



**MÉXICO:**

**INVENTARIO NACIONAL DE  
EMISIONES DE GASES  
Y COMPUESTOS DE EFECTO  
INVERNADERO  
1990-2019**



**GOBIERNO DE  
MÉXICO**

**MEDIO AMBIENTE**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**INECC**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO



**México:**  
**Inventario Nacional de Emisiones  
de Gases y Compuestos de Efecto  
Invernadero, 1990-2019**

# Comisión Intersecretarial de Cambio Climático

## Participantes

Secretaría de Gobernación  
Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana  
Secretaría de Relaciones Exteriores  
Secretaría de Marina  
Secretaría de Hacienda y Crédito Público  
Secretaría de Bienestar  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Secretaría de Energía  
Secretaría de Economía  
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural  
Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes  
Secretaría de Educación Pública  
Secretaría de Salud  
Secretaría de Turismo  
Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático  
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas  
Instituto Nacional de Estadística y Geografía  
Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas  
Instituto Nacional de las Mujeres  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



**México:**  
**Inventario Nacional de Emisiones de Gases y**  
**Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019**

**México:**

**Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019**

**Primera edición: 2022**

**Forma de citar (APA)**

**Gobierno de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2022).**

*México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019.*

**Publicado por:**

**Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**

**SEMARNAT**

Av. Ejército Nacional 223, Col. Anáhuac. Primera Sección.

Alcaldía Miguel Hidalgo, 11320. Ciudad de México

<https://www.gob.mx/semarnat>

**Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático**

**INECC**

Carr. Picacho-Ajusco 4219, Col. Jardines en la Montaña,

Alcaldía Tlalpan, 14210 Ciudad de México.

<https://cambioclimatico.gob.mx/>

**Dr. Agustín Ávila Romero**

Dirección General de Políticas para el Cambio Climático. SEMARNAT

Encargado del Despacho de la Dirección General del INECC.

**Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana**

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

**Dra. Irma Fabiola Ramírez Hernández**

Dirección de Inventarios y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

**Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno**

Subdirección de Medición, Reporte y Verificación

**Mtro. Miguel Ángel García García**

Subdirección de Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

**Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro**

Jefatura de Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros

**Producción editorial**

Coordinación editorial: **Gerardo Mendiola Patiño.**

Edición: **Enrique Martínez Limón.**

Traducción al inglés: **Seven Seas.**

Portada: **Rocío Mireles Gavito.**

Fotografía de la portada: **Carlos Hahn.**

# Agradecimientos

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) agradece a las instituciones, organizaciones e individuos que contribuyeron en la elaboración y revisión de este informe del *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019*.

El INEGYCEI 1990-2019 fue desarrollado por la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático del INECC bajo la dirección de la Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana, Coordinadora General, y la Dra. Irma Fabiola Ramírez Hernández, Directora de Inventarios y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, con la colaboración de los siguientes servidores públicos del INECC: Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno, Mtro. Miguel Ángel García García, Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro, Mtra. Andrea Navarrete Alfonzo, Dr. Luis Gerardo Ruiz Suarez, Dr. José Abraham Ortinez Álvarez, Dr. Arturo Gavilán García y M. en I. Tania Ramírez Muñoz.

En la categoría de tierras se agradece la colaboración de la Comisión Nacional Forestal a través del Ing. Jorge David Fernández Medina, el Ing. Armando Alanis, el M.C. Oswaldo Ismael Carrillo Negrete, la Ing. Carmen Lourdes Meneses Tovar, el Biól. Rafael Mayorga Saucedo, el Ing. Eder Larios Guzmán y otros especialistas.

Agradecemos asimismo a los colaboradores de la consultoría del Centro Mario Molina: Dr. Eduardo Bárzana García, Ing. Carlos Mena Brito, Dr. Marco Jano Ito, Lic. Julieta Leo Lozano, Ing. Graciela Hernández Cano, Mtra. Adriana Barradas Gimete, Mtro. Irving Tzec Quiñones, Lic. Nancy Hernández Valdez, Biol. Agustín de La Rosa e Ing. Carmen Alejandra Neri Villeda.

Se extiende también un agradecimiento por la información brindada y valiosas contribuciones a las siguientes instituciones: Asociación Nacional de la Industria Química; Cámara Nacional de la Industria del Cemento; Cámara Nacional de las Industrias del Papel y la Celulosa; Cámara Nacional del Hierro y el Acero; Comisión Federal de Electricidad; Comisión Nacional de Hidrocarburos; Comisión Nacional del Agua; Comisión Nacional Forestal; Comisión Reguladora de Energía; Fidecomiso de Riesgo Compartido; Grupo Calidra; Grupo Vitro; Instituto de Ingeniería de la UNAM; Instituto Nacional de Estadística y Geografía; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Petróleos Mexicanos; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural; Secretaría de Comunicaciones, Infraestructura y Transportes; Secretaría de Economía; Secretaría de Energía; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

Finalmente, se reconoce al Fondo Mundial para el Medio Ambiente y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo por su apoyo para la elaboración del presente reporte y del *Tercer Informe Bienal de Actualización (IBA 3)*.



# Contenido

<b>Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019</b>	<b>1</b>		
<b>Agradecimientos</b>	<b>5</b>		
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>17</b>		
Información de antecedentes sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y el cambio climático	17		
■ <b>Tabla 1: Comparación de los inventarios nacionales de México presentados ante la CMNUCC, 1997-2018</b>	<b>18</b>		
Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción	19		
Evolución de las emisiones por gas y por sector	19		
Carbono negro	19		
<b>1. Introducción</b>	<b>21</b>		
1.1 Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y cambio climático	21		
1.2 Descripción del sistema del inventario	21		
1.2.1 Disposiciones institucionales, jurídicas y de procedimiento	21		
1.2.2 Sistema de planificación y gestión	22		
❖ <b>Figura 1: Arreglos institucionales para la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero en México</b>	<b>23</b>		
1.2.3 Aseguramiento y control de calidad (QA/QC) y verificación del <i>Inventario Nacional</i>	23		
1.2.4 Cambios en el sistema del <i>Inventario</i> desde el anterior INEGYCEI	23		
1.3 Preparación del INEGYCEI	24		
❖ <b>Figura 2: Mapa de proceso para la actualización y compilación del INEGYCEI 1990-2019 de México</b>	<b>24</b>		
■ <b>Tabla 2: Equipo responsable del INEGYCEI</b>	<b>25</b>		
■ <b>Tabla 3: Principales instituciones y fuentes de información</b>	<b>26</b>		
1.4 Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas	27		
1.5 Breve descripción de las categorías clave	28		
1.5.1 Método 1	28		
1.5.2 Método 2	28		
1.6 Evaluación general de la incertidumbre	29		
1.7 Evaluación general de la exhaustividad	29		
		■ <b>Tabla 4: Categorías excluidas o incluidas en otra parte del INEGYCEI</b>	<b>29</b>
		1.8 Referencias	30
		<b>2. Emisiones de GEI 2019 y tendencia histórica</b>	<b>31</b>
		2.1 Principales indicadores socioeconómicos	31
		■ <b>Tabla 5: Principales indicadores económicos</b>	<b>31</b>
		2.2 Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones	31
		❖ <b>Figura 3: Variación relativa del total de emisiones (sin UTCUTS) respecto a 1990</b>	<b>32</b>
		❖ <b>Figura 4: Variación relativa del total de emisiones (con UTCUTS) respecto al año 2000</b>	<b>32</b>
		2.3 Descripción e interpretación de las emisiones por gases	33
		❖ <b>Figura 5: Emisiones por tipo de gas</b>	<b>33</b>
		2.4 Descripción e interpretación de las emisiones por sectores	33
		❖ <b>Figura 6: Emisiones por sector</b>	<b>34</b>
		2.5 Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro	34
		❖ <b>Figura 7: Emisiones de carbono negro</b>	<b>35</b>
		<b>3. [1] Energía</b>	<b>37</b>
		3.1 Visión general del sector	37
		❖ <b>Figura 8: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del sector Energía</b>	<b>37</b>
		❖ <b>Figura 9: Evolución de las emisiones de la categoría [1A] Actividades de quema de combustibles</b>	<b>37</b>
		3.2 [1A1] Industrias de la energía	38
		3.2.1 Descripción de la categoría	38
		❖ <b>Figura 10: Emisiones de la subcategoría [1A1] Industrias de la energía</b>	<b>38</b>
		3.2.2 Metodología	39
		3.2.2.1 Datos de actividad (DA)	39
		■ <b>Tabla 6: Consumo de combustibles</b>	<b>39</b>
		3.2.2.2 Factores de emisión (FE)	40
		3.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	40
		3.2.4 QA/QC de la categoría y verificación	40
		■ <b>Tabla 7: Ejemplos de comparación y validación de datos de actividad</b>	<b>40</b>
		3.2.5 Recálculos específicos de la categoría	40

■ <b>Tabla 8: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	41	3.5.1 Descripción de la categoría	47
3.2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	41	❖ <b>Figura 15: Emisiones del consumo de combustibles en otros sectores [1A4]</b>	48
3.3 Industrias manufactureras y de la construcción [1A2]	41	3.5.2 Metodología	48
3.3.1 Descripción de la categoría	41	3.5.2.1 Datos de actividad	48
❖ <b>Figura 11: Emisiones de [1A2] Quema de combustibles por actividades</b>	41	❖ <b>Figura 16: Consumo de combustibles de otros sectores [1A4]</b>	48
3.3.2 Metodología	42	■ <b>Tabla 14: Consumo de combustibles</b>	49
3.3.2.1 Datos de actividad	42	3.5.2.2 Factores de emisión	49
❖ <b>Figura 12: Consumo de combustibles de la industria manufacturera y de la construcción [1A2]</b>	42	■ <b>Tabla 15: Factores de emisión específicos de México para los combustibles empleados en otros sectores</b>	49
■ <b>Tabla 9: Consumo de combustibles</b>	43	3.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	50
3.3.2.2 Factores de emisión	43	3.5.4 QA/QC de la categoría y verificación	50
■ <b>Tabla 10: Factores de emisión de los combustibles empleados en la industria manufacturera y de la construcción</b>	43	3.5.5 Recálculos específicos de la categoría	50
3.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	43	3.5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	50
3.3.4 QA/QC de la categoría y verificación	43	3.6 Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles sólidos [1B1]	50
3.3.5 Recálculos específicos de la categoría	43	3.6.1 Descripción de la categoría	50
3.3.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	44	❖ <b>Figura 17: Emisiones fugitivas por la producción de combustibles sólidos [1B1]</b>	51
3.4 Transporte [1A3]	44	3.6.2 Metodología	51
3.4.1 Descripción de la categoría	44	3.6.2.1 Datos de actividad	51
❖ <b>Figura 13: Emisiones del transporte [1A3]</b>	44	❖ <b>Figura 18: Producción de carbón</b>	52
3.4.2 Metodología	45	3.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	52
3.4.2.1 Datos de actividad	45	3.6.4 QA/QC de la categoría y verificación	52
❖ <b>Figura 14: Consumo de combustibles del transporte (1A3)</b>	45	■ <b>Tabla 16: Ejemplos de comparación y validación de datos de actividad</b>	52
■ <b>Tabla 11: Consumo de combustibles por modo de transporte</b>	45	3.6.5 Recálculos específicos de la categoría	53
3.4.2.2 Factores de emisión	46	■ <b>Tabla 17: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	53
■ <b>Tabla 12: Factores de emisión específicos de México para los combustibles empleados en el transporte</b>	46	3.6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	53
3.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	46	3.7 Emisiones fugitivas de petróleo y gas [1B2]	53
3.4.4 QA/QC de la categoría y verificación	46	3.7.1 Descripción de la categoría	53
3.4.5 Recálculos específicos de la categoría	47	❖ <b>Figura 19: Emisiones fugitivas por la producción de combustibles por actividad</b>	54
■ <b>Tabla 13: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	47	3.7.2 Metodología	54
3.4.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	47	3.7.2.1 Datos de actividad y factores de emisión	54
3.5 Otros sectores [1A4]	47	■ <b>Tabla 18: Fuentes de información para los datos de actividad</b>	55
		3.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	56



3.7.4 QA/QC de la categoría y verificación	56	■ <b>Tabla 22: Factores de emisión específicos de México para combustibles de origen biogénico empleados en la producción energética</b>	63
3.7.5 Recálculos específicos de la categoría	56	3.11.3 Incertidumbres y coherencias de las series temporales	63
■ <b>Tabla 19: Tabla 19. Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	56	3.11.4 QA/QC de la categoría y verificación	63
3.7.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	57	3.11.5 Recálculos específicos de la categoría	63
3.8 Transporte y almacenamiento de CO <sub>2</sub> [1C]	57	■ <b>Tabla 23: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	63
3.8.1 Descripción	57	3.11.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	64
3.8.2 Mejoras previstas	57	3.12 Referencias	64
3.9 Comparación del enfoque sectorial con el enfoque de referencia	57	<b>4. [2] Procesos industriales y uso de productos, PIUP</b>	<b>65</b>
3.9.1 Descripción	57	4.1 Visión general del sector	65
❖ <b>Figura 20: Comparación de las emisiones de GEI del método sectorial vs método de referencia</b>	58	❖ <b>Figura 26: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del sector [2] PIUP</b>	65
❖ <b>Figura 21: Diferencia porcentual entre ambos enfoques</b>	58	4.2 Industria de los minerales [2A]	66
3.9.2 Metodología	59	4.2.1 Descripción de la categoría	66
3.10 Búnkeres internacionales	59	❖ <b>Figura 27: Emisiones de la industria de los minerales [2A]</b>	66
3.10.1 Descripción de la categoría	59	4.2.2 Metodología	66
❖ <b>Figura 22: Emisiones de búnkeres internacionales</b>	59	4.2.2.1 Datos de actividad	67
3.10.2 Metodología	60	■ <b>Tabla 24: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria de los minerales [2A]</b>	68
3.10.2.1 Datos de actividad	60	4.2.2.2 Factores de emisión (FE)	68
❖ <b>Figura 23: Consumo de combustibles en la aviación internacional [1A3ai]</b>	60	■ <b>Tabla 25: Factores de corrección del porcentaje de clínker en cemento para la estimación de emisiones de la subcategoría [2A1]</b>	68
3.10.2.2 Factores de emisión	60	4.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	69
■ <b>Tabla 20: Factores de emisión específicos de México para la actividad de aviación internacional [1A3ai]</b>	60	4.2.4 QA/QC de la categoría y verificación	69
3.10.3 Incertidumbres y coherencias de las series temporales	61	4.2.5 Recálculos específicos de la categoría	69
3.10.4 QA/QC de la categoría y verificación	61	■ <b>Tabla 26: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	69
3.10.5 Recálculos específicos de la categoría	61	4.2.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	69
3.10.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	61	4.3 Industria química [2B]	70
3.11 Quema de biomasa ( <i>Memo item</i> )	61	4.3.1 Descripción de la categoría	70
3.11.1 Descripción de la categoría	61	❖ <b>Figura 28: Emisiones de la industria química [2B]</b>	70
❖ <b>Figura 24: Emisiones de quema de biomasa para la producción de energía (<i>Memo item</i>)</b>	61	4.3.2 Metodología	71
3.11.2 Metodología	62	4.3.2.1 Datos de actividad	71
3.11.2.1 Datos de actividad	62	■ <b>Tabla 27: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria química [2B]</b>	72
❖ <b>Figura 25: Consumo de combustibles de origen biogénico empleados con fines energéticos [1A3di]</b>	62		
■ <b>Tabla 21: Consumo de combustibles de origen biogénico empleados con fines energéticos</b>	62		
3.11.2.2 Factores de emisión	63		

4.3.2.2 Factores de emisión	72	4.5.4 QA/QC de la categoría y verificación	80
■ <b>Tabla 28: Factores de emisión específicos del país utilizados para la estimación de las emisiones de la categoría [2B]</b>	<b>73</b>	4.5.5 Recálculos específicos de la categoría	80
4.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	73	4.5.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	80
4.3.4 QA/QC de la categoría y verificación	73	4.6 Industria electrónica [2E]	80
4.3.5 Recálculos específicos de la categoría	74	4.6.1 Descripción de la categoría	80
■ <b>Tabla 29: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>74</b>	❖ <b>Figura 31: Emisiones de la industria electrónica [2E]</b>	<b>81</b>
4.3.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	74	4.6.2 Metodología	81
4.4 Industria de los metales [2C]	74	4.6.2.1 Datos de actividad	81
4.4.1 Descripción de la categoría	74	■ <b>Tabla 34: Datos de actividad para las subcategorías de la industria electrónica [2E]</b>	<b>82</b>
❖ <b>Figura 29: Emisiones de la industria de los metales [2C]</b>	<b>75</b>	4.6.2.2 Factores de emisión	82
4.4.2 Metodología	75	4.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	82
4.4.2.1 Datos de actividad	75	4.6.4 QA/QC de la categoría y verificación	82
■ <b>Tabla 30: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria de los metales [2C]</b>	<b>76</b>	4.6.5 Recálculos específicos de la categoría	82
4.4.2.2 Factores de emisión	77	4.6.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	82
■ <b>Tabla 31: Factores de emisión específicos del país utilizados para la estimación de las emisiones de la categoría [2C]</b>	<b>77</b>	4.7 Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F]	83
4.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	77	4.7.1 Descripción de la categoría	83
4.4.4 QA/QC de la categoría y verificación	77	❖ <b>Figura 32: Emisiones del uso de productos sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono [2F]</b>	<b>83</b>
4.4.5 Recálculos específicos de la categoría	78	4.7.2 Metodología	84
■ <b>Tabla 32: Tabla 32. Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>78</b>	4.7.2.1 Datos de actividad	84
4.4.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	78	■ <b>Tabla 35: Datos de actividad para las distintas subcategorías de uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F]</b>	<b>85</b>
4.5 Uso de productos no energéticos de combustibles y disolventes [2D]	78	4.7.2.2 Factores de emisión	85
4.5.1 Descripción de la categoría	78	■ <b>Tabla 36: Factores de emisión y parámetros considerados en la estimación de las emisiones de la categoría [2F]</b>	<b>86</b>
❖ <b>Figura 30: Emisiones del uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes [2D]</b>	<b>79</b>	4.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	86
4.5.2 Metodología	79	4.7.4 QA/QC de la categoría y verificación	86
4.5.2.1 Datos de actividad	79	4.7.5 Recálculos específicos de la categoría	86
■ <b>Tabla 33: Datos de actividad para las distintas subcategorías de uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes [2D]</b>	<b>79</b>	■ <b>Tabla 37: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>87</b>
4.5.2.2 Factores de emisión	79	4.7.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	87
4.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	80	4.8 Manufactura y utilización de otros productos [2G]	87
		4.8.1 Descripción de la categoría	87
		❖ <b>Figura 33: Emisiones de la manufactura y utilización de otros productos [2G]</b>	<b>88</b>
		4.8.2 Metodología	88

4.8.2.1 Datos de actividad	88	5.2.4 QA/QC de la categoría y verificación	96
■ <b>Tabla 38: Datos de actividad para los equipos eléctricos de la categoría [2G] Manufactura y utilización de otros productos</b>	88	5.2.5 Recálculos específicos de la categoría	96
4.8.2.2 Factores de emisión	88	■ <b>Tabla 43: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	96
4.8.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	89	5.2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	97
4.8.4 QA/QC de la categoría y verificación	89	5.3 Gestión de estiércol [3A2]	97
4.8.5 Recálculos específicos de la categoría	89	5.3.1 Descripción de la categoría	97
■ <b>Tabla 39: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	89	❖ <b>Figura 37: Emisiones de gestión de estiércoles [3A2]</b>	97
4.8.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	89	5.3.2 Metodología	97
4.9 Otros (2H)	89	5.3.2.1 Datos de actividad	98
4.9.1 Descripción de la categoría	89	■ <b>Tabla 44: Población promedio de las aves de corral</b>	98
4.9.2 Metodología	89	■ <b>Tabla 45: Distribución de los sistemas de manejo de estiércol por animal</b>	98
❖ <b>Figura 34: Emisiones de [2H] Otros</b>	90	5.3.2.2 Factores de emisión	99
4.9.2.1 Datos de actividad	90	5.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	99
■ <b>Tabla 40: Datos de actividad para otros [2H]</b>	90	5.3.4 QA/QC de la categoría y verificación	100
4.9.2.2 Factores de emisión	90	5.3.5 Recálculos específicos de la categoría	100
■ <b>Tabla 41: Factores de emisión para el consumo de carbonatos en la industria de la celulosa y el papel [2H1]</b>	90	■ <b>Tabla 46: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	100
4.9.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	91	5.3.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	100
4.9.4 QA/QC de la categoría y verificación	91	5.4 Emisiones de GEI por quema de biomasa [3C1]	100
4.9.5 Recálculos específicos de la categoría	91	5.4.1 Descripción de la categoría	100
4.9.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	91	❖ <b>Figura 38: Emisiones de quema de biomasa [3C1]</b>	101
4.10 Referencias	91	5.4.2 Metodología	101
<b>5. [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra</b>	<b>93</b>	5.4.2.1 Datos de actividad	102
5.1 Agricultura	93	■ <b>Tabla 47: Superficies incendiadas tipo de vegetación</b>	102
❖ <b>Figura 35: Evolución de las emisiones de del sector [3] ASOUT, categorías [3A] y [3C]</b>	93	5.4.2.2 Factores de emisión	102
5.2 Fermentación entérica [3A1]	94	5.4.3 Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1b]	103
5.2.1 Descripción de la categoría	94	5.4.3.1 Datos de actividad	103
❖ <b>Figura 36: Emisiones de CH<sub>4</sub> de la fermentación entérica [3A1]</b>	94	■ <b>Tabla 48: Superficies incendiadas por tipo de cultivo</b>	103
5.2.2 Metodología	94	5.4.3.2 Factores de emisión	103
5.2.2.1 Datos de actividad	95	■ <b>Tabla 49: Factores de emisión para la quema <i>in situ</i> de residuos agrícolas</b>	104
■ <b>Tabla 42: Población promedio por especie</b>	95	5.4.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	104
5.2.2.2 Factores de emisión	95	5.4.5 QA/QC de la categoría y verificación	104
5.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	96	5.4.6 Recálculos específicos de la categoría	104
		■ <b>Tabla 50: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	104

5.4.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría	105	IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)	112
5.5 Suelos gestionados [3C4 y 3C5]	105	■ <b>Tabla 56: Comparación de las estimaciones por [3C6] Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	112
5.5.1 Descripción de la categoría	105	■ <b>Tabla 57: Comparación de las estimaciones por [3C7] Cultivo del arroz del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	113
❖ <b>Figura 39: Emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O en los suelos gestionados, [3C4] y [3C5]</b>	105	5.6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	113
■ <b>Tabla 51: Estadísticas de producción agrícola nacional (SIAP, 2020a) y superficie fertilizada calculada</b>	106	5.7 Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, UTCUTS	113
5.5.2 Metodología	106	5.7.1 Visión general de UTCUTS	113
5.5.2.1 Datos de actividad	106	❖ <b>Figura 42: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del subsector UTCUTS</b>	114
5.5.2.1.1 Fertilizantes sintéticos nitrogenados (F <sub>SN</sub> )	106	❖ <b>Figura 43: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e de UTCUTS sin [3B1] Tierras forestales</b>	114
5.5.2.1.2 Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo (F <sub>PRP</sub> )	106	5.7.2 Definiciones de UTCUTS	115
5.5.2.1.3 Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo (F <sub>CR</sub> )	107	■ <b>Tabla 58: Definiciones de las categorías de uso de la tierra de UTCUTS</b>	115
❖ <b>Figura 40: Insumos de nitrógeno a los suelos gestionados</b>	107	5.7.3 Enfoques para representar superficies, y bases de datos de USCUTS	115
5.5.2.2 Factores de emisión	107	❖ <b>Figura 44: Ecorregiones de México, niveles I y II</b>	116
5.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	108	❖ <b>Figura 45: Patrón de distribución de los CGL del INFYS en tres estratos</b>	117
5.5.4 QA/QC de la categoría y verificación	108	■ <b>Tabla 59: Insumos utilizados en la estimación por el enfoque de muestreo</b>	117
5.5.5 Recálculos específicos de la categoría	108	5.7.3.1 Resultados obtenidos	118
■ <b>Tabla 52: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	108	❖ <b>Figura 46: Evolución de las superficies en cambio de uso</b>	118
■ <b>Tabla 53: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	109	■ <b>Tabla 60: Superficie de los usos de la tierra por año</b>	118
5.5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	109	5.7.4 Síntesis metodológica	120
5.6 Otras fuentes de emisión [3C2, 3C3, 3C6, 3C7]	109	■ <b>Tabla 61: Cobertura de las estimaciones de UTCUTS</b>	121
5.6.1 Descripción de las categorías	109	■ <b>Tabla 62: Existencias de carbono en los depósitos de cada uso de la tierra</b>	121
❖ <b>Figura 41: Emisiones de otras fuentes del sector agrícola</b>	110	5.7.5 Tierras forestales (3B1)	122
5.6.2 Metodología	110	5.7.5.1 Descripción de la categoría	122
5.6.2.1 Datos de actividad	110	❖ <b>Figura 47: Emisiones y absorciones [3B1] Tierras forestales</b>	122
■ <b>Tabla 54: Datos de actividad de las otras fuentes del sector agrícola</b>	111	5.7.5.2 Metodología	122
5.6.2.2 Factores de emisión	111	5.7.5.2.1 Datos de actividad	123
5.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	111	5.7.5.2.2 Factores de emisión	123
5.6.4 QA/QC de la categoría y verificación	112	5.7.5.3 QA/QC de la categoría y verificación	123
5.6.5 Recálculos específicos de la categoría	112	5.7.5.4 Recálculos específicos de la categoría	123
■ <b>Tabla 55: Comparación de las estimaciones de emisiones por [3C3] Aplicación de urea del INEGYCEI</b>			

■ <b>Tabla 63: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	124	5.7.8.4 QA/QC de la categoría y verificación	129
5.7.5.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría	124	5.7.8.5 Recálculos específicos de la categoría	129
5.7.6 Tierras de cultivo y pastizales [3B2] y [3B3]	124	■ <b>Tabla 68: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	129
5.7.6.1 Descripción de la categoría	124	5.7.8.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	129
5.7.6.2 Metodología	124	5.8 Referencias	130
5.7.6.2.1 Datos de actividad	124	5.8.1 Agricultura	130
❖ <b>Figura 48: Emisiones/absorciones de [3B2] Tierras de cultivo y [3B3] Praderas</b>	125	5.8.2 UTCUTS	132
5.7.6.2.2 Factores de emisión	125	<b>6. [4] Residuos</b>	<b>133</b>
5.7.6.3 QA/QC de la categoría y verificación	125	6.1 Visión general del sector	133
5.7.6.4 Recálculos específicos de la categoría	125	❖ <b>Figura 51: Evolución de las emisiones del sector [4] Residuos, 1990-2019</b>	<b>133</b>
■ <b>Tabla 64: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	126	6.2 Eliminación de residuos sólidos [4A]	134
5.7.6.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría	126	6.2.1 Descripción de la categoría	134
5.7.7 Otros usos de la tierra	126	❖ <b>Figura 52: Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos</b>	<b>134</b>
5.7.7.1 Descripción de la categoría	126	❖ <b>Figura 53: Cantidades de CH<sub>4</sub> generado y aprovechado energéticamente</b>	<b>134</b>
❖ <b>Figura 49: Emisiones/absorciones de otros usos de la tierra [3B4], [3B5] y [3B6]</b>	126	6.2.2 Metodología	135
5.7.7.2 Metodología	126	6.2.2.1 Datos de actividad	135
5.7.7.2.1 Datos de actividad	127	■ <b>Tabla 69: Categorías principales de residuos eliminados en todo el país</b>	<b>135</b>
5.7.7.2.2 Factores de emisión	127	❖ <b>Figura 54: Cantidad de residuos eliminados en los diferentes sistemas</b>	<b>135</b>
5.7.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	127	6.2.2.2 Parámetros de estimación	136
5.7.7.4 QA/QC de la categoría y verificación	127	■ <b>Tabla 70: Parámetros empleados en la estimación de las emisiones en [4A]</b>	<b>136</b>
5.7.7.5 Recálculos específicos de la categoría	127	■ <b>Tabla 71: Valores MCF</b>	<b>136</b>
■ <b>Tabla 65: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)</b>	127	■ <b>Tabla 72: Valores COD y CODF</b>	<b>136</b>
5.7.7.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría	127	■ <b>Tabla 73: Valores de tasas de generación de metano (k)</b>	<b>137</b>
5.7.8 Productos de madera recolectada [3D1]	128	■ <b>Tabla 74: Composición de los residuos por entidad federativa</b>	<b>138</b>
5.7.8.1 Descripción de la categoría	128	6.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	138
❖ <b>Figura 50: Emisiones/absorciones de [3D1] Productos de madera recolectada</b>	128	6.2.4 QA/QC de la categoría y verificación	138
5.7.8.2 Metodología	128	6.2.5 Recálculos específicos de la categoría	139
5.7.8.2.1 Datos de actividad	128	■ <b>Tabla 75: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>139</b>
■ <b>Tabla 66: Datos de productos semifinalizados de la madera</b>	129	6.2.6 Mejoras previstas específicas de la categoría	139
5.7.8.2.2 Factores de emisión	129	6.3 Tratamiento biológico de los residuos sólidos [4B]	140
■ <b>Tabla 67: Parámetros de estimación de las variaciones del depósito de PMR</b>	129	6.3.1 Descripción de la categoría	140
5.7.8.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	129		

❖ <b>Figura 55: Emisiones de [4B] Tratamiento biológico de residuos sólidos</b>	<b>140</b>	■ <b>Tabla 80: Cantidad de CH<sub>4</sub> generado y con aprovechamiento energético</b>	<b>148</b>
6.3.2 Metodología	140	6.5.2.2 Factores de emisión	148
6.3.2.1 Datos de actividad	140	■ <b>Tabla 81: Parámetros empleados en la estimación de emisiones en [4D]</b>	<b>148</b>
❖ <b>Figura 56: Cantidad de residuos sólidos tratados biológicamente</b>	<b>141</b>	■ <b>Tabla 82: MCF específicos del país considerados para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento</b>	<b>149</b>
6.3.2.2 Factores de emisión	141	■ <b>Tabla 83: Parámetros de DQO de las industrias empleados en la estimación</b>	<b>150</b>
6.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	141	6.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	150
6.3.4 QA/QC de la categoría y verificación	141	6.5.4 QA/QC de la categoría y verificación	150
6.3.5 Recálculos específicos de la categoría	141	6.5.5 Recálculos específicos de la categoría	151
■ <b>Tabla 76: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>142</b>	■ <b>Tabla 84: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>151</b>
6.3.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.	142	6.5.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.	151
6.4 Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos [4C]	142	6.6 Referencias	151
6.4.1 Descripción de la categoría	142	<b>7. Otros</b>	<b>153</b>
❖ <b>Figura 57: Emisiones de [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos</b>	<b>142</b>	7.1 Industrias de la energía [1A]	153
6.4.2 Metodología	143	7.1.1 Metodología	153
6.4.2.1 Datos de actividad	143	7.1.2 Elección de los factores de emisión	153
6.4.2.2 Factores de emisión	143	■ <b>Tabla 85: Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A1a]</b>	<b>153</b>
6.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales	144	■ <b>Tabla 86: Factores de emisión de CN para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]</b>	<b>154</b>
6.4.4 QA/QC de la categoría y verificación	144	■ <b>Tabla 87: Factores de emisión de CN para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]</b>	<b>154</b>
6.4.5 Recálculos específicos de la categoría	144	■ <b>Tabla 88: Porcentaje de relación entre carbono negro y PM<sub>2.5</sub> para los diferentes sectores industriales</b>	<b>154</b>
■ <b>Tabla 77: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)</b>	<b>144</b>	■ <b>Tabla 89: Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre CN y PM<sub>2.5</sub> para las fuentes de emisión [1A3a], [1A3c] y [1A3d]</b>	<b>154</b>
6.4.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.	144	■ <b>Tabla 90: Factores de emisión de CN y correlación CN/PM<sub>2.5</sub> para la fuente de emisión [1A3b]</b>	<b>155</b>
6.5 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales [4D]	145	■ <b>Tabla 91: Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre carbono negro y PM<sub>2.5</sub> para la subcategoría [1A4]</b>	<b>155</b>
6.5.1 Descripción de la categoría	145	7.2 Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles [1B]	155
❖ <b>Figura 58: Emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales</b>	<b>145</b>	7.2.1 Metodología	155
6.5.2 Metodología	145	7.3 Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra [3C]	156
6.5.2.1 Datos de actividad	146	7.3.1 Emisiones de quema de biomasa en tierras forestales [3C1a]	156
■ <b>Tabla 78: Datos de actividad recopilados para la estimación de emisiones en [4D]</b>	<b>146</b>	7.3.1.1 Metodología	156
❖ <b>Figura 59: Volumen de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y eliminadas</b>	<b>146</b>		
■ <b>Tabla 79: Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento</b>	<b>147</b>		



■ <b>Tabla 92: Factores de emisión para CN y PM<sub>2.5</sub> según el tipo de vegetación</b>	<b>156</b>	■ <b>Tabla 95: Categorías clave ordenadas por nivel en 2019, derivadas del Método 1</b>	<b>171</b>
7.3.2 Emisiones de quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1 b]	156	<b>Anexo 2: Evaluación de la incertidumbre</b>	<b>175</b>
7.3.2.1 Metodología	156	■ <b>Tabla 96: Incertidumbres por fuente</b>	<b>175</b>
7.3.2.2 Incertidumbre y consistencia de la serie de tiempo	157	<b>Anexo 3: Descripciones metodológicas adicionales</b>	<b>179</b>
7.3.3 Emisiones por quema de biomasa en tierras praderas [3C1 c]	157	■ <b>Anexo 3. Experto 1: Actividad principal de energía y calor [1A1a]</b>	<b>179</b>
7.3.3.1 Metodología	157	■ <b>Anexo 3. Experto 2: Autotransporte [1A3b]</b>	<b>180</b>
7.4 Incineración y quema a cielo abierto de residuos [4C]	157	■ <b>Anexo 3. Experto 3: Industria de los minerales [2A4]</b>	<b>182</b>
7.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría	157	■ <b>Anexo 3. Experto 4: [2A4] Otros usos de carbonatos</b>	<b>183</b>
<b>8. Emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O</b>	<b>159</b>	■ <b>Anexo 3. Experto 5: [2B2] Producción de amoníaco, dato de actividad</b>	<b>184</b>
8.1 Descripción de las fuentes de emisiones indirectas en el inventario de GEI	159	■ <b>Anexo 3. Experto 6: [2B2] Producción de amoníaco, factor de emisión (FE)</b>	<b>185</b>
8.1.1 Metodología	159	■ <b>Anexo 3. Experto 7: [2C1] Producción de hierro y acero</b>	<b>186</b>
8.2 Mejoras planificadas específicas de cada categoría	159	■ <b>Anexo 3. Experto 8: [2C5] Producción plomo</b>	<b>187</b>
<b>9. Recálculos y mejoras</b>	<b>161</b>	■ <b>Anexo 3. Experto 9: [2C5] Producción de zinc</b>	<b>188</b>
9.1 Explicaciones y justificaciones de los nuevos cálculos	161	■ <b>Anexo 3. Experto 10: [2E] Industria electrónica</b>	<b>189</b>
9.2 Implicaciones para los niveles de emisión	161	■ <b>Anexo 3. Experto 11: [2F1] Equipos de aires acondicionados y refrigeración, factores de emisión</b>	<b>190</b>
❖ <b>Figura 60: Comparación de las emisiones totales (sin UTCUTS) entre ediciones del INEGYCEI</b>	<b>162</b>	■ <b>Anexo 3. Experto 12: [3A] Ganado</b>	<b>192</b>
❖ <b>FIGURA 61: Comparación porcentual de las emisiones entre ediciones del INEGYCEI</b>	<b>162</b>	■ <b>Anexo 3. Experto 13: [3C2] Encalado</b>	<b>193</b>
9.3 Consecuencias para las tendencias de las emisiones	162	■ <b>Anexo 3. Experto 14: [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados</b>	<b>194</b>
9.4 Mejoras previstas	163	■ <b>Anexo 3. Experto 15: [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados</b>	<b>195</b>
■ <b>Tabla 93: Mejoras previstas del INEGYCEI</b>	<b>163</b>	■ <b>Anexo 3. Experto 16: [4A] Eliminación de residuos sólidos</b>	<b>196</b>
<hr/>		■ <b>Anexo 3. Experto 17: [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas</b>	<b>197</b>
<b>INEGYCEI 1990-2019: Anexos</b>	<b>167</b>	<b>Anexo 4: Compuestos, unidades, siglas y acrónimos</b>	<b>201</b>
<b>Anexo 1: Categorías clave</b>	<b>169</b>	■ <b>Tabla 97: Compuestos</b>	<b>201</b>
■ <b>Tabla 94: Resumen de las categorías principales del INEGYCEI de México 1990-2019, de acuerdo con las evaluaciones de nivel y tendencia, usando los Métodos 1 y 2</b>	<b>169</b>	■ <b>Tabla 98: Unidades</b>	<b>201</b>
		■ <b>Tabla 99: Siglas y acrónimos</b>	<b>202</b>



## Resumen ejecutivo

El Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) que se presenta ha sido actualizado para el periodo 1990-2019, mediante las metodologías 2006 y refinamiento 2019 del Grupo Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

Las emisiones de GEI en el país ascendieron a 736.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (MtCO<sub>2</sub>e) en 2019 (sin considerar las absorciones), de las cuales la mayor contribución se debe a las actividades de generación de energía eléctrica con 23.3%, seguida por el autotransporte con 18.5% y ganadería de bovinos con 13.2%.

Las actividades de reforestación y la permanencia de tierras como tierras forestales, de cultivo o praderas absorben el carbono del CO<sub>2</sub> de la atmósfera para generar oxígeno y biomasa que almacena el carbono. En 2019 se observó una absorción de 201.94 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y las emisiones netas (emisiones menos absorciones) fueron de 534.69 MtCO<sub>2</sub>e.

El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono con 67%, seguido por el metano, con 24%, y el óxido nitroso, con 6%; el resto corresponde a gases “F” (HFC, PFC, NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub>).

En 2019, las emisiones per cápita en México alcanzaron 3.47 toneladas de CO<sub>2</sub>e, lo que representó una reducción de 8.8% respecto de las emisiones per cápita en 2010.

En el caso del carbono negro, un contaminante y forzador climático de vida corta (FCVC), que tiene efectos adversos en la salud y en los ecosistemas, la emisión se contabilizó en 65,582 toneladas en 2019, siendo las principales fuentes de emisión la quema de leña en hogares, los vehículos a *diesel*, la generación de energía eléctrica, quemadores de gas natural, la quema de biomasa en tierras y la quema de residuos sólidos a cielo abierto.

## Información de antecedentes sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y el cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), firmada por el Gobierno de México el 13 de junio de 1992, fue aprobada unánimemente por la Cámara de Senadores del H. Congreso de la Unión el 3 de diciembre del mismo año. La Convención fue ratificada ante la Organización de las Naciones Unidas el 11 de marzo de 1993, y el Gobierno de México se comprometió a cumplir con los lineamientos establecidos en ese instrumento, entre los que cuenta desarrollar y actualizar un inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Los inventarios han evolucionado en la aplicación de las metodologías del IPCC, así como en los arreglos institucionales para la obtención de datos de actividad y la aplicación de factores de emisión más acordes con las circunstancias nacionales. El cumplimiento de los cinco principios de los inventarios —transparencia, precisión, exhaustividad, consistencia y comparabilidad— se refleja de manera evolutiva en cada actualización del inventario. En la **Tabla 1** se presenta una comparación de la información proporcionada en los diferentes inventarios de México.

**Tabla 1: Comparación de los inventarios nacionales de México presentados ante la CMNUCC, 1997-2018**

Documento	Temas e información		
Primera CN	Energía e industria.	Agricultura y cambio de uso de suelo.	Tiraderos de residuos sólidos.
Segunda CN	Energía	Procesos industriales.	Otros gases.
	Combustión (fuentes fijas y de área).	Agricultura.	Escenarios de emisiones futuras (datos históricos de acuerdo al Balance Nacional de
	Combustión (transporte).	Cambio en el uso del suelo.	Energía 1996).
	Emisiones fugitivas.	Residuos.	
Tercera CN	Panorama general 2002	Método de referencia y sectorial.	Nivel de incertidumbre.
	Emisiones de GEI por categoría en 2002	Emisiones del transporte internacional aéreo y marítimo.	Comparación internacional.
	Tendencia de las emisiones de GEI por tipo de gas. Información sobre los GEI indirectos.	Fuentes clave.	
Cuarta CN	Emisiones de GEI por gas.	Tendencia de las emisiones de GEI por el periodo de 1990 a 2006.	Emisiones del transporte internacional aéreo y marítimo. Comparación internacional.
	Emisiones de GEI por categoría.	Método de referencia y sectorial.	
Quinta CN	Arreglos institucionales.	Emisiones de GEI por gas.	Cálculo de emisiones de carbono negro para 1990-2010.
	Proceso de preparación del inventario y aspectos metodológicos.	Emisiones de GEI por categoría.	Indicadores relevantes de las emisiones de GEI.
	Panorama general.	Tendencia de las emisiones de GEI para el periodo de 1990 a 2010.	Comparación internacional.
IBA 1	Arreglos institucionales	Emisiones de GEI por categoría.	Indicadores de las emisiones de GEI.
	Proceso de preparación del inventario y aspectos metodológicos con IPCC 1996 y 2006.	Tendencia de las emisiones de GEI para el periodo de 1990 a 2013.	Comparación internacional.
	Panorama general.	Uso del potencial de calentamiento del 4° Informe del IPCC.	
	Emisiones de GEI por gas.	Cálculo de emisiones de carbono negro para 1990-2013.	
Sexta CN e IBA 2	Arreglos institucionales Proceso de preparación del inventario y aspectos metodológicos con IPCC, 2006.	Emisiones de GEI de acuerdo a la clasificación del IPCC, 2006.	Cálculo de emisiones de carbono negro para 1990-2015.
	Panorama general.	Tendencia de las emisiones de GEI para el periodo de 1990 a 2015.	Indicadores de las emisiones GEI por intensidad de carbono y per cápita.
	Emisiones de GEI por gas.	Uso del potencial de calentamiento del 4° Informe del IPCC.	Comparación internacional.

CN= Comunicación Nacional. IBA= Informe Bienal de Actualización.

## Tendencias agregadas de las emisiones y la absorción

Las emisiones, sin absorciones, entre 1990 (467 MtCO<sub>2</sub>e) y 2019 (737 MtCO<sub>2</sub>e) reflejaron un comportamiento creciente para el balance, que incrementó su valor 57.8% a una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 1.59% (ver **Figura 3: Variación relativa del total de emisiones (sin UTCUTS) respecto a 1990**, pág. 32). Entre 2010 y 2019 el crecimiento fue más moderado, con un aumento de 2.57% (TCMA= 0.28%) en emisiones totales.

El crecimiento de las emisiones en la serie histórica está relacionado principalmente con el crecimiento de la economía en el país y de la población. La tendencia histórica del PIB y de la población en México ha sido de un crecimiento constante: el PIB en 2019 superó en más de lo doble al de 1990 y la población se incrementó 56% en el mismo periodo. Pese a tales incrementos, las tendencias del crecimiento de las emisiones se han dado de manera menos acelerada.

Este mismo comportamiento se observa en las tendencias de las emisiones netas (emisiones totales menos las absorciones), que se muestran en la **Figura 4: Variación relativa del total de emisiones (con utcuts) respecto al año 2000**, pág. 32.

## Evolución de las emisiones por gas y por sector

En la **Figura 5: Emisiones por tipo de gas** (pág. 33), se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero por sector, conforme a la clasificación del IPCC, los sectores de Energía, Procesos industriales y uso de productos (PIUP) y Residuos, así como por las categorías de Agricultura y Uso de la tierra y cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS) pertenecientes al sector Agricultura, forestal y otros usos de la tierra (ASOUT). En la misma gráfica se tiene una diferencia entre 1999 y el año 2000, debido a la falta de las absorciones antes de este año.

También se observa que Energía es el principal sector emisor de GEI, seguido por las actividades de agricultura, y este comportamiento se refleja de manera histórica. Se observa un crecimiento en todos los sectores y categorías presentadas. El crecimiento de Energía está relacionado principalmente con el crecimiento de los combustibles fósiles en las diferentes actividades productivas. De igual forma, el crecimiento de las emisiones por PIUP depende principalmente del relacionado con las actividades en la producción industrial. La variable asociada al crecimiento de las emisiones por el sector Residuos, se asocia principalmente al crecimiento de la población. Existen variaciones en la captura de carbono por UTCUTS, que dependerán del comportamiento del cambio del uso de cada año.

Las emisiones por tipo de gas en el periodo 1990 al 2019 se presentan en la **Figura 6 (Emisiones por sector**, pág. 34). El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), seguido por el metano (CH<sub>4</sub>), y este comportamiento prevalece a lo largo del periodo. La principal fuente del CO<sub>2</sub> resulta de la demanda energética nacional y el autotransporte. El CH<sub>4</sub> proviene principalmente de la ganadería, incluidas la fermentación entérica y el manejo de excretas.

## Carbono negro

Para México, el comportamiento histórico de las emisiones del carbono negro es importante, tanto en el contexto del cambio climático, por tratarse de un contaminante climático de vida corta, como en el ámbito sanitario, por los problemas que causa la exposición a ese agente.

En la **Figura 7 (Emisiones de carbono negro**, pág. 35) se observa el comportamiento decreciente del carbono negro entre 1990 y 2019, debido principalmente al uso de mejores tecnologías y de combustibles con menor contenido de carbono, así como por la disminución de prácticas de quema de leña y quema de residuos a cielo abierto.





# 1. Introducción

## 1.1 Información básica sobre los inventarios de gases de efecto invernadero y cambio climático

México presenta en este informe la actualización del *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019*, en calidad de país signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de conformidad con el artículo 12 del protocolo de la Convención y el artículo 74 de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) de México.

El *Inventario* se elaboró según los lineamientos vigentes de las *Directrices* del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático establecidas en 2006 (en adelante *Directrices 2006*) y el *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (en adelante *Refinamiento 2019*).

Se incluyen las estimaciones de las emisiones y absorciones de gases y compuestos de efecto invernadero (CYCEI) por fuentes y sumideros para los cuatro sectores de emisión definidos por el IPCC: [1] Energía; [2] Procesos industriales y uso de productos; [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra y [4] Residuos.

Los gases que se informan son los seis incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), así como el trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>) que se emplea principalmente en la industria electrónica.

Adicionalmente, México informa las emisiones de carbono negro, para el cual el país ha establecido compromisos de reducción de emisiones. Esta actualización presenta la serie 1990-2019 y considera mejoras metodológicas que se detallan en los apartados de cada uno de los sectores.

El presente informe se compone de nueve capítulos estructurados de la siguiente forma:

Capítulo	Contenido
1	Antecedentes generales, arreglos institucionales y el proceso de actualización del presente inventario.
2	Detalla indicadores y tendencias de las emisiones y absorciones de CYCEI.
3 al 6	Información detallada y resultados de los cuatro sectores de emisión desglosados por categoría, subcategoría y fuentes de emisión.
7	Emisiones de carbono negro a nivel de fuente de emisión.
8	Breve descripción de las fuentes de emisiones indirectas.
9	Detalles de los recálculos y mejoras realizadas en las estimaciones de este inventario.

## 1.2 Descripción del sistema del inventario

### 1.2.1 Disposiciones institucionales, jurídicas y de procedimiento

La CMNUCC fue firmada por el Gobierno de México el 13 de junio de 1992 y aprobada unánimemente por la Cámara de Senadores del Honorable Congreso de la Unión el 3 de diciembre del mismo año. Tras la aprobación del Senado, la Convención fue ratificada ante la Organización de las Naciones Unidas el 11 de marzo de 1993. Con ello, el Gobierno de México se comprometió a cumplir con los lineamientos establecidos en ese instrumento, entre los que se cuenta el de desarrollar y actualizar un inventario nacional de gases de efecto invernadero.

En respuesta a los compromisos adquiridos por el país para la elaboración de los inventarios nacionales de emisiones, México cuenta con un marco jurídico que regula la responsabilidad de su elaboración, así como las bases para su desarrollo y actualización. La promulgación de la Ley General de Cambio Climático (LGCC) de México en 2012 colocó al país como el segundo<sup>1</sup> en establecer un mandato de ley para los temas de cambio climático. En este instrumento se define al *Inventario* como “el documento que contiene la estimación de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros”.

En el artículo 7, fracción XIV, de la LGCC, se indica que es atribución de la federación “Formular y adoptar metodologías y criterios, expedir las disposiciones jurídicas que se requieran para la elaboración, actualización y publicación del inventario y en su caso los inventarios estatales; así como requerir la información necesaria para su integración a los responsables”. A su vez, la referida ley, en su artículo 74, mandata la elaboración y actualización del INEGYCEI por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) contemplando la siguiente temporalidad:

- i. La estimación de las emisiones de la quema de combustibles fósiles se realizará anualmente;
- ii. La estimación de las emisiones, distintas a las de la quema de combustibles fósiles, con excepción de las relativas al cambio de uso de suelo, se realizará cada dos años, y
- iii. La estimación del total de las emisiones por las fuentes y las absorciones por los sumideros de todas las categorías incluidas en el Inventario, se realizará cada cuatro años.

Adicionalmente, el INEGYCEI forma parte del Sistema de Información sobre el Cambio Climático y es, desde 2014, información de interés nacional y de uso obligatorio para la federación, entidades federativas y municipios, de acuerdo con la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

### 1.2.2 Sistema de planificación y gestión

De conformidad con el artículo 22, fracción VIII, de la LGCC, en el que se instruye al INECC el desarrollo del INEGYCEI, al interior del INECC se procesa y desarrolla el inventario por medio de la cooperación de distintas áreas, a través de la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático, como se puede observar en la zona enmarcada de la **Figura 1**.

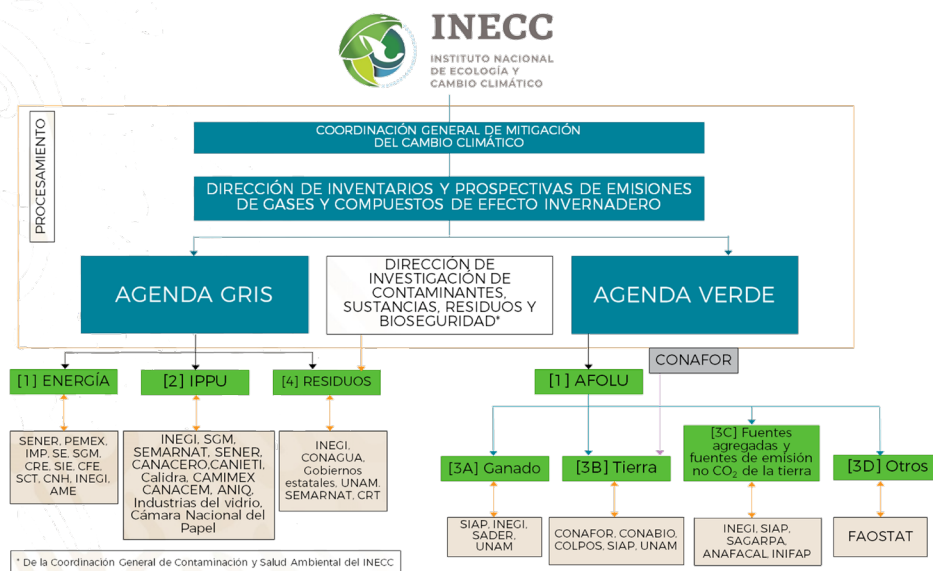
La supervisión y coordinación del desarrollo y actualización del INEGYCEI está a cargo de la Dirección de Inventarios y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero con sus dos subdirecciones de área, una encargada de las estimaciones de la agenda gris (Energía, PIUP y Residuos) y la otra encargada de la agenda verde (Ganado, Tierras y Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub> de la tierra, ASOUT). Para el sector Residuos se realiza una colaboración con otra área técnica del INECC: la Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental. Adicionalmente, para la subcategoría [3B] Tierras, se firmó un convenio de colaboración entre el INECC y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y se estimó mediante la implementación del Sistema de Monitoreo Forestal (SAMOF) desarrollado por la CONAFOR.

Para el procesamiento del INEGYCEI se requiere de la recolección de datos de actividad e información actualizada, veraz y oportuna, que es posible por la colaboración entre dependencias de la Administración Pública Federal, así como de gobiernos locales, centros de investigación, instituciones de educación superior y organismos del sector privado. En la parte inferior de la **Figura 1** se observa la cooperación institucional realizada para esta actualización del INEGYCEI en cada una de las categorías del IPCC.

---

<sup>1</sup> Reino Unido fue el primer país en promulgar una Ley de Cambio Climático en 2008.

**Figura 1: Arreglos institucionales para la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero en México**



Fuente: elaboración propia.

### 1.2.3 Aseguramiento y control de calidad (QA/QC) y verificación del *Inventario Nacional*

El INEGYCEI se desarrolló conforme al sistema de gestión de calidad (SGC) con estándares internacionales y conformado por seis microprocesos (INECC, 2018). El control de calidad (CC) se fundamentó en la revisión cruzada de datos entre los integrantes del equipo técnico de la Dirección de Inventarios y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático del INECC. Asimismo, las herramientas de estimación de las emisiones cuentan con controles de calidad diseñados para evitar errores y dobles contabilidades. Para el mismo propósito se integraron observaciones del aseguramiento de la calidad (AC) del INEGYCEI del *Segundo Informe Bienal de Actualización* (IBA 2), realizadas por miembros de la lista de expertos de la CMNUCC (UNFCCC Roster of Experts), hallazgos derivados del proceso de consulta y análisis internacional (ICA, por sus siglas en inglés) y observaciones del Colegio de Ingenieros Ambientales de México. En algunas subcategorías se implementó un procedimiento particular de CC para la validación de los datos de actividad y factores de emisión; dicho análisis se describe en las secciones de las subcategorías en las que aplica.

El AC del INEGYCEI 1990-2019, será una tarea que emprenderá durante 2022 un grupo de consultores y revisores especializados, por lo que los hallazgos serán considerados como mejoras para el próximo ciclo del inventario.

### 1.2.4 Cambios en el sistema del *Inventario* desde el anterior INEGYCEI

Esta actualización del INEGYCEI se desarrolló por primera ocasión siguiendo los lineamientos del sistema de gestión de calidad (SGC) del INEGYCEI, diseñado para cumplir con las metodologías del IPCC. El SGC establece seis etapas para su desarrollo:

1. **Planeación.** Conformado por la estructuración de las etapas a través de la revisión de los inventarios anteriores y el aseguramiento de calidad para la incorporación de acciones correctivas y mejoras. Considera la proyección de actividades a realizar en el tiempo determinado para la entrega, la revisión de insumos

requeridos y necesidades de información, así como el establecimiento de arreglos institucionales y la asignación de responsabilidades por tema.

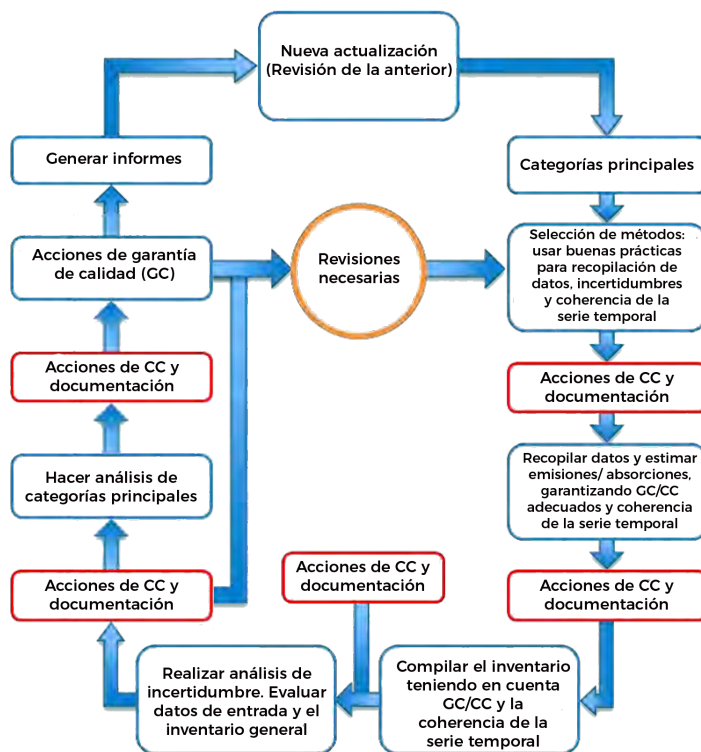
2. **Recopilación de información.** Consiste en el envío de solicitudes de información a las entidades públicas y privadas, así como la evaluación de la información recibida.
3. **Estimaciones.** Comprende la elaboración de hojas de cálculo.
4. **Control de calidad.** Comprende las actividades de mencionadas en la sección 1.2.3 (pág. 23).
5. **Autorizaciones.** Representa las actividades de revisión y aprobación de la alta dirección de los resultados obtenidos.
6. **Integración del reporte y publicación.** Elaboración de informes para el cumplimiento de obligaciones nacionales e internacionales.

Adicionalmente, se formalizó el trabajo conjunto entre el INECC y la CONAFOR para la estimación de emisiones de la categoría [3B] Tierras, mediante la firma de un convenio de colaboración.

### 1.3 Preparación del INEGYCEI

El proceso de actualización de este inventario conllevó múltiples reuniones de trabajo para todos los sectores con varios de los actores mencionados en el apartado 1.2.2 **Sistema de planificación y gestión** (pág. 22). Adicionalmente, el INECC y la CONAFOR conformaron un grupo de trabajo dedicado a estimar las actividades de [3B] Tierras. En la **Figura 7** se ilustra el proceso de actualización, el cual incluye la implementación del SGC del INEGYCEI (INECC, 2018).

**Figura 2: Mapa de proceso para la actualización y compilación del INEGYCEI 1990-2019 de México**



Los principales expertos responsables del desarrollo del INEGYCEI son los enlistados en la **Tabla 2**.

**Tabla 2: Equipo responsable del INEGYCEI**

Sector	Categoría	Expertos responsables
Coordinadoras del INEGYCEI		Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana (INECC). Dra. Irma Fabiola Ramírez Hernández (INECC).
[1] Energía		Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno (INECC). Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro (INECC).
[2] PIUP		Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno (INECC). Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro (INECC).
[3] ASOUT	[3A] Ganadería. [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO <sub>2</sub> de la tierra.	Mtro. Miguel Ángel García (INECC). Mtra. Andrea Navarrete Alfonzo (INECC).
	[3B] Tierras.	Mtro. Miguel Ángel García García (INECC). Mtra. Andrea Navarrete Alfonzo (INECC). Ing. José Armando Alanís de la Rosa (CONAFOR). Mtro. Oswaldo Ismael Carrillo Negrete (CONAFOR). Biól. Rafael Mayorga Saucedo (CONAFOR). Mtro. César Moreno García, (CONAFOR). Mtro. Luis Martínez Ángel, (CONAFOR). Mtro. Adrián Ochoa Sánchez, (CONAFOR). Ing. Carmen Lourdes Meneses Tovar, (CONAFOR). Dra. Ángeles Soriano Luna, (CONAFOR). Dra. Astrid Helena Huechacona Ruiz, (CONAFOR). Mtra. María Guadalupe Nava Miranda, (CONAFOR). Mtro. Esteban Alberto Suárez Muro, (CONAFOR). Geo. Miriam Vargas Llamas, (CONAFOR).
[4] Residuos	[4A] Eliminación de residuos sólidos. [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos.	Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno (INECC). Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro (INECC). Dr. Luis Gerardo Ruiz Suarez (INECC). Dr. Arturo Gavilán García (INECC). Mtra. Tania Ramírez Muñoz (INECC).
	[4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos.	
	[4C1] Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infecciosos. [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales.	Dra. Paulina Rebeca Cárdenas Moreno (INECC). Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro (INECC).

Los días 21 y 22 de junio de 2021 se presentó el avance de los resultados de los cuatro sectores del inventario en el taller “Actualización del INEGYCEI 2019”, cuyo objetivo fue presentar la actualización en las metodologías para el cálculo de emisiones incorporando el *Refinamiento 2019* a las *Directrices 2006*, así como dar a conocer los avances en los resultados de las emisiones y absorciones estimadas hasta ese momento. Para tal fin se convocó a actores de las diferentes instituciones de gobierno, iniciativa privada y de investigación. A partir de dicho taller surgieron diversas reuniones de trabajo con actores clave que aportaron datos y precisiones al enfoque de las metodologías para la mejora de las estimaciones de las emisiones.

El INECC concluyó el INEGYCEI 1990-2019 en el tercer trimestre de 2021 y lo presentó ante los actores clave y los medios de comunicación de manera oficial el 1 de octubre. Desde entonces, los resultados pueden ser consultadas en la página oficial del INECC y en la página de datos abiertos.

Las principales instituciones y fuentes de información de la presente actualización del INEGYCEI se enlistan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3: Principales instituciones y fuentes de información**

Fuente	Institución responsable	Sector o categoría en la que se emplea
Balance nacional de energía.	Sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER)	[1] Energía.
Consumo de combustibles fósiles para la producción de electricidad.	Comisión Federal de Electricidad (CFE). Sistema de información energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER). Comisión Reguladora de Energía.	[1A1a] Generación de energía eléctrica.
Subsistema de información de seguridad industrial y protección ambiental.	Petróleos Mexicanos.	[1A1b] Refinación. [1A1c] Otras industrias de la energía. [1B2] Petróleo y gas.
Consumo combustible aviación.	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).	[1A3] Transporte.
<i>Anuario Estadístico de la Minería Mexicana.</i>	Servicio Geológico Mexicano de la Secretaría de Economía.	[1B1] Emisiones fugitivas provenientes de la extracción y fabricación de combustibles sólidos.
Sistema de información económica.	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).	[2] PIUP.
Encuestas mensuales de la industria manufacturera (EMIM).	INEGI.	[2] PIUP.
Censos económicos	INEGI.	[2] PIUP.
Fracción de clínker en la producción de cemento, cal y otros carbonatos y fracción de carbonatos en la producción de vidrio	Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). Grupo Calidra. Grupo Vitro.	[2A] Industria de los minerales.
<i>Anuario Estadístico de la Industria Mexicana.</i>	Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ).	[2B] Industria química
Unidad del Protocolo de Montreal- Información de los HFC.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).	[2B9] Industria fluoroquímica.
Generación de sinter en la producción de hierro y acero por las diferentes vías.	Cámara Nacional de la Industria del Acero (CANACERO).	[2C1] Producción de hierro y acero.
Producción de plomo vía ISF.	Cámara de la Industria Minera de México (CAMIMEX).	[2C5] Producción de plomo.
Proporción de la producción de circuitos integrados o semiconductores.	Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI)	[2E] Industria electrónica.
Ventas de equipos de aire acondicionado y refrigeradores.	Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD).	[2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono.
Consumo de carbonatos.	Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y el Papel.	[2H1] Industria de la pulpa y el papel.
Estadísticas anuales de producción agrícola y pecuaria.	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).	[3A] Ganado. [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO <sub>2</sub> de la tierra.
<i>Encuesta Nacional Agropecuaria.</i>	INEGI.	[3A] Ganado.

Fuente	Institución responsable	Sector o categoría en la que se emplea
Información climatológica.	Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).	[3A2] Sistemas de manejo de estiércol de ganado. [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO <sub>2</sub> de la tierra.
Sistema nacional de monitoreo forestal (SAMOF)	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).	[3B] Tierra.
IFADATA	Asociación Internacional de Industrias del Fertilizante (IFA).	[3C3] Urea. [3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados.
Agendas técnicas agrícolas.	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	[3C3] Urea. [3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados.
Superficies fertilizadas estatales.	INEGI. SIAP.	[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados.
FAOSTAT	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)	[3D] Otros.
Encuesta nacional de residuos sólidos urbanos (ENRSU)	SEMARNAT.	[4A] Eliminación de residuos sólidos.
Proyecciones de la población nacional.	Consejo Nacional de Población (CONAPO) de la Secretaría de Gobernación (SEGOB).	[4A] Eliminación de residuos sólidos.
Toneladas de residuos peligrosos por clasificación que son incinerados.	SEMARNAT-DGGIMAR.	[4C1] Incineración de residuos peligrosos industriales y biológico infecciosos.
Censos nacionales de población y vivienda.	INEGI.	[4C2] Quema de residuos a cielo abierto.
Información sobre plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).	CONAGUA.	[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales.

## 1.4 Visión general de las metodologías y fuentes de datos utilizadas

En la actualización de este INEGYCEI se procuró garantizar los principios de calidad del IPCC —coherencia, exhaustividad, comparabilidad, exactitud y transparencia—, mediante estimaciones apegadas a lo dispuesto en las *Directrices 2006* y su *Refinamiento 2019* para medir las emisiones y absorciones de GEI.

Considerando los árboles de decisión de las *Directrices 2006*, se identificó el nivel de detalle más adecuado a las circunstancias nacionales para calcular las emisiones, teniendo en cuenta la especificación matemática de los métodos, las fuentes de actividad y la información sobre los factores de emisión u otros parámetros que deben usarse al generar las estimaciones. Se utilizaron datos de actividad (DA) nacionales y factores de emisión (FE) apropiados a las condiciones nacionales, así como los potenciales de calentamiento global (PCG) a cien años del *Quinto Informe de Evaluación (AR5)* (IPCC, 2014) para obtener el total de emisiones en Gg CO<sub>2</sub>e. Las metodologías y los factores de emisión utilizados y descritos en esta actualización del INEGYCEI se consideran, hasta este momento, como los mejores conforme a los datos disponibles de actividad.

El INEGYCEI abarca todo el territorio nacional y estima las emisiones y absorciones de los seis gases que forman parte del Protocolo de Kioto (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>), así como el NF<sub>3</sub> y las emisiones de carbono negro. Por otro lado, cumpliendo con la coherencia de la serie temporal, en todos los sectores se



reportan los datos del periodo 1990-2019 con excepción de [3B], que comprende el periodo de 2000-2019 debido a limitaciones en la calidad de la información satelital para los años anteriores a 2000.

Las actividades de mejora tanto de las metodologías como de los datos de actividad que fueron realizadas para esta actualización toman en cuenta los procedimientos de QA/QC y verificación. Estas mejoras se realizan con la finalidad de aumentar la coherencia, exhaustividad, comparabilidad, exactitud y transparencia de las estimaciones de las emisiones y absorciones nacionales. En el capítulo **9 Recálculos y mejoras** (pág. 161) se pueden encontrar con mayor detalle los recálculos y mejoras implementados en esta actualización.

## 1.5 Breve descripción de las categorías clave

La identificación de las categorías clave permiten jerarquizar aquellas que sean prioritarias en el sistema de inventarios nacionales y cuya estimación influye significativamente sobre el inventario total de gases de efecto invernadero de un país, en cuanto al nivel absoluto, la tendencia o la incertidumbre de emisiones y absorciones de GEI. Además, permite priorizar los recursos disponibles al concentrar los esfuerzos para mejorar las estimaciones en la elaboración de los inventarios.

Para la identificación de categorías principales de esta actualización se aplicaron los cuatro criterios establecidos en las *Directrices* 2006 obteniendo las siguientes fuentes más importantes, señalando el gas y el porcentaje de contribución en el análisis de nivel (N) o de tendencia (T):

### 1.5.1 Método 1

Categoría	Gas	Porcentajes de contribución
[3B] Tierras forestales (absorciones)	CO <sub>2</sub>	19.9% (N), 36.4% (T)
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	CO <sub>2</sub>	17.8% (N), 17.2% (T)
[1A3b] Autotransporte	CO <sub>2</sub>	14.0% (N), 7.3% (T)
[3A1] Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	8.6% (N)
[1A1c] Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	CO <sub>2</sub>	2.3% (N)
[2F1] Refrigeración y aire acondicionado	HFC	3.5% (T)
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	CH <sub>4</sub>	2.7% (T))

N= nivel. T= tendencia.

### 1.5.2 Método 2

Categoría	Gas	Porcentajes de contribución
[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH <sub>4</sub>	20.6% (N), 28.0% (T)
[3A1] Fermentación entérica del ganado	CH <sub>4</sub>	12.9% (N)
[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	10.2% (N), 9.3% (T)
[3D1] Productos de madera recolectada (Absorciones)	CO <sub>2</sub>	7.6% (T)
[3C5] Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O de suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	5.9% (N)
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	CO <sub>2</sub>	5.7% (N), 6.6% (T)
[2F1] Refrigeración y aire acondicionado	HFC	5.5% (T)

N= nivel. T= tendencia.

En el **Anexo 1: Categorías clave** (pág. 169), se presenta información detallada sobre las categorías clave incluyendo listados completos de éstas.



## 1.6 Evaluación general de la incertidumbre

La estimación de la incertidumbre se realizó conforme a las *Directrices* 2006 y su *Refinamiento* 2019 mediante el “Método 1: Propagación del error”, por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el de interés (2019). La incertidumbre asociada a los DA y FE se obtuvo directamente de las fuentes de información nacionales o por dictamen de expertos. En caso de no tener esta información disponible, se recurrió a los rangos de incertidumbre por defecto reportados en las *Directrices* 2006 y su *Refinamiento* 2019.

La incertidumbre total del INEGYCEI, sin considerar las absorciones de las categorías [3B] y [3D], fue de  $\pm 17.30\%$ , correspondiente a un rango de variabilidad de las emisiones entre 609,192.66 y 864,066.49 Gg CO<sub>2</sub>e. Por otro lado, al considerar las emisiones netas, la incertidumbre fue de  $\pm 23.84\%$ , ubicando un rango de variabilidad de las emisiones entre 407,218.84 y 662,158.36 Gg CO<sub>2</sub>e.

El sector Energía presentó una incertidumbre total de  $\pm 2.47\%$ . Las fuentes que más contribuyeron a esta varianza fueron las emisiones de CO<sub>2</sub> por producción de electricidad y calor, así como por el autotransporte.

En el sector PIUP, cuya incertidumbre total fue de  $\pm 7.03\%$ , las fuentes principales de emisiones de CO<sub>2</sub> que contribuyeron a tal varianza fueron la producción de cemento y la de hierro y acero.

Las incertidumbres totales en el sector ASOUT fueron: para la categoría de Ganado,  $\pm 16.85\%$ ; Tierras,  $\pm 62.97\%$ ; Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub>,  $\pm 54.84\%$ , y Otros,  $\pm 50\%$ . De este sector las fuentes que más contribuyeron a la varianza fueron las emisiones de CH<sub>4</sub> por el ganado bovino y las emisiones directas de N<sub>2</sub>O.

