



Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015

México, 2018

Capítulo: Procesos industriales

Contenido

4. [2] Procesos industriales y uso de productos	4
▣ Tabla 1. Subcategorías de procesos industriales y uso de productos	5
▣ Tabla 2. Emisiones por gas en la categoría de procesos industriales y uso de productos	6
✳ Figura 1. Emisiones de procesos industriales y uso de productos por fuente de emisión	6
▣ Tabla 3. Emisiones de las subcategorías de procesos industriales y uso de productos	7
✳ Figura 2. Emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC)	8
✳ Figura 3. Emisiones por sectores y su incertidumbre para 2015	9
4.1 [2A] Industria de los minerales	9
✳ Figura 4. Emisiones por la producción de cemento, cal y vidrio	10
4.1.1 [2A1] Producción de cemento	10
▣ Tabla 4. Emisiones por la producción del cemento	10
4.1.2 [2A2] Producción de cal	11
▣ Tabla 5. Emisiones por la producción de cal	11
4.1.3 [2A3] Producción de vidrio	12
▣ Tabla 6. Emisiones por la producción del vidrio	12
4.1.4 [2A4] Otros usos de carbonatos	13
4.2 [2B] Industria química	14
✳ Figura 5. Emisiones por la producción de productos químicos	14
4.2.1 [2B1] Producción de amoníaco	15
▣ Tabla 7. Emisiones por la producción de amoníaco	15
4.2.2 [2B2] Producción de ácido nítrico	15
▣ Tabla 8. Emisiones de N ₂ O por la producción de ácido nítrico	16
4.2.3 [2B4] Producción de caprolactama	16
▣ Tabla 9. Emisiones de N ₂ O por la producción de caprolactama	16
4.2.4 [2B6] Producción de dióxido de titanio	16
▣ Tabla 10. Emisiones por la producción de dióxido de titanio	18
4.2.5 [2B7] Producción de ceniza de sosa	18
▣ Tabla 11. Emisiones por la producción de ceniza de sosa	18
4.2.6 [2B8] Producción petroquímica y negro de humo	18
▣ Tabla 12. Emisiones por la producción de petroquímica y negro de humo	19
4.2.7 [2B9] Producción fluoroquímica	19
▣ Tabla 13. Emisiones de HFC-23 por la producción fluoroquímica	20
4.3 [2C] Industria de metales	20
✳ Figura 6. Emisiones por la producción de la producción de los metales	21
4.3.1 [2C1] Producción de hierro y acero	21
▣ Tabla 14. Emisiones por la producción de hierro y acero	21
4.3.2 [2C2] Producción de ferroaleaciones	22
▣ Tabla 15. Emisiones por la producción de ferroaleaciones	22
4.3.3 [2C3] Producción de aluminio	23
▣ Tabla 16. Emisiones por la producción de aluminio primario con proceso electrolítico Hall-Heroult	23
4.3.4 [2C5] Producción de plomo	23
▣ Tabla 17. Emisiones por la producción de plomo	24
4.3.5 [2C6] Producción de zinc	24
▣ Tabla 18. Emisiones por la producción de zinc	24
4.4 [2D] Uso de productos no energéticos como combustibles y disolventes	25

▣	Tabla 19. Emisiones por el uso de productos no energéticos	25
4.5 [2F]	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	25
▣	Tabla 20. Emisiones por el uso de HFC, 2000-2015	26
4.5.1 [2F1]	Refrigeración y aire acondicionado (RAC)	26
▣	Tabla 21. Emisiones por el uso de HFC en RAC	26
4.5.2 [2F2]	Agentes espumantes	27
▣	Tabla 22. Emisiones por el uso de HFC en agentes espumantes	27
4.5.3 [2F3]	Protección contra incendios	28
▣	Tabla 23. Emisiones por uso de HFC en equipos de protección contra incendios	28
4.5.4 [2F4]	Aerosoles	29
▣	Tabla 24. Emisiones por uso de HFC en aerosoles	29
4.5.5 [2F5]	Disolventes	29
▣	Tabla 25. Emisiones por uso de HFC en disolventes	29
4.6 [2G]	Manufactura y utilización de otros productos	30
4.6.1 [2G1]	Equipos eléctricos	30
▣	Tabla 26. Emisiones por uso de SF ₆	30
✱	Figura 7. Emisiones por el uso de SF ₆	31
4.7 [2H]	Otros	32
4.7.1 [2H1]	Industria de la pulpa y el papel	32
▣	Tabla 27. Emisiones de la industria de la pulpa y el papel	32
✱	Figura 8. Emisiones de la industria de la pulpa y el papel	32
Referencias		33

[2] Procesos industriales y uso de productos

La categoría de procesos industriales y uso de productos [2] (PIUP o, por sus siglas en inglés, IPPU, *Industrial Processes and Product Use*) considera las emisiones generadas por descargas provenientes de la fabricación de productos que transforman materias por medios químicos o físicos en industria como la de los minerales, la industria química y la metalúrgica. En algunos casos, sustancias de efecto invernadero se producen o consumen en productos que se fugan durante un periodo, como sucede en equipos eléctricos, refrigeradores o en agentes espumantes. La clasificación de la categoría de procesos industriales y uso de productos que se analizarán en este capítulo se muestran en la **Tabla 1**.

El uso de combustibles fósiles en las actividades de la industria se reporta en la categoría de Energía [1]. Esto es importante para evitar la duplicidad de datos de emisiones. Es decir, entre las actividades industriales se distinguen las que utilizan un material como fuente de energía de aquellas que lo utilizan con otros fines.

De acuerdo con IPCC, las emisiones de GEI que se estiman en esta categoría incluyen dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O resultan de una gran variedad de actividades industriales en las que se transforman materias primas en productos mediante métodos químicos o físicos. Los HFC se utilizan directamente en bienes y artículos de consumo, tales como refrigeradores, espumas, latas de aerosol y extintores, en los que se usan como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Los PFC se liberan en la producción de aluminio y también pueden utilizarse como sustitutos de las SAO en aplicaciones especializadas. En el caso de México, los PFC no se consumen como sustitutos de SAO. El SF_6 se emplea como dieléctrico en circuitos y como disolvente en algunas industrias.

Tabla 1. Subcategorías de procesos industriales y uso de productos

2A Industria de los minerales	2A1 Producción de cemento. 2A2 Producción de cal. 2A3 Producción de vidrio. 2A4 Otros usos de carbonatos. 2A5 Otros.
2B Industria química	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. 2B10 Otros.
2C Industria de los metales	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. 2C7 Otros.
2D Uso de productos no energéticos como combustibles y disolventes	2D1 Uso de lubricantes. 2D2 Uso de la cera de parafina. 2D3 Uso de disolventes. 2D4 Otros.
2E Industria electrónica	2E1 Circuitos integrados o semiconductores. 2E2 Pantalla plana tipo TFT. 2E3 Células fotovoltaicas. 2E4 Fluido de transferencia térmica. 2E5 Otros.
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	2F1 Refrigeración y aire acondicionado. 2F2 Agentes espumantes. 2F3 Protección contra incendios. 2F4 Aerosoles. 2F5 Disolventes. 2F6 Otras aplicaciones
2G Manufactura y utilización de otros productos	2G1 Equipos eléctricos. 2G2 SF ₆ y PFC de otros usos de productos. 2G3 N ₂ O de usos de productos. 2G4 Otros.
2H Otros	2H1 Industria de la pulpa y el papel. 2H2 Industria de la alimentación y las bebidas. 2H3 Otros.

La categoría de procesos industriales y uso de productos contribuyó con 7.9% del total de emisiones del inventario en 2015. Las emisiones de GEI (**Tablas 2 y 3**) derivadas de los procesos industriales se incrementaron 65.9%, pasando de 32,624.86 Gg de CO_{2e} en 1990 a 54,111.75 Gg de CO_{2e} ($\pm 13.3\%$) en 2015 (**Figura 1**), con una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 2 por ciento. Este aumento se debió al crecimiento en la producción de

cemento, hierro y acero, y a un aumento significativo en las emisiones de gases fluorados (HFC y SF₆) (ver también la **Figura 2** y la **Figura 2 del Anexo D**).

Tabla 2. Emisiones por gas en la categoría de procesos industriales y uso de productos
Gg de CO_{2e}

Año	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Total
1990	30,263.21	257.95	872.91	760.64	437.73	32.41	32,624.86
1995	31,524.73	257.79	1,300.96	647.78	69.97	49.04	33,850.26
2000	35,231.45	223.05	550.65	1,903.46	568.54	69.99	38,547.13
2005	36,362.92	204.17	336.07	4,423.71	NO	123.07	41,449.95
2010	38,741.92	209.43	691.40	10,551.39	NO	157.99	50,352.12
2011	40,179.58	216.87	702.22	11,042.15	NO	165.36	52,306.18
2012	40,900.12	216.98	687.23	10,722.40	NO	170.85	52,697.57
2013	40,216.20	202.46	675.21	11,528.03	NO	191.69	52,813.59
2014	41,379.13	194.83	666.57	13,029.86	NO	254.52	55,524.91
2015	40,447.09	181.78	670.90	12,616.74	NO	195.25	54,111.76

NO= No ocurre

Figura 1. Emisiones de procesos industriales y uso de productos por fuente de emisión

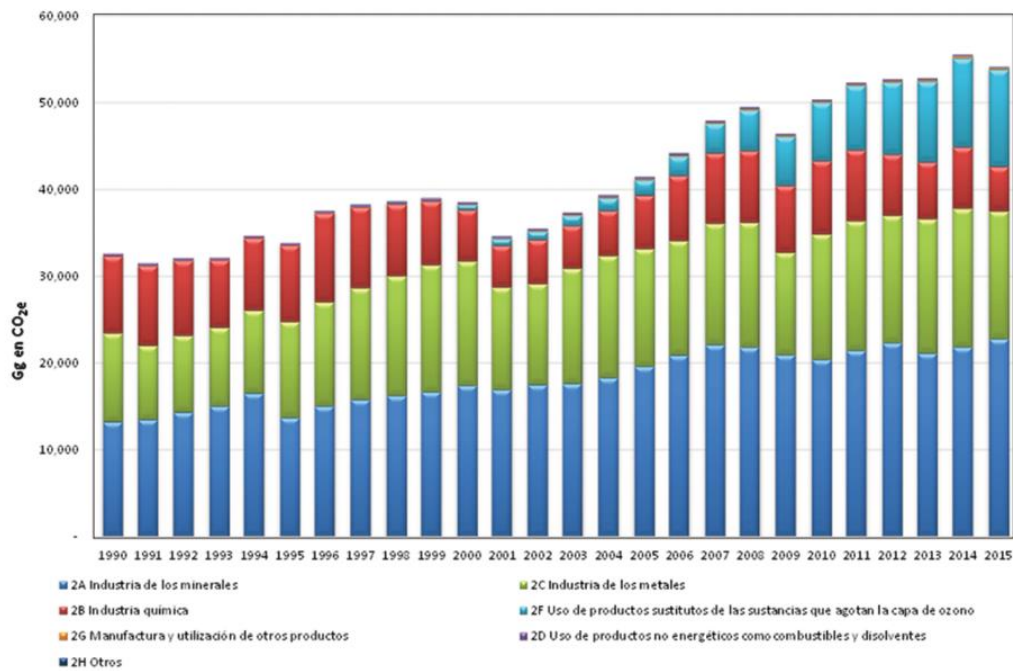


Tabla 3. Emisiones de las subcategorías de procesos industriales y uso de productos
Gg de CO_{2e}

