planeación presentado en el PRODESEN 2019-2033, de conformidad con la nueva política energética de la administración pública federal, no se considera el retiro de Centrales Eléctricas. El programa de nueva capacidad en el corto/mediano plazo 2019-2021/2022, resultó de la revisión de los proyectos con altas expectativas de realización de cada uno de los participantes considerados en la LSPEE y en la LIE. Posterior a 2021, con fundamento en los lineamientos de política energética, se consideran proyectos de generación limpia-renovables, cogeneración eficiente y tecnologías convencionales.

En el Cuadro A4.4 se muestra la estimación de la generación y las emisiones correspondientes para las plantas que en la versión anterior del PRODESEN (2018-2032) se tenían programadas para su retiro; pero que bajo la planeación de la versión más reciente del PRODESEN (2019-2033), estas centrales serán repotenciadas. Se consideró un aumento de 20% en la eficiencia con un aumento de 45% de capacidad² por repotenciación de las centrales que estaban destinadas al retiro.

Cuadro A4.4. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas que de acuerdo con el PRODESEN 2018-2032, estuvieron consideradas para su retiro.

Central / Unidad [1]	Tecnología [1]	Año de repotenciación [1]	Capacidad [1] [2] (MW)	Combustible [3]	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia [2]	Emisiones (Mg CO _{2e})
Francisco Villa U4	Termoeléctrica convencional	2023	218	Combustóleo ligero	0.178	338.6	0.282	344,453
Francisco Villa U5	Termoeléctrica convencional	2023	218	Combustóleo ligero	0.178	338.6	0.282	344,453
Industrial Juárez	Turbogás	2023	26	Diesel	0.029	6.6	0.402	4,343
Parque U2	Turbogás	2023	26	Diesel	0.029	6.6	0.402	4,343
Parque U3	Turbogás	2023	19	Diesel	0.029	4.8	0.402	3,137
Parque U4	Turbogás	2023	41	Diesel	0.029	10.3	0.402	6,757
Samalayuca U1	Termoeléctrica convencional	2023	229	Gas natural	0.969	1,945.2	0.316	1,282,703
Samalayuca U2	Termoeléctrica convencional	2023	229	Gas natural	0.969	1,945.2	0.316	1,282,703
Samalayuca II_PQ1	Ciclo combinado	2028	252	Gas natural	0.969	2,142.1	0.610	731,325
Samalayuca II_PQ2	Ciclo combinado	2028	252	Gas natural	0.969	2,142.1	0.610	731,325
Samalayuca II_PQ3	Ciclo combinado	2028	252	Gas natural	0.969	2,142.1	0.610	731,325

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía. Tabla 4.5.4, p 241-245. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019 - 2033. Secretaría de Energía. Sección VII.1 p. 45.

[2] Salinas S., S y Fernández M., M. F. "Repotenciación de centrales termoeléctricas" Revista Transición Energética. Agosto - Octubre 2019, Tabla 2.

[3] Comisión reguladora de energía. www.cre.gob.mx/documento/1814.xlsx consultado el 16 de enero de 2019.

Por otra parte, el Cuadro A4.5 muestra la estimación de la generación y las emisiones correspondientes de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033. En este cuadro se muestra que ahora el 19% de la generación está planeada a partir de energías renovables. Sin embargo, este porcentaje se reduce cuando se incluye la generación de las plantas que serán repotenciadas.

²Ver por ejemplo Tabla 2 del Reportaje "Repotenciación de centrales termoeléctricas" Revista Transición Energética. Agosto - octubre 2019.

Cuadro A4.5. Estimación de la generación y emisiones de las centrales eléctricas programadas para su instalación de acuerdo con el PRODESEN 2019-2033.