Finalmente, el sector Residuos presentó una incertidumbre total de  $\pm 54.07\%$ , siendo las emisiones de CH<sub>4</sub> las fuentes que más contribuyeron a este valor, tanto por el tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales, como por la operación de rellenos sanitarios.

Para más información respecto a la metodología y resultados de la incertidumbre, véase **Anexo 2: Evaluación de la incertidumbre**, pág. 175.

## 1.7 Evaluación general de la exhaustividad

La exhaustividad en un inventario significa que se han estimado los GEI para todas las categorías y fuentes. El INEGYCEI abarca todo el territorio nacional e incluye la estimación de las emisiones y absorciones de: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub> y carbono negro. Es importante mencionar que en esta actualización se estiman por primera ocasión las fuentes [2E] Industria electrónica, [2A4] Otros usos de carbonatos y [3D1] Productos de madera recolectada. En todos los sectores se reportan los datos del periodo 1990-2019 con excepción de [3B], que se limita a 2000-2019.

Algunas de las categorías han sido excluidas debido a la falta de datos de actividad o por falta de metodologías apropiadas, las cuales se han reportado utilizando claves de notación recomendadas por las *Directrices* 2006: “NO” (no ocurre); “NE” (no estimada); “NA” (no aplica); “IE” (incluidas en otra parte) y “C” (confidencial). En la **Tabla 4** se enlistan las categorías que se han excluido y su estatus.

**Tabla 4: Categorías excluidas o incluidas en otra parte del INEGYCEI**

Clave	Categoría	Justificación
NE	[1B1b] Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón.	No se cuenta con la información suficiente.
NE	[1C1] Transporte de CO <sub>2</sub> .	
NE	[1C2b] Almacenamiento de CO <sub>2</sub> .	
NE	[2D3] Uso de disolventes.	
NE	[2E4] Fluido de transferencia térmica.	
NE	[2G2] SF <sub>6</sub> y pfc de otros usos de productos.	

Clave	Categoría	Justificación
NE	[2G3] N <sub>2</sub> O de usos de productos.	
NE	[2H3] Otros.	
NE	[3B4a] Humedales que permanecen como tales.	
NE	[4D2] Tratamiento y eliminación de aguas industriales residuales.	
NO	[1C2a] Inyección de CO <sub>2</sub> .	No ocurre la actividad de inyección en el país.
NO	[2A5] Otros.	No hay otras subcategorías que estimar.
NO	[2B3] Producción de ácido adípico. [2B5] Producción de carburo.	No hay producción en México.
NO	[2C3] Producción de magnesio.	No hay producción en México.
NO	[2B10] Otros.	No se han identificado otras fuentes en la industria química.
NO	[2C3] Producción de aluminio.	Desde 2002 no hay producción primaria.
NO	[2C6] Producción de zinc.	Toda la producción es por vía electrolítica.

"NO" (no ocurre); "NE" (no estimada).

Para mayor detalle se recomienda consultar el análisis de exhaustividad incluido en la descripción de cada categoría del inventario.

## 1.8 Referencias

- INECC. (2018). Sistema de Gestión de la Calidad correspondiente al Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Informe Final. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/401107/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/401107/Sistema_Gestion_de_Calidad.pdf)
- IPCC. (2014). Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático (AR5). Recuperado de <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/ipcc-en-espanol-publications/>

## 2. Emisiones de GEI 2019 y tendencia histórica

En este capítulo, se presenta una síntesis de los aspectos más relevantes de las tendencias observadas en la estimación de las emisiones y absorciones del INEGYCEI en la serie temporal analizada.<sup>2</sup>

### 2.1 Principales indicadores socioeconómicos

La **Tabla 5** muestra la evolución del producto interno bruto (PIB) y la población de México en el periodo inventariado (1990-2019).

**Tabla 5: Principales indicadores económicos**

Año	PIB a precios constantes de 2013 (miles de millones de pesos)	Incremento PIB respecto a 1990 (%)	Población	Incremento de población respecto a 1990 (%)
1990	9,158.81	NA	81,249,645	NA
1995	9,996.72	9%	91,158,290	12%
2000	12,932.92	41%	97,483,412	20%
2005	13,887.07	52%	103,263,388	27%
2010	14,947.80	63%	112,336,538	38%
2015	17,292.36	89%	119,938,473	48%
2019	18,487.34	102%	126,578,024	56%

Fuente: <https://www.inegi.org.mx/>

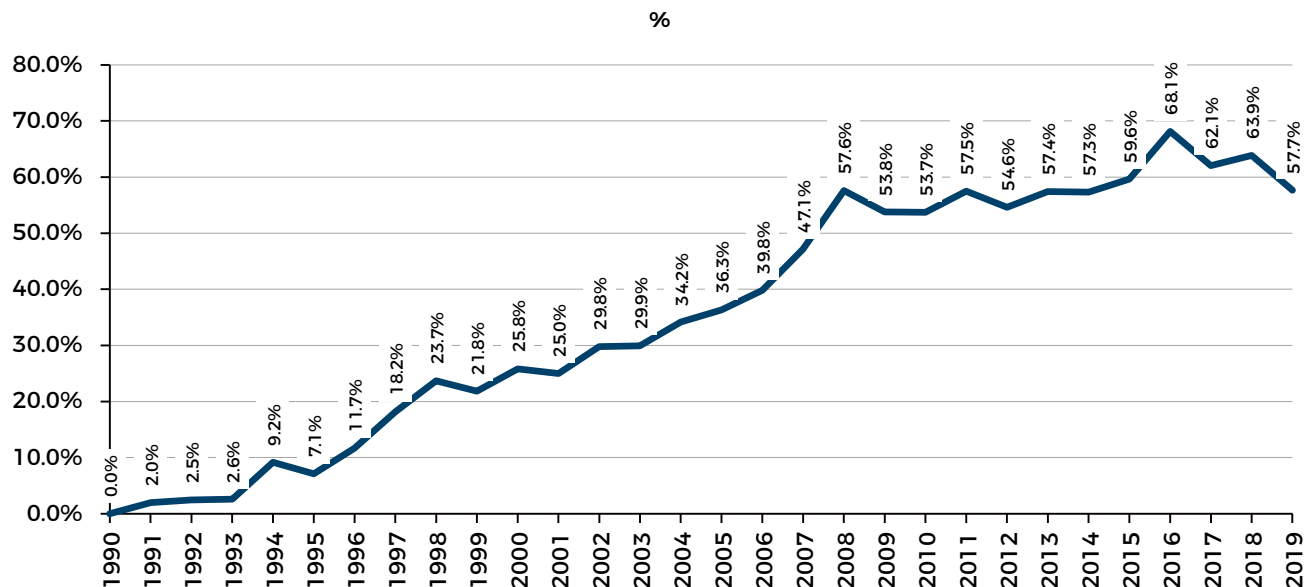
Como se puede observar, la tendencia histórica del PIB y de la población en México ha sido de un crecimiento constante. En 2019, el PIB fue más de lo doble que el de 1990. Durante ese mismo periodo, la población se incrementó en 56%. Ambos indicadores suelen estar asociados a un incremento de las emisiones, aunque en este caso se debe resaltar que tal incremento de dio de manera menos acelerada en ese mismo periodo.

### 2.2 Descripción e interpretación de las tendencias agregadas de las emisiones

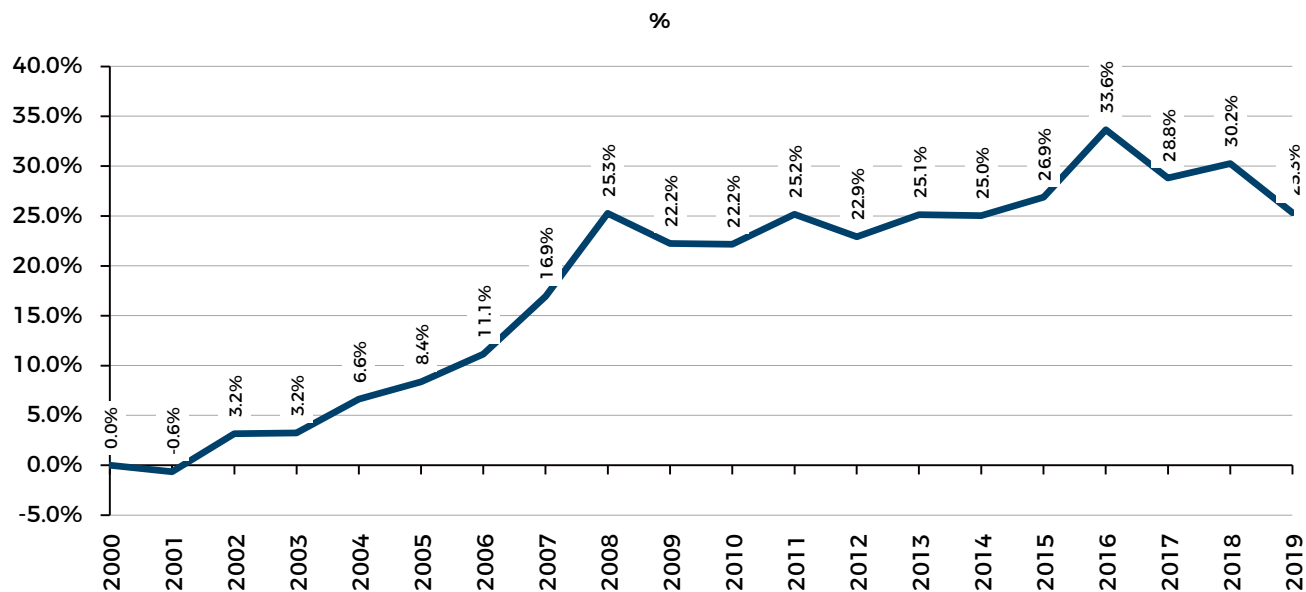
En este apartado, se incluye el análisis de la tendencia de las emisiones tanto para las emisiones netas (con UTCUTS) como para las emisiones brutas (sin UTCUTS) tomando como referencia las emisiones del año base de la serie histórica (1990).

En el año 1990, las emisiones sin UTCUTS suponen 467,413 Gg CO<sub>2</sub>e (ver **Figura 3**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El año base para las tendencias de emisiones netas es el 2000 ya que no se dispone de estimaciones para el sector UTCUTS anteriores a esa fecha. Las emisiones netas (incluyendo absorciones y emisiones de UTCUTS) para el año 2000 fueron 369,925 Gg CO<sub>2</sub>e (ver **Figura 4**).

<sup>2</sup> Los datos detallados de emisiones del INEGYCEI pueden consultarse en la página web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/665743/112\\_inegycei\\_1990-2019\\_ipcc\\_2006\\_IIN.xlsx](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/665743/112_inegycei_1990-2019_ipcc_2006_IIN.xlsx)

**Figura 3: Variación relativa del total de emisiones (sin UTCUTS) respecto a 1990**

La tendencia de las emisiones netas (sin UTCUTS) de 1990 a 2008 muestra un crecimiento constante similar al crecimiento poblacional del país, aunque menor que el crecimiento del PIB. Sin embargo, durante los últimos 10 años, el crecimiento se detiene manteniéndose el incremento respecto a 1990 en valores en torno al 55-70%.

**Figura 4: Variación relativa del total de emisiones (con UTCUTS) respecto al año 2000**

El análisis del comportamiento de las emisiones totales del país (con UTCUTS) muestra un comportamiento homólogo al de las emisiones netas, con un crecimiento pronunciado de 2000 a 2008 y con un estancamiento entre 2009 y 2019, lo que indica que el aporte de las absorciones de UTCUTS ha tenido un comportamiento homogéneo al del resto de sectores en la serie histórica.

## 2.3 Descripción e interpretación de las emisiones por gases

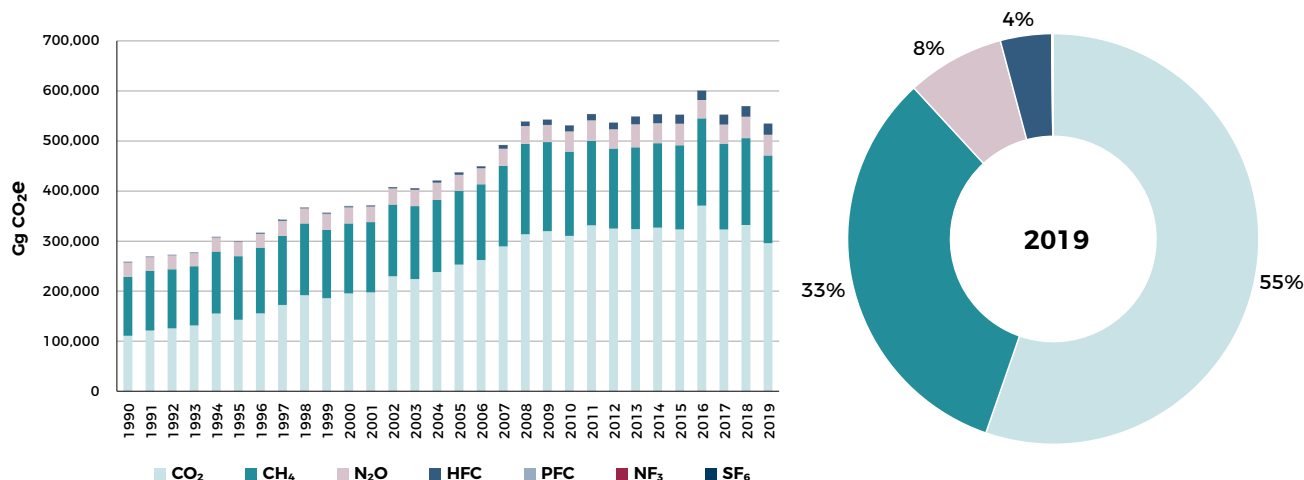
Como puede verse en la **Figura 5**, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que es el principal GEI en el país, muestra un comportamiento decreciente (disminución de 7.56% con respecto a 1990); presenta un pico máximo en 2016 y un crecimiento más desacelerado durante los diez últimos años. Esta tendencia al alza obedece principalmente al aumento de la demanda energética del país y al uso de vehículos de auto-transporte.

Las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) se producen principalmente por la fermentación entérica y manejo de excretas del ganado, las emisiones fugitivas de petróleo y gas, la disposición final de residuos sólidos y el tratamiento y eliminación de aguas residuales. Durante la serie histórica, las emisiones de este contaminante han tenido una tendencia de crecimiento (48.4 % con respecto a 1990), aunque éste ha sido menos pronunciado que el del  $\text{CO}_2$ .

Las emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se deben principalmente al uso de fertilizantes, al manejo de excretas y al tratamiento y eliminación de aguas residuales. Al igual que el metano, este gas ha tenido un crecimiento moderado (45.35% de incremento con respecto a 1990) y menor que el del  $\text{CO}_2$ .

Los hidrofluorocarbonos (HFC) presentaron en 2019 un crecimiento de 2757% con respecto a 1990 debido principalmente al aumento del uso de sistemas de refrigeración y aires acondicionados.

**Figura 5: Emisiones por tipo de gas**  
Gg  $\text{CO}_2\text{e}$



Nota: Los datos de las absorciones por UTCUTS entre 1990 y 1999 se estimaron como un ejercicio de regresión estadística. Serán sustituidos, en cuanto se disponga de los resultados con la metodología aplicada.

## 2.4 Descripción e interpretación de las emisiones por sectores

La contribución de los distintos sectores a las emisiones netas se recoge de forma gráfica en la **Figura 6**, que incluye las emisiones de todos los gases de efecto invernadero (en  $\text{CO}_2$  equivalente).

Al analizar el comportamiento de las emisiones por sector, se observa que el sector Energía tiene un comportamiento homólogo al del  $\text{CO}_2$  y está marcado por el uso de combustibles fósiles, principalmente para la generación de energía eléctrica y para el autotransporte.

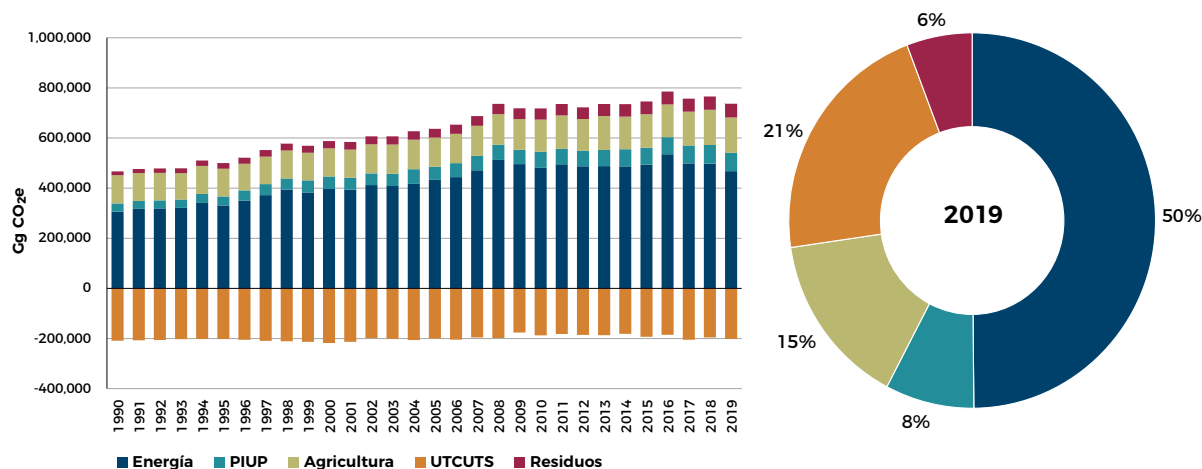
Para el sector PIUP se observa una tendencia creciente moderada, influenciada principalmente por las actividades de producción de cemento, el uso de aires acondicionados y sistemas de refrigeración y por la producción de hierro y acero.

El sector Agricultura presenta un comportamiento más homogéneo a lo largo de la serie histórica. Las actividades que más contribuyen en este sector son la fermentación entérica y el manejo de excretas del ganado.

El sector UTCUTS no muestra un comportamiento lineal de crecimiento o disminución. Las absorciones que este sector aporta son variables a lo largo de la serie histórica y reflejan el comportamiento en el cambio de uso de suelo de cada año.

El sector de Residuos presenta un comportamiento ascendente que obedece principalmente a la disposición final de residuos sólidos y al tratamiento y eliminación de aguas residuales.

**Figura 6: Emisiones por sector**  
Gg CO<sub>2</sub>e

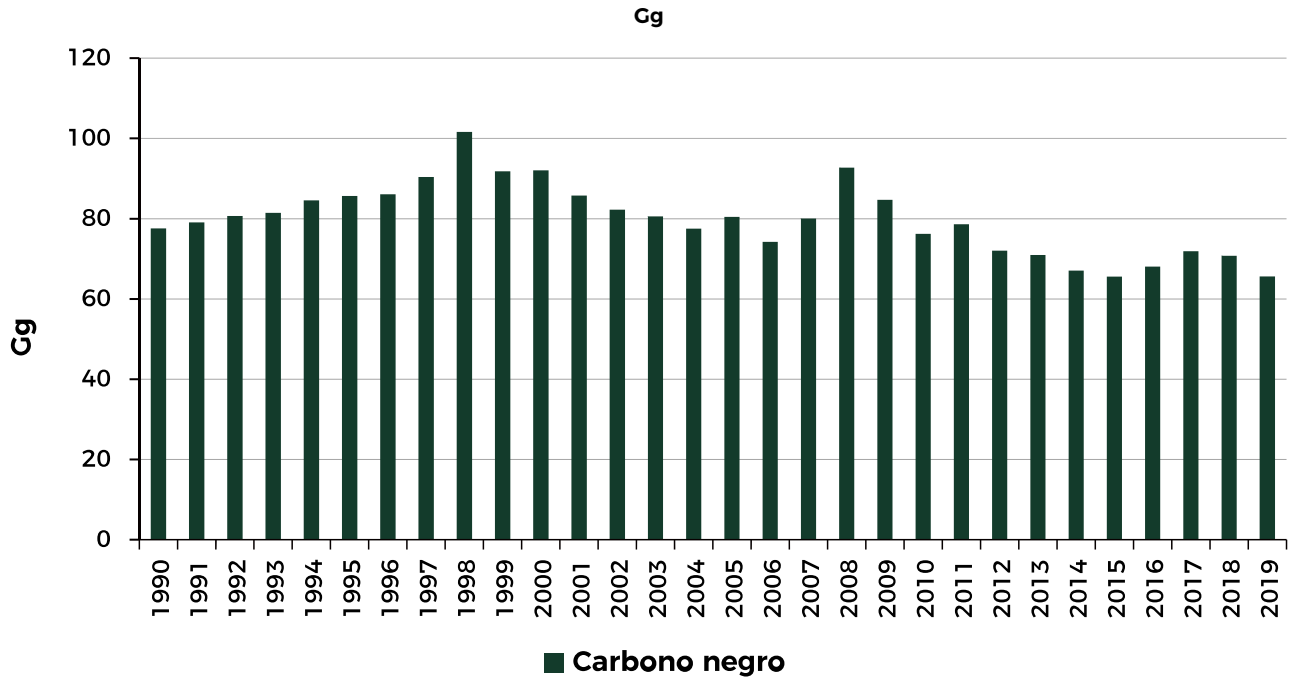


Nota: Los datos de las absorciones por UTCUTS entre 1990 y 1999 se estimaron como un ejercicio de regresión estadística. Serán sustituidos, en cuanto se disponga de los resultados con la metodología aplicada.

## 2.5 Descripción e interpretación de las tendencias para el carbono negro

Las emisiones de carbono negro en México se deben principalmente al uso de *diesel* en vehículos, a la quema de leña en hogares, al uso de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica y a la quema de biomasa y de residuos sólidos. Como se muestra en la **Figura 7**, la tendencia histórica muestra un crecimiento de 1990 a 1998 con el pico máximo de emisiones en este último año. Posteriormente se observa un descenso de las emisiones causado por el uso de mejores tecnologías y combustibles y por la disminución de prácticas de quema de leña y quema de residuos en los hogares.

Figura 7: Emisiones de carbono negro







### 3. [1] Energía

#### 3.1 Visión general del sector

Las emisiones de Energía en 2019 alcanzaron 467,892.37 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad que representó 63.52% de las emisiones totales del INEGYCEI (con UTCUTS). Incluyen las derivadas del consumo energético de los combustibles fósiles [1A] y de las emisiones fugitivas [1B], y no incluyen las emisiones del transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> [1C]. Ese volumen de emisiones fue 6% menor que el de 2018, debido a un menor consumo de combustibles fósiles, aunque 54% mayores que las de 1990. Dentro de este sector el consumo de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica y para el transporte han marcado el comportamiento histórico. En las Figuras 8 y 9 se presentan, las emisiones del sector Energía, con el desglose por subcategorías de la categoría [1A].

Figura 8: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del sector Energía

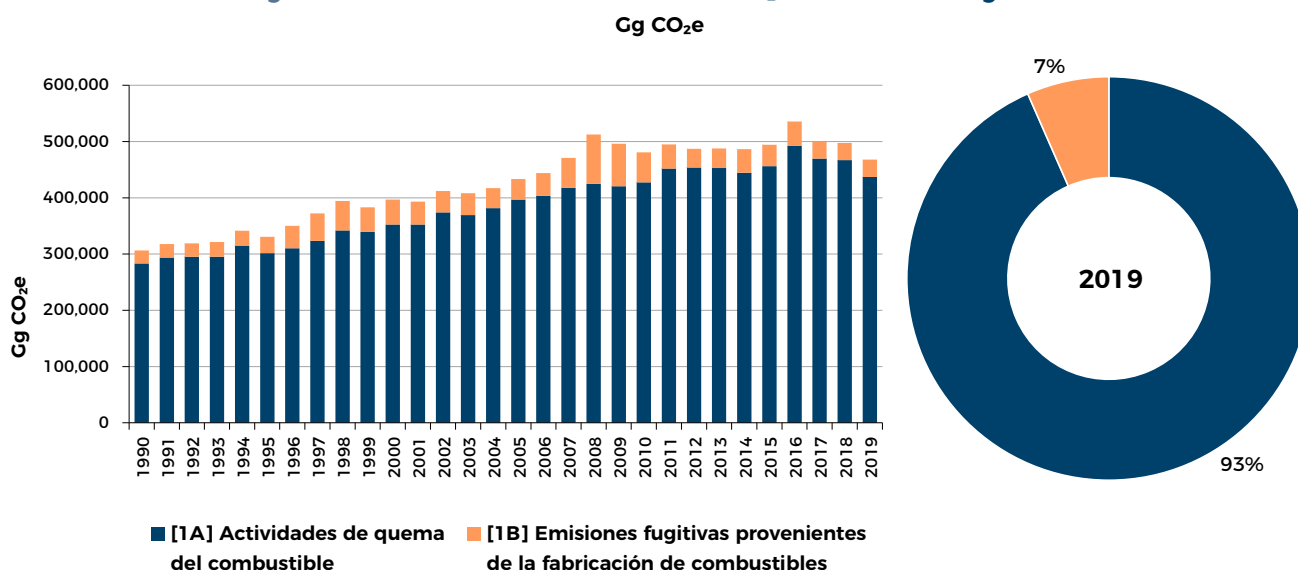
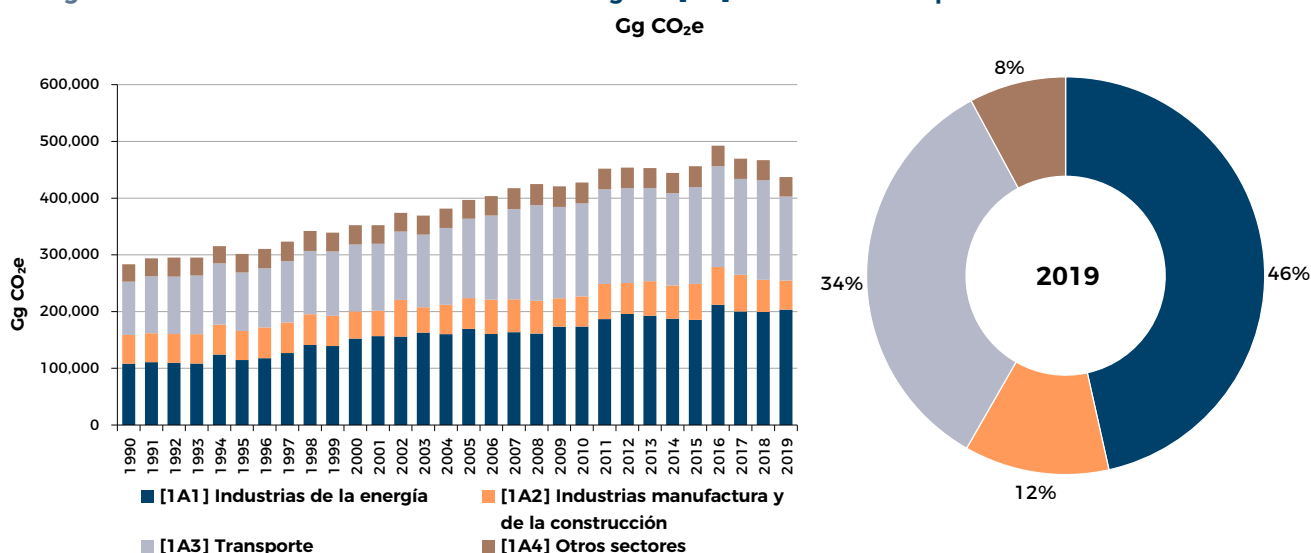


Figura 9: Evolución de las emisiones de la categoría [1A] Actividades de quema de combustibles



Las categorías clave identificadas para el año 2019 en este sector son: [1A1a] Producción de electricidad y calor ([N-T]); [1A1b] Refinación de petróleo ([N-T]); [1A1c] Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía ([N-T]); [1A2a] Hierro y acero ([N]); [1A2c] Sustancias químicas ([N-T]); [1A2i] Minería (con excepción de combustible) y cantería ([N-T]); [1A2m] Industria no especificada ([N-T]); [1A3a] Aviación civil ([N-T]); [1A3b] Autotransporte ([N-T]); [1A4a] Comercial/Institucional ([N]); [1A4b] Residencial ([N-T]); [1A4c] Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías ([N-T]); [1B1a] Minería carbonífera y manejo del carbón ([N-T]); [1B2a] Petróleo, y [1B2b] Gas natural ([N-T]).

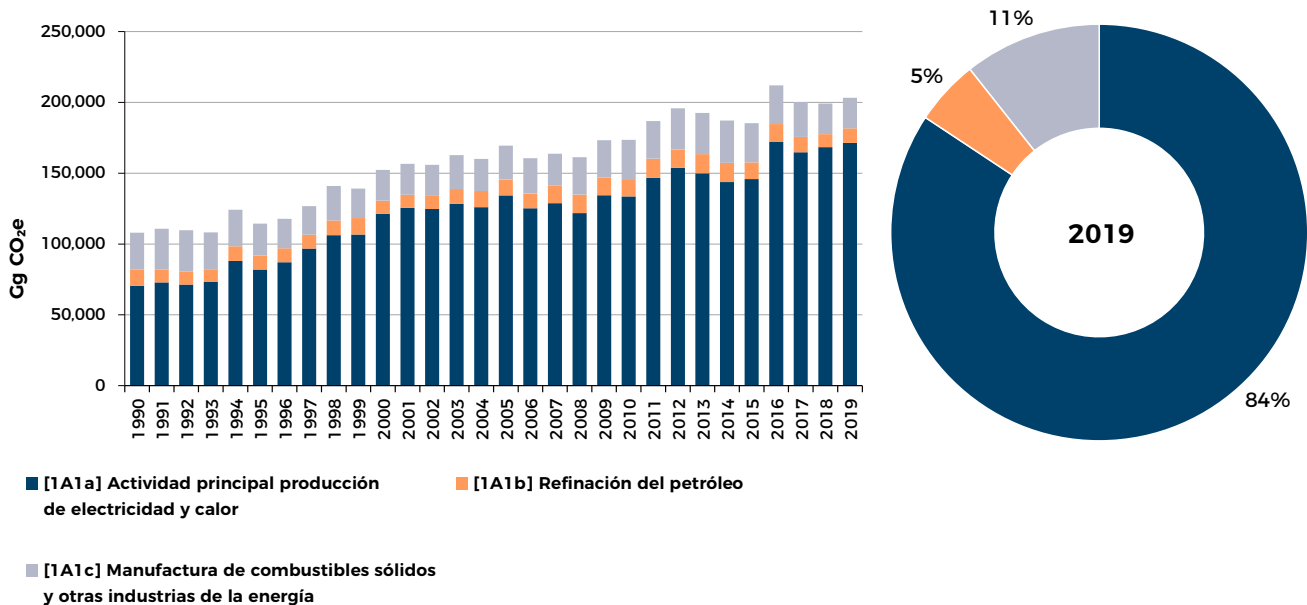
## 3.2 [1A1] Industrias de la energía

### 3.2.1 Descripción de la categoría

En esta sección se contabilizan las emisiones de GEI por el aprovechamiento energético de los combustibles para la generación de energía eléctrica, para la refinación, para la fabricación de combustibles sólidos y para todas aquellas actividades que demandan combustibles fósiles dentro de las cadenas de producción de petróleo y gas natural. (Las fuentes de esta subcategoría son fuentes claves; véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169)

La quema de combustibles (categoría [1A]) contabilizó, en 2019, 203,294.20 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad que representa un aumento de 88% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 10**, distinguiendo la categoría de mayor contribución: [1A1a].

**Figura 10: Emisiones de la subcategoría [1A1] Industrias de la energía**  
Gg CO<sub>2</sub>e



La tendencia de esta categoría está marcada principalmente por la demanda de energía eléctrica del país, la cual ha ido en crecimiento. De 1990 a 2010 se presentó una tasa de crecimiento media anual de 2.4%; sin embargo, dicho crecimiento ha bajado a una tasa de 1.8% en los nueve últimos años, en dónde a pesar de tener una demanda en crecimiento, combustibles más limpios y sistemas energéticos más eficientes han logrado desacelerar el crecimiento de las emisiones de esta categoría.

### 3.2.2 Metodología

La metodología aplicada proviene de las *Directrices* 2006. Se han usado diferentes enfoques metodológicos (Tier 1 o Tier 2) de acuerdo con la disponibilidad de información y el peso de las emisiones de cada actividad, siguiendo los árboles de decisión que se muestra en la Figura 2.1 “Árbol de decisión general para estimar las emisiones de la combustión estacionaria”, del cap. 2, vol. 2 (IPCC, 2006b). Se empleó un método Tier 2 para las emisiones de CO<sub>2</sub> (con excepción de carbón) al utilizar FE propios del país y un método nivel 1 para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Para el cálculo de las emisiones se utilizó la ecuación 2.1, vol. 2, cap. 2 de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

#### 3.2.2.1 Datos de actividad (DA)

Los DA se obtuvieron del Balance Nacional de Energía (BNE), emitido por la Secretaría de Energía (SENER, 2021) en donde se presentan datos del consumo de los diferentes combustibles utilizados. Asimismo, de manera particular se utilizó información de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) con respecto al consumo de combustibles para las actividades de generación de energía eléctrica.

La **Tabla 6** muestra el consumo de los combustibles por año, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 6: Consumo de combustibles**

PJ

Combustible	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	% cambio 1990-2019
Carbón mineral <sup>3</sup>	133	194	255	395	375	396	413	367	344	286	116%
Combustóleo	781	792	1,047	653	435	292	314	338	307	301	-61%
Diesel	57	47	48	47	84	75	51	51	95	64	11%
Gas natural	411	453	690	1,200	1,575	1,910	2,331	2,187	2,466	2,408	486%
Bagazo de caña	0	0	34	46	45	68	70	65	58	76	N/A
Coque de petróleo	0	0	0	27	35	39	35	39	38	37	N/A
Gas LP	26	28	10	6	6	6	6	6	3	30	17%
Gasolina	71	24	38	20	5	8	4	5	5	0.0001	-100%
Queroseno	17	17	0.04	0.01	0.01	0.10	0.09	0.03	0.03	0	-100%
Gas de alto horno	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	N/A
Gas coque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	N/A
Licor negro	0	0	0	1.90	0	0.88	3.58	5.86	4.53	4.19	N/A
Gasóleo	0	0	0	0.26	0.47	0	0	0	0	0	N/A
Aserrín	0	0	0	0	0.10	0.40	0.40	0.36	0.20	0.18	N/A
Aceite residual	0	0	0	0	0	0.004	7.490	0	0	0	N/A
Gas residual	0	0	0	0	0	22	40	41	4	24	N/A
Bagazo de malta	0	0	0	0	0.15	0.001	0	0	0	0	N/A
Combustóleo ligero aditivado	0	0	0	0	3.27	0	0	0.01	0	0	N/A
Biogás	0	0	0	0.69	1.30	1.87	1.91	2.52	2.84	2.85	N/A
<b>Total</b>	<b>1,496</b>	<b>1,556</b>	<b>2,123</b>	<b>2,399</b>	<b>2,566</b>	<b>2,821</b>	<b>3,278</b>	<b>3,108</b>	<b>3,328</b>	<b>3,236</b>	<b>116%</b>

La tendencia del consumo de los combustibles muestra un decremento de más de la mitad del consumo de combustóleo en 1990 con respecto a 2019; ha sido reemplazado paulatinamente por combustibles con menor intensidad de carbono, como el gas natural.

<sup>3</sup> Incluye el carbón empleado en la producción de coque

### 3.2.2.2 Factores de emisión (FE)

Los FE para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Tier 1) son los que se recogen en las *Directrices* 2006 (tabla 2.2, vol. 2, pág. 2.16). Los FE empleados para el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) corresponden a factores específicos para cada combustible y se basan sobre la determinación en laboratorio del contenido de carbono por unidad de energía, resultado del informe técnico INECC/A1-008/2014 realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo (INECC, 2014). Este método es consistente con el nivel 2 de las citadas *Directrices*.

El FE de CO<sub>2</sub> del carbón empleado en la generación de energía eléctrica fue proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE); se estimó en función de las características del combustible empleado en las plantas carboeléctricas del país (2,450 t CO<sub>2</sub>/t de carbón).

### 3.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se toma de las *Directrices* (IPCC, 2006b) (vol. 2, cap. 2, pág. 38). Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados en el INECC (INECC, 2014).

La incertidumbre de los DA se estableció en 5% para todas las subcategorías, con excepción de la subcategoría [1A1cii] Producción de coque metalúrgico, donde se empleó una incertidumbre de 10%.

Las series se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 3.2.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes de base de las que se extrae información están sometidas a controles de revisión específicos propios. Se compara y valida la información proporcionada por la CRE y PEMEX con datos del Balance Nacional de Energía (SENER, 2021).

**Tabla 7: Ejemplos de comparación y validación de datos de actividad**

Categoría/ fuente	Dato de actividad	Fuente primaria de información	Dato de actividad PJ	Balance Nacional de Energía PJ	Diferencia %
[1A1a]	Consumo de combustóleo	(CRE, 2021)	263.08 PJ	251.01 PJ	4%
[1A1b]	Consumo de combustóleo	(PEMEX, 2021c)	33.75 PJ	30.701 PJ	10%

Las fluctuaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados.

### 3.2.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Actualización del consumo de combustibles por mejoras en los balances de energía de los años 2016-2019.
- ⊙ Actualización de los DA de la categoría [1A1b].

**Tabla 8: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO <sub>2</sub> e								
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	102,735	143,740	168,775	181,242	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	108,045	152,368	173,517	185,362	212,007	200,207	199,249	203,294
Diferencia (%)	5.2%	6.0%	2.8%	2.3%	NA	NA	NA	NA

### 3.2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

- Revisión de información o generación de DA para la estimación de [1C].
- Mejoramiento de los DA de [1A1b] y [1A1c].

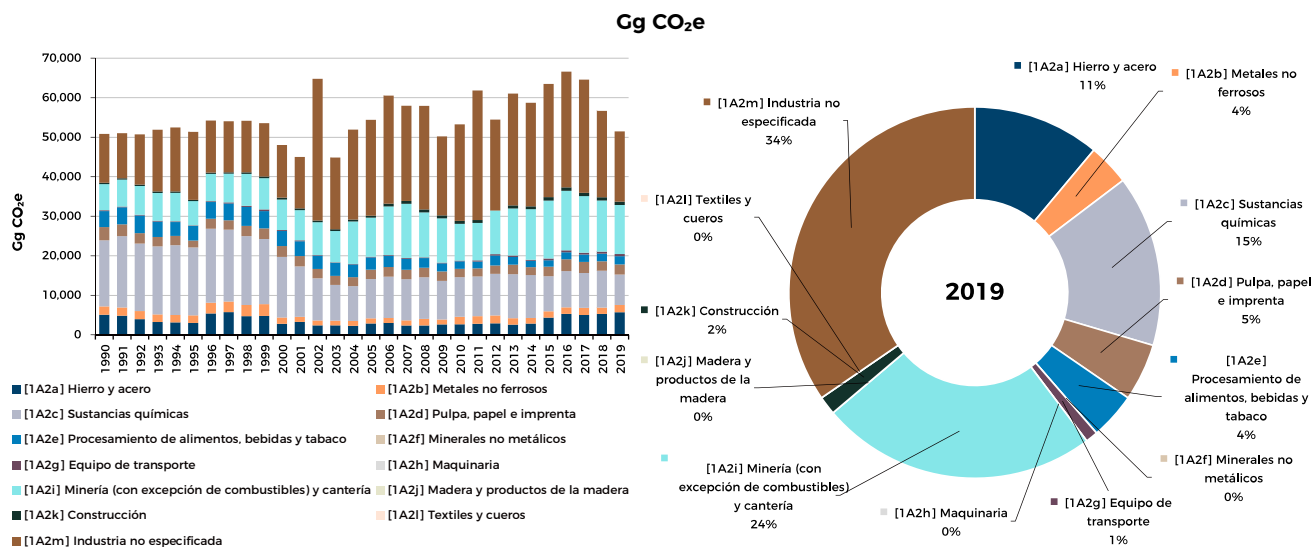
## 3.3 Industrias manufactureras y de la construcción [1A2]

### 3.3.1 Descripción de la categoría

En esta sección se contabilizan las emisiones de GEI generadas por la quema de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético dentro del sector industrial. En esta categoría se incluyen los procesos de generación de energía eléctrica y calor para uso propio dentro de las industrias. Dentro de esta subcategoría, las fuentes: [1A2a] Hierro y acero, [1A2c] Sustancias químicas, [1A2i] Minería (con excepción de combustible) y cantería y [1A2m] Industria no especificada, son claves (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

En 2019, la quema de combustibles en la industria manufacturera y de la construcción (categoría [1A2]) contabilizó 51,487 Gg CO<sub>2</sub>e, que suponen un aumento de 1.3% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 11**, distinguiendo las categorías [1A2m] y [1A2i] como las de mayor contribución en 2019.

**Figura 11: Emisiones de [1A2] Quema de combustibles por actividades**



La tendencia de las emisiones está marcada por el tipo y la cantidad de combustibles fósiles que los diferentes sectores industriales utilizan. En los tres últimos años se presentó un comportamiento descendente de las emisiones, alcanzando en 2019 niveles similares a los que se tenían en 1990. Los sectores industriales que han tenido un decrecimiento notorio son el químico, debido al cierre de operaciones de plantas de fertilizantes, y el sector del hierro y el acero, cuya producción fue a la baja. El pico de emisiones en 2002 se debió a un aumento de consumo de carbón en las industrias consideradas bajo la actividad [1A2m] Industria no especificada.

### 3.3.2 Metodología

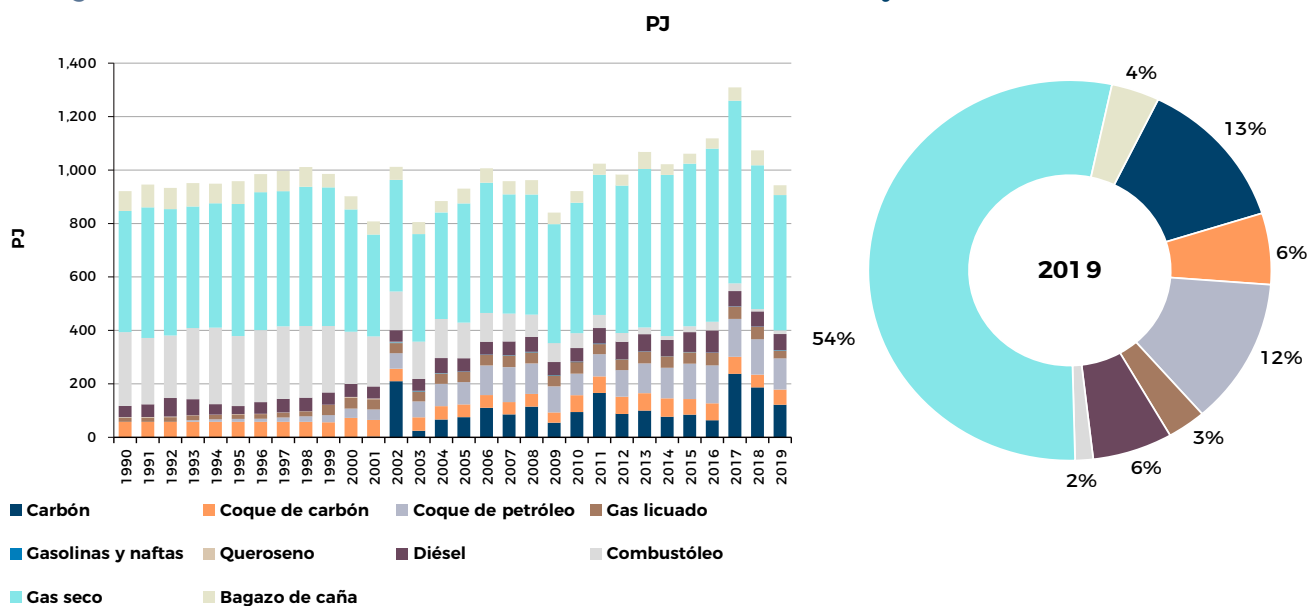
La metodología usada es la de las *Directrices* 2006. Se ha usado un enfoque metodológico de nivel 2 (Tier 2) para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O ha sido estimada mediante un nivel Tier 1 (siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2.1 del cap. 2, vol. 2 de las *Directrices* 2006.).

#### 3.3.2.1 Datos de actividad

La información sobre los consumos de combustibles en la industria ha sido extraída de SENER, de los datos reportados en el BNE (SENER, 2021). Del Balance Nacional de Energía se descontó el gas natural que va a proceso para la industria del hierro y acero. Para la actividad [1A2i] Fabricación de cemento, se incluyen las emisiones derivadas del uso de combustibles alternos, las cuales fueron estimadas en función de un porcentaje del total de la producción realizada con combustibles alternos con información proporcionada por la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM).

La **Figura 12** y la **Tabla 9** muestran el consumo de los combustibles en la industria manufacturera y de la construcción para cada uno de los años del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Figura 12: Consumo de combustibles de la industria manufacturera y de la construcción [1A2]**



Cabe mencionar que, a partir de 2002, se tiene registro del uso de carbón en el sector industrial; el queroseno se dejó de utilizar a partir de 2008; el consumo de combustóleo se ha reducido en un 95% de 1990 a 2019, mientras que el uso de gas licuado ha aumentado en una proporción similar.

**Tabla 9: Consumo de combustibles**

PJ

Combustibles	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
Carbón	0.00	0.00	0.00	75.24	94.27	84.58	237.44	186.93	121.69	N/A
Coque de carbón	57.71	54.11	72.41	47.50	62.82	58.64	63.75	47.43	57.03	-1.2%
Coque de petróleo	0.00	10.75	34.89	83.70	80.58	132.44	142.36	132.72	116.77	N/A
Gas licuado	15.15	17.09	41.66	37.93	43.52	42.26	45.02	45.90	29.29	93.3%
Gasolinas y naftas	0.00	0.00	0.00	1.77	1.94	0.99	1.17	1.18	1.29	N/A
Queroseno	2.45	1.03	1.54	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-100.0%
<i>Diesel</i>	42.05	30.19	49.04	49.72	50.80	74.63	57.54	57.31	60.55	44.0%
Combustóleo	276.35	261.95	195.49	133.29	55.99	22.05	28.97	8.71	13.58	-95.1%
Gas seco	453.32	494.42	457.87	446.03	488.10	608.62	683.23	538.00	506.36	11.7%
Bagazo de caña	74.15	85.41	49.09	55.23	43.17	37.15	49.89	55.72	36.36	-51.0%

### 3.3.2.2 Factores de emisión

Los FE para las emisiones de CO<sub>2</sub> son específicos del país (INECC, 2014); mientras que para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, así como para todos los FE para los combustibles que no aparecen en la **Tabla 10**, se utilizaron valores por defecto de la tabla 2.3, vol. 2, pág. 2.18 de las *Directrices* (ipcc, 2006b). En la **Tabla 10** se recogen los valores de los FE específicos de México.

**Tabla 10: Factores de emisión de los combustibles empleados en la industria manufacturera y de la construcción**

kg/TJ

Combustibles	FE de CO <sub>2</sub>
Carbón siderúrgico	90,912
Coque de carbón	109,598
Gas licuado	65,083
Gasolinas y naftas	73,791
<i>Diesel</i>	72,851
Combustóleo	79,450
Gas seco	57,756

### 3.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, del cap. 4 de las *Directrices* (ipcc, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019). La incertidumbre de los FE se toma de las *Directrices* 2006 (vol. 2, cap. 2). Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país, que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados en INECC (2014).

La incertidumbre de los DA se estableció en 5%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 3.3.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 3.3.5 Recálculos específicos de la categoría

No se realizaron recálculos para esta categoría.

### 3.3.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

- Revisión de la información del consumo energético de carbón en toda la categoría.
- Evaluar con los proveedores de información la posibilidad de desagregar las industrias contempladas en [1A2b], [1A2e], [1A2f] y [1A2m].
- Revisión de los datos con la SENER BNE.

## 3.4 Transporte [1A3]

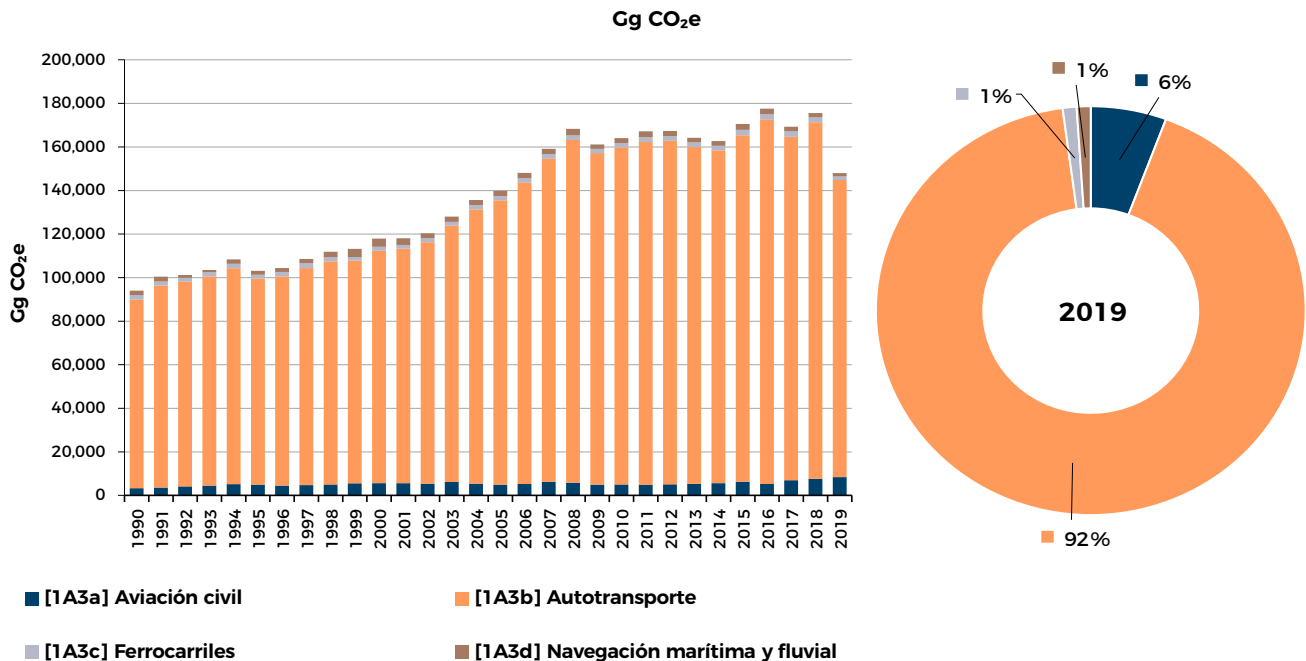
### 3.4.1 Descripción de la categoría

En esta categoría se incluyen las emisiones de GEI procedentes de la combustión de combustibles fósiles utilizados en las actividades de transporte aéreo, terrestre y marítimo. Las fuentes de emisión [1A3a] Aviación civil y [1A3b] Autotransporte dentro de esta subcategoría son fuentes claves (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

En este sector se estiman emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, estando las primeras íntimamente relacionadas con la cantidad y tipo de combustible empleado, mientras que las emisiones de metano y óxido nítrico están, además, altamente influenciadas por el tipo de tecnología empleada en los diferentes medios de transporte.

Las emisiones de GEI debidas al transporte (categoría [1A3]) contabilizaron 147,934 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que representa un aumento de 57% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 13**, distinguiéndose la categoría [1A3b] como la de mayor contribución durante todos los años del periodo inventariado.

**Figura 13: Emisiones del transporte [1A3]**



La tendencia de las emisiones de esta categoría se rige por el consumo de combustibles fósiles dentro del autotransporte [1A3b], principalmente por el uso de gasolinas, siendo este tipo de combustible el más utilizado en la flota vehicular del país.



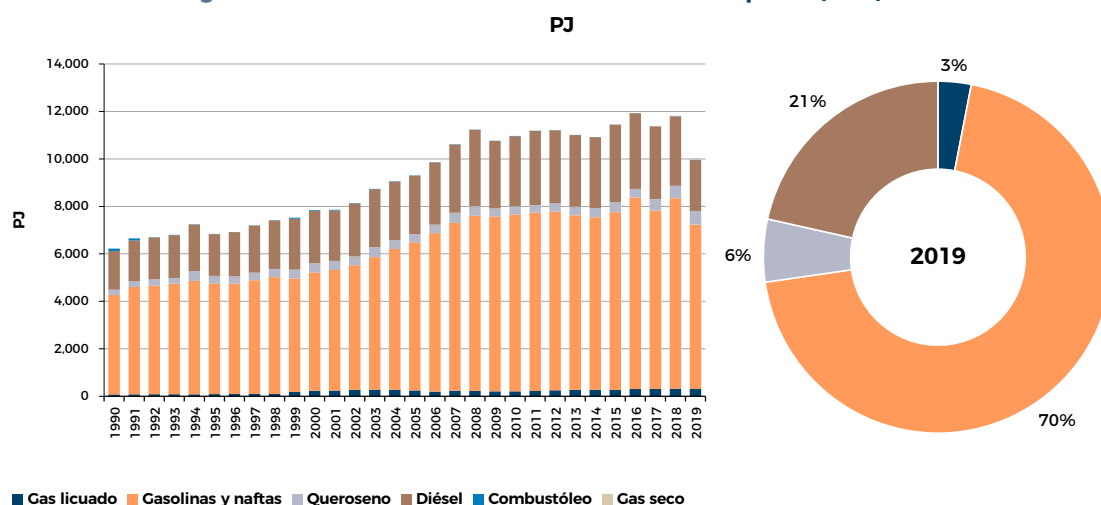
### 3.4.2 Metodología

Proviene de las *Directrices* (IPCC, 2006b). Se usó un enfoque metodológico Tier 2 para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de todos los sistemas de transporte considerados en el país (transporte por carretera, ferroviario, marítimo y aéreo). La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se hizo mediante la aplicación de un enfoque Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.2.2, 3.2.3 para el transporte terrestre, la Figura 3.4.1 y 3.4.2 para el transporte por ferrocarril, la Figura 3.5.1 para el transporte marítimo fluvial y la Figura 3.6.1 para el transporte aéreo, del cap. 3, vol. 2 de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

#### 3.4.2.1 Datos de actividad

Para esta categoría se centran en el consumo de combustibles en los distintos modos de transporte del país (transporte por carretera, ferrocarril, marítimo y aéreo), obtenidos del Balance Nacional de Energía (SENER, 2021). La **Figura 14** y la **Tabla 11** muestran el consumo de combustibles en el sector transporte para cada año del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Figura 14: Consumo de combustibles del transporte (1A3)**



**Tabla 11: Consumo de combustibles por modo de transporte**

PJ

Combustibles	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
<b>[1A3a] Aviación civil</b>										
Gasolinas y naftas	5.11	13.72	2.76	3.01	2.78	2.42	2.34	2.62	2.93	-43%
Queroseno	221.18	323.75	382.46	334.21	339.33	427.13	472.31	516.95	573.13	159%
<b>[1A3b] Autotransporte</b>										
Gas licuado	76.19	92.79	226.40	243.46	206.80	265.47	312.04	315.38	305.43	301%
Gasolinas y naftas	4,189.64	4,644.48	4,986.15	6,239.84	7,456.73	7,488.62	7,511.97	8,030.32	6,925.93	65%
Diesel	1,469.26	1,529.99	1,873.59	2,206.81	2,679.28	2,932.85	2,787.90	2,666.01	1,951.73	33%
Gas seco	0.00	0.00	1.12	3.78	2.51	4.15	11.06	13.65	10.43	N/A
<b>[1A3c] Ferrocarriles</b>										
Diesel	133.25	112.93	114.06	117.01	130.22	153.65	145.87	137.85	96.07	-28%
<b>[1A3d] Navegación marítima y fluvial</b>										
Diesel	23.59	113.57	219.67	145.93	140.33	174.51	140.79	122.79	92.78	293%

Combustóleo	103.46	6.99	33.38	16.87	9.49	5.16	4.87	14.50	11.91	-88%
-------------	--------	------	-------	-------	------	------	------	-------	-------	------

La tendencia del consumo de combustible está marcada principalmente por el consumo de gasolinas en el autotransporte; para la aviación se observa un aumento en el uso de queroseno y una disminución de gasolinas y naftas; dentro del sector de autotransporte se observa un aumento en el consumo de gas licuado y de gas seco; en el caso del sector ferroviario se observa un decremento del consumo de *diesel*, y para el sector marítimo se observa un aumento del consumo de *diesel* y una reducción en el uso de combustóleo.

### 3.4.2.2 Factores de emisión

Los FE para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> son específicos del país para todos los modos de transporte identificados (INECC, 2014). Por su parte, para la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en el transporte por carretera de vehículos a gasolina se emplean factores obtenidos del modelo MOVES-México con base en juicio de experto. Para mayor detalle, ver **Anexo 3. Experto 2: Autotransporte [1A3b]** (pág. 180), donde se presentan los FE y metodología empleada (INECC & ERG, 2015). Por otra parte, para la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del transporte ferroviario, marítimo y aéreo, se emplean los FE por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006b) (tablas 3.2.2, 3.4.1, 3.5.3 y 3.6.5, vol. 2, cap. 3).

En la **Tabla 12** se recogen los valores de los FE específicos de México empleados en la estimación de las emisiones de GEI del transporte.

**Tabla 12: Factores de emisión específicos de México para los combustibles empleados en el transporte**

kg/TJ

Combustibles	Autotransporte		
	FE de CO <sub>2</sub>	FE de CH <sub>4</sub>	FE de N <sub>2</sub> O
Gasolinas y naftas	73,791.16	6.16	2.32
Queroseno	72,614		
Gas licuado	65,083		
<i>Diesel</i>	72,851		
Combustóleo	79,450		
Gas seco	57,756		

### 3.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el "Método 1: Propagación del error", del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se toma de las *Directrices* (IPCC, 2006b) (vol. 2, cap. 3, tablas 3.6.4 y 3.6.5 para aviación, la sección 3.2.2 para el transporte terrestre, la tabla 3.4.1 para el transporte ferroviario y la sección 3.5.1.7 para el transporte marítimo). Para los FE de CO<sub>2</sub> propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre corresponden a los estimados en (INECC, 2014).

La incertidumbre de los DA se estableció en 5%, con la excepción del transporte marítimo que se estableció en 10%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional (cubre todos los consumos de combustibles fósiles del sector).

### 3.4.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes de base de las que se extrae información están sometida a controles de revisión específicos propios. Se comparan y validan los FE empleados con los obtenidos mediante el modelo MOVES-México

y se realizan validaciones con FE de bibliografía internacional. En el **Anexo 3. Experto 2: Autotransporte [1A3b]** (pág. 180) se presentan los FE empleados por año calendario, por combustible y contaminante.

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados.

### 3.4.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O para autotransporte a gasolina utilizando el modelo MOVES-México.

**Tabla 13: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	93,542	117,209	164,226	171,355	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	94,022	117,923	164,028	170,488	177,519	169,224	175,562	147,934
Diferencia (%)	0.5%	0.6%	-0.1%	-0.5%	NA	NA	NA	NA

### 3.4.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras: 1) Estimación de las emisiones de autotransporte en función de flota vehicular y kilómetros recorridos para hacer una validación del consumo de combustibles empleados, y 2) revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos.

## 3.5 Otros sectores [1A4]

### 3.5.1 Descripción de la categoría

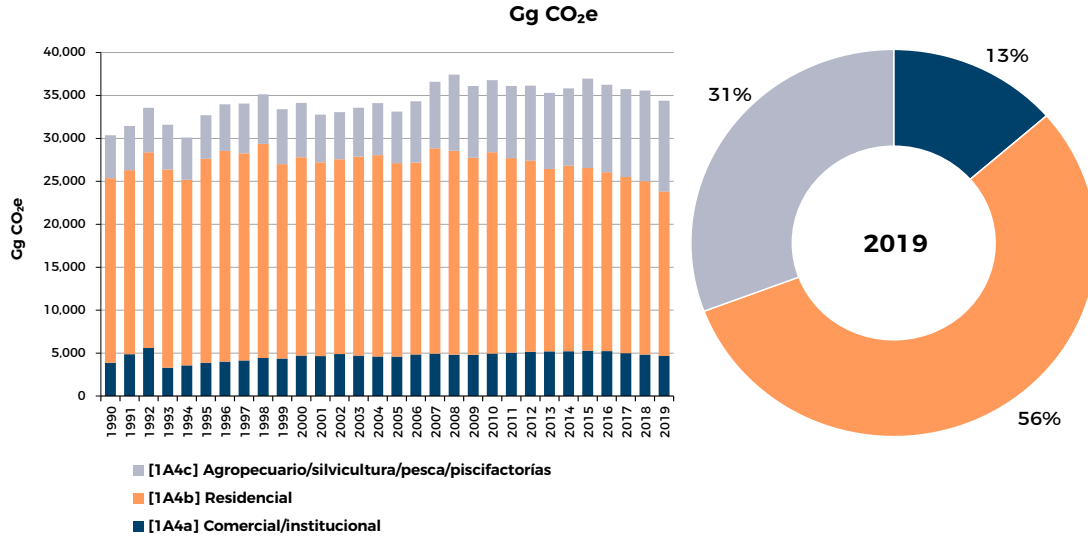
En esta categoría se estiman las emisiones de GEI de las siguientes actividades: [1A4a] Comercial e Institucional, [1A4b] Residencial y [1A4c] Agropecuario, silvicultura, pesca y piscifactorías. Las fuentes de emisión de esta subcategoría son claves (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

Se incluyen las emisiones CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la combustión de combustibles fósiles para el aprovechamiento energético en las actividades comerciales e institucionales, residenciales y agropecuarias.

Las emisiones de GEI asociadas a otros sectores (categoría [1A4]), en 2019 contabilizó 34,400 Gg CO<sub>2</sub>e, que suponen un aumento de 13% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 15**, distinguiendo la categoría de mayor contribución: [1A4b].

En la serie histórica de las emisiones de esta categoría se observa una contribución constante de emisiones derivadas del sector comercial e institucional, una disminución de las emisiones residenciales, derivada de mejores combustibles y tecnologías en los hogares, y un aumento de las emisiones del sector agropecuario asociado al aumento de actividades en este sector.

**Figura 15: Emisiones del consumo de combustibles en otros sectores [1A4]**



### 3.5.2 Metodología

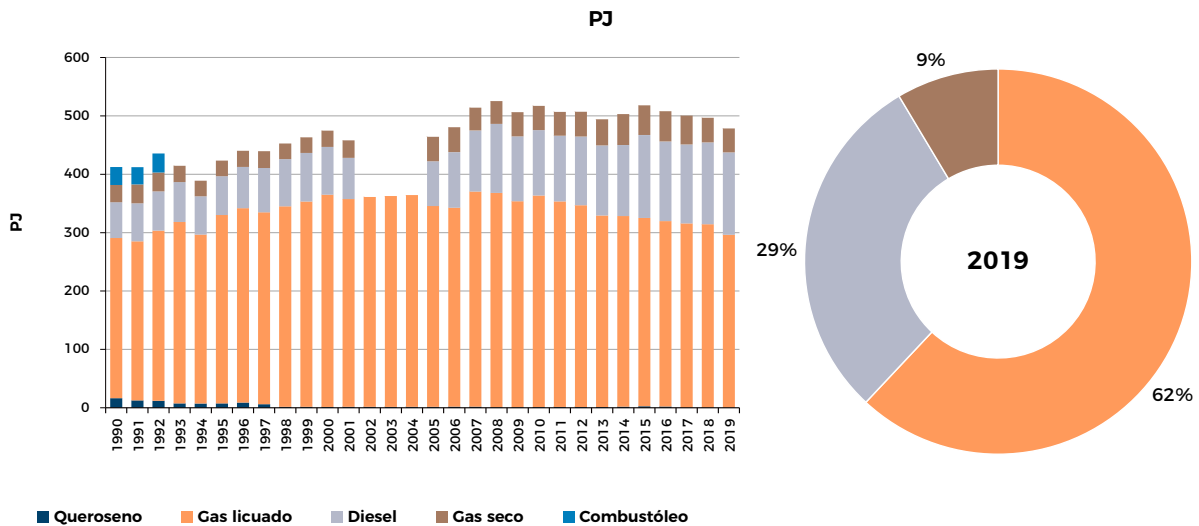
La metodología usada es la de las *Directrices* (IPCC, 2006b). Se ha usado un enfoque metodológico de nivel 2 (Tier 2) para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, mientras que la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se calculó mediante nivel Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2 del cap. 2, vol. 2 de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

#### 3.5.2.1 Datos de actividad

Los DA para esta categoría se centran en el consumo de combustibles empleados en la actividad comercial, residencial y agropecuaria; provienen del Balance Nacional de Energía de la SENER.

La **Figura 16** y la **Tabla 14** muestra el consumo de los combustibles en estos sectores para cada año del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Figura 16: Consumo de combustibles de otros sectores [1A4]**



**Tabla 14: Consumo de combustibles**

PJ

Combustibles	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
<b>[1A4a] Comercial/Institucional</b>										
Gas licuado	20.24	51.63	63.27	60.54	62.95	63.17	64.43	63.29	61.89	206%
<i>Diesel</i>	1.29	1.60	2.48	2.35	3.72	5.22				-100%
Gas seco		6.61	6.86	8.06	9.80	13.34	13.77	12.22	10.96	N/A
Combustóleo	30.82									N/A
<b>[1A4b] Residencial</b>										
Gas licuado	252.57	301.25	292.78	274.99	292.53	253.39	246.45	246.45	231.04	-9%
Queroseno	9.56	4.10	1.36	1.48	1.18	2.57				-100%
Gas seco	29.55	20.04	20.98	34.01	31.56	37.43	35.48	30.16	29.94	1%
<b>[1A4c] Agropecuario/ silvicultura/pesca/piscifactorías</b>										
Gas licuado	1.53	1.12	7.53	8.46	6.89	6.01	4.96	4.76	3.53	131%
Queroseno	6.76	3.34	0.06	0.04	0.03	0.00	0.02	0.02		-100%
<i>Diesel</i>	60.15	64.99	79.40	74.36	108.39	136.84	135.28	139.95	141.10	135%

Dentro del sector comercial e institucional se observa que, a partir de 2016, se dejó de utilizar el *diesel* y hubo un aumento en el consumo de gas LP y de gas seco. En el sector residencial se observa un comportamiento estable para el consumo de gas seco y gas licuado, y en el agropecuario se observa un aumento en el consumo de gas LP y de *diesel*. Tanto en el sector residencial como en el agropecuario se observa que ya no se utiliza el queroseno.

### 3.5.2.2 Factores de emisión

El FE de CO<sub>2</sub> fue tomado del informe técnico INECC/A1-008/201, realizado por el instituto Mexicano del Petróleo (INECC, 2014). Para los FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se consideraron los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006b) (tabla 2.4, vol. 2, cap. 2). En la **Tabla 15** se recogen los valores de los FE específicos de México.

**Tabla 15: Factores de emisión específicos de México para los combustibles empleados en otros sectores**

kg/TJ

Combustibles	FE de CO <sub>2</sub>
Queroseno	72,614
Gas licuado	65,083
<i>Diesel</i>	72,851
Combustóleo	79,450
Gas seco	57,756

### 3.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error”, del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE proviene de las *Directrices* (IPCC, 2006b), vol. 2, cap. 2, tablas 2.12-2.14. En el caso de los FE de CO<sub>2</sub> propios del país que corresponden a una metodología Tier 2, los rangos de incertidumbre son los estimados en el INECC (INECC, 2014).

La incertidumbre de los DA empleada fue 10%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional (cubre todos los consumos de combustibles fósiles del sector).

### 3.5.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 3.5.5 Recálculos específicos de la categoría

No se realizaron recálculos para esta categoría.

### 3.5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

No se tienen mejoras previstas para esta categoría.

## 3.6 Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles sólidos [1B1]

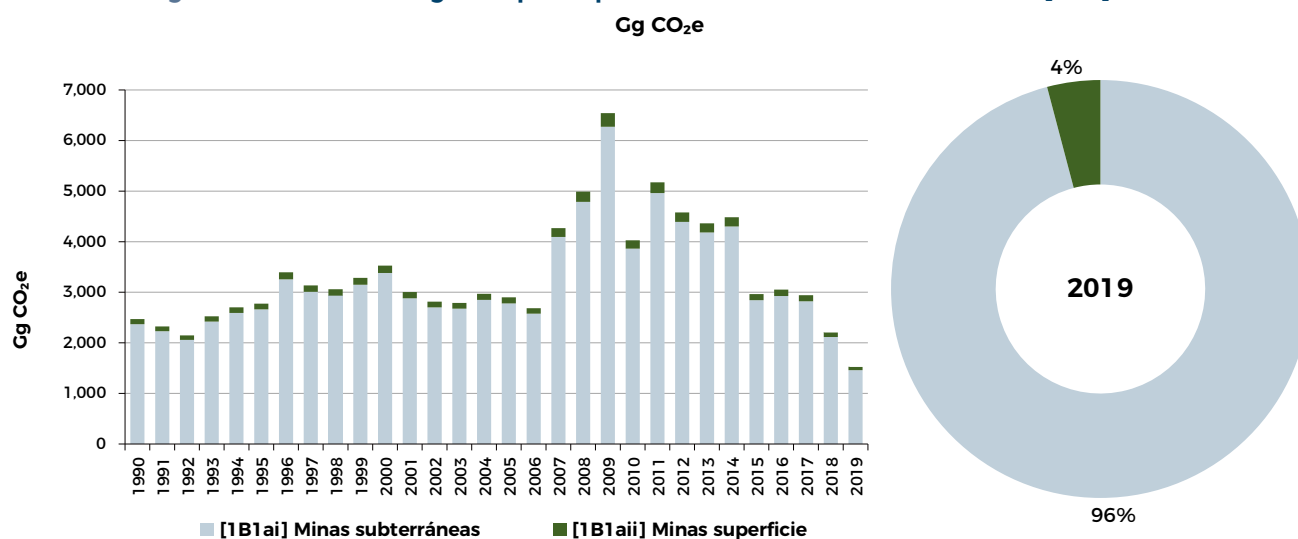
### 3.6.1 Descripción de la categoría

Comprende las emisiones fugitivas que ocurren durante la extracción o minado, producción, procesamiento, manejo y utilización del carbón. Son principalmente emisiones de metano que se produjo durante el proceso de formación de este mineral (carbón) y quedó almacenado en las menas. Asimismo, es posible que también aparezcan emisiones de CO<sub>2</sub> en algunas capas de la mina.

La actividad en México está centrada en minas subterráneas [1B1ai] y superficiales [1B1aii]. La producción de carbón contabilizó 1,523.72 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que supone un decrecimiento de 38.36% con respecto al año 1990, asociado al descenso en la producción de carbón en el país.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 22, distinguiéndose la fuente de emisión [1B1ai] como la de mayor contribución a lo largo del periodo inventariado (1990-2019).