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2 Procesos industriales y uso de productos	32,624.86	33,850.26	38,547.13	41,449.95	50,352.12	52,306.18	52,697.57	52,813.59	55,524.91	54,111.76
2A Industria de los minerales	13,209.09	13,688.78	17,395.02	19,592.04	20,387.63	21,442.49	22,308.57	21,105.11	21,835.13	22,767.27
2B Industria química	8,890.50	8,800.59	5,898.23	6,146.47	8,439.18	8,163.26	7,023.91	6,563.90	7,068.91	5,121.51
2C Industria de los metales	10,201.91	11,044.02	14,312.77	13,545.19	14,427.93	14,878.15	14,655.73	15,444.48	15,928.32	14,696.50
2D Uso de productos no energéticos como combustibles y disolventes	290.95	267.82	232.82	203.14	161.79	143.60	148.99	163.16	144.26	94.30
2E Industria electrónica	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2F Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	NO	NO	599.12	1,768.44	6,733.44	7,468.10	8,340.64	9,295.75	10,242.07	11,179.01
2G Manufactura y utilización de otros productos	32.41	49.04	69.99	123.07	157.99	165.36	170.85	191.69	254.52	195.25
2H Otros	ND	ND	39.20	71.58	44.17	45.21	48.87	49.50	51.71	57.93

ND: No disponible.

NO= No ocurre.

La **Figura 1** y la **Tabla 3** muestran que, durante 2015, la industria de los minerales [2A] fue la principal fuente de emisión de CO₂ de esta categoría del inventario de GEI con una aportación de 42% y una TCMA de 2.2% entre 1990 y 2015. La segunda subcategoría que contribuyó con emisiones de GEI de esta categoría en 2015 fue la Industria de los metales [2C] con una aportación de 27.2% y una TCMA de 1.5% para el periodo.

La industria química [2B] tuvo una participación de 9.5% del total de las emisiones en la categoría, en 2015. En el periodo 1990-2015, las emisiones de esta subcategoría disminuyeron en 42.4%, con una TCMA de 2.2%, al pasar de 8,890.5 Gg de CO_{2e} en 1990 a 5,121.51 (±17.5%) Gg de CO_{2e} en 2015, como resultado de una reducción en la producción de petroquímicos y en la producción de amoníaco.

Las emisiones de CH₄ provenientes de la producción petroquímica y negro de humo fueron de 181.5 (±36.9%) Gg de CO_{2e}, cantidad 29.5% menor que la de 1990, con una TCMA negativa de 1.4 por ciento. Las emisiones de N₂O derivadas de la producción de ácido nítrico representaron una contribución de 508 (±56.6%) Gg de CO_{2e}, con un decremento de 27.8% y una TCMA negativa de 1.3%, y las generadas en la producción de caprolactama alcanzaron 162.9 (±56.6%) Gg de CO_{2e}, con un decremento de 3.8% con respecto a 1990 y una TCMA negativa de 0.2 por ciento.

Las emisiones procedentes del consumo y producción de HFC, que están asociadas a su uso en diferentes aplicaciones, se incrementaron 16.6 veces al pasar de 760.6 Gg de CO_{2e} en 1990 a 12,616.7 Gg de CO_{2e} en 2015 (**Figura 2**), con una TCMA de 11.9%; ese incremento fue consecuencia de la sustitución de clorofluorocarbonos (CFC) por HFC. En 2015 las

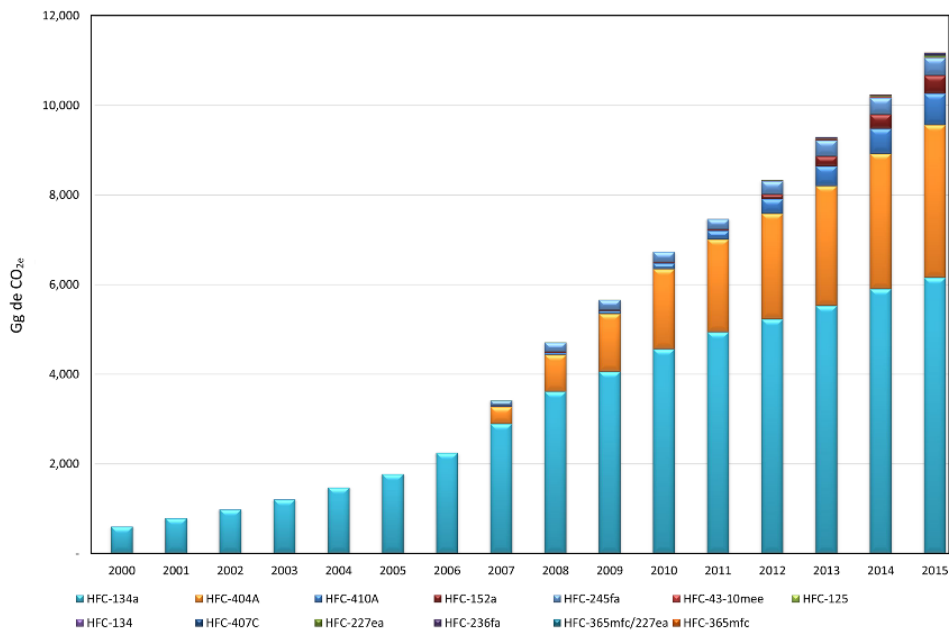
emisiones de HFC contribuyeron con 23.3% en esta categoría. El mayor consumo correspondió al HFC-134a, utilizado principalmente como refrigerante, con un incremento de 927% con respecto a 2000 y una TCMA de 16.8 por ciento. También se incrementó de manera significativa el consumo del HFC 404a —que se utiliza también como agente refrigerante en sistemas comerciales y de transporte—, con un incremento de 799% al pasar de 379.1 Gg de CO_{2e} en 2007, a 3,407.9 Gg de CO_{2e} en 2015, con una TCMA de 31.6 por ciento.

Las emisiones de PFC se generan exclusivamente en la producción de aluminio primario como tetrafluorometano (CF₄) y perfluoroetano (C₂F₆). Sólo se cuenta con estimaciones de emisiones de 1990 a 2003; porque en México se dejó de producir aluminio primario en 2004.

El consumo de SF₆, empleado como aislante en equipos eléctricos, está ligado al crecimiento y modernización de la infraestructura eléctrica del país; el cálculo de sus emisiones considera las etapas del ciclo de vida útil de los equipos instalados en los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Las emisiones de SF₆ contribuyeron con alrededor de 0.4% a las emisiones de GEI en esta categoría en 2015, y correspondieron exclusivamente a las emisiones potenciales de este gas por equipos eléctricos del sistema de distribución eléctrica de la CFE. Las emisiones se incrementaron 502.4%, de 32.4 Gg de CO_{2e} en 1990 a 195.3 Gg de CO_{2e} en 2015, con una TCMA de 7.4 por ciento.

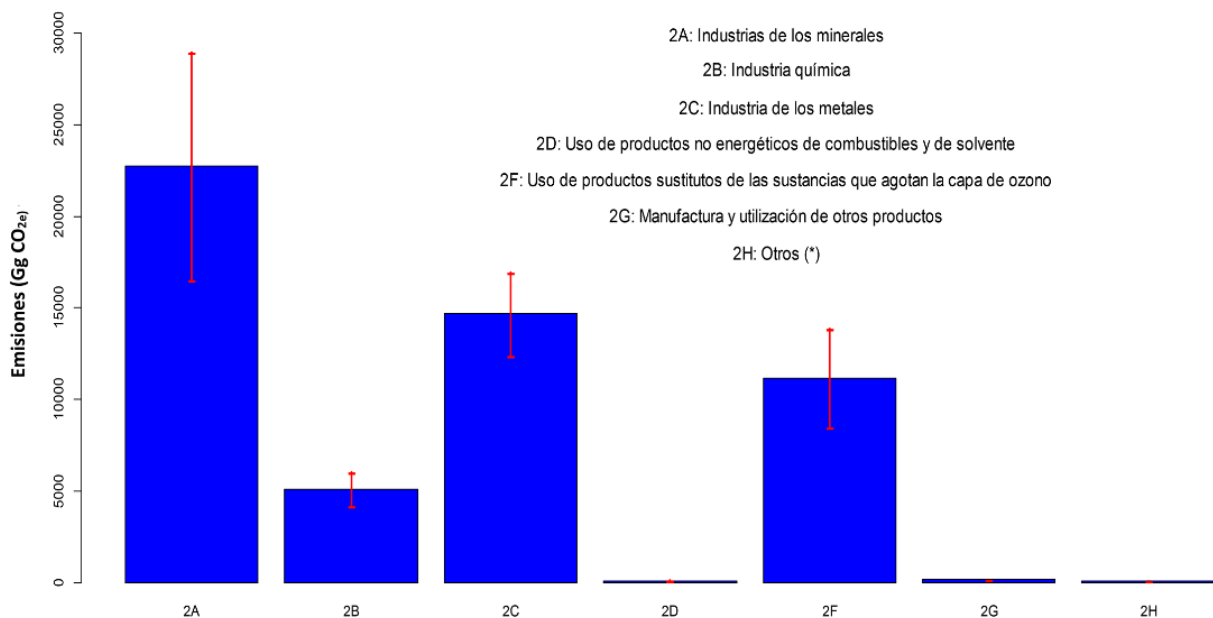
Figura 2. Emisiones de hidrofluorocarbonos (HFC)



En resumen, en 2015 la contribución de los sectores en la categoría industria fue la siguiente: industrias de los minerales, 42.1%; industria de los metales, 27.2%; sustitutos SAO, 20.7%; industria química, 9.5%, y los demás sectores, 0.64% (**Figura 3**).