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Norte III	Ciclo combinado	2020	907	Gas natural	0.970	7,707	0.508	3,157,389
Optimización	Ciclo combinado	2028	415	Gas natural	0.970	3,526	0.508	1,444,671
Ahumada IV Solar PV SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Eléctrica de Chihuahua SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Fotovoltaica de Ahumada SA de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Planta Solar Santa María	Fotovoltaica	2019	148		0.198	256		
BNB Villa Ahumada Solar	Fotovoltaica	2019	150		0.198	260		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1493/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	4		0.198	7		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1495/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	7		0.198	12		
Desarrollos Solares de Delicias SAPI de CV (E/1494/AUT/2015)	Fotovoltaica	2019	4		0.198	7		
Altair Importación y Exportación SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia V SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia IV SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia III SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Energía Solar Alaia II SAPI de CV	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Parque Solar Conejos	Fotovoltaica	2019	80		0.198	138		
Border Solar	Fotovoltaica	2019	150		0.198	260		
Sol de los Manzanos	Fotovoltaica	2019	30		0.198	52		
Optimización	Fotovoltaica	2025	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2025	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2025	25		0.198	43		
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		

Cuadro A4.5. (Cont.)

Proyecto [1]	Tecnología [1]	Año [1]	Capacidad [1] (MW)	Combustible	Factor de planta	Generación (GWh)	Eficiencia	Emisiones (Mg CO ₂ e)
Optimización	Fotovoltaica	2026	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2027	24		0.198	42		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2028	50		0.198	87		
Optimización	Fotovoltaica	2029	100		0.198	173		
Luis L. León (EL Grane-ro)	Hidroeléctrica	2023	30		0.300	79		
Rosetilla	Hidroeléctrica	2023	3		0.300	8		
RM Colina	Hidroeléctrica	2024	1		0.300	3		

Fuente: Elaboración propia con datos de: [1] PIIRCE, PRODESEN, 2018–2032 y 2019–2033. Secretaría de Energía.

VARIACIÓN DEL PRODESEN

Como se ha mencionado, debido al cambio de política energética a nivel federal, el programa indicativo de instalación y retiro de centrales eléctricas integrado en el PRODESEN 2019-2033 tuvo variaciones con respecto al presentado en el PRODESEN 2018-2032, lo que se manifiesta en el pronóstico de generación eléctrica para satisfacer la demanda de energía eléctrica (ver Figura A4.3).