Figura 17: Emisiones fugitivas por la producción de combustibles sólidos [1B1]



### 3.6.2 Metodología

En el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> en minas subterráneas y superficiales, en operaciones de minado y post extracción, se utilizaron las ecuaciones 4.1.3, 4.1.4, 4.1.7 y 4.1.8, del cap. 4, vol. 2, de las *Directrices* (IPCC, 2006b). Se utilizaron los FE por defecto establecidos en las secciones 4.1.4.1, para minas subterráneas y 4.1.4.2 para minas superficiales.

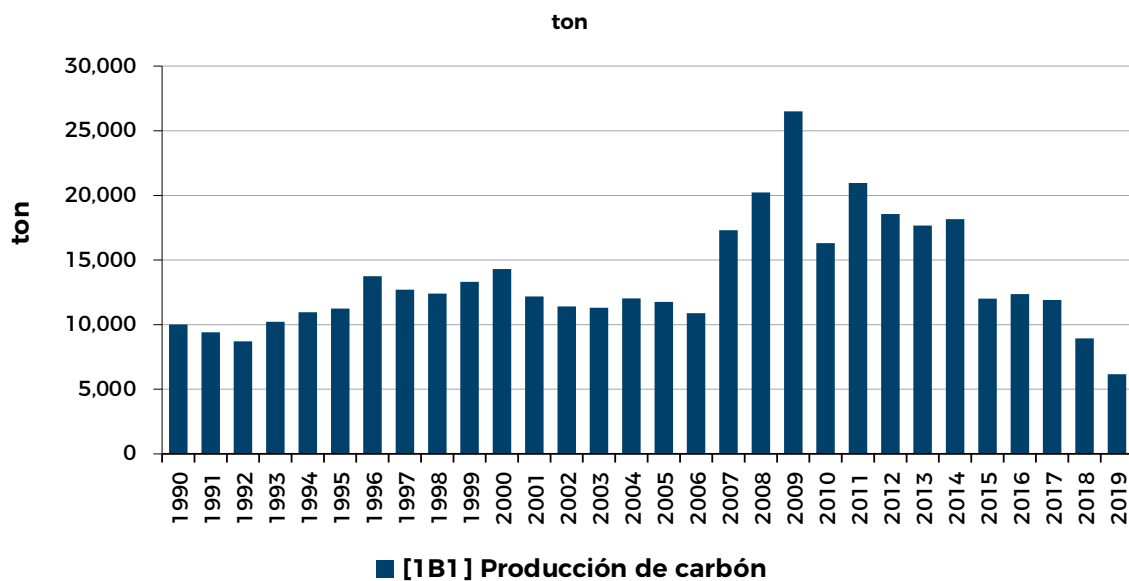
Para las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las operaciones de minado en minas subterráneas y superficiales se emplearon las ecuaciones 4.1.3 A y 4.1.7 A, cap. 4, vol. 2, del *Refinamiento* (IPCC, 2019a), con FE por defecto promedio dados en la sección 4.1.3.2 de este mismo *Refinamiento* (IPCC, 2019a).

#### 3.6.2.1 Datos de actividad

Para el cálculo de las emisiones fugitivas de GEI procedentes de la minería carbonífera y del manejo del carbón, los DA oficiales acerca de la producción de carbón en México se obtuvieron del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana*, publicado por el Servicio Geológico Mexicano de la Secretaría de Economía para el periodo 1990-2019 (SGM, 2021), así como directamente de la Dirección General de Minas de la misma Secretaría para su validación. Se consideró una proporción de carbón sobre la producción total proveniente de minas subterráneas y superficiales, de acuerdo con (SEMARNAT, 2007), ya que no se cuenta con la información segregada para estimar las emisiones por tipo de mina. Tanto para minas subterráneas como superficiales se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en las operaciones de minado, mientras que para post extracción se estimaron solamente emisiones de CH<sub>4</sub>. El cálculo de las emisiones corresponde al nivel 1.

La **Figura 18** muestra la producción de carbón para cada uno de los años del periodo inventariado. Dicha producción sufrió una disminución del -38.36% entre 1990 y 2019.

Figura 18: Producción de carbón



### 3.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE proviene de los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006b) (sección 4.1.3.6, vol. 2, cap. 4).

Las series se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 3.6.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21). Se revisó también la información proveniente del Servicio Geológico Mexicano, que es la fuente primaria, con respecto a la solicitada a la Dirección General de Minas para la validación de los DA.

**Tabla 16: Ejemplos de comparación y validación de datos de actividad**

Miles de ton

Producción de carbón ton	SGM	DGM	Diferencia %
1990	10,010.00	10,010.00	0%
2000	14,287.00	14,287.00	0%
2009	9,496.18	26,511.00	179%
2015	7,492.62	12,014.00	60%
2017	7,528.90	11,916.37	58%
2018	6,772.52	8,930.99	32%
2019	6,175.72	6,170.23	-0.1%

Los datos de la DGM reportan otros tipos de carbón producidos en el año de comparación, por lo que, siguiendo el principio de exhaustividad, se optó por tomar dichos datos.



### 3.6.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Actualización y corrección de los DA de producción de carbón en la serie histórica 1990-2019.
- ⊙ Cambio en la metodología de estimación de la categoría [1B1]. Se aplican los FE del *Refinamiento* (IPCC, 2019a) de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

**Tabla 17: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	3,241.64	4,354.13	8,980.57	7,786.77	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	2,470.32	3,525.82	4,027.04	2,964.88	3,051.61	2,940.78	2,204.04	1,522.72
Diferencia (%)	-31%	-23%	-123%	-163%	NA	NA	NA	NA

### 3.6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se plantea indagar y recopilar DA más precisos con objeto de mejorar las estimaciones de emisiones en:

- ⊙ Revisión de los datos de actividad de la serie histórica por tipo de producto.
- ⊙ Minas subterráneas abandonadas [1B1ai3];
- ⊙ quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO<sub>2</sub> [1B1ai4], y
- ⊙ combustión no controlada y vertederos de carbón quemados [1B1b].

## 3.7 Emisiones fugitivas de petróleo y gas [1B2]

### 3.7.1 Descripción de la categoría

En esta subcategoría se incluyen las emisiones fugitivas debidas a la liberación intencional o no intencional de gases de efecto invernadero durante la extracción, procesamiento y entrega de petróleo y gas natural al punto de utilización final. Las emisiones pueden producirse durante procesos de venteo, quema en antorcha o cualquier otro tipo de fuga durante el transporte.

La fuente más importante es la emisión de fugitivas de petróleo [1B2a], con 21,125.21 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que equivale a 72.21% de las emisiones de [1B2] en 2019. El total de GEI de [1B2a] incrementó 26.09% entre 1990 y 2019, pero en los periodos 2000-2019 y 2010-2019 fue decreciente (-39.15% y -46.55%, respectivamente), resultado de la tendencia homóloga que se apreció en la perforación de pozos desde 2012 y en la producción y refinación de crudo desde 2004.

Por otra parte, el venteo y la quema de gas son las dos actividades que más emisiones a la atmósfera por las actividades de la cadena de valor de la producción de petróleo [1B2a].

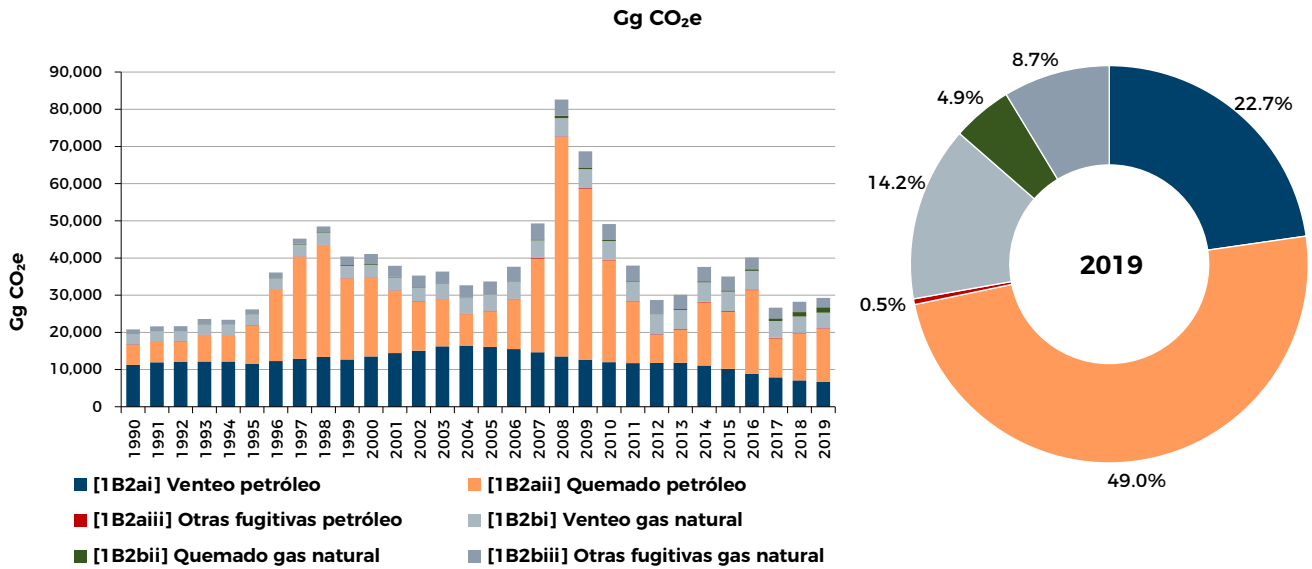
Las emisiones por la producción de gas natural [1B2b], en 2019 fueron de 8,129.51 Gg CO<sub>2</sub>e: 27.8% del total de [1B2], debidas principalmente al venteo de gas amargo<sup>4</sup> y la limpieza de pozos de gas,

<sup>4</sup> Gas natural que contiene hidrocarburos, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono.

mientras que las otras emisiones fugitivas se observaron como fugas en equipos, sistemas de almacenamiento, tuberías y otras fuentes en las que no ocurre venteo ni quema.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 19**, distinguiendo la fuente de emisión [1B2a] como la de mayor contribución en la gran mayoría de los años del periodo inventariado (1990-2019).

**Figura 19: Emisiones fugitivas por la producción de combustibles por actividad**



### 3.7.2 Metodología

La metodología usada es la de las *Directrices* (IPCC, 2006b). Se ha usado un enfoque metodológico de nivel 1 (Tier 1) para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2 del cap. 2, vol. 2 de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

#### 3.7.2.1 Datos de actividad y factores de emisión

Los DA provienen de la información pública del sistema de información de hidrocarburos de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2021), del Sistema de Información Energética de la SENER (SENER, 2021) y de las estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a). Se emplearon las ecuaciones 4.2.1 y 4.2.2 del vol. 2, cap. 4 (IPCC, 2006) para la estimación de emisiones, utilizando los FE seleccionados para México (INECC, 2012) y los factores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006b).

**Tabla 18: Fuentes de información para los datos de actividad**

Fuente de emisión		Actividad	Fuente de información
[1B2ai]	Venteo.	Perforación de pozos de petróleo crudo.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Terminación de pozos de petróleo crudo.	
		Transporte de petróleo crudo.	
		Carga de petróleo crudo.	
		Refinerías de petróleo crudo.	SIH (CNH, 2021).
		Producción de petróleo crudo.	(SENER, 2021).
		Terminales de GNL,	
[1B2aii]	Quemado.	Producción de petróleo crudo,	SIH (CNH, 2021).
		Perforación de pozos de petróleo crudo,	(SENER, 2021).
		Refinerías de petróleo crudo,	
		Transporte de GLP por ducto.	SENER, 2021 con información de Petróleos Mexicanos.
[1B2aiii1]	Todas las demás fugitivas	Perforación, prueba y terminación de pozos de petróleo.	SIH (CNH, 2021).
		Producción y mejora de petróleo crudo	
		Transporte de petróleo crudo.	SENER, 2021 con información de Petróleos Mexicanos.
		Terminales de importación de GNL.	
		Distribución de petrolíferos.	
		Refinación.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
[1B2bi]	Venteo.	Perforación de pozos de gas.	SIH (CNH, 2021).
		Terminación de pozos de gas.	
		Mantenimiento de pozos de gas.	
		Limpieza de pozos de gas.	
		Proceso de gas.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Transporte de gas.	SENER, 2021 con información de Petróleos Mexicanos.
[1B2ai]	Quemado.	Proceso de gas.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Perforación de pozos de gas.	SIH (CNH, 2021).

Fuente de emisión		Actividad	Fuente de información
[1B2biii]	Todas las demás fugitivas.	Perforación, prueba y terminación de Pozos de gas.	SIH (CNH, 2021).
		Producción de gas natural.	SIH (CNH, 2021).
		Proceso de gas natural.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Transporte de gas natural.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Compresión de gas natural.	Estadísticas y anuarios estadísticos de PEMEX (PEMEX, 2021b, 2021a).
		Distribución de gas natural.	SENER, 2021 con información de Petróleos Mexicanos.

### 3.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE proviene de los valores del estudio de INECC, 2012 y los parámetros de incertidumbre de los DA son los valores por defecto de las *Directrices* 2006 (sección 4.2.2.7.2, cap. 4, vol. 2).

Las series se consideran coherentes en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 3.7.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 3.7.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de los DA de la exploración, producción, procesamiento y transporte de petróleo y gas con información del SIH de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH, 2021) para toda la serie histórica 1990-2019.
- Ajuste de los FE de procesamiento de gas natural (segregación de los factores por el tipo de gras procesado, en gas dulce y gas amargo).

**Tabla 19: Tabla 19. Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	20,752.53	41,059.54	50,445.91	36,632.10	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	20,794.86	41,076.60	49,135.57	35,015.91	40,152.20	26,643.75	28,232.75	29,254.72
Diferencia (%)	0.20%	0.04%	-2.67%	-4.62%	NA	NA	NA	NA

### 3.7.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se tiene previsto iniciar proceso de mejora de recopilación de DA con el fin de enriquecer la completitud y exhaustividad en esta subcategoría en las siguientes actividades:

- ◉ Revisión y comparación exhaustiva de los DA de [1B2] provenientes del SIH (CNH, 2021), SIE (SENER, 2021) y estadísticas de PEMEX (PEMEX, 2021b).

## 3.8 Transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> [1C]

### 3.8.1 Descripción

La captura y almacenamiento de carbono (ccs, por *Carbon Capture and Storage*) es una opción para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero producto del uso continuo de combustibles fósiles. En su forma más simple, el proceso ccs es una cadena compuesta por tres etapas principales: 1) captura y compresión de CO<sub>2</sub> — habitualmente en instalaciones industriales como plantas de generación de energía, fabricación de hierro y acero, procesamiento de gas natural, fabricación de cemento, producción de amoníaco, producción de hidrógeno y fabricación de etanol—, 2) transportación a un sitio de almacenamiento y 3) aislamiento de la atmósfera a largo plazo.

El almacenamiento geológico puede tener lugar en reservorios subterráneos naturales tales como yacimientos de petróleo y de gas, capas de carbón y formaciones portadoras de aguas salinas que utilizan obstáculos geológicos naturales para aislar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera. El almacenamiento geológico del CO<sub>2</sub> puede llevarse a cabo en sitios donde el único objetivo es el propio almacenamiento, o como parte de las operaciones de recuperación mejorada de petróleo, de gas natural o de metano de yacimientos de carbón.

### 3.8.2 Mejoras previstas

Hay indicios de la existencia de dicha actividad en el país que y se tiene previsto indagar sobre ella.

## 3.9 Comparación del enfoque sectorial con el enfoque de referencia

### 3.9.1 Descripción

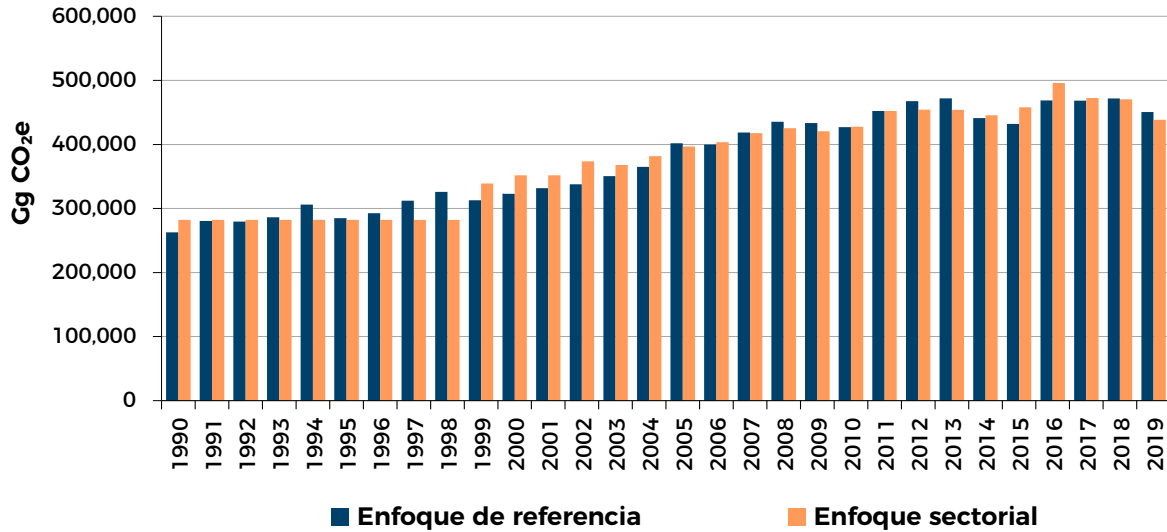
El enfoque de referencia es un método con un enfoque descendente para el que se utilizan los datos del Balance Energético Nacional para estimar las emisiones de GEI relacionadas con el consumo de combustibles fósiles. El enfoque sectorial, por su parte, es un método con un enfoque ascendente basado en datos más específicos.

Como se detalla en las *Directrices 2006*, es una buena práctica aplicar tanto el enfoque sectorial como el de referencia para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de un país correspondientes a la combustión de combustibles fósiles, para así comparar los resultados de estas estimaciones. Las diferencias significativas podrían indicar posibles problemas con el balance energético, los DA, los valores de poderes caloríficos, el contenido de carbono, el cálculo del carbono excluido, etc.

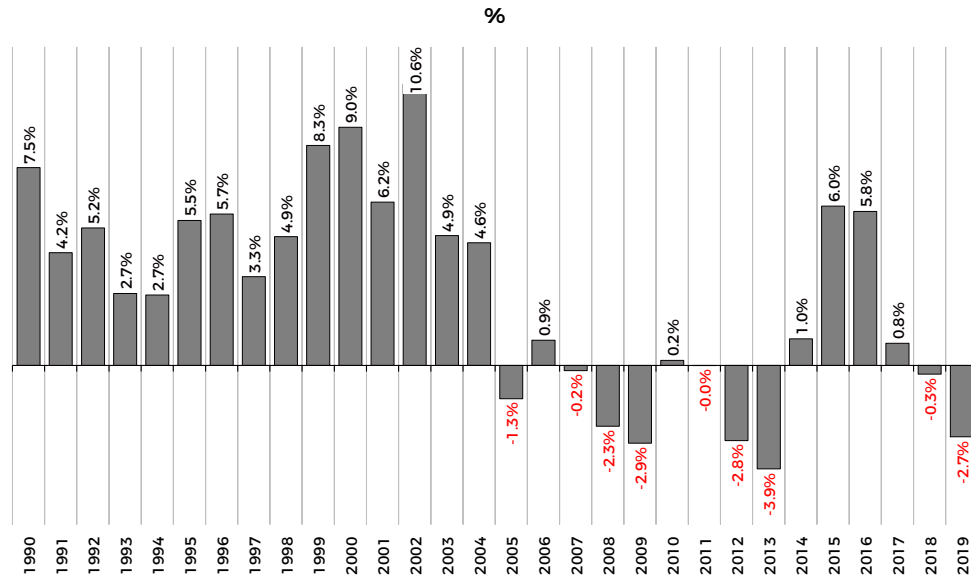
Las *Directrices 2006* consideran que, para los países con un sistema estadístico bien desarrollado, la comparación entre el enfoque sectorial y el de referencia podría situarse en un rango de  $\pm 5\%$  para un determinado combustible. Para los países con un sistema de datos energéticos menos desarrollado,

podría ser considerablemente mayor, probablemente en torno al  $\pm 10\%$ . En las Figuras 20 y 21 se representan los datos de ambos enfoques.

**Figura 20: Comparación de las emisiones de GEI del método sectorial vs método de referencia**  
Gg CO<sub>2</sub>e



**Figura 21: Diferencia porcentual entre ambos enfoques**



Se usaron datos de consumo aparente de combustibles (SENER, 2021) para los cálculos del método de referencia. Ambos métodos revelan la misma tendencia creciente, aunque algunos años presentan una diferencia mayor al 5%, lo cual se origina, entre otros motivos, por:

- i. Faltas en registros de consumos de gas y otros combustibles (provoca resultados menores en el método de referencia contra el sectorial);
- ii. variaciones no reconocidas en el comercio internacional de petróleo y petrolíferos;
- iii. reclasificaciones de combustibles (por uso energético y no energético);
- iv. cambios en las existencias de consumidores finales, y

- v. pérdidas por fugas o accidentes en las etapas productivas, transformación y manejo (entre 1990-2019, las emisiones de [1B] fueron, en promedio, equivalentes al 4.57% de las emisiones estimadas por el método de referencia).

### 3.9.2 Metodología

La metodología usada para el cálculo de las emisiones de GEI del enfoque de referencia se basa en las *Directrices* 2006 (ecuación 6.1, cap. 6, vol. 2; en dicha ecuación, el consumo aparente se calcula mediante la consideración de la producción, las importaciones, exportaciones y el stock nacional).

Se emplearon los mismos factores de conversión y emisión que los utilizados en el enfoque sectorial para asegurar la consistencia de los cálculos.

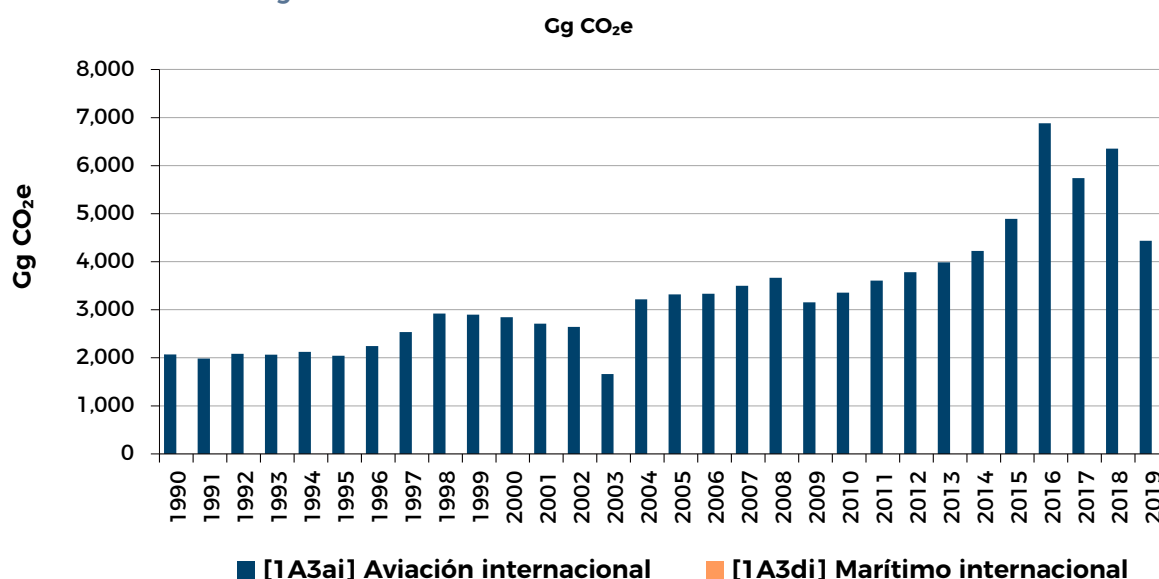
## 3.10 Búnkeres internacionales

### 3.10.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de GEI asociadas a los búnkeres internacionales están asociadas a las emisiones del transporte internacional, dividiéndose en aviación internacional [1A3ai] y transporte marítimo internacional [1A3di]. Las emisiones de estas categorías se reportan como *Memo item*, esto es, son emisiones que es necesario estimar pero que no se contabilizan en el total de emisiones nacionales.

Estas emisiones contabilizaron 4,436.20 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 114.48% más que en 1990, para la aviación internacional. Las emisiones del transporte marítimo internacional no se estiman en este inventario.

**Figura 22: Emisiones de búnkeres internacionales**



El consumo de combustibles fósiles para esta fuente de emisión se determina con base en la afluencia de vuelos internacionales que se llevan a cabo cada año. Por tal motivo, las emisiones de GEI son directamente proporcionales al número de vuelos internacionales registrados cada año.

### 3.10.2 Metodología

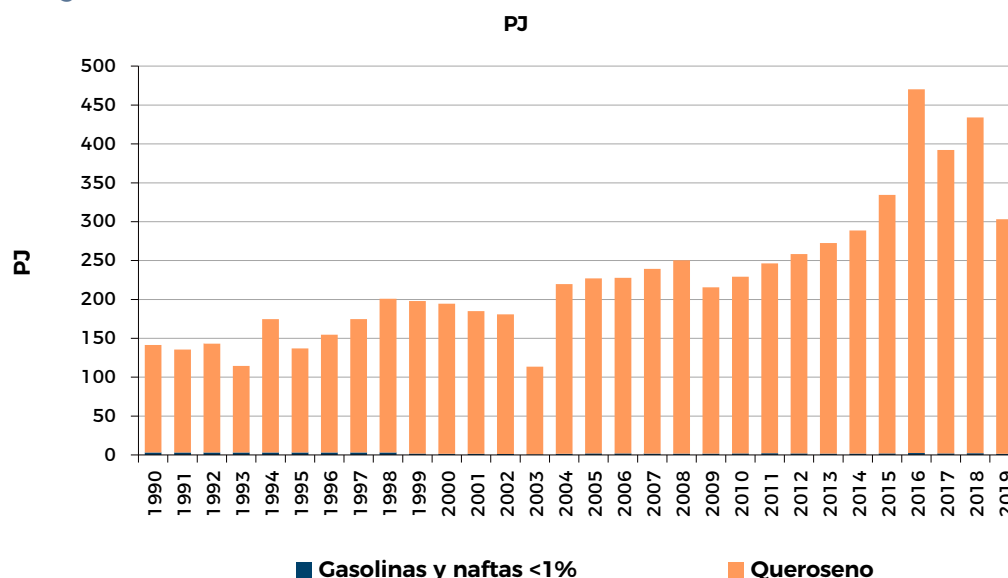
La metodología usada para la estimación de las emisiones de la fuente [1A3ai] corresponde a las *Directrices* 2006. Para la estimación de las emisiones de esta fuente se ha usado un enfoque metodológico de nivel 2 (Tier 2), siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.5.1, cap. 3, vol. 2, empleando los FE de INECC, 2014.

#### 3.10.2.1 Datos de actividad

Los DA corresponden a los consumos de combustibles empleados en el transporte aéreo internacional. Se obtienen del SIE (SENER, 2021) y del número de vuelos nacionales e internacionales pueden ser consultados en la página de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2021).<sup>5</sup>

La **Figura 23** muestra los datos del consumo de combustibles (desagregado por tipo de combustible) empleados en la aviación internacional para todo el periodo inventariado. Dicho consumo ha experimentado una disminución de -51.70% en cuanto a gasolinas y naftas y un aumento del 118.32% en cuanto a queroseno desde 1990 respecto a 2019.

**Figura 23: Consumo de combustibles en la aviación internacional [1A3ai]**



#### 3.10.2.2 Factores de emisión

Los FE empleados en la estimación de las emisiones debidas al transporte aéreo internacional se obtienen de INECC, 2014 para CO<sub>2</sub> y de las *Directrices* 2006 para CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

**Tabla 20: Factores de emisión específicos de México para la actividad de aviación internacional [1A3ai]**

kg/TJ

Combustible	Factor de emisión kg /TJ		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gasolinas y naftas	72,476.67	0.5	2.0
Queroseno	72,614.02	0.5	2.0

<sup>5</sup> <https://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/5-estadistica/>



### 3.10.3 Incertidumbres y coherencias de las series temporales

No se calculó la incertidumbre de esta fuente de emisión dado que no se contabiliza en el total de las emisiones nacionales.

### 3.10.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 3.10.5 Recálculos específicos de la categoría

No hay recálculos en esta fuente de emisión en la presente actualización del INEGYCEI.

### 3.10.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

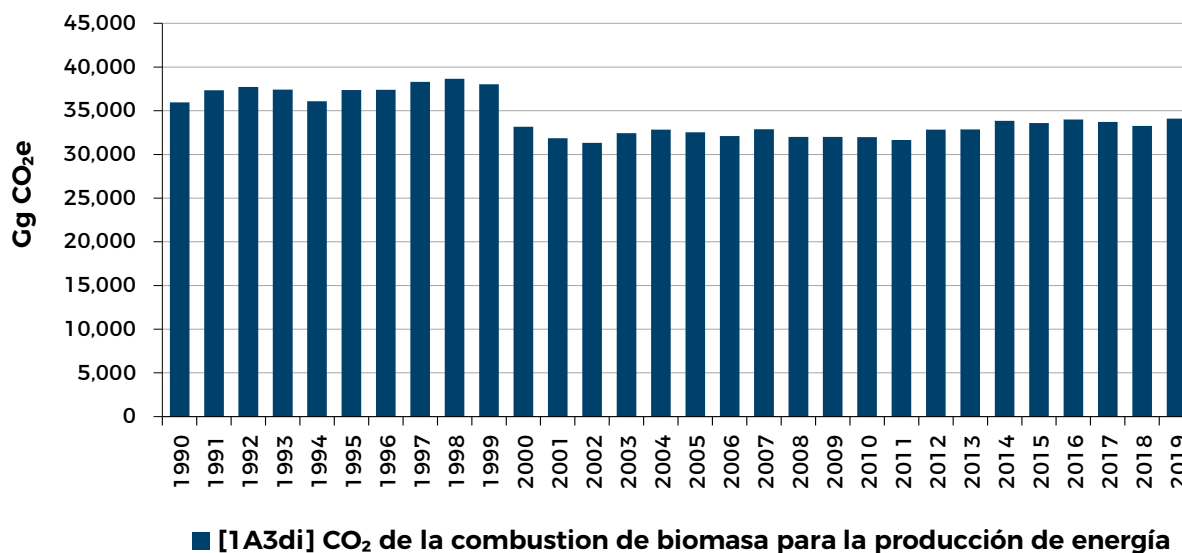
- ⊙ Inclusión de la estimación de las emisiones de GEI del transporte marítimo internacional.
- ⊙ Revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos.
- ⊙ Inclusión del cálculo de incertidumbre.

## 3.11 Quema de biomasa (*Memo item*)

### 3.11.1 Descripción de la categoría

Las emisiones de GEI asociadas a la quema de biomasa para la producción energética deben reportarse como *Memo item*: es necesario estimarlas y reportarlas mas no se incluyen en el total de emisiones nacionales. Estas emisiones se contabilizaron en 34,109.09 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que supone un decremento de 5.14% respecto al año 1990. Ver **Figura 24**.

**Figura 24: Emisiones de quema de biomasa para la producción de energía** *F c i i c c i*  
Gg CO<sub>2</sub>e



México utiliza biocombustibles en las actividades de generación de energía [1A1a], en la elaboración de azúcares [1A2e] y en otras ramas industriales [1A2m] con la quema del bagazo de caña para su aprovechamiento energético y calórico, y en el sector residencial [1A4b] a través de la quema de leña, principalmente. El consumo de bagazo de caña con fines energéticos creció 7.14% de 1990 a 2019, mientras que el consumo de leña en los hogares disminuyó 10.32% en el mismo periodo.

### 3.11.2 Metodología

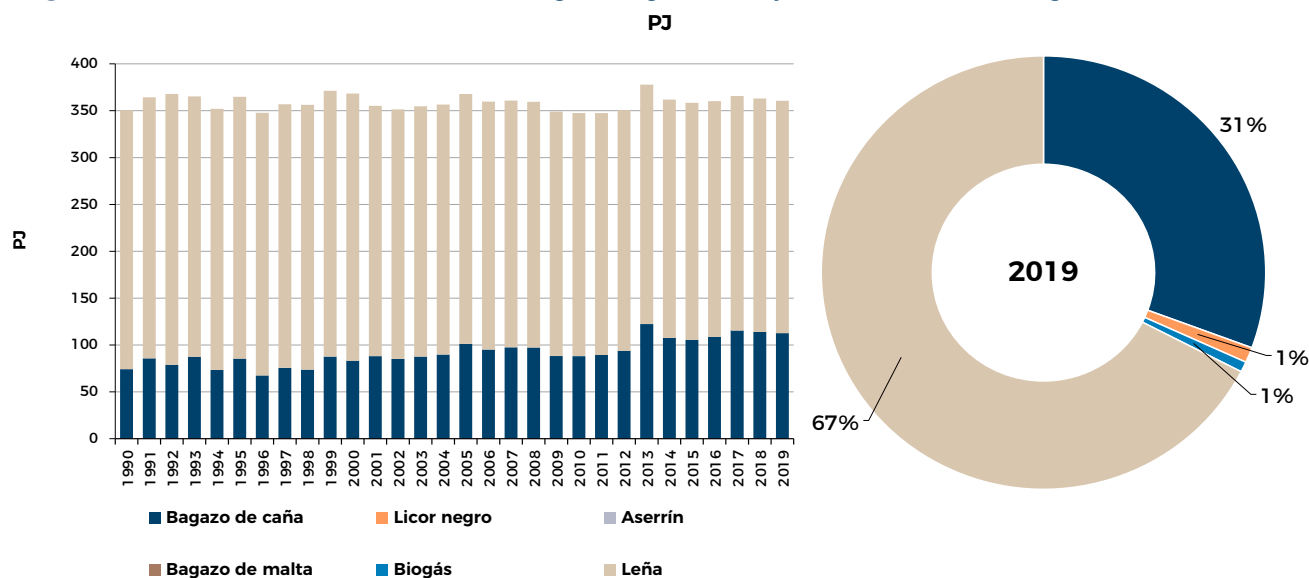
La metodología usada para la estimación de las emisiones por la quema de biomasa corresponde a las *Directrices* 2006. Se aplicó un enfoque metodológico Tier 2 para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> (árbol de decisión de la Figura 2.1., cap. 2, vol. 2), empleando los FE del INECC (INECC, 2014).

#### 3.11.2.1 Datos de actividad

Los DA corresponden a los consumos de combustibles orgánicos empleados con fines energéticos obtenidos del SIE (SENER, 2021), en el rubro de consumo final por producto para cada uno de los biocombustibles, y de información proporcionada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2021).

La **Figura 25** y la **Tabla 21** muestran los datos del consumo de combustibles (desagregado por tipo) para cada uno de los años del periodo inventariado.

**Figura 25: Consumo de combustibles de origen biogénico empleados con fines energéticos [1A3di]**



**Tabla 21: Consumo de combustibles de origen biogénico empleados con fines energéticos**

**PJ**

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
Bagazo de caña	74.15	85.41	83.29	101.22	88.04	105.56	115.35	114.00	112.64	51.92%
Licor negro	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.88	5.86	4.53	4.19	120.33%
Aserrín	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.40	0.36	0.20	0.18	94.31%
Bagazo de malta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	
Biogás	0.00	0.00	0.00	0.69	1.30	1.87	2.52	2.84	2.85	314.51%

Leña	276.46	279.34	284.98	266.43	259.31	252.84	250.31	249.08	247.92	-10.32%
------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

### 3.11.2.2 Factores de emisión

Los FE empleados en la estimación de las emisiones debidas a la combustión estacionaria de combustibles de origen biogénico con fines energéticos provienen de INECC (2014).

**Tabla 22: Factores de emisión específicos de México para combustibles de origen biogénico empleados en la producción energética**

kg CO<sub>2</sub>/PJ

Combustible	FE de CO <sub>2</sub>
Bagazo de caña	100,000,000
Licor negro	95,300,000
Aserrín	100,000,000
Bagazo de malta	100,000,000
Biogás	54,600,000
Leña	103,237,000

### 3.11.3 Incertidumbres y coherencias de las series temporales

No se calculó la incertidumbre de esta fuente de emisión dado que no se contabiliza en el total de las emisiones nacionales.

### 3.11.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 3.11.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización del consumo de combustibles de origen biogénico empleados en las actividades de consumo de combustibles.

**Tabla 23: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	35,955.86	29,711.15	27,404.19	26,524.32				
INEGYCEI IBA 3	35,955.86	33,157.01	31,990.74	33,594.41	34,011.18	33,732.25	33,261.85	34,112.42
Diferencia (%)	0%	12%	17%	27%				

### 3.11.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Mejora de la información del consumo de combustibles de origen biogénico empleados en sectores no especificados, identificando el sector en el que son utilizados.
- Revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos.
- Inclusión del cálculo de incertidumbre.

## 3.12 Referencias

- CNH. (2021). Sistema de Información de Hidrocarburos - Información de 1990 a 2019. Recuperado de <https://hidrocarburos.gob.mx/estadisticas/>
- CRE. (2021). *Comunicación interna - Información sobre el consumo de combustibles en la generación de electricidad, datos al 2019.*
- INECC. (2012). *Determinación de factores de emisión para emisiones fugitivas de la industria petrolera en México.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/167851/emisiones\\_fugitivas.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/167851/emisiones_fugitivas.pdf)
- INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México.* Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC\\_2014\\_FE\\_tipos\\_combustibles\\_fosiles.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf)
- INECC & ERG. (2015). *Moves México.* Recuperado de [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00MBC8.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00MBC8.pdf)
- IPCC. (2006a). Volume 1 General Guidance and Reporting. En N. T. and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K. (Ed.), 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Japan: IGES.
- IPCC. (2006b). Volume 2 Energy. En E. H.S., B. L., Miwa K., N. T., & T. K (Eds.), 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (vol. 2). Recuperado de [http://www.revespcardiol.org/cgi-bin/wdbcgi.exe/cardio/mrevista\\_cardio.fulltext?pident=13083441](http://www.revespcardiol.org/cgi-bin/wdbcgi.exe/cardio/mrevista_cardio.fulltext?pident=13083441)
- IPCC. (2019). Volume 2 Energy. En N. S. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M. & S. Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici (Eds.), *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (vol. 2).
- PEMEX. (2021a). *Anuario Estadístico - información al 2019.* Recuperado de <https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/AnuarioEstadistico.aspx>
- PEMEX. (2021b). Base de datos institucional - Informes, publicaciones y estadísticas 1990-2019. Recuperado de [https://www.pemex.com/acerca/informes\\_publicaciones/Paginas/default.aspx](https://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Paginas/default.aspx)
- PEMEX. (2021c). *Comunicación interna.*
- SEMARNAT. (2007). Estudio para identificar las capacidades de la minería de carbón en el uso y aprovechamiento del gas metano asociado. Recuperado de <https://cofemersimir.gob.mx/expediente/8141/mir/19308/anexo/666107>
- SENER. (2021). Balance Nacional de Energía del Sistema de Información Energético - Datos al 2019. Recuperado de <https://sie.energia.gob.mx/>
- SGM. (2021). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana - Datos al 2019.* Recuperado de <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-el-anuario-estadistico-de-la-mineria-mexicana#:~:text=Durante el cuarto trimestre de,observado en el trimestre previo.>
- US-EPA, & ERG. (2015). *Moves México.*

## 4. [2] Procesos industriales y uso de productos, PIUP

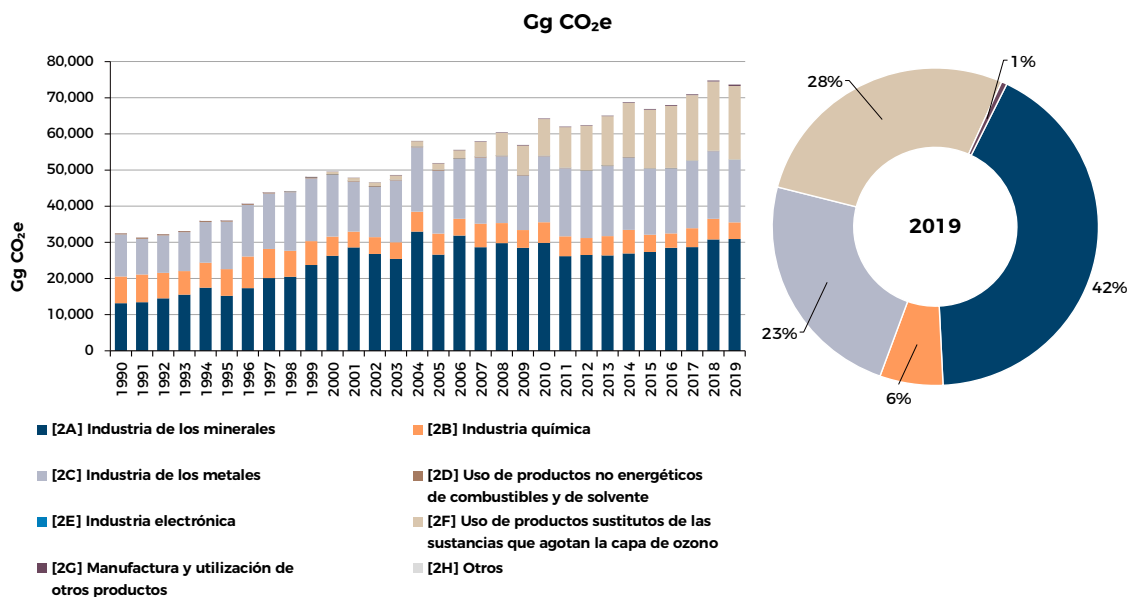
### 4.1 Visión general del sector

El sector [2] PIUP<sup>6</sup> considera las emisiones provenientes de la fabricación y uso de productos en la industria donde, derivado de la naturaleza del producto, bien por fugas, uso directo o del proceso para su fabricación en donde se transforman materias primas por medios químicos o físicos, ocurren emisiones de gases de efecto invernadero. Este sector incluye las emisiones generadas en la industria de los minerales, la industria química, la industria de los metales, el uso no energético de combustibles y disolventes, la industria electrónica, la fabricación de equipos eléctricos y la industria de la pulpa y el papel.

Las emisiones generadas en las actividades de la industria por el uso de combustibles fósiles con motivos energéticos, no como parte del proceso productivo, se reportan en el sector [1] Energía. En [2] PIUP, de acuerdo con las *Directrices* 2006, las emisiones de GEI que se estiman incluyen al CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y el trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>).

En 2019, las emisiones de PIUP alcanzaron 73,672 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad equivalente a 13.8% de las emisiones totales del INECYCEI (incluyendo UTCUTS). Tales emisiones disminuyeron 1.5% respecto a 2018, y aumentaron 128% respecto al año 1990. En la **Figura 26** se presentan, en términos de CO<sub>2</sub>e, las emisiones del sector PIUP, con desglose por categorías.

**Figura 26: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del sector [2] PIUP**



La tendencia de este sector ha sido ascendente en términos generales, con algunos años valle (2001, 2002, 2003, 2005, 2011, 2012, 2015 y 2016). Las principales contribuciones a esta categoría proceden de la industria de los minerales, la industria metalúrgica y la industria química. A partir del año 2000, de manera creciente, se observa la cada vez mayor contribución del uso de productos que agotan la capa de ozono, principalmente por sistemas de refrigeración y aires acondicionados.

Las categorías clave identificadas para el año 2019 son: [2A1] Producción de cemento ([N-T]), [2A2] Producción de cal ([N]), [2A4] Otros usos de carbonatos en los procesos ([N-T]), [2B1] Producción de amoníaco ([N-T]), [2B8] Producción petroquímica y negro de humo ([N-T]), [2C1] Producción de hierro y acero ([N-T]), [2F1] Refrigeración y aire acondicionado ([N-T]) y [2F4] Aerosoles ([N-T]).

<sup>6</sup> En inglés, IPPU, por *Industrial Processes and Product Use*.

## 4.2 Industria de los minerales [2A]

### 4.2.1 Descripción de la categoría

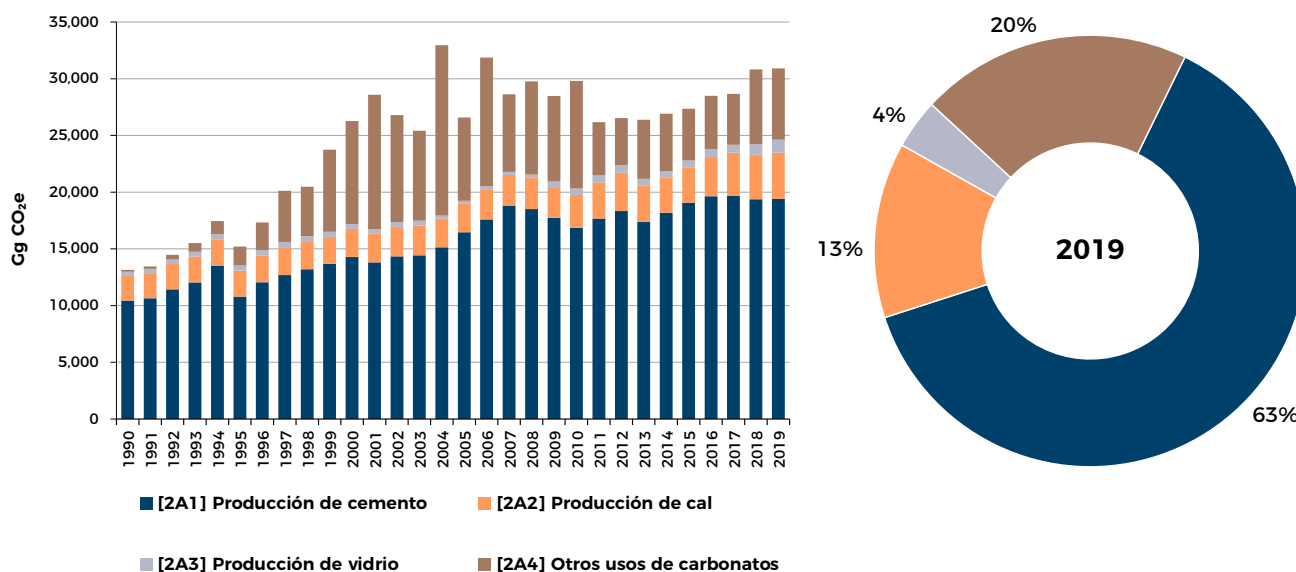
En la industria de los minerales se estiman las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el de otros materiales minerales industriales. Hay dos grandes vías para la liberación de CO<sub>2</sub> a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de CO<sub>2</sub> inducida por ácidos. El principal proceso que conduce a la liberación de CO<sub>2</sub> es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma óxido metálico mediante la aplicación de calor.

La categoría de la industria de los minerales [2A] se desglosa en cuatro subcategorías: producción de cemento [2A1], producción de cal [2A2], producción de vidrio [2A3] y otros usos de carbonatos [2A4]. Todas las subcategorías, excepto [2A3], son clave según el análisis de categorías clave desarrollado (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

En 2019, la producción de cemento [2A1] contabilizó 19,411 Gg CO<sub>2</sub>e: 86% más que en 1990. La producción de cal [2A2] contabilizó 4,071 Gg CO<sub>2</sub>e: un aumento de 88% respecto a 1990. La de vidrio [2A3], con 1,148 Gg CO<sub>2</sub>e, fue 209% mayor, y otros usos de carbonatos [2A4], con 6,288 Gg CO<sub>2</sub>e, 3,687%.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 27**, distinguiéndose la categoría [2A1] como la que de mayor contribución en todos los años del periodo inventariado.

**Figura 27: Emisiones de la industria de los minerales [2A]**



La tendencia de esta categoría está influida principalmente por la fabricación de cemento; en segundo lugar, por otros usos de carbonatos; en tercer lugar, por la producción de cal, y en menor proporción, por la producción de vidrio. Las emisiones y sus fluctuaciones coinciden con los volúmenes de producción y utilización de estos productos.

### 4.2.2 Metodología

La metodología de cálculo usada es la de las *Directrices* (ipcc, 2006c). El enfoque metodológico empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de cemento [2A1] es de nivel 1 (Tier 1), siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2.1, cap. 2, vol. 3 de las *Directrices* (ipcc, 2006c), mientras que el enfoque empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de cal

[2A2] corresponde a un Tier 2, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2.2, cap. 2, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c). La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de vidrio [2A3] se realizó mediante la aplicación de un nivel metodológico Tier 3, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2.3, cap. 2, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c), y la aplicación de un nivel metodológico Tier 2 para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de otros usos de carbonatos [2A4], siguiendo los árboles de decisión de la Figura 2.4, cap. 2, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

#### 4.2.2.1 Datos de actividad

El DA empleado en la subcategoría [2A1] corresponde a la producción de cemento, asociada a un porcentaje del contenido de clínker por tipo de cemento. En la estimación de emisiones se suman aquellas derivadas de la importación de clínker, cuyas emisiones se deben atribuir al país productor, en este caso México, y se restan aquellas derivadas de las exportaciones. Los datos sobre producción por tipo de cemento se obtuvieron de las encuestas mensuales de la industria manufacturera que lleva a cabo el INEGI,<sup>7</sup> y los datos de importación y exportación de clínker se tomaron de diversos números del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana*, publicación del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2021).

Para la producción de cal [2A2], el DA empleado consiste en datos de producción por tipo de cal (cal viva, dolomítica, hidratada, siderúrgica y química), obtenidos de las encuestas mensuales de la industria manufacturera (INEGI, 2019b).

Los DA empleados en la estimación de las emisiones procedentes de la producción de vidrio [2A3] están asociada al consumo de carbonatos y se obtuvieron de los censos económicos del INEGI en los años 2004, 2009, 2014 y 2019 (INEGI, 2021). Los resultados de emisión para toda la serie se completaron a partir de las emisiones obtenidas de los años censados, relacionándolas con los valores brutos de producción de las ramas de vidrio, información obtenida de las encuestas anuales de la industria manufacturera (INEGI, 2019b).

Las emisiones de la subcategoría [2A4] se han estimado a partir de los consumos de piedra caliza y dolomítica en procesos que generan emisiones. Para estimar estas cantidades se hizo un balance de materiales, considerando la producción, exportación e importación de caliza y dolomita en el país, obteniendo así un consumo aparente de cada carbonato. Posteriormente, se sustrajo la cantidad de cada carbonato utilizado en la producción de cemento, cal, vidrio y cerámicas, asumiendo que la diferencia, como DA, representaba la masa disponible para su utilización en otros procesos. Los datos de producción, exportación e importación de caliza y dolomita se obtuvieron del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana*. (SGM, 2021).

La **Tabla 24** muestra los datos de los DA empleados en cada una de las subcategorías de la industria de los minerales para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

La producción de cemento, vidrio, cal viva, cal dolomita y cal siderúrgica ha ido aumentando en el transcurso de la serie histórica. Por otro lado, la producción de cal hidratada se ha mantenido en los mismos niveles durante toda la serie histórica. Dentro de los otros usos de los carbonatos, se ha incrementado notoriamente el consumo de piedra caliza y piedra dolomítica, siendo la primera la más utilizada y con un crecimiento mayor.

<sup>7</sup> <https://www.inegi.org.mx/programas/emim/2013/>

**Tabla 24: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria de los minerales [2A]**

ton

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
[2A1] Producción de cemento	24,289,012	25,121,619	33,227,839	37,451,616	39,064,706	44,381,125	45,703,383	44,854,106	45,163,243	85.90%
[2A2] Producción de cal viva	484,790	556,602	592,803	525,140	1,017,145	1,463,242	1,698,375	1,746,392	1,645,460	239.40%
[2A2] Producción de cal dolomítica	153,632	182,732	204,553	299,133	324,906	614,662	941,978	944,976	919,250	498.30%
[2A2] Producción de cal hidratada	2,844,644	2,649,674	2,812,685	2,587,803	2,470,734	769,625	2,118,094	2,172,046	2,459,859	-13.50%
[2A2] Producción de cal siderúrgica y química	19,094	214,924	304,660	482,505	539,094	1,353,138	726,183	753,675	853,505	4370.00%
[2A3] Consumo de dolomita en vidrio	26,125	31,952	28,870	33,095	97,010	195,718	203,452	207,319	249,848	856.40%
[2A3] Consumo de caliza en vidrio	393,190	480,895	434,510	384,503	425,477	788,550	908,298	968,172	1,166,780	196.70%
[2A4] Consumo de piedra caliza	32,066	3,043,802	20,337,786	15,678,739	20,409,728	6,014,943	6,368,234	8,461,931	9,137,555	28396.10%
[2A4] Consumo de piedra dolomítica	194,891	591,996	169,317	769,111	854,301	3,831,587	3,338,530	5,753,899	4,534,504	2226.70%

#### 4.2.2.2 Factores de emisión (FE)

Para la estimación de las emisiones de la subcategoría [2A1] Producción de cemento, se emplean distintos porcentajes promedio de clínker por tipo de cemento (ver **Tabla 25**). El FE considerado para el clínker fue de 0.536 ton CO<sub>2</sub>/ton clínker. Estos contenidos y el FE empleado fueron proporcionados por la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM). Véase **Anexo 3: Descripciones metodológicas adicionales** (pág. 179).

**Tabla 25: Factores de corrección del porcentaje de clínker en cemento para la estimación de emisiones de la subcategoría [2A1]**

Tipo de cemento	Porcentaje de clínker
Blanco	90%
Gris	80%
Mortero	80%

El FE empleado en la estimación de las emisiones de la producción de cal (subcategoría [2A2]) se basa en los valores por defecto de las *Directrices* 2006 (tabla 2.4, vol. 3, cap. 2). Se emplea un factor de corrección por defecto de 2% de LKD. Por otra parte, se emplea un factor de corrección de 97.1% para la cal hidratada, calculado con información por parte de juicio de experto nacional (para más información ver **Anexo 3. Experto 3: Industria de los minerales [2A4]** (pág. 182), acerca de la cantidad de agua necesaria para la producción de este tipo de cal.

Los FE empleados para la estimación de las emisiones de la subcategoría de producción de vidrio [2A3] corresponden a los valores por defecto de las *Directrices* (ipcc, 2006c) (tabla 2.1, vol. 3, cap. 2). Se asume, por otra parte, una fracción de calcinación igual a 1.

Los FE empleados en la subcategoría [2A4] corresponden a los valores por defecto para la caliza y dolomita de las *Directrices* (ipcc, 2006c) (tabla 2.1, vol. 3, cap. 2).



### 4.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* 2006 (vol. 3, cap. 2).

Para el cálculo de la incertidumbre de los FE de la producción de vidrio y cerámicas se empleó la incertidumbre combinada del factor de intensidad (emisiones/producción) del año previo. Para el vidrio, la incertidumbre del FE se estimó en 7.35% y en la producción de cerámicas en 7.68%.

La incertidumbre de los DA se estimó en 10% para la producción de cemento, en 6.32% para la producción de cal viva, siderúrgica y dolomita, en 8.06% para la cal hidratada, 5% para la producción de vidrio y cerámicas, 11.69% para el uso de caliza en otros usos de carbonatos y 5.8% para el uso de dolomita.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 4.2.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes de información de base de las que se extrae información están sometidas a controles de revisión específicos propios. Para la subcategoría [2A1] se revisaron tanto los DA como las especificaciones metodológicas con la CANACEM. El mismo ejercicio se llevó a cabo con representantes del grupo Calidra para analizar los supuestos, DA y metodología empleados para la estimación de emisiones derivadas de la producción de cal.

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados.

### 4.2.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- La incorporación de la subcategoría [2A4] Otros usos de los carbonatos, que antes no era estimada.
- Actualización de DA en la serie histórica para [2A1], [2A2] y [2A3].
- Diferencias en los datos de producción de piedra caliza entre los años 2014 y 2019. La razón del cambio se debe a la inclusión en este periodo de las estadísticas de bancos de materiales de la Subsecretaría de Infraestructura de la SCT.

**Tabla 26: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	13,209	17,395	20,388	22,767	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	13,146	26,272	29,807	27,357	28,497	28,671	30,824	30,919
Diferencia (%)	-0.5%	51.0%	46.2%	20.2%	NA	NA	NA	NA

### 4.2.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

- Mejoramiento de los DA de [2A3] y [2A4], así como la aplicación de un control de calidad específico de estas subcategorías.

## 4.3 Industria química [2B]

### 4.3.1 Descripción de la categoría

En la industria química se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la producción de amoníaco, dióxido de titanio, ceniza de sosa y en la producción petroquímica y de negro de humo; las emisiones de CH<sub>4</sub> por la producción petroquímica y de negro de humo; las de N<sub>2</sub>O por la producción del ácido nítrico y la caprolactama, y las de HFC-23 como subproducto de la producción del HCFC-22.

La categoría de la industria química [2B] se desglosa en diez subcategorías: [2B1] Producción de amoníaco; [2B2] Producción de ácido nítrico; [2B3] Producción de ácido adípico; [2B4] Producción de caprolactama, glioxil y ácido glioxílico; [2B5] Producción de carburo; [2B6] Producción de dióxido de titanio; [2B7] Producción de ceniza de sosa; [2B8] Producción petroquímica y negro de humo; [2B9] Producción fluoroquímica, y [2B10] Otros.

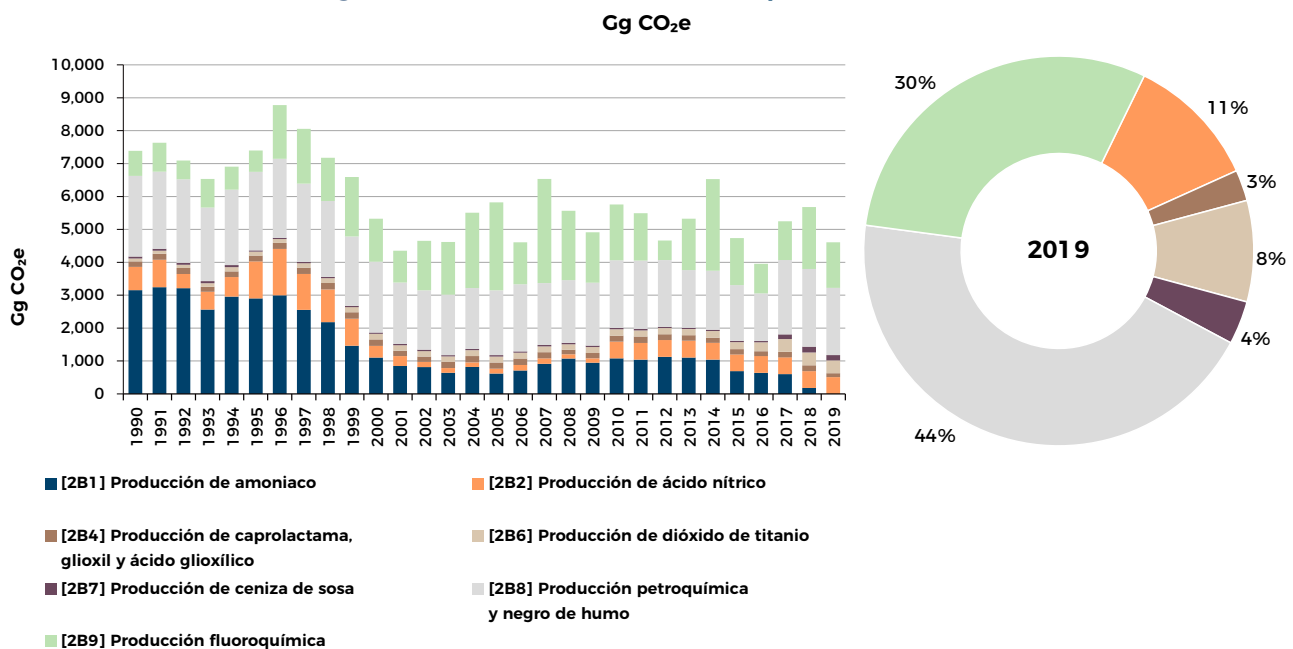
Las subcategorías [2B3], [2B5] y [2B10] no ocurren en el país y se reportan como NO.

Con base en el análisis de categorías clave, se consideran clave las subcategorías [2B1] Producción de amoníaco y [2B8] Producción petroquímica y negro de humo.

Durante 2019 la producción de la industria química fue menor que en años anteriores, generando emisiones 18% por debajo de las producidas en 2018. Durante 2019 no hubo producción de amoníaco [2B1] en el país; sin embargo, en 2018 contabilizó 180.98 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que supone una reducción de 40% respecto al año 1990. La producción de ácido nítrico [2B2] contabilizó 508 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que representó una disminución de 28% respecto al año 1990. La producción de caprolactama glioxil y ácido glioxílico [2B4] en 2019 contabilizó 118.57 Gg CO<sub>2</sub>e, 30% menos que en 1990, aunque en 2018 fue 7% mayor, pues contabilizó 180.80 Gg CO<sub>2</sub>e. La producción de dióxido de titanio [2B6] alcanzó 386.97 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: un aumento de 341% respecto al año 1990. Las emisiones por producción de ceniza de sosa [2B7], con 166.01 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, fueron 173% mayores que las de 1990. La producción petroquímica y negro de humo [2B8] produjo 2,042 Gg CO<sub>2</sub>e durante 2019: 17% menos que en 1990. Finalmente, la producción fluoroquímica [2B9] contabilizó 1,388 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 82% más que en 1990.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 28**, distinguiéndose las subcategorías [2B8] y [2B9] como las de mayor contribución en el año 2019 con 44% y 30% de las emisiones totales de la categoría, respectivamente.

**Figura 28: Emisiones de la industria química [2B]**



La tendencia histórica de esta subcategoría está marcada por los volúmenes de producción de las industrias químicas. De 1990 a 1999 la producción de amoníaco marcó una importante contribución en las emisiones de este sector, misma que ha ido disminuyendo en años recientes. En 2016 hubo una reducción en la producción fluoroquímica, en la petroquímica, caprolactama y amoníaco, lo que resultó en los valores históricos más bajos de emisiones dentro del periodo inventariado.

### 4.3.2 Metodología

La metodología de cálculo es la de las *Directrices* (IPCC, 2006c). El enfoque metodológico empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de amoníaco [2B1] fue un Tier 2, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.1, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c) al emplearse un FE ajustado a las condiciones de la producción de amoníaco en el país.

Se empleó un nivel 1 (Tier 1) para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O asociadas a la producción de ácido nítrico [2B2], siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.2, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c). El nivel metodológico empleado en la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de la producción de caprolactama [2B4] corresponden a un Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.4, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

El nivel metodológico empleado en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de dióxido de titanio [2B6] corresponde a un Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.6, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* 2006.

Para la producción de ceniza de sosa [2B7] se empleó un nivel metodológico Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.7, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

El nivel metodológico empleado en la estimación de las emisiones procedentes de la producción petroquímica y negro de humo [2B8] fue un Tier 1, según los árboles de decisión de la Figura 3.8 y 3.9, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

Para las emisiones procedentes de la producción fluoroquímica [2B9] se empleó un método de nivel 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 3.16, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

#### 4.3.2.1 Datos de actividad

El DA empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de amoníaco se basó en la cantidad de amoníaco producida en el país, información proveniente del Sistema de Información Energética de la Secretaría de Energía (SENER, 2021), validada por la Asociación Nacional de la Industria Química en México (ANIQ).

Para la producción de ácido nítrico, el DA fue proporcionado directamente por la ANIQ (ANIQ, 2021b).

Los datos de producción de caprolactama son los empleados como DA en la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O de la subcategoría [2B4]. Estos DA proceden del *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana* (ANIQ, 2019).

Los datos sobre producción de dióxido de titanio para determinar las emisiones de la subcategoría [2B6] se tomaron del *Anuario Estadístico...* (ANIQ, 2021a).

La estimación de las emisiones de la subcategoría [2B7] se realizaron a partir de los datos de producción de ceniza de sosa, proporcionados, para el año 2019, por las tres empresas productoras del país vía ANIQ. En los años anteriores, al no contar con la información de producción de este compuesto, se han realizado estimaciones de producción en función de la capacidad instalada.

Los DA utilizados para la estimación de las emisiones de la subcategoría [2B8] corresponden a los datos de producción por tipo de combustible, obtenidos del Sistema de Información Energética (SENER, 2021) y del *Anuario Estadístico...* (ANIQ, 2021a).

El DA empleado en la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2B9] corresponde a los datos de producción de HCFC-22, proporcionados por el único fabricante de este compuesto en el país.

La **Tabla 27** muestra los DA empleados en cada una de las subcategorías de la industria química para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 27: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria química [2B]**

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
[2B1] Producción de amoníaco (kton)	2,632	2,422	923	514	899	575	500	151	-	-100%
[2B2] Producción de ácido nítrico (kton)	295	471	148	63	213	213	213	213	213	-28%
[2B4] Producción de caprolactama (kton)	71	75	83	78	77	68	71	76	50	-30%
[2B6] Producción de dióxido de titanio (kton)	66	87	127	137	146	155	289	289	289	341%
[2B7] Producción de ceniza de sosa (kton)	440	290	290	290	290	290	-	9	6	-99%
[2B8] Producción de negro de humo (kton)	125	96	114	116	122	100	105	137	120	-4%
[2B8] Producción de metanol (kton)	210	202	189	81	16	161	116	148	141	-33%
[2B8] Producción de etileno (kton)	1,370	1,359	1,158	1,085	1,126	917	1,509	1,516	1,299	-5%
[2B8] Producción de óxido de etileno (kton)	265	306	307	321	372	338	218	218	189	-29%
[2B8] Producción de dicloruro de etileno (kton)	394	330	302	260	306	-	-	-	-	-100%
[2B8] Producción de monómero cloruro de vinilo (kton)	231	189	184	159	187	162	-	-	-	-100%
[2B8] Producción de acrilonitrilo (kton)	122	164	124	63	55	47	-	-	-	-100%
[2B9] Producción de HCFC-22 (ton)	2,514	2,141	4,311	8,776	12,619	4,729	5,965	7,718	5,680	126%

#### 4.3.2.2 Factores de emisión

Para la estimación de las emisiones de la subcategoría [2B1] se empleó un FE específico del país, calculado a partir de un balance de materiales y proporcionado por el centro de trabajo de PEMEX de 1,199 kg CO<sub>2</sub>/t NH<sub>3</sub>. Para mayor detalle ver **Anexo 3: Descripciones metodológicas adicionales** (pág. 179).

El FE empleado en la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O asociadas a la subcategoría [2B2] corresponde al factor por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) para las plantas a alta presión (tabla 3.3, cap. 3, vol. 3), sugerido por la ANIQ.

Se empleó un FE por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tabla 3.5, cap. 3, vol. 3) para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O correspondientes a la producción de caprolactama [2B4].

El FE empleado para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la subcategoría [2B6] corresponde al valor por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tabla 3.9, cap. 3, vol. 3), considerando como producto el rutilo de dióxido de titanio (vía del cloruro).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de ceniza de sosa [2B7] se estimaron mediante el uso del FE por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (ecuación 3.14 por ceniza de sosa producida en ton CO<sub>2</sub>/ton., cap. 3, vol. 3).

Los FE empleados para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> asociadas a las actividades de la subcategoría [2B8] corresponden a los datos por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (cuadros 3.12 y 3.14, cap. 3, vol. 3). Para el caso del etileno se empleó un factor de ajuste geográfico de 110% (tabla 3.15, cap. 3, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c)). Para el dicloruro de etileno (proceso equilibrado) y para el monómero de cloruro de etileno (proceso de cloración directa) se emplearon los factores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (cuadro 3.17, cap. 3, vol. 3). Por su parte, para la producción de óxido de etileno se empleó el FE de las *Directrices* (IPCC, 2006c) por proceso por aire con selectividad del catalizador (cuadro 3.20, cap. 3, vol. 3) de acuerdo a un juicio de experto de ANIQ con base en que dicho factor se ajusta mejor a las condiciones nacionales (ver **Tabla 28**).

Para la subcategoría [2B9] se emplearon datos por defecto del FE de HFC-23 de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (ecuación 3.31, cap. 3, vol. 3). Además, en el periodo de 2002 a 2012 se empleó un parámetro de estimación a partir de datos a nivel de planta de la empresa productora, específicos por año para producción, con valores en un rango de 2.32-2.59%, y para destrucción (UNFCCC, 2011).

**Tabla 28: Factores de emisión específicos del país utilizados para la estimación de las emisiones de la categoría [2B]**

Subcategoría	FE CO <sub>2</sub>
[2B1] Producción de amoníaco	1.199 tCO <sub>2</sub> /tNH <sub>3</sub> producido
[2B8] Producción de óxido de etileno	0.5 tCO <sub>2</sub> /tC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O

### 4.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (vol. 3, cap. 3).

La incertidumbre de los DA se estableció en 5% para la producción de amoníaco, dióxido de titanio, ceniza de sosa, metanol, etileno, dicloruro de etileno, monómero cloruro de vinilo, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo, y de 2% para la producción de ácido nítrico, caprolactama y HCFC-22.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 4.3.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes básicas de información de las que se extrajo información están sometidas a controles de revisión específicos propios. Dentro de la subcategoría [2B] se revisaron tanto los DA como las especificaciones metodológicas con la ANIQ.

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados.

### 4.3.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de la serie histórica de la subcategoría [2B1] de producción de amoníaco empleando el FE específico del país, proporcionado por PEMEX.
- Actualización de la producción de la serie temporal.

**Tabla 29: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	8,890	5,898	8,439	5,122	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	7,388	5,323	5,759	4,737	3,953	5,245	5,678	4,609
Diferencia (%)	-16.9%	-9.8%	-31.8%	-7.5%	NA	NA	NA	NA

### 4.3.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

- Identificación de información que permita entender mejor las razones para las fluctuaciones observadas en la categoría [2B].
- Mejoramiento de los DA y serie histórica de la subcategoría [2B7].

## 4.4 Industria de los metales [2C]

### 4.4.1 Descripción de la categoría

La categoría [2C] Industria de los metales se desglosa en siete subcategorías: [2C1] Producción de hierro y acero; [2C2] Producción de ferroaleaciones; [2C3] Producción de aluminio; [2C4] Producción de magnesio; [2C5] Producción de plomo; [2C6] Producción de zinc, y [2C7] Otros.

La fabricación de metales en el país incluye hierro y acero, ferroaleaciones, aluminio, plomo, y zinc. Las subcategorías [2C4] y [2C7] no ocurren en el país, por lo que se reportan como NO. Por otra parte, la subcategoría [2C6] es una actividad que ocurre en el país pero, debido a que toda la producción se realiza por vía electrolítica, cuyo proceso no tiene emisiones asociadas, las emisiones de esta subcategoría se reportan como NA.

A partir del análisis de categorías clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169), se considera clave la subcategoría [2C1] Producción de hierro y acero.