Como medida de control de calidad se realizaron dos talleres para dar a conocer el inventario. El taller de arranque del inventario de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero se realizó el 1 de abril de 2016 con el objetivo de iniciar las labores de planeación y colaboración con los sectores que generan la información; y el segundo taller, realizado el 22 de mayo de 2017, obedeció al propósito de transferir la metodología y los resultados preliminares de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores económicos. En ese segundo taller se acopiaron comentarios de los sectores involucrados, que en el caso de PIUP provinieron de CANACERO, CESPEDES, CANACEM, CAMIMEX y ANFACAL, organismos que ayudaron a mejorar las estimaciones del inventario en este sector.

Figura 3. Emisiones por sectores y su incertidumbre para 2015



* Otros: residencial, comercial y agropecuario.

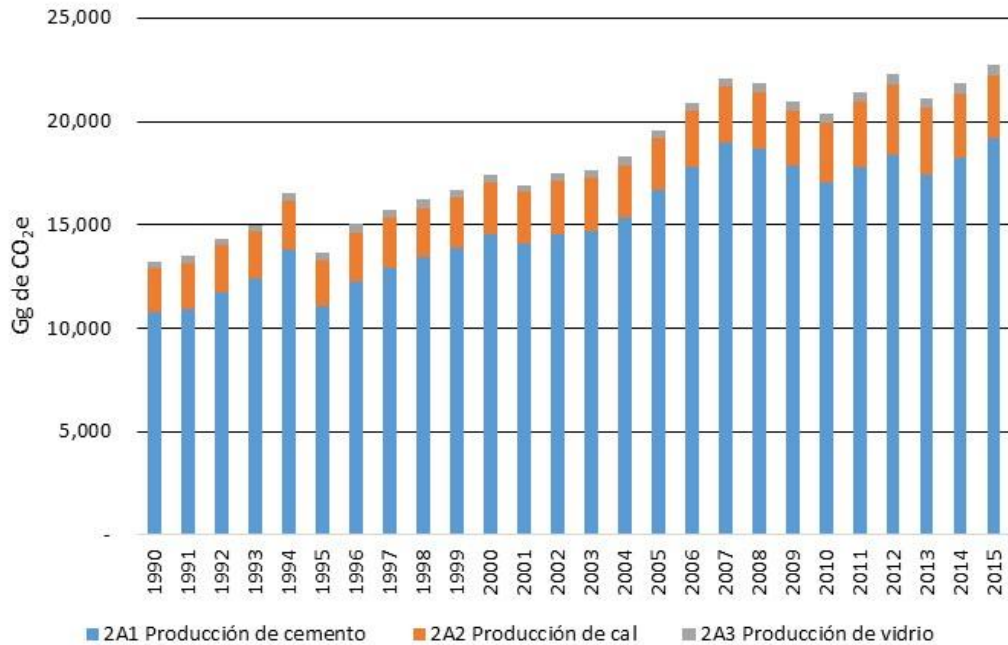
4.1 [2A] Industria de los minerales

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 CO₂ a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de ese gas inducida por áci-

dos. El principal proceso que conduce a la liberación de CO₂ es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma un óxido metálico mediante la aplicación de calor (IPCC *et al.*, 2006).

En esta subcategoría se estiman las emisiones procedentes de la producción de cemento (2A1), cal (2A2) y vidrio (2A3), y la producción de otros usos del carbonato (2A4) (Figura 4).

Figura 4. Emisiones por la producción de cemento, cal y vidrio



4.1.1 [2A1] Producción de cemento

La producción de clínker, producto intermedio del que se obtiene el cemento hidráulico (conocido como cemento Portland), da origen a emisiones de CO₂. Las elevadas temperaturas en los hornos calcinan la piedra caliza para producir cal y CO₂ como compuesto derivado (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 19,160 Gg de CO₂ (±32.5%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 10,735.7 Gg de CO₂; representando un aumento de 78.5% en las emisiones de ese gas en el periodo 1990-2015.

Tabla 4. Emisiones por la producción del cemento
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
10,735.74	11,033.25	14,567.02	16,673.75	17,045.65	17,770.72	18,411.49	17,437.03	18,259.33	19,159.98

En las directrices de IPCC 2006 se describe la metodología para la estimación de CO₂ producido durante la producción de cemento. Con base en los datos de producción se infiere un porcentaje de clínker contenido por tipo de cemento con una corrección: del volumen total se restan las importaciones, ya que sus emisiones han ocurrido en otro país (ver **Ecuación 2, Anexo E**).

Los datos de actividad sobre la producción de los tipos de cemento se obtuvieron de las estadísticas históricas de México, Banco de Información Económica CMAP (INEGI, 2008a) y de la encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM) (INEGI, 2017c). Los datos de importación y exportación del clínker provienen del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* del Servicio Geológico Mexicano (SGM), publicado solamente entre los años 2004 y 2015 (SGM, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2014, 2015, 2016). (Ver **Tablas 2 y 3, Anexo D.**)

Se utilizó el factor de emisión por defecto del IPCC 2006 para el clínker; para la fracción de clínker de cemento blanco y gris se utilizó un porcentaje promedio propuesto por la CANACEM, y para el mortero se utilizó el valor por defecto para albañilería del IPCC.

Para las actividades de aseguramiento y control de calidad (QA y QC) se organizaron reuniones con representantes de la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), así como un taller, llevado a cabo el 22 de mayo de 2017, dedicada a mostrar y compartir los detalles metodológicos para la estimación de las emisiones en cemento. Se recibieron comentarios acerca del porcentaje de clínker, el cual se acordó con CANACEM (para mayor detalle ver sección **2A1**, factores de emisión en **Anexo E**).

4.1.2 [2A2] Producción de cal

El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma al calcinar la piedra caliza con alta proporción de calcio (calcita) a elevadas temperaturas, y en el proceso se libera CO₂.

En 2015 se generaron 3,086.6 Gg de CO₂ (±4.9%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 2,166.7 Gg de CO₂; por tanto, hubo un aumento de 42.5% en las emisiones de CO₂ en el periodo 1990-2015 y representa 5.7% de las emisiones totales del inventario.

Tabla 5. Emisiones por la producción de cal
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2,166.68	2,280.47	2,489.11	2,516.41	2,887.99	3,184.35	3,380.66	3,196.83	3,103.33	3,086.55

En las directrices de IPCC 2006 se describe la metodología para nivel 2 cuando se cuenta con los tipos de cal producidos en el país. En el caso de México se cuenta con informa-

ción de producción para estimar las emisiones de cal viva, cal dolomítica, cal hidratada, cal siderúrgica y cal química (ver **Anexo E**, sección **2A2**).

Los datos de actividad sobre la producción de los tipos de cal fueron obtenidos del Banco de Información Económica, INEGI; series que ya no se actualizan de la encuesta industrial mensual (CMAP) (INEGI, 2008a), y de la encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM) (INEGI, 2017c). (Ver **Tabla 4**, **Anexo D**.)

Se usaron los factores por defecto de IPCC 2006 para la cal con alto contenido de calcio para la cal viva, la siderúrgica y la química; para la cal dolomítica y la hidráulica se usó el factor de esta última, que se reproduce en la **Tabla 2** del **Anexo E**, y se usó el factor de corrección por defecto del 2% del polvo del horno de cal (*Lime Kiln Dust*, LKD). Para la cal hidratada se usó el factor de corrección de 97 por ciento.

El 22 de mayo 2017 se realizó un taller para mostrar, en presencia de representantes de la industria, la metodología empleada en la estimación de las emisiones de cal. Se acopiaron comentarios acerca de los usos de los tipos de cal, sin cambios en la metodología. Al revisar ésta posteriormente, se observó que lo más adecuado es aplicar la de nivel 2, dado que se cuenta con los tipos de cal y los factores de corrección.

Para futuras actualizaciones se identificó la necesidad de documentar los usos y procedencias de la cal siderúrgica y la química. La primera suposición es que provienen de la cal viva, pues en 1990 representó el 3.9% de ésta. Sin embargo, en 2015 ascendió a 92.5%. Por tanto, es necesario investigar más a fondo su procedencia.

4.1.3 [2A3] Producción de vidrio

En el comercio se utilizan muchas variedades de artículos y de composiciones de vidrio, pero la industria del vidrio puede dividirse en cuatro categorías principales: recipientes, vidrios planos (ventanas), fibras de vidrio y vidrios especiales. Las principales materias primas del vidrio que emiten CO₂ durante el proceso de fundición son la piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO₃), la dolomita (carbonato de calcio y magnesio, CaMg(CO₃)₂) y la ceniza de sosa (carbonato y bicarbonato de sodio, Na₃(HCO₃)(CO₃)·2H₂O).

En 2015 se generaron 520.7 Gg de CO₂ (±8.9%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 306.7 Gg de CO₂; es decir, hubo un aumento de 69.8% en las emisiones de CO₂ en el periodo 1990-2015.

Tabla 6. Emisiones por la producción del vidrio
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
306.66	375.06	338.89	401.89	453.99	487.42	516.42	471.25	472.48	520.74

Con datos de los Censos Económicos 2014 (INEGI, 2017a) se identificaron las materias primas que se utilizan en la fabricación del vidrio (**Tabla 6, Anexo D**) y se calcularon las emisiones de CO₂ para ese año con un nivel 3 (ver **Anexo E, sección 2A3**). Con esa estimación se obtuvo una intensidad de emisión de toneladas de CO₂ por miles de pesos corrientes al año 2013, que se consideró constante durante todo el periodo del inventario. Se utilizaron los datos de la Encuesta Industrial Anual (INEGI, 2017b) para el valor de la producción bruta en miles de pesos de los años 1994 a 2015. Los datos de actividad de 1993 provienen del Censo Económico 1994 (INEGI, 1995c); mediante el índice nacional de precios al consumidor (Online, 2017) se ajustaron los valores a precios de 2013. Finalmente, para los datos de los años 1990-1992, se hizo extrapolación (**Tabla 5, Anexo D**). Como factor de factor de emisión por defecto se utilizó el de la **Tabla 4 del Anexo E**, y se fijó el valor 1 para la fracción de calcinación.

