



Inventario Nacional

de fuentes y estimación de liberaciones
de COP no intencionales en Colombia.
Actualizado con datos 2018



El ambiente
es de todos

Minambiente



Inventario Nacional de fuentes y estimación de liberaciones de COP no intencionales en Colombia.

Actualizado con datos 2018

República de Colombia

Presidente

Iván Duque Márquez

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Carlos Eduardo Correa Escaf

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Francisco Cruz Prada

Directora de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana

Andrea Corzo Álvarez

Coordinador Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO

Diego Escobar Martínez

Coordinador del Grupo de Gestión Ambiental Urbana

Mauricio Gaitán Varón

Equipo Técnico

José Álvaro Rodríguez Castañeda, coordinador

Jonathan Alexander Romero Coca

Brenda Natalia López Niño

Edwin Camelo Martínez

Andrés Ramírez Restrepo

Lissette Castro Santamaria

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Inventario Nacional de fuentes y estimación de liberaciones de COP no intencionales en Colombia. Actualizado con datos 2018 [recurso electrónico] / Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana: Romero Coca, Jonathan Alexander (Ed.); López Niño, Brenda Natalia; Camelo Martínez, Edwin; Cardozo Ojeda, Javier Mauricio; Ramírez Restrepo, Andrés; Ramírez García, Carolina; coord.: Rodríguez Castañeda, José Álvaro. ----. Bogotá D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; 2021. 301 p. : il.

(Contaminantes Orgánicos Persistentes; no. 1)

ISBN ELECTRÓNICO: 978-958-5551-66-4

1. convenios internacionales de medio ambiente 2. política ambiental 3. gestión ambiental
4. contaminantes orgánicos persistentes 5. sustancias peligrosas 6. residuos peligrosos
7. instrumentos de política 8. planeación ambiental I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CDD: 628.5

© Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita





“

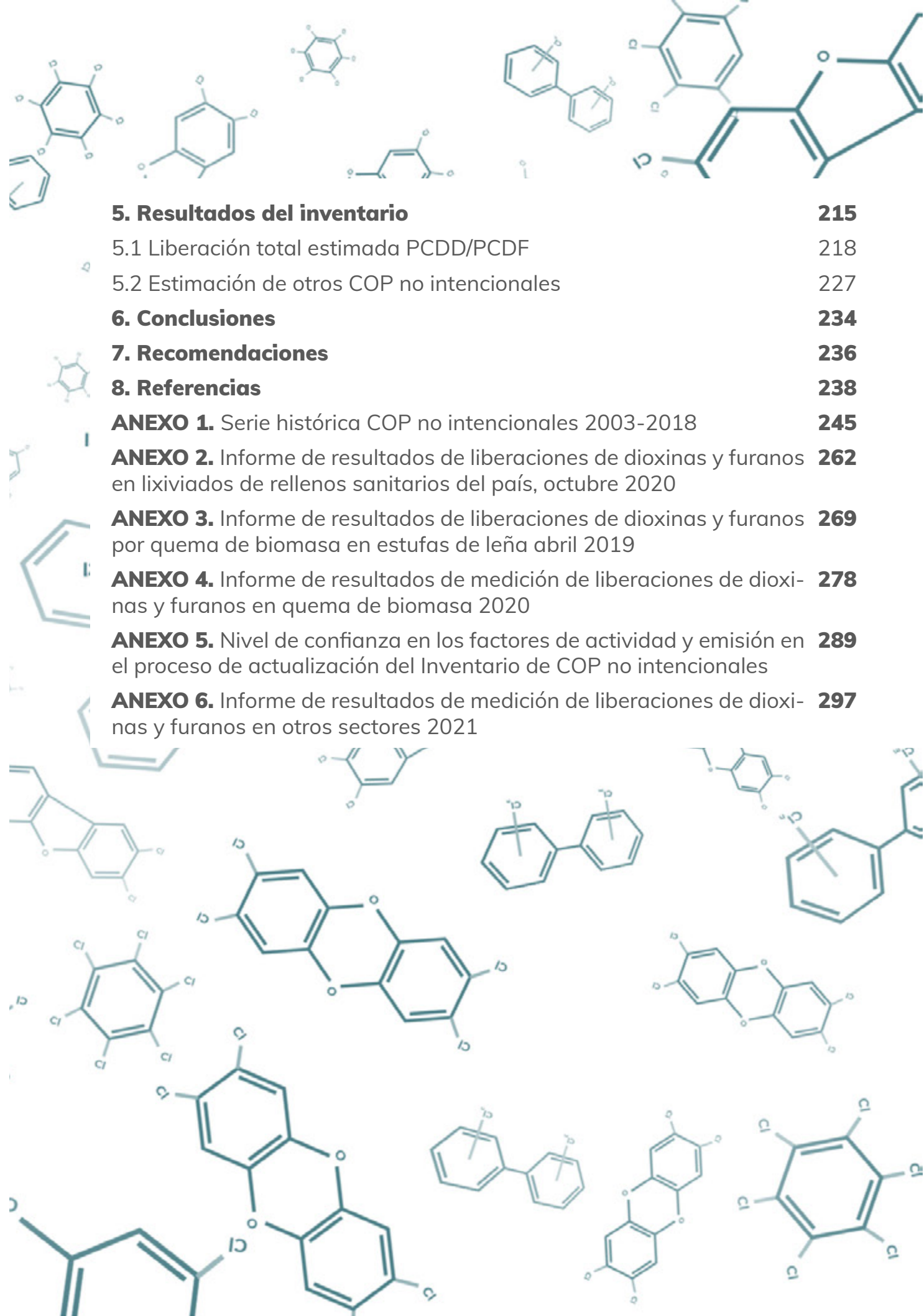
**Colombia esta
adelantando las
acciones que se
requieren para
disminuir los COP
No Intencionales**

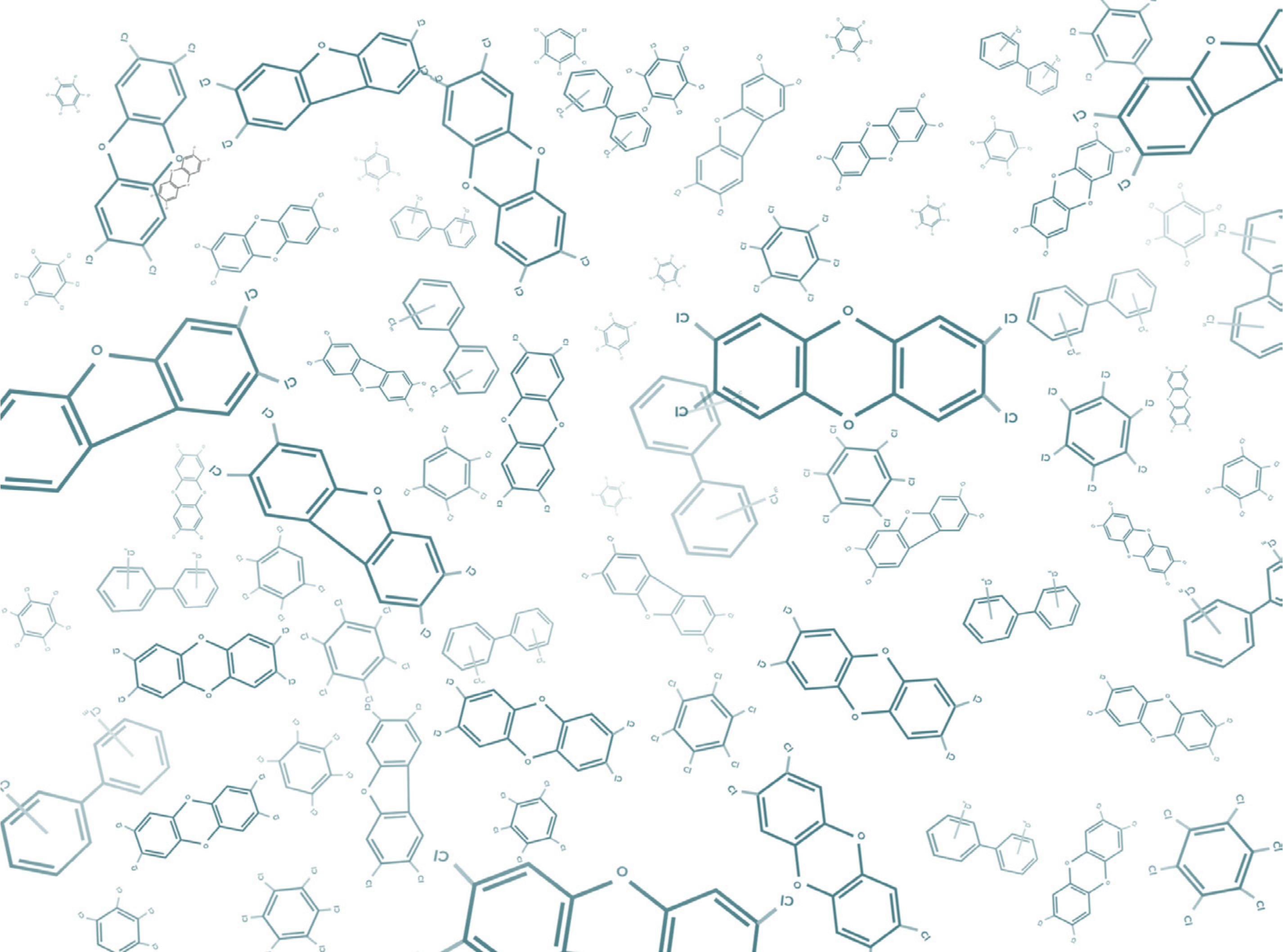
”

Tabla de contenido

1. Introducción	16
1.1 Ubicación	17
1.2 Población	17
1.3 Organización político-administrativa	17
1.4 Regiones geográficas	18
1.5 Economía	19
1.6 Zonas de desarrollo agropecuario e industrial en Colombia	20
2. Información general sobre COP no intencionales	21
2.1 Sustancias COP no intencionales	22
2.2 Exposición y toxicidad	22
2.3 Liberación de COP no intencionales	23
2.4 Mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales (MTD/MPA)	25
3. Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales	27
3.1 Identificación de las principales fuentes	28
3.2 Compilación de información	35
3.3 Estimación de liberaciones de COP no intencionales	36
4. Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías	37
4.1 Grupo 1 - Incineración de desechos	38
4.2 Grupo 2 - Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos	56
4.3 Grupo 3 - Generación de Energía y Calor	94
4.4 Grupo 4 - Producción de Productos Minerales	110
4.5 Grupo 5 - Transporte	130
4.6 Grupo 6 - Procesos de quema a cielo abierto	142
4.7 Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo	156
4.8 Grupo 8 - Misceláneos o varios	176
4.9 Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos	191
4.10 Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes	205

5. Resultados del inventario	215
5.1 Liberación total estimada PCDD/PCDF	218
5.2 Estimación de otros COP no intencionales	227
6. Conclusiones	234
7. Recomendaciones	236
8. Referencias	238
ANEXO 1. Serie histórica COP no intencionales 2003-2018	245
ANEXO 2. Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos en lixiviados de rellenos sanitarios del país, octubre 2020	262
ANEXO 3. Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos por quema de biomasa en estufas de leña abril 2019	269
ANEXO 4. Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en quema de biomasa 2020	278
ANEXO 5. Nivel de confianza en los factores de actividad y emisión en el proceso de actualización del Inventario de COP no intencionales	289
ANEXO 6. Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en otros sectores 2021	297







STOCKHOLM CONVENTION

Protecting human health and the environment from persistent organic pollutants



Presentación



El convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes-COP establece que los países que han ratificado este acuerdo de carácter internacional deben adoptar medidas para eliminar y reducir las liberaciones de COP derivadas de la producción no intencional, como son los dibenzo-p-dioxinas policloradas-PCDD, dibenzofuranos policlorados-PCDF, bifenilos policlorados-PCB, hexaclorobenceno-HCB, hexaclorobutadieno-HCBD, naftalenos policlorados y pentaclorobenceno-PeCB. Para lograrlo, los países necesitan realizar inventarios de fuentes y estimaciones de las liberaciones al ambiente de estas sustancias.

Para tal fin, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente-PNUMA elaboró en 2003 el “Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el artículo 5 del Convenio de Estocolmo” actualizado en el año 2013, el cual orienta la elaboración de inventarios de estas sustancias. La herramienta constituye una importante ayuda para los países con economías emergentes, ya que permite elaborar inventarios nacionales de COP no intencionales con base en la consolidación de información de fuentes de estas sustancias y la aplicación a estas de factores de emisión por defecto, sin afrontar el costo de realizarlos con base en determinaciones analíticas.

El presente documento recoge los resultados alcanzados durante el proceso de actualización del Inventario Nacional de Identificación de Fuentes y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos para Colombia, tomando como referencia el año 2018 y los resultados del primer inventario de PCB, HCB y PeCB no intencionales. Para la realización del inventario, se conformó un grupo de trabajo especializado integrado por profesionales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta metodología incluyó la aplicación de los factores de emisión por defecto propuesto en la herramienta y en algunos casos factores estimados a partir de mediciones realizadas en el país, para lo cual fue necesario recopilar y analizar una gran cantidad de información proveniente de diversas fuentes tanto del sector público como del sector privado. Además, se recopiló información mediante la realización de visitas y encuestas especializadas a través de formatos diseñados para tal fin y revisión de bases de datos, documentos técnicos y otras publicaciones en general.

Los resultados de este trabajo deben ser considerados como una aproximación de la situación existente. El nivel de incertidumbre se determinó a partir de la procedencia de los datos y el origen de los factores de emisión en cada categoría analizada. Debido a las dificultades encontradas para el levantamiento de información en algunas categorías y a la aplicación de ciertos factores de emisión que requieren ser revisados y ajustados progresivamente teniendo en cuenta el contexto de cada país; así como los supuestos y consideraciones fue necesario realizar durante el ejercicio de estimación en algunas categorías analizadas.

Por último, debe expresarse el más sincero agradecimiento al Fondo Mundial para el Medio Ambiente-GEF y al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD, que proporcionaron el apoyo técnico y financiero que fue fundamental para la elaboración del presente documento.

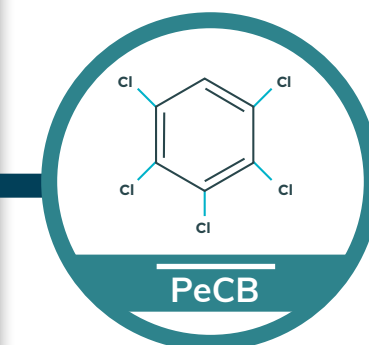
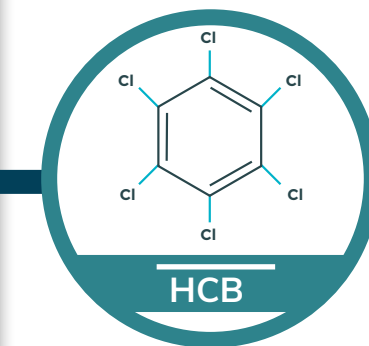
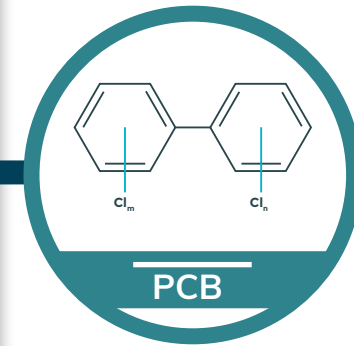
Resumen ejecutivo

Este documento constituye la actualización del Inventario Nacional de Fuentes y Liberaciones de dioxinas y furanos y los primeros inventarios de PCB, HCB y PeCB no intencional para el año 2018. Estos inventarios fueron realizados considerando las directrices del “Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el artículo 5 del Convenio de Estocolmo”, desarrollado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en su segunda versión del año 2013.

El objetivo principal de este ejercicio fue la identificación de fuentes generadoras de COP no intencionales del país y la cuantificación de sus liberaciones partiendo de información secundaria disponible para cada uno de los procesos y utilizando los factores de emisión por defecto contemplados en la herramienta propuesta por el Convenio de Estocolmo.

El desarrollo de este inventario se llevó a cabo en las siguientes etapas:

- Identificación de las categorías y clases planteadas en el inventario, mediante la revisión de bases de datos de entidades gubernamentales, agremiaciones industriales y autoridades ambientales.
- Recopilación de información consolidada acerca de la actividad o producción de cada una de estas categorías en el país para los años 2003 a 2018 en entidades gubernamentales y agremiaciones industriales.
- Elaboración de una base de datos de las industrias o actividades en cada categoría, con el fin de enviar cuestionarios que permitieron evaluar el nivel tecnológico de cada una de ellas.
- Recolección y análisis de la información entregada por las industrias o actividades encuestadas.
- Realización de cálculos preliminares.
- Adelantar visitas a una muestra de industrias o actividades con el fin de corroborar o aclarar la información entregada a través de los cuestionarios.
- Adelantar cálculos definitivos con base en la información obtenida a través de la información disponible.





Durante la recolección de información se evidenciaron algunos vacíos, principalmente en los registros oficiales sobre: producción de minerales, cantidades de biomasa quemada tanto en incendios de cobertura vegetal, residuos agrícolas o rellenos sanitarios. Por esta razón fue necesario en algunos casos, extrapolar la información disponible a todo el país. A pesar de estos vacíos, se considera que la herramienta propuesta por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente utilizada para hacer el presente inventario permite obtener a un costo razonable un diagnóstico ajustado a la realidad del país y generar herramientas de gestión para la reducción en la liberación de estos contaminantes.

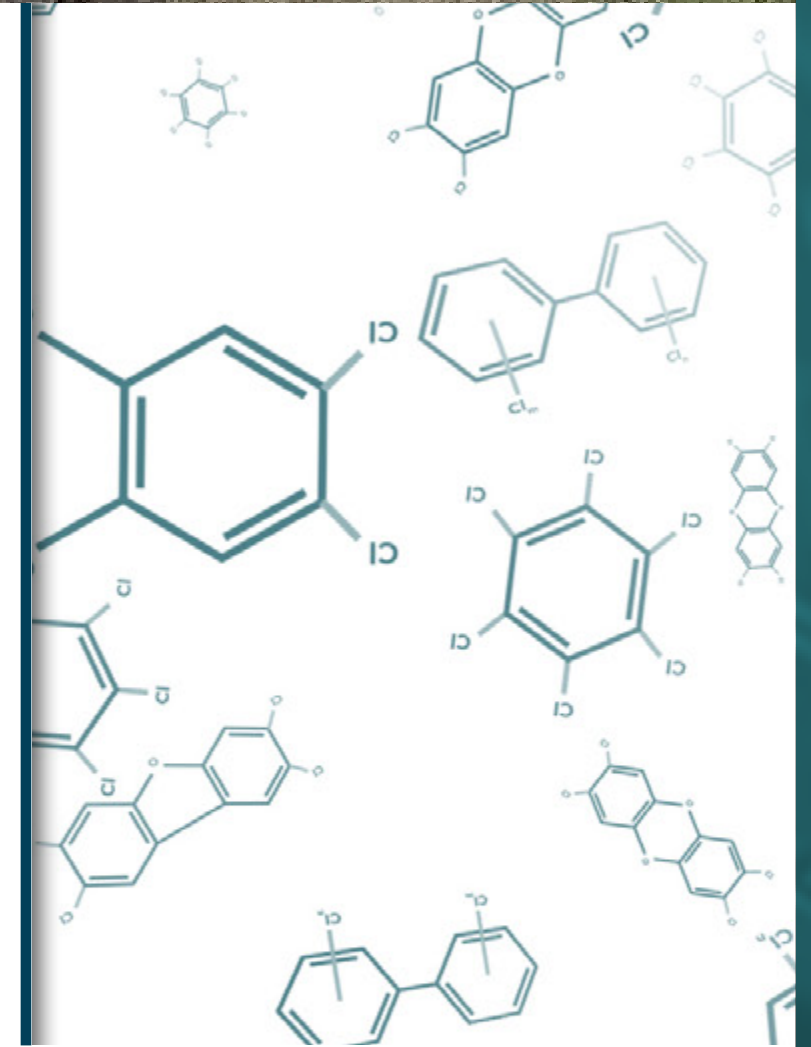
El inventario consolidado de liberaciones de dioxinas y furanos para Colombia, tomando como año de referencia 2018, arrojó valores de liberación muy importantes; un total de 276.0 g EQT/año¹, distribuidos de la siguiente forma: 162.7 g EQT/año al aire, 4.1 g EQT/año en agua, 23.7 g EQT/año en suelo, 14.9 g EQT/año en productos y 70.6 g EQT/año en residuos, lo que representa una disminución con respecto a la línea base recalculada del año 2002 del 53.2% teniendo en cuenta que se utilizó la misma metodología.

De los resultados obtenidos, es importante la liberación de estas sustancias asociados a la quema de residuos agrícolas impactados con plaguicidas clorados, seguido por incineración de residuos hospitalarios, como las mayores fuentes de liberación.

Como estrategia futura de trabajo, se recomienda a las principales actividades que realizan liberaciones de estas sustancias, a identificar en cuáles procesos se están generando, con el fin de implementar acciones que tengan un enfoque preventivo y que estén orientadas, en primera instancia, a evitar la generación de estos compuestos, a partir de la adopción de Mejores Técnicas Disponibles-MTD y Mejores Prácticas Ambientales-MPA para los diferentes procesos productivos, información disponible en el sitio web del Convenio de Estocolmo.

Finalmente, y como trabajo complementario, a pesar de que el país ha hecho un gran esfuerzo para recolectar y consolidar información. Aún existen vacíos de información importantes los cuales deben mejorar en el tiempo, con el objetivo de mejorar cada proceso de actualización, para generar datos más confiables que sustenten las estrategias de política por implementar.

1
Gramo de equivalente tóxico al año.



**Disminución
del 53.2%
-entre-
2002 y 2018**

Lista de tablas

- Tabla 1. Factores de equivalencia de toxicidad	22	- Tabla 23. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1g incineradores de residuos de animales	53
- Tabla 2. Principales grupos de fuentes y posibles vías de liberación	28	- Tabla 24. Liberación de la categoría incineración de restos de animales	55
- Tabla 3. Categorías del grupo 1 y posibles vías de liberación	29	- Tabla 25. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2 a Sinterización de mineral de hierro.	58
- Tabla 4. Categorías del grupo 2 y posibles vías de liberación	30	- Tabla 26. Liberación de la categoría producción de mineral sinterizado	59
- Tabla 5. Categorías del grupo 3 y posibles vías de liberación	31	- Tabla 27. Factores de emisión de COP no intencionales para las categorías de fuentes 2b Producción de coque	60
- Tabla 6. Categorías del grupo 4 y posibles vías de liberación	31	- Tabla 28. Liberación de la categoría producción de coque	62
- Tabla 7. Categorías del grupo 5 y posibles vías de liberación	32	- Tabla 29. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de fabricación de hierro y acero	64
- Tabla 8. Categorías del grupo 6 y posibles vías de liberación	32	- Tabla 30. Liberación de la categoría producción de plantas de hierro y acero	65
- Tabla 9. Categorías del grupo 7 y posibles vías de liberación	33	- Tabla 31. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de fundición de hierro	66
- Tabla 10. Categorías del grupo 8 y posibles vías de liberación	33	- Tabla 32. Liberación de la categoría producción de fundición de hierro	67
- Tabla 11. Categorías del grupo 9 y posibles vías de liberación	34	- Tabla 33. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de galvanizado por inmersión en caliente	68
- Tabla 12. Factores de emisión de COP no intencionales para categoría de fuentes 1a Incineradores de Residuos Sólidos Urbanos	39	- Tabla 34. Liberación de la categoría producción de plantas de galvanizado por inmersión en caliente	70
- Tabla 13. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia	40	- Tabla 35. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2d Producción de cobre	71
- Tabla 14. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1b Incineradores de Residuos Peligrosos	41	- Tabla 36. Liberación de la categoría producción de cobre	73
- Tabla 15. Liberación de la categoría incineración de residuos peligrosos	43	- Tabla 37. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2e Producción de aluminio	74
- Tabla 16. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1c Incineradores de residuos médicos	44	- Tabla 38. Liberación de la categoría producción de aluminio	76
- Tabla 17. Liberación de la categoría incineración de residuos médicos	45	- Tabla 39. Factores de emisión de COP no intencionales de categorías de fuentes 2f Producción de plomo	77
- Tabla 18. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1d Incineradores de residuos de fracción ligera de trituradora	46	- Tabla 40. Liberación de la categoría producción de plomo	79
- Tabla 19. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1e Incineración de lodos de aguas residuales	47	- Tabla 41. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2g Producción de zinc	80
- Tabla 20. Liberación de la categoría incineración de lodos de aguas residuales	49	- Tabla 42. Liberación de la categoría producción de zinc	82
- Tabla 21. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1f Incineradores de Desechos de Madera y Desechos de Biomasa	50	- Tabla 43. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2h Producción de latón y bronce	83
- Tabla 22. Liberación de la categoría incineración de desechos de madera	52	- Tabla 44. Liberación de la categoría producción de bronce y latón	85
		- Tabla 45. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2i Producción de magnesio	86

- Tabla 46. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2j Producción de otros metales no ferrosos	87	- Tabla 68. Liberación de la categoría producción de vidrio	122
- Tabla 47. Liberación de la categoría producción de níquel	89	- Tabla 69. Liberación de la categoría producción de cerámica	125
- Tabla 48. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2k Trituradoras	90	- Tabla 70. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 4f Mezcla de asfalto	126
- Tabla 49. Liberación de la categoría trituradoras	92	- Tabla 71. Liberación de la categoría producción de mezclas asfálticas	128
- Tabla 50. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2l Recuperación térmica de cables y reciclaje de residuos electrónicos	93	- Tabla 72. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuente 4g Procesamiento de esquistos bituminosos	129
- Tabla 51. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3 a Plantas eléctricas que utilizan combustibles fósiles	95	- Tabla 73. Factores de emisión de COP no intencionales para motores de 4 tiempos, categoría de fuente 5 a Motores a gasolina de 4 tiempos	131
- Tabla 52. Liberación de la categoría centrales eléctricas de combustibles de fósiles	97	- Tabla 74. Liberación de la categoría consumo de gasolina motores de 4 tiempos	133
- Tabla 53. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3b Plantas de energía a biomasa	98	- Tabla 75. Factores de emisión de COP no intencionales para motores de dos tiempos, categoría de fuente 5b Motores a gasolina de dos tiempos	134
- Tabla 54. Liberación de la categoría centrales eléctricas de centrales de biomasa	100	- Tabla 76. Liberación de la categoría consumo de gasolina motores de 2 tiempos	135
- Tabla 55. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3c Combustión de biogás de relleno sanitario	101	- Tabla 77. Factores de emisión de COP no intencionales para motores diésel, categoría de fuente 5c Motores diésel	136
- Tabla 56. Liberación de la categoría combustión de biogás	102	- Tabla 78. Liberación de la categoría consumo motores diésel/ACPM	138
- Tabla 57. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3d Calefacción y cocina doméstica con biomasa	103	- Tabla 79. Factores de emisión de COP no intencionales por categoría de fuente 5d Motores a fuel oil pesado	139
- Tabla 58. Liberación de la categoría combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica	105	- Tabla 80. Liberación de la categoría consumo motores a combustible pesado	141
- Tabla 59. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3e Calefacción y cocina doméstica con combustibles fósiles	107	- Tabla 81. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 6 a Quema de biomasa	143
- Tabla 60. Liberación de la categoría uso de combustibles fósiles para calefacción y cocina doméstica	109	- Tabla 82. Liberación de la categoría quema de biomasa	152
- Tabla 61. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 4 a Producción de cemento	111	- Tabla 83. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 6b Quema a cielo abierto de residuos e incendios accidentales	153
- Tabla 62. Liberación de la categoría producción de cemento	113	- Tabla 84. Liberaciones de la categoría quema de residuos e incendios accidentales	155
- Tabla 63. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuente 4b Producción de cal	114	- Tabla 85. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7a) Calderas para producción de energía en la industria de celulosa y papel	158
- Tabla 64. Liberación de la categoría producción de cal	116	- Tabla 86. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7a) Efluente de aguas residuales de la producción de celulosa y papel y lodos de celulosa	158
- Tabla 65. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 4c Producción de ladrillos	117	- Tabla 87. Liberaciones categoría producción de pulpa y papel	160
- Tabla 66. Liberación de la categoría producción de ladrillo	119	- Tabla 88. Factores de emisión de COP no intencionales para las categorías de la fuente 7b. Producción de cloro elemental	161
- Tabla 67. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 4d Producción de vidrio	120	- Tabla 89. Liberaciones categoría producción de cloro	163

- Tabla 90. Factores de emisión de COP no intencionales para la producción de PVC	164	- Tabla 114. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 9b Aguas vertidas directamente a cuerpos de agua	198
- Tabla 91. Liberaciones categoría producción de PVC	165	- Tabla 115. Liberaciones de categoría agua vertida directamente a cuerpos de agua	200
- Tabla 92. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría quema en antorchas de la fuente 7f Refinería de Petróleo	168	- Tabla 116. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 9d Compostaje	201
- Tabla 93. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría producción de la fuente 7f Refinería de Petróleo	168	- Tabla 117. Liberaciones de categoría producción de compost	203
- Tabla 94. Liberaciones categoría producción refinerías de petróleo	169	- Tabla 118. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 10f Uso de PCB	209
- Tabla 95. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7g Producción de textiles	170	- Tabla 119. Grupos de clasificación de elementos según su contenido de PCB	210
- Tabla 96. Liberaciones de categoría producción textil	172	- Tabla 120. Liberaciones de categoría uso de PCB	210
- Tabla 97. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7h Industria de cuero	173	- Tabla 122. Liberación estimada de PCDD/PCDF en Colombia año base 2018	218
- Tabla 98. Liberaciones de categoría producción de cuero	175	- Tabla 123. Índices de liberación de PCDD/PCDF 2018	219
- Tabla 99. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8 a Secado de biomasa	177	- Tabla 124. Emisión absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de emisión al aire año 2018 de PCDD/PCDF	220
- Tabla 100. Liberaciones de categoría secado de biomasa	179	- Tabla 125. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación en los residuos año 2018 de PCDD/PCDF	221
- Tabla 101. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8b Cremaciones	180	- Tabla 126. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los productos año 2018 de PCDD/PCDF	222
- Tabla 102. Liberaciones de categoría cremaciones	182	- Tabla 127. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al suelo año 2018 de PCDD/PCDF	223
- Tabla 103. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8c Casas de humo (simulacros)	183	- Tabla 128. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al agua año 2018 de PCDD/PCDF	224
- Tabla 104. Liberaciones de categoría ahumaderos	185	- Tabla 129. Liberación estimada de PCB no intencional en Colombia año 2018	228
- Tabla 105. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8d Limpieza en seco	186	- Tabla 130. Liberación estimada de HCB no intencional en Colombia año 2018	230
- Tabla 106. Liberaciones de categoría limpieza en seco	188	- Tabla 131. Liberación estimada de PeCB no intencional en Colombia año 2018	232
- Tabla 107. Liberación de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8e Consumo de tabaco	189		
- Tabla 108. Liberaciones de categoría consumo de tabaco	190		
- Tabla 109. Factores de emisiones COP no intencionales para rellenos sanitarios, celdas de seguridad, botaderos y explotación minera en rellenos sanitarios categoría de fuentes 9 a	192		
- Tabla 110. Liberaciones de categoría Rellenos sanitarios, vertederos y remoción de relleno sanitario	194		
- Tabla 111. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 9b Aguas residuales y tratamiento de aguas residuales	195		
- Tabla 112. Demanda nacional de agua	196		
- Tabla 113. Liberaciones de categoría agua tratada	197		