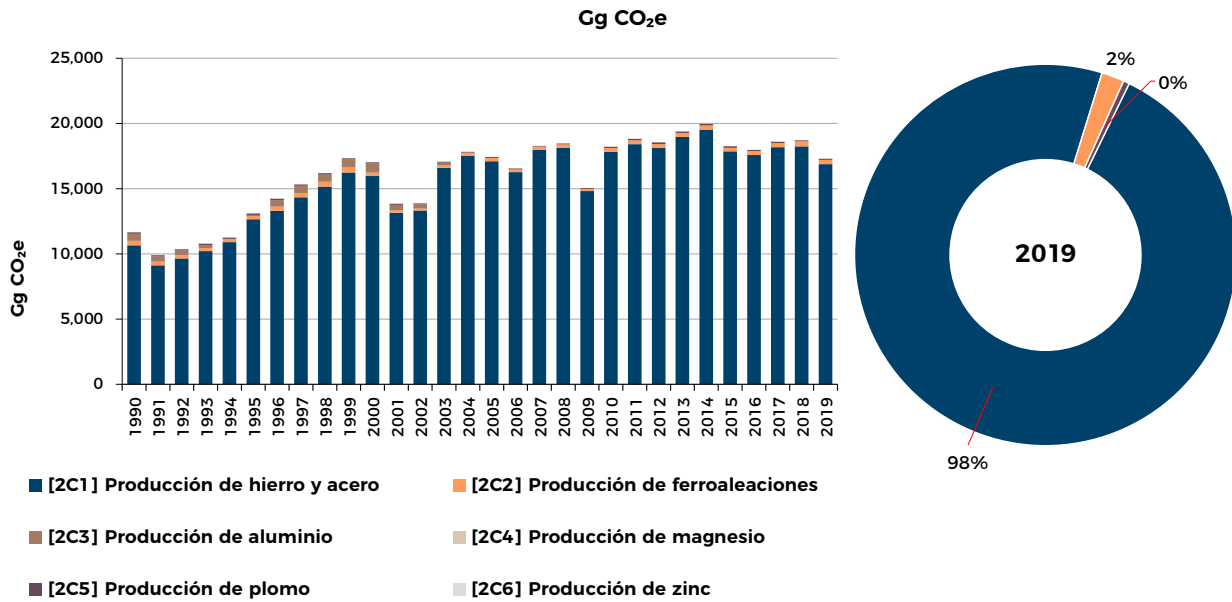
En 2019, la producción de hierro y acero [2C1] contabilizó 16,888 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 58% más que en 1990, en tanto la producción de ferroaleaciones [2C2] alcanzó 333 Gg CO<sub>2</sub>e: 2% menos que en 1990.

La producción de aluminio [2C3] se suspendió en el país desde 2003 y a partir de entonces se reporta como NO.

La producción de plomo [2C5] contabilizó 88 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 16% menos que en 1990.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 29**, distinguiéndose la categoría [2C1] como la de mayor contribución en todos los años del periodo inventariado.

Figura 29: Emisiones de la industria de los metales [2C]



La tendencia de esta categoría está marcada por el nivel de producción de la industria del hierro y el acero, con un comportamiento ascendente de 1990 a 1999 y otros más estables en los últimos años; destacan los años 2001, 2002 y 2009 por mostrar bajos niveles de producción.

#### 4.4.2 Metodología

La metodología de cálculo usada está en línea con las *Directrices* (IPCC, 2006c), así como con el *Refinamiento* (IPCC, 2019b) para algunas actividades. El enfoque metodológico empleado en la estimación de las emisiones procedentes de la producción de hierro y acero [2C1] es un Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 4.6, cap. 4, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

El enfoque metodológico empleado para la estimación de las emisiones procedentes de la producción de ferroaleaciones [2C2] es un Tier 1, a partir de los árboles de decisión de la Figura 4.9, cap. 4, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

En el caso de las emisiones de la producción de aluminio [2C3] se empleó un enfoque metodológico Tier 1, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 4.12, cap. 4, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c). Y en el de la producción de plomo [2C5] se aplicó un Tier 1 siguiendo los árboles de decisión de la Figura 4.15, cap. 4, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

La producción de zinc [2C6], al realizarse en su totalidad por medio de un proceso electrolítico, y según se establece en las *Directrices* 2006, no tiene emisiones no energéticas asociadas y por tanto no se reportan en el sector PIUP sino en el sector Energía.

##### 4.4.2.1 Datos de actividad

El DA empleado en la estimación de las emisiones de la producción de hierro y acero (2C1) corresponde a la cantidad de acero y discrimina según el sistema o tecnología de producción empleado y la cantidad de hierro, y entre producción de arrabio y hierro esponja, producidas para cada año del periodo inventariado. Estos DA se han obtenido de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO, 2021) y del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (SGM, 2021). Sí bien se tiene el registro de producción de arrabio, no se consideran estas emisiones debido a que el total de arrabio está incluido dentro del proceso de producción de acero en convertidor al oxígeno (BoF, *Basic Oxygen Furnace*), evitando así incurrir en doble conteo de emisiones.



El DA empleado en la estimación de las emisiones de la subcategoría [2C2] se basa en los datos de producción por tipo de ferroaleación. Estos datos provienen del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (scm, 2021).

El DA empleado en la estimación de las emisiones de la subcategoría [2C3] se basó en datos de producción de aluminio hasta el año 2003, año en que se dejó de producir aluminio primario en México, por lo que las emisiones del periodo 2004-2019 se reportan bajo la etiqueta no.

En el caso de las emisiones de producción de plomo [2C5], el DA proviene de cifras de producción minero-metalúrgica de plomo, obtenidos del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (scm, 2021). No fue posible estimar la cantidad de plomo secundario que se produce en el país, debido a la falta de información al respecto.

La **Tabla 30** muestra los datos de los DA empleadas en cada una de las subcategorías de la industria de los metales para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 30: Datos de actividad para las distintas subcategorías de la industria de los metales [2C]**

ton

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
[2C1] Producción de acero en horno eléctrico EAF	4,491,000	7,606,000	10,394,943	11,777,758	11,714,641	13,239,739	15,319,000	14,224,000	217%
[2C1] Producción de acero en convertidor al oxígeno BOF	3,530,000	4,541,000	5,236,369	4,504,541	5,155,034	4,978,006	4,885,000	4,242,000	20%
[2C1] Producción de acero en horno de solera OHF	713,000	0	0	0	0	0	0	0	-100%
[2C1] Producción de <i>pellets</i>	5,327,890	5,625,110	6,795,406	14,231,552	14,158,458	13,828,988	12,094,000	11,859,000	123%
[2C1] Producción de hierro esponja	2,525,000	3,700,000	5,588,852	5,973,217	5,368,078	5,498,900	5,972,000	5,974,000	137%
[2C1] Producción de sinter	0	0	0	1,304,071	2,020,878	1,641,512	1,752,000	1,588,000	na
[2C2] Producción de silicomanganeso	186,329	108,903	90,501	91,826	81,019	55,919	125,972	83,640	-55%
[2C2] Producción de ferromanganeso	70,685	76,948	107,922	104,479	134,471	139,363	164,403	160,275	127%
[2C3] Producción de aluminio	65,146	10,413	84,614	0	0	0	0	0	-100%
[2C5] Producción de plomo	177,279	179,741	160,607	121,669	158,206	212,964	131,759	149,054	-16%

La producción de acero en horno de solera (OHF, *Open Hearth Furnace*) no se lleva a cabo en el país desde 1991, en tanto la realizada en horno de arco eléctrico (EAF, *Electric Arc Furnace*) es la que mayor crecimiento ha tenido en la serie histórica y la de convertidor al oxígeno (BOF) se ha mantenido constante. En la misma subcategoría [2C1], la producción de *pellets* y de hierro esponja se han duplicado desde 1990.

Para el caso de las ferroaleaciones, el ferromanganeso ha tenido un aumento considerable en la serie histórica (aumento de 127%), mientras que la producción de silicomanganeso ha tenido un comportamiento contrario con una disminución de 55%. La producción de aluminio en el país se suspendió en 2003, y la de plomo no ha tenido variaciones significativas a lo largo del periodo inventariado.



#### 4.4.2.2 Factores de emisión

Los FE empleados para estimar las emisiones de la subcategoría [2C1] se detallan a continuación:

- ⊙ para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de hierro esponja y la producción de acero OHF se emplean valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tabla 4.1, cap. 4, vol. 3);
- ⊙ para la estimación de las emisiones de la producción de pellets, de acero BOF, y de sinter, se emplean los valores por defecto del *Refinamiento* (IPCC, 2019b) (tabla 4.1A y 4.1B, cap. 4, vol. 3);
- ⊙ para la estimación de las emisiones de la producción de acero EAF, el FE fue proporcionado por CANACERO (ver Tabla 30);
- ⊙ para la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la producción de sinter se emplean valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tabla 4.2, cap. 4, vol. 3).

Los FE empleados en la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2C2] para el silicomanganeso y el ferromanganeso corresponden a los valores por omisión de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tabla 4.5, cap. 4, vol. 3).

Los FE empleados en la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2C4] corresponden a los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (tablas 4.10 y 4.15, cap. 4, vol. 3).

El FE empleado en la estimación de las emisiones procedentes de la producción de plomo corresponde a los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c), considerando la producción de plomo mediante hornos Imperial Smelting (ISF) bajo la consideración técnica de la Cámara Minera de México (CAMIMEX) de que en México únicamente se produce plomo bajo este tipo de proceso (tabla 4.21, cap. 4, vol. 3).

**Tabla 31: Factores de emisión específicos del país utilizados para la estimación de las emisiones de la categoría [2C]**

Subcategoría	FE CO <sub>2</sub>
[2C1] Producción de acero EAF	0.24 t CO <sub>2</sub> /t producida

#### 4.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (vol. 3, cap. 4).

La incertidumbre de los DA para la producción de hierro y acero, plomo y aluminio se estableció en 10% y para ferroaleaciones en 5%.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

#### 4.4.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes básicas de información para esta categoría están sometidas a controles de revisión específicos propios. Dentro de la subcategoría [2C1] se revisaron tanto los DA como las especificaciones metodológicas con la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y Acero (CANACERO). En el caso de la subcategoría [2C5] se realizó un ejercicio similar con la Cámara Minera de México (CAMIMEX). La subcategoría [2C2] sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados.

#### 4.4.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Ajuste del FE de CO<sub>2</sub> para la producción de plomo por ISF.
- ⊙ Actualización del FE de CO<sub>2</sub> para producción de hierro por EAF.
- ⊙ Ajustes en la serie histórica de datos de producción de plomo, hierro y acero.
- ⊙ Ajuste de notación de emisiones derivadas de la producción de zinc (uso de etiqueta NO).

**Tabla 32: Tabla 32. Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO <sub>2</sub> e								
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	10,202	14,313	14,428	14,697	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	11,649	17,039	18,220	18,261	17,983	18,609	18,716	17,309
Diferencia (%)	14.2%	19.0%	26.3%	24.3%	NA	NA	NA	NA

#### 4.4.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- ⊙ Mejora en los DA para la estimación de la producción de hierro y acero.
- ⊙ Estimar y reportar las emisiones procedentes de la producción de plomo secundario que se produce en el país.
- ⊙ Aplicar un QC específico para la subcategoría [2C2].

### 4.5 Uso de productos no energéticos de combustibles y disolventes [2D]

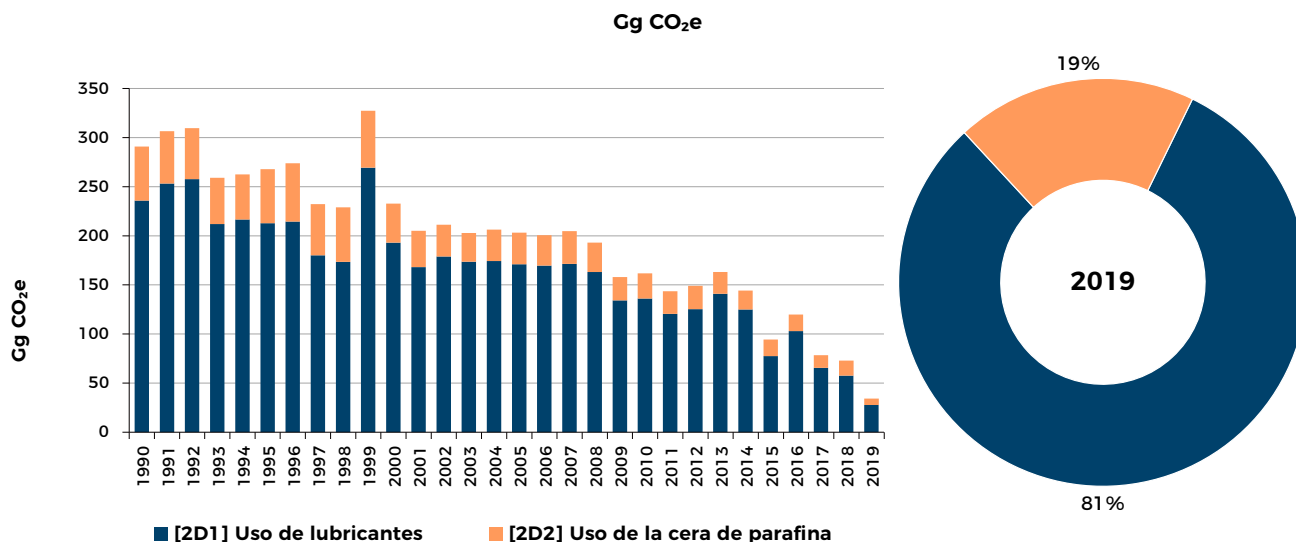
#### 4.5.1 Descripción de la categoría

La categoría [2D] Uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes, se desglosa en cuatro subcategorías: [2D1] Uso de lubricantes, [2D2] Uso de la cera de parafina, [2D3] Uso de disolventes y [2D4] Otros.

Los productos considerados en esta fuente de emisión son aquellos combustibles fósiles con fines primarios, como son los lubricantes, las ceras de parafina, el alquitrán y/o asfalto y los disolventes. El uso de estos productos genera emisiones de CO<sub>2</sub>. Cabe mencionar que no se cuenta con información suficiente para estimar el uso de disolventes en el país por lo que los únicos productos energéticos estimados en esta categoría son los lubricantes y las ceras parafinas.

El uso de lubricantes [2D1] contabilizó 27.6 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que representa una reducción de 88% respecto al año 1990. El uso de ceras de parafina [2D2] en 2019 contabilizó 6.5 Gg CO<sub>2</sub>e: como en el caso anterior, 88% menos que en 1990.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 30**, distinguiéndose [2D1] como la categoría de mayor contribución para todos los años del periodo inventariado.

**Figura 30: Emisiones del uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes [2D]**

## 4.5.2 Metodología

La metodología de cálculo está en línea con las *Directrices* (ipcc, 2006c), ecuación 5.2, cap. 5, vol. 3. El enfoque metodológico empleado es un Tier 1, según los árboles de decisión de las figuras 5.2 y 5.3, cap. 5, vol. 3 de las *Directrices* (ipcc, 2006c).

### 4.5.2.1 Datos de actividad

Los DA empleados en la estimación de las emisiones asociadas a cada subcategoría se basan en los datos de producción de lubricantes y ceras en el país, procedentes del Sistema de Información Energética (SENER, 2021). La **Tabla 33** muestra los DA empleados en cada una de las subcategorías para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 33: Datos de actividad para las distintas subcategorías de uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes [2D]**

Miles de barriles al día

Subcategoría	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
[2D1] Producción de lubricantes	7.336	6.662	5.981	5.169	4.268	2.289	1.890	1.883	0.905	-87.7%
[2D2] Producción de parafinas	1.797	1.793	1.278	1.053	0.825	0.545	0.421	0.498	0.213	-88.2%

La producción de lubricantes y parafinas ha tenido un comportamiento descendiente a lo largo de la serie histórica, llegando a valores 88% menores que los de 1990.

### 4.5.2.2 Factores de emisión

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes se utilizó el valor de oxidación de 0,2, según las *Directrices* (ipcc, 2006c) (Cuadro 5.2, cap. 5, vol. 3), y un FE de 20 kg C/GJ procedente de las *Directrices* (ipcc, 2006c) (tabla 1.3, cap. 1, vol. 2).

### 4.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (vol. 3, cap. 5), con un valor de 50% para el uso de lubricantes y de 100% para uso de cera parafina.

La incertidumbre de los DA se estimó en 5%.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 4.5.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 4.5.5 Recálculos específicos de la categoría

No hubo recálculos en esta categoría.

### 4.5.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

- ⊙ -Revisión de posibles fuentes de información para la obtención de DA y la estimación de la subcategoría [2D3].

## 4.6 Industria electrónica [2E]

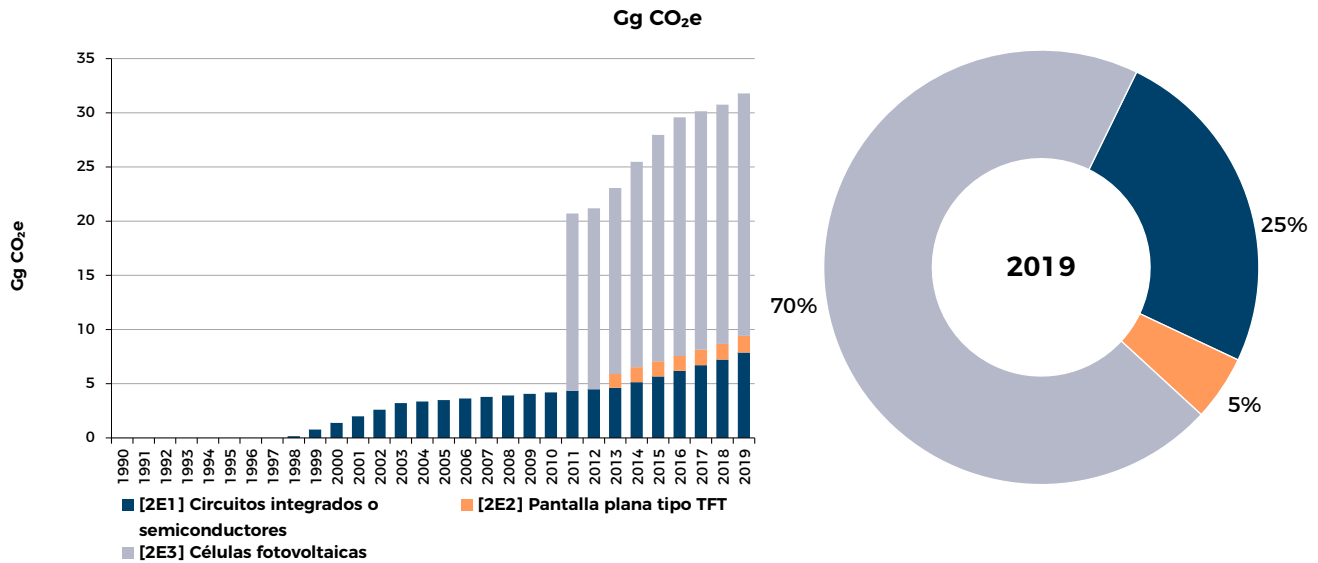
### 4.6.1 Descripción de la categoría

La categoría de [2E] Industria electrónica se desglosa en cinco subcategorías: [2E1] Circuitos integrados o semiconductores; [2E2] Pantalla plana tipo TFT; [2E3] Células fotovoltaicas; [2E4] Fluido de transferencia térmica, y [2E5] Otros. De éstas sólo se tiene información para [2E1], [2E2] y [2E3], por lo que la categoría [2E4] se reporta como NE. Por otro lado, tampoco se cuenta con información para esta categoría para el periodo 1990-1998, por lo que las emisiones se reportan como NE.

La industria electrónica emite compuestos fluorados ( $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_6$ ) y óxido nitroso. Los subsectores que se consideran en esta categoría incluyen la manufactura de semiconductores, sistemas microelectrónicos, sistemas fotovoltaicos y pantallas (de transistores de película fina, TFT, y diodos orgánicos emisores de luz, OLED).

La subcategoría de circuitos integrados o semiconductores [2E1] contabilizó 7.88 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$  en 2019, lo que representó un aumento de 924% respecto al año 1999 (primer año con datos disponibles). La subcategoría de pantallas planas tipo TFT [2E2] contabilizó 1.54 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$  en 2019: 21% más que en 2013 (año de inicio de esta actividad). Y la subcategoría de células fotovoltaicas [2E3] alcanzó 22.37 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$  en 2019: 37% más que en 2011, que fue el año en el que empezó la producción de células fotovoltaicas en el país.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 31**. La subcategoría [2E3] fue la de mayor contribución desde el año 2011, año en que inició la actividad, hasta 2019.

**Figura 31: Emisiones de la industria electrónica [2E]**

La industria electrónica presenta un comportamiento ascendente muy notorio en la producción de circuitos integrados o semiconductores (924% mayor que los valores de 1999), y un incremento más moderado para la producción de pantallas planas y células fotovoltaicas, con incrementos desde el inicio de sus operaciones del 21% y 37%, respectivamente.

## 4.6.2 Metodología

La metodología de cálculo está en línea con las *Directrices* (IPCC, 2006c) y con el *Refinamiento* (IPCC, 2019b). El enfoque metodológico empleado fue Tier 1, según los árboles de decisión de las figuras 6.1 y 6.2, cap. 6, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

### 4.6.2.1 Datos de actividad

Los DA considerados para la estimación de las emisiones procedentes de las diferentes subcategorías de la industria electrónica corresponden, para el caso de producción de semiconductores [2E1], al número de unidades de producto manufacturado presentados en los Censos Económicos (INEGI, 2021), que para la serie histórica corresponden a los años 1998, 2003, 2013 y 2018. Para estimar el número de unidades de semiconductores producidos en los demás años del periodo inventariado, se realizó una interpolación entre los datos de los años disponibles, asumiendo un comportamiento lineal.

En el caso de la producción de pantallas [2E2] también se utilizaron los datos de producción por unidad establecidos en los Censos Económicos y se ajustó la serie histórica para los datos faltantes en función del comportamiento del PIB del rubro “Fabricación de computadoras y equipo periférico”, para el caso de las computadoras, y del rubro “Fabricación de equipo de audio y video” para el caso de los televisores.

Para los sistemas fotovoltaicos [2E3] se utilizó la capacidad instalada de producción del país reportada para el año 2014 procedente del estudio “Insumos energía renovable fotovoltaica en México y su proyección a 2020”.<sup>8</sup> Para los otros años del periodo inventariado, se optó por ajustar el valor de 2014 en función del comportamiento del PIB bajo el rubro “Fabricación de equipo de generación y distribución de energía eléctrica”, con un factor de capacidad de 0.9.

<sup>8</sup> [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58849/INSUMOS\\_DE\\_ENERG\\_A\\_RENOVABLE\\_FOTOVOLTAICA\\_Y\\_SU\\_PROYECCION\\_AL\\_2020\\_SEC.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/58849/INSUMOS_DE_ENERG_A_RENOVABLE_FOTOVOLTAICA_Y_SU_PROYECCION_AL_2020_SEC.pdf)

Los datos de producción y los valores de superficie por tipo de producto fueron consensuados con la industria electrónica y revisados con integrantes de la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI).

La **Tabla 34** muestra los DA empleadas en cada una de las subcategorías de la industria electrónica para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 34: Datos de actividad para las subcategorías de la industria electrónica [2E]**

Miles de m<sup>2</sup>

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019
[2E1] Semiconductores	NE	NE	3.22	8.16	9.81	13.22	15.65	16.86	18.41
[2E2] Células fotovoltaicas	NE	NE	NE	NE	NE	220.29	226.41	227.85	242.66
[2E3] Pantallas TFT	NE	NE	NE	NE	NE	11,815.40	12,435.08	12,481.53	12,646.72

#### 4.6.2.2 Factores de emisión

Los FE utilizados se obtuvieron de los valores por defecto del *Refinamiento* (IPCC, 2019b) (tabla 6.6, cap. 6, vol. 3).

#### 4.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (vol. 3, cap. 6). Se utilizó un valor de 200% para los FE y uno de 10% para la incertidumbre de los DA.

#### 4.6.4 QA/QC de la categoría y verificación

Las fuentes básicas de información para esta categoría están sometidas a controles de revisión específicos propios. Se revisaron tanto los DA como las especificaciones metodológicas con la Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI).

#### 4.6.5 Recálculos específicos de la categoría

Al ser la primera vez que se reporta esta categoría, no cuenta con recálculos.

#### 4.6.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- ⊙ Mejora de la completitud de la serie temporal mediante estimación de los DA para el periodo 1990-1998.
- ⊙ Revisión de los DA disponibles para la estimación de la subcategoría [2E4].
- ⊙ Revisión de la serie temporal de producción de los distintos tipos de compuestos para obtener datos más precisos.

## 4.7 Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F]

### 4.7.1 Descripción de la categoría

Los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) han sido usados como sustancias alternativas a aquellas que agotan la capa de ozono (SAO). Los HFC y PFC son gases que se usan en la refrigeración y aires acondicionados, en extintores para la protección contra incendios, en aerosoles, en limpieza con disolventes, en agentes espumantes y otras aplicaciones. Están contenidos en equipos y productos, por lo que se estudian las fugas a lo largo de su vida útil.

La categoría [2F] Uso de productos sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono, se desglosa en seis subcategorías: [2F1] Refrigeración y aire acondicionado; [2F2] Agentes espumantes; [2F3] Protección contra incendios; [2F4] Aerosoles; [2F5] Disolventes, y [2F6] Otras aplicaciones.

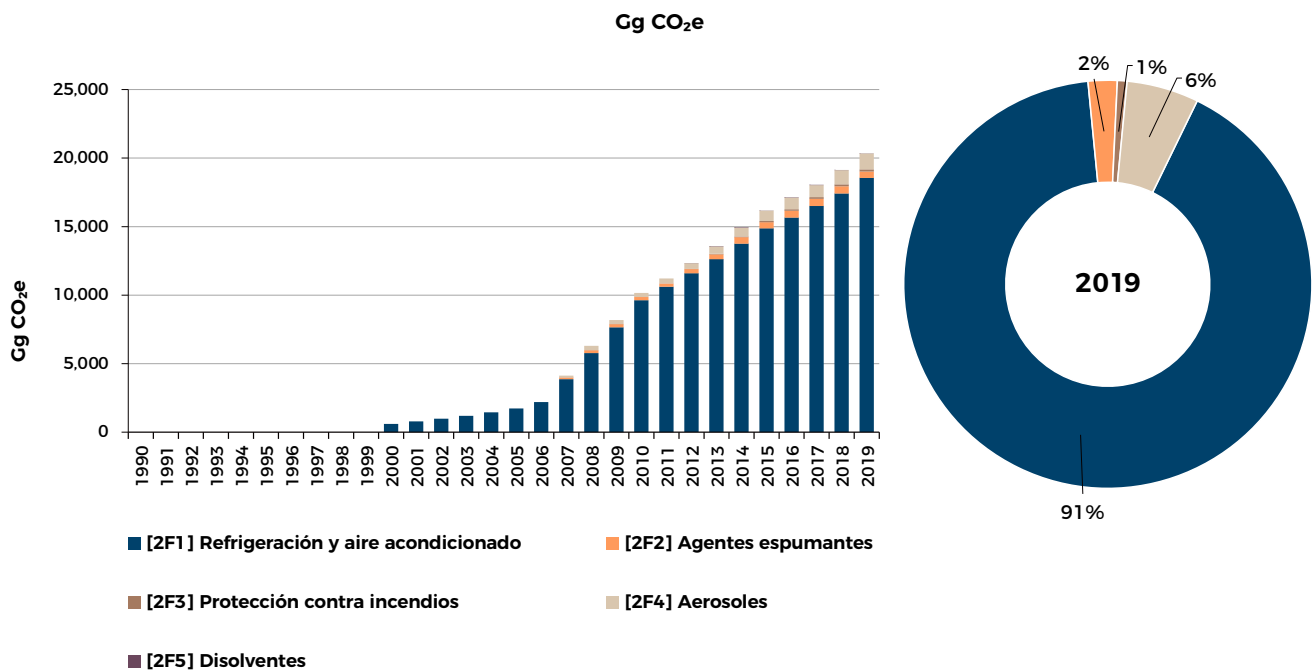
Para la subcategoría [2F6] no se estiman las emisiones en el país debido a la falta de DA, por lo que se reporta como NE. Tampoco se cuenta con información para toda la categoría [2F] para el periodo 1990-1998, por lo que las emisiones se reportan como NE.

En base al análisis de categorías clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169), se consideran claves las subcategorías [2F1] Refrigeración y aire acondicionado y [2F4] Aerosoles.

Refrigeración y aire acondicionado [2F1] contabilizó 18,556 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 2,997% más que en el año 2000. Los agentes espumantes [2F2] alcanzaron 468 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, cantidad 292% mayor que la de 2007, que fue el año de inicio de producción de [2F2] y [2F3]; esta última contabilizó, en 2019, 155.57 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad **255,663%** mayor que la de 2007. Los aerosoles [2F4] alcanzaron 1,160 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, lo que equivale a un aumento de 798% respecto a 2007. Y los disolventes [2F5] contabilizaron 3.10 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019: 76% menos que en 2012, año de inicio de esta actividad.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 32**, distinguiéndose la categoría [2F1] como la de mayor contribución a lo largo del periodo inventariado.

**Figura 32: Emisiones del uso de productos sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono [2F]**





El comportamiento de esta categoría está marcado, en términos absolutos de emisiones, por el uso de productos sustitutos de sustancias que agotan la capa de ozono, en refrigeración y aire acondicionado. [2F3] Protección contra incendios es la subcategoría que más ha crecido porcentualmente a lo largo del periodo inventariado, mientras que el uso de disolventes ha disminuido en los últimos años.

## 4.7.2 Metodología

La categoría [2F] fue estimada por la Unidad del Protocolo de Montreal (UPM) de la SEMARNAT. La metodología de cálculo está en línea con las *Directrices* (IPCC, 2006c). El enfoque metodológico empleado en la estimación de las emisiones de [2F1] fue un Tier 2 con enfoque A, en línea con las recomendaciones de aplicación de niveles metodológicos para categorías clave siguiendo los árboles de decisión de la Figura 7.6, cap. 7, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

El enfoque metodológico empleado en la estimación de [2F2] corresponde a un nivel Tier 1A, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 7.4, cap. 7, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c). El nivel metodológico empleado en la estimación de las emisiones de [2F3] es un Tier 1A, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 7.9, cap. 7, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

Para la estimación de las emisiones de HFC del uso de aerosoles [2F4] se empleó un nivel metodológico Tier 1A, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 7.3, cap. 7, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c). La estimación de las emisiones del uso de disolventes [2F5] se realizó mediante la aplicación de un nivel metodológico Tier 1A, siguiendo los árboles de decisión de la Figura 7.2, cap. 7, vol. 3 de las *Directrices* (IPCC, 2006c).

### 4.7.2.1 Datos de actividad

Los DA considerados para la estimación de las emisiones de HFC proceden del proyecto SPODS (del inglés, Sustainable and Climate-friendly Phase-out of Ozone-Depleting Substances) desarrollado por la GIZ para la SEMARNAT, a través de la Unidad del Protocolo de Montreal (SEMARNAT/UPM, 2020a, 2020b), donde se actualizaron los datos al año 2019. Los valores se encuentran en: **Anexo 3. Experto 11: [2F1] Equipos de aires acondicionados y refrigeración, factores de emisión** (pág. 190).

Los DA considerados para la estimación de las emisiones procedentes de la subcategoría [2F1] se basan en el número de equipos existentes y la carga de estos con estas sustancias químicas. Los datos se obtuvieron del estudio del Programa Proklima (GIZ, 2014) para el periodo de 2000 a 2012, y para el periodo 2013-2019 provienen del estudio que abarcó la actualización de la cantidad de equipos utilizados en los sectores de la refrigeración y aire acondicionado y de la determinación del consumo de éstos (INEGI, 2018).

Los DA considerados para la estimación de las emisiones de HFC del uso de agentes espumantes [2F2] procede de datos específicos del país (SEMARNAT/UPM, 2020a), donde se incluyen los consumos de HFC de agentes espumantes de celda cerrada, específicamente espumas rígidas (*rigid PU*) y poliuretano extruido (XPS). Por otro lado, no se dispone de datos de recuperación/destrucción de los gases para esta subcategoría.

El DA empleado para la estimación de las emisiones de HFC procedentes de los equipos de protección contra incendios [2F3] corresponde a los datos de consumo de HFC en equipos nuevos de uso doméstico. Se estima que los equipos contra incendios portátiles liberan su carga inicial durante un incendio real. Asimismo, no se dispone de datos de recuperación/destrucción de los gases en esta subcategoría.

Para la estimación de las emisiones del uso de aerosoles [2F4] se emplean datos de consumo de HFC en aerosoles de uso doméstico, uso industrial e inhaladores dosificados (MDI, del inglés, *Metered Dose Inhalers*).

Para la subcategoría [2F5] Uso de disolventes, el DA corresponde a la cantidad de HFC empleado en la producción de disolventes. El consumo de HFC para disolventes se obtuvo del "Inventario de sustancias agotadoras de la capa de ozono" (SEMARNAT/UPM, 2020a), en el que se observa que la sustancia principal es el HFC-43-10mee que fue introducida en el país en 2012.

La **Tabla 35** muestra los DA empleadas para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).



**Tabla 35: Datos de actividad para las distintas subcategorías de uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F]**

Toneladas en función del DA

Subcategorías y gases	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019
<b>[F1] Refrigeración y aire acondicionado</b>							
HFC-410A			4,386.73	7,402.76	11,146.89	11,455.92	12,420.58
HFC-134a	2,309.77	2,034.84	6,645.04	7,898.64	7,287.95	7,277.18	7,181.96
HFC-404A			869.60	748.53	1,279.01	1,828.21	1,717.19
HFC-407C			62.54	156.61	182.57	198.32	163.83
HFC-507A				136.55	266.40	365.41	426.74
<b>[2F2] Agentes espumantes</b>							
HFC-134 a	0.00	0.00	14.57	17.32	15.98	5.51	5.44
HFC-245fa	0.00	0.00	2,343.09	3,840.61	4,011.47	4,006.15	3,019.61
HFC-365mfc/227ea	0.00	0.00	0.00	83.12	396.00	414.29	474.93
HFC-134	0.00	0.00	0.00	30.84	0.00	0.00	0.00
<b>[2F3] Protección contra incendios</b>							
HFC-125	0.00	0.00	8.07	108.60	47.45	48.42	43.05
HFC-236fa	0.00	0.00	0.00	49.74	28.57	22.70	0.00
HFC-227ea	0.00	0.00	0.00	49.27	52.24	46.16	61.19
HFC-365mfc	0.00	0.00	0.00	7.92	0.00	19.44	115.20
<b>[2F4] Aerosoles</b>							
HFC-134a	0.00	0.00	244.99	291.21	268.69	578.74	571.17
HFC-152a	0.00	0.00	168.56	3,201.64	3,794.78	3,198.34	2,710.90
HFC-365mfc/227ea	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.64	5.02
<b>[2F5] Disolventes</b>							
HFC-43-10mee	0.00	0.00	0.00	9.57	15.56	0.00	3.76

El consumo de HFC en México, entre 2000 a 2019, aumentó 1,155% a una tasa media de crecimiento anual de 14%, al pasar de 2,310 a 28,977 toneladas. Esto fue resultado de la implementación del Plan Nacional de Eliminación de HCFC, el cual tiene como objetivo la sustitución de estos compuestos.

Por otra parte, la creciente demanda de equipos de refrigeración y aire acondicionado para el sector residencial ha marcado la tendencia al alza en el periodo inventariado (INEGI, 2018).

#### 4.7.2.2 Factores de emisión

Los FE y parámetros relevantes para la estimación de [2F1] provienen de SEMARNAT con base en juicio experto. Casi todos estos valores están relacionados con las prácticas comunes durante las actividades de manufactura y servicio.

Los FE empleados en la estimación de las emisiones procedentes del uso de agentes espumantes [2F2] corresponden a los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c) (Cuadros 7.5, 7.6 y 7.7, cap. 7, vol. 3). En el caso de las emisiones procedentes del uso de equipos de protección contra incendios [2F3], los FE empleados para estimarlas corresponden a valores por defecto reportados en las *Directrices* (IPCC, 2006c) (sección 7.6.2.2, cap. 7, vol. 3). Para los equipos portátiles se consideró un índice de 4% como FE por la cantidad de uso. En la estimación de emisiones procedentes de la subcategoría [2F4], los FE parten de los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c), considerando un valor del 50% de la carga inicial anual, lo que significa que la mitad de la carga química se pierde durante el primer año y el resto durante el segundo año. Finalmente, el FE empleado para la estimación de las emisiones procedentes del uso de disolventes [2F5] se obtuvo de los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006c): 50% de la carga inicial anual.

**Tabla 36: Factores de emisión y parámetros considerados en la estimación de las emisiones de la categoría [2F]**

Unidades en función del dato de actividad

Categoría	HFC	FE		Fuente
		EFFYL	EFAL	
[2F2] Agentes espumantes	HFC-134a	12.5%	0.5%	Fuente: IPCC (2006c), vol. 3, cap. 7, sección 7.4.2.2, p. 7.37
	HFC-245fa	10.0%	0.5%	
	HFC-365mfc/227ea	10.0%	0.5%	
	HFC-365mfc	10.0%	0.5%	
	HFC-134	25.0%	0.8%	
[2F3] Protección contra incendios	Assumed Equipment Lifetime (years)		15	Fuente: IPCC (2006c), vol. 3, cap. 7, sección 7.6.2.1, p. 7.62
	Emission Factor from installed base		4%	
	% of HFC destroyed at End-of-Life		0%	
[2F4] Aerosoles				
Aerosoles técnicos	HFC-134a		50%	Fuente: IPCC (2006c), vol. 3, cap. 7, sección 7.3.2.2, p. 7.29
	HFC-152a			
	HFC-365mfc/227ea			
Aerosoles domésticos	HFC-152a			
Aerosoles MDI	HFC-134a			
[2F5] Disolventes	HFC-43-10mee		50%	Fuente: IPCC (2006c), vol. 3, cap. 7, sección 7.2.2.2, p. 7.24

### 4.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006c), vol. 3, cap. 7.

La incertidumbre de los DA para la subcategoría de refrigeración y aire acondicionado se estimó en 18.2%; para equipos de protección contra incendios, 15%; aerosoles, 133%, y para disolventes y agentes espumantes, 50%

### 4.7.4 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica para esta categoría está sometida a controles de revisión específicos propios de la UPM.

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados. Las variaciones observadas en la serie histórica (años 2007 a 2015) se han contrastado con el proveedor de datos y expertos en este campo, y son fiel reflejo del comportamiento de esta categoría.

### 4.7.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de los consumos aparentes (producción, importación, exportación) de la serie temporal de refrigeración y aires acondicionados en los sectores residencial y comercial a partir del estudio desarrollado en la SEMARNAT (SEMARNAT/UPM, 2020b) y los

reportes del INEGI a través de la “Encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares” (INEGI, 2018).

- ⊙ Actualización de los consumos aparentes (producción, importación, exportación) de la serie temporal de uso de disolventes, aerosoles, espumas y equipos de protección contra incendios a partir del estudio desarrollado en la SEMARNAT (SEMARNAT/UPM, 2020a).
- ⊙ Cambios en la estimación de emisiones de las distintas subcategorías.

**Tabla 37: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	0	599	6,733	11,179	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	0	599	10,150	16,176	17,139	18,056	19,135	20,344
Diferencia (%)	NA	0.0%	50.7%	44.7%	NA	NA	NA	NA

#### 4.7.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- ⊙ Mejora de la completitud de la serie temporal mediante estimación de los DA para la subcategoría [2F6], como aplicaciones médicas, entre otras.
- ⊙ Mejora de la completitud de la serie temporal mediante la búsqueda y/o estimación de DA para el periodo 1990-1997 para toda la categoría.
- ⊙ Identificación de datos de recuperación/destrucción de los gases en las subcategorías [2F2] y [2F3].
- ⊙ Revisión de los datos de FE específicos empleados en la estimación de las emisiones de cada subcategoría.
- ⊙ Revisión de la serie temporal de distintas sustancias para obtener datos más precisos.

## 4.8 Manufactura y utilización de otros productos [2G]

### 4.8.1 Descripción de la categoría

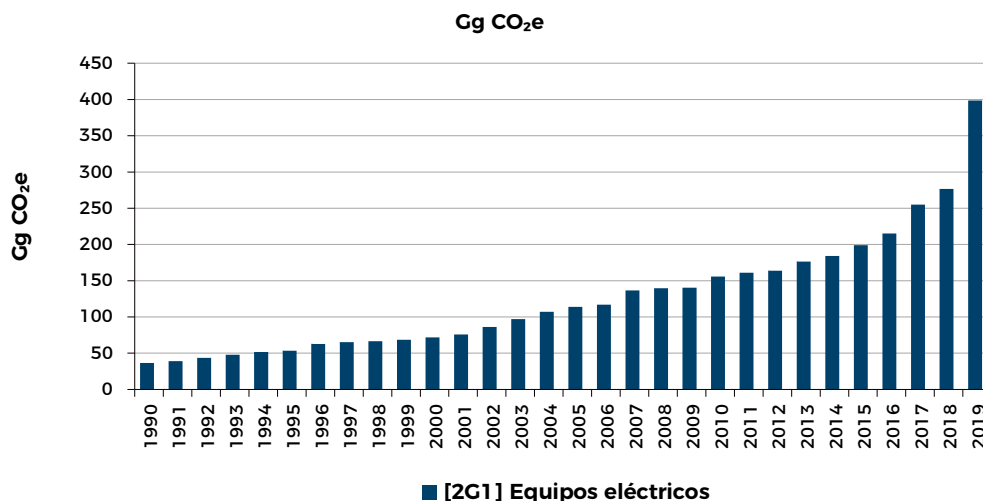
En esta subcategoría, la metodología de las *Directrices* 2006 analiza las emisiones de SF<sub>6</sub>, PFC y N<sub>2</sub>O incorporados a productos para explotar una o varias de las propiedades físicas de la sustancia química, como la elevada constante dieléctrica del SF<sub>6</sub>, la estabilidad del PFC y los efectos anestésicos del N<sub>2</sub>O.

La categoría [2G] Manufactura y utilización de otros productos, se desglosa en cuatro subcategorías: [2G1] Equipos eléctricos; SF<sub>6</sub> y PFC de [2G2] Otros usos de productos; N<sub>2</sub>O de [2G3] Usos de productos, y [2G4] Otros.

El inventario únicamente analiza el SF<sub>6</sub> integrado en los equipos eléctricos [2G1] de la Comisión Nacional de Electricidad (CFE). Actualmente no se cuenta con información suficiente para estimar las emisiones de las subcategorías [2G2] y [2G3] por lo que se reportan como NE.

Las emisiones de equipos eléctricos [2G1] contabilizó, en 2019, 398.65 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad 992% mayor que la del año 1990.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 33**.

**Figura 33: Emisiones de la manufactura y utilización de otros productos [2G]**

La tendencia creciente de esta está únicamente relacionada con el consumo de SF<sub>6</sub> en la CFE como agente aislante tanto en los procesos de transmisión como en los de distribución de energía eléctrica.

## 4.8.2 Metodología

La metodología de cálculo está en línea con las *Directrices* 2006. El enfoque metodológico empleado fue un Tier 1, apegado a los árboles de decisión de la Figura 8.1, cap. 8, vol. 3 de las *Directrices* 2006].

### 4.8.2.1 Datos de actividad

Para la estimación de las emisiones se requieren como variables de actividad los datos de SF<sub>6</sub> consumido por los fabricantes de equipos y/o por la capacidad nominal de SF<sub>6</sub> de los equipos en cada etapa del ciclo de vida útil posterior a la fabricación en el país. Actualmente se consideran las emisiones por el uso de los equipos durante su vida útil. Se consideró que el mayor aporte de emisiones de SF<sub>6</sub> proviene de las actividades de la CFE en México, sin considerar a los productores independientes. Se utilizó la información proporcionada por CFE (CFE, 2021).

La **Tabla 38** muestra los DA empleadas para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).

**Tabla 38: Datos de actividad para los equipos eléctricos de la categoría [2G] Manufactura y utilización de otros productos**

ton

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1990
[2G1] Carga total de SF <sub>6</sub> en equipos eléctricos	59.0	86.0	115.0	180.0	248.0	317.0	408.0	445.057	644.807	993%

El consumo de gas SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos de CFE ha ido en aumento, principalmente en los últimos años. El consumo incluye el gas fugado en los equipos en operación.

### 4.8.2.2 Factores de emisión

El FE empleado para la estimación de las emisiones de equipos eléctricos [2G1] corresponde al valor por defecto de las *Directrices* 2006 para equipos eléctricos de presión cerrados para conmutadores de alta tensión y para conmutadores de tensiones intermedias (tablas 8.2 y 8.3, cap. 8, vol. 3).

### 4.8.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE para SF<sub>6</sub> en equipos eléctricos se estimó en 20%.

### 4.8.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 4.8.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de datos de consumo de SF<sub>6</sub> de la serie temporal, proporcionados por CFE.

**Tabla 39: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	32	70	158	195	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	37	72	156	199	215	255	277	399
Diferencia (%)	12.7%	2.7%	-1.5%	1.9%	NA	NA	NA	NA

### 4.8.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Mejora de los DA de CFE al hacer una desagregación entre equipos de transmisión y equipos de distribución con datos de cada planta.
- Análisis y revisión de posibles fuentes de información para conocer otros posibles consumidores de SF<sub>6</sub>.

## 4.9 Otros (2H)

### 4.9.1 Descripción de la categoría

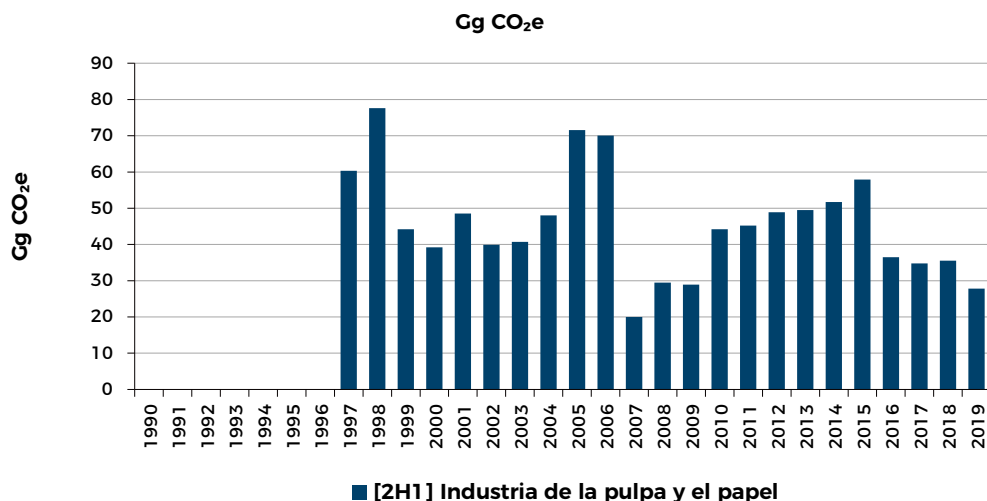
La categoría [2H] Otros se desglosa en diferentes subcategorías, considerando actividades que generan emisiones y no están incluidas en las categorías anteriores. En lo que respecta al presente inventario, dentro de esta categoría se identifica la subcategoría [2H1] Industria de la pulpa y el papel, que durante 2019 contabilizó 27.8 Gg CO<sub>2</sub>e: 54% menos que en 1997, el primer año del que se tiene información.

La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 34**.

### 4.9.2 Metodología

Las *Directrices* 2006 no aportan orientación sobre cómo evaluar las emisiones de la industria de la pulpa y el papel; por tanto, la estimación se hizo mediante una herramienta desarrollada por México para la estimación de GEI del sector productivo de celulosa y papel (SEMARNAT, 2006) en donde se establecieron FE de CO<sub>2</sub> en función del consumo del carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Figura 34: Emisiones de [2H] Otros



#### 4.9.2.1 Datos de actividad

Para la estimación de las emisiones de [2H1] se emplearon los datos de cantidad de carbonato de sodio o calcio utilizado para la fabricación de papel. Se tienen datos de consumo de carbonatos desde 1997 proporcionados por la Cámara del Papel (Cámara de la Industria de la Celulosa y del Papel, 2020).

La **Tabla 40** muestra los datos de los DA empleadas en [2H] para cada año dentro del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1997).

**Tabla 40: Datos de actividad para otros [2H]**

ton

Subcategoría	1990	1997	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	% variación 2019 vs 1997
[2H1a] Consumo de carbonato de calcio		136,940	88,899	162,600	100,347	131,631	79,071	80,749	63,179	-54%
[2H1b] Consumo de carbonato de sodio		152	194	99	46	19	3	0	0	-100%

El consumo de los carbonatos en la industria del papel ha ido disminuyendo. El de sodio dejó de usarse en 2017, y el consumo del de calcio se redujo en 54% en 2019 respecto de 1997.

#### 4.9.2.2 Factores de emisión

Los FE empleados son los siguientes:

**Tabla 41: Factores de emisión para el consumo de carbonatos en la industria de la celulosa y el papel [2H1]**

Compuesto	kg CO <sub>2</sub> /kg compuesto
Carbonato de sodio	0.415
Carbonato de calcio	0.440

### 4.9.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Se calculó la incertidumbre mediante el “Método 1: Propagación del error” del cap. 4 de las *Directrices* (IPCC, 2006a) por categorías, tendencias y GEI, entre el año base (1990) y el último año de reporte (2019).

La incertidumbre de los FE se estimó en 2% y la incertidumbre de los DA en 3%.

### 4.9.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 4.9.5 Recálculos específicos de la categoría

No se realizaron recálculos para esta categoría.

### 4.9.6 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

No se prevén planes de mejora a corto plazo en esta actividad.

## 4.10 Referencias

- ANIQ. (2021a). *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana - Datos al 2019*. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de <http://www.aniq.org.mx/webpublico/notas/anuarioestadisticoiq.asp>
- ANIQ. (2021b). *Comunicación Interna - Datos de producción de petroquímicos, datos al 2019*.
- Cámara de la Industria de la celulosa y del papel. (2020). *Comunicación interna - Información sobre consumo de carbonatos, datos al 2019*.
- CANACERO. (2021). *Comunicación interna - Información sobre la producción de acero, datos al 2019*.
- CFE. (2021). *Comunicación interna - Información sobre consumos de SF<sub>6</sub> en la distribución y transmisión de la electricidad, datos al 2019*.
- GIZ. (2014). *Final report Consumption & emission inventory of fluorinated greenhouse gases (CFC, HCFC and HFC) in Mexico*. Recuperado de <http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/giz Proklima-EVI-Mexico Inventory.pdf>
- INEGI. (2018). Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>
- INEGI. (2019). Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) - 2007 - 2019. Base 2008. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/emim/2007/#Tabulados>
- INEGI. (2021). Censos económicos. Información del 2004, 2009, 2014 y 2019. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- IPCC. (2006a). Volume 1 General Guidance and Reporting. En N. T. and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K. (Ed.), 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan: IGES.
- IPCC. (2006b). Volume 3 Industrial Processes and Product Use. En N. T. and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K. (Ed.), 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
- IPCC. (2019). Volume 3 Industrial Processes and Product Use. En B. Cai & D. A. Ottinger (Eds.), 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol3.html>
- SEMARNAT/UPM. (2020a). *A Sustainable and climate-friendly Phase out of Ozone Depleting Substances (SPODS)*. Recuperado de <https://www.giz.de/en/downloads/Factsheet-EU-ELDZ-SPODS-WEB-260618.pdf>

- SEMARNAT/UPM. (2020b). *Final report on the current demand of refrigerant grade hydrocarbons in Mexico and economic feasibility for the national production*. Recuperado de [https://semanaspodsmexico.info/files/current\\_demand\\_of\\_refrigerant\\_grade\\_hydrocarbon.pdf](https://semanaspodsmexico.info/files/current_demand_of_refrigerant_grade_hydrocarbon.pdf)
- SEMARNAT. (2006). *Documento Guía de la Herramienta para la Estimación de Gases de efecto Invernadero para el sector productivo de Celulosa y Papel*. Recuperado de [https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Guia\\_C%26P\\_Mexico\\_V1.0-Spanish.pdf](https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Guia_C%26P_Mexico_V1.0-Spanish.pdf)
- SENER. (2021). Balance Nacional de Energía del Sistema de Información Energético - Datos al 2019. Recuperado de <https://sie.energia.gob.mx/>
- SGM. (2021). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* - Datos al 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/sgm/articulos/consulta-el-anuario-estadistico-de-la-mineria-mexicana#:~:text=Durante el cuarto trimestre de,observado en el trimestre previo.>
- UNFCCC. (2011). Project 0151: Quimobásicos HFC Recovery and Decomposition Project. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de <https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1138260062.21/view?cp=1>



## 5. [3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra

### 5.1 Agricultura

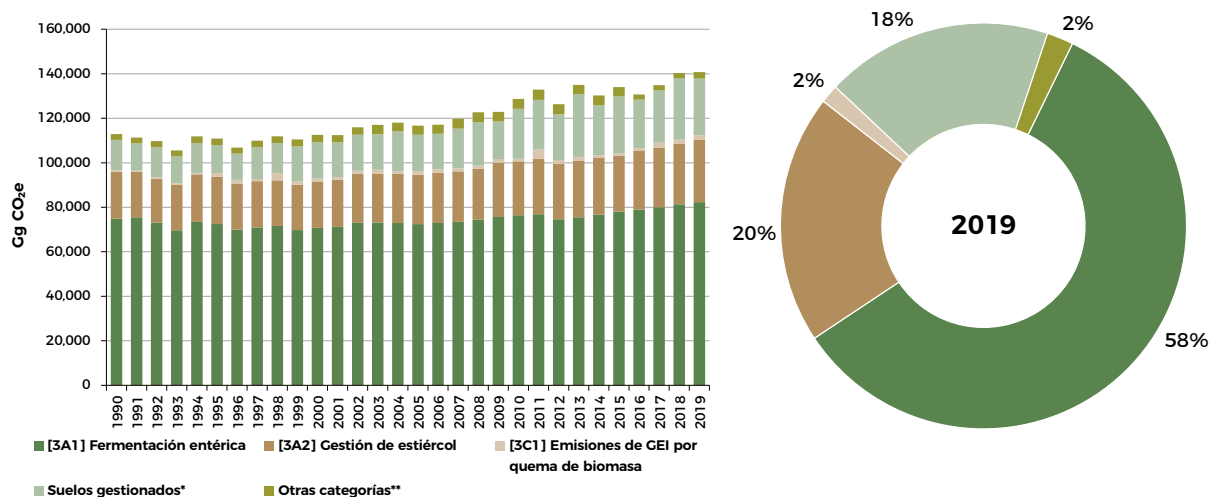
El sector [3] ASOUT<sup>9</sup> se divide en: [3A] Ganado, [3B] Tierra, [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub> de la tierra y [3D] Otros. En primer término, agrupada como Agricultura, se presenta la información de las categorías [3A] y [3C]. Y en el apartado 5.9, las otras dos como parte del subsector UTCUTS.<sup>10</sup>

Las emisiones de las categorías [3A] y [3C] representaron, en el año 2019, 26.33% de las emisiones totales netas del INEGYCEI. Las emisiones entre 2018 y 2019 mostraron un mínimo incremento de 0.32%, mientras que en el periodo 1990-2019, el aumento fue de 24.69 %, alcanzando 140,807.24 Gg CO<sub>2</sub>e; esto se debió principalmente al aumento de las categorías de Fermentación entérica, Manejo de estiércoles y Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados.

Las categorías clave identificadas en 2019 de acuerdo con el método 1 son: [3A1] Fermentación entérica (CH<sub>4</sub>) (8.56%[N]); [3A2] Gestión de estiércol (CH<sub>4</sub>) (2.06%[N]); [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados (1.95%[N]), y [3C5] Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados (0.70%, [N]).

En la **Figura 35** se presentan, las emisiones del sector ASOUT con desglose por categorías. Ahí se observa que hay una tendencia creciente en prácticamente todas las subcategorías de este sector. Las emisiones debidas a los animales [3A] se incrementaron debido al aumento del número de efectivos y las condiciones climáticas (temperatura). La tendencia de las actividades agrícolas [3C] se relaciona con el aumento en la superficie fertilizada del país.

**Figura 35: Evolución de las emisiones de del sector [3] ASOUT, categorías [3A] y [3C]**  
Gg CO<sub>2</sub>e



\* [3C4] Emisiones directas de los N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados + [3C5] Emisiones indirectas...

\*\* [3C2] Encalado; [3C3] Aplicación de urea; [3C6] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol, y [3C7] Cultivo del arroz.

<sup>9</sup> En inglés, AFOLU, por *Agriculture, Forestry and Other Land Use*.

<sup>10</sup> Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. En inglés, LULUCF por *Land use, Land-use change, and Forestry*.

## 5.2 Fermentación entérica [3A1]

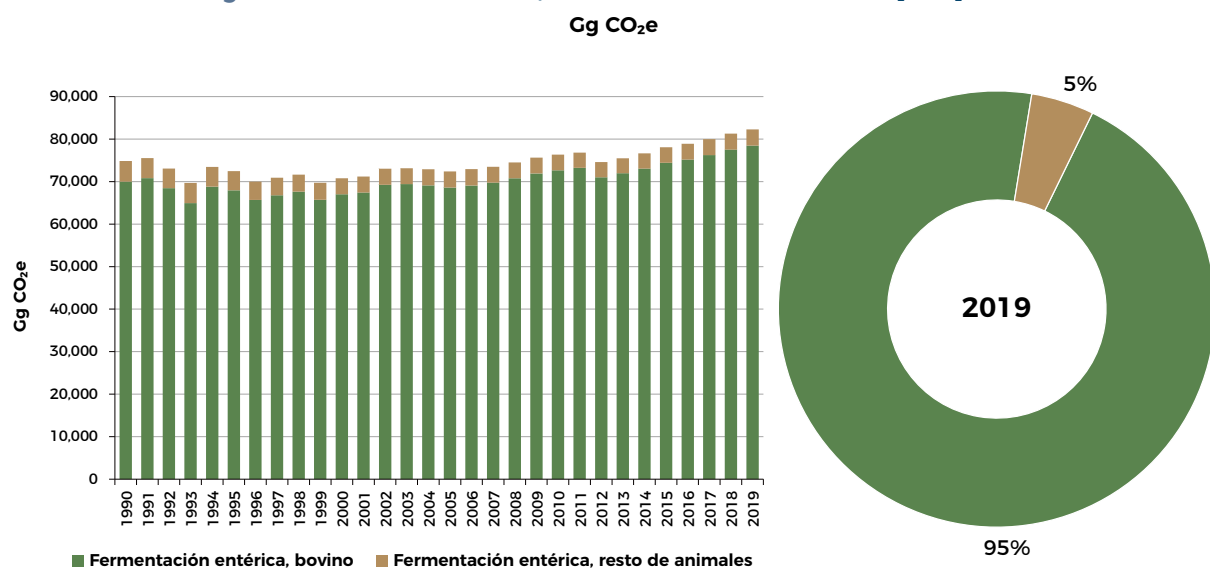
### 5.2.1 Descripción de la categoría

Esta categoría es clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

Las emisiones de CH<sub>4</sub> se generan por los procesos metabólicos de la digestión de los carbohidratos contenidos en el alimento del ganado. En esta actualización se reportan las emisiones para el ganado bovino (diferenciando la producción especializada de leche, carne y doble propósito), porcino, ovino, caprino y equino (caballos, mulas y asnos).

Las emisiones de metano asociadas a la fermentación entérica [3A1] en 2019 se estimaron en 82,287.31 Gg CO<sub>2</sub>e, las cuales muestran un incremento de 9.93% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 36**; donde se observa un incremento en las emisiones, motivado por el crecimiento del hato ganadero, principalmente de porcinos (21%) y bovinos (leche y otros) (10%).

**Figura 36: Emisiones de CH<sub>4</sub> de la fermentación entérica [3A1]**



#### Notas:

“Resto de animales” incluye las categorías ovino, caprino, porcino, caballos, mulas y asnos. No se estiman emisiones de aves debido a que las *Directrices* 2006 IPCC no proporcionan un FE para esta especie, reportándose como “No estimado” (NE).

### 5.2.2 Metodología

La metodología aplicada es del *Refinamiento* 2019, cap. 10, vol. 4, al cual pertenecerán las figuras y ecuaciones a menos que se señale lo contrario. Conforme a estos lineamientos y con base en el árbol de decisión de la Figura 10.2, se utilizaron diferentes enfoques metodológicos de acuerdo con la disponibilidad de información del país y al peso en las emisiones que representan las especies ganaderas. De esta manera, se empleó un nivel metodológico 2 para el ganado bovino con parámetros nacionales, mientras que para el resto de las especies se empleó el nivel 1.

### 5.2.2.1 Datos de actividad

El DA es el número medio de efectivos ganaderos de cada especie y subcategoría en cada año. La fuente de información es el inventario ganadero del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).<sup>11</sup> Adicionalmente, esta fuente provee de información del número de animales, peso promedio y edad por tipo de ganado y entidad federativa, así como del volumen de producción de leche y carne para el ganado bovino.

Para caracterizar la edad del ganado bovino se utilizó la *Encuesta Nacional Agropecuaria* en sus ediciones 2012, 2014, 2017 y 2019, publicada por el INEGI (INEGI, 2019).<sup>12</sup>

Respecto al ganado porcino, se consideraron dos tipos de sistemas de producción: 1) Traspatio o familiar, que se asumió en un 30% de la población conforme a las publicaciones de SAGARPA sobre la situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México,<sup>13</sup> y 2) Comercial, que se asumió como el resto de la población que no se encuentra en traspatio, es decir, en un 70%.

La **Tabla 42** muestra el número absoluto de la población promedio anual por especie y año, y la evolución relativa respecto al año base (1990). En esa tabla se observa que las poblaciones nacionales de bovinos con producción de leche y carne, ovinos y porcinos muestran una tendencia creciente, siendo las de bovinos leche y ovinos las que han aumentado en al menos 50%. Sin embargo, la población de bovinos para producción de carne y la de porcinos continúan siendo las más abundantes en el país. En contraste, la población de caballos, mulas y asnos muestra una importante disminución, entre 71% y 83.5%, mientras que la población de caprinos ha disminuido 15.8%.

**Tabla 42: Población promedio por especie**

Miles de efectivos

Especie	1990	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% Variación respecto al año base
Bovinos leche	1,627.2	2,074.5	2,197.3	2,374.6	2,457.7	2,529.7	2,563.8	57.6
Otros bovinos	30,427.1	28,449.2	28,792.6	30,267.5	31,044.9	32,290.6	32,661.1	7.3
Ovinos	5,846.0	6,046.0	7,207.4	8,105.6	8,710.8	8,683.8	8,708.2	49.0
Caprinos	10,439.0	8,704.2	8,870.2	8,993.2	8,725.0	8,749.6	8,791.9	-15.8
Caballos	3,003.0	2,018.0	1,525.5	1,032.9	872.9	868.2	869.0	-71.1
Mulas y asnos	2,367.7	1,450.9	992.6	534.5	394.2	390.4	391.0	-83.5
Porcinos	15,203.0	15,390.5	15,206.3	15,435.4	16,377.5	17,838.9	18,365.3	20.8

### 5.2.2.2 Factores de emisión

Los FE para el ganado bajo el nivel metodológico 1 fueron los dictados por defecto en el cuadro 10.10 del *Refinamiento* 2019. Para el ovino, el caprino y el porcino, el cuadro 10.10 proporciona valores para baja y alta productividad. Dado que su peso promedio es diferente por entidad federativa y año, se seleccionó el más apropiado de acuerdo con el peso promedio. En el caso del porcino se tomó el valor de alta productividad para el porcino comercial y de baja para el familiar.

Para el ganado bovino se ha seguido la metodología Tier 2 del *Refinamiento* 2019. La estimación del FE se realizó mediante las ecuaciones del IPCC con datos nacionales. Las estimaciones se hicieron por entidad federativa (32), especialización (leche, carne y mixto) y de subcategoría de bovino (becerros, toretes, vacas en producción, vacas secas y vaquillas) para cada uno de los años de la serie inventariada.

En el acopio de la información nacional se realizó una revisión de 41 publicaciones de investigaciones nacionales para 25 de las 32 entidades federativas, cubriendo las seis regiones del país: Altiplano, Bajío, Golfo-Península, Noroeste, Norte y Pacífico. En esas publicaciones se identificaron datos acerca de

<sup>11</sup> (SIAP-SADER, 2020; SIAP, 2020c) <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

<sup>12</sup> (INEGI, 2019) <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/>

<sup>13</sup> (Gallardo Nieto *et al.*, 2006; SAGARPA, 1998).

las dietas típicas (ingredientes, digestibilidad, contenido energético y de proteína cruda) de acuerdo con las funciones zootécnicas (producción de carne, producción de leche y producción de carne y leche), así como considerando las distintas etapas productivas del ganado (becerros, toretes, vacas en producción, vacas secas y vaquillas); adicionalmente, se recopiló información referente a las instalaciones ganaderas. Se revisaron 27 publicaciones adicionales para obtener datos de la edad al destete, el peso al nacer, peso al destete y la edad al primer parto, todos según la función zootécnica (producción de carne, producción de leche y producción de carne y leche), a fin de caracterizar la población ganadera nacional. Esta información permitió la construcción de 126 FE diferenciados.

### 5.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (número de animales) se tomó de lo referido en las *Directrices* 2006 (vol. 4, cap. 10) y se cifró en 20%. Respecto a los FE, la incertidumbre se tomó conforme a la recomendación de las *Directrices* 2006 (vol. 4, cap. 10), siendo de 30%. La incertidumbre de los FE nivel 2 para el ganado bovino, se estimó en 23.3%

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 5.2.4 QA/QC de la categoría y verificación

La información de número de efectivos del SIAP está sometida a controles de revisión específicos propios.<sup>14</sup>

Los FE de nivel 2 desarrollados para el ganado bovino se contrastaron con factores locales obtenidos de diversas publicaciones.<sup>15</sup> Los resultados de ambas fuentes son muy cercanos, por lo que se consideró que los generados en el INEGYCEI son válidos para su implementación en el cálculo de emisiones de este inventario. El cálculo de emisiones del resto de especies ganaderas sigue los principios generales de QA/QC incluidos la **Introducción** (pág. 21).

Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisados y se consideran justificados.

### 5.2.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de la metodología por implementación del *Refinamiento* 2019 para todas las especies.
- Mejora metodológica con la adopción del nivel metodológico 2 para el ganado bovino.

**Tabla 43: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	52,744	49,317	51,761	53,443	53,735	54,524
INEGYCEI IBA 3	74,855	70,781	76,355	78,080	78,931	80,025
Diferencia (%)	41.9	43.5	47.5	46.1	46.9	46.8

<sup>14</sup> SIAP (2019) <https://www.gob.mx/siap/documentos/normatividad-estadistica>

<sup>15</sup> (Cesar Rodríguez *et al.*, 2019; Fernando *et al.*, 2019b; Morante *et al.*, 2016).

## 5.2.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

No se prevén planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

## 5.3 Gestión de estiércol [3A2]

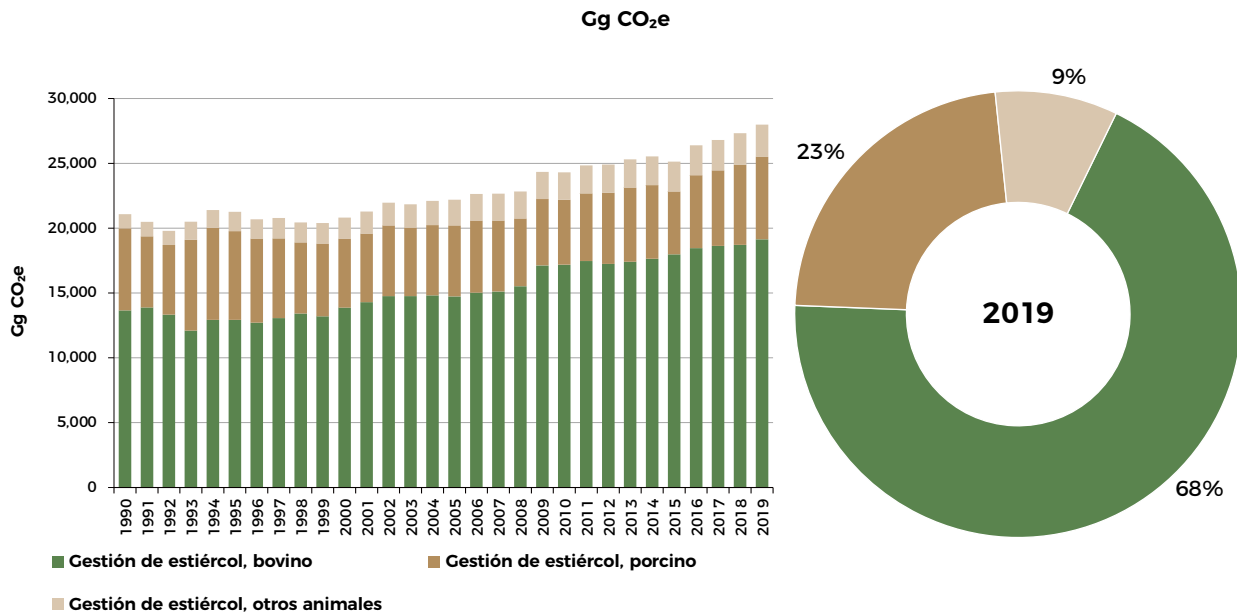
### 5.3.1 Descripción de la categoría

Esta categoría es clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

El manejo de las excretas (considerando heces y orina) de las diferentes especies ganaderas genera emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

En 2019, las emisiones asociadas al manejo de excretas en esta subcategoría [3A2] se estimaron en 27,984.89 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$ : 32.73% mayores que en 1990. La **Figura 37** muestra la tendencia de las emisiones a lo largo del periodo inventariado; en ésta se observa un incremento constante en las emisiones que, al igual que para la subcategoría [3A1], proviene del incremento en el número de efectivos, principalmente de porcinos (21%), bovinos (10%) y aves de corral (150%).

**Figura 37: Emisiones de gestión de estiércoles [3A2]**



Nota: "Otros animales" incluye las categorías ovino, caprino, caballos, mulas y asnos y aves de corral.

### 5.3.2 Metodología

En esta categoría se estiman las emisiones directas de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) debidas al manejo de los estiércoles. Las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  se incluyen dentro del apartado "Otras categorías y fuentes de la agricultura".