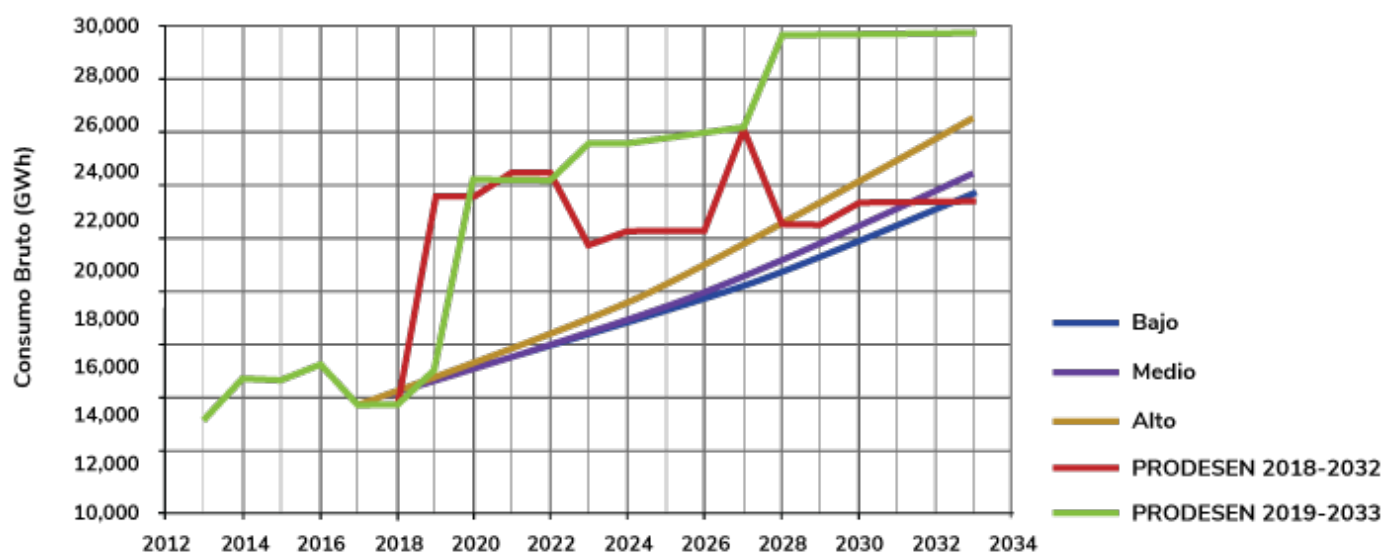


Figura A4.3. Pronóstico de oferta y demanda de energía eléctrica para Chihuahua 2019 — 2033

(Elaboración propia con datos del PRODESEN 2018-2032 y 2019 – 2033).

La curva en color rojo, correspondiente a la generación de electricidad pronosticada con base en el PIIRCE del PRODESEN 2018-2032, muestra reducciones en la generación (en 2023 y 2028) que corresponden al retiro de algunas centrales cuya vida útil llegaría a su fin en esos años. Con la nueva política energética, estas centrales serán repotenciadas y seguirán operando, por lo que las reducciones mencionadas no se notan en la curva verde, correspondiente al pronóstico con base en el PIIRCE del PRODESEN 2019-2033.

La curva de pronóstico de generación eléctrica de la Figura A4.3 correspondiente al PRODESEN 2018-2032 se calculó considerando que la generación aumenta por las plantas instaladas, pero en algún momento se reduce debido al retiro de las plantas que quedan fuera de operación en el año considerado. Por otra parte, la curva de pronóstico de generación eléctrica correspondiente al PRODESEN 2019-2033 considera que no hay retiro de plantas, sino repotenciación, por lo que la generación aumenta por las nuevas plantas instaladas y por el aumento en potencia de las plantas que en el PRODESEN 2018-2032 se habían considerado para su retiro.

Adicionalmente se presentan las curvas correspondientes a los tres escenarios de la demanda pronosticada en el PRODESEN 2019-2032. Las curvas de generación están por encima de las

de demanda, pero la del PRODESEN más actual excede por mucho la demanda pronosticada, lo cual implicará menor factor de planta para algunas centrales.

Finalmente cabe mencionar que el proyecto Norte III, con 907 MW de potencia instalada efectivamente entró en operación en marzo del 2020, por lo que el aumento en la generación que se observa en las gráficas es de hecho ya real.

EMISIONES DE GEI

Las emisiones de GEI pronosticadas por generación de energía eléctrica de acuerdo con las dos últimas versiones del PRODESEN se muestran en la Figura A4.4, junto con la curva que representa la línea base, es decir la curva que representa el escenario en el que no se llevan a cabo acciones de mitigación. Se puede observar que la planeación de la versión 2018-2032 del PRODESEN muestra una reducción de 19% respecto a la línea base, en cambio, la versión 2019-2033 queda por encima de la línea base con un incremento de 38% respecto a la línea base.

En términos del incremento respecto a los niveles de emisión de 2013, la línea base muestra un aumento del 10%, la planeación del PRODESEN 2018-2032 una disminución del 10% y la del PRODESEN 2019-2033 un significativo aumento del 51%.