4.1.4 [2A4] Otros usos de carbonatos

La piedra caliza (CaCO₃), la dolomita (CaMg(CO₃)₂) y otros carbonatos (p. ej., MgCO₃ y FeCO₃) son materias primas que tienen aplicaciones comerciales en numerosas industrias, más allá de las analizadas individualmente (cemento, cal y vidrio). Los carbonatos se consumen en la metalurgia (p. ej., el hierro y el acero), en la agricultura, en la construcción y en el control de la contaminación ambiental (p. ej., en los sistemas de desulfuración de gases de combustión por vía húmeda) (IPCC *et al.*, 2006).

Hay actividades industriales en las que los carbonatos se utilizan de tal manera que no liberan CO₂. El caso más claro es el del uso de la piedra caliza como agregado, que lógicamente no se incluye en el inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Las estadísticas del Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2014, 2015, 2016) para la producción de calcita y dolomita para las cifras de 2013 y 2014 (**ver Tablas 7 y 8, Anexo D**) difieren en magnitud debido a que se utilizaron las estadísticas de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En consecuencia, no es posible distinguir, por ahora, la razón del incremento y el uso final de los materiales, ni puede hacerse una estimación sin correr el riesgo de sobreestimar la emisión en esta fuente.

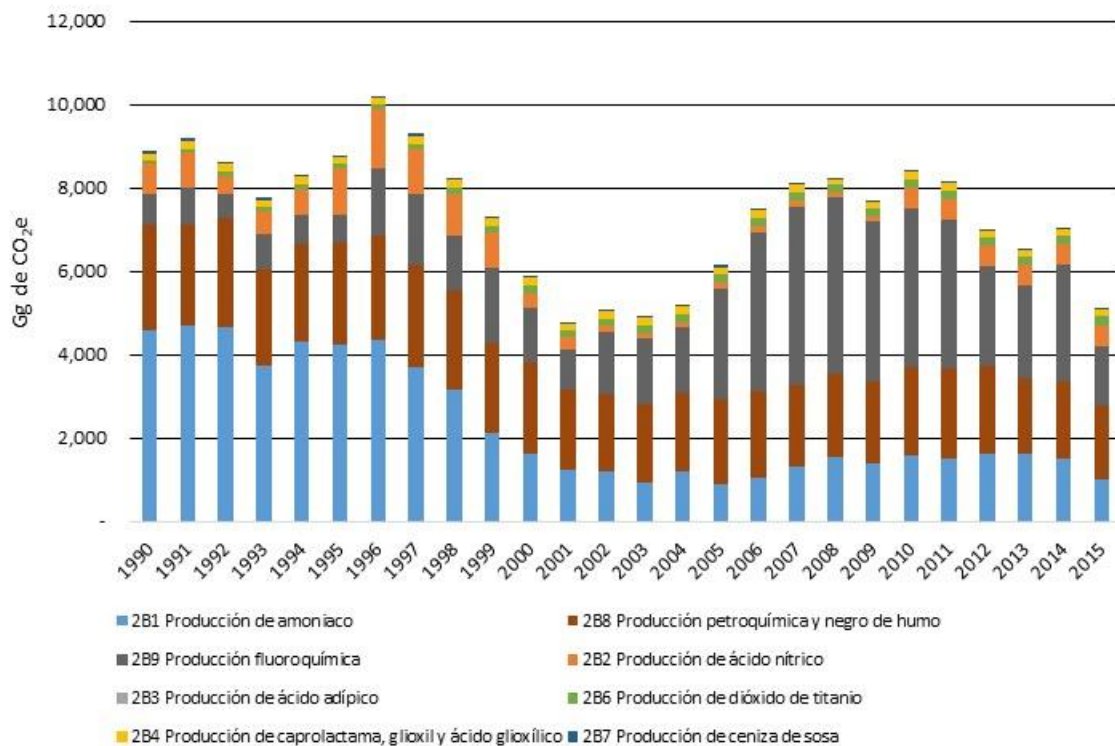
Para esta categoría se recomienda acceder a estadísticas recopiladas en forma histórica y verificar con otras cifras oficiales la participación de la fabricación de cerámicos y otros usos de la piedra caliza y la dolomita. No hay registros de producción de magnesita no metalúrgica.

4.2 [2B] Industria química

En la industria química se estiman las emisiones de CO₂ generadas por la producción de amoníaco y ceniza de sosa; por ejemplo, las emisiones de CH₄ por la producción de carburros, las de N₂O por la producción del ácido nítrico y caprolactama, y las emisiones del HFC-23 como subproducto de la producción del hidroclorofluorocarbono HCFC-22.

En esta subcategoría se estiman las emisiones procedentes de la industria química de amoníaco (2B1), ácido nítrico (2B2), ácido adípico, caprolactama, glioxal y ácido glioxílico (2B3), la producción de carburo (2B4), dióxido de titanio (2B5) y la producción de ceniza de sosa (2B6) (Figura 5).

Figura 5. Emisiones por la producción de productos químicos



La Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) realizó el estudio “Elementos hacia una estrategia de desarrollo bajo en emisiones para la industria química en México” (PNUD y ANIQ, 2016). En dicho estudio se compararon los factores de emisión con los del IPCC 2006 (utilizados en el inventario nacional; ver **Anexo E, sección 2B**); para ello, se inspeccionaron los datos de actividad y los cálculos realizados, con el resultado de estimaciones muy semejantes.

4.2.1 [2B1] Producción de amoníaco

La producción de amoníaco requiere una fuente de nitrógeno (N) y una de hidrógeno (H). El nitrógeno se obtiene del aire mediante la destilación del aire líquido o a través de un proceso de oxidación en el cual se quema aire y se recupera nitrógeno residual. La mayor parte del amoníaco se obtiene del gas natural, aunque puede obtenerse de otros hidrocarburos y agua. El contenido de carbono (C) del hidrocarburo se elimina del proceso en la etapa primaria de reformado al vapor y en la etapa de conversión en dióxido de carbono (CO₂) por desplazamiento, que es la principal emisión potencial de gas de efecto invernadero (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 1,004.21 Gg de CO₂ (±8.5%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 4,593.2 Gg de CO₂; representando un decremento de 78.1% en las emisiones de CO₂ en el periodo 1990-2015, con una TCMA negativa de 5.9 por ciento.

Tabla 7. Emisiones por la producción de amoníaco
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
4,593.20	4,226.56	1,610.16	896.48	1,568.54	1,513.50	1,638.75	1,608.12	1,516.60	1,004.21

Los datos de actividad se obtuvieron directamente del Sistema de Información Energética para la producción de productos petroquímicos (SENER, 2017a) en miles de toneladas (Tabla 9, Anexo D). Por tratarse de una información agregada, se utiliza la metodología de nivel 1 de IPCC 2006 para estimar las emisiones de CO₂ por la fabricación del amoníaco (ver Anexo E, sección 2B1).

Se ajustó el factor de emisión con el factor de contenido de carbono del gas natural del estudio “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México” (INECC, 2014), debido a una diferencia de 3% con respecto al valor de IPCC 2006 (Tabla 5, Anexo E). Se seleccionó este último, utilizado en el estudio de ANIQ (PNUD y ANIQ, 2016).

4.2.2 [2B2] Producción de ácido nítrico

Durante la producción de ácido nítrico se genera óxido nitroso (N₂O) como subproducto de la oxidación catalítica del amoníaco a altas temperaturas. La cantidad de N₂O que se forma depende, entre otros factores, de las condiciones de combustión (presión, temperatura), de la composición y envejecimiento del catalizador y del diseño del quemador (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 508.01 Gg de CO_{2e} (±56.6%) de N₂O. En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 703.58 Gg de CO_{2e}; es decir, hubo un decremento de

27.8% en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 1990-2015, a una TCMA negativa de 1.3 por ciento.

Tabla 8. Emisiones de N₂O por la producción de ácido nítrico
Gg de CO_{2e}

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
703.58	1,123.10	352.53	149.92	508.01	508.01	508.01	508.01	508.01	508.01

La información de la producción del ácido nítrico se obtuvo de *La industria química en México* (INEGI, 1995a, 1997a, 2000, 2001a, 2007a, 2014a) (ver **Tabla 10, Anexo D**). Dado que es información agregada, se utiliza la metodología de nivel 1 de IPCC 2006 para estimar las emisiones de N₂O por la fabricación del ácido nítrico (ver **Anexo E, sección 2B2**).

Se usó el factor de emisión de IPCC 2006 para las plantas a alta presión, sugerido por la ANIQ (**Tabla 6, Anexo E**).

4.2.3 [2B4] Producción de caprolactama

La producción anual de caprolactama se usa principalmente para la fabricación de fibras de nailon. Los procesos comerciales de fabricación de caprolactama se basan en el tolueno o en el benceno.

En 2015 se generaron 162.89 Gg de CO_{2e} (±56.6%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 169.34 Gg de CO_{2e}; entonces, en el periodo 2009-2015 hubo un decremento de 3.8% en las emisiones de CO₂, con una TCMA negativa de 0.2 por ciento.

Tabla 9. Emisiones de N₂O por la producción de caprolactama
Gg de CO_{2e}

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
169.34	177.86	198.12	186.15	183.39	194.22	179.22	167.21	158.57	162.89

Se cuenta con los datos de producción de caprolactama en *La industria química en México* (INEGI, 1995a, 1997a, 2000, 2001a, 2007a, 2014a) (ver **Tabla 10, Anexo D**) y, según las directrices de IPCC 2006, corresponde con una estimación de nivel 1 con factores de emisión por defecto. Cuando se aplica el método de nivel 1 se supone que no hay reducción del N₂O.

Se utilizó el valor por defecto de las directrices del IPCC 2006, basado en plantas de alta presión (**Tabla 7, Anexo E**).

4.2.4 [2B6] Producción de dióxido de titanio

El dióxido de titanio (TiO₂) se utiliza en la fabricación de pinturas, papel, plásticos, gomas, cerámicas, tejidos, revestimientos de pisos y tinta de imprenta, entre otros productos. Du-

rante los procesos para la producción de TiO_2 , como la producción de escoria de titanio en hornos eléctricos, la producción de rutilo sintético mediante el proceso de Becher y la producción de TiO_2 rutilo por la vía del cloruro se llegan a generar emisiones de gases de efecto invernadero.

En 2015 se generaron 207.89 Gg de CO_2 ($\pm 21.2\%$). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 87.83 Gg de CO_2 ; el incremento en las emisiones de CO_2 fue de 136.6% en el periodo 1990-2015, con una TCMA de 3.5 por ciento.