Lista de ilustraciones

- Ilustración 1. Mapa geográfico de Colombia	17
- Ilustración 2. Mapa división político-administrativa Colombia	18
- Ilustración 3. Proceso de producción de sinter de hierro	57
- Ilustración 4. Comparación de liberación total de PCDD/PCDF entre países Partes del Convenio de Estocolmo	226
- Ilustración 5. Comparación de liberación de PCDD/PCDF per cápita entre países Partes del Convenio de Estocolmo	226

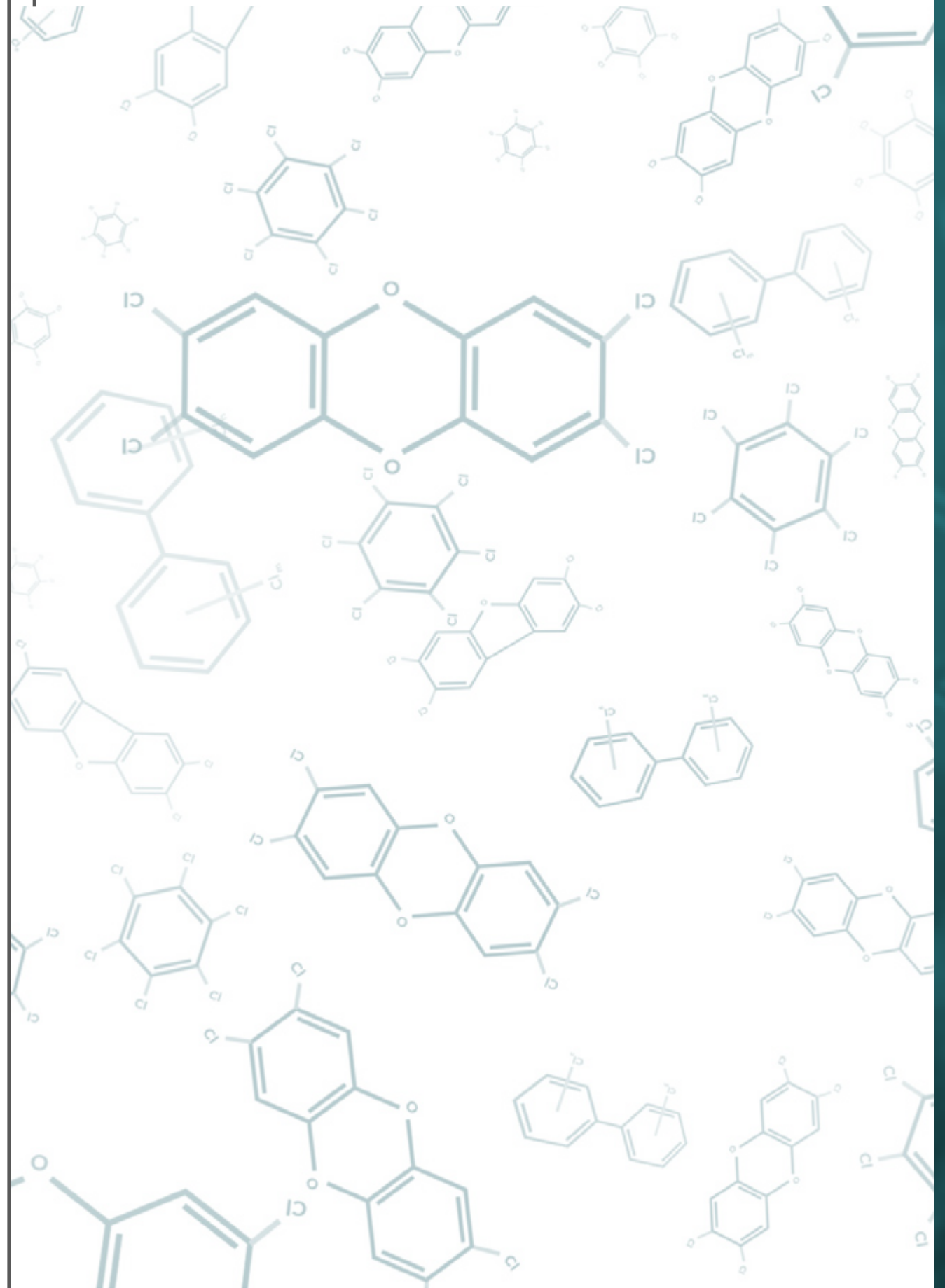
Lista de gráficas

- Gráfica 1. Cantidades dispuestas de residuos peligrosos a través de tratamiento térmico	42
- Gráfica 2. Cantidades dispuestas de residuos hospitalarios a través de tratamiento térmico	45
- Gráfica 3. Cantidades dispuestas de lodos peligrosos a través de tratamiento térmico	48
- Gráfica 4. Cantidades incineradas en el país por no cumplir requerimientos fitosanitarios	51
- Gráfica 5. Cantidades dispuestas de residuos y cremación de animales incineradas	54
- Gráfica 6. Producción nacional estimada de sinter	58
- Gráfica 7. Producción nacional de coque	61
- Gráfica 8. Producción nacional de acero	64
- Gráfica 9. Cantidades de hierro y acero galvanizado	69
- Gráfica 10. Producción nacional secundaria de cobre	72
- Gráfica 11. Producción nacional de aluminio	75
- Gráfica 12. Producción nacional de plomo	78
- Gráfica 15. Producción nacional de zinc	81
- Gráfica 14. Producción nacional de bronce y latón	84
- Gráfica 15. Producción nacional de metales no ferrosos	88

- Gráfica 16. Producción y exportación nacional de chatarra metálica	91
- Gráfica 17. Consumos de combustibles fósiles para generación de energía	96
- Gráfica 18. Consumos de biomasa para generación de energía	99
- Gráfica 19. Producción estimada de biogás	102
- Gráfica 20. Producción de energía para calefacción y cocina doméstica con biomasa	104
- Gráfica 21. Producción de energía para calefacción y cocina domésticas con combustibles fósiles	108
- Gráfica 22. Producción nacional de clínker	112
- Gráfica 25. Producción nacional de cal	115
- Gráfica 24. Producción nacional estimada de vidrio	121
- Gráfica 25. Producción nacional estimada de cerámica	124
- Gráfica 28. Producción nacional de mezclas asfálticas	127
- Gráfica 27. Consumos estimados de gasolina por motores de cuatro tiempos	132
- Gráfica 28. Consumos estimados de diésel/ACPM y biodiésel	137
- Gráfica 29. Consumos estimados de fuel oil y keroseno	140
- Gráfica 30. Quemadas estimadas de cultivos agrícolas	150
- Gráfica 31. Participación de quemadas de biomasa a nivel nacional	150
- Gráfica 32. Cantidad estimada de bosque y incendiada	151
- Gráfica 33. Número de eventos de incendios de fábricas y/o casas	154
- Gráfica 34. Cantidad de vehículos incendiados accidentalmente	154
- Gráfica 35. Producción nacional de pulpa, papel y papel y cartón reciclados	159
- Gráfica 36. Producción nacional de cloro	162
- Gráfica 37. Producción nacional de PVC	165
- Gráfica 38. Producción nacional de textiles e hilados	171
- Gráfica 39. Producción nacional estimada de cuero	174
- Gráfica 40. Cantidades de biomasa secadas	178
- Gráfica 41. Cantidades estimada de cuerpos cremados	181
- Gráfica 42. Cantidad de carne ahumada producida	184
- Gráfica 43. Cantidades estimadas de residuos de la limpieza en seco	187
- Gráfica 44. Producción nacional de cigarrillos y tabacos	189
- Gráfica 45. Cantidades dispuestas de residuos en rellenos sanitarios, botaderos y rellenos de seguridad	193
- Gráfica 46. Cantidades estimadas de agua residual tratada nacional	196

- Gráfica 47. Cantidad de agua residual estimada vertida directamente a cuerpos de agua	199
- Gráfica 48. Cantidades estimadas de producción de compost	202
- Gráfica 49. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación total año 2018 de PCDD/PCDF	219
- Gráfica 50. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al aire por grupo año 2018	220
- Gráfica 51. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de emisión al aire año 2018 de PCDD/PCDF	220
- Gráfica 52. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al residuo por grupo año 2018	221
- Gráfica 53. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los residuos año 2018 de PCDD/PCDF	221
- Gráfica 54. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al producto por grupo año 2018	222
- Gráfica 55. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los productos año 2018 de PCDD/PCDF	222
- Gráfica 56. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al suelo año 2018 de PCDD/PCDF	223
- Gráfica 57. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al agua por grupo año 2018	224
- Gráfica 69. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al agua año 2018 de PCDD/PCDF	224
- Gráfica 59. Liberación total estimada de PCDD/PCDF de 2003 a 2018	225
- Gráfica 60. Producción estimada por matriz de PCDD/PCDF de 2003 a 2018	225
- Gráfica 61. Producción estimada por grupo de PCDD/PCDF de 2003 a 2018	225
- Gráfica 62. Producción estimada de PCB no intencional liberado por clases 2018	229
- Gráfica 63. Producción estimada por matriz ambiental de PCB no intencional de 2003 a 2018	229
- Gráfica 64. Producción estimada de HCB no intencional liberado por clases 2018	231
- Gráfica 65 Producción estimada por matriz ambiental de HCB no intencional de 2003 a 2018	231
- Gráfica 66. Producción estimada de PeCB no intencional liberado por clases 2018	233
- Gráfica 67. Producción estimada por matriz ambiental de PeCB no intencional de 2003 a 2018	233

- Gráfica 68. Distribución porcentual de liberación de g EQT de COP no intencionales	233
- Gráfica 69. Distribución porcentual de liberación de gramos de COP no intencionales	233



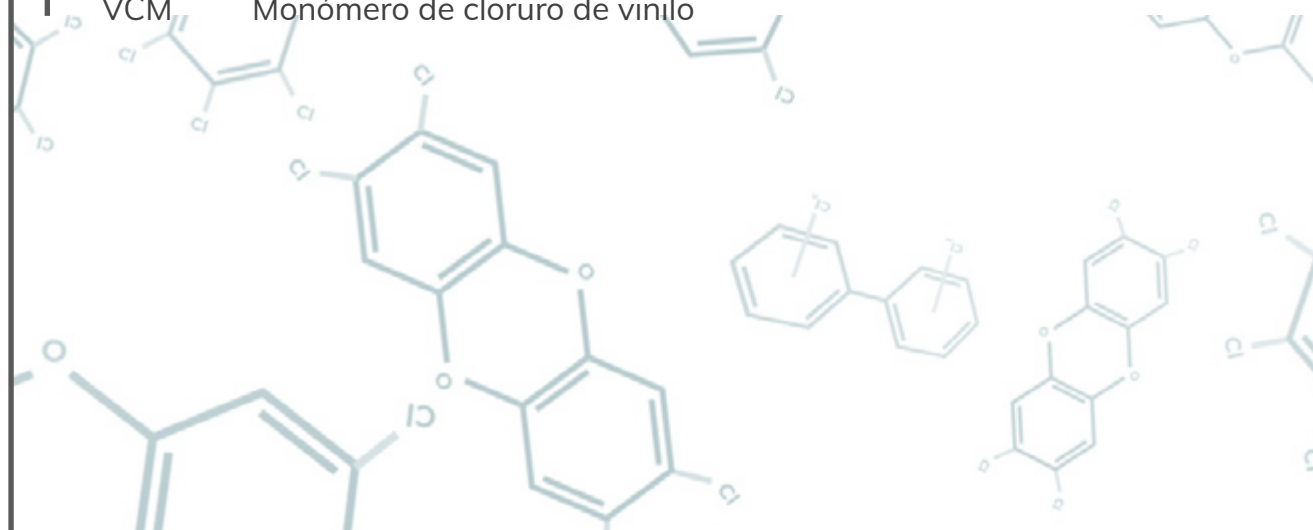
Lista de siglas y abreviaturas

.	Separador decimal
,	Separador de miles
ACPM	Aceite Combustible Para Motores
ANDI	Asociación Nacional de Industriales
ANI	Agencia Nacional de Infraestructura
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANM	Agencia Nacional de Minería
BECO	Balance Energético Colombiano
Cat.	Categoría del inventario
Cla.	Clase de liberación y/o tipo de tecnología
CNP	2,4,6-Triclorofenil-4.-nitrofeniléter
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
DANE	Departamento Nacional de Estadística
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacional
DNBC	Dirección Nacional de Bomberos Colombia
EDC	1,2-Dicloroetano
ESP	Precipitador electrostático
EQT	Equivalente tóxico ²
FNC	Federación Nacional de Cafeteros
g	Gramos
GEI	Gases efecto invernadero
Gru	Grupo del inventario
HAE	Hornos de arco eléctrico
HCB	Hexaclorobenceno
HCBD	Hexaclorobutadieno
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
MPA	Mejores prácticas ambientales

2

Gramo de equivalente tóxico al año.

MTD	Mejores técnicas disponibles
µg	Microgramos
NA	No corresponde (no es un vector de liberación relevante)
ND	No determinado/no hay datos (en otras palabras: hasta ahora no se dispone de mediciones)
Nm ³	Metro cúbico normalizado (estándar); el volumen que ocupa un gas a presión atmosférica (1,013 mbar) y 273.15 K (0°C)
OMS	Organización Mundial de la Salud
PCB	Bifenilos policlorados
PCDD	Dibenzo-p-dioxinas policloradas
PCDF	Dibenzofuranos policlorados
PeCB	Pentaclorobenceno
PIB	Producto interno bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	Polivinilo cloruro
RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
RFLT	Residuos de fracción ligera de trituradora
RM	Residuo médico
RESPEL	Residuo peligroso
RSU	Residuos sólidos urbanos
SCCA	Sistemas de control de la contaminación atmosférica
SUI	Sistema Único de Información
t	Toneladas
Tj	Terajulios
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
VCM	Monómero de cloruro de vinilo





Colombia, comprometida
con la implementación del
Convenio de Estocolmo sobre
Contaminantes Orgánicos
Persistentes

1. Introducción



1.1 Ubicación

El territorio continental de la República de Colombia se encuentra ubicado en el noroccidente de América del Sur, sobre la línea ecuatorial; su territorio cuenta con una superficie total de 2,070,408 km² de los cuales 1,141,748 km² se encuentran en la plataforma continental abarcando parte de la selva amazónica, la cordillera de los Andes, la cual se divide en tres ramales dentro del territorio nacional, costas y llanuras; los restantes 928,660 km² se reparten entre el océano Pacífico y el océano Atlántico (García, 2010).



Ilustración 1. Mapa geográfico de Colombia

1.2 Población

De acuerdo con el DANE, la población estimada para el año 2018 es de 49,834,240 habitantes de los cuales 50.6% son mujeres y 49.4% son hombres (DANE, 2018). Entre los grupos poblacionales en Colombia se encuentran indígenas 2%, blancos 37%, negros 10.6% y mestizos 49%.

1.3 Organización político-administrativa

Colombia está organizada territorialmente por 32 departamentos encabezados por un gobernador encargado de la administración autónoma de los recursos otorgados por el Estado, tienen autonomía en el manejo de los asuntos relacionados con su jurisdicción y funcionan como entes de coordinación entre la nación y los municipios y una asamblea de diputados elegidos en elecciones populares (Colombia, 2020).

A su vez existen 1,122 unidades territoriales denominadas municipios, los cuales son dirigidos por la figura de un alcalde, quien gobierna junto con un concejo municipal; ambas figuras son elegidas por voto popular. Igualmente, existen cinco distritos especiales, denominados así por su importancia nacional, ellos son: Bogotá Distrito Capital; Barranquilla Distrito Especial Industrial y Portuario; Buenaventura Distrito Especial, Industrial, Portuario, Biodiverso y Ecoturístico; Cartagena de Indias Distrito Turístico y Cultural; y Santa Marta, Distrito Turístico, Cultural e Histórico (Colombia, 2020).

Por otro lado, existen entidades territoriales indígenas con gobiernos propios que ocupan alguna porción departamental o municipal, y territorios colectivos, los cuales han sido adjudicados a la población afrocolombiana que predomina en la zona Pacífico, permitiéndole organizarse de formas asociativas comunitarias y empresariales (Colombia, 2020).

Región de la Orinoquia

Ocupa una vasta zona al este desde la cordillera Oriental hasta el río Orinoco, comprendida entre los ríos Arauca y Guaviare, por norte y sur respectivamente. Esta región es una inmensa llanura, recorrida por ininidad de ríos que van a desembocar al Orinoco, entre los que se destacan el Meta, el Vichada y el Casanare (Colombia, 2018). Su clima es cálido y seco, originando una vegetación de sabana y pastos naturales, además de una rica y variada fauna. Es mejor conocida como “Llanos Orientales”, ocupa 310,263 km², 27.2% del territorio nacional y tiene una densidad de 3.3 habitantes por km² (Colombia, 2018).

Región del Pacífico

La costa Pacífica es una de las regiones más húmedas del planeta, con una precipitación de más de 10,000 mm al año, cuenta con 1,300 km de longitud y un clima húmedo con altas temperaturas y precipitaciones constantes durante todo el año (Colombia, 2018). Hacia el norte, donde la serranía del Baudó se interna en el océano formando bahías y ensenadas, caracterizada por ser una zona selvática de gran biodiversidad, el sur de la región es más plana y surcada por caudalosos ríos, se caracteriza por los acantilados y playas bordeadas de manglares (Colombia, 2018).

1.5 Economía

Colombia es la 55 mayor economía de exportación en el mundo, en 2018, el país exportó US\$ 32.9 miles de millones e importó US\$ 43.2 miles de millones. Se estima que PIB fue de US\$ 282 miles de millones y su PIB per cápita fue de US\$ 14.2 miles (OEC, 2020).

Las principales exportaciones de Colombia son petróleo crudo, briquetas de carbón, café, refinado de petróleo, oro, flores y plátanos, principalmente a Estados Unidos, Panamá, los Países Bajos, Ecuador y España. En cuanto a las importaciones, predominan el refinado de petróleo, coches, medicamentos envasados, equipos de radiodifusión y computadoras provenientes principalmente de Estados Unidos, China, México, Brasil y Alemania (OEC, 2020).





1.6 Zonas de desarrollo agropecuario e industrial en Colombia

En cuanto a la industria colombiana, de acuerdo con datos recolectados por la Encuesta Anual Manufacturera del DANE, la concentración de la manufactura del país se centra en los departamentos de Antioquia, Bogotá D. C. y Valle del Cauca con aproximadamente el 68.1% de los establecimientos registrados a nivel nacional (DANE, 2018); en estos departamentos sobresalen los municipios de Envigado, Yumbo, Itagüí, Sabaneta y La Estrella, Palmira, Copacabana, Cota, Funza y Caloto como los diez municipios con mayor concentración industrial del país (Donato & Haedo, 2019). De los 7911 establecimientos registrados en la encuesta se estima que los principales grupos industriales de acuerdo con sus niveles de producción bruta son: fabricación de productos de la refinación del petróleo 20,7%; fabricación de otros productos químicos 6,9% y elaboración de bebidas 5,6% (DANE, 2018). En cuanto a las mayores participaciones del personal ocupado en el total del sector son: confección de prendas de vestir, excepto prendas de piel 10,2%, elaboración de otros productos alimenticios 8,7% y fabricación de productos de plástico 7,8% (DANE, 2018).

En cuanto al uso del suelo, se estima que para el año 2019 fue de 50,102,269 hectáreas, de las cuales, se estima que el 77.9% se utilizaron para desarrollo pecuario, 10.3% en bosques, 9.2% para uso agrícola y el restante 2,9% para otros usos (DANE, 2019).

Se estima que la mayor área agrícola se destinó a los cultivos agroindustriales³ con un 41.2%, seguido por la producción de cereales⁴ con un 18.5%, las plantaciones forestales⁵ con el 13.5%, los tubérculos y plátanos⁶ con un 10.8%, frutales con un 9.5%, las hortalizas, verduras y legumbres con 5.4% y otros con un 1.1% (DANE, 2019). Los departamentos con mayor área agrícola cosechada son Antioquia, Valle del Cauca, Tolima, Cundinamarca, Meta y Nariño (DANE, 2019). Respecto al desarrollo pecuario, se estima que para el año 2019 se registraron 27,239,767 de cabezas de ganado bovino distribuidas 35.6% en la región Andina, 27.6% en la región Caribe, 21.8% en la región Orinoquia, Amazonía con el 9.8% y el restante 5.3% en la región Pacífica (DANE, 2019). Los departamentos con mayor número de cabezas de ganado fueron Antioquia, Casanare, Meta, Córdoba y Caquetá. En cuanto a las otras especies pecuarias, sobresale la producción avícola, porcina, piscícola, ovina, cuyícola, entre otros.

³ Agroindustriales: café, palma de aceite, caña para azúcar, caña para panela, cacao, soya, algodón. Otros agroindustriales: caucho, tabaco, fique, entre otros.

⁴ Cereales: arroz, cebada, maíz amarillo, maíz blanco, trigo. Otros cereales: avena, sorgo, entre otros.

⁵ Plantaciones forestales: acacia, teca, pino, ciprés, eucalipto, aliso, cedro, caracolí, yopo, badea, arrayan, entre otros.

⁶ Tubérculos y plátano: plátano, yuca, papa. Otros tubérculos: arracacha, achiras, batata, bore, ñame, entre otros.

2. Información general sobre COP no intencionales

Información general sobre COP no intencionales

2.1 Sustancias COP no intencionales

Las sustancias consideradas como COP no intencionales son dibenzo-p-dioxinas policloradas-PCDD, dibenzofuranos policlorados-PCDF, bifenilos policlorados-PCB, hexaclorobenceno-HCB, hexaclorobutadieno-HCBD, naftalenos policlorados y pentaclorobenceno-PeCB (UNEP, 2009).

Además de su toxicidad, estas sustancias se bioacumulan en los seres vivos, se transportan grandes distancias y no se degradan con facilidad en el ambiente, por lo que se consideran persistentes. Estos contaminantes suelen ser solubles en grasas y se acumulan en los niveles tróficos superiores en particular en los seres humanos. Igualmente, por sus características semivolátiles, experimentan evaporación y condensaciones en el ambiente, lo que las hace móviles (PNUMA, 2007).

En cuanto a su uso, los PCDD y PCDF nunca se han utilizado como productos comerciales ni han sido fabricados de manera intencional, sino para ser empleados en el laboratorio, de ahí su denominación como “COP no intencionales” (UNEP, 2009). A pesar que los PCB se han fabricado y utilizado principalmente como refrigerantes y lubricantes en transformadores, condensadores y otros equipos, los HCB como plaguicidas para control de hongos en granos y el PeCB como producto intermedio en la producción de quintoceno⁷ (Stockholm Convention, 2018), estas sustancias también se forman y liberan de manera no intencional en las mismas fuentes que producen PCDD/PCDF.

2.2 Exposición y toxicidad

Puesto que estas sustancias están presentes en el ambiente prácticamente todos los seres vivos, incluidos los seres humanos, han estado expuestos a ellos. La exposición se da principalmente por alimentos grasos, incluso la leche materna, pero también por circunstancias accidentales o laborales. Sin embargo, los efectos que se han asociado a estas sustancias dependen de diversos factores como el grado, duración y frecuencia de la exposición. Estudios sobre casos de exposición accidental u ocupacional del Centro de Internacional de Investigaciones sobre Cáncer (IARC) de la OMS determinaron que la sustancia 2, 3, 7, 8-TCDD de la familia de las dioxinas es la más tóxica de todas y es carcinógeno en humanos, además, se ha observado en experimentos con animales de laboratorio que la exposición produce efectos en la reproducción, crecimiento, sistema endocrino e inmunológico (PNUMA, 2007).

La toxicidad de mezclas de estas sustancias se evalúa por medio de una cifra llamada equivalente tóxico (EQT), la cual es la multiplicación de la cantidad de cada uno de los miembros tóxicos de la mezcla por un coeficiente de ponderación del compuesto más tóxico, 2, 3, 7, 8-TCDD, el cual se denomina factor de equivalencia de toxicidad (FET). La tabla 1 presenta los FET elaborados por el Comité de Retos de la Sociedad Moderna denominado I-FET y los revisados y asignados por la OMS en 1997 y 2005 para PCDD/PCDF (PNUMA, 2007).

Tabla 1. Factores de equivalencia de toxicidad

Congéneres	OMS/1997	FET-I	OMS/2005
	FET en mamíferos	FET-I	FET en mamíferos
PCDD			
2, 3, 7, 8-TCDD	1	1	1
1, 2, 3, 7, 8-PeCDD	1	0.5	1
1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDD	0.01	0.01	0.01
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-OCDD	0.0001	0.001	0.0003
PCDF			
2, 3, 7, 8-TCDF	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 7, 8-PeCDF	0.05	0.05	0.03
2, 3, 4, 7, 8-PeCDF	0.5	0.5	0.3
1, 2, 3, 4, 7, 8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 7, 8, 9-HxCDF	0.1	0.1	0.1
2, 3, 4, 6, 7, 8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF	0.01	0.01	0.01
1, 2, 3, 4, 7, 8, 9-HpCDF	0.01	0.01	0.01
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9-OCDF	0.0001	0.001	0.0003

Fuente: tomado del Toolkit 2013.



2.3 Liberación de COP no intencionales

Los COP no intencionales se forman a partir de procesos térmicos que comprenden materia orgánica y cloro principalmente por combustiones incompletas o reacciones químicas, las cuales son liberadas al aire, agua (superficial y subterránea), suelo, producto terminado (plaguicidas, papel, entre otros) y residuos según el tipo de actividad (UNEP, 2013).

Procesos de combustión

Los COP no intencionales se forman en procesos de combustión en los que se encuentran presentes elementos con carbono, oxígeno, hidrógeno y cloro y una temperatura de combustión entre 200 °C y 900 °C. En cuanto a las variables que ayudan a la formación de estas sustancias por medio de este proceso, se tiene (UNEP, 2013):

- i. Tecnológica: en la cual hay una combustión y mezcla deficiente de los sumados a cámaras mal diseñadas y operadas sin sistemas de control de calidad de emisiones.
- ii. Temperatura: se ha reportado formación de estas sustancias en cámaras postcombustión y SCCA con temperaturas entre 200 °C a 650 °C con un pico de formación a los 300 °C.
- iii. Metales: metales como el cobre, hierro, zinc, aluminio, cromo y manganeso funcionan como catalizadores de la formación de las sustancias.
- iv. Cloro: en forma orgánica, inorgánica o elemental en los materiales quemados.

Igualmente, se ha observado que los COP no intencionales se pueden destruir durante la combustión si las temperaturas son suficientemente altas con tiempos de residencia adecuados y mezclas en la zona de combustión completas o si los gases se enfrían rápidamente en las cámaras de postcombustión a temperaturas con riesgo mínimo de formación (UNEP, 2013).

Procesos de
combustión



Procesos químicos industriales

La formación de COP no intencionales también se puede dar a partir de reacciones químicas sin combustión, en las cuales están presentes carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro; sin embargo, las variables que ayudan a la formación de estas sustancias son (UNEP, 2013):

- i. Temperaturas menores a 150 °C.
- ii. Condiciones alcalinas especialmente durante la purificación de procesos.
- iii. Catálisis con metales.
- iv. Radiación UV o sustancias generadoras de radicales.
- v. Presencia de fenoles clorados, compuestos aromáticos y sus derivados, sustancias cloradas alifáticas, catalizadores clorados y productos químicos inorgánicos.

Finalmente, el Convenio obliga a las Partes a realizar inventarios exhaustivos de PCDD/PCDF con el fin de identificar sectores prioritarios y realizar planes de acción en estos sectores que busquen reducir la producción de estos contaminantes, los cuales si se cumplen también ayudarán a la disminución de los otros COP no intencionales (UNEP, 2013).

Procesos químicos industriales





2.4 Mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales (MTD/MPA)

En concordancia con lo establecido por la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes en su artículo 5, se entiende como Mejores Técnicas Disponibles-MTD la implementación de tecnologías, métodos de operación, técnicas específicas o la etapa más eficaz y avanzada en el desarrollo de actividades y sus métodos de operación que indican la idoneidad práctica de técnicas específicas para proporcionar en principio la base de la limitación de las liberaciones destinada a evitar y, cuando sea viable, reducir en general las liberaciones de dioxinas y furanos, entre otros contaminantes listados en el anexo C y sus efectos en el ambiente en su conjunto (UNEP, 2009). Sin embargo, este concepto no está dirigido a la prescripción de una tecnología o técnica específica, sino para tener en cuenta las características técnicas de la instalación que se analiza, su ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales (PNUMA, 2007).

En general, las técnicas de control apropiadas para reducir liberaciones de dioxinas y furanos son similares entre los sectores, pero es necesario prestar especial atención a los factores que se enuncian a continuación (PNUMA, 2007):

- i. Naturaleza, efectos y masa de las liberaciones tratadas las cuales pueden variar dependiendo del tamaño de la fuente.
- ii. Fechas de puesta en servicio de las instalaciones nuevas o existentes.
- iii. Tiempo necesario para incorporar la MTD.
- iv. Consumo y naturaleza de las materias primas utilizadas en el proceso y su eficiencia energética.
- v. Necesidad de evitar o reducir al mínimo el impacto general de las liberaciones al ambiente y los peligros que representan.
- vi. Necesidad de evitar accidentes y reducir al mínimo sus consecuencias al ambiente.
- vii. Necesidad de salvaguardar la salud ocupacional y la seguridad en los lugares de trabajo.
- viii. Procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento comparables que se han ensayado con resultados satisfactorios a escala industrial.
- ix. Avances tecnológicos y cambio del conocimiento, y la comprensión en el ámbito científico.