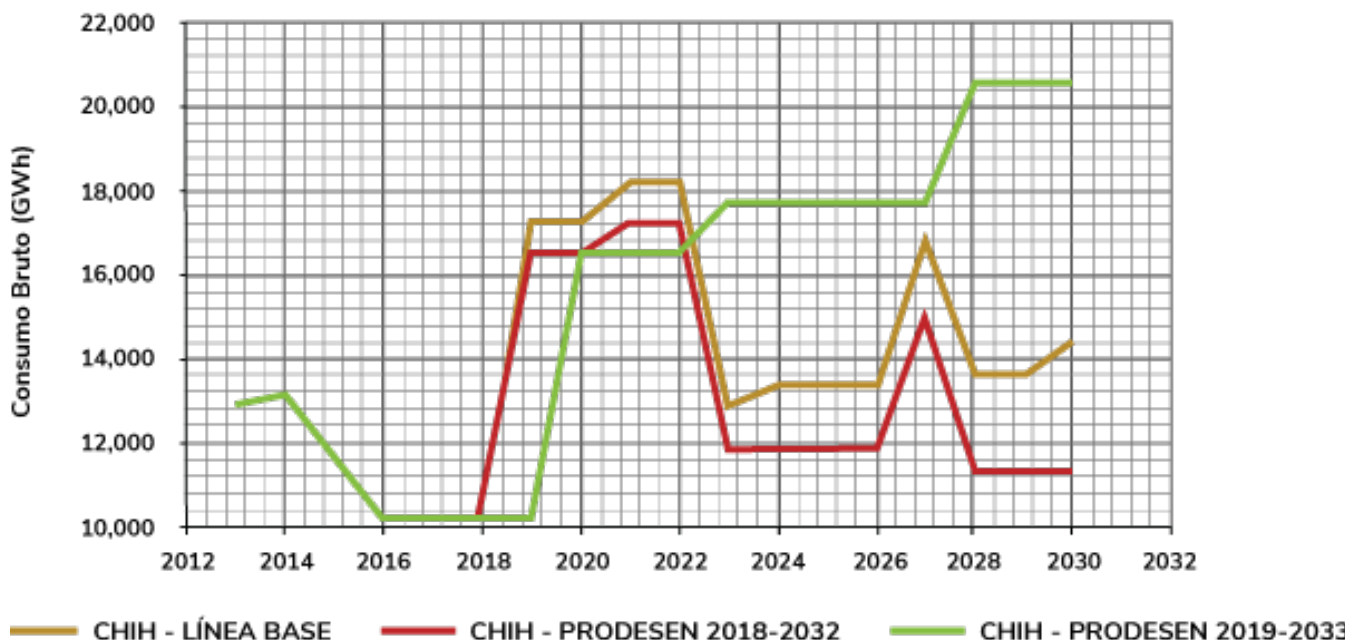


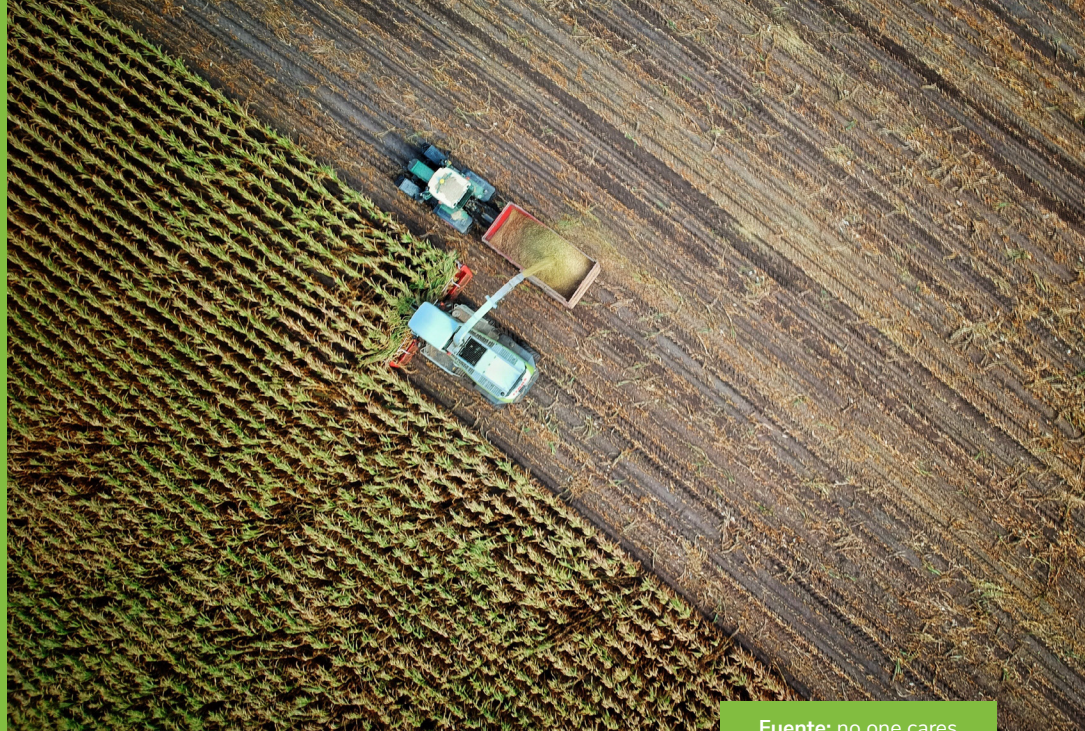
Figura A4.4. Pronóstico de las emisiones para dos escenarios de planeación comparados con la línea base