Tabla 10. Emisiones por la producción de dióxido de titanio
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
87.83	115.91	169.75	183.58	195.92	190.01	183.77	186.94	201.00	207.80

Se cuenta con los datos de producción de dióxido de titanio del *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana* (ANIQ, 1995, 1999, 2003, 2016) (Tabla 10, Anexo D). Según las directrices de IPCC 2006 (ver Anexo E, sección 2B6), corresponde una estimación de nivel 1 con factores de emisión por defecto, basado en la producción de rutilo de dióxido de titanio por vía del cloruro (Tabla 8, Anexo E).

4.2.5 [2B7] Producción de ceniza de sosa

La ceniza de sosa se usa como materia prima en la industria del vidrio y en la producción de jabones, detergentes y pulpa y papel, así como en el tratamiento de aguas. Durante el proceso de producción, la trona o natrita (carbonato y bicarbonato hidratado de sodio, el mineral principal del cual se extrae la ceniza de sosa natural) se calcina en un horno rotatorio a altas temperatura y se transforma químicamente en ceniza de sosa cruda. En este proceso se generan dióxido de carbono y agua como subproductos.

En 2015 se generaron 40.02 Gg de CO₂ (±127.3%). En 1990, las emisiones estimadas de esta categoría fueron 60.72 Gg de CO₂; es decir, hubo un decremento de 34.1% en las emisiones de CO₂ en el periodo 1990-2015, con una TCMA negativa de menos 1.7 por ciento.

Tabla 11. Emisiones por la producción de ceniza de sosa
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
60.72	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02	40.02

Hay datos de producción de ceniza de sosa en la publicación *The Mineral Industry of Mexico* (USGS, 1999, 2003, 2004, 2005, 2009, 2011, 2012, 2013, 2015, 2016) y el *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (SGM, 2016) (ver Tabla 11, Anexo D). Las directrices de IPCC 2006 señalan que corresponde una estimación de nivel 1 con factores de emisión por defecto (ver Anexo E, sección 2B7). Se utilizó tal valor para la emisión por unidad de salida de ceniza de sosa.

4.2.6 [2B8] Producción petroquímica y negro de humo

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles o productos de refinería de petróleo como alimentación de procesos. Se estiman las emisiones provenientes de la producción

de metanol, etileno y propileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno y acrilonitrilo. Por su parte, el negro de humo no es considerado un producto petroquímico; sin embargo utiliza sustancias petroquímicas como alimentación para su proceso (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 1,760.85 Gg de CO_{2e} (±23.9%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 2,515.21 Gg de CO_{2e}; el decremento en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 1990-2015 fue de 30%, con una TCMA negativa de 1.4 por ciento.

Tabla 12. Emisiones por la producción de petroquímica y negro de humo
Gg de CO_{2e}

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Negro de humo	328.44	251.58	299.71	303.50	319.32	335.45	284.16	154.73	258.11	261.47
Metanol	69.76	67.10	62.69	26.90	5.28	49.90	50.13	51.90	55.71	53.33
Etileno	1,661.62	1,648.35	1,404.50	1,316.01	1,365.60	1,363.77	1,368.01	1,253.87	1,198.03	1,111.84
Óxido de etileno	189.11	218.29	219.22	228.62	265.63	252.89	246.31	261.36	250.12	240.82
Dicloruro de etileno	77.25	64.76	59.26	51.05	60.06	53.88	58.91	35.19	0	0
Monómero cloruro de vinilo	66.14	54.15	52.83	45.58	53.71	48.27	52.97	28.94	50.56	46.56
Acrilonitrilo	122.89	165.13	125.11	63.39	55.75	39.29	31.91	35.33	44.39	46.83
Total	2,515.21	2,469.36	2,223.32	2,035.05	2,125.35	2,143.46	2,092.39	1,821.32	1,856.92	1,760.85

Las principales emisiones en esta subcategoría provienen del etileno, con una participación de 63.1%, el negro de humo, con 14.8%, y el óxido de etileno, con 13.7 por ciento.

Hay disponible información agregada (Tablas 9 y 10, Anexo D) de producción de cada uno de los combustibles del Sistema de Información Energética (SENER, 2017b), y de químicos en *La Industria química en México* (INEGI, 1995a, 1997a, 2000, 2001a, 2007a, 2014a) y del *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana* (ANIQ, 1995, 1999, 2003, 2016), por lo que se estiman las emisiones con el factor de IPCC 2006 (ver Tabla 9 y sección 2B8, Anexo E).

El Sistema de Información Energética es la fuente de datos acerca de los petroquímicos pero, a partir de 2014, dejó de publicar los del monómero de cloruro de vinilo y hubo que acopiar esta información a través de ANIQ. (Analizar el cambio de fuente de información en futuras publicaciones del inventario.)

4.2.7 [2B9] Producción fluoroquímica

Se estima la emisión del trifluorometano (HFC-23) derivado de la producción del clorodifluorometano (HCFC-22).

En 2015 se generaron 1,437.73 Gg de CO_{2e} (±50.2%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 760.64 Gg de CO_{2e}. El incremento fue de 89%, con una TCMA de 2.6 por ciento.

Tabla 13. Emisiones de HFC-23 por la producción fluoroquímica
Gg de CO_{2e}

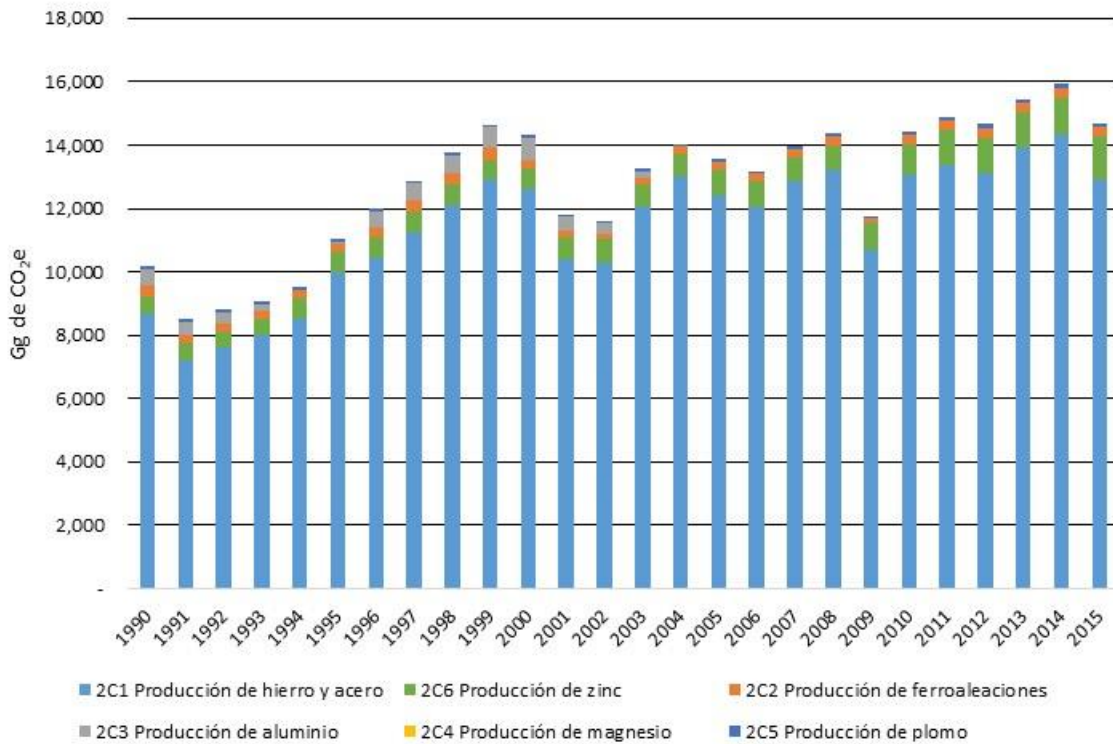
1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
760.64	647.78	1,304.34	2,655.27	3,817.94	3,574.05	2,381.75	2,232.29	2,787.79	1,437.73

Según IPCC 2006, el método de nivel 1 consiste en la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producido. Este método puede aplicarse a una sola planta o en el ámbito nacional (ver **Anexo E, sección 2B9**). Los datos de actividad fueron proporcionados por la Unidad de Protección al Ozono (UPO) de SEMARNAT (**Tabla 12, Anexo D**).

En el caso de México, Quimobásicos S.A. de C.V. solicitó a SGS de México que validara el proyecto “Quimobásicos HFC Recovery and Decomposition” para la solicitud de renovación del periodo de acreditación en las actividades de proyectos MDL (SGS, 2013); el proyecto se registró en el MDL de la CMNUCC con número de referencia 0151. Con base en esta revisión se tomó el factor de relación de emisiones de HFC-23 por la producción de HCFC-22.

4.3 [2C] Industria de metales

En esta categoría se estiman las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la producción de los metales: 1) hierro y acero; 2) ferroaleaciones; 3) aluminio; 4) plomo, y 5) zinc (**Figura 6**).

Figura 6. Emisiones por la producción de la producción de los metales

4.3.1 [2C1] Producción de hierro y acero

En la producción de hierro y acero se estiman las emisiones generadas por: la producción de coque metalúrgico, sinterizado, pellets y fabricación de hierro y acero. El proceso principal se desarrolla, para el caso de México, en una instalación integrada, que incluye típicamente los altos hornos y los hornos básicos de oxígeno para la fabricación de acero, los hornos de reverbero o los hornos de arco eléctrico (IPCC *et al.*, 2006). La producción de coque metalúrgico se explica en la sección de industrias de la energía [1A1] en la categoría de energía [1].

La producción de hierro y acero conduce a emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). IPCC 2006 presenta orientación para estimar sólo las emisiones de CO₂ y CH₄.

En 2015 se generaron 12,922.69 Gg de CO_{2e} (±17.3%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 8,666.78 Gg de CO_{2e}; es decir, hubo un incremento de 49.1% en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 1990-2015, con una TCMA de 1.6 por ciento.

Tabla 14. Emisiones por la producción de hierro y acero
Gg de CO_{2e}

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
8,666.78	9,997.09	12,592.75	12,390.42	13,054.07	13,384.57	13,090.02	13,907.68	14,344.53	12,922.69

En 2015, las emisiones por la producción de acero representaron 64.4%; la producción de hierro esponja, 29.8%, y la producción de pellets y sinter, 5.8% del total.