La metodología aplicada es la recomendada en el *Refinamiento 2019*, cap. 10, vol. 4, al cual pertenecerán las figuras y ecuaciones a menos que se señale lo contrario. Conforme a estos lineamientos y con base en los árboles de decisiones de las figuras 10.3 y 10.4, se utilizó un enfoque metodológico nivel 2 para el ganado bovino y porcino con parámetros nacionales, mientras que para el resto de las especies se empleó el nivel 1.

### 5.3.2.1 Datos de actividad

El DA es el número medio de efectivos ganaderos de cada especie y subcategoría en cada año que comparte con las estimaciones de fermentación entérica. Una descripción detallada de la fuente de información se incluye en el apartado "Metodología". Adicionalmente, en la **Tabla 44** se muestra el número absoluto de la población promedio anual para las aves de corral y la evolución relativa respecto al año base (1990). En ella se puede constatar la tendencia nacional creciente de esta especie incluyendo la producción de huevo, carne y guajolotes. Se trata de la que más ha crecido (149.8%)

**Tabla 44: Población promedio de las aves de corral**

Miles de efectivos

Especie	1990	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% Variación respecto al año base
Aves de corral (huevo, carne y guajolotes)	234,055.0	371,898.3	462,595.0	510,287.7	539,203.2	572,146.6	584,620.4	149.8%

Además de los datos de población de las especies ganaderas, se utilizaron datos de las temperaturas promedio estatales publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).<sup>16</sup>

Los sistemas de manejo del estiércol y su proporción por especie ganadera se muestran en la **Tabla 45**. La información proviene de estudios y diagnósticos nacionales sobre la gestión del estiércol (Burgos & Castro, 2010; Huerta & Olea, 2011; Lopez *et al.*, 2012; Pampillón, 2014; Pérez *et al.*, 2012; SAGARPA/FIRCO, 2011).

**Tabla 45: Distribución de los sistemas de manejo de estiércol por animal**

%

Tipo de ganado	Pastoreo	Piso de rejilla	Líquido	Lagunas aerobias	Lagunas anaerobias	Fosa de mezclado	Biodigestor	Corral	Estercolero	Cama profunda	
										Con paja	Sin paja
Bovinos leche	68.00%		32.00%	32.00%	32.00%	2.30%	2.30%				
Bovinos carne	68.00%							32%	32%		
Ovinos	75%							25%	25%		
Caprinos	88%							22%	22%		
Porcinos	30%	70%		70%	70%						
Caballos	100%										
Mulas y asnos	100%										
Aves de corral (huevo)									100%		100%
Aves de corral (carne)									100%	100%	

Para el ganado bovino se asumió que, entre 1990 y 2009, el lechero en corral presentó un manejo de excretas líquidas en corrales y salas de ordeña y que, posteriormente, se almacenaron en lagunas con aireación. De 2009 a 2019 se consideró que las excretas de una proporción de animales del total del inventario eran manejadas mediante reactores anaerobios (biodigestores); este cambio incluyó una fosa de mezclado previa al biodigestor y a la salida una laguna con aeración, mientras que el resto se encontraba bajo la caracterización antes descrita. Para establecer el número de animales en biodigestor se asumió que los bovinos leche producían 14.5 litros de excretas al día y que se recomienda considerar dejar libre el 10% de la capacidad del biodigestor para la generación del biogás. Bajo este sistema, se

<sup>16</sup> (CONAGUA, 2019) <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

asumió que las excretas se manejan líquidas en los corrales y salas de ordeña, posteriormente pasan a una laguna, fosa de mezclado o cárcamo, y de ahí al reactor anaerobio (biodigestor) para finalmente llegar a lagunas con aireación natural. Esta caracterización se basa en los diagnósticos realizados en sistemas de biodigestión instalados en el país.<sup>17</sup>

El manejo de excretas para Otros bovinos se asumió como seco en corrales de engorda y que después pasaron a un estercolero, en los casos de animales que se encontraban bajo manejo en corrales, mientras que en aquellos que estaban en pastoreo, las estimaciones se realizaron bajo esas condiciones.

Respecto al ganado porcino, las excretas de los porcinos comerciales se asumieron bajo un manejo líquido en los corrales con piso de rejilla y que posteriormente se almacenaron en lagunas con aireación natural. En el caso de los animales en traspatio se asumió que se encontraban bajo pastoreo. En el caso de los porcinos comerciales, de 1990 a 2009 se siguió la caracterización anterior, sin embargo, a partir de 2009, también se consideró que una proporción contó con manejo mediante reactores anaerobios (biodigestores) en los que las excretas primero se manejaron líquidas en los corrales de piso de rejilla, posteriormente pasaron a una laguna, fosa de mezclado o cárcamo, después al biodigestor y, finalmente, llegaron a lagunas con aireación natural. De manera similar que en los bovinos, para establecer el número de animales se asumió que los porcinos producían 11.5 litros de excretas al día y que se recomienda considerar dejar libre el 10% de la capacidad del biodigestor para la generación del biogás de acuerdo con lo mencionado por FIRCO-SAGARPA (2011).<sup>18</sup> Esta caracterización corresponde a los diagnósticos de los sistemas de biodigestión instalados en el país.<sup>19</sup>

Para el ganado ovino y el caprino, el manejo de estiércoles se consideró en pastoreo, corral de engorda y estercoleros; para caballos, mulas y asnos se supuso que los animales se encontraban en pastoreo, y para las aves de corral de producción de carne —incluidos los guajolotes— se asumió un manejo de excretas en cama profunda con paja para después pasarlas a un estercolero, y para las aves de producción de huevo se asumió un manejo de cama profunda pero sin material (ver **Tabla 45**).

### 5.3.2.2 Factores de emisión

Para las especies ganaderas estimadas bajo el enfoque metodológico 1, se utilizaron los FE por defecto del *Refinamiento* 2019 correspondientes a los cuadros 10.14 y 10.15 para CH<sub>4</sub> y el cuadro 10.21 para N<sub>2</sub>O.

Para el caso del ganado bovino estimado bajo el enfoque nivel 2, los FE han sido estimados conforme a lo dictado en *Refinamiento* 2019. Para ello, se estimaron datos específicos del país para la producción de sólidos volátiles (vs), la tasa de excreción de nitrógeno (N<sub>EXT</sub>) y la fracción de excreción anual por sistema de manejo (M<sub>ST,S</sub>), los cuales se obtuvieron mediante la información de la revisión bibliográfica mencionada en el apartado metodológico de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica (ver sección Metodología).

### 5.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (número de animales) se tomó de lo referido en las *Directrices* 2006 (vol. 4, cap. 10) y se cifró en 20%. Respecto a los FE, la incertidumbre se tomó conforme a la recomendación de las *Directrices* 2006 (vol. 4, cap.s 10 y 11), siendo de 30% para CH<sub>4</sub> y de un factor de 2 para N<sub>2</sub>O. La incertidumbre de los FE nivel 2 para el ganado bovino se estimó en 23.3% para ambos gases.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

<sup>17</sup> (Pampillón, 2014; SAGARPA/FIRCO, 2011).

<sup>18</sup> FIRCO-SAGARPA (2011). Diagnóstico general de la situación de los biodigestores en México. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Diagnostico-Nacional-de-los-Sistemas-de-Biodigestion.pdf>

<sup>19</sup> (Pampillón, 2014; SAGARPA/FIRCO, 2011).

### 5.3.4 QA/QC de la categoría y verificación

La información del número de efectivos de las aves de corral de SIAP está sometida a controles de revisión específicos propios.<sup>20</sup>

Los parámetros (vs,  $N_{EXT}$ ,  $M_{ST}$ , S) usados en las estimaciones de nivel 2 para el ganado bovino fueron contrastados con los parámetros publicados de (MAPA, 2016), dado que se identifica una producción semejante a la de México, obteniendo resultados muy similares.

El cálculo de emisiones del resto de las especies de esta subcategoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 5.3.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de la metodología por implementación del *Refinamiento* 2019 para todas las especies.
- Mejora metodológica con la adopción del nivel metodológico 2 para el ganado bovino.

**Tabla 46: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO <sub>2</sub> e						
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	13,750.482	14,459.206	14,673.910	17,124.881	17,631.130	17,945.41
INEGYCEI IBA 3	21,085	20,814	24,314	25,128	26,399	26,808
Diferencia (%)	53.3	43.9	65.7	46.7	49.7	49.4

### 5.3.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Implementación del enfoque de nivel 2 para el ganado porcino dada su relevancia, si bien no es una subcategoría significativa.

## 5.4 Emisiones de GEI por quema de biomasa [3C1]

### 5.4.1 Descripción de la categoría

[3C1] Quema de biomasa es una actividad generadora de gases y compuestos contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), carbono negro, compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés) y GEI como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. En esta subcategoría del inventario se calculan las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O producidos por: [3C1a] Quema de biomasa en tierras forestales; [3C1b] Quema de residuos agrícolas en campos de cultivo,<sup>21</sup> y [3C1c] Quema de praderas (no se han

<sup>20</sup> <https://www.gob.mx/siap/documentos/normatividad-estadistica>

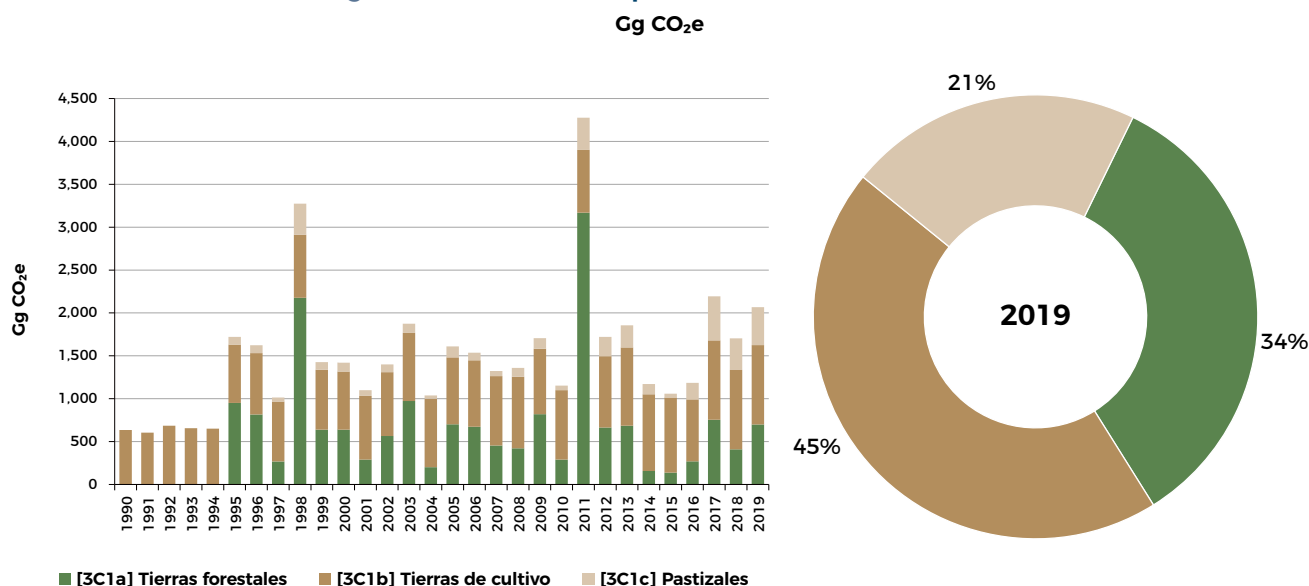
<sup>21</sup> Correspondiente a la quema in situ de residuos agrícolas en campos de cultivo.



identificado quemas de biomasa en otros usos del suelo).<sup>22</sup> Las emisiones de quema en tierras forestales y pastizales sólo se estiman a partir de 1995, dado que no se dispone de información para los años anteriores. Las pérdidas de carbono en [3C1a] y [3C1c] ya están consideradas dentro de los cambios del stock de carbono de [3B] Tierra. Las quemas en la categoría [3C1b] se asume que se producen en cultivos anuales y que la biomasa se recupera ese mismo año. Por tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> se reportan como IE (“*included elsewhere*”) y NA (“*not applicable*”).

En 2019, las emisiones de quema de biomasa se estimaron en 2,066.64 Gg CO<sub>2</sub>e. La tendencia de la serie presenta numerosos picos y valles dependiendo de la incidencia de los incendios incontrolados, altamente dependientes de las condiciones climáticas de cada año. En la **Figura 38**, se observa la evolución de las emisiones a lo largo del periodo. Se observa asimismo que las subcategorías [3C1a] y [3C1b] son las que más contribuyen en la categoría, con 33.87% y 44.76% en 2019, respectivamente. En el gráfico se destacan principalmente los años 1998 y 2011 como los de mayores emisiones en tierras forestales, los cuales se asocian a los años en que hubo una mayor número y superficie afectada de incendios forestales (CONAFOR, 2019).

**Figura 38: Emisiones de quema de biomasa [3C1]**



Nota: No se estiman emisiones de las categorías [3C1a] y [3C1c] para los años 1990-1994.

## 5.4.2 Metodología

La metodología utilizada para las subcategorías [3C1a] Emisiones por quema de biomasa en tierras forestales y [3C1c] Praderas se alinea con lo descrito en el cap. 2, vol. 4 de las *Directrices* 2006. Conforme al árbol de decisiones de este cap. (Figura 2.6) se utilizó la metodología nivel 1 y se aplicó la ecuación 2.27.

<sup>22</sup> Por tanto, incluye emisiones que son consideradas tanto en las categorías de [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub> de la tierra, como en las de UTCUTS en [3B] Tierra. Por simplicidad en el reporte y para evitar repeticiones innecesarias, se ha optado por incluir todas ellas en este apartado.

### 5.4.2.1 Datos de actividad

Para el cálculo de emisiones de esta subcategoría se emplearon datos sobre incendios forestales provenientes de los reportes mensuales de CONAFOR,<sup>23</sup> los cuales registran las áreas afectadas por incendios que fueron combatidos por año y por estrato siniestrado de vegetación. Debido a la disponibilidad de datos de superficies incendiadas disponibles, el periodo de estimación fue de 1995 a 2019. Esta información se homologó a las coberturas vegetales declaradas por INEGI en sus series de uso de suelo y vegetación II a VI.<sup>24</sup>

Para caracterizar y cuantificar la biomasa y materia orgánica muerta de estos estratos por tipo de vegetación, se usaron principalmente los métodos propuestos en el “Sistema de clasificación y caracterización de combustibles forestales” (FCCS, por sus siglas en inglés) (Ottmar *et al.* 2007, Riccardi *et al.* 2007) y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por *United States Environmental Protection Agency*). Se establecieron cuatro categorías de combustible: horizonte de fermentación; hojas —MLC fino y pequeño (<7.62 cm) y MLC grueso (>7.62 cm)—; hierbas, y arbustos; de tal manera que, dependiendo del estrato afectado, se asignó la masa disponible para realizar el proceso de combustión.

Los factores de consumo fueron tomados por defecto de los valores usados en el software Consume 3.0. Éstos se aplicaron a tipos de vegetación similares de clima templado de las subcategorías de bosque de pino, encino, bosque mesófilo de montaña y matorrales xerófilos. Para las selvas se utilizó el factor de consumo de Kauffman *et al.* (2003) de selvas bajas caducifolias para las selvas secas, mientras que para las selvas tropicales se utilizaron los valores por defecto proporcionados por el IPCC (2003).

En la **Tabla 47** se muestran las superficies incendiadas por tipo de vegetación reportadas por CONAFOR (2017, 2019, 2020). Se observa que, en general, la superficie quemada total nacional ha incrementado en un 3%, siendo los estratos herbáceo y arbustivo los que mantienen esta tendencia con un aumento de 6.72% y 2.25%, respectivamente. Sin embargo, el estrato arbóreo muestra un decrecimiento del 5.34% en las superficies quemadas.

**Tabla 47: Superficies incendiadas tipo de vegetación**

ha

Tipo de vegetación	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% Variación respecto al año base
Herbáceo	88,956.0	101,154.6	125,539.8	51,513.4	39,535.5	352,981.0	423,862.1	376.5%
Arbustivo	105,014.0	94,285.1	117,848.2	50,956.7	38,085.7	117,159.8	178,953.4	70.4%
Arbóreo	115,117.0	40,475.5	32,700.8	12,253.4	10,917.0	18,021.0	30,862.5	-73.2%
<b>Total</b>	<b>309,087.0</b>	<b>235,915.1</b>	<b>276,088.8</b>	<b>114,723.4</b>	<b>88,538.1</b>	<b>488,161.8</b>	<b>633,677.9</b>	<b>105.0%</b>

### 5.4.2.2 Factores de emisión

Los FE utilizados para este informe provienen de los valores por defecto provistos por el Cuadro 2.5 de las *Directrices* 2006 para bosques extra tropicales, tropicales, sabanas y pastizales.

<sup>23</sup> (CONAFOR, 2017, 2019, 2020).:

<https://datos.gob.mx/busca/dataset/incendios-forestales>

<https://snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Incendios/Informes%20anuales/Informe-final-de-Incendios-Forestales-2019.pdf>

<https://snigf.cnf.gob.mx/incendios-forestales/>

<sup>24</sup> INEGI, 1993, 2002, 2007, 2011, 2014 <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

### 5.4.3 Emisiones por quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1b]

Estas emisiones incluyen las emisiones de GEI procedentes de las quemas precosecha en el cultivo de la caña de azúcar y de los residuos agrícolas de las cosechas. La metodología más adecuada para implementar fue la de nivel 1 de las *Directrices* 2006 (ecuación 2.27), conforme al árbol de decisiones del cap. 2, vol. 4 de las *Directrices* 2006 (Figura 2.6).

#### 5.4.3.1 Datos de actividad

Para el cálculo de emisiones de esta subcategoría de emisión se utilizó como fuente de información la estadística de superficies sembradas, cosechadas y rendimientos de cultivos reportados en el SIAP.<sup>25</sup> Los cultivos fueron clasificados en cuatro grupos: 1) cereales (maíz, sorgo, trigo, cebada, avena y arroz); 2) leguminosas (frijol, garbanzo, haba, chícharo, lenteja, arvejo); 3) oleaginosas (soya, cártamo, ajonjolí, cacahuate, girasol, canola), y 4) caña de azúcar. Otros cultivos no se incluyeron en la estimación de biomasa quemada bajo el supuesto de que sus residuos no están disponibles para la combustión.

Se determinó que los residuos agrícolas que se queman representan 10%, con base en las recomendaciones del IPCC (2000) y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés; 2017).

La biomasa quemada se determinó mediante el producto de la superficie quemada (ha), el rendimiento (ton/ha) y el índice cultivo/residuo (ICR) desarrollado para diversos cultivos en México por Valdez-Vázquez *et al.* (2010). En los casos específicos de la avena y el girasol, se empleó el ICR reportado por Rosillo-Calle *et al.* (2007). Para el cultivo de la caña de azúcar -en el que se practican quemas previas a la cosecha- se utilizó el ICR publicado por Ordóñez y Hernández (2006) y los valores (%) de “caña quemada” publicados en los informes anuales estadísticos del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar<sup>26</sup> (CONADESUCA, 2016).

Como factor de combustión (CF) se aplicó la fracción de oxidación por defecto (90%) establecida en las *Directrices* 2006.<sup>27</sup>

En la **Tabla 48**, se muestran las superficies incendiadas por cultivo, con datos provenientes del SIAP.

**Tabla 48: Superficies incendiadas por tipo de cultivo**

ha

Cultivo	2018	2019
Maíz	743,361	743,361
Sorgo	142,790	142,790
Trigo	68,532	68,532
Arroz	4,156	4,156
Cebada	36,049	36,049
Avena	4,635	4,635
Caña de azúcar	671,033	671,033
Oleaginosas	45,376	45,376
Leguminosas	176,833	176,833

#### 5.4.3.2 Factores de emisión

Los FE de metano (CH<sub>4</sub>) para la quema de residuos agrícolas provienen del estudio (Múgica-Álvarez, 2016) para el maíz, sorgo, trigo, cebada y caña de azúcar. Para el resto de los cultivos y las emisiones de N<sub>2</sub>O se usa el FE por defecto de las *Directrices* 2006 (Cuadro 2.5, vol. 4, cap. 2).

<sup>25</sup> (SIAP, 2020a) [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)

<sup>26</sup> Cifras históricas nacionales, indicadores de campo. Porcentaje de caña quemada.

<sup>27</sup> Sección 4.5. Capítulo 4, vol. 2.

**Tabla 49: Factores de emisión para la quema *in situ* de residuos agrícolas**  
g/kg MS quemada

Cultivo	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Caña de azúcar	2.29	0.07
Cebada	1.95	0.07
Maíz	2.09	0.07
Sorgo	2.02	0.07
Trigo	1.61	0.07
Resto de cultivos	2.7	0.07

Fuente: (Múgica-Álvarez, 2016) y *Directrices* 2006.

#### 5.4.4 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (superficie quemada) se calculó en 36.6% para la superficie forestal y de pastizal incendiada, y 23% para la superficie cultivada incendiada.

La incertidumbre de los FE utilizados para estimar las categorías [3C1a] y [3C1c] se tomó de los provistos por el Cuadro 2.5 del IPCC por tipo de gas y categoría, estando en un rango de 0.9% a 2.0% para las emisiones de CH<sub>4</sub> y de 0.07% y 0.10% para las de N<sub>2</sub>O. Para la categoría [3C1b] la incertidumbre proviene de lo reportado por Múgica-Álvarez (2016) por tipo de cultivo siendo: caña de azúcar 0.23%, cebada 0.21%, maíz 0.20%, sorgo 0.17% y trigo 0.15%.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

#### 5.4.5 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

#### 5.4.6 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Ajuste de asignación de superficies incendiadas de las subcategorías [3C1a] y [3C1c] debido a la incorporación de nueva información sobre los estratos.

**Tabla 50: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019)**  
e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	634.401	1,382.371	1,131.758	1,151.489	1,505.763	2,572.91
INEGYCEI IBA 3	634.4	1,420.2	1,151.7	1,057.8	1,183.8	2,193.2
Diferencia (%)	0.00	2.74	1.76	-8.14	0.07	-14.76

### 5.4.7 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Estimación de las emisiones de las categorías [3C1a] y [3C1c] para los años 1990-1994.

## 5.5 Suelos gestionados [3C4 y 3C5]

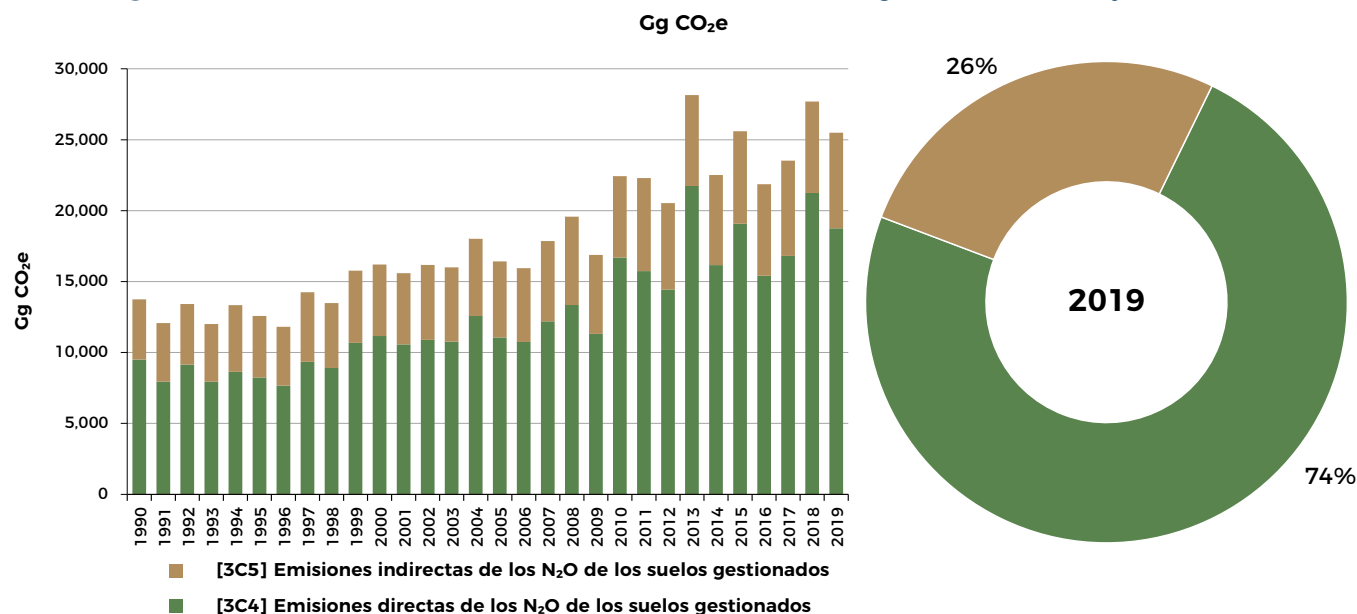
### 5.5.1 Descripción de la categoría

Ambas categorías son clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

Estas categorías integran las emisiones directas e indirectas de  $N_2O$  debidas a las aportaciones de nitrógeno en los suelos gestionados derivadas de las actividades agrícolas. De forma natural, el óxido nitroso ( $N_2O$ ) es generado mediante procesos de nitrificación y desnitrificación, por lo que, al aumentar la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, la producción de  $N_2O$  que es emitido a la atmósfera se ve incrementada. Las emisiones indirectas de  $N_2O$  se originan a partir de la pérdida del nitrógeno aplicado en los suelos por dos vías principales: 1) volatilización y posterior deposición de compuestos nitrogenados como amoníaco ( $NH_3$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ); y 2) lixiviación y escorrentía.

En 2019, las emisiones directas e indirectas de suelos gestionados (categorías [3C4] y [3C5]) contabilizaron 25,500.94 Gg  $CO_2e$  (18,752.68 y 6,748.26 Gg  $CO_2e$ , respectivamente), lo que supone un aumento de 85.6% (97.34% y 59.13%) respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 39**.

**Figura 39: Emisiones directas e indirectas de  $N_2O$  en los suelos gestionados, [3C4] y [3C5]**



Como se puede observar en la **Figura 39**, 2013, 2015 y 2018 se distinguen como los años con mayores emisiones. Esto responde principalmente a la contribución de las emisiones directas [3C4], debido al aumento de la superficie fertilizada a nivel nacional, pero, principalmente, a los años en los que se registra el mayor número de estados con precipitación alta (>1000 mm).

Asimismo, es importante destacar el gran aumento en la producción agrícola entre 1990 y 2019. La **Tabla 51** muestra las superficies sembradas, cosechadas y producción de los cultivos, así como la

superficie fertilizada nacional estimada. En la última columna se observa la evolución de estos parámetros respecto al año base (1990). Se observa una tendencia al alza en los cuatro parámetros mostrados, lo cual refleja el aumento de la producción agrícola en el país casi 4.5 veces en comparación de la que tenía en 1990 en los principales cultivos.

**Tabla 51: Estadísticas de producción agrícola nacional (SIAP, 2020a) y superficie fertilizada calculada**

	1990	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% Variación respecto al año base
Superficie sembrada (kha)	19,441.22	21,779.94	21,670.82	21,952.66	22,415.12	21,163.05	20,664.49	6.29%
Superficie cosechada (kha)	17,903.90	18,730.64	18,551.00	20,167.69	21,016.21	20,270.41	19,361.71	8.14%
Producción (Gg)	129,808.87	370,492.03	450,445.51	508,883.78	668,087.40	584,573.89	704,000.99	442.34%
Superficie fertilizada estimada (kha)	10,472.74	12,436.28	13,031.57	13,161.36	15,055.11	15,088.81	14,831.78	41.62%

## 5.5.2 Metodología

Las emisiones directas e indirectas de  $N_2O$  en los suelos gestionados se estiman con la metodología de nivel 1 del *Refinamiento* 2019 (cap. 11, vol. 4), conforme a los árboles de decisión (Figuras 11.2 y 11.3), lo que resulta en la aplicación de las ecuaciones 11.1, 11.9 y 11.10.

En la presente actualización del inventario se consideraron las siguientes fuentes de incorporación de nitrógeno: fertilizantes sintéticos nitrogenados ( $F_{SN}$ ); estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo ( $F_{PRP}$ ), y residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) de cultivos ( $F_{CR}$ ).

En México, los estiércoles tratados en granja no tienen como destino su aplicación a los cultivos. Los estiércoles sólidos se acumulan en la granja, mientras que los líquidos son vertidos a las aguas. No se han estimado en esta edición las emisiones de mineralización. Los histosoles no ocurren (NO) en México.

### 5.5.2.1 Datos de actividad

A continuación se describen los DA por fuentes de incorporación de nitrógeno.

#### 5.5.2.1.1 Fertilizantes sintéticos nitrogenados ( $F_{SN}$ )

El DA es la cantidad de nitrógeno aplicado a los suelos proveniente de los fertilizantes sintéticos. Este dato se calculó a partir de la superficie fertilizada estatal, reportada tanto en los anuarios estadísticos estatales del INEGI de 1990 a 2013 (INEGI, 2021a, 2021b), como en la información técnica publicada por SIAP de 2014 a 2019 (SIAP, 2021a, 2021c, 2021d, 2021e), y con las dosis de fertilizante por estado recomendadas en las agendas técnicas agrícolas estatales por cultivo publicadas por el INIFAP (2021).

#### 5.5.2.1.2 Estiércol depositado en pasturas y praderas por animales en pastoreo ( $F_{PRP}$ )

El estiércol depositado por animales en pastoreo se estima según la metodología de la subcategoría [3A2] (véase apartado "Gestión de estiércol [3A2]", pág. 97).

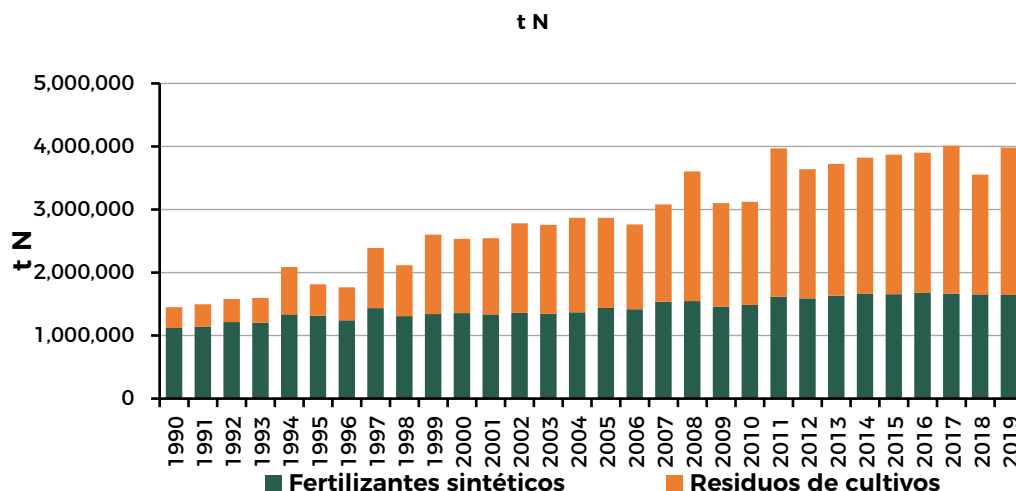
### 5.5.2.1.3 Residuos agrícolas (aéreos y subterráneos) reincorporados al suelo en tierras de cultivo ( $F_{CR}$ )

Para esta fuente de nitrógeno se definieron 26 cultivos principales del país que representan al menos un 90% de lo cultivado en el territorio nacional, incluyendo representantes de los cinco grupos de cultivos que recomiendan las *Directrices* 2006 en el apartado 11.2.1.3.

Los insumos utilizados para el cálculo del nitrógeno contenido en los residuos de los cultivos de acuerdo con las ecuaciones 11.6 y 11.7 del *Refinamiento* 2019 fueron: a) estadísticas de superficies cosechadas y producción en verde de cultivos reportados en el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIAP, 2020a); b) valores por defecto del Cuadro 11.1A del refinamiento a las *Directrices* del IPCC (2019), con excepción de los índices cultivo:residuo disponibles para algunos cultivos del país (Valdez-Vázquez *et al.*, 2010); c) fracción de residuos aprovechados para la alimentación del ganado provenientes de la *Encuesta Nacional Agropecuaria* 2017 y 2019 (INEGI, 2017, 2019); d) cantidad total anual de residuo de cultivo, determinada por medio de juicio de expertos y revisión de literatura científica nacional; e) fracción de biomasa quemada, la cual se asumió en 10% de acuerdo con el manual de buenas prácticas del IPCC (2000), y f) factores de combustión conforme al Cuadro 2.6 del vol. 4, cap. 2 de las *Directrices* 2006.

En la **Figura 40**, se muestra la evolución de los insumos de nitrógeno a los suelos gestionados

**Figura 40: Insumos de nitrógeno a los suelos gestionados**



Con respecto a las emisiones debidas a la lixiviación y escorrentía, como DA se utilizó la cantidad de nitrógeno que se incorpora al suelo anualmente por fuente de nitrógeno que se obtuvo en la categoría [3C4]. En esta edición, no ha sido posible desagregar las estimaciones entre regiones “húmedas” y no “húmedas” con el fin de aplicar el factor  $FRAC_{LEACH}$  de las guías. Por tanto, se ha optado por un enfoque conservador que incluye emisiones para todo el país.

### 5.5.2.2 Factores de emisión

Respecto a las emisiones directas, para las fuentes de nitrógeno  $F_{SN}$ ,  $F_{PRP}$  y  $F_{CR}$ , se utilizaron los FE desagregados que se muestran en los Cuadros 11.1 y 11.1A del *Refinamiento* 2019. Para definir las condiciones de humedad para la selección de los factores, se obtuvieron los datos de precipitación media anual estatal reportados por el Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2021). Para el cálculo de las emisiones indirectas se debe calcular la deposición atmosférica y la estimación de la volatilización de  $NH_3$  y  $NO_x$ . Para ello se utilizaron los FE desagregados por tipo de fertilizante que se señalan en el cuadro 11.3 (vol. 4, cap. 11) del *Refinamiento* 2019. Para determinar la fracción de cada tipo de fertilizante se aplicó la proporción de consumo anual de nitrógeno en México por tipo de fertilizante indicado por IFADATA.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> IFADATA mostró un consumo promedio anual de 40% para los fertilizantes a base de amonio, 6% para los de nitrato de amonio y de 1% para los basados en nitrato (IFADATA, 2019).

### 5.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA se tomó conforme a la recomendación de las *Directrices* 2006, siendo de 30%. La incertidumbre los FE se tomó de los datos provistos en los cuadros 11.1 y 11.3 del *Refinamiento* 2019. Las incertidumbres estuvieron en un rango entre 0.013% y 0.019% para las emisiones de nitrógeno por fertilizantes en clima húmedo y de 0.0% a 0.011% en clima seco; de 0.0% a 0.026% para las emisiones de nitrógeno por  $F_{PRP}$  en climas húmedos, y de 0.0% a 0.006% en climas secos. Para la volatilización, la incertidumbre del FE estuvo en un rango de entre 0.011% y 0.017% para clima húmedo y 0.0% a 0.011% para clima seco; mientras que para la lixiviación el rango fue de 0.0% a 0.02%. Asimismo, se consideró la incertidumbre de las fracciones de volatilización y lixiviación ( $FRAC_{GASM}$  por tipo de fertilizante,  $FRAC_{GASM}$  y  $FRAC_{LEACH}$ ) que se señalan en la tabla 11.3.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 5.5.4 QA/QC de la categoría y verificación

Antes del cálculo de las emisiones directas de  $N_2O$  por  $F_{SN}$  de la subcategoría [3C4], la cantidad de nitrógeno aplicada a los suelos proveniente de los fertilizantes sintéticos fue verificada con los datos del consumo anual de fertilizante en México de la base de datos estadísticos IFADATA para el periodo 1990-2019. En esta verificación se encontró una diferencia promedio anual de 14.41% respecto a la información publicada por IFADATA, por lo que se consideró como una estimación válida que refleja las condiciones nacionales.

El resto de los DA y FE de esta subcategoría siguen los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 5.5.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones de emisiones directas se debe a:

- Actualización de la metodología por la implementación del *Refinamiento* 2019, incluyendo el uso de FE desagregados considerando regímenes de humedad.
- Actualización de la cantidad de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos aplicados en suelos gestionados a partir del cálculo de consumo de fertilizante nacional.
- Nuevas estimaciones de N en pastoreo debido al cambio metodológico de la categoría [3A2].

**Tabla 52: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	23,347.01	21,784.30	21,658.72	22,992.89	23,100.122	23,062.89
INEGYCEI IBA 3	9,502.61	11,160.08	16,698.71	19,076.85	15,411.16	16,809.30
Diferencia (%)	-59.30	-48.77	-22.90	-17.03	-33.29	-27.12

La variación en las estimaciones de las emisiones indirectas se debe a:

- Actualizaciones de los DA por las nuevas estimaciones en las emisiones directas [3C4].
- Actualización de la metodología por la implementación del *Refinamiento* 2019, incluyendo el uso de FE desagregados considerando regímenes de humedad.



**Tabla 53: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO <sub>2</sub> e						
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	6,289.926	5,722.697	5,541.448	5,821.977	7,157.903	6,990.79
INEGYCEI IBA 3	4,240.7	5,053.031	5,736.144	6,523.462	6,454.585	6,715.136
Diferencia (%)	-32.58	-11.70	3.51	12.05	-9.83	-3.94

### 5.5.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Refinamiento de las estimaciones de lixiviación y escorrentía teniendo en cuenta la diferenciación del clima húmedo para el valor de  $FRAC_{LEACH}$ .
- Revisión detallada de los supuestos de uso de los estiércoles en granja en relación con su aplicación al campo y estimación de sus emisiones dentro de estas categorías, si fuera necesario.
- Actualización de los cálculos para incluir las emisiones por mineralización.

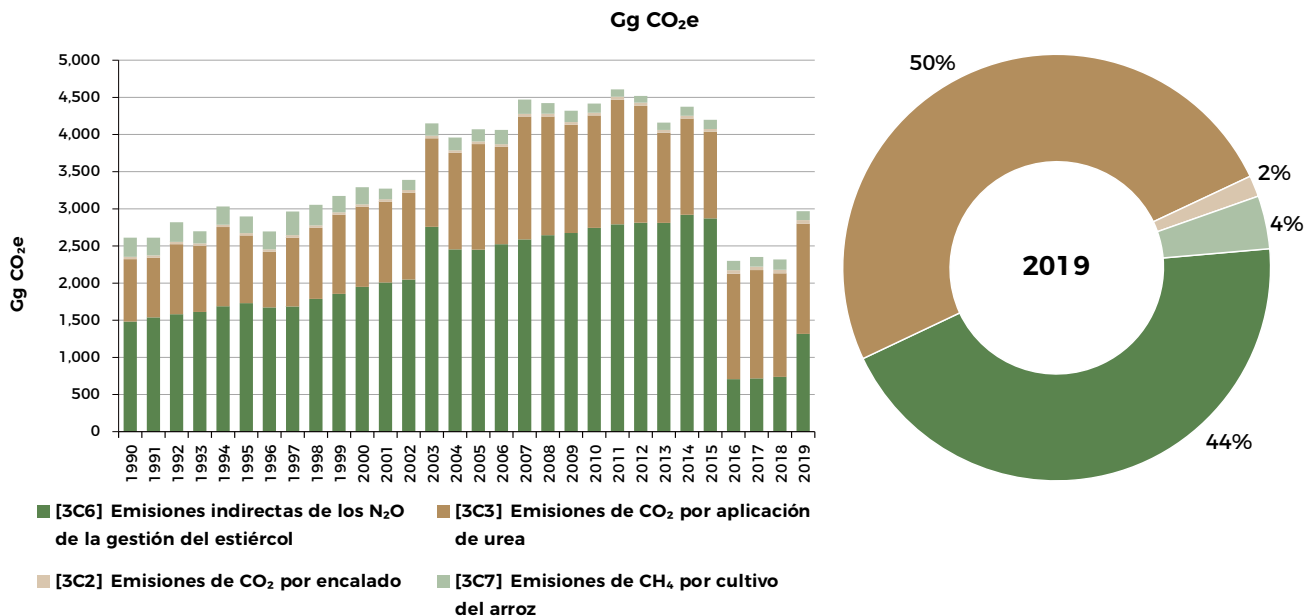
## 5.6 Otras fuentes de emisión [3C2, 3C3, 3C6, 3C7]

### 5.6.1 Descripción de las categorías

En este apartado se incluye la información sobre las subcategorías: [3C2] Emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado, [3C3] Emisiones de CO<sub>2</sub> por aplicación de urea, [3C6] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol y [3C7] Emisiones de CH<sub>4</sub> por cultivo del arroz. Las dos primeras reflejan las emisiones derivadas de agregaciones directas a los suelos gestionados como es el caso de carbonatos en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica (CaCO<sub>3</sub>) o dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) y la incorporación de urea a los suelos durante la fertilización. La tercera, [3C6], se relaciona con la volatilización, escurrimiento y lixiviación del nitrógeno contenido en el estiércol mientras es almacenado y tratado antes de su aplicación al suelo. Y la última, [3C7], considera las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) debidas a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales producida en los suelos por bacterias metanógenas y su transporte del suelo hacia la atmósfera

En 2019, la suma de emisiones de estas cuatro subcategorías alcanzó un total de 2,967.5 Gg CO<sub>2</sub>e (47.4, 1,484.7, 1,316.3 y 119.1 Gg CO<sub>2</sub>e respectivamente), lo que representa un aumento de 13.7% respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 41**. En ésta se puede observar que las subcategorías [3C6] y [3C3] suman el 94.4% del total antes mencionado para estas cuatro fuentes de GEI. En el caso del encalado, [3C2], el incremento en las emisiones durante el periodo 1990-2019 está asociado al aumento de la producción nacional de cal. En el caso de la urea, [3C3], las emisiones presentan un crecimiento constante de 1990-2012, aunque entre los años 2013 y 2015 hubo un decremento asociado a una disminución en su consumo, reemplazado por el uso de fertilizantes basados en amonio. Y en las emisiones por el cultivo del arroz, [3C7], se aprecia una clara tendencia descendente en las emisiones del periodo 1990-2019, asociada con la disminución en la siembra y cosecha del arroz (61.4%-58.6%, respectivamente).

Figura 41: Emisiones de otras fuentes del sector agrícola



## 5.6.2 Metodología

En esta actualización, las emisiones por encalado [3C2] y uso de urea [3C3] se estiman bajo los lineamientos de las *Directrices* 2006 (cap. 11, vol. 4); mientras que para las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol [3C6] y cultivo del arroz [3C7] se aplicaron las metodologías recogidas en el *Refinamiento* 2019 (vol. 4, capítulos 10 y 5 respectivamente). Conforme a los árboles de decisiones correspondientes a cada una de estas subcategorías (Figuras 11.4, 11.5, 10.4 y 5.2, respectivamente) se eligió la metodología nivel 1 como la más adecuada; sin embargo, debido a la disponibilidad de la información, para el ganado bovino de [3C6] se utilizó un enfoque metodológico nivel 2.

Para estimar la subcategoría [3C3], el DA es la cantidad de urea que se utiliza como fertilizante en el país, la cual se estimó como una proporción del consumo de fertilizante anual calculado para la categoría [3C4] (véase apartado 5.1.7.2). Esta proporción se obtuvo a partir del consumo anual de urea reportado por la IFADATA (2019) el cual presentó un consumo promedio anual del 53%.

### 5.6.2.1 Datos de actividad

Como variable de actividad para estimar las emisiones por encalado se procesaron datos de producción nacional de caliza (cal viva, cal hidratada, cal química/siderúrgica) y cal dolomítica, del Banco de Información Económica del INEGI, considerando que solo 2% de la producción nacional de estos minerales se destina a usos agrícolas conforme al juicio de experto de la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL).<sup>29</sup>

Para las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol [3C6], el DA es la cantidad de nitrógeno excretado en cada tipo de manejo, el cual se obtuvo conforme a los insumos descritos en el apartado [3A2] (véase apartado "Gestión de estiércol [3A2]", pág. 97). Se consideraron los mismos tipos de manejo y de especies que para la subcategoría [3A2].

El DA para esta estimación de las emisiones por cultivo del arroz es la superficie cosechada de arroz, que se obtuvo con la información de estadísticas del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)<sup>30</sup> desarrollado por el SIAP (2020a).

<sup>29</sup> Salvador Lee Godínez, (2017). Representante de la ANFACAL, comunicación personal.

<sup>30</sup> <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

La **Tabla 54** muestra la evolución relativa respecto al año base (1990) de los DA de las categorías consideradas en este epígrafe.

**Tabla 54: Datos de actividad de las otras fuentes del sector agrícola**

Categoría	1990	2000	2005	2010	2015	2018	2019	% Variación respecto del año base
Caliza (t)	66,970.6	74,203.0	71,909.0	80,539.5	71,720.1	90,281.2	90,856.2	35.7
Dolomita (t/año)	3,072.6	4,091.1	5,982.7	6,498.1	12,293.2	15,474.7	15,573.3	406.8
Consumo de urea (t/año)	527,520.8	676,156.2	891,663.7	949,821.4	730,461.1	874,311.8	931,279.0	76.5
Arroz-Riego (ha)	40,681.0	33,159.4	29,183.7	26,831.0	31,422.1	35,253.6	32,085.0	-21.1
Arroz -Temporal (ha)	52,396.0	50,909.5	28,295.5	14,916.0	9,215.5	9,896.8	6,433.5	-87.7
Arroz-Total (ha)	93,077.0	84,068.9	57,479.2	41,747.0	40,637.6	45,150.4	38,518.4	-58.6

La tabla anterior muestra una tendencia al alza en los DA relacionados con el encalado en un 51.9% (35.7% para caliza y 406.8% para dolomita) y con la aplicación de urea con un 76.5%. En contraste, se observa una disminución en la cosecha del arroz tanto en prácticas de riego como de temporal con una reducción del 21.1% y 87.7% respectivamente.

### 5.6.2.2 Factores de emisión

Para el encalado, se emplearon los FE de dióxido de carbono por defecto las *Directrices* 2006 para cal y dolomita, equivalentes a los contenidos de carbono de los carbonatos en ambos minerales [12%, en  $\text{CaCO}_3$  y 13%, en  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

Para la aplicación de urea, se usó el FE por defecto de  $\text{CO}_2$  de las *Directrices* 2006 (0.20 t C/t urea).

Para las emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  de la gestión del estiércol, para el nitrógeno de los animales con metodología de nivel 1, se utilizaron los valores por defecto de parámetros y FE señalados en los Cuadros 10.19, 10.22, 10.23 y 11.3 del Refinamiento 2019. Para los animales con metodología nivel 2 (bovino), los FE han sido estimados conforme a lo dictado en el *Refinamiento* 2019, utilizando datos específicos del país para la tasa de excreción de nitrógeno y la fracción de la excreción anual, obtenidos mediante la información de la revisión bibliográfica mencionada en el apartado metodológico de la subcategoría [3A1] Fermentación entérica (véase sección Metodología).

Para el cultivo del arroz, el FE se obtuvo con base en la ecuación 5.2 del *Refinamiento* 2019. Se asignó como base el indicado en el cuadro 5.11 para Sudamérica, junto con el periodo de cultivo indicado para esta región en la tabla 5.11A, bajo el supuesto de presentar un periodo de días de cultivo y un clima a nivel nacional similar a la de esa región. Adicionalmente, se consideraron como factores de ajuste los incluidos en los Cuadros 5.12 y 5.13 referentes al régimen hídrico durante y antes del periodo de cultivo, para las zonas de riego se asignó el factor agregado de emisión de irrigación con inundación continua y para las zonas de temporal el factor agregado para temporal regular; respecto al segundo, se asignó el factor agregado para cultivos sin inundación previa menor a 180 días.

### 5.6.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

Las incertidumbres de los DA fueron los previstos por defecto por el IPCC en las *Directrices* 2006 para todas las subcategorías, con excepción de [3C2] Encalado, el cual fue estimado en 4.95%, mientras que para [3C3] y [3C7] fue de 30% y [3C6] de 20%.

Debido a que todas las subcategorías se estimaron con el nivel 1, excepto [3C6] para bovinos, la incertidumbre de los FE se tomó de los valores por defecto de las *Directrices* 2006 y del *Refinamiento* 2019 según lo indicado en la sección anterior. De esta manera, se tiene una incertidumbre de -50% para los FE de encalado y aplicación de urea, mientras que se utilizaron los valores señalados en los

cuadros 10.19, 10.22, 10.23 y 11.3 para las emisiones de la subcategoría [3C6] y de los cuadros 5.11, 5.11A, 5.12 y 5.12 para [3C7] del *Refinamiento* 2019.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

#### 5.6.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

Los parámetros específicos del país estimados para el nivel 2 del ganado bovino siguieron el mismo procedimiento de verificación que el mencionado en la subcategoría [3A2] (véase apartado “Gestión de estiércol [3A2]”, pág. 97).

#### 5.6.5 Recálculos específicos de la categoría

Para las emisiones de encalado, no se han realizado recálculos.

En la aplicación de urea, se ha actualizado la cantidad suministrada a los suelos gestionados a partir de la proporción de consumo nacional de urea aplicada al cálculo de consumo de fertilizante nacional.

**Tabla 55: Comparación de las estimaciones de emisiones por [3C3] Aplicación de urea del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	436.2	440.0	498.7	409.7	513.3	488.0
INEGYCEI IBA 3	841.0	1,077.9	1,514.2	1,164.5	1,419.3	1,457.2
Diferencia (%)	92.8	145.0	203.7	184.2	176.5	198.6

En [3C6] Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol, la variación en las estimaciones se debe a la actualización a la metodología del *Refinamiento* 2019 de la categoría [3A2].

**Tabla 56: Comparación de las estimaciones por [3C6] Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	522.8	690.2	846.2	913.7	901.2	917.2
INEGYCEI IBA 3	1,481.0	1,948.0	2,742.4	2,872.1	706.6	717.2
Diferencia (%)	183.3	182.2	224.1	214.4	-21.6	-21.8

Con respecto al cultivo del arroz, la variación en las estimaciones se debe a actualización a la metodología del *Refinamiento* 2019, incluyendo el uso de factores de ajuste por regímenes hídricos más adecuados a las condiciones hídricas y de cultivo nacional.

**Tabla 57: Comparación de las estimaciones por [3C7] Cultivo del arroz del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017
INEGYCEI IBA 2	338.0	241.7	152.3	164.8	172.1	174.5
INEGYCEI IBA 3	258.2	230.3	122.7	123.7	127.2	128.1
Diferencia (%)	-23.6	-4.7	-19.4	-24.9	-26.1	-26.6

### 5.6.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Para las Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol [3C6], se planea la siguiente mejora:

- ◉ Implementación del enfoque de nivel 2 para el ganado porcino en línea con las estimaciones de la categoría [3A2].

No se prevén planes de mejora a corto plazo para el resto de las categorías.

## 5.7 Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, UTCUTS

En este informe, las estimaciones del subsector UTCUTS consideran las emisiones y sumideros de las categorías de las *Directrices* 2006 de [3B] Tierra y [3D] Otros. Las estimaciones de [3D1] se deben a los productos de madera recolectada (PMR)<sup>31</sup> y cubren el periodo 1990-2019. Sin embargo, las estimaciones para [3B] Tierra sólo contemplan el periodo 2000-2019 debido a que, no se dispone de imágenes satelitales anteriores al año 2000. Para que las comparativas tengan sentido, dado que la categoría [3B] Tierra es mucho más significativa en términos de emisiones y sumideros que los PMR, se informará de los cambios entre 2000 y 2019 en lugar de entre 1990 y 2019 como en el resto de los sectores.

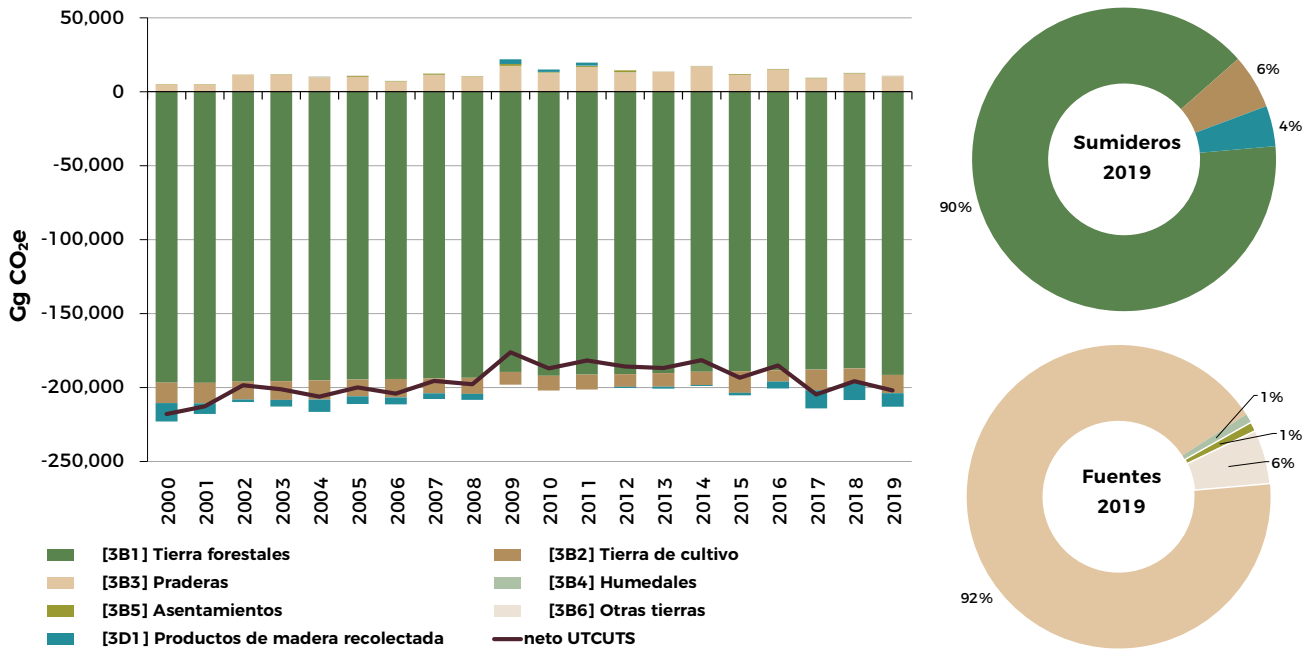
### 5.7.1 Visión general de UTCUTS

UTCUTS es un sumidero neto en todos los años. En 2019 representó un sumidero de 27% de las emisiones totales del INEGYCEI (con UTCUTS). Las absorciones en 2019 cambiaron 4% respecto a 2018 y disminuyeron un 6 % respecto a 2000, alcanzando 192.75 Gg CO<sub>2</sub>e.

En la **Figura 42** se presentan las emisiones y sumideros en CO<sub>2</sub>e de UTCUTS con desglose por uso del suelo. En la **Figura 43** se presenta la misma información sin [3B1] Tierras forestales (dominante en los sumideros) para poder apreciar el comportamiento del resto de usos del suelo. La mayor parte de las emisiones provienen de la pérdida de la biomasa aérea de las tierras forestales principalmente hacia praderas. Mientras que las absorciones de CO<sub>2</sub> estimadas en UTCUTS proceden principalmente de la permanencia de las tierras forestales.

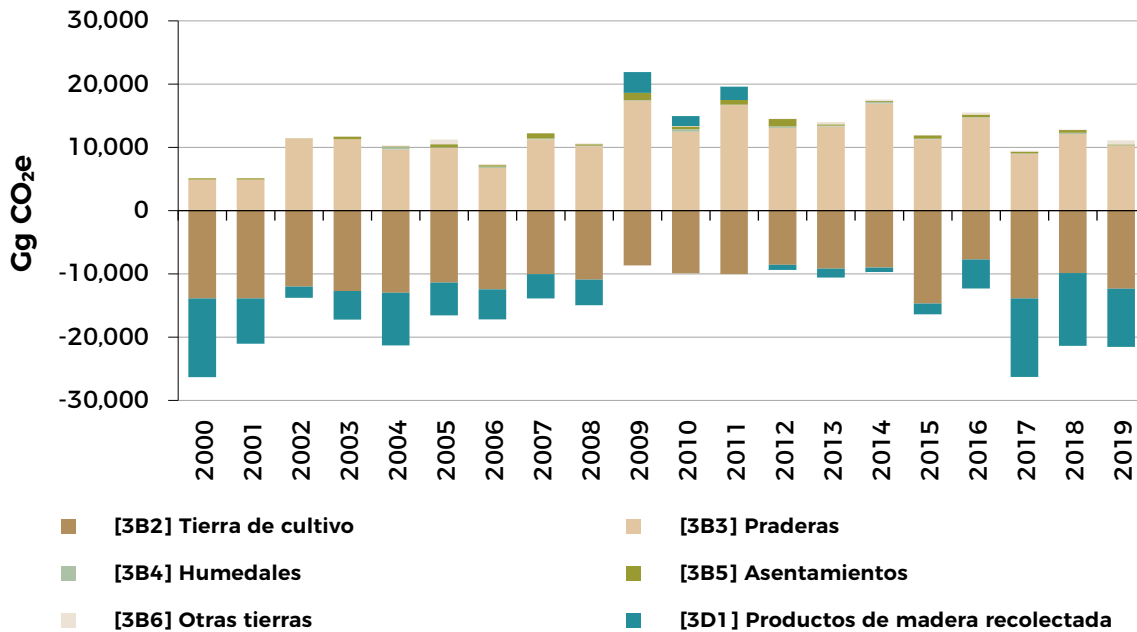
<sup>31</sup> En inglés, HWP, por *Harvested Wood Products*.

**Figura 42: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e del subsector UTCUTS**



Nota: La línea marca las emisiones netas de UTCUTS.

**Figura 43: Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>e de UTCUTS sin [3B1] Tierras forestales**



La evolución de las emisiones se puede observar en la **Figura 43**, en donde las emisiones provienen del cambio de tierras forestales a praderas (95%), principalmente hacia praderas inducidas. La segunda fuente de emisiones deriva de las conversiones a tierras de cultivo y finalmente los productos de la madera recolectada. Las categorías clave identificadas para el año 2019, establecidas de acuerdo con el método 1, son: Tierras forestales (19.93%), Tierras de cultivo (1.29%) y Praderas (1.07%).

## 5.7.2 Definiciones de UTCUTS

Las definiciones adoptadas por el INEGYCEI para las categorías de uso de la tierra, coherentes con las definiciones de las *Directrices* 2006 se muestran en la **Tabla 58**.

**Tabla 58: Definiciones de las categorías de uso de la tierra de UTCUTS**

Uso del suelo*	Definición
Tierras forestales (FL)	Los terrenos o Tierras forestales con una cobertura de dosel superior al 10%, con especies leñosas de más de 4 metros de altura o capaces de alcanzar dicha condición <i>in situ</i> , y con una extensión mínima de 1 ha.
Tierras de cultivo (CL)	Los terrenos o tierras destinadas a la agricultura perenne o anual.
Praderas (GL)	Los terrenos o tierras con cobertura de pastizales, praderas naturales o inducidas con especies leñosas y una cobertura de dosel menor al 10%.
Humedales (WL)	Los terrenos o tierras cubiertas de agua. Incluyen presas, piscicultura, acuicultura o cuerpos de agua.
Asentamientos (SL)	Los terrenos o tierras urbanizados, incluyen vivienda, caminos y carreteras.
Otras tierras (OL)	Todos los terrenos descubiertos de vegetación y que no son asentamientos.
Deforestación	La pérdida de cobertura de Bosque con cambio de uso de suelo forestal a no forestal de forma permanente. La deforestación incluye cualquier conjunto de cambios de cualquier tipo de vegetación de tierras forestales a cualquier tipo de uso de suelo y vegetación de tierras no forestales (praderas, agricultura, humedales, asentamientos humanos u otras tierras)
Degradación forestal	La disminución de carbono por pérdida de cobertura de bosque asociada a perturbaciones principalmente antrópicas. La "Degradación forestal absoluta" (DFA), la única contabilizada en este reporte, conlleva la pérdida total de la cobertura de vegetación leñosa a partir de una perturbación que no implica un cambio permanente de uso de suelo forestal a no forestal. Adicionalmente, tras la perturbación, no se evidencia recuperación alguna. La degradación forestal como pérdida parcial, se encuentra implícita en el FE de permanencia de tierras forestales de cada ecorregión, dado que el FE incorpora el comportamiento de la vegetación de una región en un periodo.

\* Siglas en inglés: FL= *Forest Lands*; CL= *Croplands*; GL= *Grass Lands*; WL= *Wetlands*; SL= *Settlement Lands*, y OL= *Other Lands*

## 5.7.3 Enfoques para representar superficies, y bases de datos de USCUTS

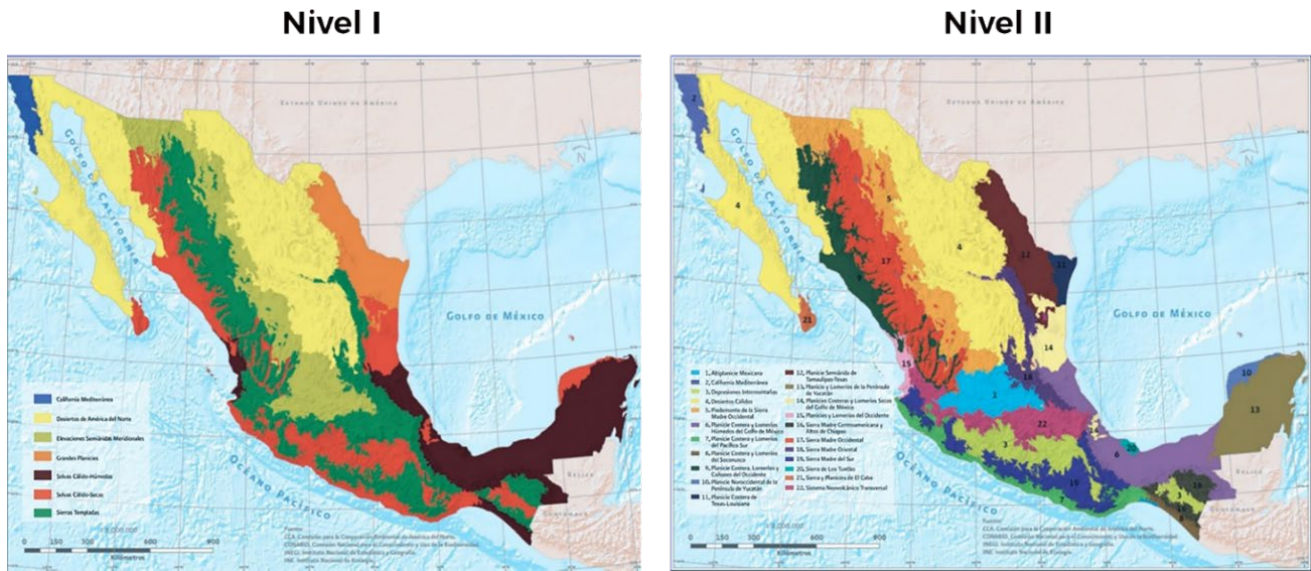
Las emisiones se calcularon por el método de diferencias de existencias de carbono de las tierras forestales de México por cada año durante el periodo de análisis, mediante las ecuaciones propuestas en las *Directrices* 2006. En esta sección se describen los pasos generales del enfoque metodológico.

El área de contabilidad (escala nacional) fue definida en función de la superficie cubierta por las dos principales fuentes de insumos utilizados para estimar las emisiones: el *Inventario Nacional Forestal y de Suelos* (INFYS) y la malla de referencia (enfoque de muestreo sistemático del Sistema SAMOF). Estos instrumentos de acopio de datos sobre las tierras forestales de México tienen una cobertura nacional, una serie temporal histórica consistente y adecuada, así como el mismo diseño de muestreo.

El INFYS y la malla de referencia tienen un diseño sistemático basado en una estratificación que establece tres distanciamientos, según los grandes grupos de vegetación de México: 5x5km para bosques y selvas, 10x10km para comunidades semiáridas y 20x20km para las áridas. Con la finalidad de estratificar las tierras forestales en unidades más homogéneas, se utilizaron las siete ecorregiones terrestres de México —regiones biogeográficas con ecosistemas y fisiografía característicos— para definir subtratados mediante el cruce con los estratos del diseño de muestreo del INFYS (ecorregión x intensidad de muestreo) (ver **Figura 44** y **Figura 45**). Por tanto, la información empleada por México sigue un método 3, "datos de conversión del uso de la tierra explícitos en el espacio", de las *Directrices* 2006.



Figura 44: Ecorregiones de México, niveles I y II



Adicionalmente, el INFYS es un instrumento que colecta datos de campo para estimar las existencias de carbono de los cinco reservorios considerados en la estimación.<sup>32</sup> Estos datos provienen de tres ciclos de muestreo, dos de ellos concluidos (2004-2007 y 2009-2014) y uno en proceso (2015 a la fecha). Los tres ciclos del INFYS mantienen consistencia metodológica en términos del diseño de muestreo, área de las unidades de muestreo y protocolo de levantamiento de datos de campo. Por su parte, la malla de muestreo sistemático del sistema de SAMOF fue construida sobre el mismo diseño de muestreo del INFYS. Esta consistencia metodológica en términos espaciales permitió combinar ambos instrumentos para obtener estimaciones más precisas.

Con estos dos insumos se construyó la “Matriz multitemporal de categorías IPCC” que incluye información desagregada de las 26,220 parcelas consideradas en el INFYS. Estas parcelas están etiquetadas con una clase INEGI y una categoría del IPCC para cada año del periodo 2000-2019, de manera que, en cada parcela, se conoce la evolución de sus categorías IPCC en el periodo de análisis. La matriz es una tabla rectangular de datos en la que las filas contienen el identificador de las 26,220 parcelas muestreadas y en las columnas las clases IPCC de cada parcela para cada año del periodo 2000-2019. La matriz se elaboró en tres etapas:

1	2	3
Se realizó un análisis de fotointerpretación de imágenes satelitales al año 2000 y al año 2019 para identificar la clase INEGI en las 26,220 parcelas localizadas sobre las coordenadas centrales de los conglomerados (CGL) del INFYS y, en caso de que hallarse uno o más cambios de clase INEGI en el periodo, se identificó el año específico de cambio y la clase INEGI anterior y posterior.	A partir de la fotointerpretación, se generó una matriz con 26,220 filas y 18 columnas, llamada “Matriz de multitemporal de clases INEGI”. Las filas correspondieron a cada una de las parcelas muestreadas; en la columna 1 se almacenó el ID de cada parcela muestreada y de la columna 2 a la 18 se almacenó la clase INEGI de cada año para cada parcela.	La “Matriz de multitemporal de clases INEGI” fue agregada para elaborar la “Matriz multitemporal de categorías IPCC” mediante el uso de una tabla de correspondencia entre las clases INEGI y las clases IPCC.

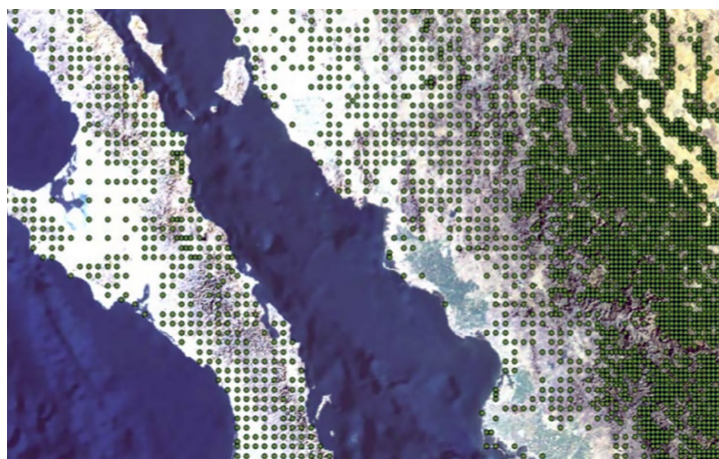
En el territorio nacional se fotointerpretaron 26,220 parcelas colocadas en las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo del INFYS, los cuales están distribuidos sobre una malla sistemática que cubre el país a equidistancias de 5x5, 10x10 y 20x20 km (Figura 45), dependiendo del tipo de vegetación. Las equidistancias entre los CGL del INFYS son de 5x5 km para bosques templados y selvas altas y medianas;

<sup>32</sup> Biomasa aérea, biomasa subterránea, madera muerta, hojarasca y carbono orgánico del suelo.



10x10 km para selvas bajas y ecosistemas semiáridos, y 20x20 km para ecosistemas áridos. Los 26,220 conglomerados del INFYS están distribuidos en todo el territorio continental de México más la isla Cozumel, que cubren una superficie de 194,077,596 ha.

**Figura 45: Patrón de distribución de los CGL del INFYS en tres estratos**  
5x5km, 10x10km y 20x20km



En el proceso de interpretación multitemporal de categorías de cambio de cobertura, se emplearon los insumos descritos en la **Tabla 59**. Específicamente, la evaluación de las parcelas (empleando imágenes satelitales) del presente estudio, se realizó sobre las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo (2009 -2014) del INFYS; en caso de inaccesibilidad se consideró la ubicación de acuerdo con las coordenadas de campo del muestreo (2004-2009); finalmente si en ambas etapas los CGL fueron inaccesibles se consideró la ubicación teórica del CGL de acuerdo con las coordenadas de la malla original.

**Tabla 59: Insumos utilizados en la estimación por el enfoque de muestreo**

Fuente de información	Insumos específicos
Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS).	Coordenadas del sitio 1 de cada conglomerado del INFYS. Composición florística y variables dasométricas de las parcelas de INFYS: familia, género, nombre científico, nombre común, diámetro normal y altura total.
Repositorios de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución.	Bing Maps, Yandex Maps, Google Earth Engine, Code Editor y Google Earth Engine Explorer.
Otros insumos.	Gráfica anual del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Series temporales de "Tipos de uso del suelo y de vegetación" desarrollada por el Instituto Nacional Estadística y Geografía (INEGI).