(Elaboración propia con datos del PRODESEN 2018-2032 y 2019 – 2033).

ANEXO 5

SECRETARÍA DE DESARROLLO
RURAL: PROGRAMA
SECTORIAL 2010-2016

Política Sectorial Agrícola



Fuente: no one cares

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la sustentabilidad de la agricultura en el estado	Contribuir en el ordenamiento del uso de agua para la agricultura	Inventario de fuentes de abastecimiento de agua Programa de consolidación de COTAS Programa de planeación hidroagrícola
	Incrementar la capacidad de conservación de agua y de recuperación de los acuíferos y presas	Programa de conservación de suelo y agua en las zonas altas de las cuencas Programa de recuperación de suelos agrícolas Programa de pozos de absorción y abanicos aluviales Programa de embalses en la zona rural del Estado
	Implementar programas y acciones para el ahorro y uso eficiente del agua	Programa de rehabilitación de la red de distribución del agua Programa de modernización de riego parcelario Programa de medición de uso de agua parcelario
Impulsar la sustentabilidad de la agricultura en el estado	Implementar programas y acciones para el ahorro y uso eficiente del agua	Programa de innovación y transferencia de tecnología en el uso de agua Programa de uso de aguas residuales para producción agrícola
	Incrementar el uso de tecnologías y prácticas de conservación de los recursos naturales	Programa de desarrollo de biofertilizantes Programa de energías renovables para la producción agrícola Programa de protección de cauces de agua natural Programa de transferencia de tecnología en prácticas de conservación y uso de energías renovables
Impulsar la competitividad de la agricultura chihuahuense	Contribuir en la optimización de los rendimientos y calidad de los productos chihuahuenses	Programa de reconversión productiva en agricultura de temporal Programa de equipamiento de unidades de producción agrícola de temporal Programa de recuperación de suelos agrícolas de temporal Programa de reconversión frutícola Programa de control de contingencias climáticas en la fruticultura Programa de mecanización del campo

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la competitividad de la agricultura en el estado	Contribuir en la competitividad de la producción mediante la reducción de los costos de producción	Programa de tecnificación de los procesos productivos agrícolas Programa de sanidad vegetal estatal Programa de inteligencia competitiva agrícola Programa de agricultura protegida y de alto rendimiento Programa de insumos de alta calidad para la agricultura Programa de horas máquina para preparación de tierras Programa de eficiencia electromecánica
Impulsar la competitividad de la agricultura en el estado	Contribuir en la competitividad de la producción mediante la reducción de los costos de producción	Programa de energías alternas Programa de acopio y conservación de la producción agrícola Programa de caminos rurales Programa anual de transferencia tecnológica para la transformación y el valor agregado. Programa de eficiencia de procesos de transformación y valor agregado Programa de consolidación de cadenas de valor y sistemas producto
Impulsar la competitividad de la agricultura en el estado	Contribuir en la reducción de siniestros agrícolas Contribuir a dar certidumbre al sector agrícola	Programa de administración de riesgos Programa de monitoreo inteligencia competitiva
Impulsar la comercialización de la agricultura en el estado	Contribuir al desarrollo comercial de los productos agrícolas	Programa anual de apoyo a la comercialización de cultivos Programa de apoyo a la comercialización de productos con valor agregado Programa de integración de agricultura por contrato Programa de ordenamiento de mercados