Información general sobre COP no intencionales



Adicionalmente, en casos que se vaya a construir o intervenir instalaciones de manera relevante, se pueden considerar las siguientes medidas de reducción (PNUMA, 2007):

- i. Empleo de métodos mejorados de depuración de gases de combustión, tales como la oxidación térmica o catalítico, precipitación de polvos o la absorción.
- ii. Tratamiento de residuos, aguas y lodos.
- iii. Cambios en los procesos que den lugar a la reducción o eliminación de las liberaciones, tales como la adopción de sistemas cerrados.
- iv. Modificación del diseño de los procesos para mejorar la combustión y evitar la formación de las sustancias, mediante el control de parámetros como la temperatura de incineración o el tiempo de residencia.

Por otra parte, las Mejores Prácticas Ambientales MPA son la aplicación de la combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental (UNEP, 2009).

Finalmente, para más información sobre las MTD y MPA se recomienda consultar las directrices enunciadas a continuación, creadas por el Convenio para cada sector o actividades que pueden ayudar a disminuir o anular la producción de COP no intencionales (PNUMA, 2007):

- Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas y calderas industriales.
- Crematorios.
- Destrucción de restos de animales.
- Fuentes de combustión doméstica.
- Hornos de cemento que incineran residuos peligrosos.
- Incineradoras de desechos.
- Instalaciones de quema de madera y otras biomásas como combustible.
- Plantas de chatarrización.
- Procesos térmicos en la industria metalúrgica.
- Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en el Anexo C, Parte II.
- Procesos específicos de producción de productos químicos que liberan sustancias que figuran en el Anexo C.
- Producción de pasta de papel utilizando cloro elemental o productos químicos que generan cloro elemental.
- Quema a cielo abierto de desechos, incluida en la quema en vertederos.
- Recuperación del cobre de cable por combustión lenta.
- Refinerías de aceites de desecho.
- Teñido (con cloroanil) y terminado (con extracción alcalina) de textiles y cueros.
- Vehículos de motor, en particular los que utilizan gasolina con plomo.

3. Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de **COP** no intencionales

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales



Metodología

La metodología del presente inventario incluye los siguientes cuatro pasos:

- 1) Identificar fuentes de información.
- 2) Asignar tasas de actividad para cada una de las fuentes.
- 3) Seleccionar los factores de emisión para las fuentes.
- 4) Estimar la liberación de COP no intencionales.

A continuación, se describe cada una de las fases.

3.1 Identificación de las principales fuentes

La identificación de las fuentes de COP no intencionales se establecen en el Toolkit 2013, tal como se indica en la tabla 2.

Tabla 2. Principales grupos de fuentes y posibles vías de liberación

No.	Grupo	Posibles vías de liberación				
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
1	Incineración de desechos	X				X
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	X				X
3	Generación de energía y calor	X		X		X
4	Producción de productos minerales	X				X
5	Transporte	X				X
6	Procesos de quema a cielo abierto	X	X	X		X
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	X	X		X	X
8	Misceláneos	X	X	X	X	X
9	Disposición / relleno sanitario	X	X	X		X
10	Identificación de potenciales puntos calientes	Solo se realizó la identificación de los sitios calientes. No fue posible la cuantificación.				

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

Identificación de las clases de fuentes en el ámbito nacional

Así mismo, los grupos enunciados en la tabla 2 siguen siendo muy amplios y con el fin de caracterizar mejor la variedad de industrias, procesos y actividades, el Toolkit 2013 subdivide cada una de estas categorías (a, b, c, etc.), las cuales, a su vez, se dividen en diferentes clases, como se verá más adelante. De acuerdo con esta herramienta, una "X" (mayúscula) indica las principales vías de liberación de cada categoría, una "x*" (minúscula) identifica vías de liberación de menor importancia y "(x)" posible liberación menor, sin embargo, no se cuantifica.

Categorías grupo 1

La incineración de desechos es el proceso de oxidación térmica mediante la combustión controlada de residuos en estado líquido, sólido o gaseoso, la cual, según el Anexo C, Parte II, del Convenio de Estocolmo, tiene un alto potencial de formación y liberación de COP no intencionales al aire y en cenizas (UNEP, 2013). En esta categoría no se incluyen los procesos de quema a cielo abierto o quemas para producción de energía las cuales se incluyen en otras categorías independientes. Las categorías del grupo 1 se indican en la tabla 3.



Tabla 3. Categorías del grupo 1 y posibles vías de liberación

1- Incineración de desechos		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ⁸
a	Incineración de desechos sólidos municipales	X	(x*)			X
b	Incineración de residuos peligrosos	X	(x*)			X
c	Incineración de residuos médicos	X	(x*)			X
d	Incineración de la fracción ligera de desechos de fragmentación	X				X
e	Incineración de lodos de aguas residuales	X	(x*)			X
f	Incineración de desechos de madera y desechos de biomasa	X				X
g	Combustión de carcasas animales	X				X

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

⁸ La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a las cenizas de fondo y volantes que se forman durante el proceso de combustión.

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

Categorías grupo 2

La industria del hierro y el acero, y la industria de metales no ferrosos son industrias que utilizan gran cantidad de materiales y energía. Existen dos tipos de procesos para obtener estos productos:

- Los primarios, destinados a la obtención de metales a partir de sus minerales originales, sea por sulfuración u oxidación a través de procesos tales como la concentración, fusión, reducción, refinación, etc. (UNEP, 2013),
- Los secundarios, que utilizan chatarra, a menudo cubierta de plásticos, pinturas, baterías usadas (para la producción de plomo), aceites, entre otros, o escorias y cenizas volantes procedentes de otros procesos metalúrgicos, como materias primas para sus procesos. (UNEP, 2013). La principal liberación de COP no intencionales se da al aire, seguida por la liberación en los residuos principalmente en procesos secundarios donde se usan residuos de pintura y plástico, entre otros.

Las categorías del grupo 2 se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Categorías del grupo 2 y posibles vías de liberación

2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ⁹
a	Sinterización de mineral de hierro	X				x*
b	Producción de coque	X	x*	x*	x*	x*
c	Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones	X				x*
d	Producción de cobre	X	x*			x*
e	Producción de aluminio	X				x*
f	Producción de plomo	X				x*
g	Producción de zinc	X				x*
h	Producción de bronce y latón	X				x*
i	Producción de magnesio	X	x*			x*
j	Producción térmica de metales no ferrosos (ej.: Ni)	x	x*			x*
k	Trituradoras	X				x*
l	Recuperación térmica de cables y reciclado de desechos eléctricos y electrónicos	X	(x*)	x*		x*

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

⁹ La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a escorias de proceso, material fino recolectado por los SCCA y/o todo sólido que salga del proceso de fundición que no sea el metal que se quiere producir



Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

Categorías grupo 3

Este grupo incluye centrales eléctricas, lugares de cocción industrial (hornos) e instalaciones destinadas a la calefacción, que son alimentadas con combustibles fósiles (incluyendo hasta 1/3 de coprocesamiento de residuos), biogás, incluyendo el gas de rellenos sanitarios, y biomasa sola (UNEP, 2013). Los principales vectores de liberación son el aire y los residuos. El suelo es considerado como un vector de liberación en el caso de la calefacción y las cocinas domésticas que usan biomasa (principalmente madera) o combustibles fósiles. Liberaciones al suelo pueden ocurrir si se disponen residuos en la tierra (UNEP, 2013). Las categorías del grupo 3 se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Categorías del grupo 3 y posibles vías de liberación

3 - Generación de energía y calor		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
a	Centrales de combustibles fósiles	x*				x*
b	Centrales de biomasa	x*				x*
c	Combustión de biogás de vertederos	x*				x*
d	Combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica	x*		(x*)		x*
e	Calefacción doméstica con combustibles fósiles	x*		(x*)		x*

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

Categorías grupo 4

En este grupo se incluyen las industrias minerales que utilizan en sus procesos altas temperaturas, debido a que sus materias primas o combustibles pueden contener cloruros causando la formación de COP no intencionales. Sin embargo, el tiempo de estancia en los hornos y las altas temperaturas necesarias para el producto generan pocas liberaciones (UNEP, 2013). Las categorías del grupo 4 se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Categorías del grupo 4 y posibles vías de liberación

4 - Producción de productos minerales		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ¹⁰
a	Hornos de cemento	X				X
b	Cal	X				X
c	Ladrillos	X				X
d	Vidrio	X				X
e	Cerámicas	X				X
f	Mezclas asfalto	X			X	X
g	Procesamiento de esquistos bituminosos	X				X

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

¹⁰ La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a cenizas de proceso, material fino recolectado por los SCCA y/o todo sólido que salga del proceso de fundición que no sea el insumo que se quiere producir.

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales



Categorías grupo 5

En este grupo se tienen en cuenta los COP no intencionales producidos por el transporte debido a la combustión incompleta del combustible de los motores (UNEP, 2013). Los niveles dependen de varios factores, como tipo de motor, calidad del combustible, mantenimiento, estado y antigüedad del catalizador, condiciones de manejo, entre otras (UNEP, 2013). Las categorías del grupo 5 se indican en la tabla 7.

Tabla 7. Categorías del grupo 5 y posibles vías de liberación

5 - Transporte		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ¹¹
a	Motores a gasolina de 4 tiempos	X				
b	Motores a gasolina de 2 tiempos	X				
c	Motores diésel/ACPM	X				(x*)
d	Motores a combustible pesado	X				(x*)

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

Categorías grupo 6

En este grupo se incluyen las quemas a cielo abierto, que suceden sin equipo de combustión ni contención (UNEP, 2013) e incendios de todo tipo. Las categorías del grupo 6 se indican en la tabla 8.

Tabla 8. Categorías del grupo 6 y posibles vías de liberación

6 - Procesos de quema a cielo abierto		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ¹²
a	Quema de biomasa	X	(x*)	X		(x*)
b	Quema de residuos e incendios accidentales	X	(x*)	X		(x*)

Fuente: tomado del Toolkit 2013.



¹¹ La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a polvo generado en el proceso de combustión.

¹² La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a cenizas de las quemas y material parcialmente quemado.

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

Categorías grupo 7

En este grupo se analizan las liberaciones de COP no intencionales que se pueden producir durante la fabricación y/o uso de productos químicos y artículos de consumo por la presencia de alguna forma de cloro (UNEP, 2013). Las categorías del grupo 7 se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Categorías del grupo 7 y posibles vías de liberación

7 - Producción y uso de productos químicos y artículos de consumo		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ¹³
a	Fábricas de pulpa y papel	x*	x		x	x
b	Productos químicos inorgánicos clorados	x*	X		X	X
c	Productos químicos alifáticos clorados	x*	X	(x*)	X	X
d	Productos químicos aromáticos clorados	x*	X	(x*)	X	X
e	Otros productos químicos clorados y no clorados	x*	X	(x*)	X	X
f	Refinerías de petróleo	x*				x
g	Industria textil		x*		x*	x
h	Industria de cuero		x*		x*	x

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

Categorías grupo 8

En este grupo se analizan cinco categorías que, por sus características, no se incluyen en otros grupos. Las categorías del grupo 8 se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Categorías del grupo 8 y posibles vías de liberación

8 - Misceláneos o varios		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo ¹⁴
a	Secado de biomasa	X			X	x
b	Cremaciones	X				X
c	Ahumaderos	X			X	X
d	Limpieza en seco		X		X	x*
e	Consumo de tabaco	X				x*

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

13 La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a cenizas de proceso o todo sólido que salga del proceso de no sea el insumo que se quiere producir.

14 La referencia "residuo" en esta categoría hace referencia a cenizas de proceso, material fino recolectado por los SCCA y/o todo sólido que salga del proceso térmico que no sea el insumo que se quiere producir

Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

Categorías grupo 9

En este grupo se analizan los procesos de eliminación de residuos. En algunos casos se ha observado que el tratamiento físico, biológico, químico o la contención en rellenos sanitarios seguros, enterramiento en vertederos y pozos, dispersión en el suelo, o descarga directa de efluentes no tratados en ríos, lagos u océanos, puede dar lugar a liberaciones de COP no intencionales al ambiente (UNEP, 2013). Las categorías del grupo 9 se indican en la tabla 11.

Tabla 11. Categorías del grupo 9 y posibles vías de liberación

9 - Eliminación / Relleno sanitario		Posibles vías de liberación				
Categoría		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
a	Rellenos sanitarios, rellenos de seguridad y botaderos		X	X		
b	Vertimientos tratados provenientes de alcantarillado / tratamiento del alcantarillado	(x*)	X	x*	x*	x*
c	Vertimientos directos a cuerpos de agua		X	X'		
d	Compostaje			x*	x*	
e	Disposición de desechos de aceite (no térmico)	x*	X	x*	x*	x*
Sedimentos en cañadas, ríos, estuarios y océanos						

Fuente: tomado del Toolkit 2013.

Categorías grupo 10

En este grupo se analizan todos los procesos y actividades consideradas fuente alta de generación de COP no intencionales o “puntos calientes”. Las categorías incluidas en este grupo son sitios de producción de cloro, producción de organoclorados, aplicación de plaguicidas y productos químicos que contienen PCDD/PCDF, fabricación de madera y lugares de tratamiento, fábricas de textiles y cueros, uso de PCB, utilización de cloro en la producción de metales y de químicos inorgánicos, incineradores de residuos, industrias metalúrgicas, incendios accidentales, dragado de sedimentos y de llanuras aluviales contaminadas, vertederos de residuos/residuos de los grupos de fuentes 1-9, emplazamientos de caolín y de arcilla caolinífera (UNEP, 2013).



Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

3.2 Compilación de información

Una vez identificadas las fuentes de información de las clases enumeradas anteriormente, se procedió a consultar los factores de actividad y los factores de emisión, con el fin de establecer las tasas de liberación de COP no intencionales, proceso que se describe a continuación.

Factores de actividad

Las tasas de actividad son valores, en unidades por año de producto fabricado (por ejemplo, acero, sinterizado, cemento, pulpa, abono, etc.), o de material de entrada procesado (por ejemplo, residuos urbanos, residuos peligrosos, carbón, combustible diésel, cuerpos cremados, etc.), o cantidades anuales de material liberado (por ejemplo, m³ de gas de combustión, litros de aguas servidas, kilogramos o toneladas de lodos generados, etc.).

Estos valores se encuentran en la información estadística nacional recopilada por organismos estatales, gremiales, autoridades ambientales, entre otros, a su vez, en aquellos casos en los que no existía la información, esta fue solicitada por medio de encuestas realizadas a empresas que, de acuerdo con el Toolkit 2013, son una posible fuente de liberación de COP no intencionales. Para el presente estudio en el Anexo 5, se encuentran las fuentes de información consultadas en el presente inventario, así como el nivel de confianza en la estimación.

Factores de emisión

Los factores de emisión se definen como valores representativos que intentan relacionar la cantidad de contaminante liberado al aire, agua, suelo, producto¹⁵ y residuo¹⁶ con una actividad asociada a la liberación del contaminante. Estos valores se determinan por medio de obtener información básica sobre el diseño, operación y otros factores relacionados que puedan influir sustancialmente en la magnitud de la liberación de COP no Intencionales para cada fuente y/o categoría.

Los factores de emisión por defecto que se presentan en el Toolkit se han extraído de una serie de fuentes de datos como experimentos de laboratorio, publicaciones en revistas internacionales indexadas, proyectos experimentales específicos, informes gubernamentales o universidades.

Los factores de emisión para cada clase son las mejores estimaciones basadas, en lo posible, en datos medidos en fuentes documentadas, teniendo en cuenta la tecnología, características del proceso y prácticas de operación, o bien estimaciones basadas en la opinión de expertos internacionales. Para mayor información sobre estas estimaciones por categoría, se recomienda consultar los anexos 9 al 53 del documento “Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention-UNEP, January 2013”.

Por lo tanto, el uso de los factores de emisión del Toolkit es adecuado para estimar los inventarios nacionales de liberaciones de COP no intencionales, sin embargo, en caso de que los países estén en la capacidad de desarrollar sus propios factores de emisión se encuentran en toda la libertad de usarlos (ver anexos 2, 3 y 4 del presente documento). Para los casos en que una actividad la desarrollen varios actores es necesario clasificar cada uno con el factor de emisión que mejor lo representa.

A medida que se analiza cada una de las categorías podrá encontrar las fuentes de información utilizadas en el presente inventario, así como el nivel de confianza en la estimación ver Anexo 5.

¹⁵ Representado como bienes de consumo masivo.

¹⁶ Representado como sobrantes de procesos ejemplos, cenizas, polvo recolectado de los SCCA, escorias, entre otros.



Identificación de fuentes y metodología de estimación de liberaciones de COP no intencionales

3.3 Estimación de liberaciones de COP no intencionales

Una vez identificadas y clasificadas las fuentes de COP no Intencionales, seleccionados los factores de emisión y determinadas las tasas nacionales por actividad, es posible realizar la estimación de las liberaciones anuales totales por grupo de origen, categoría de fuente y clase, de manera relativamente simple y directa cuyo proceso se describe a continuación.

La liberación anual de cada COP no intencional para una clase de origen se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

Donde,

L_i es la cantidad de COP intencional liberado en unidades de g EQT/año para PCDD/PCDF y PCB no intencional, g/año para HCB y PeCB, por matriz ambiental (aire, agua, suelo, producto y/o residuo)

FA es el factor de actividad en unidades de cantidad producida o generada/año

FE_i es el factor de emisión seleccionado en unidades de g EQT o g/ cantidad producida o generada por matriz ambiental (aire, agua, suelo, producto y/o residuo)

Adicionalmente, la liberación anual de COP no intencionales para una categoría de fuente se calcula como la suma de las liberaciones anuales totales de cada clase dentro de la categoría. La liberación anual de COP no intencionales para cada grupo de fuentes es la suma de las liberaciones anuales calculadas para cada categoría de fuente en el grupo de fuentes. La liberación total anual de COP no intencionales para un país o región es la suma de las emisiones anuales de todos los grupos de fuentes.

$$L_i = FA \times FE_i$$



4. Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de **COP no intencionales** para cada grupo con sus categorías

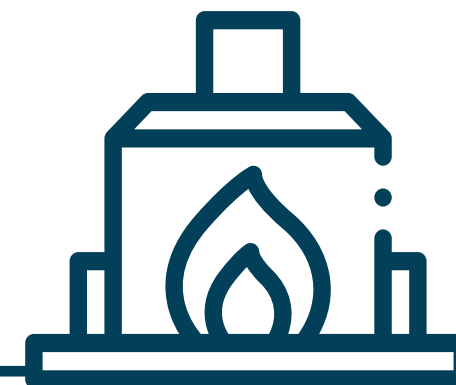


4.1 Grupo 1 - Incineración de desechos

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1a - Incineración de desechos sólidos urbanos



Los desechos sólidos urbanos corresponden a residuos sólidos generados por los hogares en la vida diaria normal, y generalmente también incluye residuos producidos por las actividades industriales, comerciales y agrícolas (UNEP, 2013). Los componentes comunes de los residuos domiciliarios incluyen papel, cartón, plásticos, restos de alimentos y de cocina, tela, cuero, madera, vidrio y metales, así como tierra, piedras y otros materiales inertes (UNEP, 2013). Los incineradores de residuos domésticos van desde hornos de mufla de alimentación discontinua hasta sistemas altamente sofisticados de incineración masiva, con rejillas, calderas de recuperación de calor, y sistemas complejos de control de contaminación atmosférica (UNEP, 2013). En lo que se refiere a capacidad, van desde unas pocas toneladas por día, en pequeños lotes, a más de dos mil toneladas por día en enormes instalaciones de alimentación continua.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones ver tabla 12.

Tabla 12. Factores de emisión de COP no intencionales para categoría de fuentes 1a Incineradores de Residuos Sólidos Urbanos

1a	Incineradores de residuos sólidos urbanos	PCDD/PCDF			PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada RSU incinerados)			Factores de emisión (µg EQT/tonelada RSU incinerados)	Factores de emisión (µg/tonelada RSU incinerados)	Factores de emisión (µg/tonelada RSU incinerados)
		Aire	Residuo		Aire	Aire	Aire
Ceniza volante	Ceniza de fondo						
1	Combustión de baja tecnología, sin SCCA ¹⁷	3,500	ND	75	ND	ND	ND
2	Combustión controlada, con SCCA mínimos ¹⁸	350	500	15	30	1000	ND
3	Combustión controlada con buenos SCCA ¹⁹	30	200	7	3	500	ND
4	Combustión de alta tecnología, SCCA sofisticados ²⁰	0.5	15	1.5	0.01	100	200

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁷ La clase 1 incluye hornos sencillos y muy pequeños (< 500 kg/h), con alimentación discontinua, sin ningún SCCA para gases de chimenea. Por ejemplo, hornos con mufla, con una tasa de flujo de volumen de gas de combustión de aproximadamente 17,500 Nm³/tonelada de residuos peligrosos.

¹⁸ La clase 2 incluye incineradores de RESPEL con combustión controlada y sistemas mínimos de SCCA, con una tasa de flujo de volumen de gas de combustión de 15,000 Nm³/tonelada de residuos peligrosos.

¹⁹ Los incineradores clase 3 tienen una mayor eficiencia de combustión y sistemas más eficientes que resultan en concentraciones de PCDD/PCDF de aproximadamente 1 ng de EQT/Nm³ (O₂ al 11%). Asimismo, la tasa específica de flujo de volumen de gas de combustión se reduce a 10,000 Nm³/Tonelada de RESPEL

²⁰ La clase 4 se limita a plantas muy sofisticadas de incineración de residuos peligrosos, capaces de cumplir con un valor de regulación de 0.1 ng de EQT/Nm³ (O₂ al 11%), conforme a la legislación de la Unión Europea. La clase 4 representa la última generación en incineración de RESPEL y tecnología de SCCA con tasas de flujo de gas de chimenea de unos 7,500 Nm³/tonelada de RESPEL.

Situación en Colombia

De acuerdo con el Informe Nacional sobre Disposición Final de Residuos Sólidos, para el 2018 el país generó 11,305,133 toneladas de residuos sólidos, cuya producción se centra en Bogotá, Antioquia y Valle del Cauca (Superservicios, 2019).

Las cantidades y número de sitios de disposición final de residuos sólidos se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia

Tipo de sistema	Número de sistemas	Toneladas dispuestas	%
Relleno Sanitario	174	10,853,834	96.0%
Botadero a cielo abierto	101	223,703	2.0%
Celda de contingencia	15	191,435	1.7%
Celda transitoria	15	24,606	0.2%
Planta de tratamiento	3	11,555	0.1%

Fuente: Superservicios, 2019.

Como se puede ver en la tabla 13, al año 2018 no existe ningún sistema que utilice incineración de residuos domésticos, sin embargo, la quema como disposición final sí se ha utilizado en años anteriores (Superservicios, 2019), situación que se analiza en la categoría 6b3 Quema a cielo abierto de residuos domiciliarios.

Clase seleccionada y liberación 2018

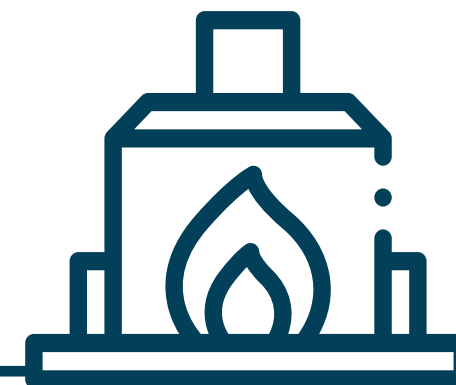
Debido a que no se encontraron fuentes de liberación, no fue posible la estimación.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1b - Incineración de residuos peligrosos



De acuerdo con el artículo 2.2.6.1.1.3. del Decreto 1076 de 2015, los residuos peligrosos son aquellos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o reactivas pueden causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques, embalajes y elementos de protección personal que hayan estado en contacto con este tipo de sustancias. Sin embargo, el Toolkit no incluye en esta categoría los residuos médicos, debido a diferencias en sus orígenes y en las tecnologías para su tratamiento (UNEP, 2013).

La incineración de residuos peligrosos tiene como principal objetivo reducir su volumen y peligrosidad mediante un proceso térmico con combustión. Así mismo, pueden constituir una forma de recuperar el contenido energético, mineral o químico de los residuos (PNUMA, 2007). Sin embargo, el Convenio de Estocolmo señala que los incineradores de residuos peligrosos se consideran como una actividad con un potencial relativamente alto de formación y liberación de las sustancias listadas en el Anexo C (PNUMA, 2007). Generalmente, la incineración de residuos peligrosos se realiza en hornos con rejillas de muy baja tecnología, u hornos de mufla, los hornos con cámara de poscombustión y los hornos rotatorios (PNUMA, 2007).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones ver tabla 14.

Tabla 14. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1b Incineradores de Residuos Peligrosos

1b	Incineración de residuos peligrosos	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada RESPEL quemados)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada RESPEL quemados)	Factores de emisión (µg/tonelada RESPEL quemados)	Factores de emisión (µg/tonelada RESPEL quemados)
Clase		Aire	Residuo (solo ceniza volante)	Aire	Aire	Aire
1	Combustión de baja tecnología, sin SCCA ²¹	35,000	9,000	ND	ND	ND
2	Combustión controlada, con SCCA mínimos ²²	350	900	20	ND	ND
3	Combustión controlada, con buenos SCCA ²³	10	450	5	2,000	10,000
4	Combustión de alta tecnología, con SCCA sofisticados ²⁴	0.75	30	0.01	500	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

²¹ La clase 1 incluye hornos sencillos y muy pequeños (< 500 kg/h), con alimentación discontinua, sin ningún sistema de SCCA para gases de chimenea, por ejemplo, hornos con mufla, con una tasa de flujo de volumen de gas de combustión de aproximadamente 17,500 Nm³/tonelada de residuos peligrosos.

²² La clase 2 incluye incineradores de RESPEL con combustión controlada y sistemas mínimos de CCA, con una tasa de flujo de volumen de gas de combustión de 1,000 Nm³/tonelada de residuos peligrosos.

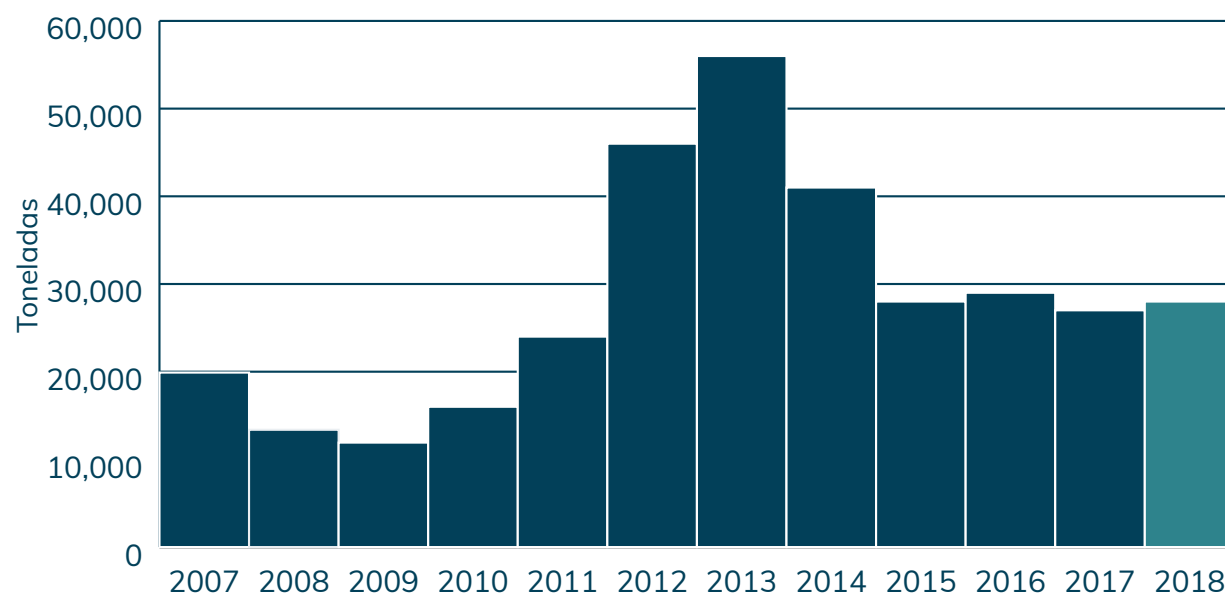
²³ Los incineradores clase 3 tienen una mayor eficiencia de combustión y sistemas más eficientes que resultan en concentraciones de PCDD/PCDF de aproximadamente 1 ng de EQT/Nm³ (O₂ al 11%). Asimismo, la tasa específica de flujo de volumen de gas de combustión se reduce a 10,000 Nm³/tonelada de RESPEL.

²⁴ La clase 4 se limita a plantas muy sofisticadas de incineración de residuos peligrosos, capaces de cumplir con un valor de regulación de 0.1 ng de EQT/Nm³ (O₂ al 11%), conforme a la legislación de la Unión Europea. La clase 4 representa la última generación en incineración de RESPEL y tecnología de SCCA con tasas de flujo de gas de chimenea de unos 7,500 Nm³/tonelada de RESPEL.

Situación en Colombia

Para el año 2018 de acuerdo con cifras registradas por el IDEAM, el país generó 635,518 toneladas de residuos peligrosos, de los cuales 51,011 toneladas fueron manejadas a través de tratamiento térmico fuera del establecimiento que los produce (IDEAM, 2020). Es necesario aclarar que en el presente análisis se deben excluir los residuos hospitalarios, los cuales se tienen en cuenta en la siguiente categoría. En la gráfica 1 se presentan las cantidades de residuos peligrosos²⁵ generadas durante el periodo 2007 a 2018 dispuestas a través del tratamiento térmico.

Gráfica 1. Cantidades dispuestas de residuos peligrosos a través de tratamiento térmico



Fuente: elaboración propia a partir de información del IDEAM.

Por otra parte, se realizó una encuesta a las autoridades ambientales y a los gestores, en la cual se solicitó la información de los gestores autorizados para el tratamiento de residuos generados en atención en salud, así mismo, la cantidad de residuos reportados por año, el tipo de horno y de control autorizado, entre otras.

De acuerdo a la información recolectada en 2019²⁶, se encontró que en el país existen 33 hornos de incineración de residuos peligrosos y hospitalarios, de los cuales aproximadamente el 8% poseen características de clase 1; 42%, de clase 2; 35%, de clase 3 y 15%, de clase 4.