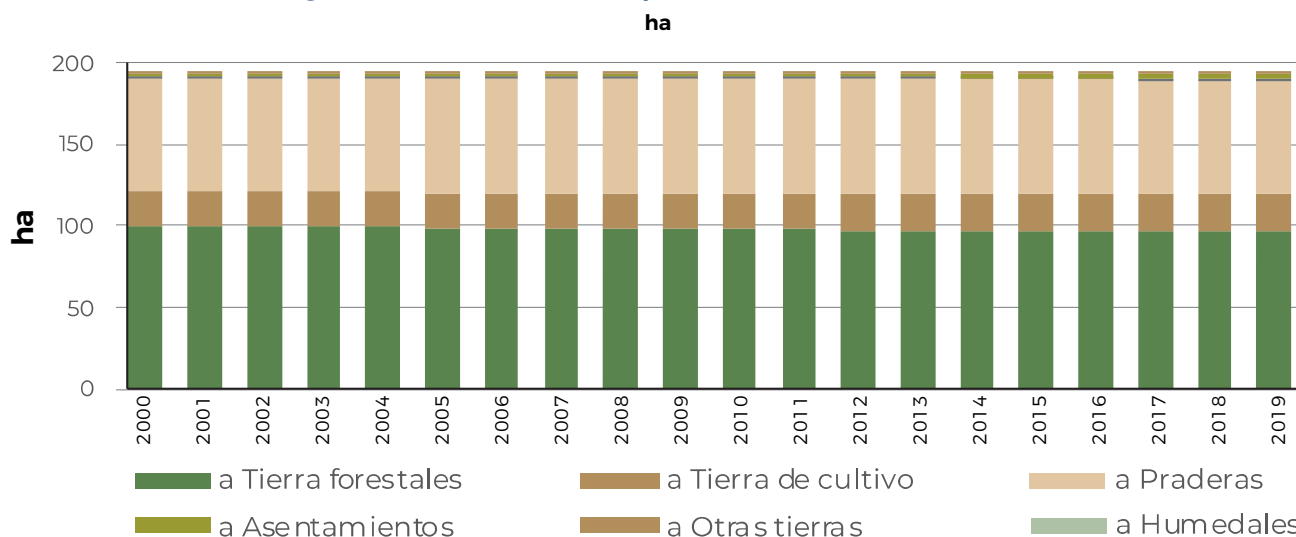
Con estos insumos es posible hacer un monitoreo del estado de los usos de la tierra para cada año y su dinámica interanual; toda vez que, mediante el enfoque de muestreo, pueden estimarse las superficies y los cambios en ellas según las *Directrices* 2006.

Las superficies anuales de los usos y cobertura de la tierra se obtuvieron mediante la estimación de superficies por medio de proporciones. De acuerdo con las *Directrices* 2006, para aplicar este enfoque primero se debe conocer la superficie total del área de análisis o "área de contabilidad". Con esta información es posible estimar las superficies de las diferentes categorías de uso de la tierra basándose en las evaluaciones de las proporciones de superficie. Cuando se aplica este método, se cubre la superficie de análisis por un determinado número de puntos de muestra y se determina el uso de la tierra para cada punto. Posteriormente, se calcula la proporción de cada categoría de uso de la tierra dividiendo la cantidad de puntos localizados en la categoría específica entre el número total de puntos muestreados. Las estimaciones de superficie para cada categoría de uso de la tierra se obtienen multiplicando la proporción de cada categoría por la superficie total.

### 5.7.3.1 Resultados obtenidos

En la **Figura 46** se muestran las superficies por uso diferenciando las áreas que permanecen en el uso de las que se encuentran en transición. Las superficies en transición son el valor acumulado de los cambios anuales entre dos usos de los 20 últimos años en línea con los requisitos de estimación de las *Directrices 2006*.

**Figura 46: Evolución de las superficies en cambio de uso**



En la **Tabla 60** se muestra la síntesis temporal de la evolución de las superficies por uso del suelo.

**Tabla 60: Superficie de los usos de la tierra por año**

Millones de ha

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Total México</b>	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82
<b>FL</b>	99.74	99.66	99.49	99.27	99.15	98.96	98.85	98.64	98.44	98.17	97.93	97.63	97.4	97.13	96.85	96.68	96.37	96.24	96.65	96.4
<b>FLr</b>	99.74	99.66	99.49	99.27	99.15	98.96	98.85	98.64	98.44	98.17	97.93	97.63	97.4	97.13	96.85	96.65	96.37	96.24	95.99	96.4
<b>FLc</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0.65
<b>CL</b>	21.33	21.33	21.38	21.41	21.43	21.48	21.5	21.57	21.67	21.87	21.92	22.07	22.23	22.39	22.6	22.66	22.87	23.01	23.16	23.2
<b>CLr</b>	21.33	21.32	21.33	21.35	21.4	21.41	21.43	21.46	21.54	21.62	21.81	21.8	22.06	22.23	22.32	22.56	22.58	22.82	22.94	23.1
<b>CLc</b>	0	0.01	0.05	0.06	0.04	0.08	0.07	0.11	0.13	0.26	0.11	0.27	0.17	0.16	0.28	0.1	0.29	0.18	0.21	0.0
<b>GL</b>	68.97	69.04	69.16	69.32	69.36	69.47	69.48	69.57	69.65	69.67	69.83	69.93	69.91	70.01	70.04	70.14	70.18	70.13	69.56	69.6
<b>GLr</b>	68.97	68.97	69.02	69.16	69.26	69.34	69.41	69.43	69.52	69.47	69.62	69.62	69.76	69.82	69.85	69.95	69.95	70.03	69.44	69.5
<b>GLc</b>	0	0.07	0.14	0.16	0.11	0.13	0.07	0.15	0.13	0.2	0.21	0.31	0.15	0.19	0.19	0.18	0.23	0.1	0.13	0.1
<b>WL</b>	1.35	1.35	1.35	1.35	1.4	1.4	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.4
<b>WLr</b>	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.4	1.4	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.4
<b>Wlc</b>	0	0	0	0	0.05	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
<b>SL</b>	1.73	1.74	1.75	1.77	1.78	1.8	1.85	1.91	1.93	1.99	2.01	2.07	2.14	2.15	2.18	2.2	2.23	2.26	2.27	2.2
<b>SLr</b>	1.73	1.73	1.74	1.75	1.77	1.78	1.8	1.85	1.91	1.93	1.99	2.01	2.07	2.14	2.15	2.18	2.2	2.23	2.26	2.2
<b>SLc</b>	0	0.01	0	0.02	0.01	0.02	0.05	0.06	0.01	0.06	0.02	0.06	0.08	0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.01	0
<b>OL</b>	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.72	1.71	1.75	1.75	1.75	1.7
<b>OLr</b>	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.75	1.75	1.7
<b>OLc</b>	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0.04	0	0	0.0

FL= (forest lands) tierras forestales; CL= (crop lands) tierras de cultivo; CL= (grass lands) praderas; WL= (wet lands) humedales; SL= (settlement lands) asentamientos; OL= (other lands) otras tierras; r= (remain) que permanecen; c= (change) que cambian.

En las siguientes secciones se describe el proceso general empleado en la fotointerpretación de las parcelas muestreadas y los pasos empleados para la integración de la “Matriz de Multitemporal de Clases INEGI” y la “Matriz de Multitemporal de Categorías IPCC”.

Los elementos estadísticos bajo este diseño de muestreo permiten estimar la confiabilidad del inventario e intensificar el muestreo en zonas con mayor dinámica de cambio y con estructuras vegetativas más complejas (SEMARNAT *et al.*, 2004). El INFYS fue diseñado con la asesoría de expertos nacionales e internacionales sobre inventarios forestales, tal como se describe en el documento estratégico rector del INFYS (SEMARNAT *et al.*, 2004). En este documento no se especifica el error permisible, ni los datos a priori usados para el diseño de la muestra, ni su representatividad. Sin embargo, los errores de muestreo de diferentes estimadores de variables nacionales dasométricas, calculados con el total de los datos de los CGL del INFYS con valores que oscilan entre 2% y 4%.

Considerando los errores de muestreo que se han obtenido con los datos del INFYS para algunas variables dasométricas y la distribución espacial de los CGL, es razonable suponer que el tamaño de muestra del INFYS y la superficie muestreada son adecuados para obtener estimaciones precisas.

La identificación de la clase INEGI (empleando imágenes satelitales) para el año 2019, 2000 y sus cambios, se realizó en parcelas ubicadas sobre las coordenadas centrales de los CGL del remuestreo (2009-2014) del INFYS; en caso de inaccesibilidad se consideró la ubicación de acuerdo con las coordenadas de campo del muestreo (2004-2009); finalmente si en ambas etapas los CGL fueron inaccesibles se consideró la ubicación teórica del CGL de acuerdo con las coordenadas de la malla original.

El número total de parcelas evaluadas fue de 26,220 que corresponden a la totalidad de los CGL del INFYS (CONAFOR, 2012, 2018). Cada parcela fotointerpretada tuvo una superficie de 1 ha (100x100 m) con centro en las coordenadas del sitio 1 de los CGL del remuestreo del INFYS. A su vez, dentro de cada parcela se distribuyeron 25 puntos equidistantes de manera sistemática, separados 20 m. Con base en esta referencia, el intérprete contabilizó los puntos que intersectaron con cada elemento, usándolos como guía para evaluar el porcentaje de cobertura de cada elemento dentro de la parcela. Los criterios para determinar el tipo de uso de suelo se pueden consultar en el documento “Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestro”.

La identificación de la clase del INEGI en el año 2000 para cada parcela analizada se determinó siguiendo los siguientes pasos:

- 1 Cuando **no** ocurrió un cambio de clase se asignó la clase INEGI del año 2019 al año 2000. Esta evaluación se realizó mediante una comparación multitemporal 2000-2019 de cada banda y combinación de bandas de imágenes Landsat. Si no hubo cambios significativos en las combinaciones de bandas, entonces se asumió que la clase (dominante) del año 2019 se mantuvo constante al año 2000. Por lo tanto, para identificar la clase al año 2000 se procedió a:
  - a) Identificar en el año 2019 las clases INEGI presentes en la parcela analizada con base en imágenes de muy alta y alta resolución;
  - b) posteriormente, al año 2019 se infirieron las clases INEGI identificadas sobre una imagen Landsat 2019 con base en la caracterización de la imagen de alta y muy alta resolución obtenida en el punto anterior, y
  - c) finalmente, se infirió la clase INEGI al año 2000 a través de una comparación multitemporal de los píxeles y combinaciones de bandas de las imágenes Landsat 2019 y las del año 2000.
- 2 Cuando **sí** ocurrió un cambio de clase a nivel de parcela en el periodo de análisis, se identificó la clase INEGI en la parcela en el año 2000 con base en el análisis de las imágenes Landsat del año 2000 y la interpretación de la clase del año base (2018). Estos casos se identificaron a través de una comparación multitemporal 2000-2018 de cada banda y combinación de bandas de las imágenes Landsat. Con este análisis se determinó que, si en el periodo de análisis hubo cambios significativos en las combinaciones de bandas, entonces se asumió que se presentó un cambio de clase.

Una vez obtenidas las clases IPCC del año 2000, 2018 y de los diferentes eventos de cambio, fue posible identificar las parcelas que permanecieron con el mismo tipo de clase y las que presentaron cambio, así como su respectiva dirección de cambio. Las parcelas con el mismo tipo de clase IPCC entre el año 2000 y el 2018 fueron etiquetadas como “permanencias”, mientras que aquellas que presentaron

diferente clase IPCC entre 2000 y 2018 se etiquetaron como “cambios”. De manera particular se consideraron como deforestación las siguientes transiciones: “tierra forestal a pradera”, “tierra forestal a agricultura”, “tierra forestal a asentamiento humano”, “tierra forestal a cuerpo de agua” y “tierra forestal a otras tierras”.

Con base en los criterios descritos en el párrafo anterior, se desarrolló una matriz en la que, para cada parcela, se registró la evolución de la clase IPCC de manera anual desde el año 2000 hasta 2019. La matriz se dividió en ecorregiones y equidistancias de muestreo (5x5, 10x10 y 20x20), para cada uno de estos bloques. La matriz de evolución de clases IPCC se agregó a nivel de cada una de las transiciones IPCC y equidistancia de todos periodos de análisis. De esta manera se generó una nueva base de datos en la que se contabilizó el número total de parcelas deforestadas en cada uno de los periodos de análisis y para todas las transiciones IPCC y equidistancias, que fue la base para realizar las estimaciones de las superficies y sus incertidumbres.

En el cap. 3 del vol. 4 de las *Directrices* 2006, se indica que es posible estimar superficies y cambios mediante un enfoque de proporciones basado en un muestreo de parcelas. Por lo tanto, para estimar el área de cambio es necesario obtener la proporción de las parcelas de cambio con respecto al número de parcelas muestreadas en un estrato específico, ponderado por el área total del estrato específico.

Los resultados de las tasas de deforestación fueron producidos de manera anual.

### 5.7.4 Síntesis metodológica

Las emisiones y absorciones fueron calculadas con base en las diferencias anuales de las existencias de carbono (csc) para cada depósito y uso de suelo.

El procedimiento, los insumos y las actividades para la estimación de emisiones/absorciones se resumen de la siguiente manera:

- 1 Mediante la implementación del enfoque de muestreo sistemático del Sistema SAMOF, cada una de las 26,220 parcelas de la malla de referencia fue etiquetada con una de las seis categorías IPCC en cada año del periodo de análisis: 2000-2019.
- 2 Con los resultados de la fotointerpretación de la malla de referencia, se elaboró una matriz multitemporal de categorías IPCC.
- 3 Se estimaron los contenidos de carbono por área muestreada en cada conglomerado (CGL) con base en la información del primer y segundo ciclo del INFYS (reservorios de BA, BS, MM y mantillo), y con datos generados por la Universidad de Delaware (*Soil Organic Carbon Estimates for 30-cm Depth, in Mexico and the conterminous USA, 1991-2011*) para el carbono orgánico en suelo (cos).
- 4 Las bases de datos de los contenidos de carbono por CGL (t C/ha) se combinaron con la matriz multitemporal de categorías IPCC para generar matrices de contenidos de carbono para cada reservorio.
- 5 Para estimar las existencias anuales de carbono en todo el país, para cada reservorio se implementaron los pasos siguientes:
  - a) Se obtuvieron las cantidades promedio de carbono (t C/ha) (a partir de las matrices de contenidos de carbono), mediante estimadores de razón, en cada sustrato (ecorregión x intensidad de muestreo) usando la matriz multitemporal de categorías IPCC.
  - b) La cantidad promedio de carbono (t C/ha) de cada sustrato se multiplicó por su área para cada año del periodo de análisis, obteniéndose las existencias de carbono anuales (t C) de las diferentes transiciones.
  - c) Las existencias anuales de carbono de cada sustrato (t C) fueron agregadas a nivel de ecorregión (que es el estrato principal de interés) y luego con extensión nacional.
  - d) Las existencias anuales de carbono de cada reservorio del país (t C) se sumaron para obtener las existencias anuales totales (incluidos los cinco reservorios) de carbono de todas las transiciones.

- 6 Los cambios anuales en las existencias de carbono se estimaron mediante la diferencia de dichas existencias correspondientes a cada año del periodo de análisis.

La cobertura de estimación de emisiones y sumideros de UTCUTS por uso del suelo, depósito<sup>33</sup> y categoría se muestra en la **Tabla 61**.

**Tabla 61: Cobertura de las estimaciones de UTCUTS**

Uso del suelo	Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Madera muerta	Hojarasca	Carbono orgánico del suelo (cos)	Suelos orgánicos	Incendios y quemadas controladas
Tierras forestales (FL)	T2	T2	T2	T2	T2/T1	NO	T2/T1
Tierras de Cultivo (CL)	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	NO	T2/T1
Praderas (GL)	T2	T2	T2/T1	T2/T1	T2/T1	NO	T1
Humedales (WL)	T2	T2	T2	T2	T2/T1		
Asentamientos (SL)	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	NO	T2/T1
Otras tierras (OL)	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	T2/T1	NO	T2/T1
Drenaje y rehumectación y otras prácticas de gestión de suelos orgánicos y minerales-Explotación de turberas							NO
Mineralización del nitrógeno (N) debida a la pérdida de materia orgánica del suelo por cambios en el uso de la tierra en suelos							NO
Productos de madera recolectada (PMR)							T1

Los valores de las existencias de C usados en el INEGYCEI para cada uno de los depósitos y usos del suelo se muestran en la **Tabla 62**.

**Tabla 62: Existencias de carbono en los depósitos de cada uso de la tierra**  
t C/ha

Uso del suelo	Biomasa aérea	Biomasa subterránea	Madera muerta	Hojarasca	Carbono orgánico del suelo (cos)
Tierras forestales (FL)	8.62	2.72	1.54	1.29	0.095
Tierras de cultivo (CL)	0	0	0	0	0
Praderas (GL)	1.46	0.39	0.33	0.67	0.83
Humedales (WL)	0	0	0	0	0
Asentamientos (SL)	0	0	0	0	0
Otras tierras (OL)	0	0	0	0	0

<sup>33</sup> En línea con las *Directrices* 2006 se consideran los siguientes depósitos de carbono: biomasa viva (aérea y subterránea), materia orgánica muerta (madera muerta y hojarasca) y carbono orgánico del suelo. Existe un depósito adicional, los productos de la madera recolectada (HWP), que no se informa por uso del suelo sino en una categoría separada.

## 5.7.5 Tierras forestales (3B1)

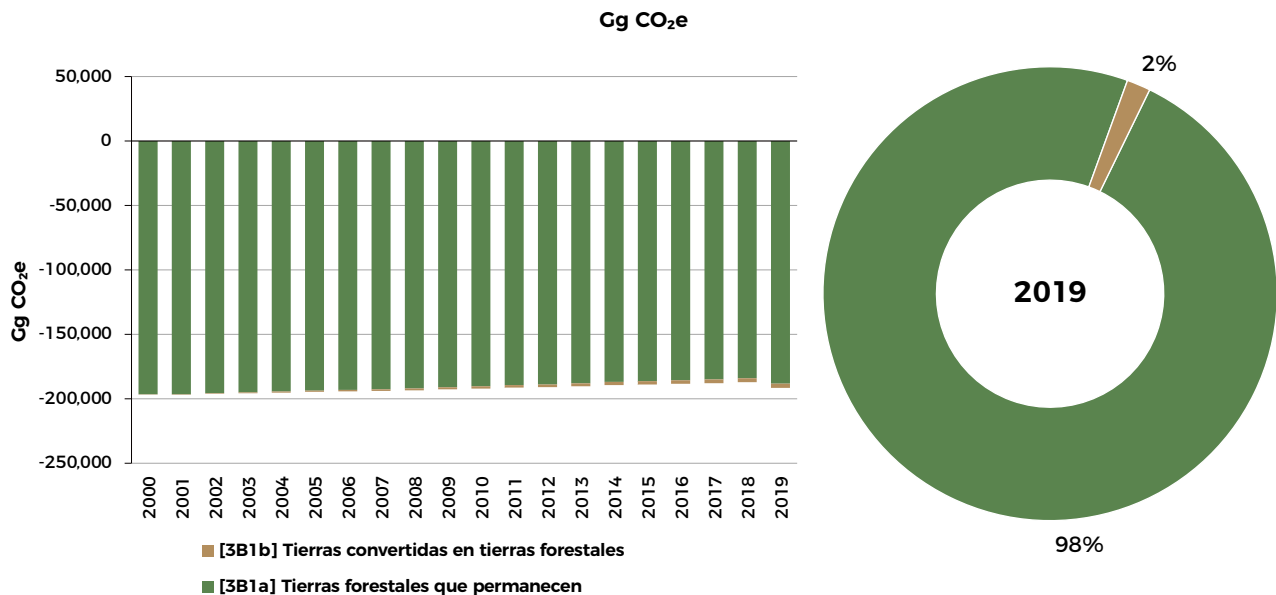
### 5.7.5.1 Descripción de la categoría

Las emisiones en Tierras forestales (TF), incluidos los cinco reservorios de carbono, se calcularon con mediante diferencias de carbono y comparando años consecutivos durante el periodo. A lo largo del periodo se observa pérdida de la superficie hacia Praderas (GL) y, por tanto, de las absorciones.

[3B1] Tierras forestales (categoría clave; ver **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169) es un sumidero que en 2019 alcanzó 191,483.32 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad 3% menor que la del año 2000. El principal sumidero es [3B1a] Tierras forestales que permanecen y, dentro de las conversiones, la principal fuente de emisión se debió al cambio de uso a praderas, especialmente en 2016.

La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 47**.

**Figura 47: Emisiones y absorciones [3B1] Tierras forestales**



### 5.7.5.2 Metodología

La estimación se generó con la información geoespacial sobre la cobertura forestal del país y su dinámica, con mayor resolución espacial y temporal, bajo el enfoque metodológico del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal (SAMOF) de la CONAFOR bajo el enfoque de muestreo sistemático. El muestreo sistemático para evaluar las conversiones de la superficie de tierras forestales en el país toma como base el diseño de muestreo del INFYS para las grandes formaciones forestales presentes en el país: bosques y selvas, comunidades semiáridas y comunidades áridas. El proceso de clasificación de cobertura y uso del suelo de las unidades de muestreo se realiza mediante la interpretación visual aumentada de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución.

Para establecer las emisiones, se contabilizó el carbono posterior al cambio cuando hubo datos disponibles del INFYS. En caso contrario, se asumió la pérdida total del contenido de carbono. Es decir, sí se consideran las absorciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) posteriores a la deforestación o DFA cuando se tuvo información registrada en el INFYS. En el caso del reservorio de carbono orgánico en el suelo, sí se consideraron los datos de existencias de carbono posteriores al cambio que toman en cuenta los factores de cambio del uso de suelo después de la conversión, así como los regímenes de gestión y aportes de materia orgánica, obtenidos del IPCC (2006).

El área de contabilidad (escala nacional) fue definida en función de la superficie cubierta por las dos principales fuentes de insumos utilizados para estimar las emisiones: el INFYS y la malla de referencia (enfoque de muestreo sistemático del Sistema SAMOF). Estos instrumentos de acopio de datos sobre las

tierras forestales de México tienen una cobertura nacional, una serie temporal histórica consistente y adecuada, así como el mismo diseño de muestreo.

Las existencias anuales de carbono forestal fueron estimadas a nivel de subestrato, para luego ser agregadas al nivel del estrato principal de interés que es la ecorregión terrestre (ecorregiones nivel II). Finalmente, las estimaciones de las existencias de carbono forestal de cada una de las siete ecorregiones fueron agregadas para determinar las existencias anuales de carbono de todas las tierras forestales del país. Los cambios en las existencias de carbono para el reservorio de cos se estimaron con un enfoque diferente, debido al alcance de los insumos disponibles. Para el caso de cos, las existencias se estimaron con datos nacionales (nivel Tier 2, al igual que el resto de los reservorios) pero los cambios en las existencias se estimaron con factores por defecto de acuerdo con la ecuación 2.25 del vol. 4 de las *Directrices* 2006.

Las superficies anuales de los usos y cobertura de la tierra se obtuvieron mediante la estimación de superficies por medio de proporciones. De acuerdo con el IPCC (2006), para aplicar este enfoque primero se debe conocer la superficie total del área de análisis o "área de contabilidad". Con de esta información, es posible estimar las superficies de las diferentes categorías de uso de la tierra basándose en las evaluaciones de las proporciones de superficie. Entonces, las emisiones fueron calculadas con base en las diferencias anuales de las existencias de carbono de todas las tierras forestales de México. El enfoque de diferencia de existencias aplicado se basó en la comparación de los contenidos de carbono en una misma parcela en dos ciclos sucesivos del INFYS.

#### 5.7.5.2.1 Datos de actividad

El DA es la superficie de [3B1a] Tierras forestales que permanecen y las [3B1b] Tierras convertidas en tierras forestales. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado 5.7.3 "Enfoques para representar superficies, y bases de datos de USCUTS".

#### 5.7.5.2.2 Factores de emisión

Los FE fueron estimados a partir de la información de los muestreos y remuestreos del INFYS, en lo que, a partir de datos dasométricos provenientes de las parcelas permanentes, se establecieron los contenidos de carbono para los diferentes reservorios. Los contenidos de carbono se agruparon por ecorregión nivel II; entonces, al detectarse una perturbación en los acervos de carbono se establecía la pérdida de carbono de acuerdo con el año de la transición y ecorregión para establecer el FE. Las Incertidumbres para los FE se realizaron por el método de propagación de errores y las fuentes de información del INFYS abarcan lo largo de la serie temporal por lo que existe coherencia en las series temporal.

La incertidumbre del DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las imágenes satelitales y de interpretación considerados en el SAMOF y se cifra en un 6.02%. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional (la cartografía USCUTS cubre todo el territorio nacional).

#### 5.7.5.3 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica de la que se extrae información está sometida a controles de revisión específicos propios tanto dentro de la propia CONAFOR como del INECC. Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisados, se consideran justificados, se han contrastado con expertos en este campo y son fiel reflejo del comportamiento de esta categoría. Se ha desarrollado un procedimiento de garantía de calidad (QA) de la metodología y resultados por parte de un experto de la UNAM que verificó la validez de la metodología y los cálculos.

#### 5.7.5.4 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de superficies derivada de los mapas de cobertura y de la fuente de información pasando de la información de INEGI a los datos del SAMOF.



- Cambio en la metodología de estimación de FE pasando de FE por tipo de vegetación a nivel nacional a factores por ecorregión.

**Tabla 63: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	-138,429.5		-136,891.2	-136,891.25				
INEGYCEI IBA 3	NE	-196,669.91	-192,086.9	-188,914.9	-188,326.8	-187,899.4	-187,152.1	-191,483.3
Diferencia (%)			41	38				

### 5.7.5.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Implementación de mejoras en los FE con datos locales por ecorregión.
- Revisión de la serie temporal para completar la serie histórica.
- Intensificar el muestreo de los cambios de cobertura.

## 5.7.6 Tierras de cultivo y pastizales [3B2] y [3B3]

### 5.7.6.1 Descripción de la categoría

Esta categoría es clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

[3B2] Tierras de cultivo es un sumidero que en 2019 alcanzó 12,362.5 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad 11% menor que la del año 2000. Por su parte, [3B2] Tierras convertidas en tierras de cultivo es una fuente neta de emisiones que se compensa con el sumidero de [3B2a] Tierras de cultivo que permanecen principalmente por los cultivos perennes.

[3B3] Praderas es una fuente neta de emisiones que en 2019 alcanzó 10,234.2 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad 108% mayor que la del año 2000.

[3B3b] Tierras convertidas en praderas es una fuente neta de emisiones que no se compensa con el sumidero [3B2a] Praderas que permanecen.

La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 48**.

### 5.7.6.2 Metodología

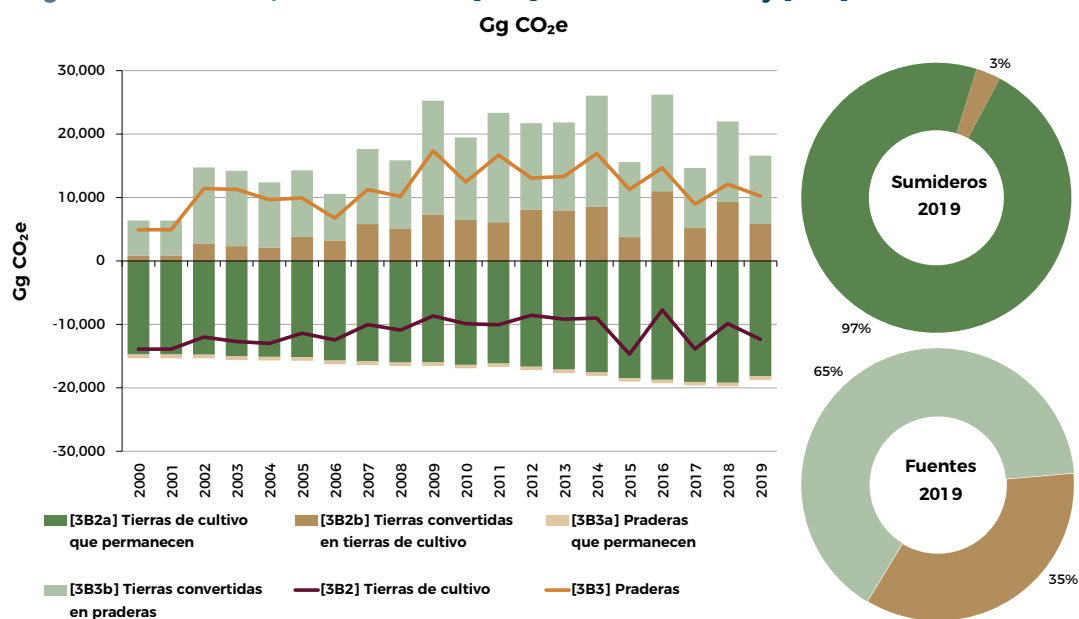
Las superficies de las tierras de cultivo y praderas y sus transiciones se obtuvieron bajo el mismo enfoque metodológico que para tierras forestales: a partir de insumos provenientes del SAMOF de la CONAFOR y agregando la información a nivel ecorregión I. En el caso de las tierras de cultivo se identificaron las de cultivo anual y perenne. En ambas transiciones se aplicó la metodología descrita en las *Directrices* 2006.

#### 5.7.6.2.1 Datos de actividad

El DA es la superficie de tierras de cultivo y praderas que permanecen y en conversión. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado 5.7.3 “Enfoques para representar superficies, y bases de datos de USCUTS”.

En estas transiciones a lo largo de la serie temporal las tierras de cultivo presentaron una pérdida de superficie entre los años 2000 y 2019 mientras que; para el caso de las praderas, la superficie se incrementó más de 200%, siendo esta transición la principal causa de pérdida de tierras forestales.



**Figura 48: Emisiones/absorciones de [3B2] Tierras de cultivo y [3B3] Praderas**

#### 5.7.6.2.2 Factores de emisión

En el caso de las praderas, los FE se estimaron a nivel ecorregión I con información proveniente del INFYS, y el de las tierras de cultivo anuales se aplicaron las consideraciones de las *Directrices* 2006 y se asumió en balance. En lo que respecta a las tierras de cultivo perennes (con cultivos leñosos) los FE se tomaron a partir de literatura científica sobre los incrementos de carbono anual del aguacate, café, cacao, mango, naranja y limón para establecer el FE nacional de los cultivos perennes.<sup>34</sup>

La incertidumbre del DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las imágenes satelitales y de interpretación considerados en el SAMOF y se cifró en 975.73% para las tierras de cultivo y 69.31% para las praderas. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa, ya que la cartografía UTCUTS cubre todo el territorio nacional.

#### 5.7.6.3 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica para esta categoría está sometida a controles de revisión específicos propios tanto dentro de la propia CONAFOR como del INECC. Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados y se han contrastado con expertos en este campo y son fiel reflejo del comportamiento de esta categoría. Se ha desarrollado un procedimiento de garantía de calidad (QA) de la metodología y resultados por parte de un experto de la UNAM que verificó la validez de la metodología y los cálculos.

#### 5.7.6.4 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Actualización de superficies derivado de los mapas de cobertura y de la fuente de información pasando de la información de INEGI a los datos del SAMOF.
- ⊙ Cambio en la metodología de estimación de FE pasando de FE por tipo de vegetación en todo el país a factores por ecorregión nivel I para el caso de las praderas y de estudios locales para las tierras de cultivo.

<sup>34</sup> (CONAFOR, 2012; FAO, 2002; Fernando *et al.*, 2019a; José *et al.*, 2016; Paz & Velázquez y, 2019; Tobías-Baeza *et al.*, 2019).

**Tabla 64: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	-11,664.66	-10,543.72	-8,712.44				
INEGYCEI IBA 3	-8,977.1	2,561.21	-3,424.61	6,949.10	-4,946.31	2,212.37	-2,128.39
Diferencia (%)	23.0	124.2	60.6				

### 5.7.6.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- Implementación de más información en la construcción de los FE para tierras de cultivo.

## 5.7.7 Otros usos de la tierra

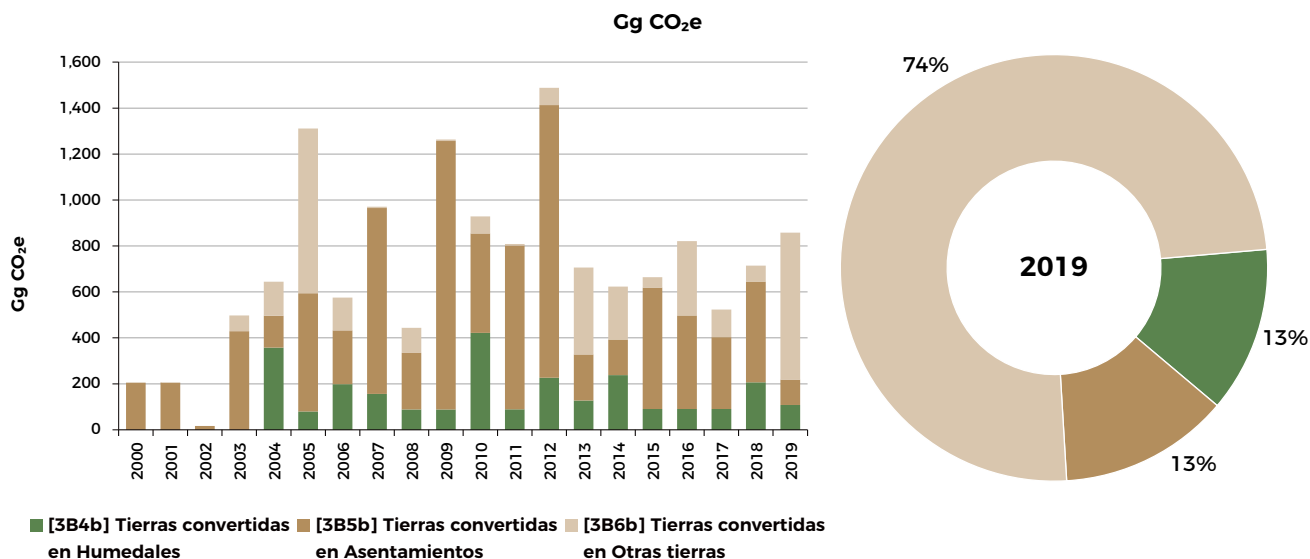
### 5.7.7.1 Descripción de la categoría

En este apartado se incluye la información sobre las categorías: [3B4] Humedales, [3B5] Asentamientos y [3B6] Otras tierras.

Las emisiones de estas tres fuentes durante 2019 fueron: humedales, 107.73 Gg CO<sub>2</sub>e; asentamientos, 110.53 Gg CO<sub>2</sub>e y otras tierras, 639.53 Gg CO<sub>2</sub>e.

La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 49**. Estas emisiones derivan principalmente de cambios de tierras forestales, cultivo y praderas a estas transiciones.

**Figura 49: Emisiones/absorciones de otros usos de la tierra [3B4], [3B5] y [3B6]**



### 5.7.7.2 Metodología

Las superficies de los humedales, asentamientos y otras tierras se obtuvieron bajo el mismo enfoque metodológico que para tierras forestales, con insumos provenientes del SAMOF de la CONAFOR. La información fue agregada a nivel ecorregión I. En todas las permanencias de estas transiciones se consideró la metodología descrita en la *Directrices* 2006.

### 5.7.7.2.1 Datos de actividad

El DA es la superficie de humedales, asentamientos y otras tierras en transición. La fuente de información se ha explicado anteriormente en el apartado 5.7.3 “Enfoques para representar superficies, y bases de datos de USCUTS”.

### 5.7.7.2.2 Factores de emisión

Los FE de transiciones hacia humedales, asentamientos y otras tierras se obtuvieron a partir de los contenidos de carbono de tierras forestales, tierras de cultivo y praderas y para todos los casos se asumió una pérdida inmediata y total de dicho carbono. Mientras que para las permanencias, de acuerdo con las *Directrices* IPCC 2006, se asumió que permanecían en balance.

### 5.7.7.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (superficies) proviene de la evaluación de la variabilidad de las imágenes satelitales y de interpretación considerados en el SAMOF y se fijó en 149.67% para humedales, 72.51% para asentamientos y de 86.92% para otras tierras. La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional (la cartografía UTCUTS cubre todo el territorio nacional).

### 5.7.7.4 QA/QC de la categoría y verificación

La información básica para esta categoría está sometida a controles de revisión específicos propios tanto dentro de la propia CONAFOR como del INECC. Las modificaciones observadas en la tendencia de las emisiones y los recálculos efectuados han sido revisadas y se consideran justificados y se han contrastado con expertos en este campo y son fiel reflejo del comportamiento de esta categoría. Se ha desarrollado un procedimiento de garantía de calidad (QA) de la metodología y resultados por parte de un experto de la UNAM que verificó la validez de la metodología y los cálculos.

### 5.7.7.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de superficies derivado de los mapas de cobertura y de la fuente de información pasando de la información de INEGI a los datos del SAMOF.

**Tabla 65: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**

Gg CO <sub>2</sub> e							
INEGYCEI	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	50.84	858.4	336.5	NE	NE	NE	NE
INEGYCEI IBA 3	204.86	928.92	663.91	820.82	522.69	713.92	857.78
Diferencia (%)	408%	27%	92%				

### 5.7.7.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

No se planean mejoras.

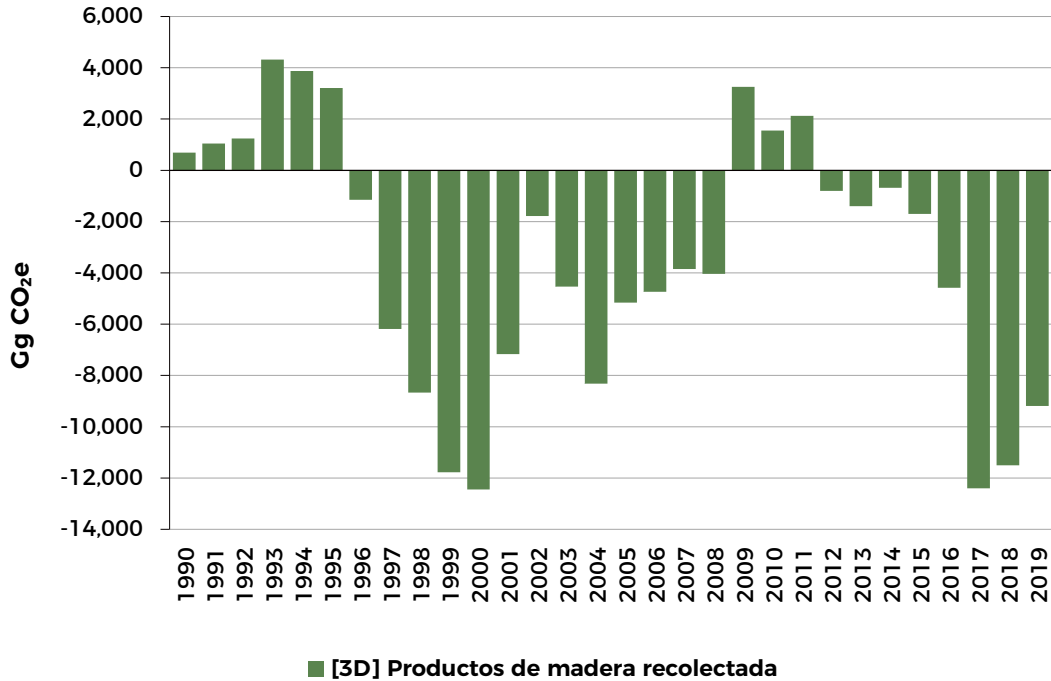
## 5.7.8 Productos de madera recolectada [3D1]

### 5.7.8.1 Descripción de la categoría

Esta categoría es clave (véase **Anexo 1: Categorías clave**, pág. 169).

[3D1] Productos de madera recolectada (PMR), sumidero que en 2019 alcanzó 9,187.04 Gg CO<sub>2</sub>e, en 1990 fue un emisor neto con 693.11 Gg CO<sub>2</sub>e. La evolución de las emisiones netas a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 50**.

**Figura 50: Emisiones/absorciones de [3D1] Productos de madera recolectada**  
Gg CO<sub>2</sub>e



En esta categoría se estiman las emisiones y absorciones de CO<sub>2</sub> de productos de madera como son: en rollo, aserrada, paneles, papel y cartón, pulpa de madera, recuperación de papel, astillas y partículas, carbón de leña y residuos de madera.

### 5.7.8.2 Metodología

La fuente de información fue FAOSTAT (2021) y la metodología descrita en las *Directrices* IPCC 2006 y su *Refinamiento* 2019, que estima las emisiones y absorciones de los cambios en las existencias de carbono depositados en los productos de madera bajo un enfoque de Tier 1.

#### 5.7.8.2.1 Datos de actividad

El DA es la cantidad de madera en productos semifinalizados<sup>35</sup> que entra en el depósito de PMR en cada año. La fuente de información es FAOSTAT. La **Tabla 66** muestra la evolución de las entradas de productos semifinalizados por año.

<sup>35</sup> Madera aserrada, tableros a base de madera y papel y cartón.

**Tabla 66: Datos de productos semifinalizados de la madera**

PMR	1990	2000	2010	2015	2018	2019
<b>Madera aserrada (m<sup>3</sup> de volumen sólido)</b>						
Producción	2,366,000	3,110,000	2,431,000	2,551,000	3,362,000	3,362,000
Importación	439,900	1,500,000	1,483,318	1,764,167	1,897,236	2,141,384
Exportación	132,800	168,200	9,706	11,029	7,894	13,190
<b>Tableros a base de madera (m<sup>3</sup> de volumen sólido)</b>						
Producción	548,000	784,000	772,000	1,042,636	1,042,636	1,042,636
Importación	129,900.00	834,000.00	1,080,007.00	1,413,021.00	1,360,605.00	1,229,845.00
Exportación	2,700	210,300	49,241	29,278	94,407	83,668
<b>Papel y cartón (toneladas métricas)</b>						
Producción	2,873,000	3,865,000	4,704,000	5,316,000	5,956,000	5,805,000
Importación	282,900	2,335,738	2,702,277	3,272,598	4,135,121	3,560,795
Exportación	78,300	204,400	174,707	257,615	404,078	247,771

### 5.7.8.2.2 Factores de emisión

Los parámetros de estimación se toman de los valores por defecto de las tablas 12.1, 12.2 y 12.3 del *Refinamiento 2019* (vol. 4, cap. 12).

**Tabla 67: Parámetros de estimación de las variaciones del depósito de PMR**

	Madera aserrada	Tableros a base de madera	Papel y cartón
Densidad	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	
Fracción de carbono	t C/t m.s.	t C/t m.s.	
Factor de conversión de carbono	Mg C/m <sup>3</sup>	Mg C/m <sup>3</sup>	Mg C/Mg
Vida media	años	años	años

### 5.7.8.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA proviene de la estimación de los propios datos y se cifra en un 50%. La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices 2006* (vol. 4, cap. 10, pág. 37).

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional (cubre todas las industrias del sector).

### 5.7.8.4 QA/QC de la categoría y verificación

La información de base para esta categoría de la que se extrae información está sometida a controles de revisión específicos del INEGYCEI y comparados con las estimaciones internacionales de la propia FAO.

### 5.7.8.5 Recálculos específicos de la categoría

**Tabla 68: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2017)**Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
INEGYCEI IBA 3	693.11	-12,447.45	1,550.11	-1,697.46	-4,582.01	-12,404.69	-11,501.24	-9,187.04

### 5.7.8.6 Mejoras previstas específicas de cada categoría

No se plantean mejoras.

## 5.8 Referencias

### 5.8.1 Agricultura

- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emissions of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955-966. <http://doi.org/10.1029/2000GB001382>
- Burgos, I. D., & Castro, A. (2010). *Degradación anaerobia de los desechos sólidos de un rastro municipal del estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CONADESUCA. (2016). *Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México Zafra 2015\_2016*.
- CONAFOR (2020). Informes de históricos de Incendios Forestales. <https://snigf.cnf.gob.mx/incendios-forestales/>
- CONAFOR. (2017). Incendios forestales. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/incendios-forestales>
- CONAFOR. (2019). Informe final de Incendios Forestales 2019. Recuperado de: <https://snigf.cnf.gob.mx/wp-content/uploads/Incendios/Informes%20anuales/Informe-final-de-Incendios-Forestales-2019.pdf>
- CONAGUA (2019). Reporte Del Clima En México. Reporte anual 2019. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2019.pdf>
- FAO. (2017). Curso: El inventario nacional de GEI para la agricultura.
- Huerta, A., & Olea, R. (2011). *Instrumentos de la política ambiental de importancia para la porcicultura mexicana: Factibilidad y alternativas relevantes para su cumplimiento en el marco de las estrategias en materia de cambio climático*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- IFADATA (2019). International Fertilizer Industry Association. [Database]. Last update of the database: 09/2019. Recuperado de: <http://ifadata.fertilizer.org/ucSearch.aspx>
- INECC-SEMARNAT. (2018). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015*. Instituto Nacional de Ecología Cambio Climático.
- INEGI. (1993). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie II. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2002). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie III. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2007). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie IV. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2011). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie V. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2014). Conjunto Nacional de Uso Actual de Uso del Suelo y Vegetación a escala 1: 250 000, Serie VI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI. (2021a). Anuarios estadísticos estatales. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>
- INEGI. (2021b). Anuarios estadísticos y geográficos estatales. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/publicaciones/>
- INIFAP. (2021). Agendas tecnológicas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inifap/acciones-y-programas/agendas-tecnologicas>
- IPCC (2002). CH<sub>4</sub>, Emissions from Rice Agriculture. In *Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Sass, R. L. (ed.), pp. 399-417. Recuperado de: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4\\_7\\_CH4\\_Rice\\_Agriculture.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/4_7_CH4_Rice_Agriculture.pdf)
- IPCC. (2000). Chapter 4 Agriculture. En: *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.
- IPCC. (2006a). Volume 1, General guidance and reporting. En: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. (2006b). Volume 3, Industrial Processes and Product Use. En: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. (2006c). Volume 4, Agriculture, forestry and other land use. En: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

- IPCC. (2013). *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Editado por Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe y Fabian Wagner. Publicado por IGES para IPCC.
- IPCC. (2019). Volume 4. Agriculture, forestry and other land use. En: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Kauffman J. B., Steele M. D., Cummings D. L., Jaramillo V. J. (2003). Biomass dynamics associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology Management*, 176 (2003) 1-12.
- Levine, J. S. (1994). Biomass Burning and the Production of Greenhouse Gases. En: *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change* (pp. 1-13).
- Lopez, M., Peñaloza, F., & Castro, A. (2012). *Sistema para generar bioenergía a partir de desechos pecuarios en el centro de investigación de la facultad de medicina veterinaria y zootecnia de la UNAM en Chapa de Mota, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) del Gobierno de España. (2019). *Bases zootécnicas para el cálculo del balance alimentario de nitrógeno y de fósforo. Bovino*. Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/baseszootecnicasparaelcalculodelbalancealimentariodenitrogenoyfosforoenovino\\_tcm30-537001.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/ganaderia-y-medio-ambiente/baseszootecnicasparaelcalculodelbalancealimentariodenitrogenoyfosforoenovino_tcm30-537001.pdf)
- Ordóñez, B., & Hernández, T. (2006). *Obtención de factores de emisión nacionales en el sector agrícola para disminuir incertidumbre en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*.
- Ottmar, R.D., Sandberg D. V., Riccardi C. L. y S. J. Prichard. (2007). AAn Overview of the Fuel Characteristic Classification System: Quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning. *Canadian Journal of Forest Research*. 37: pp. 2383-2393.
- Pampillón, L. (2014). *Biodigestores en la ganadería de México: Aprovechamiento de lodos*. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional.
- Pérez, E., Olea, R., & Galván, E. (2012). *Efecto del tiempo de retención hidráulica en la calidad de la biodigestión de excretas porcinas con énfasis en la producción de biogás*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S. L., & Woods, J. (2007). *The Biomass Assessment Handbook*.
- SAGARPA/FIRCO. (2011). *Diagnóstico General de la Situación Actual de los Sistemas de Biodigestión en México*. 35.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2021). Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.
- SIAP. (2020a). Estadística de Producción Agrícola. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Recuperado de: [http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos\\_a.php](http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php)
- SIAP. (2020b). Estadística de Producción Ganadera. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- SIAP. (2021a). Cuadros tabulares de uso de tecnología y servicios en el campo. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/documentos/tecnificacion>
- SIAP. (2021b). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. México: SIAP. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP. (2021c). Uso de fertilizante en la superficie sembrada por entidad federativa 2017. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/tecnologia/Fertilizada.pdf>
- SIAP. (2021d). Uso de fertilizante en la superficie sembrada por entidad federativa 2018. Recuperado de: [http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/tecnologia/Sup\\_Fertilizada\\_2018.xlsx](http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/tecnologia/Sup_Fertilizada_2018.xlsx)
- SIAP. (2021e). Uso de fertilizante en la superficie sembrada por entidad federativa 2019. Recuperado de: <https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/kTLGLipCBEBiEFM/download>
- SIAP-SADER (2020). Inventario Ganadero Nacional del Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762>
- Valdez-Vázquez, I., Acevedo-Benítez, J. A., & Hernández-Santiago, C. (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2147-2153. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.034>

## 5.8.2 UTCUTS

CONAFOR. (2012). Establecimiento de Sistemas Agroforestales.

CONAPO. (2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050.

<https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

FAO. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. In Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 96.

[http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c9-6h5Q4W\\_qU0xBHudD4lqchYyc](http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c9-6h5Q4W_qU0xBHudD4lqchYyc)

FAOSTAT. (2020). Indicadores específicos de México. <https://www.fao.org/faostat/es/#country/138>

Fernando, P., Martín, H., Ramón, S., & Alma, R. (2019a). Estado del Ciclo del Carbono en México, Agenda Azul y Verde.

[http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/EdeICCenM\\_Agenda\\_Azul\\_y\\_Verde\\_1er\\_Reporte\\_Revisado.pdf](http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/EdeICCenM_Agenda_Azul_y_Verde_1er_Reporte_Revisado.pdf)

Fernando, P., Martín, H., Ramón, S., & Alma, R. (2019b). Estado del Ciclo del Carbono en México, Agenda Azul y Verde.

Gallardo Nieto, J. L., Villamar Angula, L., & Barrera Wadgymar, M. A. (2006). Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006. 50.

[http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios de situacin actual y perspectiva/Attachments/14/sitpor06d.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/14/sitpor06d.pdf)

<https://cdm.unfccc.int/Proj>

IPCC. (2006a). Volume 1 General Guidance and Reporting. In N. T. and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K. (Ed.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES.

IPCC. (2014). Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático (AR5). <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/ipcc-en-espanol-publications/>

José, M., Calzada, E., Jorge, M., Narváez, A., & Mayor, O. (2016). Agenda Técnica Argícola.

Lopez, M., Peñaloza, F., & Castro, A. (2012). Sistema para generar bioenergía a partir de desechos pecuarios

Pampillón, L. (2014). Biodigestores en la ganadería de México: Aprovechamiento de lodos. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politecnico Nacional.

Paz, F., & Velázquez y, R. (2019). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en

México: Síntesis a 2019 (F. Paz & R. Velázquez (eds.)). <http://pmcarbono.org/pmc/publicaciones/sintesisn.php>

Tobías-Baeza, A., Salvador Morales, P., Sánchez-Hernández, R., Ruiz-Acosta, S. D. C., Arrieta-Rivera, A., & Andrade-

Prado, H. (2019). Composición florística y carbono en la vegetación arbórea de un área periurbana en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 369. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2009>

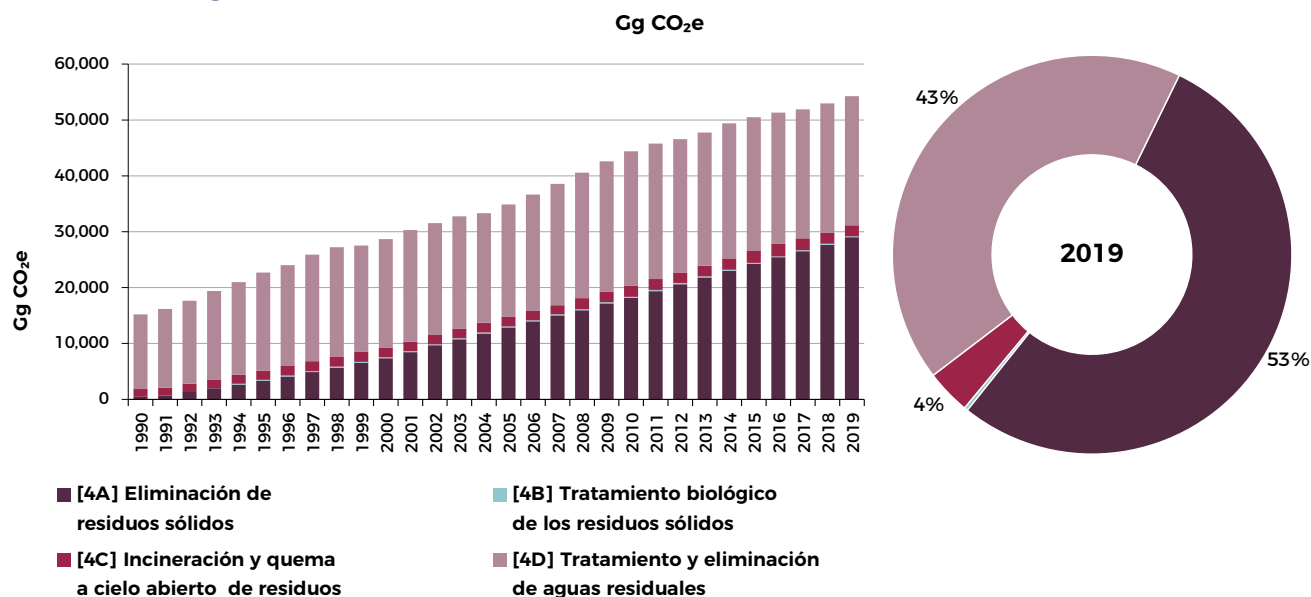


## 6. [4] Residuos

### 6.1 Visión general del sector

Las emisiones de [4] Residuos en 2019 fueron 54,257.55 Gg CO<sub>2</sub>e, cantidad equivalente a 7.37% de las emisiones totales del INEGYCEI (con UTCUTS). Fueron 2.4% mayores que las de 2018 y 256.84% más que las de 1990. En la **Figura 51** se presentan para el periodo de referencia, con desglose por categorías.

**Figura 51: Evolución de las emisiones del sector [4] Residuos, 1990-2019**



El mayor emisor fue [4A] (53.50% de [4]), seguido por [4D] (42.59% de [4]). Ambas categorías están estrechamente ligadas al crecimiento poblacional que, fenómeno que ha provocado el crecimiento exponencial del número de sitios de disposición final (SDF) en algunos municipios, con el fin de eliminar los residuos sólidos urbanos.

Por otro lado, en [4D] se incrementó la cobertura de tratamiento de las aguas residuales municipales, para disminuir la contaminación hecha por las descargas de éstas los cuerpos receptores.

En ambas categorías se han identificado los rellenos sanitarios y las PTAR municipales que aprovechan el biogás generado.

En menor proporción están [4C] con 3.62% y [4B] con 0.29%.

El principal GEI fue el CH<sub>4</sub>, con 50,464.12 Gg CO<sub>2</sub>e (93.01% del sector), generado principalmente en [4A] y [4D]. El segundo GEI más importante fue el N<sub>2</sub>O con 2,755.52 Gg CO<sub>2</sub>e (5.08% de [4]), mayoritariamente emitido por [4D]. El CO<sub>2</sub> provino de [4C], con 1,037.91 GgCO<sub>2</sub>e.

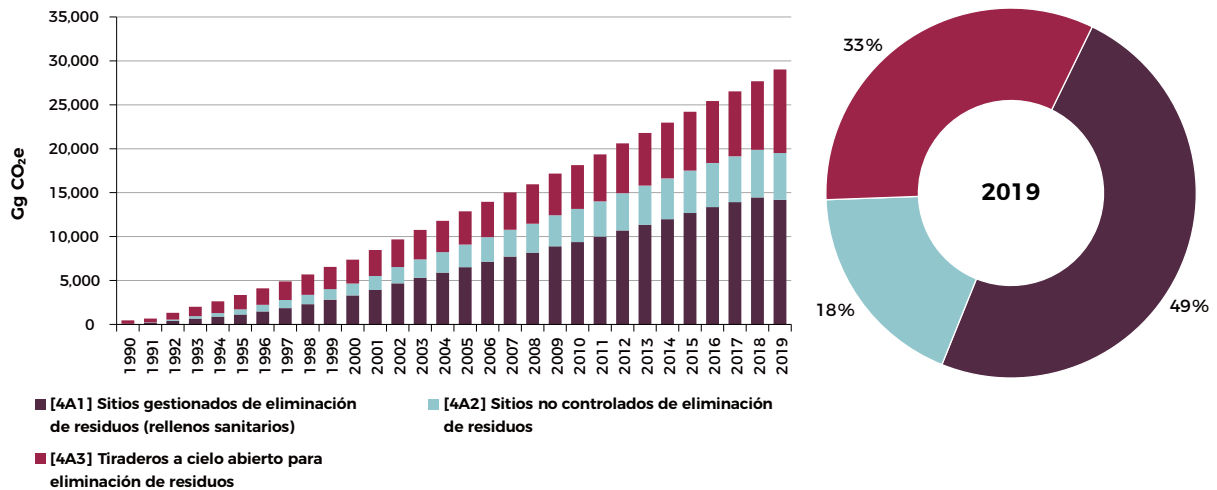
Las categorías clave identificadas para el año 2019 son [4A] y [4D] determinadas por ambos métodos de nivel y tendencia.

## 6.2 Eliminación de residuos sólidos [4A]

### 6.2.1 Descripción de la categoría

En 2019, la eliminación de residuos sólidos contabilizó 29,028.89 Gg CO<sub>2</sub>e y representó 53.50% del sector [4]. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la Figura 52, donde se aprecia que la subcategoría de mayor contribución fue [4A1].

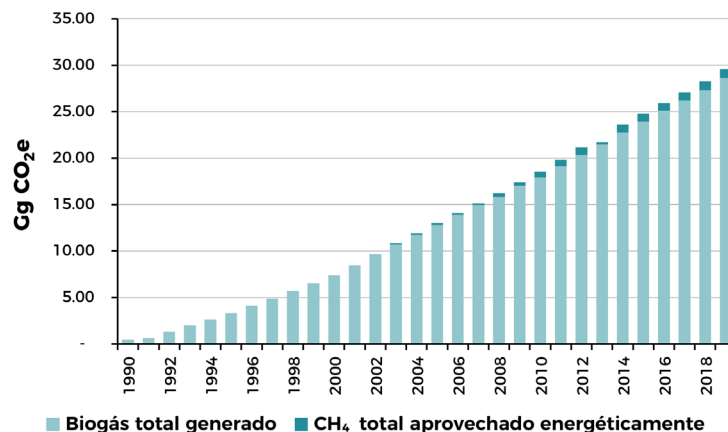
**Figura 52: Emisiones de [4A] Eliminación de residuos sólidos**  
Gg CO<sub>2</sub>e



En 2019, la subcategoría [4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios) tuvo el mayor aporte a [4A], con 48.87%, seguida por [4A3] Tiraderos a cielo abierto para eliminación de residuos, con 32.80%, en tanto que [4A2] Sitios no controlados de eliminación de residuos representó solamente 18.33%. Las emisiones crecieron 63 veces en comparación con las del año 1990, a una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 15.38%. Esta tendencia creciente se relaciona con el 55% de incremento en la población entre 1990 y 2019 (TCMA= 1.5%), que determinó el factor de proyección de los volúmenes de residuos generados y la apertura de nuevos SDF municipales.

Por otro lado, en la presente actualización se realizó una mejora con respecto al reporte anterior y se incluyó información de los SDF que realizan el aprovechamiento energético de la fracción de metano en el biogás producido para la generación de electricidad. En la Figura 53 se presentan los resultados.

**Figura 53: Cantidades de CH<sub>4</sub> generado y aprovechado energéticamente**



## 6.2.2 Metodología

Se utilizó la metodología de las *Directrices* 2006, complementada con algunos aspectos incluidos en el *Refinamiento* 2019. Se hizo un enfoque metodológico Tier 2 con parámetros nacionales de acuerdo a la disponibilidad de información, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 3.1 del cap. 3, vol. 5, de las *Directrices* 2006.

### 6.2.2.1 Datos de actividad

El DA es la cantidad de los diferentes tipos de residuos depositados en los diferentes sistemas de eliminación considerados: [4A1] Rellenos sanitarios gestionados, [4A2] Sitios no controlados y [4A3] Tiraderos a cielo abierto, desde el año 1990.

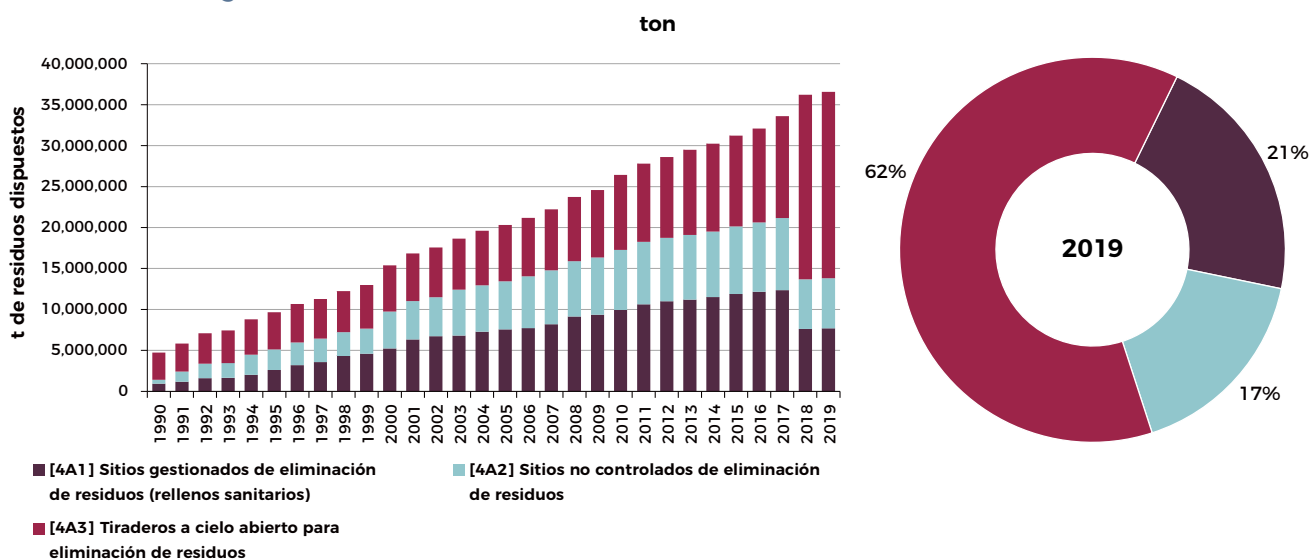
La fuente de información de los datos de residuos depositados es el “Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos” (DBGIR) (SEMARNAT, 2020), el cual se elaboró con base en la información del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales (CNGMD) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019a).

Asimismo, la fuente de información para los datos de composición de los residuos fue la establecida en el DBGIR (SEMARNAT, 2020), considerando seis categorías principales de residuos eliminados por año en el ámbito nacional (INEGI, 2019a).

**Tabla 69: Categorías principales de residuos eliminados en todo el país**

Categoría	Tipo de residuo
Comida	Residuos alimenticios y otros orgánicos.
Jardín	Vegetales, poda, papel higiénico.
Madera y paja	Madera, caucho, piel, huesos y paja.
Pañales	Pañales.
Papel	Papel y cartón.
Textiles	Ropa, trapos, etc.
Otros no identificados	Otros varios.

**Figura 54: Cantidad de residuos eliminados en los diferentes sistemas**



En 2019 se estimó que, en el territorio nacional, el volumen total de disposición de residuos sólidos urbanos en los tres tipos de sitios llegó a 36,569,325 toneladas, cantidad 674% mayor que la de 1990, año en el que, se estima, el número de SDF era de alrededor de 800, mientras que, de acuerdo al DBGIR (SEMARNAT, 2020), en 2019 ascendió a 2,203.

### 6.2.2.2 Parámetros de estimación

Los parámetros empleados en la estimación se obtuvieron de las *Directrices* 2006 y del *Refinamiento* 2019, así como datos del Modelo Mexicano del Biogás 2.0 (MMB) (U.S. EPA & SCS Engineers, 2009).

**Tabla 70: Parámetros empleados en la estimación de las emisiones en [4A]**

Parámetro	Fuente	Descripción/Valores
MCF (factor de corrección de metano).	<i>Refinamiento</i> 2019 (tabla 3.1, cap. 3, vol. 5 (IPCC, 2019c).	Tabla 71.
COD y CODF.	<i>Refinamiento</i> 2019. tabla 3.0, cap. 3, vol. 5.	Tabla 72.
$k$ (tasa de generación de CH <sub>4</sub> ).	MMB (U.S. EPA & SCS Engineers, 2009).	Tabla 73.
Composición de los residuos a nivel estatal.	DBGIR (SEMARNAT, 2020).	Tabla 74.
Fracción de metano en biogás (F).	Juicio de experto.	50% CH <sub>4</sub> y 50% CO <sub>2</sub> (Ver anexo).
Fracción de oxidación (ox).	<i>Refinamiento</i> 2019.	Tabla 3.2, cap. 3, vol. 5.

**Tabla 71: Valores MCF**

Tipo de SDF	MCF
Controlado anaeróbico	1
Bien manejado semi aeróbico	0.5
No gestionado poco profundo	0.4
No gestionado profundo	0.8

**Tabla 72: Valores COD y CODF**

Parámetro	Comida	Jardín	Madera y paja	Pañales	Papel	Textiles
COD	0.15	0.2	0.43	0.24	0.4	0.24
CODF	0.7	0.7	0.1	0.5	0.5	0.5

Tabla 73: Valores de tasas de generación de metano ( $\dot{g}$ )

Estado	$\dot{g}1$ Alimenticios, otros orgánicos y 20% de pañales	$\dot{g}2$ Vegetales, poda, papel higiénico	$\dot{g}3$ Papel, cartón y textiles	$\dot{g}4$ Madera, caucho, piel, huesos y paja.
Aguascalientes	0.160	0.075	0.032	0.016
Baja California	0.100	0.050	0.020	0.010
Baja California Sur	0.100	0.050	0.020	0.010
Campeche	0.300	0.130	0.050	0.025
Chiapas	0.300	0.130	0.050	0.025
Chihuahua	0.100	0.050	0.020	0.010
Coahuila de Zaragoza	0.100	0.050	0.020	0.010
Colima	0.220	0.100	0.040	0.020
Distrito Federal	0.160	0.075	0.032	0.016
Durango	0.100	0.050	0.020	0.010
Guanajuato	0.160	0.075	0.032	0.016
Guerrero	0.220	0.100	0.040	0.020
Hidalgo	0.160	0.075	0.032	0.016
Jalisco	0.220	0.100	0.040	0.020
México	0.160	0.075	0.032	0.016
Michoacán de Ocampo	0.220	0.100	0.040	0.020
Morelos	0.220	0.100	0.040	0.020
Nayarit	0.220	0.100	0.040	0.020
Nuevo León	0.150	0.070	0.030	0.015
Oaxaca	0.220	0.100	0.040	0.020
Puebla	0.160	0.075	0.032	0.016
Querétaro	0.160	0.075	0.032	0.016
Quintana Roo	0.300	0.130	0.050	0.025
San Luis Potosí	0.100	0.050	0.020	0.010
Sinaloa	0.220	0.100	0.040	0.020
Sonora	0.100	0.050	0.020	0.010
Tabasco	0.300	0.130	0.050	0.025
Tamaulipas	0.150	0.070	0.030	0.015
Tlaxcala	0.160	0.075	0.032	0.016
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.300	0.130	0.050	0.025
Yucatán	0.300	0.130	0.050	0.025
Zacatecas	0.100	0.050	0.020	0.010

**Tabla 74: Composición de los residuos por entidad federativa**

Estado	Comida	Jardín	Madera y paja	Pañales	Papel	Textiles	Otros (no identificados)
Aguascalientes	45.1	11.3	0.3	2.8	16.5	0.8	23.2
Baja California	29.8	15.5	0.5	2.4	13.1	4.1	34.7
Baja California Sur	26.2	9.4	1.3	6.5	6.5	4.3	45.9
Campeche	35.6	18.2	2.9	0.3	12.8	2.0	28.2
Chiapas	64.0	0.0	1.4	4.4	0.6	0.0	29.7
Chihuahua	25.0	10.0	0.0	10.0	15.0	0.0	40.0
Coahuila de Zaragoza	34.9	3.9	2.6	0.0	18.5	4.7	35.4
Colima	47.3	0.0	0.0	9.2	8.7	3.3	31.5
Distrito Federal	49.5	0.0	0.5	10.8	9.9	3.6	25.7
Durango	30.7	9.9	1.1	6.4	16.3	5.4	30.2
Guanajuato	25.3	18.3	0.2	6.8	9.4	1.8	38.3
Guerrero	25.7	27.4	0.9	3.5	15.8	0.9	25.8
Hidalgo	32.8	6.6	0.0	10.4	13.4	1.5	35.2
Jalisco	65.8	2.2	0.0	0.0	7.5	0.8	23.8
México	37.1	8.7	0.5	9.7	2.9	2.1	38.9
Michoacán de Ocampo	30.0	10.0	10.0	5.0	15.0	0.0	30.0
Morelos	50.9	4.9	0.4	10.5	8.0	2.4	22.9
Nayarit	53.8	3.3	0.5	6.0	12.3	1.0	23.1
Nuevo León	58.6	3.3	0.2	3.1	14.0	2.3	18.6
Oaxaca	35.6	10.4	0.2	14.3	3.1	1.7	34.7
Puebla	61.3	0.7	0.4	0.0	15.5	2.9	19.3
Querétaro	33.4	10.4	0.9	4.3	14.3	2.7	34.1
Quintana Roo	42.1	0.0	0.0	6.9	7.9	4.9	38.4
San Luis Potosí	30.7	9.9	1.1	6.4	16.3	5.4	30.2
Sinaloa	23.5	23.8	1.8	0.4	20.7	3.0	26.8
Sonora	46.0	8.6	0.7	7.4	13.2	3.9	20.2
Tabasco	30.6	18.2	2.9	1.3	12.8	2.0	32.2
Tamaulipas	56.0	0.0	1.0	0.0	18.0	2.0	23.0
Tlaxcala	35.8	13.7	0.5	3.1	12.8	1.2	32.9
Veracruz de Ignacio de la Llave	42.7	10.9	1.0	2.5	6.8	1.0	35.1
Yucatán	32.0	2.0	0.0	10.0	1.5	1.0	53.5
Zacatecas	53.0	15.0	0.0	17.0	2.0	2.0	11.0

### 6.2.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (datos de residuos y su composición) proviene del Cuadro 3.5, cap. 3, vol. 5 de las *Directrices* 2006, y se cifra en un 30%. La incertidumbre de los FE se toma de las *Directrices* 2006 (vol. 3, cap. 5, tablas 3.5), siendo 3.00% la incertidumbre para CH<sub>4</sub> en [4A].

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 6.2.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

## 6.2.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- ⊙ Actualización de la cantidad de residuos eliminados en sitios de disposición final en el periodo 1990 a 2019.
- ⊙ Actualización de la composición de los residuos sólidos para cada entidad federativa.
- ⊙ Actualización de la infraestructura y las características de manejo de los SDF para su clasificación y asignación del factor de corrección de metano.
- ⊙ Actualización de la cantidad de biogás generado e inclusión del metano aprovechado energéticamente para el periodo 2015-2019.