Los datos de actividad se obtuvieron de la publicación *La industria siderúrgica en México* (INEGI, 1990, 1992, 2003, 2004, 2006, 2007b, 2008b, 2014b, 1993a, 1993b, 1995b, 1996, 1998a, 1998b, 2001b, 2002) y del *Anuario estadístico de la minería mexicana* (SGM, 2016); los datos del sinter fueron proporcionados por la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO, 2017).

Conforme a la directriz de IPCC 2006, para la estimación de CO₂ y CH₄ se utilizó el método de nivel 1, con la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de producción de acero por tipo de horno, la producción de pellets, hierro esponja y sinter (ver **Tabla 13, Anexo D, y Anexo E**).

En las **Tablas 11 y 12 del Anexo E** se proporcionan factores de emisión por defecto del IPCC 2006 para CO₂ y CH₄ en la producción de coque, sinterizado, pellets, hierro y acero.

En el taller del 22 de mayo de 2017 se mostró la metodología empleada para la estimación de las emisiones de hierro y acero en presencia de representantes de la industria y se acopiaron comentarios sobre las consideraciones metodológicas de los procesos. Se sostuvieron reuniones con CANACERO, a manera de equipo de trabajo, para revisar en forma conjunta las estimaciones. Ese esfuerzo conjunto resultó acertado y debe continuar y fortalecerse para mejorar las estimaciones a futuro de este sector y las medidas de mitigación que se propongan con base en dichas estimaciones.

4.3.2 [2C2] Producción de ferroaleaciones

La fabricación de ferroaleaciones se refiere a las aleaciones de hierro con silicio y/o con uno o más metales, tales manganeso, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno. En su producción, se generan emisiones de CO₂, como ocurre en la fabricación de ferromanganeso y silicomanganeso (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 283.4 Gg de CO₂ (±20.3%). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 341.19 Gg de CO₂. El decremento fue de 16.9% durante ese lapso, con una TCMA negativa de 0.7 por ciento.

Tabla 15. Emisiones por la producción de ferroaleaciones
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
341.19	249.30	268.74	265.64	293.58	290.46	306.11	299.87	318.55	283.40

En 2015, las emisiones por la producción de silicomanganeso representó 68.8%, y la de ferromanganeso, 31.2% del total.

Para la estimación de CO₂ se utilizó el método de nivel 1 con un factor de emisión por defecto (IPCC 2006a) para la cantidad de producción por tipo de ferroaleación (ver **Tabla 14, Anexo D y Anexo E**).

Los datos de actividad provienen de *La industria siderúrgica en México* (INEGI, 1997b, 2001b, 2006, 2011, 2014b) y del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (SGM, 2016). Se aplicaron los factores de emisión por defecto de IPCC 2006 para silicomanganeso y ferromanganeso (ver **Tabla 13, Anexo E**).

Con respecto a actividades de QA, QC y verificación, las cifras se revisaron y corrigieron con la ayuda de la Compañía Minera Autlán, que revisó las estadísticas de los datos de actividad de la serie histórica.

4.3.3 [2C3] Producción de aluminio

Esta sección cubre las emisiones de proceso generadas por la producción primaria de aluminio. En todo el mundo, el aluminio primario se produce exclusivamente mediante el proceso electrolítico Hall-Heroult, que puede darse en cuatro tipos de tecnología: 1) ánodo de precocido central; 2) ánodo de precocido lateral; 3) Söderberg de barra horizontal, y 4) Söderberg de barra vertical. Por la producción de aluminio primario se producen emisiones de CO₂ y PFC (IPCC *et al.*, 2006).

La producción de aluminio primario en México por el proceso descrito concluyó en 2003. En ese año se generaron 207.98 Gg de CO_{2e}, a diferencia de 1990, cuando las emisiones estimadas de esta categoría fueron 61.6% menores: 541.97 Gg de CO_{2e}, con una TCMA negativa de 7.1 por ciento.

Tabla 16. Emisiones por la producción de aluminio primario con proceso electrolítico Hall-Heroult
Gg de CO_{2e}

1990	1995	2000	2001	2002	2003
541.97	86.63	703.93	428.44	324.45	207.98

Se estimaron las emisiones con un nivel 1 a partir de datos de producción de aluminio primario tomados del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (CRM, 1993, 1997, 2001, 2004) (ver **Tabla 15, Anexo D**) para emisiones de CO₂ y las de PFC, CF₄ y C₂F₆. Las emisiones de CO₂ (**Tabla 14, Anexo E**) y PFC (**Tabla 15, Anexo E**) se estimaron con factores de emisión por defecto de IPCC 2006.

4.3.4 [2C5] Producción de plomo

La producción de plomo se puede realizar a través de dos procesos: por sinterización, que consiste en etapas secuenciales de sinterización y fundición, y por fundición directa. Ambos procesos emiten CO₂ (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 137.16 Gg de CO₂ ($\pm 22.2\%$). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 97.3 Gg de CO₂; la diferencia representa un incremento de 41% en las emisiones de CO₂ en el periodo 1990-2015, con una TCMA de 1.4 por ciento.

Tabla 17. Emisiones por la producción de plomo
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
97.30	85.46	71.75	69.88	99.87	116.33	123.81	131.75	130.24	137.16

Dado que se desconocen los detalles del proceso de producción de plomo en México, se optó por la metodología de nivel 1, considerando que, de total de la producción, 80% se hace por fundición directa y 20% en hornos de cuba del tipo Imperial Smelting. Los datos de producción total provienen del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (CRM, 1993, 1997, 2001, 2004, SGM, 2010, 2012, 2016) (ver **Tabla 16, Anexo D**).

Se utiliza el valor por defecto de IPCC 2006 (**Tabla 16, Anexo E**) para la estimación de CO₂ por la producción de plomo.

Como actividades de control de calidad, el equipo de Inventarios del INECC revisó las estadísticas publicadas por el Servicio Geológico Mexicano con las hojas de cálculo que se utilizaron para la cuantificación de las emisiones.

4.3.5 [2C6] Producción de zinc

La producción de zinc se realiza a través de tres métodos: destilación electrotérmica; proceso pirometalúrgico, que implica el uso de un horno de cuba tipo Imperial Smelting, y un proceso electrolítico. Todos ellos generan emisiones de CO₂ (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 1,353.25 Gg de CO₂ ($\pm 26.9\%$). En 1990 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 554.68 Gg de CO₂. El incremento en las emisiones de CO₂ durante el periodo 1990-2015 fue de 144%, con una TCMA de 3.6 por ciento.

Tabla 18. Emisiones por la producción de zinc
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
554.68	625.54	675.60	819.25	980.41	1,086.80	1,135.80	1,105.17	1,134.99	1,353.25

Se desconocen los detalles de la producción de zinc en México. Por ello se decidió utilizar la metodología de nivel 1 de IPCC con datos de la producción de zinc tomados del *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (CRM, 1993, 1997, 2001, 2004, SGM, 2010, 2012, 2016) (**Tabla 16, Anexo D**).

Se utilizó el factor de emisión por defecto de IPCC 2006 (**Tabla 17, Anexo E**) para la estimación de CO₂ por la producción de zinc.

Para las actividades de control de calidad, el INECC verificó las estadísticas publicadas por el Servicio Geológico Mexicano con las hojas de cálculo de las emisiones.

4.4 [2D] Uso de productos no energéticos como combustibles y disolventes

Los productos considerados en esta fuente de emisión son aquellos combustibles fósiles con fines primarios, como los lubricantes, las ceras de parafina, el alquitrán y/o asfalto y los disolventes, cuyo uso genera emisiones de CO₂. Los productos energéticos aquí estimados son los lubricantes y las ceras parafinas (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 94.3 Gg de CO₂ ($\pm 42.3\%$), cantidad 67.1% menor que la de 1990, cuando las emisiones estimadas de esta categoría alcanzaron 290.95 Gg de CO₂. La TCMA negativa del periodo fue 4.4 por ciento.

Tabla 19. Emisiones por el uso de productos no energéticos
Gg de CO₂

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
290.95	267.82	232.82	203.14	161.79	143.60	148.99	163.16	144.26	94.30

Para la cuantificación de las emisiones se utilizaron datos agregados de actividad de lubricantes y ceras parafinas del Sistema de Información Energética (SENER, 2017b) y cifras de poderes caloríficos obtenidas del balance nacional de energía (SENER, 1999, 2001, 2010, 2016) (ver Tabla 17, Anexo D). Se estimaron las emisiones con un nivel 1, según las directrices de IPCC.

Se utilizó el valor de oxidación de 0.2 y un factor de emisión de 20 kg de C/GJ de IPCC 2006 para la estimación de CO₂ por el uso de productos no energéticos como combustibles y disolventes.

Para el control de calidad, los datos del sistema de información energética se recopilaron de la página de Internet de SENER en formato electrónico en MS Excel editable y se utilizaron directamente para estimar las emisiones.

4.5 [2F] Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono

Los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) se han usado como sustancias alternativas a aquellas que agotan la capa de ozono (SAO), como es el caso de los clorofluorocarbonos, que están siendo retirados por el Protocolo de Montreal.

Los HFC y PFC están contenidos en equipos y productos, por lo que se estudian las fugas que ocurren a lo largo de la vida útil de éstos. Los gases mencionados 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.

En las aplicaciones como las espumas rígidas y en la refrigeración, el uso de los HFC conduce al desarrollo de *bancos* de materiales de larga duración, ya que el gas se fuga gradualmente en un lapso de años y esto requiere información de fabricación, ventas, cargas y retiros de equipos para su contabilización anual. En el caso de los aerosoles, las emisiones ocurren en periodos menos extensos (por ejemplo, uno o dos años) y por ello se consideran rápidas (IPCC *et al.*, 2006).

En la subcategoría [2F] del uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, durante 2015 se generaron 11,179.01 Gg de CO_{2e} (±24.1%). En 2000 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 599.12 Gg de CO_{2e}. El incremento en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 2000-2015 fue de 1,765.9%, con una TCMA de 21.5 por ciento.

Tabla 20. Emisiones por el uso de HFC, 2000-2015
Gg de CO_{2e}

2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
599.12	1,768.44	6,733.44	7,468.10	8,340.64	9,295.75	10,242.07	11,179.01

4.5.1 [2F1] Refrigeración y aire acondicionado (RAC)

Se incluyen en este inventario acondicionadores de aire como los *splits* o los utilizados en hogares y comercios, los enfriadores de aire, los acondicionadores de aire para automóviles y los refrigeradores cargados con HFC o una mezcla de gases de ese tipo.