²⁵ En esta categoría no se incluyeron las corrientes de residuos Y1, Y3, A4010 y A4020 por tratarse de residuos hospitalarios, los cuales se evalúan en la categoría 1C

²⁶ Basado en las respuestas de las siguientes autoridades Corpoguavio, EPA Barranquilla Verde, Carsucre, CRQ, CRC, Corpochivor, CAR, DAGMA, CRA, Corpoboyaca, DADSA, Corpouraba, CDMB, Coralina, Cornare, Corponariño, Corpokinoquia, AMVA, CVC, Corantioquia, Corpamag, Cortolima, Corpamazonia, CAM, Cormacarena, Corpocaldas, SDA, Carder, Corponor, Corpocesar y AMB.



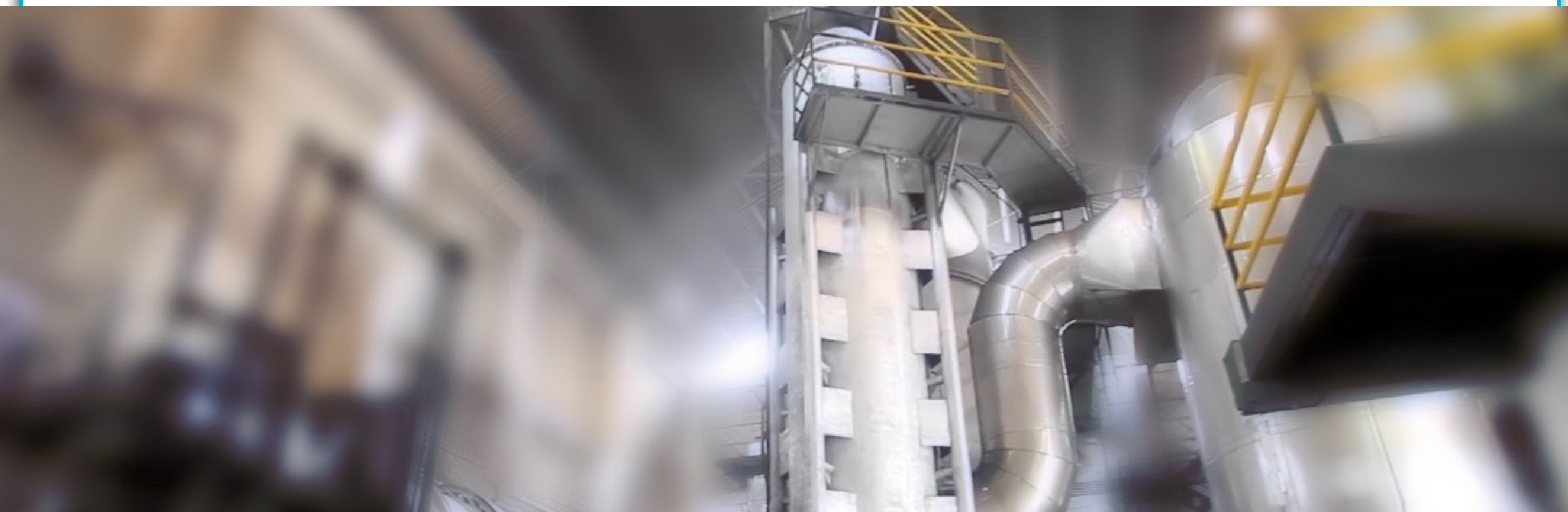
Clase seleccionada y liberación 2018

En cuanto al total de los residuos tratados en el país, se encontró que el 42% se tratan en hornos clase 2, 37% en clase 3 y 21% en clase 4 (IDEAM, 2020). La tabla 15 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 14.

Tabla 15. Liberación de la categoría incineración de residuos peligrosos

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción Toneladas/ año	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
				Aire	Cenizas volantes	Aire	Aire	Aire
				g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
1b		Incineración de desechos						
		Incineración de residuos peligrosos						
	1	Tecnología simple de combustión, sin SCCA	5.7	0.2	0.051			
	2	Combustión controlada, mínimo SCCA	11,910	4.169	10.719	0.24		
	3	Combustión controlada, buen SCCA	10,727	0.107	4.827	0.05	21.5	107.3
	4	Alta tecnología de combustión, SCCA sofisticado	5,929	0.004	0.178	0.0001	3.0	
Subtotal categoría				4.480	15.776	0.292	24.4	107.3

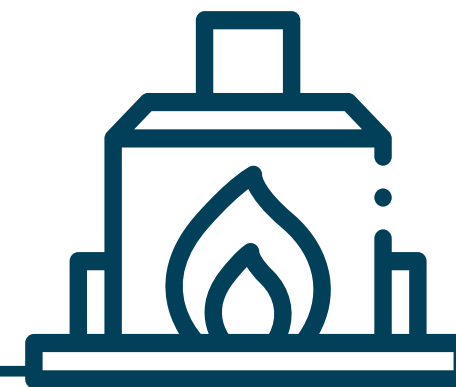
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1c - Incineración de residuos médicos



La incineración de residuos médicos se realiza para evitar al máximo los riesgos químicos, biológicos y físicos, así como reducir el volumen de los desechos (PNUMA, 2007). Actualmente se ha observado que muchos incineradores pequeños de hospitales con deficiencias en diseño, operación, equipamiento y vigilancia han sido fuentes potenciales de PCDD/PCDF, metales pesados, material particulado, gases ácidos, dióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Por otro lado, se ha observado que plantas de incineración de este tipo de residuos que aplican las MTD poseen un buen diseño, operación, mantenimiento y SCCA han logrado un desempeño deseable al liberar concentraciones de PCDD/PCDF por debajo de 0.1ng EQT-I/Nm³ con 11% O₂ (PNUMA, 2007).

Debido a los altos costos de inversión, operación, mantenimiento y vigilancia de las emisiones de los sistemas de incineración se han presentado alternativas como esterilización (autoclaves), tratamiento de microondas, hidrólisis alcalina y el tratamiento biológico principalmente porque estas técnicas no generan ni liberan sustancias del Anexo C, sin embargo, el paso más importante en la gestión de este tipo de desechos consiste en la separación desde la fuente (PNUMA, 2007).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberaciones de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 16).

Tabla 16. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1c Incineradores de residuos médicos

1c	Incineración de residuos médicos	PCDD/PCDF		PCB		HCB	
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada RM incinerados)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada RM incinerados)		Factores de emisión (µg/tonelada RM incinerados)	
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Residuo
1	Combustión no controlada tipo lote, sin SCCA ²⁷	40,000	200 ^a	ND	ND	ND	ND
2	Combustión controlada tipo lote, sin SCCA o con SCCA mínimos ²⁸	3,000	20 ^a	ND	ND	10,000	ND
3	Combustión controlada, tipo lote, buenos SCCA ²⁹	525	920 ^b	5	7.6 ^c	2,000	950 ^e
4	Combustión de alta tecnología, continua, controlada, SCCA sofisticados ³⁰	1	150 ^b	0.5	1.02 ^d	500	350 ^f

^a Se refiere solo a las cenizas de fondo que quedan en la cámara de combustión
^b Se refiere a la combinación de cenizas de la parte inferior más cenizas volantes
^c El factor de emisión lo componen 7 µg EQT de cenizas de fondo + 0.6 µg EQT de cenizas volantes
^d El factor de emisión lo componen 1 µg EQT de cenizas de fondo + 0.02 µg EQT de cenizas volantes
^e El factor de emisión lo componen 600 µg de cenizas de fondo + 350 µg de cenizas volantes
^f El factor de emisión lo componen 250 µg de cenizas de fondo + 100 µg de cenizas volantes

27 La clase 1 incluye incineradores muy pequeños y simples, de tipo caja pequeña, de funcionamiento intermitente (en los que la carga de residuos se enciende y se deja quemando), sin cámara de combustión secundaria, sin control de temperatura ni equipo de control de contaminación atmosférica.

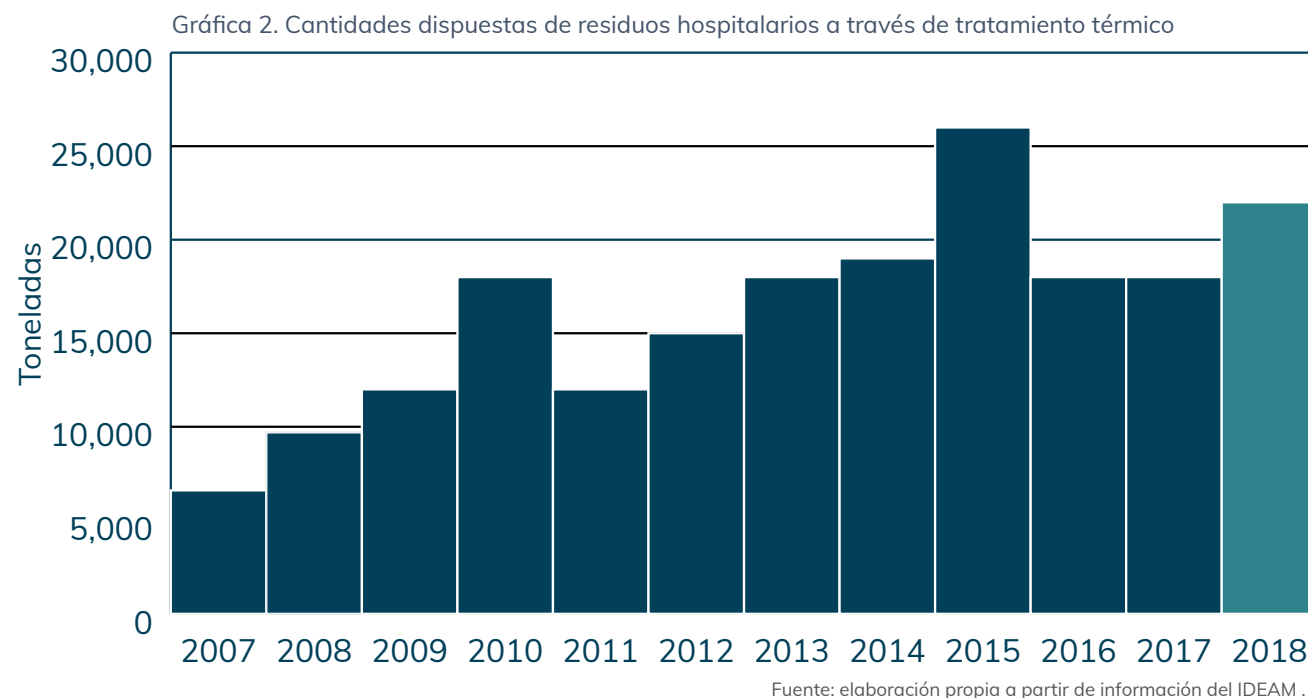
28 La clase 2 corresponde a todos los incineradores de residuos médicos con combustión controlada y una cámara de postcombustión, pero que también funcionan por lotes.

29 La clase 3 comprende las plantas controladas de alimentación por lotes, con buenos sistemas de CCA, p. ej., precipitadores electrostáticos (PES), o preferentemente, filtros de mangas.

30 La clase 4 comprende las plantas de incineración de residuos médicos muy sofisticadas, capaces de cumplir con una emisión a la atmósfera de 0,1 ng de EQT/Nm³ (con O₂ al 11%).

Situación en Colombia

Para el año 2018, de acuerdo a datos reportados por el IDEAM, el país generó 45,982 toneladas de residuos hospitalarios³¹, de los cuales 28,575 toneladas fueron manejadas a través de tratamiento térmico fuera del establecimiento que los produce (IDEAM, 2020). En la gráfica 2 se presentan las cantidades de residuos hospitalarios generadas durante el periodo 2007 a 2018 dispuestas a través del tratamiento térmico:



31 Bajo las corrientes de residuos Y1, Y3, A4010 y A4020

Clases seleccionadas y liberación 2018

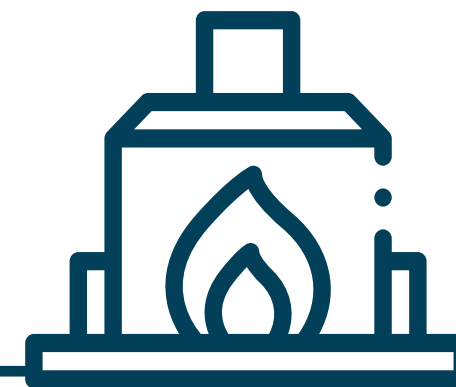
Debido a que los hornos de incineración de residuos peligrosos en la gran mayoría de los casos son los mismos que tratan residuos hospitalarios, la distribución de la cantidad en las clases se mantiene igual para este ítem ver pág. 36. La tabla 17 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 16.

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción Toneladas/ año	PCDD/PCDF			PCB			HCB		
				Liberación anual			Liberación anual			Liberación anual		
				Aire	Cenizas volantes	Cenizas de fondo	Aire	Cenizas volantes	Cenizas de fondo	Aire	Cenizas volantes	Cenizas de fondo
				g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año	g/año
1c Incineración de desechos												
		Incineración de residuos médicos										
	1	Combustión por lotes no controlada, sin SCCA	4.5	0.179	No aplica	0.001	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	2	Combustión por lotes controlada, sin o mínimo SCCA	9,351	28.054	No aplica	0.187	0.000	0.000	0.000	93.5	0.0	0.0
	3	Combustión por lotes controlada, buen SCCA	8,422	4.422	7.749	No aplica	0.042	0.059	0.005	16.8	5.1	2.9
	4	Alta tecnología continua, SCCA sofisticado	4,655	0.005	0.698	No aplica	0.002	0.002	0.000	2.3	1.2	0.5
Subtotal categoría				32.659	8.447	0.188	0.044	0.061	0.005	112.7	6.2	3.4

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1d - Incineración de la fracción ligera de desechos de fragmentación

Los residuos de fracción ligera de trituradoras se refieren a la recuperación de residuos a partir de la trituración de artículos grandes como vehículos, electrodomésticos y contenedores, entre otros. Los mecanismos de separación incluyen cribado, tamizado, y fraccionamiento. Adicionalmente, las diferencias de peso y las propiedades magnéticas permiten separar los materiales aprovechables, sin embargo, la fracción que no es aprovechable se quema para su utilización (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 18).

Tabla 18. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1d Incineradores de residuos de fracción ligera de trituradora

1d	Incineradores de residuos de fracción ligera de trituradora	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (μg EQR/Tonelada RFLT incinerados)	
Clase		Aire	Residuo
1	Combustión no controlada de tipo lote, sin SCCA ³²	1,000	ND
2	Combustión controlada tipo lote, sin SCCA o con SCCA mínimos ³³	50	ND
3	Combustión controlada, continua, de alta tecnología, con SCCA sofisticados ³⁴	1	150

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

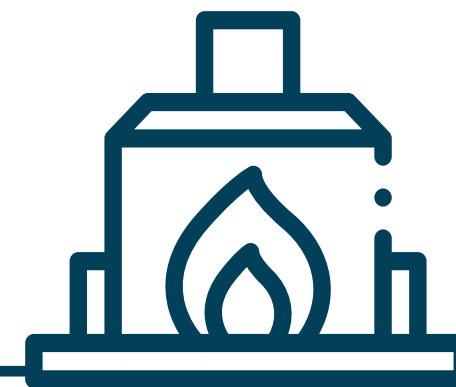
Los agregados ligeros se refieren a la fracción ligera que se obtiene de la fragmentación de vehículos, electrodomésticos, entre otros (PNUMA, 2007). En Colombia, la incineración de estos residuos no se lleva a cabo, debido a que en el país estos residuos tienden a ser aprovechados por la industria (ej., plástico, metales, vidrio, entre otros) y las sustancias peligrosas que puedan tener estos productos (ej., SAO, aceites, baterías, entre otros) se manejan con gestores con licencia ambiental.

³² La clase 1 comprende hornos muy simples de rejilla fija sin ningún control de combustión ni equipo de CCA. Hornos de alimentación discontinua sin ningún APCS también entran en la clase 1

³³ La clase 2 incluye todos los demás hornos que cuentan con algún tipo de tecnología de control de combustión, tales como aire bajo y/o sobre el fuego, alimentador con controles, lechos fluidizados, etc., incluyendo las instalaciones que tienen algún tipo de sistema de CCA, como un ESP PES, un filtro de mangas o esponja húmeda para eliminación de polvo. La clase 2 también se aplica a incineradores de RFLT con combustión controlada y equipo de APCS adecuados, que, sin embargo, siguen funcionando de modo discontinuo.

³⁴ La clase 3 comprende las plantas de incineración altamente sofisticadas, capaces de alcanzar un valor normativo de emisiones a la atmósfera equivalente a 0,1 ng de EQT/Nm³ (O2 al 11%).

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1e - Incineración de lodos de aguas residuales

El lodo cloacal o de depuración se produce a partir de todos los procesos de tratamiento de aguas residuales, independientemente del origen de las aguas residuales (UNEP, 2013). Este tipo de residuos se pueden eliminar por medio de diversas maneras, entre las cuales están: aplicación en tierras de cultivo después de pretratamiento, eliminación en paisaje, incineración, coeliminación con desechos urbanos y co-incineración. A pesar de que la incineración es utilizada en diferentes países, este proceso puede llevar a la producción de PCDD/PCDF (PNUMA, 2007).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 19).

Tabla 19. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1e Incineración de lodos de aguas residuales

1e	Incineración de lodos de aguas residuales	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de lodo de aguas residuales)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de lodo de aguas residuales)	Factores de emisión (µg/tonelada de lodo de aguas residuales)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Hornos más antiguos, con alimentación discontinua, sin SCCA o con muy pocos SCCA ³⁵	50	23	ND	4,700
2	Instalaciones actualizadas, de alimentación continua y controlada, con algunos SCCA ³⁶	4	0.5	ND	ND
3	Instalaciones de última generación, operación continua controlada, SCCA completos ³⁷	0.4	0.5	0.002	20

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

³⁵ La clase 1 comprende hornos más antiguos con funcionamiento discontinuo y sistemas de SCCA mínimos o nulos. Los incineradores de esta clase tienen un caudal de volumen de gas de combustión de unos 12.500 Nm³/Tonelada de lodos de depuradora quemados.

³⁶ La clase 2 comprende incineradores modernos, de combustión controlada y alimentación continua, equipados con sistemas de CCA.

³⁷ La clase 3 incluye instalaciones modernas de última generación, incineradores de alimentación continua de lecho fluidizado, con sistemas de SCCA optimizados capaces de cumplir consistentemente con límites de emisión equivalentes a 0.1 ng de EQT/Nm³ (O₂ al 11%).

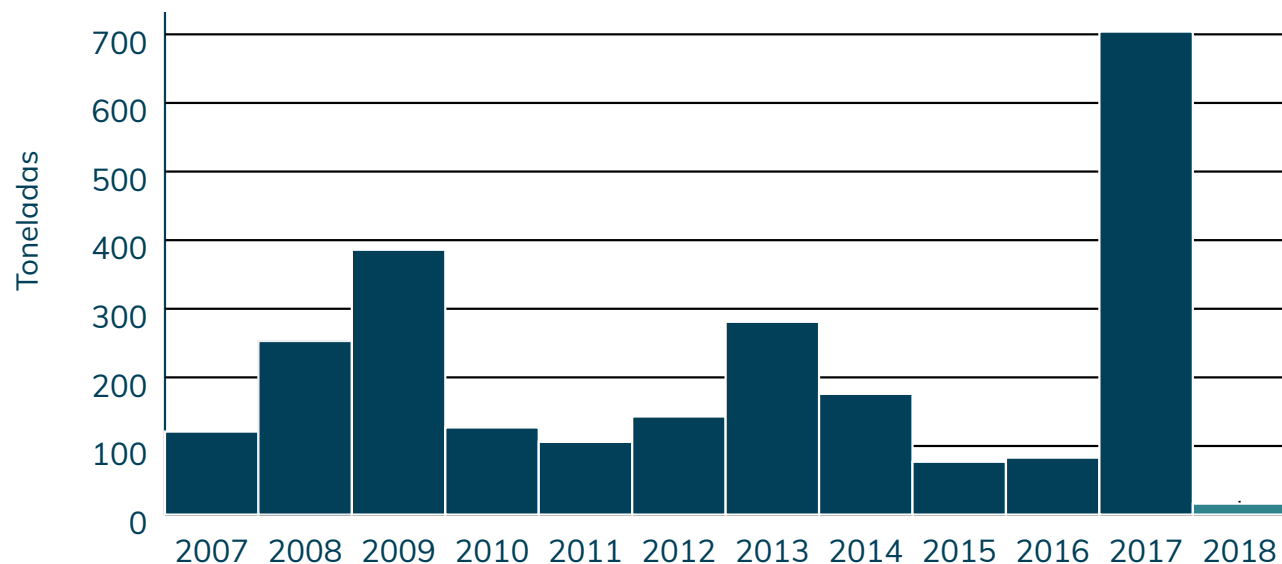
Situación en Colombia

De acuerdo con el Decreto 1287 de 2014 “por medio del cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”, solo es permitido el uso de biosólido en aplicaciones agrícolas para aquellos que cumplen concentraciones límite de metales y microbiológicos. Para aquellos donde no se cumplen los límites, el lodo se puede utilizar en la operación de rellenos sanitarios como cobertura diaria, en la disposición conjunta con residuos sólidos municipales en rellenos sanitario y de manera independiente en sitios autorizados y en procesos de valorización energética (Minvivienda, 2014).

Actualmente la PTAR El Salitre³⁸ ubicada en la ciudad de Bogotá produce aproximadamente 149 toneladas de lodo diario, el cual es sometido a un proceso de deshidratación permitiendo el transporte seguro, este lodo es llevado a un predio ubicado en la localidad de Bosa para ser usado como material de cobertura final en zonas en las que se dispuso material sobrante de excavación de ciertas obras de alcantarillado (EAAB, 2010); este procedimiento es igualmente utilizado en varias zonas del país cumpliendo lo anteriormente enunciado. Igualmente, en consultas realizadas directamente a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá informaron que nunca han realizado la incineración de este lodo.

Para el año 2018, de acuerdo con datos reportados por el IDEAM el país generó 4,491 toneladas de lodos considerados peligrosos³⁹, de los cuales 16.7 toneladas fueron manejadas a través de tratamiento térmico, ya sea dentro o fuera del establecimiento que los produce (IDEAM, 2020). En la gráfica 3 se presentan las cantidades de lodos peligrosos durante el periodo 2007 a 2018 dispuestas a través del tratamiento térmico.

Gráfica 3. Cantidades dispuestas de lodos peligrosos a través de tratamiento térmico



38 Planta de Tratamiento Primario Químicamente Asistido, tratamiento de lodos: espesamiento, digestión anaerobia mesófila y deshidratación, población atendida 2.850.200 habitantes asentados en la cuenca Salitre-Torca, área de la cuenca de alimentación, 13.815 hectáreas sin incluir cerros orientales, caudal medio de tratamiento 4 m³/s proyecto en ampliación a 7 m³/s.

39 Bajo las corrientes de residuos A1050, A1070, A1120, A2020, A3030, A3070 y A3090.



Clases seleccionadas y liberación 2018

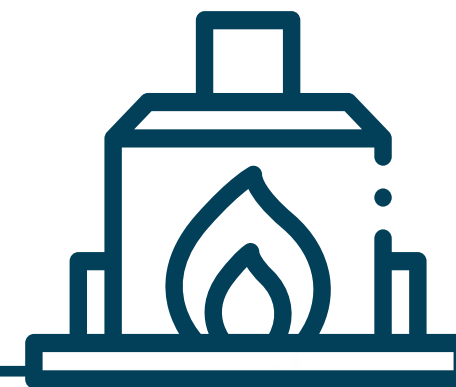
La tabla 20 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales en la categoría 1e para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 19.

Tabla 20. Liberación de la categoría incineración de lodos de aguas residuales

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF			PCB	HCB
				Liberación anual			Liberación anual	Liberación anual
1e Incineración de desechos			Toneladas/ año	Aire	Cenizas volantes	Cenizas de fondo	Aire	Aire
Incineración de lodos de depuradora				g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año
	1	Hornos antiguos, por lotes, sin/escaso SCCA	0	0	0	0	0	0
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	3	Estado del arte, SSCA completo	9.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Subtotal categoría				0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1f - Incineración de desechos de madera y desechos de biomasa

Las maderas contaminadas y otros tipos de biomasa pueden ser resultado de industrias de transformación de la madera, construcción y demolición, estos residuos pueden contener pinturas, revestimientos, plaguicidas, conservantes, agentes anti suciedad, entre otros, los cuales cuando se incineran pueden ser fuentes potenciales de PCDD/PCDF (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 21).

Tabla 21. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1f Incineradores de Desechos de Madera y Desechos de Biomasa

1f	Incineradores de desechos de madera y biomasa	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada biomasa quemada)	
Clase		Aire	Residuo (ceniza volante solamente)
1	Hornos más antiguos, con alimentación discontinua, sin SCCA ⁴⁰	100	1,000
2	Instalaciones actualizadas, de alimentación continua y controlada, con algunos SCCA ⁴¹	10	10.0
3	Instalaciones de última generación, operación continua controlada, SCCA completos ⁴²	1.0	0.2

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

40 La clase 1 comprende los hornos más antiguos, con alimentación discontinua y sin sistemas de SCCA.

41 La clase 2 comprende instalaciones actualizadas, controladas, de alimentación continua, y equipadas con algún sistema de SCCA.

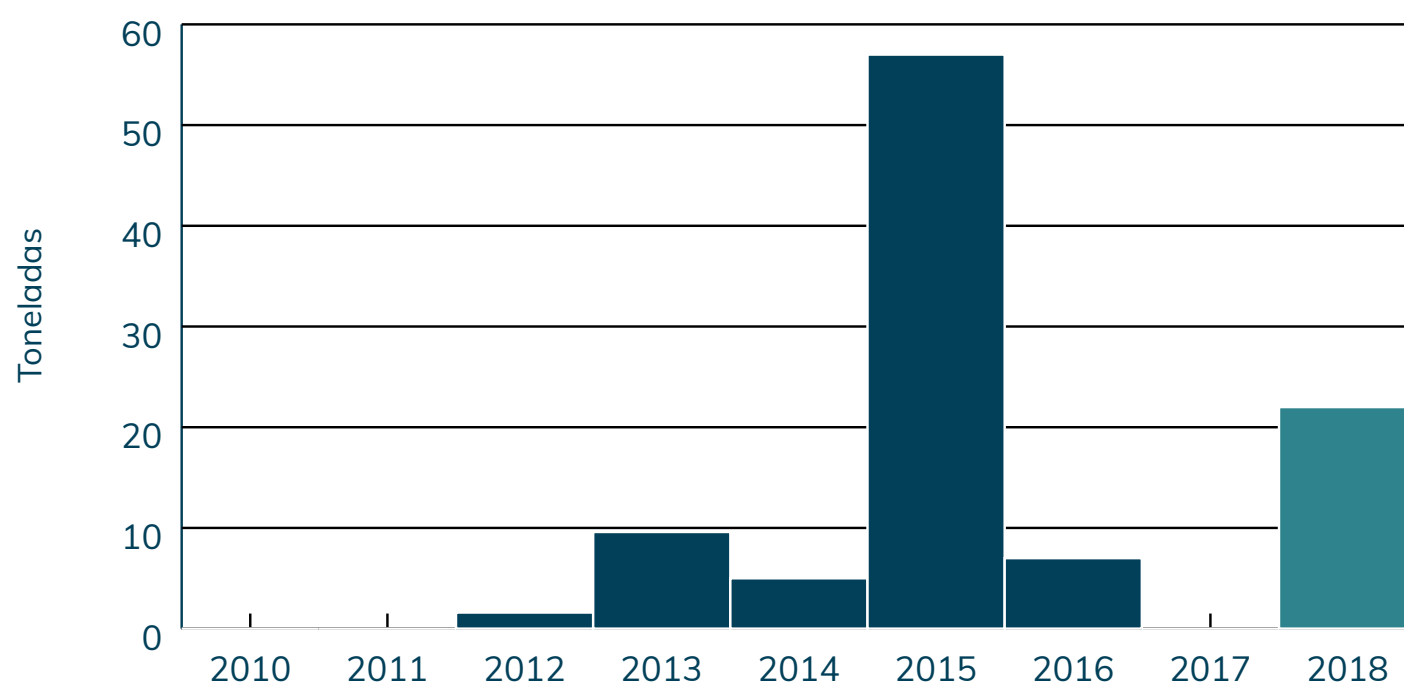
42 La clase 3 incluye instalaciones de última generación, de alimentación continua controlada, equipadas con sistemas completos de SCCA capaces de satisfacer límites de emisión equivalentes a 0,1 ng EQT-I/Nm³ (O₂ al 11%).

Situación en Colombia

De acuerdo con consultas realizadas al ICA, en el país se tienen tres medidas sanitarias en puertos, aeropuertos y/o pasos fronterizos, cuando las mercancías que ingresan al país no cumplen con los requerimientos fitosanitarios, las medidas son: tratamiento con plaguicidas en caso que la carga llegue infectada por alguna plaga, destrucción preferiblemente con la incineración de la carga o reembarque evitando el ingreso de la carga al país. Estadísticamente, se encontró que cuando una carga no logra superar los estándares nacionales para el ingreso, los importadores prefieren reembarcarla buscando comercialización en otros países y evitando los costos que pueda llevar el tratamiento o la incineración.

En cuanto a otras actividades de incineración de madera y biomásas no se encontró información adicional. En la gráfica 4 se relacionan las cantidades enviadas a incineración durante el periodo 2011 a 2018.

Gráfica 4. Cantidades incineradas en el país por no cumplir requerimientos fitosanitarios



Fuente: elaboración propia a partir de información del ICA.



Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 22 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 21.

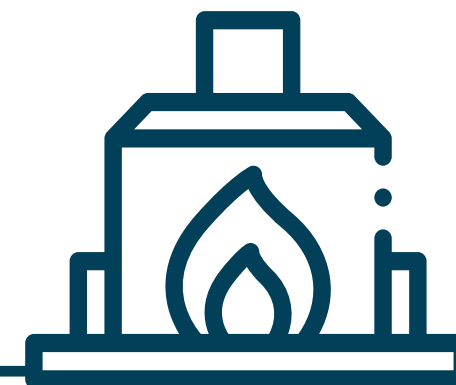
Tabla 22. Liberación de la categoría incineración de desechos de madera

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		
				Liberación anual		
1f Incineración de desechos				Aire	Cenizas volantes	Cenizas de fondo
Incineración de desechos de madera y desechos de biomasa				g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año
	1	Antiguos hornos, por lotes, sin/escaso SCCA		0	0	0
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	21.9	0.000	0.000	0.000
	3	Estado del arte, SSCA completo		0	0	0
Subtotal categoría				0.000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 1 - Incineración de desechos

Categoría 1g - Combustión de mataderos y/o plantas de sacrificio

Los restos de animales que se generan en las plantas de beneficio animal se acumulan en grandes cantidades y pueden ser causales de brotes de enfermedades tanto para animales como para los humanos. Para reducir su riesgo, estos residuos son destruidos por incineración o, en algunos casos, se aplican procedimientos para aprovechar grasas o la combinación de ambos (PNUMA, 2007).