Fuente: Gobierno del estado de Chihuahua. Programa Sectorial 2010-2016. Secretaría de Desarrollo Rural. <http://www.chihuahua.gob.mx/attach2/sf/uploads/indtfisc/progSER2010-2016/ANEXODESARROLLORURAL.pdf>

ANEXO 6

SECRETARÍA DE DESARROLLO
RURAL: PROGRAMA
SECTORIAL 2010-2016

Política Sectorial Ganadera



Fuente: Amber Kipp

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la sustentabilidad de la Ganadería en el Estado	Sostener e incrementar el control y estatus sanitario ganadero en el Estado.	Programa de monitoreo y control de sanidad y movilización del ganado Programa de identificación de ganado chihuahuense Programa de erradicación de reactores positivos a brucelosis y tuberculosis Programa de equipamiento de laboratorios de análisis Programa de sanidad e inocuidad en la ganadería Programa de capacitación y asistencia técnica en control sanitario Programa de investigación con la sanidad ganadera
	Contribuir al desarrollo de la capacidad productiva de la ganadería chihuahuense	Programa de recuperación de agostaderos Programa de recuperación de especies nativas Programa de obras de conservación de agua en agostaderos Programa de capacitación y asistencia técnica para el manejo de agostaderos en el sector social
Impulsar la sustentabilidad de la Ganadería en el estado	Incrementar los rendimientos productivos de la ganadería de carne	Programa producción intensiva y semi-intensiva de ganado Programa de transferencia tecnológica en forrajes de alto rendimiento Programa de mejoramiento genético de la ganadería Programa de renovación del hato ganadero Programa de tecnificación y equipamiento productivo
	Fortalecer los procesos de valor agregado y transformación de la carne de bovino chihuahuense	Programa de infraestructura y equipamiento para transformación y valor agregado Programa de estandarización de procesos productivos y de transformación

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la sustentabilidad de la ganadería de leche	Incrementar la competitividad de la producción de leche de bovino en el Estado	Programa de tecnificación de los procesos productivos de la ganadería de leche Programa de reposición y mejoramiento del hato lechero Programa de capacitación y asistencia técnica Programa de equipamiento agroindustrial
Impulsar el desarrollo de las actividades avícolas, apícolas y acuícolas en la entidad	Impulsar la actividad avícola chihuahuense	Programa de desarrollo avícola Programa de capacitación y asistencia técnica Programa de transformación y valor agregado
	Incrementar la productividad y competitividad de la apicultura	Programa de equipamiento y tecnificación apícola Programa de capacitación e innovación tecnológica Programa de valor agregado
	Contribuir con el desarrollo de la actividad acuícola en la entidad	Programa para infraestructura y equipamiento para la producción acuícola de manera intensiva Programa de valor agregado
Impulsar el desarrollo de las actividades avícolas, apícolas y acuícolas en la entidad	Impulsar la actividad avícola chihuahuense	Programa de desarrollo avícola Programa de capacitación y asistencia técnica Programa de transformación y valor agregado
	Incrementar la productividad y competitividad de la apicultura	Programa de equipamiento y tecnificación apícola Programa de capacitación e innovación tecnológica Programa de valor agregado
	Contribuir con el desarrollo de la actividad acuícola en la entidad	Programa para infraestructura y equipamiento para la producción acuícola de manera intensiva Programa de valor agregado

Fuente: Gobierno del estado de Chihuahua. Programa Sectorial 2010-2016. Secretaría de Desarrollo Rural. <http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sf/uploads/indtfisc/progSER2010-2016/ANEXODESARROLLORURAL.pdf>