En 2015 se generaron 9,888.63 Gg de CO_{2e} (±27%). En 2000, las emisiones estimadas de esta categoría fueron 599.12 Gg de CO_{2e}. El incremento en las emisiones de CO_{2e} para el periodo 2000-2015 fue de 1,550.5%, con una TCMA de 20.6 por ciento.

Tabla 21. Emisiones por el uso de HFC en RAC
Gg de CO_{2e}

2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
599.12	1,768.44	6,209.19	6,875.14	7,598.56	8,326.44	9,130.84	9,888.63

La estimación de las emisiones para los subsectores RAC se desarrolló utilizando el nivel 2 enfoque A, de conformidad con las directrices de IPCC 2006, con el número de equipos existentes, cargados con las sustancias químicas del estudio de Proklima (GIZ, 2014), con una actualización de 2012 a 2015 y mejorado con el estudio "Survey on Alternatives to ODSs in Mexico" para los datos de *stock* (ONUDI, 2016) (ver **Tablas 18 a la 28, Anexo D**).

Los factores de emisión y parámetros relevantes fueron seleccionados del estudio “Mexico 2015 HFCs Emissions Inventory and Projection Scenarios towards 2013” (SEMARNAT/ONUUDI, 2017) a juicio de experto y consultados por expertos técnicos, proveedores y representantes de la UPO de SEMARNAT. La mayoría de estos valores están relacionados con las prácticas comunes durante las actividades de manufactura y servicio (ver **Tablas 21 y 22, Anexo E**).

Para fines de control de calidad, el equipo del INECC revisó los cálculos realizados por el estudio encargado por la UPO de SEMARNAT.

4.5.2 [2F2] Agentes espumantes

La subcategoría se clasifica como espumas de celdas abiertas o cerradas. En el primer caso, las emisiones de HFC tienden a ocurrir durante el proceso de fabricación e inmediatamente después; para celdas cerradas la mayoría de las emisiones se extienden durante la vida útil del producto y antes de su disposición final.

En México, los agentes espumantes se utilizan principalmente para espumas rígidas y poliestireno extruido (XPS) o de poliuretano (PU). Ambos típicamente se consideran del tipo celda cerrada. En este caso, las emisiones se extienden a la fase de espuma en uso y pueden ocurrir durante un periodo de 50 años.

En 2015 se generaron 420.55 Gg de CO_{2e} ($\pm 47.4\%$); en 2010, 236.55 Gg de CO_{2e}: 77.8% de incremento, con una TCMA de 12.2 por ciento.

Tabla 22. Emisiones por el uso de HFC en agentes espumantes
Gg de CO_{2e}

2010	2011	2012	2013	2014	2015
236.55	234.69	295.74	360.92	377.06	420.55

La estimación de emisiones de HFC provenientes de agentes espumantes se realizó considerando el nivel 1a, donde se usan los datos de actividad específicos del país (ver **Tablas 29 y 31, Anexo D**) o derivados —mundial y/o regionalmente— del nivel de la aplicación. Los factores de emisión y parámetros relevantes se seleccionaron del estudio mencionado anteriormente (SEMARNAT/ONUUDI, 2017) a juicio de experto, así como consultados por expertos técnicos, proveedores y representantes de la UPO de SEMARNAT (ver **Tablas 23 y 24, Anexo E**).

Como control de calidad el equipo del INECC revisó los cálculos realizados por el estudio encargado por la UPO de SEMARNAT.

4.5.3 [2F3] Protección contra incendios

Los equipos contra incendios cargados con HFC o PFC se utilizan como sustituto de los halones de los equipos portátiles y fijos. En el caso de México sólo se estiman emisiones de HFC de estos equipos.

Emisiones de CO_{2e} en el periodo: en 2015, 79.63 Gg de CO_{2e} (±31.3%); en 2010, 1.51 Gg de CO_{2e}. Incremento: 5,173%, con una TCMA de 121 por ciento.

Tabla 23. Emisiones por uso de HFC en equipos de protección contra incendios
Gg de CO_{2e}

2010	2011	2012	2013	2014	2015
1.51	2.69	15.37	38.01	45.02	79.63

La estimación de las emisiones de HFC provenientes de los equipos de protección contra incendios se realizó considerando un nivel 1a, con los factores de emisión derivados de las bases de datos regionales o mundiales y datos recolectados del país (ver **Tablas 29 y 31, Anexo D**). Para la estimación se considera que los equipos portátiles contra incendios liberan su carga inicial durante un incendio real, y para los equipos fijos se estimó un índice de 4% como factor de emisión por la cantidad de uso (**Tabla 25, Anexo E**).

Como control de calidad el equipo del INECC revisó los cálculos realizados por el estudio encargado por la UPO de SEMARNAT.

4.5.4 [2F4] Aerosoles

Los HFC y PFC pueden usarse como propelentes en los contenedores de aerosoles. Sus emisiones ocurren por lo general poco después de la producción y durante su uso se considera que el 100% es emitido a la atmósfera. En este inventario sólo se estiman las emisiones de HFC.

En 2015 se generaron 781.86 Gg de CO_{2e} ($\pm 35.4\%$). En 2010 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 286.19 Gg de CO_{2e}. La diferencia representa un incremento de 173.2% en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 2010-2015, con una TCMA de 22.3 por ciento.

Tabla 24. Emisiones por uso de HFC en aerosoles
Gg de CO_{2e}

2010	2011	2012	2013	2014	2015
286.19	355.57	418.87	539.65	670.03	781.86

Se estimaron las emisiones considerando un nivel 1a, donde se usan los datos de la actividad al nivel de la aplicación, construida con datos de importación y exportación, y se calculan las emisiones generadas por los productos nacionales e importados para cada sustancia química (ver **Tablas 29 a la 31, Anexo D**).

Para la cuantificación de las emisiones, se consideró la recomendación de IPCC en la que se evalúa el amplio espectro de los productos con aerosol al nivel de la aplicación (nivel 1a); es decir, se consideró un factor de emisión por defecto de 50% de la carga inicial anual. Esto significa que la mitad de la carga química se escapa durante el primer año y el resto durante el segundo año. Como control de calidad el equipo del INECC revisó los cálculos realizados por el estudio encargado por la UPO de SEMARNAT.

4.5.5 [2F5] Disolventes

El uso del HFC en disolventes tiene poco uso, según IPCC 2006. Éstos se encuentran en aplicaciones de limpieza de precisión, al igual que para electrónica y metales, o en aplicaciones de deposición.

En 2015 se generaron 8.33 Gg de CO_{2e} ($\pm 50\%$). En 2012 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 12.11 Gg de CO_{2e}. El decremento fue de 173.2%, con una TCMA negativa de 11.7 por ciento.

Tabla 25. Emisiones por uso de HFC en disolventes

2012	2013	2014	2015
12.11	30.73	19.11	8.33

Se estimaron las emisiones considerando un nivel 1a, donde se usan los datos de producción e importación a nivel de la aplicación y se calculan las emisiones de HFC. Se considera que las emisiones ocurren en los primeros dos años, por lo que se utilizaron los datos de las ventas anuales de estos productos.

El consumo de los HFC para disolventes se obtuvo de “Survey on Alternatives to ODSs” (ONUDI, 2016), HFC-43-10mee es la sustancia principal y fue introducida al país en 2012 para la industria de los metales, electrónica y limpieza a presión (SEMARNAT/ONUDI, 2017).

Para la cuantificación de las emisiones se optó por utilizar el factor de emisión por defecto del 50% de la carga inicial/anual. Como control de calidad el equipo del INECC revisó los cálculos realizados por el estudio encargado por la UPO de SEMARNAT.

4.6 [2G] Manufactura y utilización de otros productos

En esta subcategoría, la metodología de IPCC 2006 analiza las emisiones de SF₆, PFC y N₂O que fueron incorporadas a productos para explotar una o varias de las propiedades físicas de la sustancia química, como la elevada constante dieléctrica del SF₆, la estabilidad del PFC y los efectos anestésicos del N₂O. En este inventario sólo se analiza el SF₆ integrado en los equipos eléctricos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

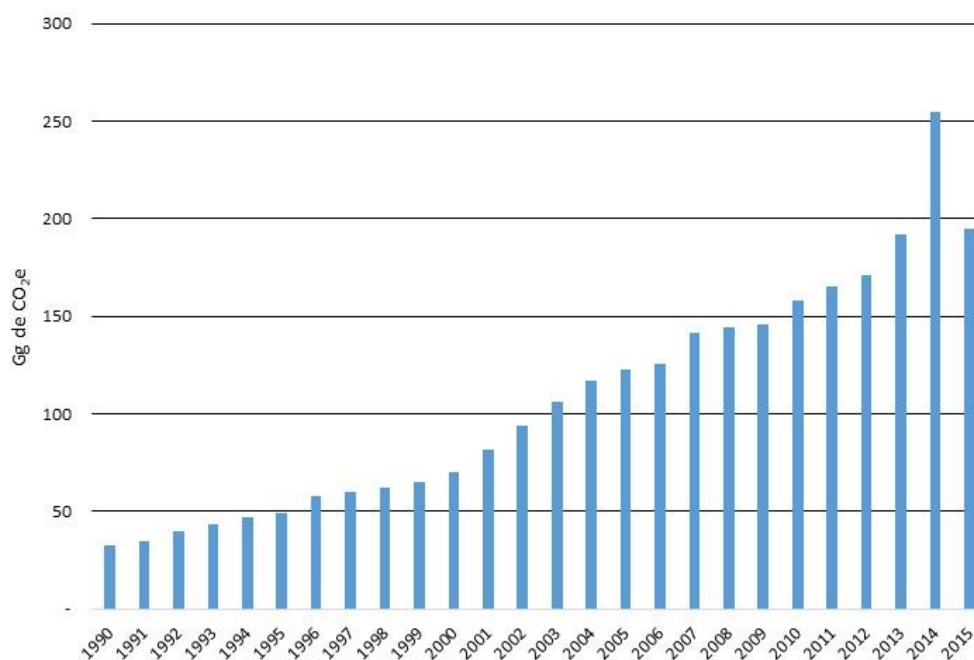
4.6.1 [2G1] Equipos eléctricos

El hexafluoruro de azufre (SF₆) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las emisiones se producen en cada etapa del ciclo de vida útil de los equipos, incluida la fabricación, la instalación, el uso, el mantenimiento y la eliminación (IPCC *et al.*, 2006).