La incineración de restos de animales consiste en ingresarlos en un horno el cual reduce el residuo a cenizas, sin embargo, debido a la presencia de materiales clorados, precursores y cloro en las carcasas o en algunos plásticos (ej. PVC), los cuales pueden ser fuentes de formación y liberación de PCDD/PCDF, PCB y HCB (PNUMA, 2007).

El aprovechamiento de grasas consiste en triturar y pulverizar los subproductos, sometiéndolos posteriormente a tratamiento térmico como la hidrólisis a alta presión y alta temperatura, proceso de biogás por hidrólisis a alta presión, y producción y gasificación de biodiésel, en cuanto a la grasa fundida (sebo) se separa del material sólido por centrifugación o prensado, finalmente, la fracción sólida se muele, convirtiéndose en harinas de carne y hueso (PNUMA, 2007).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 23).

Tabla 23. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 1g incineradores de residuos de animales

1g	Incineradores de carcasas de animales	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada residuos de animales incinerados)	
Clase		Aire	Residuo (ceniza volante solamente)
1	Hornas más antiguos, con alimentación discontinua, sin SCCA ⁴³	500	ND
2	Instalaciones actualizadas, de funcionamiento controlado continuo, con algunos SCCA ⁴⁴	50	ND
3	Instalaciones modernas de última generación, de operación controlada continua, con SCCA completos ⁴⁵	5	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

⁴³ La clase 1 comprende hornos más antiguos, de alimentación discontinua, sin ningún sistema de SCCA.

⁴⁴ La clase 2 comprende instalaciones actualizadas, controladas, de alimentación continua, y equipadas con algún sistema de SCCA.

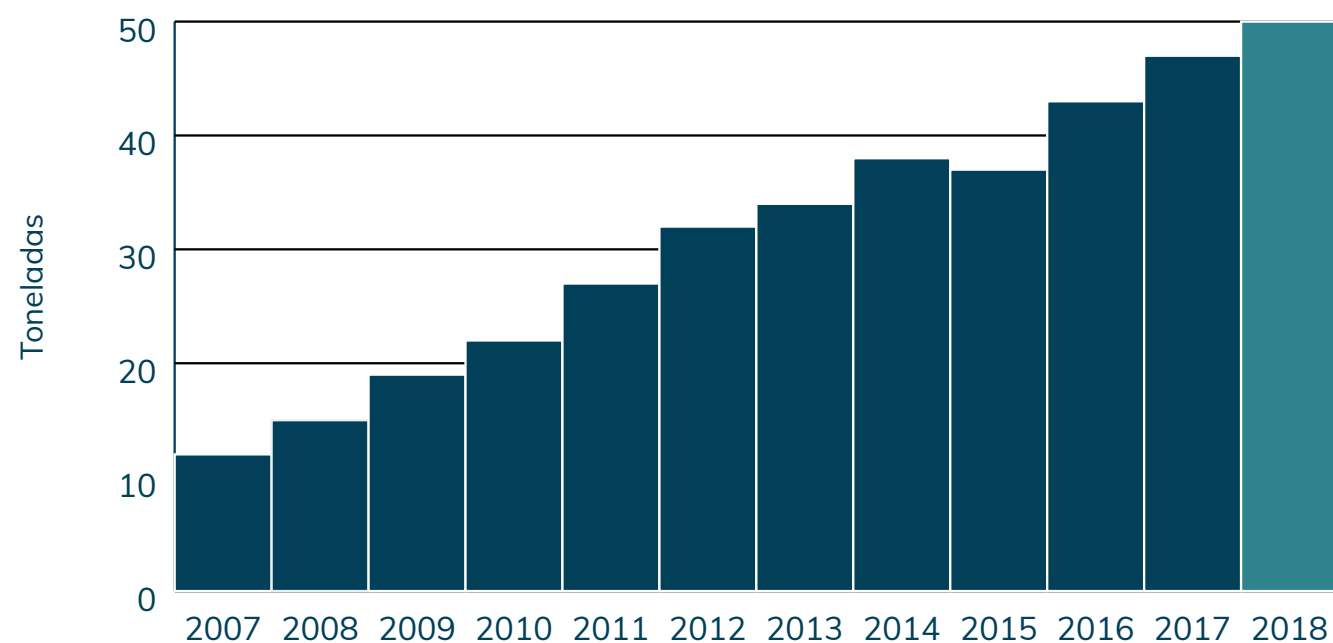
⁴⁵ La clase 3 incluye instalaciones de última generación, de alimentación continua controlada, equipadas con sistemas completos de SCCA capaces de satisfacer límites de emisión equivalentes a $0.1 \text{ ng EQT-I/Nm}^3$ (O_2 al 11%).

Situación en Colombia

Actualmente esta es una práctica aceptada para el manejo de estos residuos, sin embargo, de acuerdo con consultas realizadas al INVIMA, a la fecha no se reporta el funcionamiento de hornos incineradores en ningún establecimiento de plantas de beneficio que se encuentren vigilados. Si bien en épocas anteriores se contaba con este servicio, en la actualidad no se encuentran en funcionamiento y la actividad es tercerizada.

Los datos de incineración de residuos de animales de mataderos y/o plantas de beneficio enviados por los gestores y empresas dedicadas a la cremación de restos de animales actividad que ha venido en aumento se presentan en la gráfica 5 desde 2003 a 2018.

Gráfica 5. Cantidades dispuestas de residuos y cremación de animales incineradas



Fuente: elaboración propia a partir de información de empresas gestoras de este tipo de residuos.



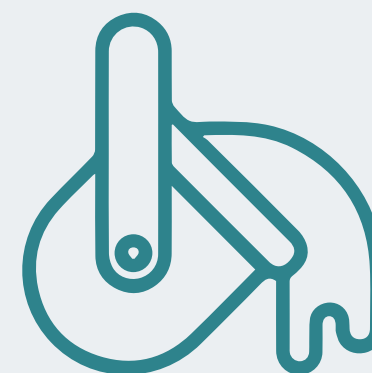
Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a las empresas que prestan el servicio de cremación de mascotas de acuerdo con la descripción de los hornos se ubican en la segunda clase. La tabla 24 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 23.

Tabla 24. Liberación de la categoría incineración de restos de animales

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF
				Liberación anual
1g Incineración de desechos			Toneladas/año	Aire
Combustión de carcasas animales				g EQT/año
	1	Hornos antiguos, por lotes, sin/escaso SCCA		0.000
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	50.4	0.003
	3	Estado del arte, SSCA completo		0.000
Subtotal categoría				0.003

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

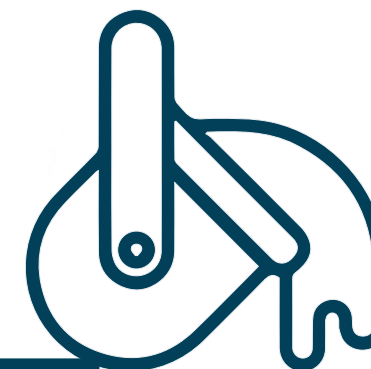


4.2 Grupo 2 - Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

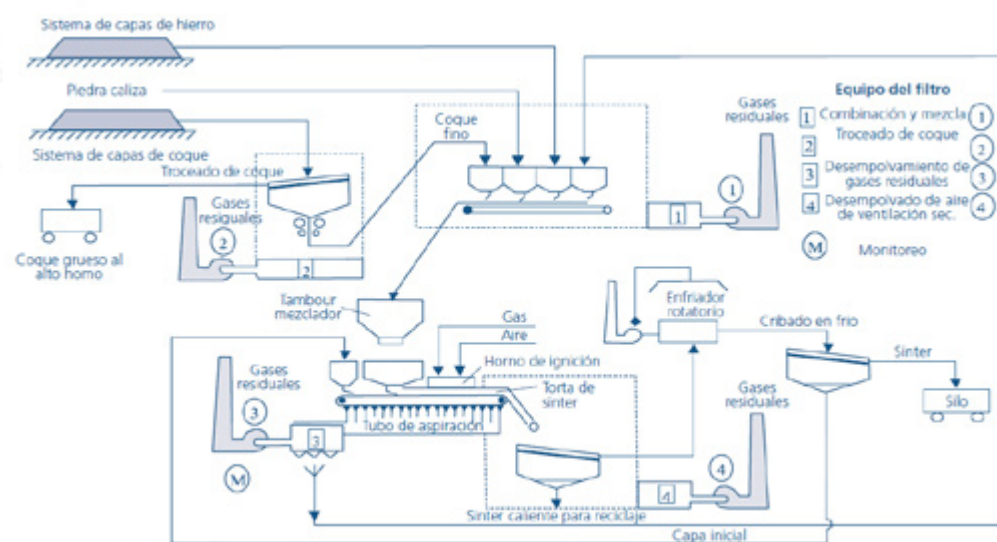
Categoría 2a - Sinterización de mineral de hierro



Las plantas de sinterización de hierro se utilizan con frecuencia en la fabricación de hierro y acero en acerías integradas. El sinterizado del hierro consiste en un pretratamiento realizado por la industria siderúrgica en la producción del hierro en el cual se aglomeran por combustión partículas finas de hierro y, en algunas plantas, desechos de óxido de hierro secundario (PNUMA, 2019). El proceso de sinterización consiste en calentar el mineral de hierro fino con fundente y finos de coque o carbón para producir una masa semifundida que se solidifica en piezas porosas de sinterizado con las características que pueden servir de alimento al alto horno (PNUMA, 2019).

Las PCDD/PCDF y PCB no intencional se forman principalmente por síntesis de novo, en las zonas superiores del lecho de sinterizado poco después del encendido, haciendo que estos compuestos se condensen en la carga subyacente, que es más fría, a medida que la capa de sinterizado avanza por la banda hacia el punto de penetración de quemado, así mismo, el proceso de volatilización y condensación continúa hasta que la temperatura de la carga más fría se eleva lo suficiente como para evitar la condensación y la salida de PCDD/PCDF con los gases de combustión, proceso que parece incrementarse rápidamente, y llegar al máximo justo antes del punto de penetración y disminuye de manera rápida al mínimo (PNUMA, 2019). La ilustración 4 presenta el funcionamiento de una cadena de sinterizado.

Ilustración 4. Proceso de producción de sinter de hierro



Fuente: United Kingdom Environment Agency, 2001

Fuente: (nited Kingdom Environment Agency, 2001.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 25).



Tabla 25. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2 a Sinterización de mineral de hierro.

2 a	Sinterización de Mineral de Hierro	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada sinterizado producido)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada sinterizado producido)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada sinterizado producido)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada sinterizado producido)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire	Aire
1	Alto reciclado de residuos incluyendo materiales contaminados con hidrocarburo, sin sistemas de control de contaminación atmosférica, o sistemas mínimos ⁴⁶	20	0.003	1	ND	ND
2	Escasa utilización de residuos, planta bien controlada ⁴⁷	5	1	0.2	500	1,000
3	Reducción de emisiones de alta tecnología ⁴⁸	0.3	2	0.05	150	ND

*Residuos: estos factores de emisión se basan en un supuesto de 0.05 kg polvo/t sinterizado liberado (o sea, no reciclado internamente)

Fuente: elaborado a partir Toolkit

46 La clase 1 comprende plantas con alta utilización de residuos, incluyendo aceites de corte u otros contaminantes clorados, y control limitado de los procesos y sistemas de control de la contaminación del aire ausentes o limitados.

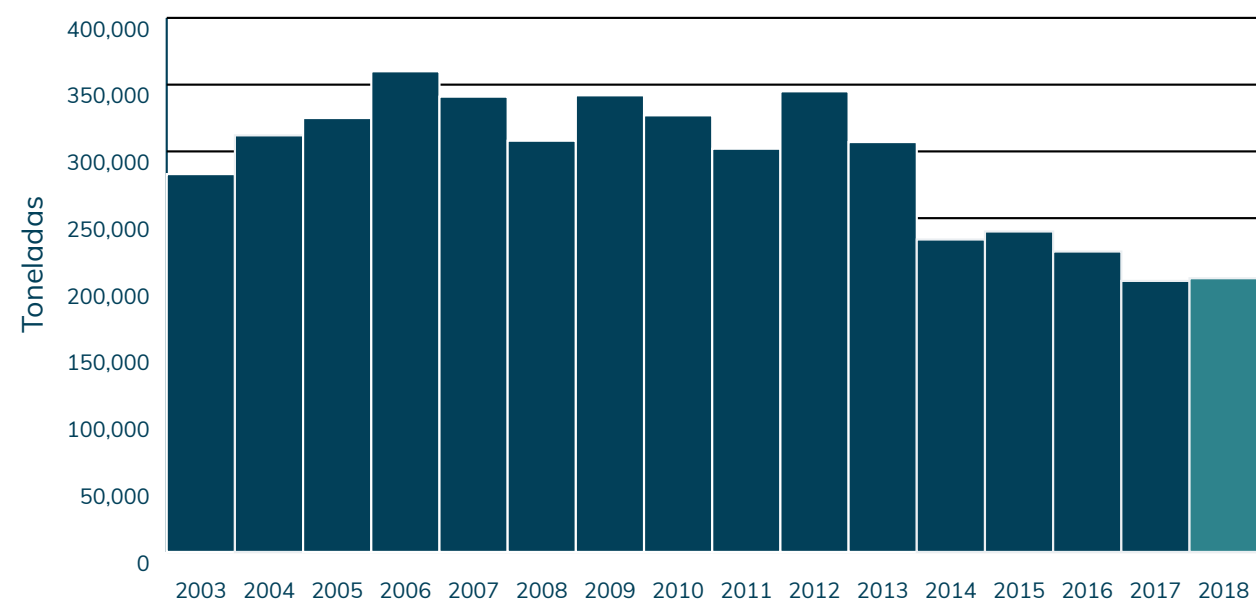
47 La clase 2 se aplica a aquellas plantas que muestran un buen control de la combustión y que utilizan pocos residuos, en particular aceites de corte.

48 La clase 3 debe utilizarse para aquellas plantas que hayan adoptado medidas integrales para controlar los PCDD/PCDF y cumplir con las Directrices sobre MTD y MPA.

Situación en Colombia

En Colombia solo existe una planta de producción de sinter, la cual está ubicada en el departamento de Boyacá. La gráfica 6 presenta los datos estimados de sinter desde 2003 a 2018 (Worldsteel association, 2018).

Gráfica 6. Producción nacional estimada de sinter



Fuente: elaboración propia a partir de información del Worldsteel Association e información secundaria.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Con base al trabajo de campo, revisión de fuentes secundarias y reuniones llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto, se observa que la empresa siderúrgica que cuenta con planta de sinterización se clasifica como clase 2, ya que no ha implementado todas las MTD y MPA descritas en el Convenio de Estocolmo, como recirculación de gases generados, caracterización de los materiales de alimentación a la cadena de sinterizado y adición de elementos nitrogenados al proceso. La tabla 26 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 25.

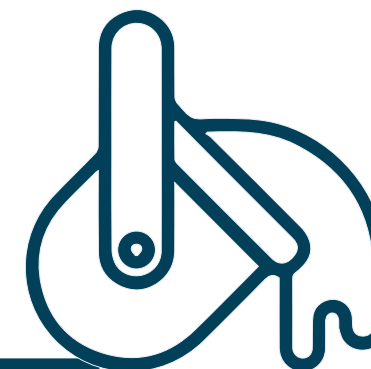
Tabla 26. Liberación de la categoría producción de mineral sinterizado

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/ año	Aire	Residuo	Aire	Aire	Aire
a	Sinterización de mineral de hierro			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
	1	Alto reciclado de desechos, incluyendo materiales contaminados con aceite, sin SCCA		0	0	0	0	0
	2	Escaso uso de desechos, planta bien controlada	205,000	1.125	0.225	0.041	102.5	205.0
	3	Alta tecnología, reducción de emisiones		0	0	0	0	0
Subtotal categoría				1.125	0.225	0.041	102.5	205.0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2b - Producción de coque

El coque es un combustible que se obtiene a partir de la destilación destructiva, o pirólisis, de determinados carbones minerales, como la hulla o carbones bituminosos que poseen propiedades coquizables (Carbones, 2019).

El proceso de coquización consiste en poner carbón catalogado metalúrgico en hornos cerrados a altas temperaturas, en algunos casos se añade calcita para mejorar su combustión, durante el proceso se generan gases que son muy útiles industrialmente; el sólido resultante es el carbón de coque, que es liviano y poroso (Carbones, 2019), el cual se utiliza en diferentes procesos industriales como en la industria producción del acero, por su potencial térmico y reducciones en la producción de material particulado en comparación con otros carbones.

La producción de COP no intencionales se puede dar en el enfriamiento del coque principalmente por la presencia de fracciones cloradas en el carbón. Los cuales pueden estar presentes en forma de cloruros minerales asociados a los estratos de aguas salinas (Cortes, 2009).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 27).

Tabla 27. Factores de emisión de COP no intencionales para las categorías de fuentes 2b Producción de coque

2b	Producción de coque	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada coque producido)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada coque producido)	Factores de emisión (µg /tonelada coque producido)	Factores de emisión (µg/tonelada coque producido)
Clase		Aire	Agua	Aire	Aire	Aire
1	Sin limpieza de gas ⁴⁹	3	0.06*	0.2		
2	SCCA con postcombustión/eliminador de polvo ⁵⁰	0.03	0.06*	0.002	1	1

*Use factor de 0.006 µg EQT/t si se aplica tratamiento con agua.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

49 La clase 1 se aplica a instalaciones sin ningún dispositivo de eliminación de polvo.

50 La clase 2 se debe usar para las plantas que utilizan tecnología como equipos de post-combustión y de eliminación de polvo.

Situación en Colombia

Actualmente, Colombia es uno de los mayores exportadores de carbón en el mundo y el principal productor en Latinoamérica, de hecho, se estima que sus reservas están estimadas en los 16,569 millones de toneladas, de las cuales el 84% es carbón térmico y el 14% es metalúrgico o coquizable (ANM, 2018).

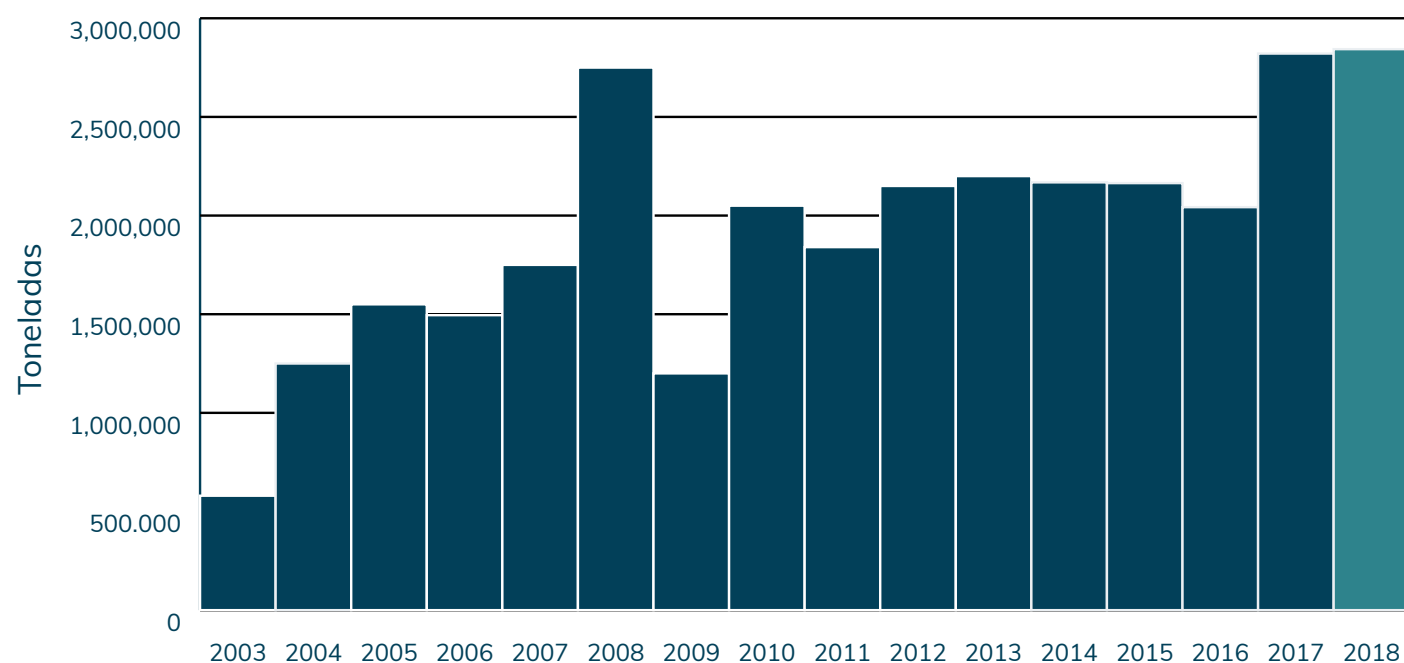
Debido a que el carbón metalúrgico colombiano posee un alto poder calorífico y presenta bajos contenidos de azufre, cenizas y humedad, es caracterizado como uno de los de mejor calidad (ANM, 2018).

Los yacimientos conocidos de carbón metalúrgico se ubican en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Norte de Santander. Así mismo, allí se ubican los hornos de producción de coque. Se estima que en el país existen alrededor de 10,000 hornos (UPME, 2012). En cuanto a los tipos de hornos que se encuentran en el país, se tienen:

- **Hornos de colmena:** los cuales se caracterizan por tener una cámara semiesférica con una bóveda, generalmente tienen un diámetro interno que va desde los 2.5 a 3 metros y una altura entre los 3 a 4 metros (UPME, 2012). Se estima que en este tipo de hornos se produce el 80% del total nacional.
- **Hornos de solera:** son de forma semicilíndrica y de base rectangular. Se caracterizan por tener en la parte interna de cada muro unos ductos los cuales ligan con el piso o solera. Este tipo de horno hacen que los gases generados se inyecten a la combustión favoreciendo los tiempos de coquización entre 24 a 48 horas (UPME, 2012). Se estima que en este tipo de hornos se produce el 20% del total nacional.
- **Hornos verticales de recuperación de subproductos:** este tipo de hornos son los más utilizados en el mundo para producción de coque de buena calidad. Entre los principales problemas se encuentran el alto costo de la tecnología, no puede apagarse o trabajar a bajas temperaturas. Este tipo de horno está constituido por una batería de hornos verticales separados por una cámara de combustión y una sección donde se separa el gas de coque y recuperan los compuestos aromáticos (UPME, 2012). Actualmente muy pocos hornos en el país realizan este proceso.

La producción nacional de coque ha ido en aumento (ver gráfica 7). Para el año 2018, tan solo el 11% de la producción nacional fue consumido localmente, en especial, por la industria siderúrgica; el otro 89% fue exportado a Brasil, México, Islas Malvinas, India, entre otros (UPME, 2018). En la gráfica 7, se presentan los datos de producción nacional de coque a partir de los boletines estadísticos de Minas y Energía de la UPME desde 2003 a 2018.

Gráfica 7. Producción nacional de coque



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con visitas realizadas en diferentes hornos de producción en las zonas ya enunciadas, se encuentra que el primer sistema de control ambiental implementado dentro del proceso de coquización es el lavado del carbón, con lo cual reducen el contenido de cenizas y azufre del carbón. Dicha medida tiene un efecto directo en la reducción de las emisiones de material particulado en el proceso (CAIA, 2019).

Adicionalmente, en el país desde el año 2001 las empresas productoras de coque comenzaron un proceso de reconversión tecnológica que consistió en la construcción de los ductos, cámaras de poscombustión y chimeneas, de hecho información suministrada por FENALCARBON y ASOCOQUE, muestra que todos los hornos que operan en el país cumplen con estas condiciones (CAIA, 2019).

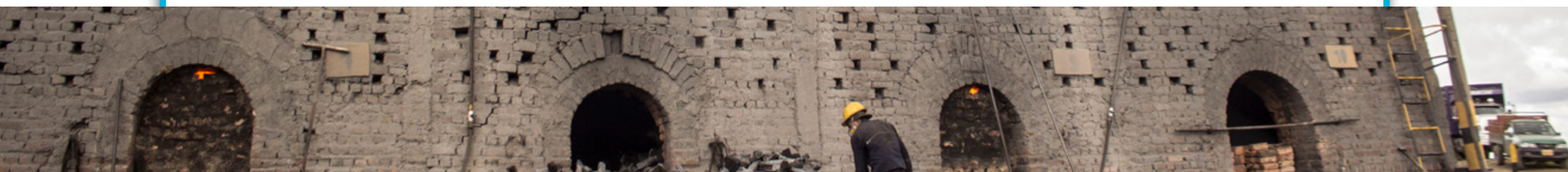
En el caso de los hornos tipo colmena que operan en el país, están configurados en baterías de hasta 40 hornos conectados a cada cámara de poscombustión en los cuales el tiempo de retención de los gases de combustión es de más o menos 6 segundos (CAIA, 2019). En los hornos tipo solera, la cámara de poscombustión se ubica en la parte inferior, antes de la chimenea, el tiempo de retención de gases es mayor o igual a 5 segundos, en ambos casos la temperatura en las cámaras de poscombustión es superior a los 1100°C, y en el ducto de la chimenea cercanos a los 900°C, lo cual sumado a los tiempos de retención (≥ 5 segundos) ofrece condiciones que favorecen la destrucción de las dioxinas y furanos que eventualmente se hubiesen podido formar en el proceso (CAIA, 2019) ver ANEXO 6.

Con base en el trabajo de campo, revisión de fuentes secundarias y reuniones llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto se asume la clase 2 para la producción nacional (UPME, 2018). La tabla 28 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 27.

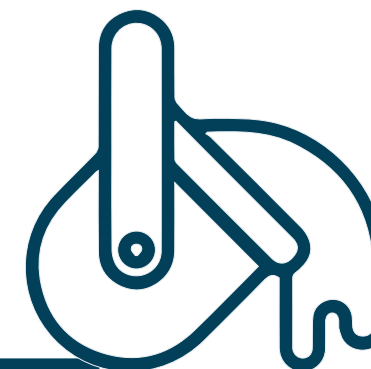
Tabla 28. Liberación de la categoría producción de coque

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas /año	Aire	Agua	Aire	Aire	Aire
2b		Producción de coque		g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
	1	Sin limpieza de gases		0	0	0	0	0
	2	SSCA con postcombustión/remoción de polvo	2,843,400	0.085	0.171	0.006	2.843	2.843
Subtotal categoría				0.085	0.171	0.006	2.843	2.843

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2c - Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones

Plantas de producción de hierro y acero

El acero se puede producir por medio de dos vías:

- **Acero primario:** se produce por medio de altos hornos los cuales se alimentan con mineral hierro procedente de las plantas de sinterización y coque (PNUMA, 2019). Estos no utilizan chatarra.
- **Acero secundario:** se produce por medio de la fundición directa de chatarra ferrosa en hornos de arco eléctrico, estos funden y refinan una carga metálica de chatarra de acero para producir aceros al carbón, aleados e inoxidable en acerías no integradas. En cuanto a los materiales de alimentación del horno, se encuentra chatarra de vehículos triturados y virutas de metal o hierro de reducción directa (PNUMA, 2019).

Las principales liberaciones de PCDD/PCDF se han encontrado en la fabricación de acero secundario en hornos de arco eléctrico, principalmente por las condiciones de la chatarra que ingresa a estos hornos, la cual puede contener altas cantidades de cloro presentes en aceites de corte, plásticos, cauchos, entre otros (PNUMA, 2019). A su vez, se ha observado que el precalentamiento de chatarra puede generar mayores emisiones de compuestos aromáticos organohalogenados (PNUMA, 2019).

Entre las medidas que recomienda el Convenio para reducir la producción de COP no intencionales en la producción secundaria de acero, están:

- **Calidad de la materia prima:** en la chatarra suelen encontrarse contaminantes como petróleo, plásticos y otros hidrocarburos, evitar el ingreso de este tipo de sustancias puede ayudar a disminuir las emisiones considerablemente (PNUMA, 2019).
- **Operación de horno:** en este aspecto se puede reducir el tiempo de apertura del techo para la carga, reducir la infiltración de aire en el horno y evitar o disminuir los retrasos de operación (PNUMA, 2019).
- **Diseño del sistema de acondicionamiento de gases residuales:** consiste en tener un sistema bien dimensionado, donde se maximice la mezcla de gases residuales, permita un enfriamiento rápido de gases residuales por debajo de 200°C en el cual se hagan periódicamente la ejecución de buenas prácticas de operación y mantenimiento (PNUMA, 2019).
- **Sistema de monitoreo continuo de parámetros:** un monitoreo continuo de parámetros pensado para optimizar el funcionamiento del sistema de acondicionamiento de gases residuales reduce la formación de los contaminantes por el proceso de síntesis de novo (PNUMA, 2019).
- **Medidas secundarias de emisiones:** la recolección de polvo de gases residuales, recolección de polvo mediante filtros de tela, sistemas y post-combustión externa con enfriamiento rápido del agua y la inyección de absorbente bien operados y con sus respectivos mantenimientos pueden llevar a la reducción significativa de la liberación del contaminante (PNUMA, 2019).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 29).