ANEXO 7

SECRETARÍA DE DESARROLLO
RURAL: PROGRAMA
SECTORIAL 2010-2016

Política Sectorial Forestal



Fuente: Imat Bagja Gumilar

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la sustentabilidad del sector forestal maderable	Incrementar las acciones para la conservación y restauración de los recursos naturales	Programa de prevención y control de plagas y enfermedades forestales Programa de prevención y control de incendios forestales Programa de recuperación de zonas degradadas Programa de pago por servicios ambientales del bosque Programa cultural para la preservación y el aprovechamiento sustentable Programa de control y combate de cortas clandestinas
	Contribuir al ordenamiento ecológico en la entidad	Programa de ordenamiento ecológico regionalizado
Impulsar la sustentabilidad del sector forestal maderable	Implementar procesos de planeación para la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales	Programa de manejo forestal sustentable Programa de planeación, transferencia tecnológica y estudios especiales
Impulsar el desarrollo integral y la competitividad de las actividades económicas forestales.	Incrementar la competitividad de la actividad forestal maderable	Programa de vinculación intersectorial de las cadenas productivas Programa de consolidación de cadenas productivas Programa de proyectos de investigación y desarrollo Programa de infraestructura caminera Programa de financiamiento Programa de eficiencia productiva y valor agregado Programa para la diversificación de las actividades económicas del bosque

Objetivo PED	Estrategia PED / Objetivo Sectorial	Acciones y Programas
Impulsar la comercialización de los productos forestales maderables	Incrementar la capacidad comercial de los productos forestales	Programa de promoción comercial
Impulsar la sustentabilidad de los recursos forestales no maderables	Contribuir con la sustentabilidad de las regiones con producción forestal no maderable	Programa para la recuperación de la cubierta vegetal en las zonas degradadas Programas para la recuperación del suelo Programa para el ordenamiento territorial comunitario en las regiones con mayor deterioro de suelos y vegetación
Impulsar la competitividad de los recursos forestales no maderables	Incrementar la competitividad del sector forestal no maderable	Programa de desarrollo de la cadena productiva y valor agregado Programa de innovación y transferencia de tecnologías para procesos productivos eficientes y sustentables Programa para el desarrollo de proyectos productivos de alto impacto regional

Fuente: Gobierno del estado de Chihuahua. Programa Sectorial 2010-2016. Secretaría de Desarrollo Rural.
<http://www.chihuahua.gob.mx/atach2/sf/uploads/indtfisc/progSER2010-2016/ANEXODESARROLLORURAL.pdf>

ANEXO 8

SECRETARÍA DE DESARROLLO
RURAL: PROGRAMA
SECTORIAL 2010-2016

Acoplamiento de Programas
Sectoriales a Medidas Generales
de Mitigación



Fuente: Markus Spiske

Sector	Medidas Generales	Programas sectoriales
AGRICULTURA	Zonificación agroecológica	Inventario de fuentes de abastecimiento de agua
		Programa de planeación hidroagrícola
		Programa de conservación de suelo y agua en las zonas altas de las cuencas
		Programa de recuperación de suelos agrícolas de temporal
		Programa de control de contingencias climáticas en la fruticultura
AGRICULTURA	Introducción de variedades altamente productivas	Programa de agricultura protegida y de alto rendimiento
		Programa de planeación hidroagrícola
		Programa de innovación y transferencia de tecnología en el uso de agua
		Programa de rehabilitación de la red de distribución del agua
		Programa de pozos de absorción y abanicos aluviales Programa de embalses en la zona rural del Estado
AGRICULTURA	Sistemas para el control de plagas y de enfermedades	Programa desanidad vegetal estatal
		Programa de insumos de alta calidad para la agricultura