En 2015 se generaron 195.5 Gg de CO_{2e} (±3.9%); en 1990, 32.41 Gg de CO_{2e}. El incremento del periodo fue de 502.4%, con una TCMA de 7.4% (ver **Tabla 26** y **Figura 7**).

Tabla 26. Emisiones por uso de SF₆
Gg de CO_{2e}

1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
32.41	49.04	69.99	123.07	157.99	165.36	170.85	191.69	254.52	195.25

Figura 7. Emisiones por el uso de SF₆

Se estimaron las emisiones considerando un nivel 1, enfocado al uso de factores de emisión por defecto. En este método se requiere el SF₆ consumido por los fabricantes de equipos y/o por la capacidad nominal de SF₆ de los equipos en cada etapa del ciclo de vida útil posterior a la fabricación nacional (ver **Tabla 32, Anexo D**). Sólo se consideran las emisiones por el uso de los equipos durante su vida útil. El factor de emisión que se utilizó fue de 2% anual para equipos eléctricos de presión, cerrados, para conmutadores de alta tensión.

Se consideró que el mayor aporte de emisiones de SF₆ en México se deriva de las actividades de la CFE y por ello no se consideran los productores independientes. Se utilizó la información proporcionada por CFE para el inventario 2013 (CFE, 2014) y se actualizaron los dos últimos años, por lo que se proyectaron las cifras para 2014 y 2015.

Como una mejora del inventario y ya que no se cuenta con estadísticas de la mayoría de las fuentes de emisión en esta subcategoría, de acuerdo a lo solicitado en la metodología de IPCC 2006, se podría solventar esta deficiencia a través de una encuesta para recopilar información estadística que permita reunir parámetros suficientes para generar una serie histórica de las otras fuentes de emisión (el uso de SF₆ y PFC en otros productos y el uso de N₂O), así como lo relacionado en las importaciones y exportación de los mismos.

4.7 [2H] Otros

4.7.1 [2H1] Industria de la pulpa y el papel

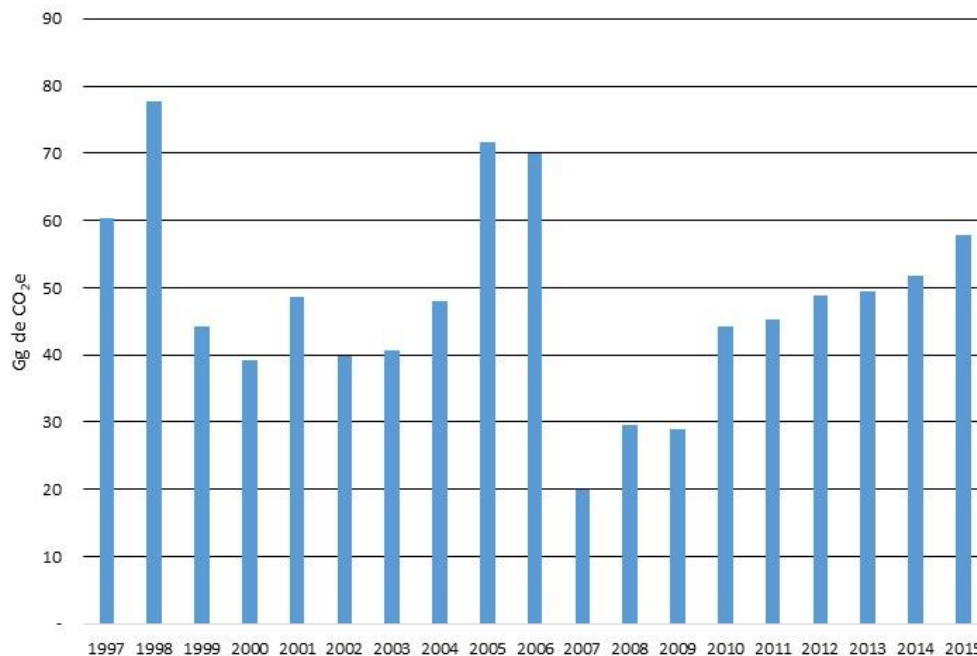
La fabricación de la pulpa y el papel puede generar emisiones de CO₂. El IPCC 2006 no da orientación de cómo evaluar esta emisión. En México se desarrolló una herramienta para la estimación de gases de efecto invernadero para el sector productivo de Celulosa y Papel (SEMARNAT, 2006), la cual se usó en este inventario.

En 2015 se generaron 57.93 Gg de CO_{2e} (±3.2%). En 2000 las emisiones estimadas de esta categoría fueron 39.2 Gg de CO_{2e}. Hubo un incremento de 47.8.4% en las emisiones de CO_{2e} en el periodo 2000-2015, con una TCMA de 2.6% (ver **Tabla 27** y **Figura 8**).

Tabla 27. Emisiones de la industria de la pulpa y el papel

Gg de CO _{2e}							
2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
39.20	71.58	44.17	45.21	48.87	49.50	51.71	57.93

Figura 8. Emisiones de la industria de la pulpa y el papel



Las emisiones se estiman multiplicando la cantidad de carbonato de sodio o calcio utilizado para la fabricación del papel por el factor de emisión de la herramienta, en kg de CO₂ por tonelada de carbonato utilizado. Hay datos de los dos carbonatos para el periodo 1997-2015 (**Tabla 33, Anexo D**) revisados en un esfuerzo compartido con la Cámara del Papel.

Referencias

- ANIQ. (1995). *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana*.
- ANIQ. (1999). *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana*.
- ANIQ. (2003). *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana*.
- ANIQ. (2016). *Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana*.
- CANACERO. (2017). *Datos de producción del sinter (comunicación interna)*. CDMX.
- CFE. (2014). *Carga de SF6 (comunicación interna)*.
- CRM. (1993). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1992*. Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- CRM. (1997). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 1996*. Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- CRM. (2001). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2000*. Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- CRM. (2004). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2003. Consejo de recursos mineros (Vol. 1)*. Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- GIZ. (2014). *Proklima*. Retrieved from [http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/GIZ Proklima-EVI-Mexico Inventory.pdf](http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/GIZ%20Proklima-EVI-Mexico%20Inventory.pdf)
- INECC. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México (Vol. 3)*. Distrito Federal. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/110131/CGCCDBC_2014_FE_tipos_combustibles_fosiles.pdf
- INEGI. (1990). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1992). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1993a). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1993b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1995a). *La industria química en México*.
- INEGI. (1995b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1995c). *XIV Censo Industrial - Censos Económicos 1994*. Retrieved from http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825172015/702825172015_1.pdf
- INEGI. (1996). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1997a). *La industria química en México*.
- INEGI. (1997b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1998a). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (1998b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2000). *La industria química en México*.
- INEGI. (2001a). *La industria química en México*.
- INEGI. (2001b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2002). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2003). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2004). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2006). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2007a). *La industria química en México*.
- INEGI. (2007b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2008a). Encuesta industrial mensual (CMAPI). Retrieved January 1, 2017, from <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- INEGI. (2008b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2011). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2014a). *La industria química en México*.
- INEGI. (2014b). *La industria siderúrgica en México*.
- INEGI. (2017a). Censos Económicos 2014. Retrieved from <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ce/2014/>

- INEGI. (2017b). Censos Económicos 2014. Retrieved August 24, 2017, from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/saic/default.aspx>
- INEGI. (2017c). Encuesta mensual de la industria manufacturera (EMIM). Retrieved January 1, 2017, from <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- IPCC, Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3, Industrial Processes and Product Use. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol3.pdf>
- Online, I. (2017). Índice Nacional de Precios al Consumidor Base 2Q diciembre 2010. Retrieved January 1, 2017, from <https://idconline.mx/indicadores/indicador-inpc-base-2q-diciembre-2010-100>
- SEMARNAT. (2006). *Documento Guía de la Herramienta para la Estimación de Gases de efecto Invernadero para el sector productivo de Celulosa y Papel.*
- SEMARNAT/ONU. (2017). *Mexico 2015 HFCs Emissions Inventory and Projection Scenarios towards 2030.*
- SENER. (1999). *Balance Nacional de Energía 1998.*
- SENER. (2001). *Balance nacional de energía 2000.*
- SENER. (2010). Balance nacional de energía 2009, 184.
- SENER. (2016). *Balance Nacional de Energía 2015.* Secretaría de Energía. https://doi.org/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177621/Balance_Nacional_de_Energ_a_2015.pdf
- SENER. (2017a). Elaboración de productos Petroquímicos. Retrieved January 1, 2017, from <http://sie.energia.gob.mx/>
- SENER. (2017b). Sistema de Información Energética. Retrieved January 1, 2017, from <http://sie.energia.gob.mx/>
- SGM. (2006). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2005.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2007). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliado 2006.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2008). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2007.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2009). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2008.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2010). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana. Ampliada 2009 (Vol. 40).* Retrieved from http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_Estadistico_2011c.pdf
- SGM. (2012). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada 2011.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2014). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2013.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2015). *Anuario estadístico de la Minería Mexicana 2014.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM. (2016). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 2015.* Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGS, C. C. P. (2013). *VALIDATION REPORT Quimobásicos HFC Recovery and Decomposition Project (Vol. 44).*
- PNUD y ANIQ. (2016). *Elementos hacia una estrategia de desarrollo bajo en emisiones para la industria química en México.* Ciudad de México.
- ONU. (2016). *Survey on Alternatives to ODSs in Draft Report in Mexico.*
- USGS. (1999). *THE MINERAL INDUSTRY OF MEXICO. 1998 Mineral Yearbook.*
- USGS. (2003). *The Mineral Industry of Mexico. 1999 Minerals Yearbook (Vol. 1).*
- USGS. (2004). *The Mineral Industry of Mexico. 2003 Minerals Yearbook (Vol. 3).*
- USGS. (2005). *THE MINERAL INDUSTRY OF Mexico. 1994 Mineral Yearbook.*
- USGS. (2009). *The Mineral Industry of Mexico. 2006 Minerals Yearbook.*
- USGS. (2011). *The Mineral Industry of Mexico. 2009 Minerals Yearbook.*
- USGS. (2012). *The Mineral Industry of Mexico. 2010 Minerals Yearbook.* <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.01.027>
- USGS. (2013). *The Mineral Industry of Mexico. 2011 Minerals Yearbook.*
- USGS. (2015). *The Mineral Industry of Mexico. 2012 Minerals Yearbook.* Retrieved from <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2012/myb3-2012-my.pdf>
- USGS. (2016). *The Mineral Industry of Mexico. 2013 Minerals Yearbook.* Retrieved from <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/>