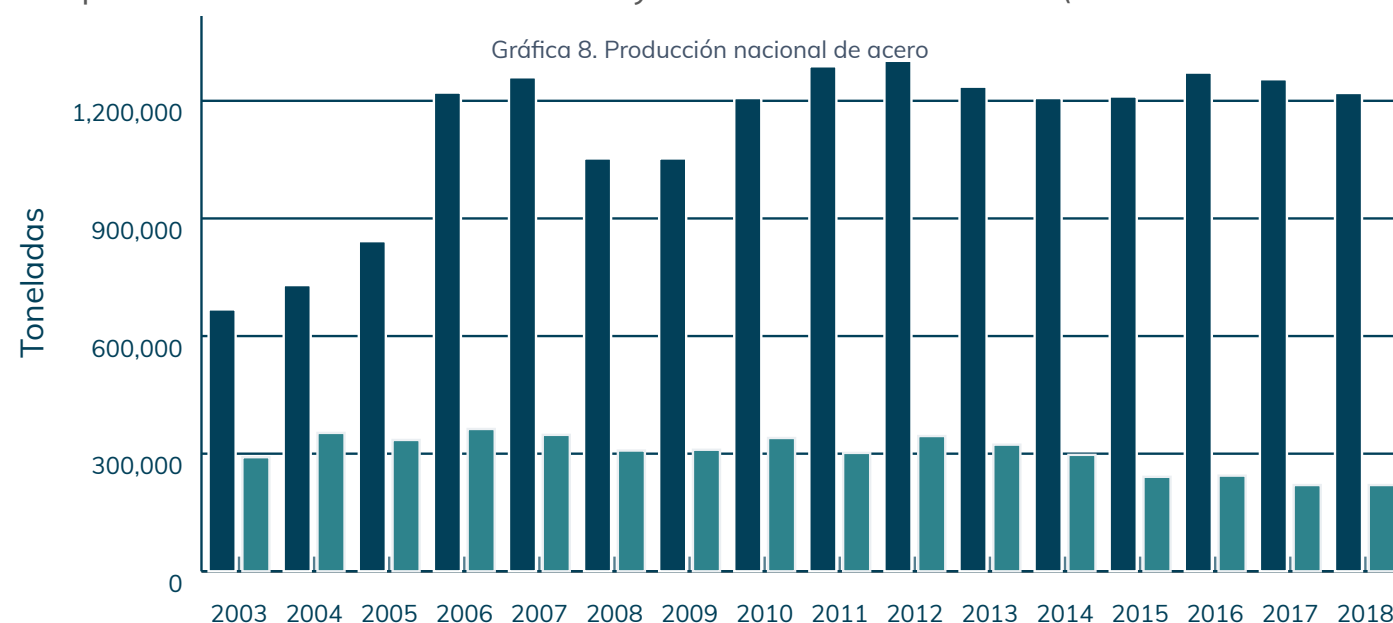
Tabla 29. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de fabricación de hierro y acero

2c		Plantas de producción de hierro y acero	PCDD/PCDF		PCB		HCB	PeCB
Clase			Factores de emisión (µg EQT/tonelada acero o hierro producida)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada acero o hierro producida)		Factores de emisión (µg/tonelada acero o hierro producida)	Factores de emisión (µg/tonelada acero o hierro producida)
Plantas de hierro y acero			Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Chatarra sucia (aceites de corte, contaminación general), precalentamiento de chatarra, controles limitados ⁵¹		10	15	ND	ND	ND	ND
2	Chatarra limpia/hierro virgen o chatarra sucia, postcombustión y filtro de tela ⁵²		3	15	0.2	ND	2,000	1,200
3	Chatarra limpia/hierro virgen o chatarra sucia, HAE equipado con SCCA diseñado para bajas emisiones de PCDD/PCDF, hornos básicos de oxígeno ⁵³		0.1	0.1	0.001	0.1	2	ND
4	Altos hornos con SCCA ⁵⁴		0.01	ND	0.001	ND	1	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

En Colombia actualmente existen cinco grandes empresas que producen acero de las cuales una posee producción primaria y las restantes cuatro producen acero secundario, se estima que en el país existe una capacidad instalada para producir 2.4 millones de toneladas (ANDI, 2017). Las cuales se ubican en los departamentos de Boyacá, Caldas y Valle del Cauca, dedicadas a la producción de alambrones, barras y perfiles (Infoacero, 2017). La gráfica 8 presenta los datos de producción de acero en alto horno y secundario 2003 a 2018 (Worldsteel Association, 2018).



Fuente: elaboración propia a partir de información de World Steel Association.

51 La clase 1 comprende todos los procesos de fabricación de hierro y acero (tales como arco eléctrico y hornos abiertos), excepto los hornos de oxígeno básicos y altos hornos, que usan chatarra sucia que contiene aceites de corte o plantas de materiales y plástico con precalentamiento de chatarra y controles relativamente pobres.

52 La clase 2 comprenden todos los procesos de fabricación de hierro y acero (como hornos de arco eléctrico y hornos de hogar abierto), excepto hornos de oxígeno básicos altos hornos, que usan chatarra sucia o limpia o hierro virgen, que se están provistos de algunos equipos de postcombustión y filtros de tela para limpieza de gas.

53 La clase 3 comprende hornos de arco eléctrico que utilizan chatarra sucia o limpio hierro virgen y limpieza eficiente con combustión secundaria y filtros de tela (a veces con enfriamiento rápido del agua) y hornos básicos de oxígeno.

54 La clase 4 se corresponde a altos hornos con sistemas de control de contaminación atmosférica.

Clases seleccionadas y liberación 2018

Con base en el trabajo de campo, revisión de expedientes de emisiones de autoridades ambientales⁵⁵ y reuniones llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto se encontró que existe una empresa que posee un alto horno cuya producción se clasifica en clase 4; por otro lado, aquellas empresas que producen acero secundario poseen hornos de arco eléctrico, realizan fragmentación parcial de chatarra liviana y poseen sistemas de control de emisiones cuyo fin es retener los COP no intencionales clase 2, por otro lado, solo una de las empresa posee un sistema hot quenching tower, por medio del cual la temperatura del gas de salida desciende rápidamente evitando la formación de COP no intencionales clase 3. La tabla 30 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 29.

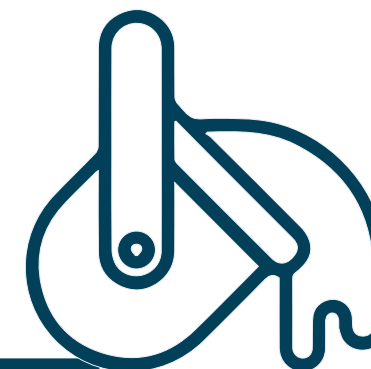
⁵⁵ Actualmente la normativa ambiental colombiana establece estándares de emisión de PCDD/PCDF cuando el proceso de fundición de chatarra no es sometido a un proceso de limpieza de pintura y grasa en seco previo a su precalentamiento, ver Resolución 909 o aquella que actualice o modifique.

Tabla 30. Liberación de la categoría producción de plantas de hierro y acero

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB	PeCB
				Liberación anual		Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas /año	Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
2c	Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
		Plantas de hierro y acero							
	1	Chatarra sucia, precalentamiento de chatarra, controles limitados		0	0	0	0	0	0
	2	Chatarra limpia/ hierro virgen o chatarra sucia, postcombustión, filtro de tela	573,400	1.720	8.601	0.115	0	1146.8	688.08
	3	Chatarra limpia/hierro virgen o chatarra sucia, HAE equipado con SCCA diseñado para bajas emisiones de PCDD/PCDF, HBO	292,800	0.029	0.029	0.000	0.029	0.6	0
	4	Altos hornos con SCCA	220,000	0.002	0	0.000	0	0.22	0
Subtotal categoría				1.751	8.63	0.115	0.029	1147.6	688.1

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 – Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2c – Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones

Fundiciones de hierro

Esta categoría incluye otras tecnologías para fundir materiales que contienen hierro como los hornos de cubilote caliente, frío y hornos de inducción (PNUMA, 2019).

- **Hornos de cubilote:** son hornos verticales que se calientan con coque de los cuales las materias primas se cargan por lotes o en forma continua con tolvas vibratorias, el calor necesario para fundir los materiales es generado por la combustión de coque y aire frío o caliente que se inyecta por medio de toberas situadas en los costados del horno (PNUMA, 2019).
- **Hornos de inducción:** son canales simples calentados por una bobina eléctrica externa (PNUMA, 2019).
- **Altos hornos:** son hornos verticales mucho más grandes que utilizan toberas para inyectar aire frío o caliente dentro de la carga del horno para fundir el contenido; el sinter se carga por la parte superior del alto horno en capas alternas de coque (PNUMA, 2019).

Al igual que los hornos enunciados anteriormente, las emisiones de PCDD/PCDF se atribuyen al uso de material a fundir con plásticos, carbón y partículas de carbono, en presencia de donantes de cloro (PNUMA, 2019).

El Toolkit 2013 clasifica esta actividad en tres clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 31).

Tabla 31. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de fundición de hierro

2c	Plantas de producción de hierro y acero	PCDD/PCDF		PCB		HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada fundida)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada fundida)		Factores de emisión (µg/tonelada fundida)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
Fundición de hierro						
1	Cúpula de aire frío o cúpula de aire caliente o tambor rotatorio sin limpieza de gas ⁵⁶	10	0.2	ND	ND	ND
2	Tambor rotatorio – filtro de tela o depurador húmedo ⁵⁷	4.3	0.2	ND	ND	ND
3	Cúpula de aire frío – filtro de tela o depurador húmedo ⁵⁸	1	8	0.5	0.1	ND
4	Cúpula de aire caliente u horno de inducción y filtro de tela o depurador húmedo ⁵⁹	0.03	0.5	0.01	0.01	30

*ND en los que se usan depuradores húmedos

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

56 La clase 1 comprende cúpulas de aire frío o cúpulas de aire caliente u hornos de tambor sin filtros de tela o equivalente para limpieza de gases.

57 La clase 2 comprende hornos de tambor rotatorio con filtros de tela o depuradores húmedos.

58 La clase 3 comprende cubilotes de aire frío con filtros de tela o depuradores de húmedos.

59 La clase 4 comprende cubilotes de aire caliente y hornos de inducción provistos de filtros de tela o depuradores húmedos.

Situación en Colombia

De acuerdo con encuestas realizadas a autoridades ambientales, se encontraron seis empresas, las cuales actualmente disponen hornos de cubilote y de inducción. En cuanto a los sistemas de control de emisiones, se identifica el uso de filtros de tela y/o ciclones para estos. Se estima que en el país para el año 2018 se produjeron aproximadamente 92.192 toneladas de alambroón de hierro, entre otras piezas forjadas (DANE, 2020).

Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 32 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 31.

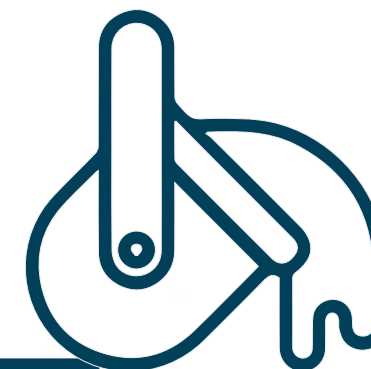
Tabla 32. Liberación de la categoría producción de fundición de hierro

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB
				Liberación anual		Liberación anual		Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/ año	Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
2c	Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones			g EQT / año	g EQT /año	g EQT / año	g EQT /año	g/año
Fundiciones de hierro				0	0	0		0
1	Cubilote de aire frío o cubilote de aire caliente o tambor rotatorio, sin SCCA			0	0	0		0
2	Tambor rotatorio – filtro de tela o scrubber húmedo			0	0	0	0	0
3	Cubilote de aire frío, filtro de tela o scrubber húmedo		30,065	0.03	0.241	0.015	0.003	0
4	Cubilote de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela o scrubber húmedo		62,127	0.002	0.031	0.001	0.001	1.9
Subtotal categoría				0.032	0.272	0.016	0.004	1.9

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2c – Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones

Plantas de galvanizado por inmersión en caliente

El proceso de galvanizado en caliente es el proceso de recubrimiento del acero por inmersión en un baño de zinc fundido, este proceso se lleva en tres etapas: preparación de la superficie, galvanizado e inspección (UNAL, 2018).

Durante estas etapas las piezas son desengrasadas utilizando soluciones normalmente alcalinas, este proceso puede llegar a los 90°C. Posterior a esta etapa, se realiza el proceso de decapado, en el cual se sumergen las piezas en un baño de ácido clorhídrico al 17% durante 20 minutos, con el fin de eliminar herrumbre y escamas para después realizar un secado con temperaturas alrededor de 150°C. Finalmente, las piezas son introducidas a un baño de zinc fundido a 450°C. Debido a que en este proceso se presentan condiciones favorables tanto químicas y/o térmicas para la liberación de COP no intencionales son analizadas en el presente inventario.

El Toolkit 2013 clasifica esta actividad en tres clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 33).

Tabla 33. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2c Plantas de galvanizado por inmersión en caliente

2c	Plantas de producción de hierro y acero	PCDD/PCDF		PCB	HCB
Clase		Factor de emisión (µg EQT/tonelada hierro acero galvanizado)		Factor de emisión (µg EQT/tonelada hierro acero galvanizado)	Factor de emisión (µg/tonelada hierro acero galvanizado)
	Plantas de galvanizado por inmersión en caliente	Aire	Aire	Aire	Aire
1	Instalaciones sin SCCA ⁶⁰	0.06	0.01		
2	Instalaciones sin etapa de desengrasado, buenos SCCA ⁶¹	0.05	2		
3	Instalaciones con etapa de desengrasado, buenos SCCA ⁶²	0.02	1	0.01	1

60 La clase 1 comprende instalaciones sin sistemas de control de contaminación atmosférica.

61 La clase 2 comprende instalaciones con buenos sistemas de control de la contaminación del aire, pero sin una etapa de desengrasado.

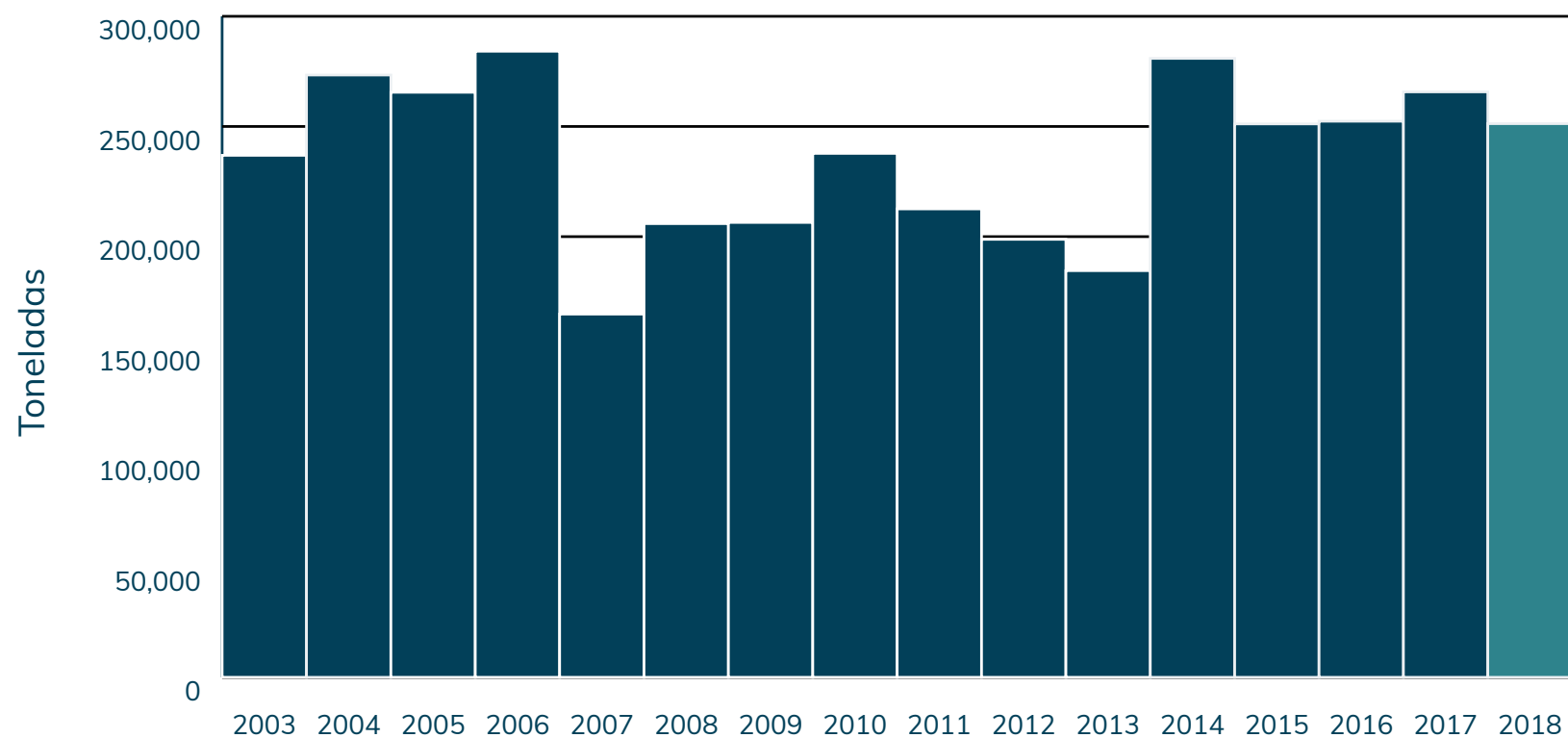
62 La clase 3 incluye las instalaciones con sistemas de control de la contaminación del aire y una etapa de desengrasado.

Situación en Colombia

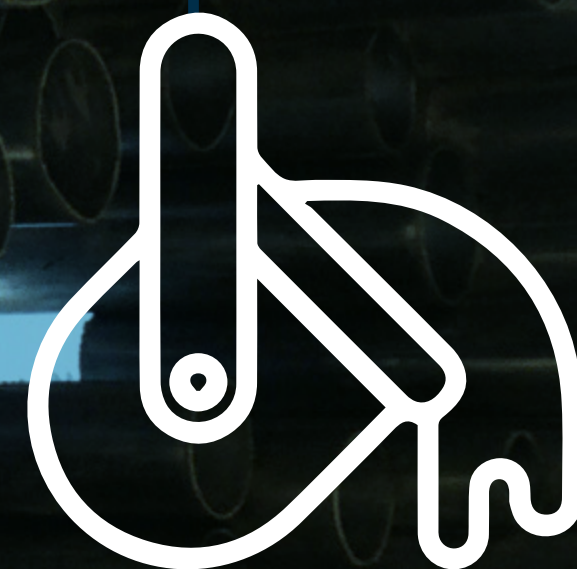
Actualmente la información con respecto al galvanizado en el país es muy limitada, sin embargo, es una práctica que se realiza hace cincuenta años. Para el año 2013 se estableció que en el país existían 22 plantas de galvanizado en caliente y 7 en continuo utilizado para el recubrimiento de láminas, ubicadas en los departamentos de Atlántico, Boyacá, Huila, Santander y Valle del Cauca (ANDI, 2014).

La gráfica 9 presenta las cantidades de hierro y acero galvanizado principalmente como tuberías, alambre y accesorios registrados desde 2003 a 2018 en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020).

Gráfica 9. Cantidades de hierro y acero galvanizado



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 34 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 33. Las cantidades totales fueron catalogadas en la clase 1 debido al desconocimiento de la práctica, sin embargo, es necesario resaltar que en el país existe la “guía práctica de Galvanizado por inmersión en caliente”, creada por la ANDI en la cual se recomienda el desengrasado como actividad importante, previo a la introducción de las piezas (ANDI, 2014).

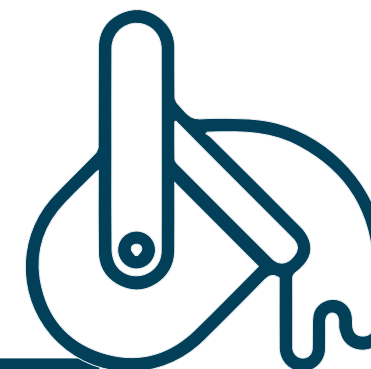
Tabla 34. Liberación de la categoría producción de plantas de galvanizado por inmersión en caliente

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HBC
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos				Aire	Residuo	Aire	Aire
2c		Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones	Toneladas /año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año
		Plantas de galvanizado por inmersión en caliente					
	1	Instalaciones sin SCCA	251,280	0.015	0.003	0	0
	2	Instalaciones sin etapa de desengrasado, buen SCCA		0	0	0	0
	3	Instalaciones con etapa de desengrasado, buen SCCA		0	0	0.000	0.000
Subtotal categoría				0.015	0.003	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 – Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2d – Producción de cobre

Al igual que para otros metales, existen dos formas de producir cobre:

- **Producción primaria:** consiste en la extracción y refinación de cobre, este proceso se puede realizar por medio procesos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos, sin embargo, de los procesos hidrometalúrgicos no se espera la formación de PCDD/PCDF, debido a que se aplica extracción por solventes y electroobtención a temperaturas menores de 50°C (UNEP, 2013).
- **Producción secundaria:** consiste en extraer el metal a partir de chatarra de cobre, sedimentos, chatarra de computadores, aparatos electrónicos y escorias de refineras. Debido a que el cobre es un efectivo catalizador de la formación de PCDD/PCDF sumado a una chatarra con presencia de aceites, plásticos, revestimientos y una temperatura entre 250°C y 500°C en el horno lo convierten en un generador importante del contaminante (PNUMA, 2019).

Es necesario tener en cuenta que esta categoría no se tiene en cuenta la recuperación de cobre por combustión lenta, la cual se analiza en la categoría 2L.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 35).

Tabla 35. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2d Producción de cobre

2d	Producción de cobre	PCDD/PCDF			PCB		HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada cobre)			Factores de emisión (µg EQT/tonelada cobre)		Factores de emisión (µg/tonelada cobre)	Factores de emisión (µg/tonelada cobre)
Clase		Aire	Agua	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Cu secundario – Tecnología básica ⁶³	800	0.5	630	ND	ND	ND	ND
2	Cu secundario – Bien controlada ⁶⁴	50	0.5	630	10	ND	ND	3,000
3	Cu secundario – Optimizada para control de PCDD/PCDF ⁶⁵	5.0	0.5	300	0.1	1	1,000	ND
4	Fundición de Cu/aleaciones de Cu ⁶⁶	0.03	0.5	ND	ND	ND	ND	ND
5	Cu primario bien controlado, con algunas materias primas secundarias ⁶⁷	0.01	0.5	ND	0.01	ND	100	150
6	Fundición de Cu primario puro sin materias primas secundarias ⁶⁸	ND	0.5	NA	ND	NA	ND	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

⁶³ La clase 1 se debe aplicar al tratamiento térmico de materiales mixtos, con hornos equipados con filtros de tela simple, sin sistemas de control de contaminación atmosférica, o con sistemas menos eficaces.

⁶⁴ La clase 2 se usa cuando el tratamiento térmico de materiales de chatarra de cobre se lleva a cabo en hornos bien controlados y equipados con postcombustión y filtros de tela. La chatarra debería someterse a cierta selección y clasificación antes de su procesamiento para minimizar los contaminantes.

⁶⁵ La clase 3 corresponde a plantas en las que se han tomado medidas para abordar las liberaciones de PCDD/PCDF, como la instalación de enfriamiento rápido por agua antes de los filtros de tela, y el uso de carbón activado en el tratamiento de gases de combustión.

⁶⁶ La clase 4 aborda la fusión y vaciado de cobre y sus aleaciones.

⁶⁷ La clase 5 corresponde a plantas bien controladas de Cu primario con algunas materias primas secundarias.

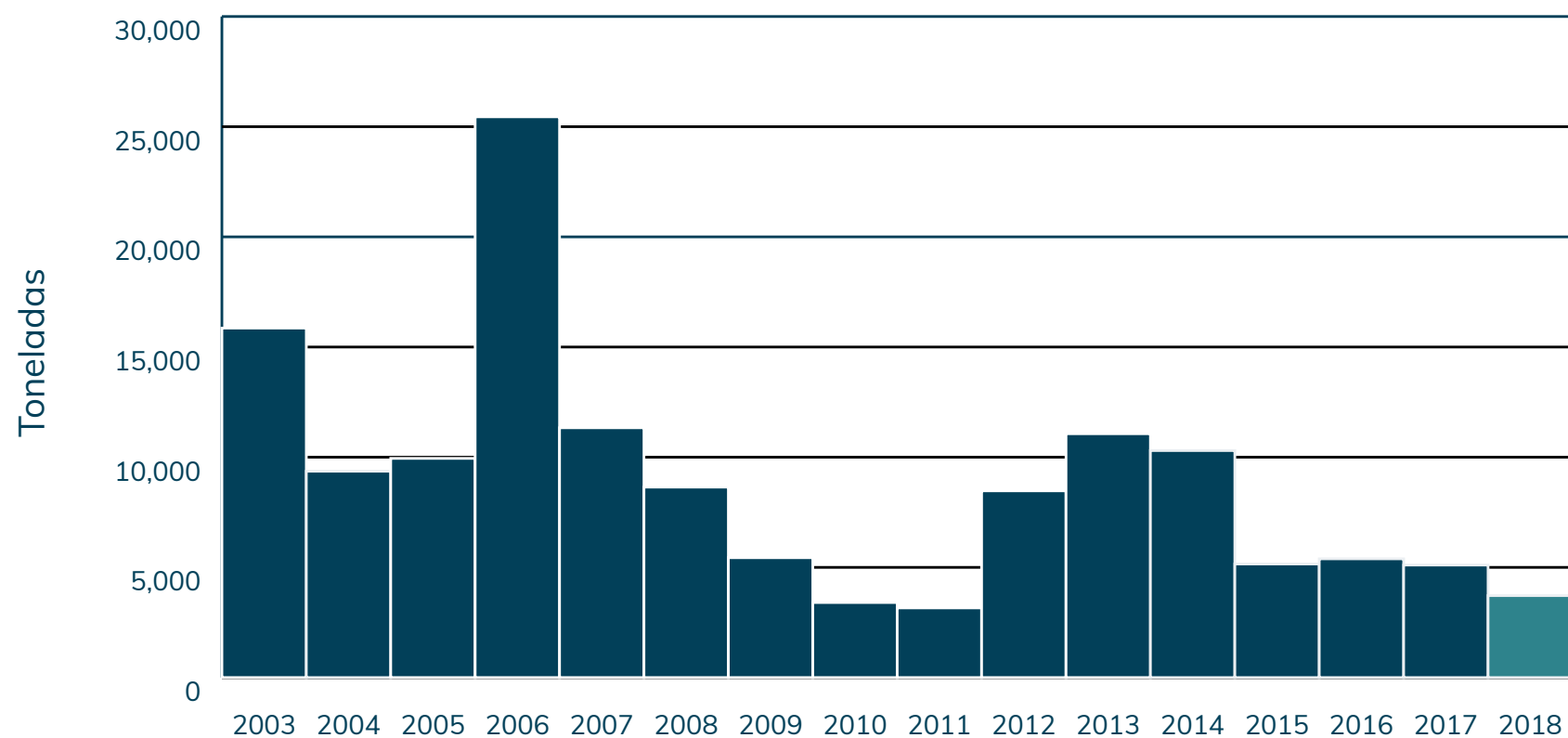
⁶⁸ La clase 6 comprende fundiciones primarias de cobre que utilizan materias primas limpias y utilizan el proceso de fundición de base o fundición relámpago. Las emisiones procedentes de fundiciones primarias de cobre que reciclan materiales secundarios tales como chatarra de cobre u otros residuos pueden calcularse aplicando el factor de emisión de la clase 5. Para esta clase, las fundiciones de cobre primario "puro", no hay factores de emisión disponibles en la actualidad.

Situación en Colombia

Actualmente en Colombia solo existe un proyecto de extracción de mineral de cobre ubicado en el departamento del Chocó, sin embargo, el país cuenta con depósitos favorables de cobre en Antioquia, Cesar, Córdoba, La Guajira y Nariño (UPME, 2017b).

En Colombia no existe producción primaria de este metal, sin embargo, la producción secundaria sí se realiza a partir de reciclaje de chatarra de cobre en industrias ubicadas en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Cundinamarca y Valle del Cauca. Los datos reportados desde 2003 a 2018 de la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) se presentan en la gráfica 10.

Gráfica 10. Producción nacional secundaria de cobre



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con la revisión de expedientes de emisiones atmosféricas en fuentes fijas de las autoridades ambientales⁶⁹, en las zonas donde se realiza esta actividad. Se encontraron empresas dedicadas a la fundición de cobre proveniente de cable de telecomunicaciones principalmente, entre otros, con separación recubrimientos plásticos. El proceso de fundición se realiza en hornos rotatorios basculantes con sistemas de filtros de mangas. De acuerdo con estas características, se asume la clase 1. La tabla 36 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 35.

69 Actualmente la normatividad ambiental colombiana establece estándares de emisión de PCDD/PCDF. Cuando el proceso de fundición de cobre secundario utilice materias primas oxidadas o metálicas, ver Resolución 909 de 2008 o aquella que modifique o actualice

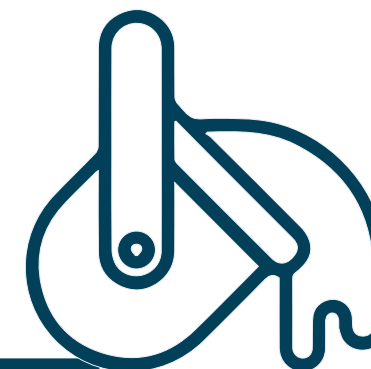
Tabla 36. Liberación de la categoría producción de cobre

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF			PCB		HCB	PeCB
				Liberación anual			Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/ año	Aire	Agua	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
2d	Producción de cobre			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
	1	Cu secundario – tecnología básica	3,718	2.974	0	2.342	0	0	0	0
	2	Cu secundario – bien controlada		0	0	0	0	0	0	0
	3	Cu secundario – control optimizado para PCDD/PCDF		0	0	0	0	0	0	0
	4	Fundición y colada de Cu/aleaciones de Cu		0	0	0	0	0	0	0
	5	Cu primario, bien controlado, con alimentación de algunos materiales secundarios		0	0	0	0	0	0	0
	6	Fundición primaria de Cu puro sin alimentación de materiales secundarios		0	0	0	0	0	0	0
Subtotal categoría				2.974	0	2.342	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2e - Producción de aluminio

El aluminio, igual que diferentes metales, se produce por medio de dos procesos:

- **Producción primaria:** consiste en la refinación de bauxita en alúmina mediante el proceso Bayer. Posterior a este proceso, a partir del proceso Hall-Héroult la alúmina se reduce a aluminio metálico por electrólisis. Este proceso no representa una fuente significativa de PCDD/PCDF, sin embargo, la contaminación puede ocurrir por los electrodos de grafito empleados en el proceso de fundición electrolítica (PNUMA, 2007).
- **Producción secundaria:** consiste en la producción de aluminio a partir de aluminio reciclado o desechos mediante el proceso de pretratamiento, fundición y refinación. Las PCDD/PCDF se pueden formar a partir de sustancias añadidas para eliminar magnesio, combustión incompleta, sustancias orgánicas en el reciclaje, presencia de compuestos clorados y por temperaturas entre 250°C y 500°C (PNUMA, 2007).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 37).