**Tabla 75: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO <sub>2</sub> e								
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	129.67	5,091.46	15,640.21	21,920.61				
INEGYCEI IBA 3	457.90	7,373.82	18,142.28	24,213.32	25,422.40	26,522.69	27,680.92	29,028.89
Diferencia (%)	253%	45%	16%	10%				

## 6.2.6 Mejoras previstas específicas de la categoría

Se planean las siguientes mejoras:

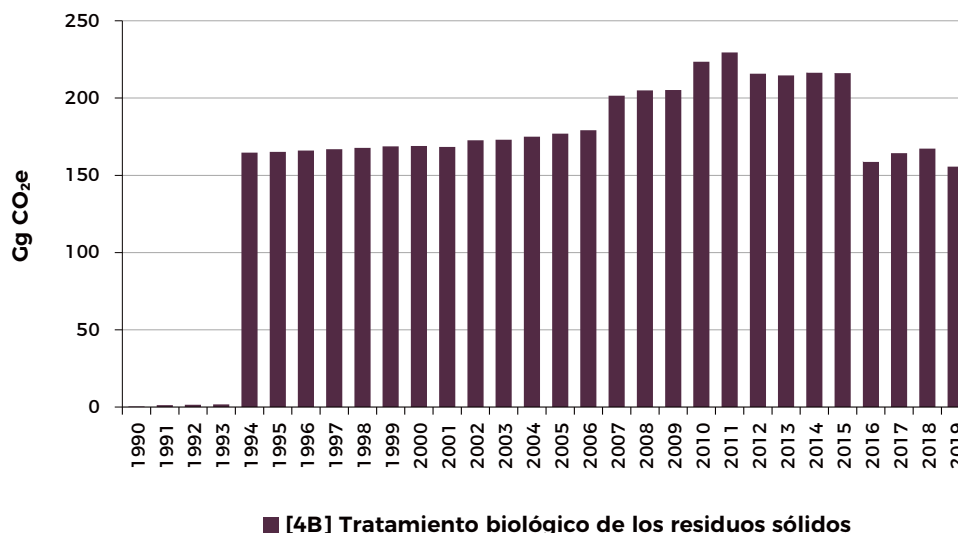
- ⊙ Mejora de la construcción de la serie histórica antes del periodo 1990-2013.
- ⊙ Mejora de los datos sobre lodos y residuos industriales eliminados para todo el periodo inventariado con el fin de completar el objetivo de exhaustividad.
- ⊙ Mejora de los datos de residuos eliminados y reportados bajo la subcategoría [4A3].
- ⊙ Composición de los residuos sólidos: si bien en esta versión del *Inventario* se realizó una actualización de la composición de los residuos, se espera continuar con la actualización periódica debido a que la proporción de los residuos es muy variable y depende de diversos factores como los hábitos de consumo y el desarrollo económico de una región, así como la estrategia de manejo de residuos.
- ⊙ Estimación de la cantidad de biogás mitigado: En diversos sitios de disposición final se quema el metano generado a fin de reducir su potencial de calentamiento global y se convierte en CO<sub>2</sub>, por tanto, existe una mitigación del metano liberado al medio ambiente que podría incluirse en versiones posteriores del inventario.
- ⊙ Actualización de la cantidad de metano aprovechado energéticamente.
- ⊙ Mejora de los parámetros COD y CODF a partir de la información científica disponible en el país, a fin de emplear valores que más cercanos a las condiciones climáticas y manejo particular de los residuos en México.

## 6.3 Tratamiento biológico de los residuos sólidos [4B]

### 6.3.1 Descripción de la categoría

En 2019, [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos contabilizó 155.54 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que representó un decremento de 5.54% respecto de 1994, año en el que iniciaron los registros oficiales de esta actividad. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 55**. La única contribución que se muestra es la de la subcategoría [4B1] puesto que no se identificaron procesos de digestión anaerobia [4B2] en el país a lo largo del periodo inventariado.

**Figura 55: Emisiones de [4B] Tratamiento biológico de residuos sólidos**  
Gg CO<sub>2</sub>e



Las actividades de compostaje en México son variables debido a los costos de operación y a las dificultades que pueden presentarse en la recolección de residuos orgánicos. A partir de 2016, dentro del DBGIR (SEMARNAT, 2020) y del CNGMD (INEGI, 2019a) se registró la disminución de esta actividad debido al cierre de plantas con respecto al DBGIR 2012 (SEMARNAT, 2012).

### 6.3.2 Metodología

Se aplicó la metodología de las *Directrices* 2006. Se usó el enfoque metodológico Tier 1 ya que se han empleado los FE por defecto.

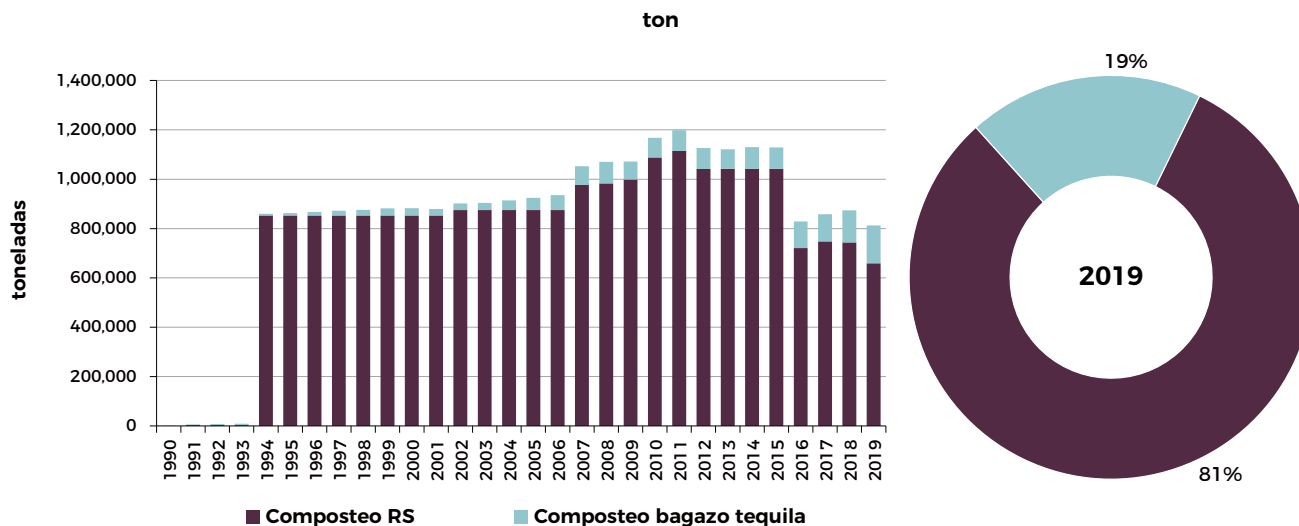
#### 6.3.2.1 Datos de actividad

El DA empleado fue la cantidad de residuos domésticos, en términos de base húmeda, tratados mediante compostaje para cada uno de los años del periodo inventariado. Las fuentes de información fueron el DBGIR (SEMARNAT, 202), el CNGMD (INEGI, 2021) y datos del compostaje de residuos agroindustriales del Consejo Regulador del Tequila (CRT, 2021).

La **Figura 56** muestra la cantidad de residuos domésticos tratados mediante compostaje para cada año del periodo inventariado, y la evolución relativa respecto al año base (1990).



Figura 56: Cantidad de residuos sólidos tratados biológicamente



### 6.3.2.2 Factores de emisión

Los FE son los reportados en las *Directrices* (ipcc, 2006d) en la tabla 4.1, cap. 4, vol. 5, pg. 4.7.<sup>36</sup>

### 6.3.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre del DA (datos de residuos compostados) proviene del Cuadro 3.5, cap. 3, vol. 5 de las *Directrices* (ipcc, 2006d) y se cifró en 30%. La incertidumbre de los FE se toma de las *Directrices* (ipcc, 2006d) (vol. 5, cap. 5, tablas 3.5), siendo 104.04% para CH<sub>4</sub> y 94.87% para N<sub>2</sub>O.

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 6.3.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la *Introducción* (pág. 21).

### 6.3.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de la cantidad de residuos compostados en el periodo 2010-2015.
- Incorporación de datos del compostaje de residuos agroindustriales de la industria del tequila.

<sup>36</sup> Se han empleado los valores incluidos en la versión en español de las *Directrices* ipcc 2006.

**Tabla 76: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO <sub>2</sub> e								
INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	0	163.293	208.396	199.512				
INEGYCEI IBA 3	0.276	169.023	223.570	216.104	158.665	164.281	167.276	155.541
Diferencia (%)		3.51%	7.28%	8.32%				

### 6.3.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.

Se planean las siguientes mejoras:

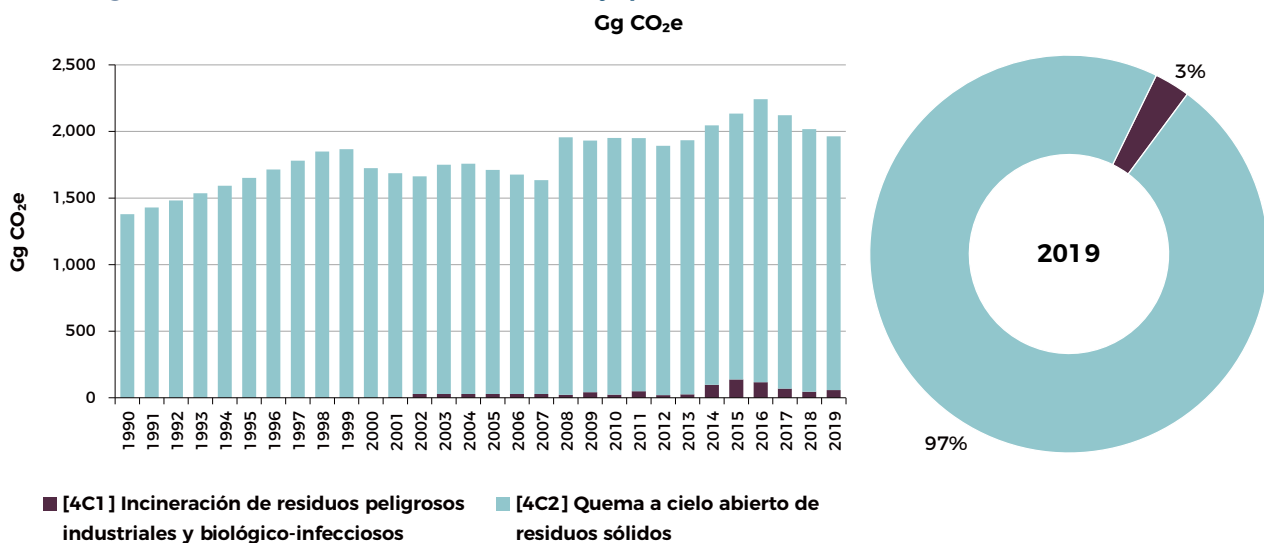
- Revisión de las instalaciones que compostan residuos en todo el país para establecer un padrón de establecimientos.
- Aplicación del FE corregido de las *Directrices* 2006 de la versión en el idioma inglés

## 6.4 Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos [4C]

### 6.4.1 Descripción de la categoría

La categoría [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos contabilizó 1,963.65 Gg CO<sub>2</sub>e en 2019, cantidad que representó un aumento de 42.33 % respecto a la de 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 57**. La subcategoría con mayor contribución fue [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos.

**Figura 57: Emisiones de [4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos**



La incineración de residuos en México se lleva a cabo principalmente para eliminar los residuos peligrosos industriales y biológico-infecciosos. A partir de 1993 comenzó esta práctica nacional regulada por la federación. Su comportamiento fluctuante se debe al término de permisos de incineración de las plantas y a las intermitencias intrínsecas de operación en las instalaciones.

Por otro lado, la quema a cielo abierto de residuos sólidos se cuantifica a partir de las actividades de quema de residuos en traspatio en las viviendas, como método de eliminación. Su tendencia está en función de la población que realiza tal actividad variable año con año y de entidad a entidad, y que predomina en las zonas rurales que carecen de servicios integrales de recolección y manejo de residuos.

## 6.4.2 Metodología

Se utilizó la metodología de las *Directrices* 2006, complementada con algunos aspectos incluidos en el *Refinamiento* 2019. Se usaron los enfoques Tier 1 y Tier 2 de acuerdo con la disponibilidad de información, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 5.1 del cap. 5, vol. 5, de la *Directrices* 2006. Para la categoría de incineración de residuos peligrosos industriales y biológico-infecciosos, el enfoque usado fue un Tier 2a, con datos específicos del país y FE por defecto; mientras que para la categoría de quema a cielo abierto de residuos sólidos se empleó el nivel metodológico Tier 1.

### 6.4.2.1 Datos de actividad

Los DA vienen dados por la cantidad de residuos sólidos incinerados específicamente en el país considerando, por una parte, la cantidad de residuos sólidos peligrosos incinerados [4C1] y, por otra, la cantidad de residuos sólidos quemados a cielo abierto [4C2]. Esta última categoría considera la quema al aire libre de residuos sólidos como práctica en traspacios de casas en algunas zonas rurales. No se considera la quema llevada a cabo en sitios de disposición final no controlados o tiraderos a cielo abierto, por falta de información.

La cantidad de residuos peligrosos incinerados [4C1] procede de las cédulas de operación anual anonimizadas para el periodo 2008-2019. Se cuenta con información del inicio de operaciones de plantas incineradoras desde 1993, mas no con la información de los volúmenes incinerados; por tal motivo, para el periodo 1993-2007, con información a nivel de planta, se empleó el 50% de la capacidad instalada como cantidad incinerada.

La cantidad de residuos sólidos incinerados a cielo abierto se estimó mediante la cantidad total de residuos sólidos municipales (peso húmedo) quemada a cielo abierto, con datos de las viviendas que realizaron la quema de sus residuos, provista en los Censos y Conteos de Población y Vivienda (INEGI, 1990, 1995, 2000, 2010, 2020).

La generación per cápita de residuos y la composición de los residuos se obtuvo de la información reportada en los DBGIR 2012 y 2020 (SEMARNAT, 2012, 2020); así como del “Sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales” (SEMARNAT, 2021) para años anteriores a 2012.

### 6.4.2.2 Factores de emisión

Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la incineración de residuos peligrosos, se han empleado los parámetros y FE por defecto de las *Directrices* 2006 (IPCC, 2006d) (tabla 5.2, vol. 5, cap. 5), considerando el contenido en peso seco. Para el contenido en materia seca, la fracción de carbono en materia seca y la fracción de carbono fósil en el carbono total, se emplearon los parámetros por defecto de las *Directrices* 2006 (tabla 2.6, vol. 2, cap. 5 y tabla 5.2, vol. 5, cap. 5). Para el factor de oxidación se usaron los datos por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006d) (tabla 5.2, vol. 5, cap. 5).

La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la incineración de residuos peligrosos se hizo con base en los factores por defecto de las *Directrices* 2006, considerando una tecnología de incineración por lotes con cargador mecánico (tabla 5.3, vol. 5, cap. 5). En el caso de la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O se emplearon los valores por defecto de las *Directrices* (IPCC, 2006d) (tabla 5.6, vol. 5, cap.5), asociando los residuos fósiles líquidos como residuos industriales y los residuos hospitalarios como residuos municipales tratados en incineradores por lotes. Por su parte, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la incineración abierta de residuos sólidos, el contenido de materia seca, la fracción de carbono en materia seca y la fracción de carbono fósil en el carbono total se obtuvieron de los valores por defecto de las *Directrices* 2006 (tabla 2.4 y 2.5, vol. 2, cap. 5). Finalmente, el valor del factor de oxidación se obtuvo de los datos por defecto de las *Directrices* 2006 (tabla 5.2, vol. 5, cap. 5).

La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> de la incineración abierta se llevó a cabo mediante la consideración de los FE por defecto de las *Directrices* 2006 (sección 5.4.2), mientras que la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O se realizó considerando el FE por defecto de las *Directrices* 2006 (IPCC, 2006d) (tabla 5.6, vol. 5, cap. 5).

En el caso del carbono negro (CN) se utilizó el FE de acuerdo con la Ecuación 3 de las *Directrices* 2006 (vol. 3, cap. 5). Para la cuantificación de estas emisiones solo se considera la composición de carbono fósil de los residuos quemados a cielo abierto, y se excluyen los residuos de origen biogénico como los residuos de jardinería y alimentos. Este FE se obtuvo mediante una investigación realizada en México tomando en cuenta las características y circunstancias nacionales (Christian *et al.*, 2010); el resultado fue un FE de 0.646 g CN/t de residuos quemados a cielo abierto.

### 6.4.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA (datos de residuos incinerados e incinerados a cielo abierto) se tomó del Cuadro 3.5, cap. 3, vol. 5 de las *Directrices* (IPCC, 2006d), y se cifró en 30%. La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* (IPCC, 2006d) (vol. 5, cap. 5, tablas 3.5): 32.92%, 65.24% y 63.16% para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, respectivamente en [4C1] y 94.57%, 91.29% y 94.57% para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, respectivamente, en [4C2].

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología, y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 6.4.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

### 6.4.5 Recálculos específicos de la categoría

La variación en las estimaciones se debe a:

- Actualización de la cantidad de residuos incinerados en el periodo de cálculo (1990-2015) con la información de las cédulas de operación anual.

**Tabla 77: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	1,588.602	1,778.677	2,070.143	1,487.148				
INEGYCEI IBA 3	1,379.652	1,723.864	1,951.565	2,134.130	2,243.209	2,121.983	2,243.209	2,121.983
Diferencia (%)	-13.15%	-3.08%	-5.73%	43.50%				

### 6.4.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.

Se planean las siguientes mejoras:

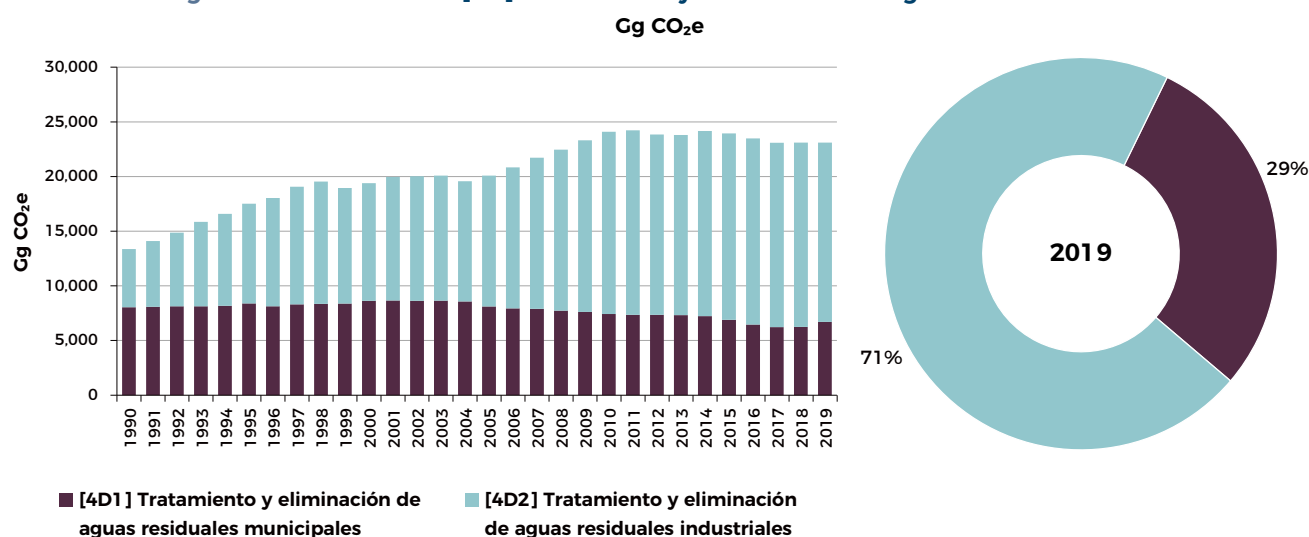
- Explorar la obtención de datos de residuos quemados a cielo abierto en sitios de disposición final.

## 6.5 Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales [4D]

### 6.5.1 Descripción de la categoría

Durante 2019, las emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas e industriales contabilizaron 23,109.47 Gg CO<sub>2</sub>e, que representaron un aumento de 72.88 % respecto al año 1990. La evolución de las emisiones a lo largo del periodo se muestra en la **Figura 58**, donde puede observarse que en el año 1990 la categoría principal fue [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales, en tanto [4D2] Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales ganó peso con el paso del tiempo y se convirtió en predominante a partir de 1997 y hasta 2019.

**Figura 58: Emisiones de [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales**



La categoría [4D] presentó dos vertientes en cuanto a su tendencia: por un lado, las emisiones de [4D1] en 2019 disminuyeron 16.64% con respecto a las de 1990 —debido a una mayor capacidad de tratamiento de las aguas residuales municipales para reducir su carga contaminante—, y contribuyeron con el 29% de [4D]. Por otro lado, las emisiones de [4D2] aportaron el 71% restante de [4D] y 208.09% mayores que la de 1990, hecho que se atribuye principalmente al incremento de establecimientos industriales que generan y descargan aguas residuales sin recibir tratamiento.

### 6.5.2 Metodología

La metodología usada para determinar las emisiones de CH<sub>4</sub> provino de las *Directrices* 2006 y se complementó con algunos elementos del *Refinamiento* 2019. Se usaron diferentes enfoques metodológicos: un Tier 2 para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> en 27 plantas centralizadas aeróbicas de tratamiento de aguas residuales municipales con digestión de lodos, distribuidas en el país, empleando FE propios de México, y un Tier 1 mejorado para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> de las otras PTAR, de acuerdo con la disponibilidad de información. Todo esto siguiendo el árbol de decisión de la Figura 6.2 y 6.3 del cap. 6, vol. 5 de las *Directrices* 2006.

Para la estimación de las emisiones de N<sub>2</sub>O de aguas residuales municipales se utilizó la metodología del *Refinamiento* 2019, (ecuaciones 6.7 y 6.9, cap. 6 del vol. 5), bajo el enfoque de nivel Tier 1, siguiendo el árbol de decisión de la Figura 6.4 del cap. 6, vol. 5 del *Refinamiento* 2019.

### 6.5.2.1 Datos de actividad

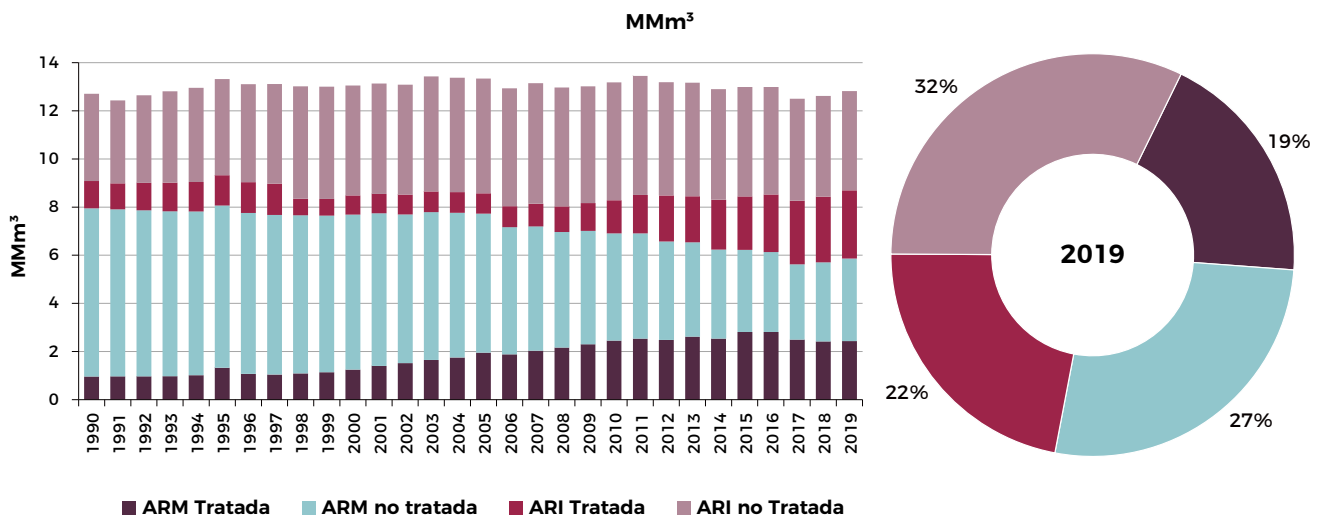
Los DA se basaron sobre los de caudales tratados en cada una de las PTAR, tanto de aguas domésticas como industriales, diferenciadas por tipo de proceso o tratamiento aplicado. Los datos sobre demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) se obtuvieron también con extensión nacional y por giro industrial, respectivamente. Todos estos datos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Ver **Tabla 78**.

**Tabla 78: Datos de actividad recopilados para la estimación de emisiones en [4D]**

Dato de actividad	Fuente	Descripción
Caudales tratados no tratados de ARM (m <sup>3</sup> /año).	CONAGUA.	(CONAGUA, 2019a, 2020).
Caudales tratados no tratados de ARI (m <sup>3</sup> /año).	CONAGUA.	(CONAGUA, 2019b).
% de DBO en lodos (sobre DBO removido).	Opinión de experto (ver Anexo 3. Experto 17: [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas, pág. 197).	Tabla 79: Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento, pág. 147.
Grado de utilización del sistema o tratamiento T <sub>ij</sub> (%).	Cálculos propios con base a CONAGUA.	(CONAGUA, 2021).
Población (habitantes).	CONAPO.	(CONAPO, 2018).
Consumo de proteína per cápita (kg/persona/año).	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).	(FAOSTAT, 2020).

La **Figura 59** muestra el caudal de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y no tratadas en todo el país para cada uno de los años del periodo inventariado.

**Figura 59: Volumen de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y eliminadas**



**Tabla 79: Porcentaje de DBO en lodos por tipo de tratamiento**

Tecnología de tratamiento o descarga	% de DBO en lodos		Consideraciones
	Sobre DBO:		
	Alimentada	Removida	
Aerobio.	27%	30%	Se considera PTAR con aireación extendida (baja carga). No aplicar para PTAR con digestores anaerobios de lodos. Ver último renglón de la tabla.
Anaerobio.	15%	20%	
Biológico.	35%	39%	Se toma como discos biológicos.
Discos biológicos o biodiscos.	35%	39%	
Dual.	35%	39%	Dual es un proceso en serie (filtro percolador seguido de lodos activados).
Filtros biológicos o rociadores o percoladores.	35%	39%	
Humedales (WL).	100%	0%	No hay purga de lodos. Los lodos se acumulan en el tiempo y se retiran eventualmente después de años (renovar el medio granular). Lo que se retira es materia vegetal.
Lagunas aireadas.	20%	22%	
Lagunas de estabilización.	12%	14%	Los lodos se purgan después de varios años.
Lodos activados.	40%	45%	Se considera lodos activados convencional (media-alta carga). No aplicar para PTAR con digestores anaerobios de lodos.
Otros.	40%	45%	Se toma el tratamiento de mayor uso.
Primario.	65%	100%	
Primario avanzado.	65%	100%	La remoción se limita a los lodos, mejorada por adición de químicos. No hay remoción por vía biológica.
Primario o sedimentación.	35%	100%	La remoción se limita a los lodos. No hay remoción por vía biológica.
RAFA o UASB.	15%	20%	
Reactor enzimático.	12%	20%	Se asume similar a la fosa séptica. Los lodos se purgan cada uno a dos años.
Secundario.	40%	45%	
Tanque Imhoff.	15%	20%	Semejante a fosa séptica con mayor frecuencia de purga de lodos (una o dos veces al año).
Tanque o fosa sépticos.	12%	20%	Asumiendo que los lodos se purgan después cada uno a dos años.
Terciario.	40%	22%	
Zanjas de oxidación.	27%	30%	Semejante a aireación extendida. Este proceso remueve nitrógeno.
No tratada.	0%	0%	No aplica.
Lodos activados con digestores anaerobios.	20%	22%	Representa la DBO en los lodos digeridos (finales). Se aplica cuando se calcula la emisión de la PTAR (agua + lodo) en un solo paso (con FCM de 0.32).

Los DA para la captación de CH<sub>4</sub> en plantas de tratamiento de aguas residuales han sido estimados con base en las buenas prácticas de las *Directrices* 2006. A partir de la información obtenida por juicio de experto y de la información de permisionarios de generación de electricidad, se determinó que hay 27 instalaciones de tratamiento de aguas residuales municipales que operan con lodos activados con digestores anaerobios y que aprovechan energéticamente el biogás generado. Por lo que las emisiones de CH<sub>4</sub> de dichos establecimientos se contabilizan en el sector Energía, en la categoría [1A1a]. Por otro

lado, Las emisiones de CH<sub>4</sub> por la quema del biogás en antorchas (a reportar bajo el sector residuos) se consideran insignificantes, por lo que no se han considerado.

La **Tabla 80** muestra la cantidad de CH<sub>4</sub> generado y captado para su aprovechamiento energético en todo el país, para cada año del periodo inventariado.

**Tabla 80: Cantidad de CH<sub>4</sub> generado y con aprovechamiento energético**

Gg CO<sub>2</sub>e

Año	CH <sub>4</sub>			
	Generado [4D1]	Aprovechado y/o quemado [4D1]	Generado [4D2]	Aprovechado o quemado [4D2]
1990	4,552.25	0.0	5,325.09	NE
1997	4,594.90	274.5	10,754.0	NE
2000	4,676.99	274.8	10,756.7	NE
2005	4,969.83	495.8	11,962.5	NE
2010	4,575.16	764.4	16,668.5	NE
2015	4,230.39	1,441.4	17,053.9	NE
2016	4,206.71	1,579.0	17,028.2	NE
2017	4,027.69	2,517.1	16,864.9	NE
2018	4,058.61	2,701.3	16,857.4	NE
2019	4,191.35	2,838.10	16,405.9	NE
1990	4,552.25	0.0	5,325.09	NE

### 6.5.2.2 Factores de emisión

Los parámetros empleados para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se enlistan en la **Tabla 81**.

**Tabla 81: Parámetros empleados en la estimación de emisiones en [4D]**

Parámetro	Fuente	Descripción/ Ubicación
Factor de corrección de metano (MCF).	(IPCC, 2019c) y juicio de experto	Tabla 82: MCF específicos del país considerados para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento pág. 149.
Capacidad máxima de producción de metano.	(IPCC, 2006d)	Tabla 82: MCF específicos del país considerados para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento pág. 149.
Tratamiento de aguas residuales fracciones de eliminación de nitrógeno (N <sub>REM</sub> ) según tipo de tratamiento.	(IPCC, 2019c)	
DQO industrias.	(CONAGUA, 2019b; CRT, 2021; IPCC, 2006d)	Tabla 83: pág. 150.
I recolectadas (población urbana y rural).	(IPCC, 2006d)	Ecuación 6.3a / Refinamiento 2019, pág. 6.22, Ecuación 6.3 / IPCC 2006 pág. 6.14.
Bo (kg CH <sub>4</sub> /kgDBO).	(IPCC, 2019c)	Tabla 6.2 / Refinamiento 2019. Pag 6.18
Factor de conversión (kgDQO/kgDBO).	(IPCC, 2006d)	-
FNON-CON.	(IPCC, 2019c)	Tabla nueva 6.10A Región Latinoamérica.



Factor de ajuste para proteína no consumida, basada en la disponibilidad. Con y sin eliminación de basura (FNON-CON).	(IPCC, 2019c)	Tabla 6.11 / Pag. 6.41.
FNPR y FIND-COM (kgN/kg de proteína).	(IPCC, 2006d, 2019c)	Pag 6.30 tabla 6.11 (IPCC 2006). Pag.6.42, tabla 6.11 (IPCC, 2019).
EFEFLUENTE kg. N <sub>2</sub> O-N/kg. N.	(IPCC, 2006d)	Pag 6.28 (IPCC, 2006)

Los valores MCF considerados para determinar los FE de CH<sub>4</sub> han sido, en algunos casos, los reportados por defecto en las *Directrices* 2006 (IPCC, 2006) (tabla 6.3, vol. 5, cap. 6) y, para otros casos, la opinión o juicio de experto (ver **Tabla 82**). Por otro lado, el valor considerado para las aguas residuales domésticas/comerciales para el parámetro B0 es el por defecto de las *Directrices* 2006 (tabla 6.2, vol. 5, cap. 6).

**Tabla 82: MCF específicos del país considerados para cada uno de los diferentes tipos de tratamiento**

Tecnología de tratamiento o descarga	MCF	Fuente
Aerobio	0.06	(Noyola, Paredes, Gúereca, Molina, & Zavala, 2018).
Anaerobio	0.80	(IPCC, 2006d).
Biológico	0.06	Opinión de experto .
Discos biológicos o biodiscos	0.06	Opinión de experto .
Dual	0.06	Opinión de experto.
Eliminación en ríos	0.11	(IPCC, 2019c).
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	0.06	Opinión de experto.
Humedales (WL)	0.20	Opinión de experto.
Lagunas aireadas	0.20	Opinión de experto.
Lagunas de estabilización	0.75	(Paredes, Gúereca, Molina, & Noyola, 2015).
Lodos activados* (flujos menores a 100 l/s)	0.06	(Noyola <i>et al.</i> , 2018).
No tratada (canales/alcantarilla abierta)	0.10	(IPCC, 2006d).
No tratada (alcantarillas cerradas y subterráneas)	0.10	(IPCC, 2006d).
No tratada	0.10	(IPCC, 2006d).
Otros	0.06	se consideran como lodos activados.
Primario	0.01	Opinión de experto.
Primario avanzado	0.01	Opinión de experto.
Primario o sedimentación	0.01	Opinión de experto.
Lodos activados con digestores anaerobios (flujos mayores a 100 l/s)	0.32	(Noyola <i>et al.</i> , 2018).
RAFA o UASB	0.80	(IPCC, 2006d).
Reactor enzimático	0.50	Opinión de experto.
Tanque Imhoff	0.80	(IPCC, 2006d).
Tanque o fosa sépticos	0.50	(IPCC, 2019c).
Terciario	0.06	Se toma como lodos activados.

Zanjas de oxidación	0.08	Opinión de experto.
BO = 06 kg CH <sub>4</sub> /kg DBO (IPCC, 2006)		

**Tabla 83: Parámetros de DQO de las industrias empleados en la estimación**

Industria	Generación de agua residual W (m <sup>3</sup> /ton)	DQO (kg/m <sup>3</sup> )	Fuente
Producción lácteos	7	2.7	Tabla 6.9 (IPCC, 2006d)
Carnes y aves	13	4.1	
Refinerías de petróleo	0.6	1	
Plásticos y resinas	0.6	3.7	
Producción de almidón	9	10	
Aceites vegetales	3.1	0.85	
Verduras, frutas y zumos	20	5	
Vino	23	1.5	
Rastros		8.0	(CIATEJ, 2009)
Alimenticio		3.3	(CONAGUA, 2019b)
Bebidas alcohólicas		25.6	
Bebidas no alcohólicas		3.3	
Beneficio del café		6.2	
Celulosa y papel		0.98	
Cervecera		3.7	
Petrolera		4.4	
Ingenios azucareros		2.1	
Jabón y detergentes		0.9	Tabla 6.9 (IPCC, 2006d)
Plásticos y resinas		3.7	
Sustancias químicas orgánicas		2.9	
Tequila		32.8	(CRT, 2021)

### 6.5.3 Incertidumbres y coherencia de las series temporales

La incertidumbre de los DA (datos de aguas residuales domésticas e industriales tratadas y eliminadas) proviene de los datos por defecto de las *Directrices* 2006, vol. 5, cap. 6, tablas 6.7 y 6.10, y se cifró en 13.65% para [4D1] y 16.86% para [4D2]. La incertidumbre de los FE se tomó de las *Directrices* 2006, vol. 5, cap. 6, tablas 6.7 y 6.10, siendo 43.97% para CH<sub>4</sub> y 14.74% para N<sub>2</sub>O en [4D1] y 178.23% para CH<sub>4</sub> en [4D2]. Para los datos con metodología Tier 2 (FE específicos del país), la incertidumbre del FE se reporta en Noyola *et al.* (2018).

La serie se considera coherente en el tiempo al emplearse la misma metodología y completa al tener una cobertura geográfica nacional.

### 6.5.4 QA/QC de la categoría y verificación

Esta categoría sigue los principios generales de QA/QC incluidos en la **Introducción** (pág. 21).

Se realizó la revisión de los tipos de tratamiento para la asignación de MCF más adecuados a las condiciones de operación de las PTAR en México (ver **Anexo 3: Descripciones metodológicas adicionales**, pág. 179).

### 6.5.5 Recálculos específicos de la categoría

Los principales cambios en esta categoría con respecto al inventario anterior son:

- Se utilizan factores de corrección para metano (MCF) específicos para México, basados en opinión de experto y artículos científicos que incluyen mediciones en plantas de tratamiento de aguas residuales en México.
- Se utilizan factores de producción de lodos expresados como DBO con base en opinión de experto.
- Se restan por primera vez las emisiones de 27 PTAR que queman residuos y/o generan energía eléctrica.
- Se incluyen las mejoras metodológicas del *Refinamiento* 2019.

**Tabla 84: Comparación de las estimaciones del INEGYCEI IBA 3 (serie 1990-2019) e INEGYCEI IBA 2 (serie 1990-2015)**

Gg CO<sub>2</sub>e

INEGYCEI	1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019
INEGYCEI IBA 2	10,831.83	16,482.94	22,029.59	22,301.74	NA	NA	NA	NA
INEGYCEI IBA 3	13,367.18	19,395.79	24,093.42	23,941.08	23,495.94	23,092.60	23,104.16	23,109.47
Diferencia (%)	23.41%	17.67%	9.37%	7.35%	NA	NA	NA	NA

### 6.5.6 Mejoras previstas específicas de la categoría.

Se planean las siguientes mejoras:

- Mejora de la información sobre los caudales de aguas residuales industriales y sus sistemas de tratamiento.
- Mejora de la información sobre las características fisicoquímicas de los caudales de aguas residuales municipales e industriales.

## 6.6 Referencias

- Christian, T. J., Yokelson, R. J., Cardenas, B., Molina, L. T., Engling, G., & Hsu, and S.-C. (2010). Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics and Physics*, 10, 565-584. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/acp-10-565-2010>
- CIATEJ. (2009). *PLANTA Y PROCESO DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE RASTRO*. Recuperado de [https://ciatej.mx/patentes/14\\_esp.pdf](https://ciatej.mx/patentes/14_esp.pdf)
- CONAGUA. (2019a). Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales (2019). Recuperado el 1 de junio de 2021, de Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. website: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=0&n=nacional>
- CONAGUA. (2019b). PTARI: Procesos de tratamientos de aguas residuales industriales (2019). Recuperado de Subdirección General Técnica. website: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=plantasTratamiento&ver=reporte&o=2&n=nacional>
- CONAGUA. (2020). Inventarios de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación 2004 - 2019. Recuperado de Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

website: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>

- CONAPO. (2018). Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>
- CRT. (2021). *Comunicación interna: Información de compostaje de residuos agroindustriales de la industria del tequila, datos al 2019*.
- FAOSTAT. (2020). Indicadores específicos de México. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://www.fao.org/faostat/es/#country/138>
- INEGI. (1990). XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>
- INEGI. (1995). Censo de Población y Vivienda 1995. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1995/>
- INEGI. (2000). XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Recuperado el 1 de noviembre de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>
- INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado el 1 de noviembre de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- INEGI. (2019). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2019/>
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 1 de noviembre de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- IPCC. (2006). Volumen 5 Waste. En N. T. and T. K. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K. (Ed.), 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- IPCC. (2019). Volume 5 Waste. En A. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, N. S. Baasansuren, J., Fukuda, M., & S. Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici (Eds.), 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (vol. 5). Recuperado de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>
- Noyola, A., Paredes, M. G., Güereca, L. P., Molina, L. T., & Zavala, M. (2018). Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review. *Science of the Total Environment*, 639, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.111>
- Paredes, M. G., Güereca, L. P., Molina, L. T., & Noyola, A. (2015). Methane emissions from stabilization ponds for municipal wastewater treatment in Mexico Methane emissions from stabilization ponds for municipal. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 8168, 1-15. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2015.1110185>
- SEMARNAT. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012*. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>
- SEMARNAT. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- SEMARNAT. (2021). Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Recuperado el 1 de junio de 2021, de BASE DE DATOS ESTADÍSTICOS website: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales>
- U.S. EPA, & SCS Engineers. *User 's Manual Mexico Landfill Gas Model*. , (2009).

## 7. Otros

En esta sección se incluye la descripción metodológica de los cálculos de las emisiones de carbono negro en las categorías donde se contabiliza.

### 7.1 Industrias de la energía [1A]

#### 7.1.1 Metodología

Para esta categoría, la estimación de las emisiones de carbono negro (CN) se realizó considerando que éste se emite como parte de la fracción sólida del material particulado PM<sub>2.5</sub>, por lo que su contribución se estimó a partir de un porcentaje de estas partículas.

Así bien, se estimaron utilizando un método nivel 1, a partir de los DA de las secciones 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 respectivamente y los FE para PM<sub>2.5</sub> descritos más adelante a nivel de subcategoría y los porcentajes (*shares*) de CN/PM<sub>2.5</sub> para cada combustible, de acuerdo con las **Ecuaciones 1 y 2**.

#### Ecuación 1: total de emisiones PM<sub>2.5</sub> procedentes de la combustión

$$Emisiones_{PM_{2.5}} = \sum C_{comb_i} \times FE_{PM_{2.5} comb_i}$$

Donde:

Emisiones<sub>PM<sub>2.5</sub></sub> = emisiones de PM<sub>2.5</sub> (kg)

C<sub>comb<sub>i</sub></sub> = consumo de combustible<sub>i</sub> = cantidad de combustible<sub>i</sub> quemado (ton, m<sup>3</sup>).

FE<sub>PM<sub>2.5</sub> comb<sub>i</sub></sub> = factor de emisión de PM<sub>2.5</sub> por tipo de combustible<sub>i</sub> (kg PM<sub>2.5</sub> / ton, m<sup>3</sup>).

#### Ecuación 2: total de emisiones de carbono negro procedentes de la combustión

$$Emisiones_{CN} = \sum Emisiones_{PM_{2.5}} \times SH_i$$

Donde:

Emisiones<sub>CN</sub> = emisiones de carbono negro (kg).

Emisiones<sub>PM<sub>2.5</sub></sub> = emisiones de PM<sub>2.5</sub> (kg)

SH<sub>i</sub> = *share<sub>i</sub>* = porcentaje de relación de CN/PM<sub>2.5</sub> por tipo de combustible<sub>i</sub>.

#### 7.1.2 Elección de los factores de emisión

Los FE y los porcentajes de CN/PM<sub>2.5</sub> se tomaron del *Primer Informe Bienal de Actualización* (INECC, 2015) y a su vez éstos provienen de los perfiles de especiación de la Junta de Recursos del Aire de California.<sup>37</sup> En la **Tabla 85** se presentan los parámetros empleados en cada subcategoría y fuente de emisión.

**Tabla 85: Factores de emisión de CN para la fuente de emisión [1A1a]**

kg/TJ

Combustible	FE PM <sub>2.5</sub>	SHARE CN/PM <sub>2.5</sub>
Gas natural	3.22	20%
Combustóleo	86.74	20%
<i>Diesel</i>	6.46	20%
Gas LP	2.78	7%
Coque de petróleo	22.50	14%
Carbón	9.85	14%
Gas residual	3.22	20%

<sup>37</sup> Speciation Profiles Used in ARB Modeling. California Air Resources Board (CARB). *California's black carbon emission inventory*, April, 2016.

Por otro lado, para determinar las emisiones del consumo energético del bagazo de caña para la generación de electricidad, se asignó por juicio de experto con valor de  $1.32 \times 10^{-8}$  kg CN/PJ.

**Tabla 86: Factores de emisión de CN para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]**  
kg/TJ

Combustible	PM <sub>2.5</sub> kg/TJ	SHARE CN/PM <sub>2.5</sub>
GLP	2.78	7%
Gasolinas	7.38	15%
Querosenos	6.59	20%
<i>Diesel</i>	6.51	20%
Combustóleo	89.24	20%
Gas natural	3.09	20%

**Tabla 87: Factores de emisión de CN para las fuentes de emisión [1A1b] y [1A1c]**  
kg/TJ

Combustible	PM <sub>2.5</sub> kg/TJ
Coque carbón	36.76
Carbón	14.77
Coque petróleo	36.76
GLP	2.77
<i>Diesel</i>	6.57
Combustóleo	87.84
Gas seco	3.21
Bagazo	939.76

**Tabla 88: Porcentaje de relación entre carbono negro y PM<sub>2.5</sub>**  
para los diferentes sectores industriales

Sector	CN/PM <sub>2.5</sub>	Dato de actividad*
Industria	3%	Industria cementera.
	5%	Industria de caleras, siderúrgica, química.
	30%	Combustión de bagazo.

\* Atmospheric Brown Clouds (ABC), Emission Inventory Manual.

**Tabla 89: Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre CN y PM<sub>2.5</sub>**  
para las fuentes de emisión [1A3a], [1A3c] y [1A3d]

Combustibles	PM <sub>2.5</sub> kg/TJ	CN/PM <sub>2.5</sub>
Gasolinas y naftas	7.38	0.15
Querosenos	6.85	0.15
<i>Diesel</i>	6.51	0.264
Gas licuado	2.97	0.252
Gas seco	3.09	0.141
Combustóleo	89.24	0.264

**Tabla 90: Factores de emisión de CN y correlación CN/PM<sub>2.5</sub> para la fuente de emisión [1A3b]**

Combustible	Catalizador	Año	PM <sub>2.5</sub> kg/TJ	CN/PM <sub>2.5</sub>
Gasolinas y naftas	Sin controlar	1990 y anteriores	7.38	0.15
Gasolinas y naftas	Catalizador dos vías	1991 a 1993	7.38	0.15
Gasolina	Catalizador tres vías	1994 y posteriores	7.38	0.15
Diesel autotransporte	Todos	Todos	74.25	0.69
Diesel agropecuario	Todos	Todos	193.28	0.6
Gas seco	Todos	Todos	3.09	0.141
Gas licuado	Todos	Todos	2.97	0.252

**Tabla 91: Factores de emisión de CN y porcentaje de relación entre carbono negro y PM<sub>2.5</sub> para la subcategoría [1A4]**

	FE PM <sub>2.5</sub> kg/TJ	FE PM <sub>2.5</sub> Gg/PJ	Share BC PM <sub>2.5</sub>
<b>[1A4a] Comercial</b>			
Gas licuado	536.3663	0.5364	7%
Diesel	2.5504	0.0026	20%
Gas seco	0.8014	0.0008	20%
Combustóleo	89.2386	0.0892	20%
<b>[1A4b] Residencial</b>			
Leña	464.5900	0.4646	17%
Gas licuado	536.3663	0.5364	7%
Queroseno	2.4594	0.0025	20%
Gas seco	0.8014	0.0008	20%
<b>[1A4c] Agricultura</b>			
Gas licuado	536.3663	0.5364	7%
Queroseno	2.4594	0.0025	20%
Diesel	2.5504	0.0026	20%

Fuente: FE PM<sub>2.5</sub> Haneke, A National Methodology and Emission Inventory for Residential Fuel Combustion.

## 7.2 Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles [1B]

### 7.2.1 Metodología

El CN es un contaminante de vida corta que se genera solamente como producto de la combustión, por lo que en esta subcategoría se presenta únicamente en los segmentos [1B2aii] y [1B2bii] —quema en antorcha— tanto en petróleo como en gas natural. Para la cuantificación de CN en estas subcategorías, se utilizaron los DA de la sección 3.7 Emisiones fugitivas de petróleo y gas [1B2], correspondientes a la quema en antorcha

El FE, corresponde al empleado en el INEGYCEI 1990-2015 (INECC, 2018), donde se describe la metodología de obtención.

El valor del FE promedio obtenido es 0.65 g de CN/m<sup>3</sup> de gas enviado a quemador, con un rango de valores de 0.41 a 0.92 g/m<sup>3</sup>.

## 7.3 Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra [3C]

Se estiman las emisiones de CN para la subcategoría [3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa.

### 7.3.1 Emisiones de quema de biomasa en tierras forestales [3C1a]

Los incendios forestales son un fenómeno que genera emisiones de GEI y compuestos contaminantes como CN.

#### 7.3.1.1 Metodología

Los DA correspondientes a información sobre los incendios forestales y de praderas, los impactos y la superficie afectada por los mismos en el país, se tomaron del *Reporte de Incendios Forestales* de CONAFOR, con estadísticas nacionales y por entidad federativa. En el registro de 2019 figuran 7,410 incendios que afectaron 633,678 ha; en el de 1995, 7,869 incendios que afectaron 309,087 ha en total.

Los FE se tomaron del Inventario Nacional de Emisiones 2008 de SEMARNAT, que provee información sobre FE para PM<sub>2.5</sub> y CN agrupados en cuatro tipos de vegetación: pastizal, arbolado adulto, renuevo, arbusto y matorral (INEM, 2008).

**Tabla 92: Factores de emisión para CN y PM<sub>2.5</sub> según el tipo de vegetación**

Pastizal	Arbolado adulto	Renuevo	Arbusto y matorral
0.135	0.237	0.001	0.066

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones 2008, SEMARNAT.

### 7.3.2 Emisiones de quema de biomasa en tierras de cultivo [3C1b]

La quema de residuos agrícolas en los campos de cultivo es una práctica común y una actividad generadora de compuestos contaminantes como CN. En 2019 se emitieron 4.22 Gg; en 1990, las emisiones estimadas en esta categoría fueron 3.09 Gg. En promedio, para el periodo 1995-2019, las emisiones anuales de CN fueron 3.42 Gg.

#### 7.3.2.1 Metodología

Como fuente oficial de información para obtener los DA correspondientes al país, se empleó la publicada en el *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola* del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) para el periodo 1990-2019 (SIAP, 2017).

Se emplearon la clasificación de cultivos y la metodología de cálculo aplicadas en la categoría [3C1b] Emisiones de GEI por quema de biomasa en campos agrícolas, del INEGYCEI 1990-2019 (ver sección correspondiente en la pág. 100).

En 1990 se estimó la quema de 7.9 millones de toneladas de materia seca de la biomasa, en los campos agrícolas mexicanos; en 2019, la biomasa quemada en esos campos fue de 11.6 millones de toneladas de materia seca.

Como FE se emplearon los valores reportados en el estudio comisionado por el INECC a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) (Mugica-Álvarez, 2017).



### 7.3.2.2 Incertidumbre y consistencia de la serie de tiempo

En esta subcategoría, "...las estimaciones de la superficie plantada por cada tipo de cultivo de los que normalmente se queman residuos pueden ser muy inciertas [...] Es posible que la fracción de los residuos agrícolas que se quema en el campo sea la variable de mayor incertidumbre."<sup>38</sup> La serie de tiempo es consistente, ya que se cuenta con DA para el periodo 1990-2019.

### 7.3.3 Emisiones por quema de biomasa en tierras praderas [3C1c]

Los incendios de praderas son un fenómeno que genera emisiones de GEI y compuestos contaminantes como CN.

#### 7.3.3.1 Metodología

Los DA correspondientes a la información sobre incendios forestales y de praderas, los impactos y la superficie afectada por los mismos en el país, se tomaron del *Reporte de Incendios Forestales*, de CONAFOR. Según esa fuente, en 2019 hubo 7,410 incendios que afectaron 633,678 ha, y en 1995 se registraron 7,869 incendios que afectaron 309,087 hectáreas.

Los FE se tomaron del *Inventario Nacional de Emisiones 2008* de SEMARNAT, que provee información sobre FE para PM<sub>2.5</sub> y CN agrupados en cuatro tipos de vegetación: pastizal, arbolado adulto, renuevo, arbusto y matorral (INEM, 2008). (Ver **Tabla 92**: Factores de emisión para CN y PM<sub>2.5</sub> según el tipo de vegetación, pág. 156.)

## 7.4 Incineración y quema a cielo abierto de residuos [4C]

Se estiman las emisiones de [4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos. Se determina directamente mediante el producto aritmético entre el volumen total de residuos quemados que contengan carbono fósil (papel, cartón, textiles, plásticos y otros tipos de residuos quemados) (DA correspondientes a la sección 6.4) y el FE 0.65 kg de CN/ton de residuos quemados (Christian, T., R. Yokelson, B. Cárdenas, L. Molina, 2010).

## 7.5 Mejoras previstas específicas de cada categoría

Se planean las siguientes mejoras:

- ⦿ Realizar una revisión exhaustiva de los FE para la estimación de CN con el fin de mejorar los cálculos.

<sup>38</sup> IPCC, 2006, Sección 5.2.4.4, cap. 5: Tierras de cultivo, vol. 4: ASOUT.



## 8. Emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O

### 8.1 Descripción de las fuentes de emisiones indirectas en el inventario de GEI

Las emisiones indirectas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se producen por el mismo proceso que las emisiones de NH<sub>3</sub> y del NO<sub>x</sub>.

En el INEGYCEI se estiman emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O para para [3C5] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y [3C6] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO<sub>2</sub> de la tierra.

Las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> se producen al oxidarse en la atmósfera las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO o COVNM (gases precursores) en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En el INEGYCEI no se estiman las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub>, ya que, por cuestiones de normatividad interna del país, las estimaciones de los precursores de CO<sub>2</sub> se estiman en otro inventario diferente del INEGYCEI.<sup>39</sup>

#### 8.1.1 Metodología

Las metodologías de estimación de las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O se explican en los apartados correspondientes a cada una de las categorías antes citadas.

### 8.2 Mejoras planificadas específicas de cada categoría

No se tienen mejoras planeadas para esta categoría.

---

<sup>39</sup> Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes Criterio <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem>



## 9. Recálculos y mejoras

### 9.1 Explicaciones y justificaciones de los nuevos cálculos

El INEGYCEI sigue un enfoque desarrollo continuo de actualización, mejora y revisión con el fin de mantener y mejorar su transparencia, precisión, completitud, consistencia y comparabilidad.

Con la finalidad de dar cumplimiento a las recomendaciones previas de equipos expertos revisores, en la actual edición del INEGYCEI se han incorporado las estimaciones de las siguientes categorías:

- ⊙ [3D1] Productos de madera recolectada.
- ⊙ [2A4] Otros usos de los carbonatos.
- ⊙ [2E] Industria electrónica.

Asimismo, se han actualizado las metodologías y/o FE de las siguientes categorías:

- ⊙ [1A3b] Transporte terrestre.
- ⊙ [1B1] Combustibles sólidos.
- ⊙ [1B2] Emisiones fugitivas de petróleo y gas natural.
- ⊙ [2B1] Producción de amoníaco.
- ⊙ [2C1] Producción de hierro por EAF.
- ⊙ [2C5] Producción de plomo.
- ⊙ [2F] Uso de productos sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono.
- ⊙ [3A1] Fermentación entérica.
- ⊙ [3A2] Gestión de estiércol.
- ⊙ [3B] Tierra.
- ⊙ [3C4] Emisiones directas de los N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados.
- ⊙ [3C5] Emisiones indirectas de los N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados.
- ⊙ [4A] Eliminación de residuos sólidos.
- ⊙ [4B] Tratamiento biológico de los residuos sólidos.
- ⊙ [4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales.

### 9.2 Implicaciones para los niveles de emisión

La diferencia total entre la edición 2021 del INEGYCEI y la edición 2018 presentada en el *Segundo Informe Bienal de Actualización* ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para el año 2015 es de 1,138 Gg CO<sub>2</sub>e, lo que supone un incremento de 0.24% sobre la edición anterior. Este mismo cálculo, sin tener en consideración las emisiones/absorciones de UTCUTS, supone 46,365 Gg CO<sub>2</sub>e, que corresponden con un incremento de 7%.

Figura 60: Comparación de las emisiones totales (sin UTCUTS) entre ediciones del INEGYCEI

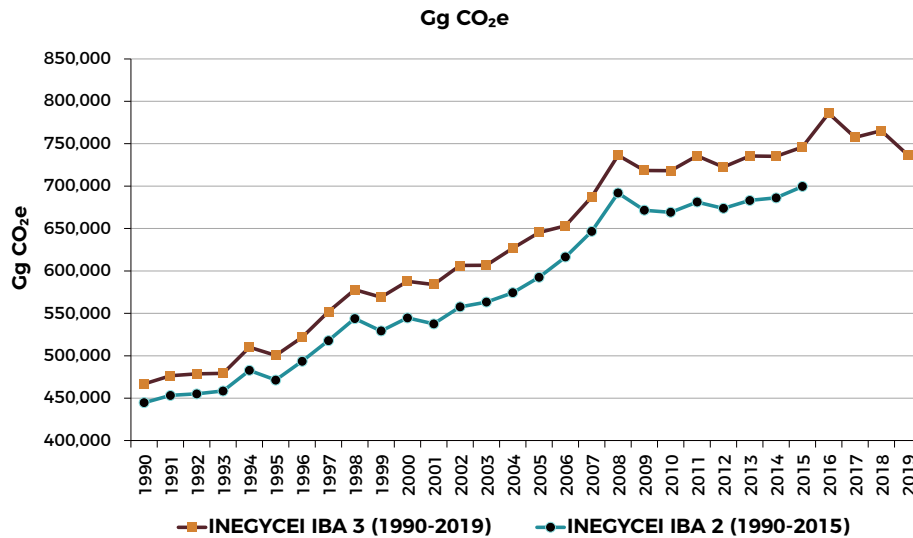
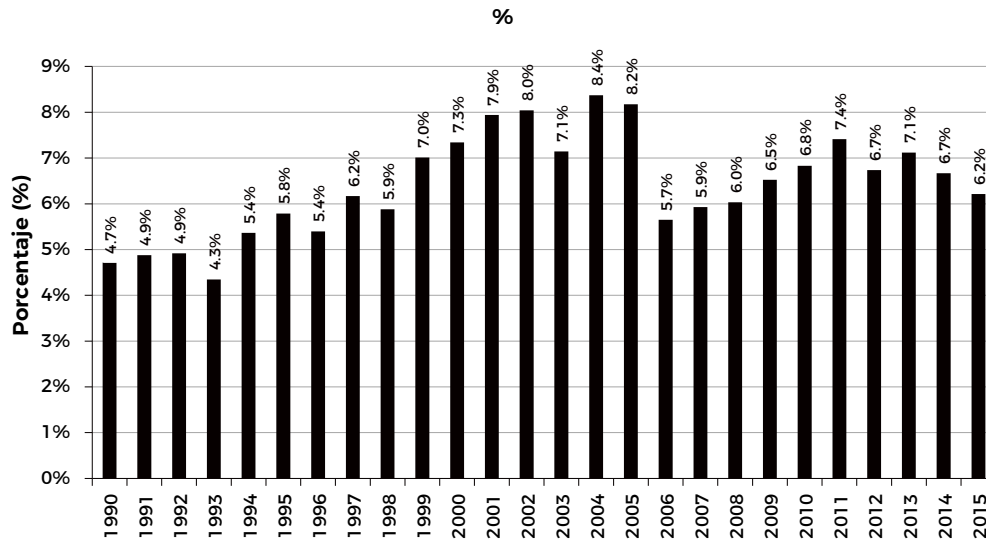


Figura 61: Comparación porcentual de las emisiones entre ediciones del INEGYCEI



Los recálculos se describen en detalle en cada categoría en los apartados “Recálculos específicos de la categoría”.

### 9.3 Consecuencias para las tendencias de las emisiones

De manera generalizada durante esta nueva actualización las emisiones recalculadas fueron mayores que en la edición pasada, con la excepción de la categoría [3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión distintas al CO<sub>2</sub> en la tierra, donde el recalcu derivó en emisiones por debajo de las calculadas anteriormente. El sector de energía fue el que menos cambios tuvo, mientras que el sector de ganadería fue el que mayor impacto experimentó en el renglón del aumento de las emisiones de esta actualización.

En cuanto a las absorciones, se observa que en la actualización de este inventario se presentan mayores absorciones, por lo que al observar el cambio en las emisiones totales (con UTCUTS) la diferencia entre ambos inventarios es muy baja.

## 9.4 Mejoras previstas

**Tabla 93: Mejoras previstas del INEGYCEI**

Sector	Categoría	Mejora	Sección del INEGYCEI para más información
[1] Energía	Industrias de la energía [1A1]	Revisión de información o generación de DA para la estimación de [1C].	3.2.6
		Mejoramiento de los DA de [1A1b] y [1A1c].	3.2.6
	Industrias manufactureras y de la construcción [1A2]	Revisión de la información del consumo energético de carbón en toda la categoría.	3.3.6
		Evaluar con los proveedores de información la posibilidad de desagregar las industrias contempladas en [1A2b], [1A2e], [1A2f] y [1A2m].	3.3.6
		Revisión de los datos con la SENER BNE.	3.3.6
	Transporte [1A3]	Estimación de las emisiones de autotransporte en función de flota vehicular y kilómetros recorridos para hacer una validación del consumo de combustibles empleados.	3.4.6
		Revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos.	3.4.6
	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles sólidos [1B1]	Se plantea indagar y recopilar DA más precisos con objeto de mejorar las estimaciones de emisiones en: <ul style="list-style-type: none"> <li>minas subterráneas abandonadas [1B1ai3].</li> <li>quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO<sub>2</sub> [1B1ai4].</li> <li>combustión no controlada y vertederos de carbón quemados [1B1b].</li> </ul>	3.6.6
	Emisiones fugitivas de petróleo y gas [1B2]	Recopilación de DA de las siguientes actividades, con el fin de mejorar la completitud y exhaustividad en esta subcategoría: <ul style="list-style-type: none"> <li>minas subterráneas abandonadas [1B1ai3].</li> <li>quema en antorcha de metano drenado o conversión de metano en CO<sub>2</sub> [1B1ai4].</li> <li>combustión no controlada y vertederos de carbón quemados [1B1b].</li> </ul>	3.7.6
	Transporte y almacenamiento de CO <sub>2</sub> [1C]	Indagar sobre la existencia de dicha actividad en el país.	3.8.2
	Búnkeres internacionales (Memo ítem)	Inclusión de la estimación de las emisiones de GEI del transporte marítimo internacional.	3.10.6
		Revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos.	3.10.6
		Inclusión del cálculo de incertidumbre.	3.10.6
	Quema de biomasa (Memo ítem)	Mejora de la información del consumo de combustibles de origen biogénico empleados en sectores no especificados, identificando el sector en el que son utilizados.	3.11.6
		Revisión de la serie temporal de consumo de los distintos tipos de combustibles para obtener datos más precisos	3.11.6
		Inclusión del cálculo de incertidumbre.	3.11.6

Tabla 93: continúa

Sector	Categoría	Mejora	Sección del INEGYCEI para más información
[2] Procesos industriales y utilización de productos	Industria de los minerales [2A]	Mejoramiento de los DA de [2A3] y [2A4], así como la aplicación de un control de calidad específico de estas subcategorías.	4.2.6
	Industria química [2B]	Identificación de información que permita entender mejor las razones para las fluctuaciones observadas en la categoría [2B].	4.3.6
		Mejoramiento de los DA y serie histórica de la subcategoría [2B7].	4.3.6
	Industria de los metales [2C]	Mejora en los DA para la estimación de la producción de hierro y acero.	4.4.6
		Estimar y reportar las emisiones procedentes de la producción de plomo secundario que se produce en el país.	4.4.6
		Aplicar un QC específico para la subcategoría [2C2].	4.4.6
	Uso de productos no energéticos de combustibles y de disolventes [2D]	Revisión de posibles fuentes de información para la obtención de DA y la estimación de la subcategoría [2D3].	4.5.6
	Industria electrónica [2E]	Mejora de la completitud de la serie temporal mediante estimación de los DA para el periodo 1990-1998.	4.6.6
		Revisión de los DA disponibles para la estimación de la subcategoría [2E4].	4.6.6
		Revisión de la serie temporal de producción de los distintos tipos de compuestos para obtener datos más precisos.	4.6.6
	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono [2F]	Mejora de la completitud de la serie temporal mediante estimación de los DA para la subcategoría 2F6 como aplicaciones médicas, entre otras.	4.7.6
		Mejora de la completitud de la serie temporal mediante la búsqueda y/o estimación de DA para el periodo 1990-1997 para toda la categoría.	4.7.6
		Identificación de datos de recuperación/destrucción de los gases en las subcategorías [2F2] y [2F3].	4.7.6
		Revisión de los datos de FE específicos empleados en la estimación de las emisiones de cada subcategoría.	4.7.6
		Revisión de la serie temporal de distintas sustancias para obtener datos más precisos.	4.7.6
	Manufactura y utilización de otros productos [2G]	Mejora de los DA de CFE al hacer una desagregación entre equipos de transmisión y equipos de distribución con datos de cada planta.	4.8.6
		Análisis y revisión de posibles fuentes de información para conocer otros posibles consumidores de SF <sub>6</sub> .	4.8.6



Tabla 93: continúa

Sector	Categoría	Mejora	Sección del INEGYCEI para más información
[3] ASOUT	Gestión de estiércol [3A2]	Implementación del enfoque de nivel 2 para el ganado porcino dada su relevancia, si bien no es una subcategoría significativa. Revisión y análisis de información publicada de las dietas típicas de los porcinos en el país considerando las distintas etapas productivas y las instalaciones ganaderas para evaluar la factibilidad de elaborar FE locales, para mejorar la exactitud de la estimación.	5.3.6
	Emisiones de GEI por quema de biomasa [3C1]	Estimación de las emisiones de las categorías [3C1a] y [3C1c] para los años 1990-1994. Revisar si existe información para el periodo 1990-1994 y/o aplicación de técnicas de interpolación para completar la serie temporal.	5.4.7
	[3C5]	Refinamiento de las estimaciones de lixiviación y escorrentía teniendo en cuenta la diferenciación del clima húmedo para el valor de $FRAC_{LEACH}$ . Revisar y analizar la información disponible en el país para regionalizar la lixiviación y escorrentía por tipo de clima (seco y húmedo) para mejorar la exactitud de la estimación.	5.5.6
	[3C6]	Implementación del enfoque de nivel 2 para el ganado porcino en línea con las estimaciones de la categoría [3A2]. Revisión y análisis de información publicada de las dietas típicas de los porcinos en el país considerando las distintas etapas productivas y las instalaciones ganaderas para evaluar la factibilidad de elaborar FE locales para mejorar la exactitud de la estimación.	5.6.6

Tabla 93: continúa

Sector	Categoría	Mejora	Sección del INEGYCEI para más información
[4] Residuos	Eliminación de residuos sólidos [4A]	Mejora de la construcción de la serie histórica antes del periodo 1990-2013.	6.2.6
		Mejora de los datos sobre lodos y residuos industriales eliminados para todo el periodo inventariado con el fin de completar el objetivo de exhaustividad.	6.2.6
		Mejora de los datos de residuos eliminados y reportados bajo la subcategoría [4A3].	6.2.6
		Composición de los residuos sólidos: Si bien en esta versión del inventario se realizó una actualización de la composición de los residuos, se espera continuar con la actualización periódica debido a que la proporción de los residuos es muy variable y depende de diversos factores como los hábitos de consumo y el desarrollo económico de una región, así como la estrategia de manejo de residuos.	6.2.6
		Estimación de la cantidad de biogás mitigado: En diversos sitios de disposición final se quema el metano generado a fin de reducir su potencial de calentamiento global y se convierte en CO <sub>2</sub> , por tanto, existe una mitigación del metano liberado al medio ambiente que podría incluirse en versiones posteriores del inventario.	6.2.6
		Actualización de la cantidad de metano aprovechado energéticamente.	6.2.6
		Mejora de los parámetros COD y CODF a partir de la información científica disponible a nivel nacional, a fin de emplear valores que más cercanos a las condiciones climáticas y manejo particular de los residuos en México.	6.2.6
	Tratamiento biológico de los residuos sólidos [4B]	Revisión de las instalaciones que compostan residuos a nivel nacional para establecer un padrón de establecimientos.	6.3.6
		Aplicación del FE corregido de las <i>Directrices</i> 2006 en el idioma inglés.	6.3.6
	Incineración y quema a cielo abierto de residuos sólidos [4C]	Explorar la obtención de datos de residuos quemados a cielo abierto en sitios de disposición final.	6.4.6
	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales [4D]	Mejora de la información sobre los caudales de aguas residuales industriales y sus sistemas de tratamiento.	6.5.6
		Mejora de la información sobre las características fisicoquímicas de los caudales de aguas residuales municipales e industriales.	6.5.6

# **INEGYCEI 1990-2019: Anexos**





Código IPCC	Categoría de fuente y sumidero de GEI	Criterio de identificación								
		GEI	N1 1990 sin [3B]	N1 2019 sin [3B]	N1 2019 con [3B]	TD 1	N2 1990 sin [3B]	N2 2019 sin [3B]	N2 2019 con [3B]	TD 2
[2F1]	Refrigeración y aire acondicionado	HFC		√	√	√		√	√	√
[2F2]	Agentes espumantes	HFC								√
[2F4]	Aerosoles	HFC						√	√	√
[3A1]	Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	√	√	√	√	√	√	√	√
[3A2]	Gestión del estiércol	CH <sub>4</sub>	√	√	√	√	√	√	√	√
[3A2]	Gestión del estiércol	N <sub>2</sub> O	√	√	√		√	√	√	√
[3B1]	Tierras forestales	CO <sub>2</sub>			√	√		√		√
[3B2]	Tierras de cultivo	CO <sub>2</sub>			√	√		√		√
[3B3]	Praderas	CO <sub>2</sub>			√	√		√		√
[3B6]	Otras tierras	CO <sub>2</sub>						√		√
[3C1]	Emisiones de GEI por quemado de biomasa	CH <sub>4</sub>								√
[3C3]	Aplicación de urea	CO <sub>2</sub>					√	√	√	√
[3C4]	Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	√	√	√	√	√	√	√	√
[3C5]	Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	√	√	√	√	√	√	√	√
[3C6]	Emisiones indirectas de los N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol	N <sub>2</sub> O					√			
[3D1]	Productos de madera recolectada	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	√	√	√	√	√	√	√
[4A1]	Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	CH <sub>4</sub>		√	√	√		√	√	√
[4A2]	Sitios no controlados de eliminación de residuos	CH <sub>4</sub>		√	√	√				√
[4A3]	Tiraderos a cielo abierto para eliminación de residuos	CH <sub>4</sub>		√	√	√				√
[4C2]	Incineración abierta de residuos	CH <sub>4</sub>					√	√	√	
[4C2]	Incineración abierta de residuos	CO <sub>2</sub>					√	√	√	√
[4D1]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales	CH <sub>4</sub>	√	√			√	√	√	√
[4D1]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales	N <sub>2</sub> O	√				√			√
[4D2]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH <sub>4</sub>	√	√	√	√	√	√	√	√

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 95: Categorías clave ordenadas por nivel en 2019, derivadas del Método 1**Gg CO<sub>2</sub>e

Código	GEI	Emisiones sin [3B]	Emisiones netas	Contribución	Contribución acumulada
[3B1]	CO <sub>2</sub>		191,483.32	19.93%	19.93%
[1A1a]	CO <sub>2</sub>	170,956.12	170,956.12	17.79%	37.72%
[1A3b]	CO <sub>2</sub>	134,747.56	134,747.56	14.03%	51.75%
[3A1]	CH <sub>4</sub>	82,287.31	82,287.31	8.56%	60.31%
[1A1c]	CO <sub>2</sub>	21,622.12	21,622.12	2.25%	62.57%
[3A2]	CH <sub>4</sub>	19,818.59	19,818.59	2.06%	64.63%
[2A1]	CO <sub>2</sub>	19,411.14	19,411.14	2.02%	66.65%
[3C4]	N <sub>2</sub> O	18,752.68	18,752.68	1.95%	68.60%
[2F1]	HFC	18,556.49	18,556.49	1.93%	70.53%
[1A2m]	CO <sub>2</sub>	17,746.66	17,746.66	1.85%	72.38%
[2C1]	CO <sub>2</sub>	16,884.61	16,884.61	1.76%	74.14%
[1A4b]	CO <sub>2</sub>	16,766.18	16,766.18	1.75%	75.88%
[4D2]	CH <sub>4</sub>	16,405.86	16,405.86	1.71%	77.59%
[4A1]	CH <sub>4</sub>	14,185.75	14,185.75	1.48%	79.07%
[1A2i]	CO <sub>2</sub>	12,363.66	12,363.66	1.29%	80.35%
[3B2]	CO <sub>2</sub>		12,362.59	1.29%	81.64%
[1B2a]	CH <sub>4</sub>	11,474.27	11,474.27	1.19%	82.83%
[1A4c]	CO <sub>2</sub>	10,508.85	10,508.85	1.09%	83.93%
[1A1b]	CO <sub>2</sub>	10,238.68	10,238.68	1.07%	84.99%
[3B3]	CO <sub>2</sub>		10,234.20	1.07%	86.06%
[1B2a]	CO <sub>2</sub>	9,616.94	9,616.94	1.00%	87.06%
[4A3]	CH <sub>4</sub>	9,521.45	9,521.45	0.99%	88.05%
[3D1]	CO <sub>2</sub>	9,187.04	9,187.04	0.96%	89.01%
[1A3a]	CO <sub>2</sub>	8,365.84	8,365.84	0.87%	89.88%
[3A2]	N <sub>2</sub> O	8,166.31	8,166.31	0.85%	90.73%
[1A2c]	CO <sub>2</sub>	7,673.20	7,673.20	0.80%	91.53%
[3C5]	N <sub>2</sub> O	6,748.26	6,748.26	0.70%	92.23%
[2A4]	CO <sub>2</sub>	6,288.25	6,288.25	0.65%	92.88%
[1A2a]	CO <sub>2</sub>	5,689.03	5,689.03	0.59%	93.47%
[1B2b]	CH <sub>4</sub>	5,393.88	5,393.88	0.56%	94.04%
[4A2]	CH <sub>4</sub>	5,321.69	5,321.69	0.55%	94.59%
[1A4a]	CO <sub>2</sub>	4,661.04	4,661.04	0.49%	95.08%
[4D1]	CH <sub>4</sub>	4,191.35	4,191.35	0.44%	95.51%
[2A2]	CO <sub>2</sub>	4,071.18	4,071.18	0.42%	95.94%
[1B2b]	CO <sub>2</sub>	2,735.60	2,735.60	0.28%	96.22%
[1A2d]	CO <sub>2</sub>	2,574.74	2,574.74	0.27%	96.49%
[4D1]	N <sub>2</sub> O	2,512.25	2,512.25	0.26%	96.75%
[1A4b]	CH <sub>4</sub>	2,119.06	2,119.06	0.22%	96.97%
[1A2e]	CO <sub>2</sub>	2,022.02	2,022.02	0.21%	97.18%
[1A2b]	CO <sub>2</sub>	1,854.60	1,854.60	0.19%	97.37%
[2B8]	CO <sub>2</sub>	1,804.85	1,804.85	0.19%	97.56%
[1A3d]	CO <sub>2</sub>	1,541.07	1,541.07	0.16%	97.72%
[3C3]	CO <sub>2</sub>	1,484.65	1,484.65	0.15%	97.88%
[1B1a]	CH <sub>4</sub>	1,480.63	1,480.63	0.15%	98.03%

Tabla 95: continúa.