Sector	Medidas Generales	Programas sectoriales
AGRICULTURA	Manejo integral de suelos	Programa de desarrollo de biofertilizantes
		Programa de conservación de suelo y agua en las zonas altas de las cuencas
		Programa de recuperación de suelos agrícolas
		Programa de reconversión productiva en agricultura de temporal
		Programa de equipamiento de unidades de producción agrícola de temporal
		Programa de control de contingencias climáticas en la fruticultura
FORESTAL	Uso de modelos de simulación de cultivos	Programa de administración de riesgos
		Programa de protección de cauces de agua natural
		Programa anual de transferencia tecnológica para la transformación y el valor agregado.
	Prácticas agroforestales	Programa de eficiencia de procesos de transformación y valor agregado
		Programa de consolidación de cadenas de valor y sistemas producto
		Programa de integración de agricultura por contrato Programa de ordenamiento de mercados
	Gestión preventiva, flexible y localizada ante eventos climáticos potenciales	Programa de capacitación y asistencia técnica en control sanitario
		Programa cultural para la preservación y el aprovechamiento sustentable
		Programa de control y combate de cortas clandestinas
		Programas para la recuperación del suelo
	Aprovechamiento sustentable de procesos forestales	Programa para la recuperación de la cubierta vegetal en las zonas degradadas
		Programa de recuperación de zonas degradadas
		Programa de manejo forestal sustentable
		Programa de eficiencia productiva y valor agregado
		Programa de innovación y transferencia de tecnologías para procesos productivos eficientes y sustentables

Sector	Medidas Generales	Programas sectoriales
GANADERO	Promover, apoyar y dar seguimiento a la implementación de sistemas de pastoreo sustentable	Programa de recuperación de agostaderos
		Programa de capacitación y asistencia técnica para el manejo de agostaderos en el sector social
		Programa de transferencia tecnológica en forrajes de alto rendimiento
		Programa de monitoreo y control de sanidad y movilización del ganado
		Programa de investigación con la sanidad ganadera
	Mejorar las prácticas en el manejo de ganado	Programa de obras de conservación de agua en agostaderos
		Programa de infraestructura y equipamiento para transformación y valor agregado
		Programa de capacitación y asistencia técnica en control sanitario
		Programa de equipamiento de laboratorios de análisis
		Programa de capacitación y asistencia técnica en control sanitario
	Mejorar el diseño de las instalaciones de los sistemas de producción ganadera	Programa de sanidad e inocuidad
		Programa de infraestructura y equipamiento para transformación y valor agregado
		Programa de capacitación y asistencia técnica
		Programa de capacitación e innovación tecnológica
		Programa de estandarización de procesos productivos y de transformación
	Elaboración de programas de formación a ganaderos	Programa de capacitación y asistencia técnica para el manejo de agostaderos en el sector social
		Programa de capacitación y asistencia técnica en control sanitario

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Jaime Álvarez	23	Jaime Álvarez	189
Keith Hardy en Unsplash	29	LEMUR en Unsplash	192
Redcharlie en Unsplash	35	Dynamic Wang en Unsplash	199
Jon Tyson en Unsplash	41	Trinity Moss en Unsplash	200
Jezael Melgoza en Unsplash	42	Sven Scheuermeirer en Unsplash	206
Jaime Álvarez	51	Roman Synkevych en Unsplash	223
Severin D. en Unsplash	58	Jaime Álvarez	253
Tim Foster en Unsplash	63	Miguel Urieta en Unsplash	261
Dylan de Jonge en Unsplash	66	Fre Sonneveld en Unsplash	267
Gandosh Ganbaatar en Unsplash	72	No one cares en Unsplash	277
The Milon en Unsplash	78	Amber Kipp en Unsplash	279
Breno Assis en Unsplash	79	Imat Bagja Gumilar en Unsplash	281
Matthew Schartz en Unsplash	89	Markus Spiske en Unsplash	283
Andy Kelly en Unsplash	136		
Jaime Álvarez	149		
panza.rayada (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Estribaciones_sierra_Madre_Occidental_-_panoramio.jpg), „Estribaciones sierra Madre Occidental - panoramio“, the shape by not at all, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode	159		