Tabla 37. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2e Producción de aluminio

2e	Producción de aluminio	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de aluminio)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de aluminio)	Factores de emisión (µg/tonelada de aluminio)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Procesamiento térmico de chatarra de Al, tratamiento mínimo de insumos y eliminación simple del polvo ⁷⁰	100	200	2	ND
2	Procesamiento térmico de chatarra de Al, pretratamiento de chatarra, filtros de tela con inyección de cal bien controlados ⁷¹	3.5	400	0.2	500
3	Instalaciones optimizadas para el control de PCDD/PCDF – sistemas de postcombustión, inyección de cal, filtros de tela y carbón activado ⁷²	0.5	100	ND	ND
4	Secado de virutas/rotación (plantas simples) ⁷³	5	NA	ND	ND
5	Extracción térmica de aceite de virutas, hornos rotativos, sistemas de postcombustión y filtros de tela ⁷⁴	0.3	NA	ND	ND
6	Producción de Al primario puro ⁷⁵	ND	ND	ND	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

70 La clase 1 debe utilizarse para plantas con un equipo sencillo de eliminación del polvo, o sin dicho equipo.

71 La clase 2 se debe utilizar para plantas con pretratamiento de residuos, sistemas de postcombustión y control de polvo (por ejemplo, filtros de tela), y otros controles de contaminación del aire, pero sin ningún tratamiento específico de dioxina.

72 La clase 3 se debe utilizar cuando existen controles altamente eficientes, que incluyen limpieza de chatarra, sistemas de postcombustión, filtros de tela con cal y tratamiento específico de dioxina (inyección de carbón activado).

73 La clase 4 se aplica al secado de virutas de Al y rotación en tambores rotatorios o un equipo similar.

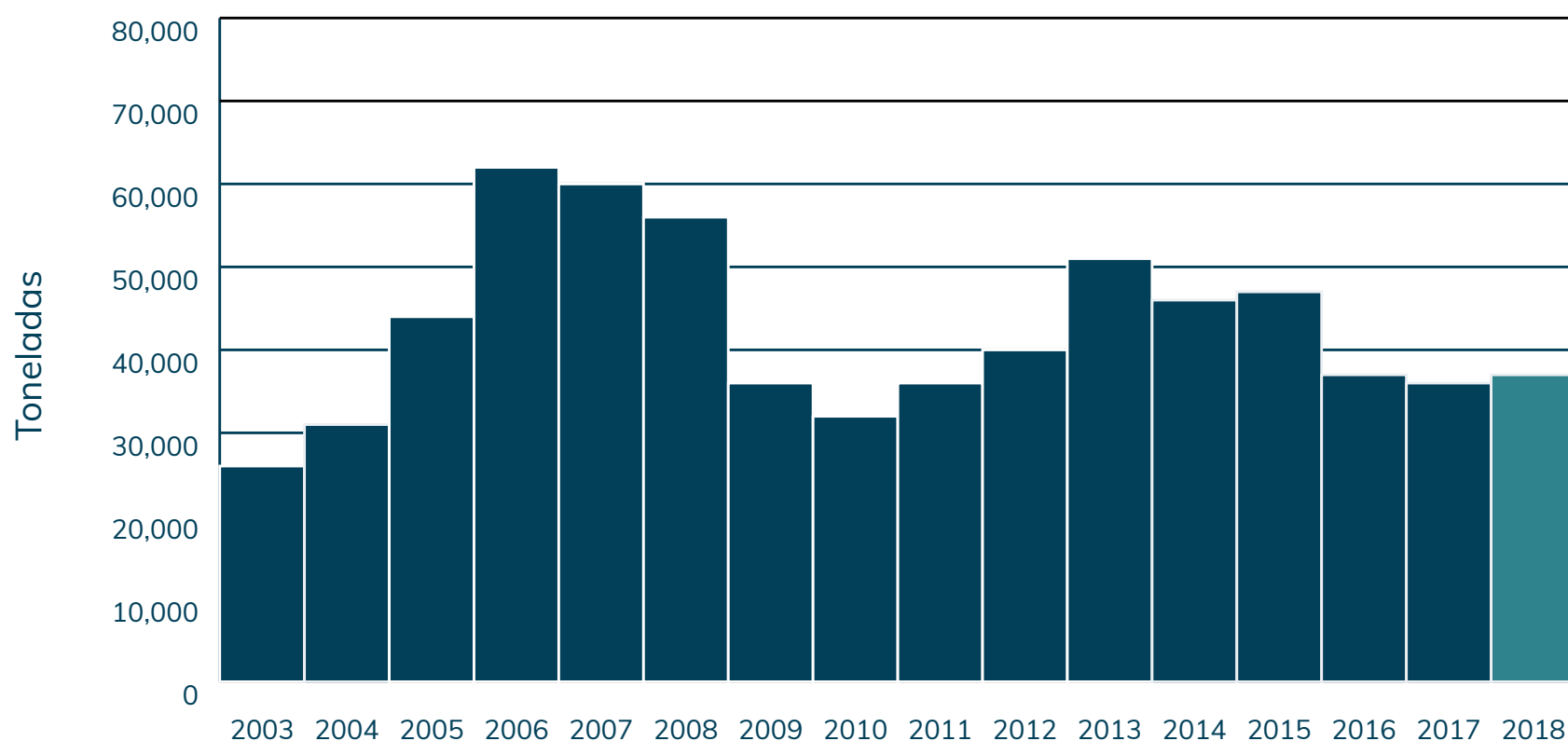
74 La clase 5 se aplica a la extracción térmica de aceite de virutas en hornos rotatorios con postcombustión y filtros de tela.

75 La clase 6 se refiere a la producción de aluminio primario por electrolisis y fundición de lingotes.

Situación en Colombia

Actualmente la demanda nacional de aluminio se cubre con la importación del material de países como Venezuela y Brasil, y la producción nacional a partir del reciclaje del metal (Herrera, 2013). El mercado nacional lo dominan tres grandes compañías ubicadas en, Cundinamarca, Valle del Cauca y Risaralda, las cuales poseen más del 40% de la demanda nacional (Vieira, 2016). La gráfica 11 presenta las cantidades producidas de aluminio secundario a nivel nacional reportadas en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) de 2003 a 2018.

Gráfica 11. Producción nacional de aluminio



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con consultas realizadas a las autoridades ambientales, se encontraron catorce empresas que realizan la actividad de las cuales tan solo una posee SCCA el cual consta de un filtro de mangas, por ello se clasificó toda la producción en la clase 1. La tabla 38 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 37.

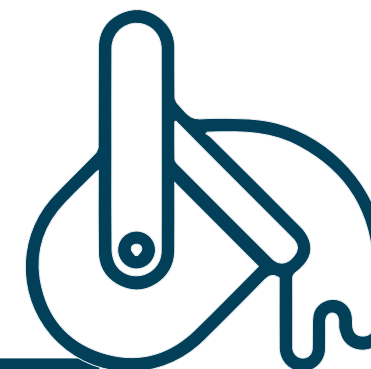
Tabla 38. Liberación de la categoría producción de aluminio

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/ año	Aire	Residuo	Aire	Aire
2e	Producción de aluminio			g EQT/ año	g EQT/ año	g EQT/ año	g/año
	1	Procesamiento de chatarra de Al, tratamiento mínimo de materiales de entrada, remoción simple de polvo	37,532	3.753	7.506	0.075	0
	2	Tratamiento de chatarra, bien controlado, filtro de tela, inyección de cal		0	0	0	0
	3	Proceso optimizado para reducción de PCDD/PPCDF		0	0	0	0
	4	Secado de virutas (plantas simples)		0	0	0	0
	5	Desengrasado térmico, hornos rotatorios, postcombustión, filtros de tela		0	0	0	0
	6	Plantas de Al primario		0	0	0	0
Subtotal categoría				3.753	7.506	0.075	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2f – Producción de plomo

El plomo se puede producir mediante dos vías, la primaria consiste en la fundición y/o sinterización directamente de mineral de sulfuro, esta práctica no genera emisiones relevantes del contaminante (UNEP, 2013). En cuanto a la secundaria, consiste en recuperar el metal a partir de baterías de vehículos u otras fuentes como tuberías, soldaduras, escorias y revestimientos, sin embargo, la presencia de altos contenidos de aceites, plásticos y otros materiales orgánicos con temperaturas en el horno entre 250°C a 500°C pueden llevar a la generación de PCDD/PCDF.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones ver tabla 39.

Tabla 39. Factores de emisión de COP no intencionales de categorías de fuentes 2f Producción de plomo

2f	Producción de plomo	PCDD/PCDF		PCB		HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de plomo)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de plomo)		Factores de emisión (µg/tonelada de plomo)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
1	Producción de plomo a partir de chatarra que contiene PVC ⁷⁶	80	ND	ND	ND	ND
2	Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/ Cl2, algún SCCA ⁷⁷	8.0	50	0.2	0.0002	1,000
3	Producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/ Cl2 en hornos de alta eficiencia, con depuradores SCCA ⁷⁸	0.05	ND	ND	ND	ND
4	Producción de plomo primario puro ⁷⁹	0.4	ND	0.02	ND	600

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

76 Clase 1: producción de plomo secundario a partir de chatarra que contiene PVC, sin un sistema de control de contaminación atmosférica.

77 Clase 2: producción de plomo secundario de chatarra libre de PVC/ Cl2, algún sistema de control de contaminación atmosférica.

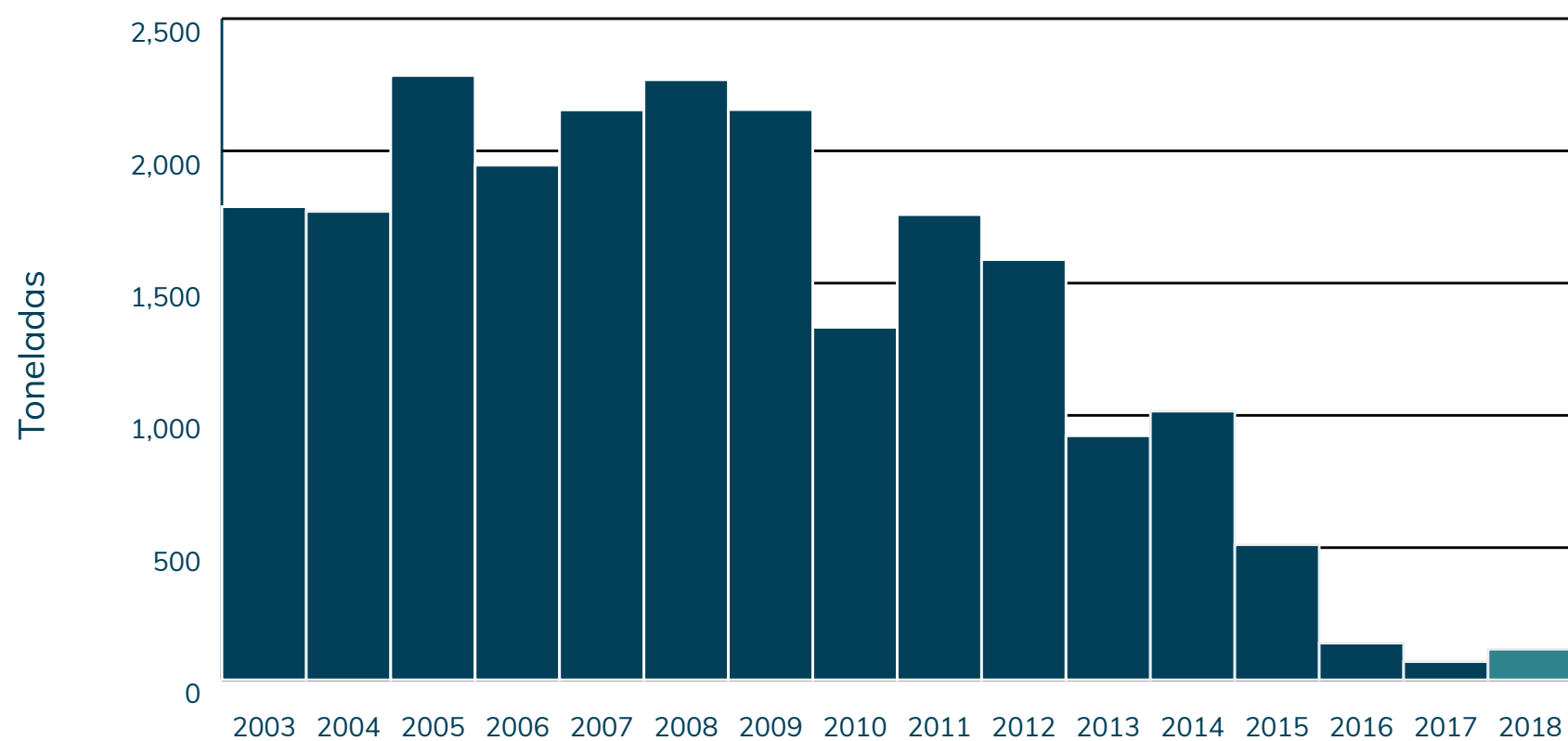
78 Clase 3: producción de plomo a partir de chatarra libre de PVC/ Cl2 en hornos de alta eficiencia, con sistemas de control de la contaminación atmosférica, incluyendo depuradores húmedos.

79 Clase 4: producción de plomo primario puro.

Situación en Colombia

Actualmente Colombia posee yacimientos de plomo en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Santander, pero no se obtiene plomo en el país a partir de estas fuentes, es decir, no hay producción primaria del plomo en Colombia. En el país existen empresas dedicadas a la fundición del metal para producción de lingotes, láminas y alambres. La gráfica 12 presenta las cantidades producidas de plomo a nivel nacional reportadas en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) de 2003 a 2018.

Gráfica 12. Producción nacional de plomo



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

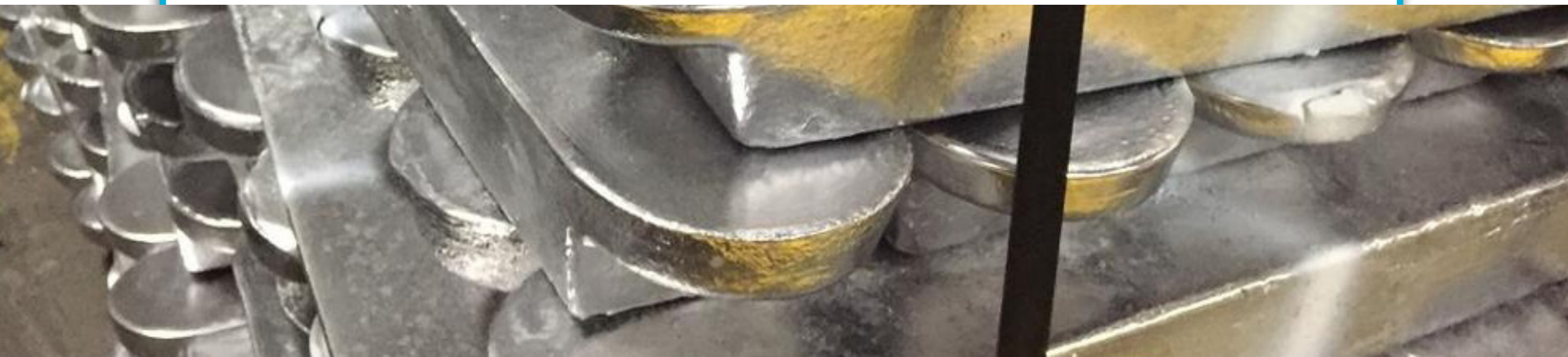
Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con la revisión de expedientes de emisiones atmosféricas en fuentes fijas de las autoridades ambientales, en las zonas donde se realiza esta actividad, se encontraron varias empresas clausuradas por problemas de operación e incumplimiento de la norma de emisiones. Según estas características, se asume la clase 1 en esta actividad. La tabla 40 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 39.

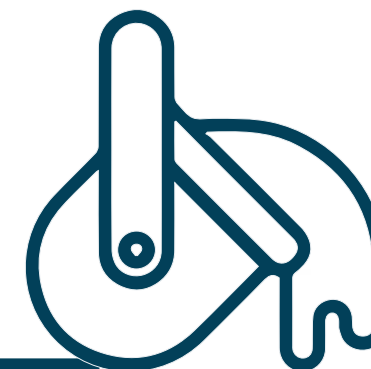
Tabla 40. Liberación de la categoría producción de plomo

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB
				Liberación anual		Liberación anual		Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/año	Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
2f	Producción de plomo			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año
	1	Producción de Pb a partir de chatarra conteniendo PVC	116	0.009	0	0	0	0
	2	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ , algún SCCA		0	0	0	0	0
	3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos de alta eficiencia, con SCCA incluyendo scrubbers		0	0	0	0	0
	4	Producción de plomo primario puro		0	0	0	0	0
Subtotal categoría				0.009	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2g - Producción de zinc

El zinc puede recuperarse a partir de varios procesos. El zinc bruto en combinación con el plomo se produce en altos hornos o se pueden encontrar en la escoria de hornos rotatorios. En cuanto a los materiales que se pueden utilizar, se encuentran polvos de la producción de aleaciones de cobre, polvos de filtros y lodos de la producción de acero con hornos de arco eléctrico, residuos de fragmentación de chatarra de acero y chatarra de procesos de galvanizado (UNEP, 2013). Igualmente, el metal se puede obtener de manera secundaria a partir del procesamiento de chatarra impura, sin embargo, debido a que los hornos utilizan temperaturas relativamente bajas entre 340°C a 440°C y en algunos casos se tiene la presencia de fracciones no metálicas, estos pueden generar cantidades importantes de PCDD/PCDF (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 41).

Tabla 41. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría se fuentes 2g Producción de zinc

2g	Producción de zinc	PCDD/PCDF		PCB		HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de zinc)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de zinc)		Factores de emisión (µg/tonelada de zinc)	Factores de emisión (µg/tonelada de zinc)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Horno sin SCCA	1.000	0.02	100	ND	ND	ND
2	Hornos de briqueteado en caliente/rotatorios, control básico de polvo, p. ej., filtros de tela con carbón activado/tecnología DeDiox	100	1*	2	3	40,000	ND
3	Controles extensos de contaminación atmosférica, p. ej., filtros de tela con carbón activado/tecnología DeDiox	5	1*	0.1	ND	10,000	13,000
4	Fundición de zinc y producción de cinc primario	0.1	ND	0.001	ND	2,000	ND

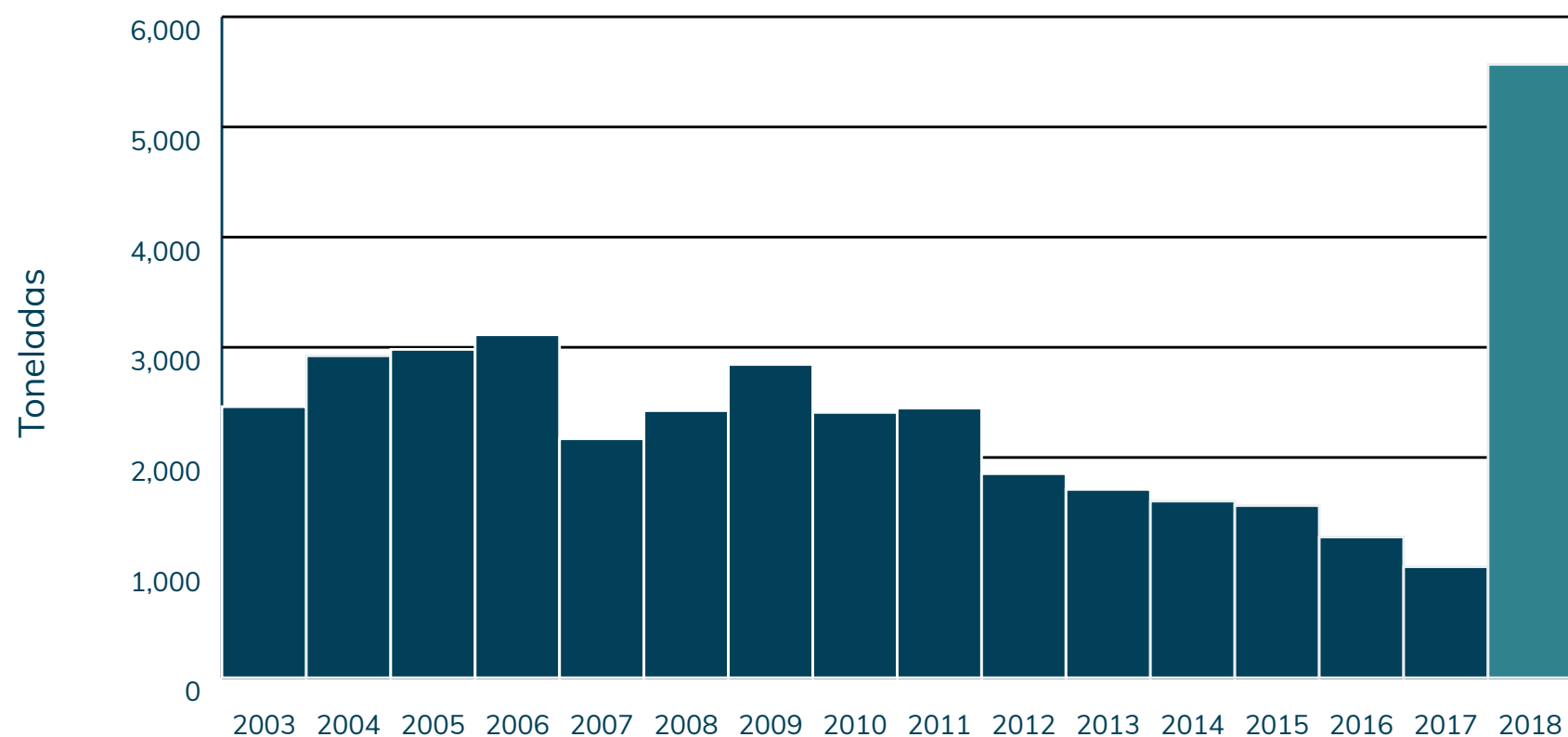
* En algunos casos (p. ej., hornos Waelz) los factores de emisión pueden llegar a 2,000 µg EQT/t de zinc

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

La producción de zinc en Colombia está directamente relacionada con las exportaciones de concentrados polimetálicos de cobre y plomo. En el país se explotan en yacimientos de mineral de zinc en Cundinamarca, Santander, Caldas y Tolima (Recursos Minerales, 2008) y últimamente en el Chocó (ANM, 2017), pero no se obtiene zinc en el país a partir de estas fuentes, es decir, no hay producción primaria del zinc en Colombia. Por otro lado, en el país existen empresas dedicadas a la producción secundaria para producción de zamak y aleaciones. La gráfica 15 presenta las cantidades producidas de zinc a nivel nacional reportadas en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) de 2003 a 2018.

Gráfica 15. Producción nacional de zinc



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con consultas realizadas a las autoridades ambientales⁸⁰ se encontraron seis empresas que realizan la actividad de las cuales tan solo una posee SCCA, por ello la producción se clasificó en la clase 1. La tabla 42 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 41.

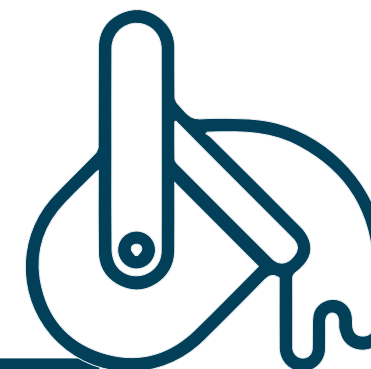
⁸⁰ Actualmente la normativa ambiental colombiana establece estándares de emisión de PCDD/PCDF cuando el proceso de fundición de zinc se lleva a cabo en hornos que funden chatarra y que no tengan sistema de control de material particulado en la emisión, ver Resolución 909 de 2008 o aquella que modifique o actualice.

Tabla 42. Liberación de la categoría producción de zinc

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB	PeCB
				Liberación anual		Liberación anual		Libe- ración anual	Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/año	Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
2g	Producción de zinc			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/ año	g EQT/año	g/año	g /año
	1	Horno sin control de polvo	5,568	5.568	0	0.557	0	0	0
	2	Hornos de briqueteado en ca- liente/hornos rotatorios, control básico		0	0	0	0	0	0
	3	Control integral		0	0	0	0	0	0
	4	Fusión de cinc y producción pri- maria de zinc		0	0	0	0	0	0
Subtotal categoría				5.568	0	0.5568	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2h - Producción de bronce y latón

El bronce es una aleación de cobre y zinc el cual se produce mediante la prefusión de chatarra de latón o por la fusión de cantidades estequiométricas de cobre y zinc (UNEP, 2013). En cuanto al latón, este es una aleación de cobre, estaño, fósforo y otros elementos, el cual se produce fundiendo el cobre y adicionándole los otros elementos; ambos materiales se pueden producir en crisoles sencillos o en hornos más sofisticados, como los hornos de inducción con sistemas de control de emisiones (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 43).

Tabla 43. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2h Producción de latón y bronce

2h	Producción de bronce y latón	PCDD/PCDF		PCB		HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de latón y/o bronce)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de latón y/o bronce)		Factores de emisión (µg/tonelada de latón y/o bronce)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
1	Retirada térmica de aceite de virutas, poscombustión, depurador húmedo ⁸¹	2.5	NA	ND	NA	ND
2	Hornos de fusión sencillos ⁸²	10	ND	ND	ND	ND
3	Hornos de inducción de chatarra mixta, filtros de tela ⁸³	3.5	125	ND	0.005	9,400
4	Equipos sofisticados, p. ej. hornos de inducción con SCCA ⁸⁴	0.1	ND	0.05	ND	100

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

81 La clase 1 se usa para plantas más complejas que los hornos de clase 2, por ejemplo, hornos de inducción equipados con filtros de mangas y depuradores húmedos y/o retirada de aceite de las virutas.

82 La clase 2 se debe utilizar para los hornos de fundición sencillos provistos de alguna tecnología de reducción de gases de combustión, por ejemplo, depurador o precipitadores electrostáticos.

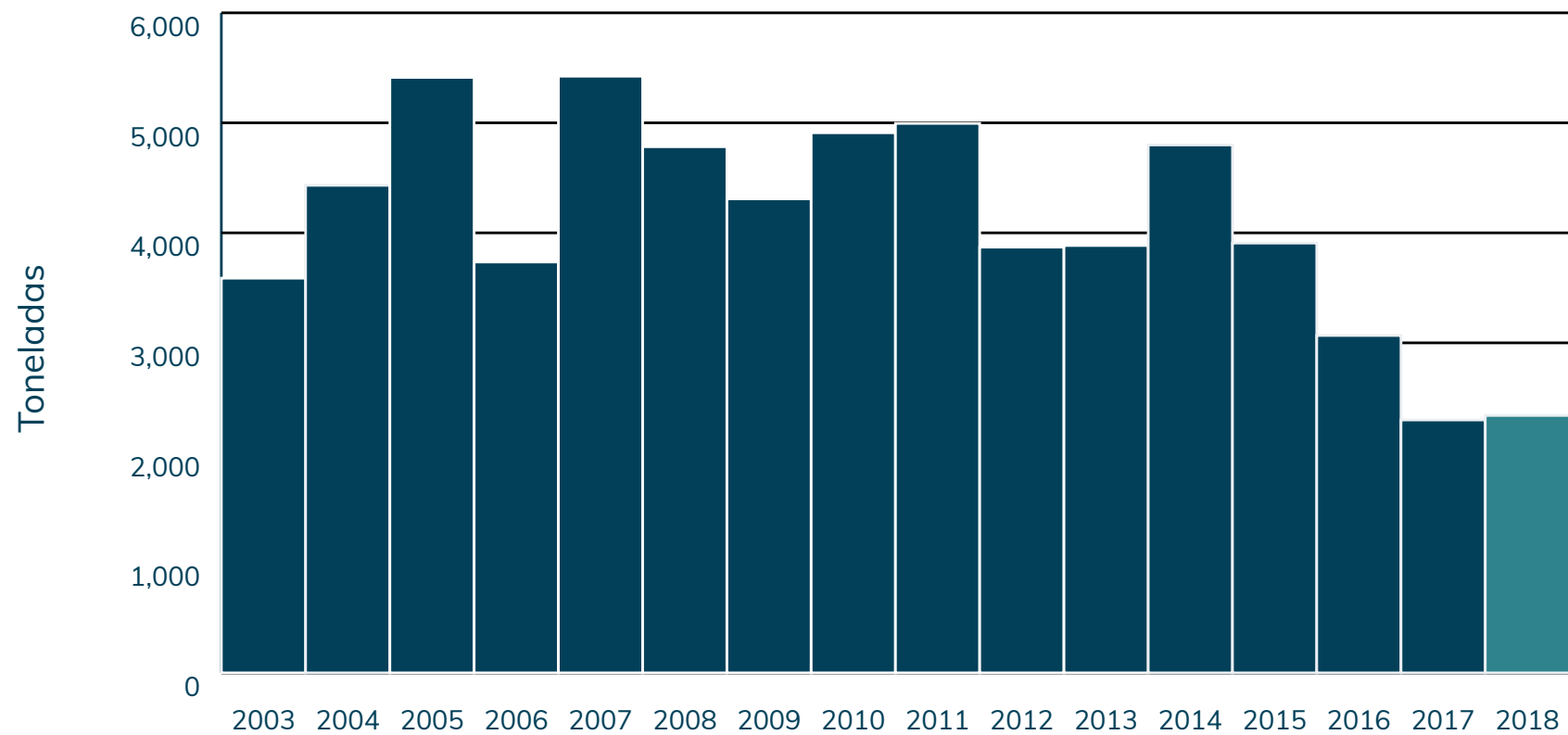
83 La clase 3 comprende hornos de inducción que usan chatarra mixta, y equipados con filtros de tela.

84 La clase 4 comprende equipos más sofisticados, como hornos de inducción con APCS.

Situación en Colombia

Actualmente en Colombia la producción de este metal se centra en el refundido de chatarra de latón con industrias ubicadas en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca, los datos reportados desde 2003 a 2018 en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) se presentan en la gráfica 14.

Gráfica 14. Producción nacional de bronce y latón



Fuente: elaboración propia a partir de información del DANE.

Clases seleccionadas y liberación 2018

De acuerdo con consultas realizadas a las autoridades ambientales, se encontró que la fundición se centra en hornos simples clase 2. La tabla 44 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 43.

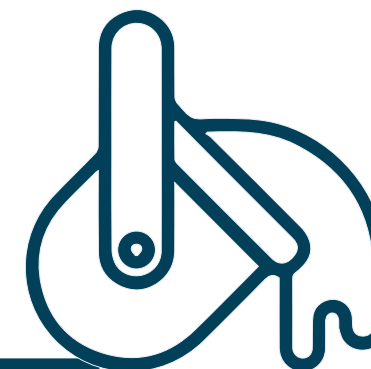
Tabla 44. Liberación de la categoría producción de bronce y latón

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB
				Liberación anual		Liberación anual		Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/ año	Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire
2h	Producción de bronce y latón			g EQT/ año	g EQT/ año	g EQT / año	g EQT /año	g/año
	1	Desengrasado térmico de virutas		0	0	0	0	0
	2	Hornos de fundición simples	2,340	0.023	0	0	0	0
	3	Chatarra mezclada, hornos de inducción, filtro de bolsa		0	0	0	0	0
	4	Equipamiento sofisticado, insumos limpios, buen SCCA		0	0	0	0	0
Subtotal categoría				0.023	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2i - Producción de magnesio

El magnesio puede producirse a partir de cloruro de magnesio puro, por electrólisis de sales fundidas o por reducción de óxidos de magnesio con ferrosilicio o aluminio a altas temperatura, así como por recuperación secundaria del magnesio como residuos de amianto, debido a la adición de cloro o cloruros, la presencia de carbono y altas temperaturas en estos procesos puede llevar a la generación de PCDD/PCDF (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 45).