Código	GEI	Emisiones sin [3B]	Emisiones netas	Contribución	Contribución acumulada
[3C1]	CH <sub>4</sub>	1,458.70	1,458.70	0.15%	98.18%
[1A3c]	CO <sub>2</sub>	1,399.75	1,399.75	0.15%	98.33%
[2B9]	HFC	1,387.53	1,387.53	0.14%	98.47%
[3C6]	N <sub>2</sub> O	1,316.28	1,316.28	0.14%	98.61%
[1A3b]	N <sub>2</sub> O	1,261.10	1,261.10	0.13%	98.74%
[2F4]	HFC	1,160.41	1,160.41	0.12%	98.86%
[2A3]	CO <sub>2</sub>	1,148.02	1,148.02	0.12%	98.98%
[4C2]	CO <sub>2</sub>	982.95	982.95	0.10%	99.08%
[1A2k]	CO <sub>2</sub>	828.97	828.97	0.09%	99.17%
[4C2]	CH <sub>4</sub>	746.95	746.95	0.08%	99.25%
[3B6]	CO <sub>2</sub>		639.53	0.07%	99.31%
[3C1]	N <sub>2</sub> O	607.96	607.96	0.06%	99.38%
[1A2g]	CO <sub>2</sub>	550.17	550.17	0.06%	99.43%
[2B2]	N <sub>2</sub> O	508.01	508.01	0.05%	99.49%
[2F2]	HFC	468.03	468.03	0.05%	99.54%
[2G1]	SF <sub>6</sub>	398.65	398.65	0.04%	99.58%
[1A3b]	CH <sub>4</sub>	392.89	392.89	0.04%	99.62%
[2B6]	CO <sub>2</sub>	386.97	386.97	0.04%	99.66%
[2C2]	CO <sub>2</sub>	333.12	333.12	0.03%	99.69%
[1A1a]	N <sub>2</sub> O	284.03	284.03	0.03%	99.72%
[1A4b]	N <sub>2</sub> O	269.71	269.71	0.03%	99.75%
[2B8]	CH <sub>4</sub>	237.00	237.00	0.02%	99.78%
[4C2]	N <sub>2</sub> O	176.60	176.60	0.02%	99.79%
[2B7]	CO <sub>2</sub>	166.01	166.01	0.02%	99.81%
[1A1a]	CH <sub>4</sub>	157.24	157.24	0.02%	99.83%
[2F3]	HFC	155.67	155.67	0.02%	99.84%
[1A3c]	N <sub>2</sub> O	145.62	145.62	0.02%	99.86%
[3C7]	CH <sub>4</sub>	119.13	119.13	0.01%	99.87%
[2B4]	N <sub>2</sub> O	118.57	118.57	0.01%	99.88%
[3B5]	CO <sub>2</sub>		110.53	0.01%	99.90%
[3B4]	CO <sub>2</sub>		107.73	0.01%	99.91%
[4B]	CH <sub>4</sub>	90.97	90.97	0.01%	99.92%
[2C5]	CO <sub>2</sub>	87.94	87.94	0.01%	99.93%
[4B]	N <sub>2</sub> O	64.57	64.57	0.01%	99.93%
[1A3a]	N <sub>2</sub> O	61.06	61.06	0.01%	99.94%
[4C1]	CO <sub>2</sub>	54.96	54.96	0.01%	99.94%
[3C2]	CO <sub>2</sub>	47.40	47.40	0.00%	99.95%
[1B1a]	CO <sub>2</sub>	42.10	42.10	0.00%	99.95%
[1A4c]	CH <sub>4</sub>	40.00	40.00	0.00%	99.96%
[1A2e]	N <sub>2</sub> O	36.80	36.80	0.00%	99.96%
[1A2m]	N <sub>2</sub> O	34.16	34.16	0.00%	99.96%
[1B2a]	N <sub>2</sub> O	34.00	34.00	0.00%	99.97%
[1A2e]	CH <sub>4</sub>	29.14	29.14	0.00%	99.97%
[2H1]	CO <sub>2</sub>	27.80	27.80	0.00%	99.97%
[2D1]	CO <sub>2</sub>	27.64	27.64	0.00%	99.98%



Tabla 95: continúa.

Código	GEI	Emisiones sin [3B]	Emisiones netas	Contribución	Contribución acumulada
[1A2m]	CH <sub>4</sub>	24.49	24.49	0.00%	99.98%
[1A4c]	N <sub>2</sub> O	22.53	22.53	0.00%	99.98%
[2E3]	PFC	22.37	22.37	0.00%	99.98%
[1A2i]	N <sub>2</sub> O	22.31	22.31	0.00%	99.99%
[1A2i]	CH <sub>4</sub>	13.11	13.11	0.00%	99.99%
[1A3d]	N <sub>2</sub> O	11.10	11.10	0.00%	99.99%
[1A1c]	N <sub>2</sub> O	10.45	10.45	0.00%	99.99%
[1A1c]	CH <sub>4</sub>	10.23	10.23	0.00%	99.99%
[1A4a]	CH <sub>4</sub>	10.20	10.20	0.00%	99.99%
[1A1b]	N <sub>2</sub> O	8.83	8.83	0.00%	99.99%
[2D2]	CO <sub>2</sub>	6.52	6.52	0.00%	99.99%
[1A1b]	CH <sub>4</sub>	6.50	6.50	0.00%	99.99%
[1A2c]	N <sub>2</sub> O	4.46	4.46	0.00%	100.00%
[1A3d]	CH <sub>4</sub>	4.10	4.10	0.00%	100.00%
[1A2c]	CH <sub>4</sub>	4.06	4.06	0.00%	100.00%
[2E1]	PFC	3.76	3.76	0.00%	100.00%
[2C1]	CH <sub>4</sub>	3.11	3.11	0.00%	100.00%
[2F5]	HFC	3.10	3.10	0.00%	100.00%
[1A2a]	CH <sub>4</sub>	2.83	2.83	0.00%	100.00%
[1A2a]	N <sub>2</sub> O	2.79	2.79	0.00%	100.00%
[1A3c]	CH <sub>4</sub>	2.23	2.23	0.00%	100.00%
[2E1]	NF <sub>3</sub>	2.22	2.22	0.00%	100.00%
[4C1]	N <sub>2</sub> O	2.11	2.11	0.00%	100.00%
[1A4a]	N <sub>2</sub> O	1.93	1.93	0.00%	100.00%
[1A2b]	N <sub>2</sub> O	1.92	1.92	0.00%	100.00%
[1A2d]	N <sub>2</sub> O	1.88	1.88	0.00%	100.00%
[1A2k]	N <sub>2</sub> O	1.81	1.81	0.00%	100.00%
[1A3a]	CH <sub>4</sub>	1.61	1.61	0.00%	100.00%
[1A2d]	CH <sub>4</sub>	1.51	1.51	0.00%	100.00%
[1A2b]	CH <sub>4</sub>	1.29	1.29	0.00%	100.00%
[2E2]	SF <sub>6</sub>	1.18	1.18	0.00%	100.00%
[2E1]	SF <sub>6</sub>	1.08	1.08	0.00%	100.00%
[1A2k]	CH <sub>4</sub>	0.96	0.96	0.00%	100.00%
[2E1]	HFC	0.57	0.57	0.00%	100.00%
[1A2g]	N <sub>2</sub> O	0.40	0.40	0.00%	100.00%
[1A2g]	CH <sub>4</sub>	0.32	0.32	0.00%	100.00%
[2E2]	NF <sub>3</sub>	0.25	0.25	0.00%	100.00%
[2E1]	N <sub>2</sub> O	0.25	0.25	0.00%	100.00%
[4C1]	CH <sub>4</sub>	0.09	0.09	0.00%	100.00%
[2E2]	N <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.00%	100.00%
[2E2]	PFC	0.05	0.05	0.00%	100.00%
[1B2b]	N <sub>2</sub> O	0.03	0.03	0.00%	100.00%
<b>Total</b>		<b>960,754.54</b>	<b>100%</b>		

Fuente: elaboración propia.



## Anexo 2: Evaluación de la incertidumbre

**Tabla 96: Incertidumbres por fuente**

Gg CO<sub>2</sub>e

Código	Categoría	GEI	Emisiones 2019	Incertidumbre
[1A1a]	Actividad principal producción de electricidad y calor	CO <sub>2</sub>	170,956.12	4.76%
[1A1a]	Actividad principal producción de electricidad y calor	N <sub>2</sub> O	284.03	59.01%
[1A1a]	Actividad principal producción de electricidad y calor	CH <sub>4</sub>	157.24	80.88%
[1A1b]	Refinación de petróleo	CO <sub>2</sub>	10,238.68	5.28%
[1A1b]	Refinación de petróleo	N <sub>2</sub> O	8.83	97.71%
[1A1b]	Refinación de petróleo	CH <sub>4</sub>	6.50	77.57%
[1A1c]	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	CO <sub>2</sub>	21,622.12	5.87%
[1A1c]	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	CH <sub>4</sub>	10.23	115.04%
[1A1c]	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	N <sub>2</sub> O	10.45	108.09%
[1A2a]	Hierro y acero	CO <sub>2</sub>	5,689.03	8.31%
[1A2a]	Hierro y acero	CH <sub>4</sub>	2.83	129.22%
[1A2a]	Hierro y acero	N <sub>2</sub> O	2.79	124.01%
[1A2b]	Metales no ferrosos	CO <sub>2</sub>	1,854.60	3.94%
[1A2b]	Metales no ferrosos	N <sub>2</sub> O	1.92	92.79%
[1A2b]	Metales no ferrosos	CH <sub>4</sub>	1.29	81.74%
[1A2c]	Sustancias químicas	CO <sub>2</sub>	7,673.20	6.13%
[1A2c]	Sustancias químicas	CH <sub>4</sub>	4.06	90.29%
[1A2c]	Sustancias químicas	N <sub>2</sub> O	4.46	80.85%
[1A2d]	Pulpa, papel e imprenta	CO <sub>2</sub>	2,574.74	6.97%
[1A2d]	Pulpa, papel e imprenta	N <sub>2</sub> O	1.88	89.12%
[1A2d]	Pulpa, papel e imprenta	CH <sub>4</sub>	1.51	98.44%
[1A2e]	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	CO <sub>2</sub>	2,022.02	5.58%
[1A2e]	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	N <sub>2</sub> O	36.80	161.63%
[1A2e]	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	CH <sub>4</sub>	29.14	143.83%
[1A2g]	Equipo de transporte	CO <sub>2</sub>	550.17	6.50%
[1A2g]	Equipo de transporte	N <sub>2</sub> O	0.40	96.18%
[1A2g]	Equipo de transporte	CH <sub>4</sub>	0.32	97.18%
[1A2i]	Minería (con excepción de combustible) y cantería	CO <sub>2</sub>	12,363.66	13.54%
[1A2i]	Minería (con excepción de combustible) y cantería	N <sub>2</sub> O	22.31	108.60%
[1A2i]	Minería (con excepción de combustible) y cantería	CH <sub>4</sub>	13.11	98.46%
[1A2k]	Construcción	CO <sub>2</sub>	828.97	5.34%
[1A2k]	Construcción	N <sub>2</sub> O	1.81	150.08%
[1A2k]	Construcción	CH <sub>4</sub>	0.96	150.08%
[1A2m]	Industria no especificada	CO <sub>2</sub>	17,746.66	3.49%
[1A2m]	Industria no especificada	N <sub>2</sub> O	34.16	88.19%
[1A2m]	Industria no especificada	CH <sub>4</sub>	24.49	78.64%
[1A3a]	Aviación civil	CO <sub>2</sub>	8,365.84	5.00%
[1A3a]	Aviación civil	N <sub>2</sub> O	61.06	109.56%
[1A3a]	Aviación civil	CH <sub>4</sub>	1.61	78.26%
[1A3b]	Autotransporte	CO <sub>2</sub>	134,747.56	4.10%

Tabla 96: continúa

Código	Categoría	GEI	Emisiones 2019	Incertidumbre
[1A3b]	Autotransporte	N <sub>2</sub> O	1,261.10	114.87%
[1A3b]	Autotransporte	CH <sub>4</sub>	392.89	93.85%
[1A3c]	Ferrocarriles	N <sub>2</sub> O	145.62	125.10%
[1A3c]	Ferrocarriles	CO <sub>2</sub>	1,399.75	5.14%
[1A3c]	Ferrocarriles	CH <sub>4</sub>	2.23	105.30%
[1A3d]	Navegación marítima y fluvial	CO <sub>2</sub>	1,541.07	8.92%
[1A3d]	Navegación marítima y fluvial	N <sub>2</sub> O	11.10	111.61%
[1A3d]	Navegación marítima y fluvial	CH <sub>4</sub>	4.10	93.81%
[1A4a]	Comercial/Institucional	CO <sub>2</sub>	4,661.04	8.77%
[1A4a]	Comercial/Institucional	N <sub>2</sub> O	1.93	116.79%
[1A4a]	Comercial/Institucional	CH <sub>4</sub>	10.20	22.11%
[1A4b]	Residencial	CH <sub>4</sub>	2,119.06	131.42%
[1A4b]	Residencial	CO <sub>2</sub>	16,766.18	9.04%
[1A4b]	Residencial	N <sub>2</sub> O	269.71	164.74%
[1A4c]	Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	CO <sub>2</sub>	10,508.85	9.85%
[1A4c]	Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	CH <sub>4</sub>	40.00	133.71%
[1A4c]	Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	N <sub>2</sub> O	22.53	149.71%
[1B1a]	Minería carbonífera y manejo del carbón	CH <sub>4</sub>	1,480.63	65.81%
[1B1a]	Minería carbonífera y manejo del carbón	CO <sub>2</sub>	42.10	72.34%
[1B2a]	Petróleo	CH <sub>4</sub>	11,474.27	23.54%
[1B2a]	Petróleo	CO <sub>2</sub>	9,616.94	16.00%
[1B2a]	Petróleo	N <sub>2</sub> O	34.00	90.21%
[1B2b]	Gas natural	CH <sub>4</sub>	5,393.88	44.03%
[1B2b]	Gas natural	CO <sub>2</sub>	2,735.60	41.61%
[1B2b]	Gas natural	N <sub>2</sub> O	0.03	120.03%
[2A1]	Producción de cemento	CO <sub>2</sub>	19,411.14	9.88%
[2A2]	Producción de cal	CO <sub>2</sub>	4,071.18	6.55%
[2A3]	Producción de vidrio	CO <sub>2</sub>	1,148.02	8.89%
[2A4]	Otros usos de carbonatos en los procesos	CO <sub>2</sub>	6,288.25	8.45%
[2B2]	Producción de ácido nítrico	N <sub>2</sub> O	508.01	40.05%
[2B4]	Producción de caprolactama	N <sub>2</sub> O	118.57	40.05%
[2B6]	Producción de dióxido de titanio	CO <sub>2</sub>	386.97	15.81%
[2B7]	Producción de ceniza de sosa	CO <sub>2</sub>	166.01	7.07%
[2B8]	Producción petroquímica y negro de humo	CO <sub>2</sub>	1,804.85	91.10%
[2B8]	Producción petroquímica y negro de humo	CH <sub>4</sub>	237.00	119.06%
[2B9]	Producción fluoroquímica	HFC	1,387.53	2.83%
[2C1]	Producción de hierro y acero	CO <sub>2</sub>	16,884.61	14.20%
[2C1]	Producción de hierro y acero	CH <sub>4</sub>	3.11	26.93%
[2C2]	Producción de ferroaleaciones	CO <sub>2</sub>	333.12	19.08%
[2C5]	Producción de plomo	CO <sub>2</sub>	87.94	22.36%
[2D1]	Uso de lubricantes	CO <sub>2</sub>	27.64	50.30%
[2D2]	Uso de la cera de parafina	CO <sub>2</sub>	6.52	100.14%
[2E1]	Circuitos integrados o semiconductores	PFC	3.76	134.83%
[2E1]	Circuitos integrados o semiconductores	NF <sub>3</sub>	2.22	200.25%
[2E1]	Circuitos integrados o semiconductores	SF <sub>6</sub>	1.08	200.25%

Tabla 96: continúa

Código	Categoría	GEI	Emisiones 2019	Incertidumbre
[2E1]	Circuitos integrados o semiconductores	HFC	0.57	199.60%
[2E1]	Circuitos integrados o semiconductores	N <sub>2</sub> O	0.25	200.25%
[2E2]	Pantalla plana tipo TFT	SF <sub>6</sub>	1.18	200.25%
[2E2]	Pantalla plana tipo TFT	NF <sub>3</sub>	0.25	200.25%
[2E2]	Pantalla plana tipo TFT	N <sub>2</sub> O	0.05	200.25%
[2E2]	Pantalla plana tipo TFT	PFC	0.05	199.81%
[2E3]	Células fotovoltaicas	PFC	22.37	9.39%
[2F1]	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	18,556.49	19.34%
[2F2]	Agentes espumantes	HFC	468.03	44.46%
[2F3]	Protección contra incendios	HFC	155.67	8.70%
[2F4]	Aerosoles	HFC	1,160.41	97.83%
[2F5]	Solventes	HFC	3.10	50.00%
[2G1]	Equipos eléctricos	SF <sub>6</sub>	398.65	20.00%
[2H1]	Industria de la pulpa y el papel	CO <sub>2</sub>	27.80	3.61%
[3A1]	Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	82,287.31	22.22%
[3A2]	Gestión de estiércol	CH <sub>4</sub>	19,818.59	14.22%
[3A2]	Gestión de estiércol	N <sub>2</sub> O	8,166.31	20.80%
[3B1]	Tierras forestales	CO <sub>2</sub>	-191,483.32	6.02%
[3B2]	Tierras de cultivo	CO <sub>2</sub>	-12,362.59	975.73%
[3B3]	Praderas	CO <sub>2</sub>	10,234.20	69.31%
[3B4]	Humedades	CO <sub>2</sub>	107.73	149.67%
[3B5]	Asentamientos	CO <sub>2</sub>	110.53	72.51%
[3B6]	Otras tierras	CO <sub>2</sub>	639.53	86.92%
[3C1]	Emisiones de GEI por quemado de biomasa	CH <sub>4</sub>	1,458.67	24.33%
[3C1]	Emisiones de GEI por quemado de biomasa	N <sub>2</sub> O	607.97	17.69%
[3C2]	Encalado	CO <sub>2</sub>	47.40	4.78%
[3C3]	Aplicación de urea	CO <sub>2</sub>	1,484.65	50.25%
[3C4]	Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	18,752.68	77.40%
[3C5]	Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados	N <sub>2</sub> O	6,748.26	123.05%
[3C6]	Emisiones indirectas de los N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol	N <sub>2</sub> O	1,316.28	28.00%
[3C7]	Cultivo del arroz	CH <sub>4</sub>	119.13	69.08%
[3D1]	Productos de madera recolectada	CO <sub>2</sub>	-9,187.04	50.00%
[4A1]	Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	CH <sub>4</sub>	14,185.75	5.40%
[4A2]	Sitios no controlados de eliminación de residuos	CH <sub>4</sub>	5,321.69	6.66%
[4A3]	Tiraderos a cielo abierto para eliminación de residuos	CH <sub>4</sub>	9,521.45	2.32%
[4B]	Tratamiento biológico de residuos sólidos	CH <sub>4</sub>	90.97	104.04%
[4B]	Tratamiento biológico de residuos sólidos	N <sub>2</sub> O	64.57	94.87%
[4C1]	Incineración de residuos	CO <sub>2</sub>	54.96	65.24%
[4C1]	Incineración de residuos	N <sub>2</sub> O	2.11	63.16%
[4C1]	Incineración de residuos	CH <sub>4</sub>	0.09	32.92%
[4C2]	Incineración abierta de residuos	CO <sub>2</sub>	982.95	91.28%
[4C2]	Incineración abierta de residuos	CH <sub>4</sub>	746.95	94.57%
[4C2]	Incineración abierta de residuos	N <sub>2</sub> O	176.60	94.57%
[4D1]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales	CH <sub>4</sub>	4,191.35	43.97%
[4D1]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales	N <sub>2</sub> O	2,512.25	14.74%
[4D2]	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	CH <sub>4</sub>	16,405.86	178.23%
<b>Total de emisiones</b>			<b>534,688.60</b>	<b>23.84%</b>



## Anexo 3: Descripciones metodológicas adicionales

En este anexo se presentan los juicios de experto aplicados en la metodología de estimación de GEI de forma individual a diversas subcategorías y fuentes de emisión, con la finalidad de incrementar la exactitud de los cálculos.

Anexo 3. Experto 1: Actividad principal de energía y calor [1A1a]			
<b>Nombre</b>	Gerencia de Protección Ambiental.	<b>Fuente</b>	[1A1a] Actividad principal Producción de electricidad y calor.
<b>Adscripción</b>	Comisión Federal de Electricidad (CFE).	<b>Cargo</b>	Subgerencia de Evaluación de Emisiones.
<b>Experiencia</b>	La Comisión Federal de Electricidad es una empresa pública sin fines de lucro, de carácter social, que ofrece el servicio público de energía eléctrica, fundamental para el desarrollo de una nación. Es una empresa productiva del Estado, propiedad del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.		
<b>Información dictaminada</b>	Factor de emisión para el consumo de carbón.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	El INECC identificó que dentro de las carboeléctricas se consume carbón mineral, un carbón térmico nacional y carbón siderúrgico, y una tercera que consume carbón térmico de importación.		
<b>Dictamen</b>	CFE a través de la Subgerencia de Evaluación de Emisiones y la Subdirección de Generación revisó los reportes de los tipos de carbón que son consumidos por las centrales carboeléctricas y proporcionó un FE ponderado para estimar las emisiones de GEI de dichas centrales, que refleje el contenido de carbono en los diferentes tipos empleados de carbón. El FE es 2,450 kg de CO <sub>2</sub> /kg de carbón.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>	Dictamen incorporado.		
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 2: Autotransporte [1A3b]**

Nombre	Mtra. Eunice Alejandra Cortés Alfaro.	Fuente	[1A3b] Autotransporte.																																																																																
Adscripción	INECC.	Cargo	Jefa del Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros.																																																																																
Experiencia	<p>Maestra en Ingeniería Ambiental con especialidad en evaluación integrada de riesgo ambiental e Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Autónoma de México, actualmente se encuentra ocupando el cargo de Jefa de Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros en la Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, apoyando a la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero.</p> <p>De septiembre de 2014 a julio de 2019 colaboró en la Dirección General de Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno de la Ciudad de México, bajo los cargos de experta en cálculo de emisiones de fuentes móviles, Jefa de Unidad Departamental de Modelación y Sistemas de Información Geográfica y Jefa de Unidad Departamental de Inventario de Seguimiento y Evaluación de Proyectos en donde participó en la elaboración de los Inventarios de Emisiones de la Ciudad de México 2014 y 2016 y en la evaluación de medidas y programas para mejorar la calidad del aire.</p> <p>Ha impartido varios cursos de capacitación sobre el uso del modelo de estimación de emisiones vehiculares MOVES-México así como la elaboración de varios inventarios de fuentes móviles en el ámbito estatal.</p> <p>Desde 2017 está certificada como experta en la elaboración de inventarios de gases de efecto invernadero por el CDP (Carbon Disclosure Project) mediante el certificado "Urban Greenhouse Gas Inventory Specialist", adicionalmente cuenta con los certificados de los cursos "501 IPCC: Introduction to Cross-Cutting Issues" y "511 IPCC: Energy" del Ghg Management Institute, además de estar certificada como revisora de Inventarios de países Anexo 1 bajo el "Programa de capacitación para expertos revisores sobre revisión técnica de los inventarios de gases de efecto invernadero de los países Anexo 1 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático".</p>																																																																																		
Información dictaminada	<p>Factores de emisión por año de metano y óxido nitroso para los vehículos a gasolina y de carbono negro para los vehículos a gasolina y a <i>diesel</i>.</p> <table border="1" data-bbox="678 1113 1082 1794"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Año</th> <th colspan="3">Gasolina</th> <th><i>Diesel</i></th> </tr> <tr> <th>CH<sub>4</sub></th> <th>N<sub>2</sub>O</th> <th>CN</th> <th>CN</th> </tr> <tr> <th colspan="5">kg/TJ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1990</td><td>11.81</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1991</td><td>11.81</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1992</td><td>11.81</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1993</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1994</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1995</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>68.62</td></tr> <tr><td>1996</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>53.67</td></tr> <tr><td>1997</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>53.67</td></tr> <tr><td>1998</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>53.67</td></tr> <tr><td>1999</td><td>11.29</td><td>7.60</td><td>1.77</td><td>53.67</td></tr> <tr><td>2000</td><td>11.02</td><td>7.64</td><td>1.75</td><td>49.78</td></tr> <tr><td>2001</td><td>10.02</td><td>7.46</td><td>1.72</td><td>46.29</td></tr> <tr><td>2002</td><td>9.63</td><td>7.25</td><td>1.67</td><td>43.04</td></tr> </tbody> </table>				Año	Gasolina			<i>Diesel</i>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CN	CN	kg/TJ					1990	11.81	7.60	1.77	68.62	1991	11.81	7.60	1.77	68.62	1992	11.81	7.60	1.77	68.62	1993	11.29	7.60	1.77	68.62	1994	11.29	7.60	1.77	68.62	1995	11.29	7.60	1.77	68.62	1996	11.29	7.60	1.77	53.67	1997	11.29	7.60	1.77	53.67	1998	11.29	7.60	1.77	53.67	1999	11.29	7.60	1.77	53.67	2000	11.02	7.64	1.75	49.78	2001	10.02	7.46	1.72	46.29	2002	9.63	7.25	1.67	43.04
Año	Gasolina			<i>Diesel</i>																																																																															
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CN	CN																																																																															
kg/TJ																																																																																			
1990	11.81	7.60	1.77	68.62																																																																															
1991	11.81	7.60	1.77	68.62																																																																															
1992	11.81	7.60	1.77	68.62																																																																															
1993	11.29	7.60	1.77	68.62																																																																															
1994	11.29	7.60	1.77	68.62																																																																															
1995	11.29	7.60	1.77	68.62																																																																															
1996	11.29	7.60	1.77	53.67																																																																															
1997	11.29	7.60	1.77	53.67																																																																															
1998	11.29	7.60	1.77	53.67																																																																															
1999	11.29	7.60	1.77	53.67																																																																															
2000	11.02	7.64	1.75	49.78																																																																															
2001	10.02	7.46	1.72	46.29																																																																															
2002	9.63	7.25	1.67	43.04																																																																															



## Anexo 3. Experto 2: Autotransporte [1A3b]

	Año	Gasolina			Diesel																																																															
		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CN	CN																																																															
		kg/TJ																																																																		
		2003	2004	2005	2006																																																															
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019																																																							
	9.16	7.04	1.63	39.98	8.87	6.83	1.58	37.38	8.77	6.61	1.52	34.93	8.55	6.26	1.46	32.56	8.15	5.88	1.37	30.39	7.92	5.51	1.30	28.73	7.25	5.16	1.24	27.33	7.22	4.84	1.18	26.25	7.18	4.50	1.12	25.50	7.04	4.15	1.07	24.96	6.98	3.82	1.01	24.00	6.93	3.49	0.94	23.22	6.80	3.20	0.86	22.49	6.69	2.93	0.81	21.94	6.52	2.70	0.75	21.49	6.32	2.50	0.71	21.15	6.16	2.32	0.67	20.88
<b>Base lógica del dictamen</b>	<p>Considerando que el IPCC únicamente proporciona FE por defecto para el metano y el óxido nitroso de los vehículos a gasolina y que no se proporcionan valores para FE del carbono negro, se realizaron modelaciones con el modelo MOVES-México para calcular FE por año calendario considerando la meteorología, las características de la flota, las propiedades de los combustibles y los modos de manejo específicos del país. Dichos FE se encuentran dentro de los rangos propuestos por el IPCC y, por tanto, se consideran apropiados.</p> <p>Las emisiones de metano, óxido nitroso y carbono negro de los vehículos dependen, además del tipo y cantidad de combustible, de las tecnologías vehiculares y sistemas de control de emisiones. Por tanto, contar con FE específicos para cada año de la serie histórica resulta en una menor incertidumbre en la estimación de estas emisiones.</p>																																																																			
<b>Dictamen</b>	Se ajustaron los FE de metano y óxido nitroso para vehículos a gasolina, y los de carbono negro para vehículos a gasolina y <i>diesel</i> con factores específicos para el país.																																																																			
<b>Revisores externos</b>																																																																				
<b>Resultados de la revisión externa</b>	Dictamen incorporado.																																																																			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada																																																																			

**Anexo 3. Experto 3: Industria de los minerales [2A4]**

<b>Nombre</b>	Área de sustentabilidad de la CANACEM.	<b>Fuente</b>	[2A1] Producción de cemento. [2A4] Otros usos de carbonatos.
<b>Adscripción</b>	CANACEM.	<b>Cargo</b>	
<b>Experiencia</b>	<p>La Cámara Nacional del Cemento (CANACEM; <a href="http://www.canacem.org.mx">www.canacem.org.mx</a>), con más de 70 años de historia, es una institución de interés público, autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propios, constituida conforme a lo dispuesto en la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones, con circunscripción en territorio nacional y que se basa en sus estatutos para su operación.</p> <p>Se encuentra conformada por seis empresas cementeras: CEMEX, Grupo Cementos de Chihuahua, Cementos Moctezuma, Cementos y Concretos Nacionales, Holcim Apasco y Lafarge Cementos.</p> <p>Tiene la misión de representar los intereses generales y respaldar las actividades que llevan a cabo las empresas que constituyen la Industria Nacional del Cemento, instrumentando las políticas y programas que contribuyan al desarrollo y expansión de la actividad económica del sector en México. Y tiene la visión de ser un órgano de consulta y colaboración en todo lo relacionado con las necesidades, requerimientos, programas y actividades que favorezcan la competitividad y el desarrollo de las industrias del ramo, dentro del marco legal existente.</p>		
<b>Información dictaminada</b>	Fracción de clínker en diferentes tipos de cemento (gris, blanco y mortero). Cantidad de caliza utilizada en la producción de clínker.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	Valores más probables de las fracciones de clínker en los diferentes tipos de cemento, de acuerdo a experiencia del experto en la compañía cementera de mayor capacidad en el país. Cantidad de caliza promedio utilizada en la fabricación de clínker.		
<b>Dictamen</b>			
<b>Revisores externos</b>	-		
<b>Resultados de la revisión externa</b>	Dictamen incorporado.		
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada		

**Anexo 3. Experto 4: [2A4] Otros usos de carbonatos**

<b>Nombre</b>	Grupo Calidra	<b>Fuente</b>	[2A4] Otros usos de carbonatos
<b>Adscripción</b>		<b>Cargo</b>	Gerencia de Medio ambiente
<b>Experiencia</b>	Líder en la industria de la cal en México.		
<b>Información dictaminada</b>	Cantidad de caliza y agua que se utiliza para la fabricación de cal química. Cantidad de caliza y dolomita utilizada en la fabricación de diferentes tipos de cal.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	Dada la experiencia del experto en los procesos de producción de cal en una de las principales compañías del ramo, se estableció la cantidad de caliza promedio utilizada en la fabricación de cal y la cantidad de caliza y dolomita utilizada en la fabricación de diferentes tipos de cal, para la determinación de la caliza y dolomita disponibles en el país y empleada en otros productos.		
<b>Dictamen</b>	Se utilizan 1.4 toneladas de caliza y 320 litros de agua para producir una tonelada de cal química. Se utilizan 1.786 toneladas de caliza para producir una tonelada de cal siderúrgica y cal viva. 1.7 toneladas de caliza dolomítica se utiliza para producir una tonelada de dolomita calcinada. Se utilizan 1.5 toneladas de caliza para producir una tonelada de cal hidráulica.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>	Dictamen incorporado.		
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada		

**Anexo 3. Experto 5: [2B2] Producción de amoniaco, dato de actividad**

<b>Nombre</b>	ANIQ	<b>Fuente</b>	[2B2] Producción de amoniaco
<b>Adscripción</b>	ANIQ	<b>Cargo</b>	
<b>Experiencia</b>	La Asociación Nacional de la Industria Química es una asociación civil constituida el 11 de noviembre de 1959. Actualmente está ligada a más del 95% de la producción privada de químicos en México, a través de 258 empresas de distintos tamaños y actividades dentro del sector.		
<b>Información dictaminada</b>	Se utilizará como DA para la producción de ácido nítrico: 213 toneladas anuales a partir de 2010 y hasta que el ANIQ recomiende su cambio.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	En México hay solamente cuatro plantas de producción de ácido nítrico, las cuales suman una capacidad instalada de 304 toneladas de tal sustancia por año. De acuerdo a la ANIQ, tales plantas funcionan al 70% de su capacidad.		
<b>Dictamen</b>	Se acepta el cambio.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 6: [2B2] Producción de amoníaco, factor de emisión (FE)**

<b>Nombre</b>	PEMEX	<b>Fuente</b>	[2B2] Producción de amoníaco.
<b>Adscripción</b>	Subdirección de evaluación del desempeño y mejora continua Coordinación de Gestión Ambiental y Energética Petróleos Mexicanos	<b>Cargo</b>	NA
<b>Experiencia del experto</b>	PEMEX es la compañía estatal encargada de administrar la exploración, producción, transporte, almacenamiento, refinación, transformación y venta del petróleo en México.		
<b>Información dictaminada</b>	FE de CO <sub>2</sub> en la producción de amoníaco. El FE usado para estimar las emisiones de venteos de la producción de amoníaco se estableció en 1.694 tCO <sub>2</sub> /tNH <sub>4</sub> producido, tomado de las <i>Directrices</i> 2006.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	<p>PEMEX, en acuerdo con SEMARNAT, usa el FE de 1.199 tCO<sub>2</sub>/tNH<sub>4</sub> producido, que fue calculado por balance de materia y proporcionado por el centro de trabajo. El FE es correspondiente al publicado por la Asociación Europea de Fabricantes de Fertilizantes (EFMA, <i>Best Available Techniques, Production of Ammonia</i>), que se basa en tecnologías de producción de amoníaco a base de gas natural, similar al que se tiene en PEMEX. Se anexa la memoria de cálculo realizado por el área de ingeniería y procesos del Centro Petroquímico Cosoleacaque, con el cual se llegó al FE propuesto de 1.19856 tCO<sub>2</sub>/tNH<sub>3</sub> producido, que corresponde al CO<sub>2</sub> subproducto venteado por cada tonelada de amoníaco producido. Es importante mencionar que el FE que indica el IPCC (1.694 tCO<sub>2</sub>/tNH<sub>3</sub> producido) tiende a ser mayor, dado que en el texto se sugiere que ese FE considera la energía total requerida en el proceso (gas natural a proceso de reformado para la producción de hidrógeno, más el gas combustible necesario en el calentamiento o en sistemas de combustión).</p> <p><b>Procedimiento para determinar el factor estequiométrico para la producción de las toneladas métricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por cada Tonelada métrica de Amoníaco (NH<sub>3</sub>) producido</b></p> <p>El flujo de CO<sub>2</sub> anhidro, es el producto del flujo molar total y la fracción molar de CO<sub>2</sub>, ambos de la corriente 16 del balance de masa (J-7849-01 (13 Feb 1998)).</p> <p>Con el objeto de mostrar el resultado en unidades de masa, se multiplica lo obtenido por el peso molecular del CO<sub>2</sub> y el resultado se expresa en TPD (toneladas métricas por día).</p> <p><b>Cálculo del flujo de CO, anhidro:</b></p> <p>Flujo molar total (corriente 16) = 1,659.70 kgmol/h Fracción molar del CO<sub>2</sub>= 0.9884 Peso molecular del CO<sub>2</sub>= 44.0095 kg/kgmol</p> $1659.70 \frac{\text{kgmol}}{\text{h}} * 0.9884 * 44.0095 \frac{\text{kg}}{\text{kgmol}} * \frac{1 \text{ TM}}{1000 \text{ kg}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}} = 10,732.68 \frac{\text{TM}}{\text{día}} \text{ CO}_2$ <p><b>Cálculo de flujo de NH<sub>3</sub> anhidro:</b></p> $\text{Flujo másico (corriente 32)} = 60,235 \frac{\text{TM}}{\text{h}} = 1,445.64 \frac{\text{TM}}{\text{Día}} \text{ NH}_3$ <p>El factor estequiométrico para la producción de CO<sub>2</sub> se obtiene al dividir el flujo másico de CO<sub>2</sub> anhidro entre el flujo másico de NH<sub>3</sub> producto, expresándose:</p> $\frac{1,732.69 \text{ TPD CO}_2}{1,445.64 \text{ TPD NH}_3} = 1.19856$ <p>Por cada tonelada de NH<sub>3</sub> producido, se obtienen 1.2 toneladas de CO<sub>2</sub> subproducto.</p>		
<b>Dictamen</b>	Se acepta el cambio.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 7: [2C1] Producción de hierro y acero**

<b>Nombre</b>	CANACERO	<b>Fuente</b>	[2C1] Producción de hierro y acero.
<b>Adscripción</b>	CANACERO	<b>Cargo</b>	Dirección de sustentabilidad.
<b>Experiencia</b>	<p>Órgano autónomo reconocido oficialmente por el Gobierno de México. Promueve el desarrollo de prácticas comerciales éticas, sustentables y responsables, y agrupa a las empresas productoras y transformadoras de acero en el país y a aquellas estrechamente vinculadas. Vocero oficial de la industria siderúrgica mexicana desde 1949, propone el diseño de políticas que fomenten el crecimiento y desarrollo sustentable del sector. Funge como órgano de consulta y de enlace ante los tres órdenes de gobierno y los Poderes de la Unión, así como ante organismos nacionales e internacionales afines.</p> <p>Es un organismo nacional de normalización (ONN) responsable de emitir las normas mexicanas que establecen las especificaciones técnicas de los productos de acero hechos en México. Su misión es representar al sector siderúrgico en México y en el extranjero para promover la competitividad y el desarrollo sustentable.</p>		
<b>Información dictaminada</b>	Factor de emisión de CO <sub>2</sub> por la producción de acero en hornos de arco eléctrico.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	<p>Las emisiones de la producción de acero en hornos de Arco eléctrico en México representan una mayor cantidad a la obtenida con el FE dado por defecto en las <i>Directrices</i> 2006.</p> <p>Se determinó, con base en una ponderación de tres establecimientos siderúrgicos en México que producen acero por esta vía, que el FE es de 0.24 ton CO<sub>2</sub>/ton de acero producida.</p>		
<b>Dictamen</b>	Se acepta el cambio con base a la experiencia y acceso a la información de la CANACERO.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

## Anexo 3. Experto 8: [2C5] Producción plomo

Nombre	CAMIMEX	Fuente	[2C5] Producción de plomo
Adscripción	CAMIMEX	Cargo	
Experiencia	<p>La Cámara Minera de México tiene por objeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Representar los intereses generales de la industria minerometalúrgica del país.</li> <li>• Fomentar el desarrollo de la industria minerometalúrgica nacional; asegurar a sus asociados el acceso a programas orientados al desarrollo del comercio y la industria del sector.</li> <li>• Participar en la defensa de los intereses particulares de sus afiliados sin más limitaciones que las señaladas en la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones, y prestarles los servicios que en estos estatutos se señalan.</li> <li>• Representar a sus afiliados ante las autoridades federales y locales y ejercer las funciones necesarias para llevar a cabo los propósitos antes mencionados.</li> <li>• Actuar, por medio de la comisión destinada a ese fin, como árbitro o arbitrador en los conflictos entre sus afiliados, si éstos se someten a la Cámara en compromiso que ante él depositará.</li> <li>• Desempeñar, de acuerdo con las disposiciones aplicables, la sindicatura en las quiebras de sus asociados.</li> <li>• Promover la coordinación y la integración con las cámaras, de agrupaciones y asociaciones locales o regionales del ramo, con el fin de fortalecer la representación sectorial.</li> </ul>		
Información dictaminada	Tipo de proceso de producción de plomo en México para establecer el FE adecuado.		
Base lógica del dictamen	Con base en la amplia experiencia en el sector minerometalúrgico y de acuerdo con su trayectoria profesional en Industrias Peñoles, se examinan los reportes de plomo producido y reportado en el <i>Anuario Estadístico de la Minería Mexicana</i> del Servicio Geológico Mexicano.		
Dictamen	<p>Dictamen incorporado.</p> <p>El proceso de producción de plomo en el país se lleva a cabo por medio de ISF (Imperial Smelting Furnace). Se toma el FE de este proceso que es 0.59 toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producto, establecido en el Cuadro 4.21, cap. 4, vol. 3 de las <i>Directrices</i> 2006.</p>		
Revisores externos			
Resultados de la revisión externa			
Aprobación del INECC	Aceptada.		

## Anexo 3. Experto 9: [2C5] Producción de zinc

Nombre	CAMIMEX	Fuente	[2C5] Producción de zinc
Adscripción	CAMIMEX	Cargo	
Experiencia	<p>La Cámara Minera de México tiene por objeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Representar los intereses generales de la industria minerometalúrgica del país.</li> <li>• Fomentar el desarrollo de la industria minerometalúrgica nacional; asegurar a sus asociados el acceso a programas orientados al desarrollo del comercio y la industria del sector.</li> <li>• Participar en la defensa de los intereses particulares de sus afiliados sin más limitaciones que las señaladas en la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones, y prestarles los servicios que en estos estatutos se señalan.</li> <li>• Representar a sus afiliados ante las autoridades federales y locales y ejercer las funciones necesarias para llevar a cabo los propósitos antes mencionados.</li> <li>• Actuar, por medio de la comisión destinada a ese fin, como árbitro o arbitrador en los conflictos entre sus afiliados, si éstos se someten a la Cámara en compromiso que ante él depositará.</li> <li>• Desempeñar, de acuerdo con las disposiciones aplicables, la sindicatura en las quiebras de sus asociados.</li> <li>• Promover la coordinación y la integración con las cámaras, de agrupaciones y asociaciones locales o regionales del ramo, con el fin de fortalecer la representación sectorial.</li> </ul>		
Información dictaminada	Tipo de proceso de producción de zinc en México. Año en que comenzó a utilizarse este proceso en el país.		
Base lógica del dictamen	Con base en la amplia experiencia en el sector minerometalúrgico y de acuerdo con su trayectoria profesional en Industrias Peñoles, se examinan los reportes de plomo producido y reportado en el <i>Anuario Estadístico de la Minería Mexicana</i> del Servicio Geológico Mexicano.		
Dictamen	Dictamen incorporado. El proceso de producción de zinc en México se lleva a cabo por la vía electrolítica. No se generan emisiones no energéticas de CO <sub>2</sub> de acuerdo a las <i>Directrices IPCC 2006</i> . El proceso electrolítico se utiliza desde la década de los años setenta en el país.		
Revisores externos			
Resultados de la revisión externa			
Aprobación del INECC	Aceptada		



**Anexo 3. Experto 10: [2E] Industria electrónica**

<b>Nombre</b>	Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CANIETI)	<b>Fuente</b>	[2E] Industria electrónica
<b>Adscripción</b>	CANIETI	<b>Cargo</b>	Dirección Nacional de Operaciones
<b>Experiencia</b>	<p>La Cámara Nacional de la Industria Electrónica de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información cuenta con más de 85 años de vida en nuestro país, convirtiéndose en una entidad representativa de los tres sectores, promoviendo su desarrollo en un entorno global con servicios de alta calidad.</p> <p>CANIETI es una institución de interés público, autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio, diferente al de cada uno de sus afiliados; constituida conforme a lo dispuesto en la Ley de Cámaras Empresariales y sus Confederaciones. Su propósito principal es lograr el desarrollo competitivo de la Industria Nacional con sentido gremial y responsabilidad social.</p> <p>Desde 2003, CANIETI ha recibido ocho veces el Premio Nacional de Ética y Valores otorgado por la Confederación Nacional de Cámaras Industriales (CONCAMIN) al organismo que demuestra un compromiso y una responsabilidad social tanto para con sus afiliados como con la sociedad en general.</p> <p>En la CANIETI se afilian las personas físicas o morales establecidas legalmente tanto en la república mexicana como en el extranjero, que se dedican habitualmente a actividades relacionadas con el sector electrónico, de telecomunicaciones o de tecnologías de la información.</p> <p>La Cámara está integrada por más de mil empresas afiliadas en todo México, agrupadas para defender y vigilar sus derechos e intereses comunes.</p>		
<b>Información dictaminada</b>	Porcentaje de producción nacional de componentes electrónicos.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	La producción de componentes electrónicos en México se reporta a través de la "Encuesta mensual de la industria manufacturera" (EMIM) del INEGI; sin embargo no se diferencian el tipo de producción y de proceso por los cuales son elaborados dichos productos.		
<b>Dictamen</b>	<p>Dictamen incorporado.</p> <p>Un pequeño porcentaje de lo que se reporta en la EMIM corresponde a producción de componentes electrónicos y la mayor parte corresponde al ensamble de componentes ya prefabricados e importados, cuyas actividades no generan emisiones.</p> <p>5% de producción nacional.</p> <p>95% importación de piezas.</p>		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 11: [2F1] Equipos de aires acondicionados y refrigeración, factores de emisión**

Nombre	Unidad Protocolo de Montreal.	Fuente	[2F1] Refrigeración y aires acondicionados.			
Adscripción	SEMARNAT.	Cargo				
<b>Experiencia</b>	<p>La Unidad de Protección a la Capa de Ozono en México inició sus actividades hace 20 años. Su tarea es la implementación del Protocolo de Montreal en México.</p> <p>Los logros importantes de México en el control de sustancias reguladas por el Protocolo de Montreal son:</p> <p><b>Ratificación y firma de la Enmienda de Montreal</b></p> <p>La enmienda de Montreal establece que todos los países miembros del Protocolo de Montreal deben establecer un sistema de licencias para la importación y exportación de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO). La enmienda fue ratificada por México y publicada en el <i>Diario Oficial</i> en 2006. Asimismo, desde 1987, México tiene establecido el sistema de licencias para importar SAO. En 2005, para tener un sistema eficiente de control del consumo de las SAO, se desarrolló el "Sistema de monitoreo y seguimiento a la importación y exportación de SAO" (SISSAO).</p> <p>El sistema opera por Internet. Tienen acceso las dependencias que vigilan que no se excedan las cuotas de importación de SAO: Aduanas del SAT-SHCP, COFEPRISS, DGGIMAR y DGCARTEC-SEMARNAT y PROFEPA, así como las empresas importadoras y el público en general.</p>					
<b>Información dictaminada</b>	Estimaciones para la carga, la vida útil y los FE. La buena práctica para elegir los FE consiste en utilizar datos específicos del país, basándose sobre la información proporcionada por los fabricantes de equipos, los proveedores de servicios, las compañías de eliminación y los estudios independientes.					
<b>Base lógica del dictamen</b>	<b>Se plantean los siguientes FE:</b>					
	Actividad	Subaplicación	FE por manufactura de equipos (% de la carga inicial/año)	FE (% de la carga inicial/año)	Emisión de fin de vida útil (%)	
	<b>Climatización unitaria</b>	Aires acondicionados autónomos		1%	15%	90%
		Aire acondicionado <i>split</i> residencial		2%	15%	90%
		Aires acondicionados <i>split</i> comerciales		2%	15%	90%
		Aires acondicionados residenciales tipo <i>split</i> de ductos		5%	15%	90%
		<i>Splits</i> de conductos comerciales		5%	15%	40%
		canalizado en la azotea		1%	10%	40%
		Multi- <i>splits</i>		5%	10%	40%
	<b>Enfriadores</b>	Enfriadores de aire acondicionado		1%	10%	40%
		Enfriadores de proceso		1%	10%	40%
	<b>Mobile AC</b>	Aire acondicionado de automóviles		1%	35%	90%
		Aire acondicionado de vehículo grande		2%	15%	90%
	<b>Refrigeración domestica N</b>	Refrigeración domestica		1%	2%	90%
	<b>Refrigeración comercial</b>	Equipo independiente		1%	10%	90%
		Unidades condensadoras		0%	35%	90%
		Sistemas centralizados para supermercados		0%	35%	90%
	<b>Refrigeración Industrial</b>	Integral		1%	5%	90%
		Unidades condensadoras		5%	25%	90%
		Sistemas centralizados		5%	35%	90%
Camiones/remolques frigoríficos		0%	25%	90%		

**Anexo 3. Experto 11: [2F1] Equipos de aires acondicionados y refrigeración, factores de emisión**

<b>Dictamen</b>	Dictamen incorporado para las serie 1998-2019.
<b>Revisores externos</b>	
<b>Resultados de la revisión externa</b>	
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.

## Anexo 3. Experto 12: [3A] Ganado

<b>Nombre</b>	M. en C Mariano Hernández Gil.	<b>Fuente</b>	[3A1] y [3A2].								
<b>Adscripción</b>	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.	<b>Cargo</b>	Jefe del Departamento de Vinculación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.								
<b>Experiencia</b>	Médico veterinario y Maestro en Ciencias, especialista en medicina y zootecnia de équidos. Cuenta con una amplia trayectoria en el desarrollo de proyectos e investigación relacionados con equinos, mulas y asnos de trabajo.										
<b>Información dictaminada</b>	Pesos promedios de caballos, mulas y asnos.										
<b>Base lógica del dictamen</b>	El INECC identificó que no se cuenta con información oficial sobre los pesos promedios para estas especies ganaderas.										
<b>Dictamen</b>	<p>Dictamen incorporado. Se establecieron como pesos promedio:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Especie</th> <th>Peso promedio kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Caballos</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td>Mulas</td> <td>350</td> </tr> <tr> <td>Asnos</td> <td>250</td> </tr> </tbody> </table>			Especie	Peso promedio kg	Caballos	550	Mulas	350	Asnos	250
Especie	Peso promedio kg										
Caballos	550										
Mulas	350										
Asnos	250										
<b>Revisores externos</b>											
<b>Resultados de la revisión externa</b>											
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.										

## Anexo 3. Experto 13: [3C2] Encalado

<b>Nombre</b>	Ing. Salvador Lee Godínez.	<b>Fuente</b>	[3C2] Encalado.
<b>Adscripción</b>	Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A. C. (ANFACAL).	<b>Cargo</b>	Director General.
<b>Experiencia</b>	<p>ANFACAL es un organismo privado de representación empresarial y una asociación civil que vincula a los fabricantes de cal en la república mexicana. Se fundó en 1981 y, actualmente, está conformado por seis sociedades afiliadas: 1) Servicios Administrativos Calidra, S.A. de C.V. (Grupo Calidra), 2) Caleras Bertrán, S.A. de C.V. (Grupo Bertrán), 3) Refractarios Básicos, S.A. de C.V. (Rebasa), 4) Calizas de Michoacán, S.A. de C.V., 5) Cales y Morteros del Grijalva, S.A. de C.V., y 6) Cal Los Arcos S.A. de C.V.</p> <p>Su misión es representar en una sola voz los intereses de la industria de la cal en México, promover la versatilidad y el gran valor social que la cal brinda a los sectores de consumo actuales, estimulando mercados inconscientes de su potencialidad.</p> <p>Tiene la visión de fortalecer y posicionar, en el marco de los valores institucionales, la imagen interna y externa de la Asociación como un organismo cúpula de la industria de la cal, por su representatividad y nivel competitivo.</p>		
<b>Información dictaminada</b>	Porcentaje de producción de cal destinada a usos agrícolas.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	El INECC identificó que no se cuenta con información acerca de la producción de cal que es utilizada con fines agrícolas.		
<b>Dictamen</b>	<p>Dictamen incorporado.</p> <p>En comunicación personal con el representante de la ANFACAL se estableció que el 2% de la producción nacional de estos minerales se destina a usos agrícolas.</p>		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 14: [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados**

<b>Nombre</b>	Dr. Iván Ortiz Monasterio	<b>Fuente</b>	[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados
<b>Adscripción</b>	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).	<b>Cargo</b>	Científico principal.
<b>Experiencia</b>	<p>Agrónomo y científico principal del CIMMYT. Se enfoca en la nutrición de las plantas y la fertilidad del suelo como un medio para mejorar la eficiencia del uso de nutrientes en los sistemas de cereales a través del manejo y mejoramiento de los cultivos, con el objetivo de aumentar la productividad, la calidad nutricional y la rentabilidad mientras se reduce el impacto ambiental.</p> <p>Su investigación ha involucrado el desarrollo de tecnologías, así como la transferencia de tecnología a los campos agrícolas, con énfasis en el uso de la agricultura de precisión con sensores ópticos para el diagnóstico de nutrientes. También ha trabajado en la aplicación de la teledetección en la agricultura.</p>		
<b>Información dictaminada</b>	Parámetros para estimación de residuos agrícolas y encalado (porcentajes).		
<b>Base lógica del dictamen</b>	El INECC identificó que no se cuenta con información acerca de cantidad total anual de residuos de cultivos ni de la producción de cal que es utilizada con fines agrícolas.		
<b>Dictamen</b>	<p>Dictamen incorporado.</p> <p>Se estableció que, en general, el 10 % de la producción de los cultivos se convierte en residuo.</p> <p>El experto confirmó que el 2% de la producción de cal a nivel nacional es utilizada con fines agrícolas.</p>		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 15: [3C4] Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados**

<b>Nombre</b>	Coordinación general de mitigación del cambio climático	<b>Fuente</b>	[3C4] Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de los suelos gestionados
<b>Adscripción</b>	INECC	<b>Cargo</b>	
<b>Experiencia</b>			
<b>Información dictaminada</b>	Parámetros para estimación de residuos agrícolas.		
<b>Base lógica del dictamen</b>	Con base en la experiencia y conocimiento de los expertos internos del INECC.		
<b>Dictamen</b>	<p>Dictamen incorporado.</p> <p>Se estableció que el residuo de la producción de aguacate, cacao, café, limón, mango, naranja y nopal es de 5%; para la alfalfa, 8%, y para la caña, 3%.</p>		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		

**Anexo 3. Experto 16: [4A] Eliminación de residuos sólidos**

<b>Nombre</b>	Coordinación General de Salud y contaminación ambiental y Coordinación general de mitigación del cambio climático.	<b>Fuente</b>	[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos
<b>Adscripción</b>	INECC	<b>Cargo</b>	
<b>Experiencia</b>			
<b>Información dictaminada</b>	Se dictamina que la composición del biogás es de 60% CH <sub>4</sub> y 40% CO <sub>2</sub> .		
<b>Base lógica del dictamen</b>	Con base en la experiencia y conocimiento de los expertos internos del INECC		
<b>Dictamen</b>	Dictamen incorporado.		
<b>Revisores externos</b>			
<b>Resultados de la revisión externa</b>			
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.		



**Anexo 3. Experto 17: [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas**

<b>Nombre</b>	Dr. Adalberto Noyola Robles. noyola@pumas.iingen.unam.mx	<b>Fuente</b>	[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas.
<b>Adscripción</b>	Universidad Nacional Autónoma de México	<b>Cargo</b>	Investigador Titular C de Ingeniería Ambiental, SNI nivel 3. Instituto de Ingeniería.
<b>Experiencia</b>	<p>Licenciatura: Ingeniería Ambiental, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México</p> <p>Tesis: Determinación de las constantes de biodegradabilidad para las aguas residuales del beneficio húmedo del café. Examen: julio de 1980.</p> <p>Maestría: DEA Ingeniería de la Descontaminación, Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Francia. Tesis: Tratamiento anaerobio de agua residual urbana en un reactor de biodiscos. Examen: octubre de 1982.</p> <p>Doctorado: Docteur INSA (Ph. D. Francés), Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Francia. Tesis: Estudio de un dispositivo de película fija anaerobia para el tratamiento de efluentes de casas habitación. Examen: septiembre de 1985.</p> <p>Inició la línea de Investigación en procesos anaerobios en la Coordinación de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería-UNAM en octubre de 1987. A la fecha, el grupo se ha consolidado como el experto nacional en el área y es reconocido internacionalmente, gracias a un trabajo constante y con objetivos claros en investigación y desarrollo de tecnologías anaerobias. Los objetivos del grupo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuir decididamente a la implantación y aceptación de la tecnología anaerobia en México.</li> <li>• Generar conocimiento científico que soporte la innovación tecnológica en este campo.</li> <li>• Formar recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado calificado en el tema.</li> <li>• Desarrollar y transferir tecnología para el tratamiento biológico de aguas residuales.</li> </ul> <p>Ha desarrollado cuatro patentes, tres de ellas transferidas a firmas de ingeniería mexicanas, que las están comercializando con éxito: Tratamiento de aguas residuales por vía anaerobia, tratamiento de lodos y residuos sólidos por vía anaerobia, remoción de nutrientes, remoción de olores por biofiltración y biorreactores anaerobios con membrana (BRAM).</p> <p><b>Publicaciones relacionadas con GEI:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Güereca L.P., Torres N. y Noyola A., (2013) Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico, Journal of Cleaner Production, 47, 396-403.</li> <li>2.- Santos J.O., Andrade J.C.S., Marinho M.M., Noyola A., Güereca L.P., (2015) Greenhouse gas inventory of a State water and wastewater utility in northeast Brazil, Journal of Cleaner Production, 168-176.</li> <li>3.- Paredes M.C., Güereca L.P., Molina L.T., Noyola A., (2015) Methane emissions from stabilization ponds for municipal wastewater treatment in Mexico, Journal of Integrative Environmental Sciences, 12, 2, 179-194.</li> <li>4.- Noyola A., Paredes M.C., Morgan-Sagastume J.M., Güereca L.P. (2016) Reduction of greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment in Mexico based on technology selection, CLEAN-Soil, Air, Water, 44 (9), 1091-1098.</li> <li>5.- Noyola, A., Paredes, M.C., Güereca, L.P., Molina, L.T., Zavala, M. (2018) Methane correction factors for estimating emissions from aerobic wastewater treatment facilities based on field data in Mexico and on literature review. Science of the Total Environment, 639, 84-91.</li> <li>6.- Paredes M.C., Güereca L.P., Molina L.T., Noyola A. (2019) Methane emissions from anaerobic sludge digesters in Mexico: On-site determination vs. IPCC Tier 1 method, Science of the Total Environment. 656, 468-474.</li> </ol>		

**Anexo 3. Experto 17: [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas**

1. Se consideran a los tratamientos "Biológico" y "Otros" como lodos activados.
2. Se consideran los siguientes factores de corrección de metano (MCF) determinados por medio de trabajos e investigaciones.

Tecnología de tratamiento o descarga	MCF (B)
Lodos activados con digestores anaerobios	0.32
Aerobio	0.06
Anaerobio	0.80
Biológico	0.06
Discos biológicos o biodiscos	0.06
Dual	0.06
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	0.06
Humedales (WL)	0.20
Lagunas aireadas	0.20
Lagunas de estabilización	0.75
Lodos activados	0.06
Otros	0.06
Primario avanzado	0.01
Primario o sedimentación	0.01
RAFA o UASB	0.80
Zanjas de oxidación	0.08

3. Se emplean los parámetros de % de DBO en lodos (sobre DBO alimentado) y % de DBO en lodos (sobre DBO removido).

Tecnología de tratamiento o descarga	% de DBO en lodos		Notas
	Sobre DBO alimentada	Sobre DBO removida	
Aerobio	0.27	0.30	Aireación extendida
Anaerobio	0.15	0.20	
Biológico	0.35	0.39	Denominación genérica
Discos biológicos o biodiscos	0.35	0.39	
Dual	0.35	0.39	Percolador + lodos activados
Filtros biológicos o rociadores o percoladores	0.35	0.39	
Humedales (WL)	70%	0.00	No hay purga de lodos
Lagunas aireadas	0.20	0.22	
Lagunas de estabilización	0.12	0.14	Purga cada 4 a 8 años
Lodos activados	0.40	0.45	media y alta carga
Otros	0.40	0.45	Se asume lodos activados
Primario	0.65	1.00	
Primario avanzado	0.65	1.00	
Primario o sedimentación	0.35	1.00	
Rafa o UASB	0.15	0.20	
Reactor enzimático	0.12	0.20	Se asume una fosa séptica
Secundario	0.40	0.45	Se asume lodos activados
Tanque Imhoff	0.15	0.20	
Tanque séptico o fosa séptica	0.12	0.20	
Terciario			Proceso indefinido
Zanjas de oxidación	0.27	0.30	
No tratada	0%	0.00	
Lodos activados con digestores anaerobios	0.20	0.22	Lodos digeridos

Información dictaminada

<b>Anexo 3. Experto 17: [4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas</b>	
<b>Base lógica del dictamen</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se basa en el % de plantas que son de lodos activados en el país</li> <li>2. De acuerdo a estudios realizados por el Dr. Noyola se pudieron determinar MCF específicos para México, en especial para 27 PTAR (lodos activados con digestión anaerobia de lodos) en las cuales se recomienda utilizar un MCF de 0.32. Este factor se aplica directamente en la estimación de emisiones de ambas líneas (agua y lodos), como se señala en Noyola <i>et al.</i>, 2018</li> <li>3. Se basa en la experiencia del experto.</li> </ol>
<b>Dictamen</b>	Se acepta el cambio.
<b>Revisores externos</b>	Centro Mario Molina.
<b>Resultados de la revisión externa</b>	Dictamen incorporado.
<b>Aprobación del INECC</b>	Aceptada.



## Anexo 4: Compuestos, unidades, siglas y acrónimos

**Tabla 97: Compuestos**

Compuesto	Descripción
C	Carbono
CFC	Clorofluorocarbonos
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
HFC	Hidrofluorocarbonos
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PFC	Perfluorocarbonos
SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre

**Tabla 98: Unidades**

Símbolo o abreviatura	Significado
bpe	Barriles de petróleo equivalente
°C	Grado centígrado
G	Gramo
Gg	Gigagramo = 10 <sup>9</sup> gramos
h	Hora
ha	Hectárea
hab.	Habitante
J	Joule
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
l	Litro
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /s	Metro cúbico por segundo
mb	Miles de barriles
mbp	Miles de barriles de petróleo
mbpce	Miles de barriles de petróleo crudo equivalente
mmbpce	Millones de barriles de petróleo crudo equivalente
mmmpc	Miles de millones de pies cúbicos
PJ	Petajoule= 10 <sup>15</sup> joules
TJ	Terajoule= 10 <sup>12</sup> joules
ton, t	Tonelada (1.000 ton = 1Gg)
W	Watt
Wh	Watt hora

**Tabla 99: Siglas y acrónimos**

Siglas/ Acrónimos	Significado
AFOLU	<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i> (Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; véase ASOUT)
ANFACAL	Asociación Nacional de Fabricantes de Cal
ANIQ	Asociación Nacional de la Industria Química
ANP	Áreas naturales protegidas
APF	Administración Pública Federal
ASOUT	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
BNE	Balance Nacional de Energía
BOF	<i>Basic oxygen furnace</i> (convertidor al oxígeno utilizado en la fabricación de acero)
CAMIMEX	Cámara Minera de México
CANACEM	Cámara Nacional del Cemento
CANACERO	Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero
CANIETI	Cámara Nacional de la Industria Electrónica, de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información
CCS	Captura y almacenamiento de carbono (por <i>Carbon Capture and Storage</i> )
CFC	Clorofluorocarbonos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CL	<i>Crop lands</i> (tierras agrícolas o tierras de cultivo)
CMNUCC	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Carbono negro/Comunicación nacional
CNH	Comisión Nacional de Hidrocarburos
COA	Cédula de operación anual
COD	Carbono orgánico degradable
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
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CONVL	<i>Converted lands</i> (tierras convertidas)
COV	Compuestos orgánicos volátiles
DA	Datos de actividad
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DGM	Dirección General de Minas
DQO	Demanda química de oxígeno
EAF	<i>Electric arc furnace</i> (horno de arco eléctrico)
ENAREDD+	Estrategia nacional para la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques
ERG	Eastern Research Group, Inc.
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
FCM	factor de corrección de metano
FCVC	Contaminante y forzador climático de vida corta
FE	Factor de emisión
FL	<i>Forest lands</i> (tierras forestales)
FLD	<i>Degraded forest lands</i> (tierras forestales degradadas)
GEI	Gas/gases de efecto invernadero

Siglas/ Acrónimos	Significado
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agencia Alemana de Cooperación Internacional)
GL	<i>Grass lands</i> (praderas)
GLP	Gas licuado de petróleo
GNL	Gas natural licuado
GYCEI	Gases y compuestos de efecto invernadero
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
HFC	Hidrofluorocarbono
IBA	Informe Bienal de Actualización
IFA	Asociación Internacional de Industrias del Fertilizante
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEGYCEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
INFYS	Inventario Nacional Forestal y de Suelos
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Panel Intergubernamental del Cambio Climático)
IPPU	<i>Industrial Processes and Product Use</i> (véase PIUP)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
MCF	<i>Methane correction factor</i> (factor de corrección de metano)
MOVES	<i>Motor Vehicle Emission Simulator</i>
NE	No estimada
NO	No ocurre
NOM	Norma Oficial Mexicana
OHF	<i>Open hearth furnace</i> (horno de hogar abierto de reverbero)
OL	<i>Other lands</i> (otras tierras)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCG	Potenciales de calentamiento global
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Producto interno bruto
PIUP	Procesos industriales y uso de productos
PTAR	Plantas de tratamiento de aguas residuales
QA/QC	<i>Quality Assurance/Quality Control</i> (aseguramiento/control de la calidad)
REDD+	<i>Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries</i> (reducción de emisiones por deforestación y/o degradación forestal)
RENE	Registro Nacional de Emisiones
RPBI	Residuos peligrosos biológico-infecciosos
RPI	Residuos peligrosos industriales
RSU	Residuos sólidos urbanos
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SAMOF	Sistema de Monitoreo Forestal
SAO	Sustancias que agotan la capa de ozono
SCP	<i>Surface coal production</i> (producción de carbón superficial)

<b>Siglas/ Acrónimos</b>	<b>Significado</b>
SCT/SCTI	Secretaría de Comunicaciones y Transportes/ Secretaría de Comunicaciones y Transportes e Infraestructura
SDF	Sitios de disposición final
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SGC	Sistema de gestión de calidad
SGM	Servicio Geológico Mexicano
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA
SIE	Sistema de Información Energética (SENER)
SIH	Sistema de información de hidrocarburos
SINA	Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA)
SL	<i>Settlement lands</i> (tierras de asentamientos)
SMN	Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA
TCMA	Tasa de crecimiento media anual
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> (reactor aerobio de flujo ascendente)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USAID	United States Agency International Development
UTCUTS	Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura
WL	<i>Wetlands</i> (humedales)