Tabla 45. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2i Producción de magnesio

2i	Producción de magnesio	PCDD/PCDF			PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada de magnesio)			Factores de emisión (µg EQT/tonelada de magnesio)	Factores de emisión (µg/tonelada de magnesio)	Factores de emisión (µg/tonelada de magnesio)
Clase		Aire	Agua	Residuo	Aire	Aire	Aire
1	Producción por tratamiento térmico de MgO/C en Cl2 – sin tratamiento de efluentes, tratamiento de gas limitado	250	9,000	0	ND	ND	ND
2	Producción por termotratamiento de MgO/C en Cl2 - control integral de la contaminación	50	30	9,000	ND	ND	ND
3	Proceso de reducción térmica	3	ND	NA	0.02	800	1,500

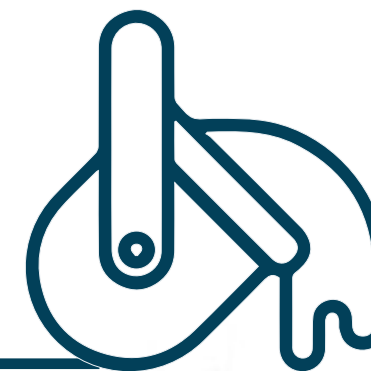
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

El país cuenta con áreas identificadas con potencial de explotación de minerales de magnesio en los departamentos de Huila y Cundinamarca, mineral que es exportado principalmente a Venezuela y Ecuador (UPME, 2017a). Sin embargo, en Colombia no se produce magnesio metálico, por ello el metal es importado de Brasil, China, Ecuador, Hong Kong, EE. UU., Venezuela y Alemania, principalmente, para la producción de materiales refractarios, herramientas eléctricas y equipos (UPME, 2017a).

De acuerdo con información reportada por el ICA, en el país se producen fertilizantes con óxido de magnesio, sin embargo, como se enunció anteriormente, el insumo se importa.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2j - Producción de térmica de metales no ferrosos: níquel

Esta categoría incluye la producción de cadmio, metales preciosos, cromo, níquel, ferroaleaciones, metales alcalinos, entre otros, bajo procesos pirometalúrgicos donde las tecnologías, técnicas de procesamiento y acondicionamiento de gases residuales pueden generar liberaciones de PCDD y PCDF (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales, dependiendo del tipo de horno y sistema de control de emisiones (ver tabla 46).

Tabla 46. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2j Producción de otros metales no ferrosos

2j	Producción de otros metales no ferrosos	PCDD/PCDF
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada de metal)
Clase		Aire
1	Procesos térmicos de metales no ferrosos - chatarra contaminada, sin sistema de SCCA o con sistema simple	100
2	Procesos térmicos de metales no ferrosos - chatarra limpia, filtros de tela/inyección de cal/ sistemas de postcombustión	2

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

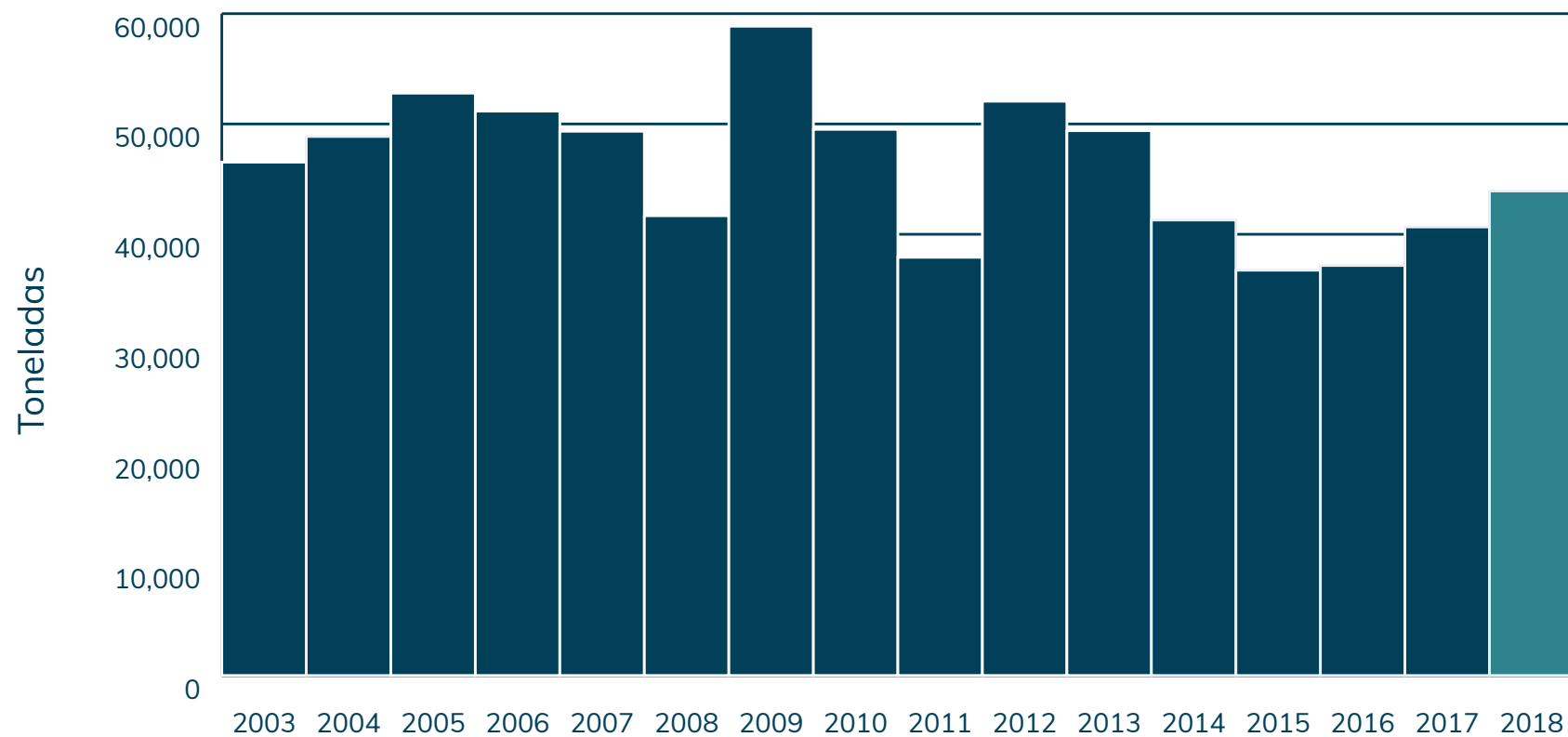
Situación en Colombia

En Colombia existen 6 yacimientos de níquel, los más importantes son los tres ubicados en el departamento de Córdoba y los restantes ubicados en Antioquia. El país posee una mina de extracción de ferroníquel integrada con el proceso de fundición con una capacidad nominal de 50,000 t/año, convirtiendo al país en el principal productor del metal en Sudamérica y el tercero en la región de Centroamérica y el Caribe, actualmente esta planta produce el 10% de la producción mundial de ferroníquel y el 3% de la producción de níquel (UPME, 2009). La producción del metal se está exportando a China, Japón, Corea, India, entre otros países (UPME, 2017a).

Actualmente la planta de fundición produce níquel primario producido principalmente a partir de las menas del metal (UPME, 2017a). En cuanto a la tecnología instalada, la planta cuenta con dos secadores donde se reduce la humedad del material, dos unidades de calcinadores rotatorios donde se producen los óxidos de níquel que operan a temperaturas entre 1200°C a 1400°C, un horno de arco eléctrico donde se produce metal y escoria que opera a una temperatura de 1480°C, para finalmente verter el metal fundido en crisoles para un proceso de refinación en el que se adicionan diferentes productos para cumplir con las especificaciones del cliente. En cuanto a los sistemas de control de emisiones al aire, la planta está provista de precipitadores electrostáticos, ciclones que recuperan finos para volverlos a incluir al calcinador, lavador de gases y filtros de mangas (K2, 2016).

Adicionalmente en el país se produce oro, plata y platino. Sin embargo, la producción de níquel supera con amplio margen la de los otros metales de esta categoría. La gráfica 15 presenta las cantidades producidas de estos metales a nivel nacional reportadas en el boletín estadístico de minas y energía (UPME, 2018) de 2003 a 2018.

Gráfica 15. Producción nacional de metales no ferrosos



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME

Clases seleccionadas y liberación 2018

Debido a que la única planta que produce ferroaleaciones no genera el metal a partir de chatarra, se tomó la clase 2. La tabla 47 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 46.

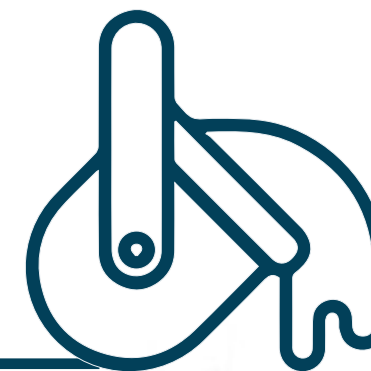
Tabla 47. Liberación de la categoría producción de níquel

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF
				Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/año	Aire
2j	Producción térmica de metales no ferrosos (ej., Ni)			g EQT/año
	1	Horno sin control de polvo		0
	2	Hornos de briqueteado en caliente/hornos rotatorios, control básico	43,923	0.088
Subtotal categoría				0.088

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2k - Trituradoras

El proceso de trituración o desguazado consiste en obtener materias primas a partir de chatarra ligera como artículos de línea “blanca”⁸⁵, “marrón”⁸⁶ o artículos de oficina y a partir de procesos de desintegración vehicular (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de trituradoras no son muy relevantes en la liberación de COP no intencionales, solo se posee una clase en el Toolkit 2013 (ver tabla 48).

Tabla 48. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2k Trituradoras

2k	Trituradoras	PCDD/PCDF		PCB
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada de acero recuperado)		Factores de emisión (μg EQT/tonelada de acero recuperado)
Clase		Aire	Residuos	Aire
1	Plantas desguazadoras de metal	0.2	5	0.4

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

85 Por ejemplo, refrigeradores, estufas, depuradoras, etc.

86 Por ejemplo, aparatos de televisión, radios, etc.

Situación en Colombia

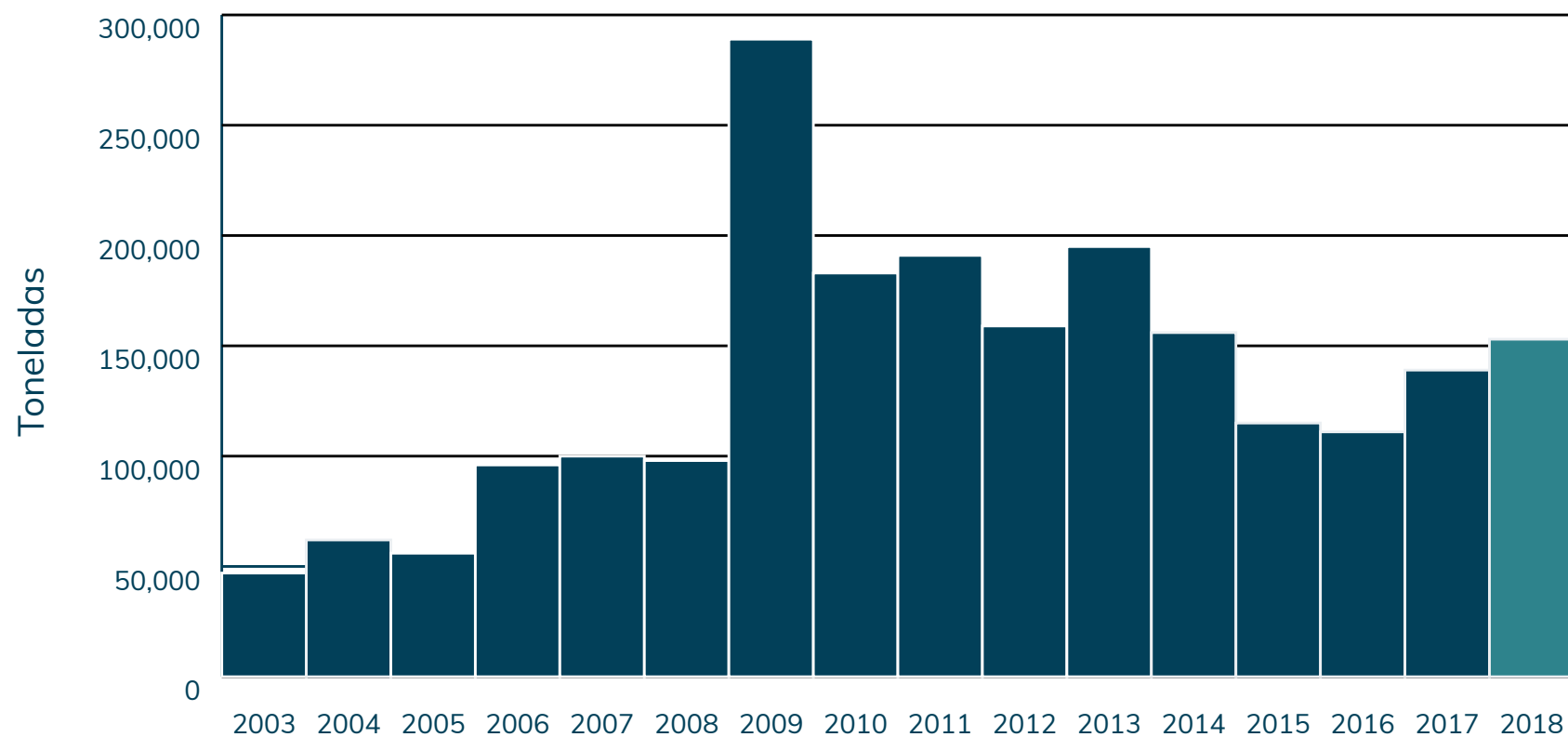
De acuerdo con la información presentada en el Directorio de Actores del Registro Único de Nacional de Tránsito (RUNT), se encuentran registradas trece (13) entidades desintegradoras habilitadas por el Ministerio de Transporte, cinco (5) de las cuales están habilitadas para desintegración de vehículos de carga. Estas entidades desintegradoras cuentan con sedes en diferentes departamentos del país: Atlántico, Antioquia, Bolívar, Cundinamarca, Huila, Meta, Nariño, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Valle del Cauca. Durante el periodo 2013-2018 fueron desintegrados en total 19,818 vehículos de carga (DNP, 2019).

En cuanto a la gestión de RAEE, se estima que en 2017 existían en el país 36 gestores autorizados con licencia ambiental para, almacenar, aprovechar, tratar o disponer adecuadamente estos residuos⁸⁷, con una capacidad instalada de 14,000 toneladas al año equivalente a dos veces la recolección esperada de RAEE. Adicionalmente, se estima que aproximadamente el 18.6% del peso de todas las corrientes de materiales recuperados y exportados corresponde a desechos de hierro o acero (Minambiente, 2017).

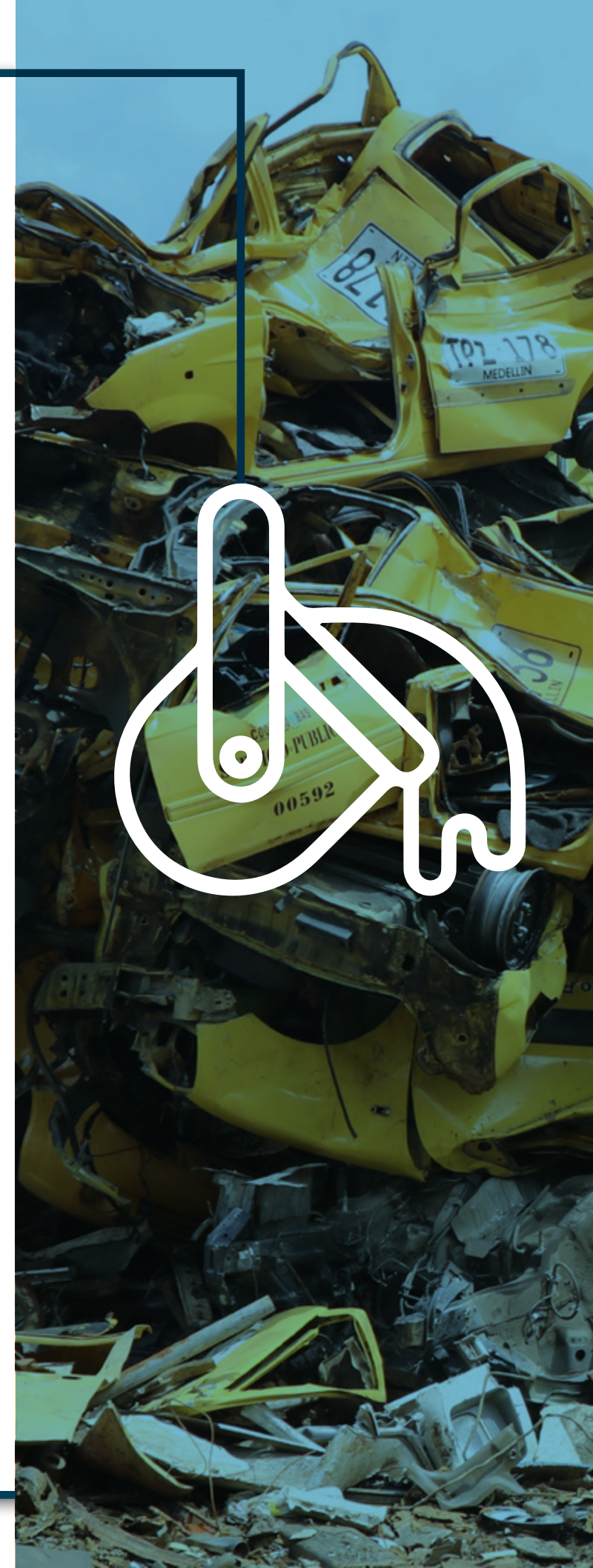
En cuanto al aprovechamiento de metales por este proceso, la gráfica 16 presenta los datos registrados de producción de chatarra de hierro, acero, aluminio, cobre, plomo y zinc registrados en la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 2020) y los datos de exportación de chatarra de los mismos metales registrados en las partidas arancelarias durante los años 2003 a 2018.

⁸⁷ Datos recolectados de la política nacional de gestión de integral de aparatos eléctricos y electrónicos la generación per cápita de RAEE en el año 2015 fue de 6.1 kg/habitante (Minambiente, 2017).

Gráfica 16. Producción y exportación nacional de chatarra metálica



Fuente: elaboración propia a partir de información de DIAN.



Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 49 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 48.

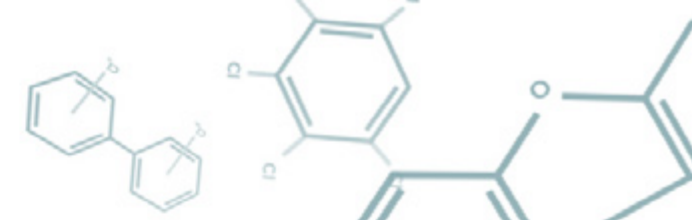


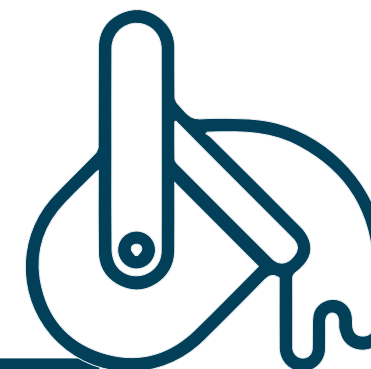
Tabla 49. Liberación de la categoría trituradoras

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB
				Liberación anual		Liberación anual
Producción de metales ferrosos y no ferrosos			Toneladas/año	Aire	Residuo	Aire
2k	Trituradoras			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año
	1	Plantas trituradoras de metales	153,616	0.031	0.768	0.061
Subtotal categoría				0.031	0.768	0.061

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 2 - Producción de metales ferrosos y no ferrosos

Categoría 2I - Recuperación térmica de cables y reciclado de desechos eléctricos y electrónicos

De acuerdo con encuestas realizadas a autoridades ambientales, esta es una actividad que se realiza informalmente en diferentes partes del país. Por lo anterior, debido a la informalidad de la actividad, no es posible realizar un estimativo.

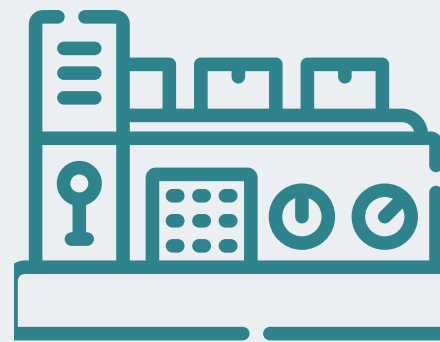
A modo ilustrativo se presentan los factores de emisión propuestos para calcular las emisiones por estas fuentes (tabla 50), que pueden ser usados si se cuenta con la información.

Tabla 50. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 2I Recuperación térmica de cables y reciclaje de residuos electrónicos

2I	Recuperación térmica de cables y reciclaje de residuos electrónicos	PCDD/ PCDF	PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/toneladas de materiales)	Factores de emisión (µg EQT/toneladas de materiales)	Factores de emisión (µg/toneladas de materiales)	Factores de emisión (µg/toneladas de materiales)
Clase		Aire	Aire	Aire	Aire
1	Quema de cables a cielo abierto	12,000	400	ND	ND
2	Quema de placas de circuitos a cielo abierto	100	400	ND	ND
3	Horno básico con postcombustión y depurador húmedo	40	1.0	20	50
4	Quema de motores eléctricos y zapatas de freno, etc. - equipado con postcombustión	3.3	1.5	200	500

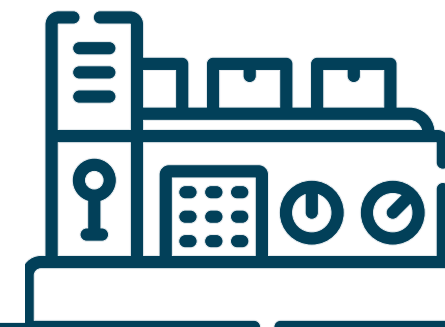
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.





4.3 Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Categoría 3a - Centrales de combustibles fósiles

Esta categoría incluye el uso de combustibles como carbón, fuel oil, esquicito bituminoso, turba, petróleo ligero y gas natural, así como el coprocesamiento de cualquier tipo de residuo o lodo para la generación de energía en hornos que van desde pequeños a grandes quemadores altamente sofisticados con control de emisiones (UNEP, 2013).

La generación de PCDD/PCDF se ve favorecida principalmente en el coprocesamiento de residuos líquidos o lodos, tales como aceites usados y/o disolventes usados (UNEP, 2013). Por otro lado, en todos los procesos de combustión se forman PCDD/PCDF por lo general después de que se completa el proceso de combustión y el gas de combustión se enfría, por ejemplo, las partículas de hollín que quedan y el cloro contenido en el carbón se re-combinan en presencia de catalizadores para formar los contaminantes que se liberan principalmente al aire y a las cenizas de fondo (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de producción de energía a partir de combustibles fósiles pueden variar debido al uso del tipo de combustible, por ello el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo combustible (ver tabla 51).

Tabla 51. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3 a plantas eléctricas que utilizan combustibles fósiles

3 a	Plantas eléctricas que utilizan combustibles fósiles	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/TJ combustible fósil quemado)	Factores de emisión (µg EQT/TJ combustible fósil quemado)	Factores de emisión (µg EQT/TJ combustible fósil quemado)	Factores de emisión (µg/TJ combustible fósil quemado)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Calderas de coprocesamiento de combustible fósil/residuos ⁸⁸	35*	ND	3	20,000
2	Calderas a carbón ⁸⁹	10**	14	3	5,000
3	Calderas a turba ⁹⁰	17.5	ND		
4	Calderas a aceite pesado ⁹¹	2.5	ND		
5	Calderas a hulla ⁹²	1.5	***		
6	Calderas a fuel oil ligero/gas natural ⁹³	0.5	ND	0.1	50

* Incluyendo coprocesamiento de biomasa (rango: 30-50 µg EQT/TJ). ** Alta gama dependiendo de las condiciones de calidad del combustible y de combustión.*** Las liberaciones con residuos pueden calcularse con base en la masa (véase el anexo 30, sección sobre Liberaciones en Residuos).

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

88 Clase 1. Para el coprocesamiento de residuos, la asignación de esta clase depende del propósito principal del proceso (en este caso: generar calor y energía, no incinerar residuos). El coprocesamiento generalmente ocurre con combustibles sólidos (carbón, lignito), junto con lodos de depuradora, biomasa, residuos industriales orgánicos u otros combustibles derivados de residuos. La combustión de diferentes tipos de gases (por ejemplo, gas de hornos de coque y gas de altos hornos) no se considera aquí. La combustión de lodos de depuradora, junto con combustibles líquidos o gas natural debe ser asignada a la incineración de residuos.

89 Clase 2. Los factores de emisión se refieren a la combustión de la hulla. En el caso de que falte información en el ámbito nacional, este factor puede ser transferido a calderas a lignito. Los factores de emisión pueden ser significativamente mayores en caso de condiciones de combustión desfavorables (Grochowalski y Konieczynski 2008, véase el Anexo 30).

90 Clase 3. El factor de emisión se refiere a la combustión de turba en calderas para calefacción y/o energía. La turba se utiliza en países en los que está disponible localmente.

91 Clase 4. El factor de emisión se refiere a la combustión de fuel oil pesado en calderas para calefacción y/o energía. El fuel oil pesado es una fracción proveniente de la refinación de aceite mineral con propiedades estandarizadas. Los aceites residuales u otros residuos del proceso de refinación no se consideran aquí.

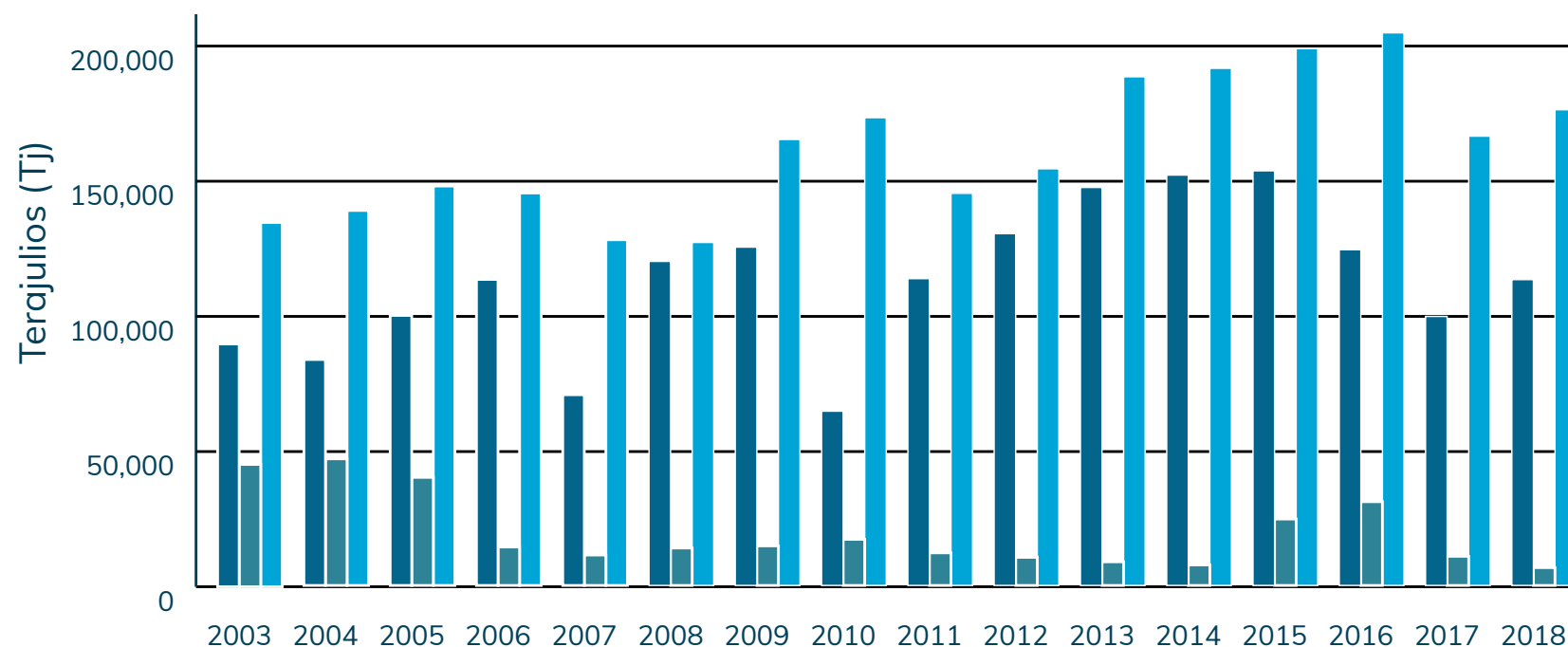
92 Clase 5. El factor de emisión se refiere a la combustión de petróleo de esquisto en calderas para producción de calor y/o energía. El petróleo de esquisto se utiliza en países en los que está disponible a nivel nacional.

93 Clase 6. El factor de emisión se refiere a la combustión de gas natural o aceite ligero combustible en calderas para producción de calor y/o energía. Este factor también puede ser transferido a la combustión en turbinas de gas o en plantas de energía de ciclo combinado.

Situación en Colombia

En Colombia la generación de energía eléctrica se realiza principalmente en hidroeléctricas, sin embargo, también se realiza a partir de combustibles fósiles en termoeléctricas donde la topografía y los recursos no permiten hacer este tipo de estructuras (UPME, 2017). De acuerdo con el Balance Energético Colombiano (BECO) sobre el consumo de combustibles fósiles tanto para la generación de energía como para el sector industrial y agrícola, en el país se hace uso de carbón mineral, gas natural, fuel oil, carbón mineral, petróleo, carbón leña, coque, diésel, gas industrial, gas licuado y keroseno (UPME, 2017).

Gráfica 17. Consumos de combustibles fósiles para generación de energía



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a las clases utilizadas en la actualización del inventario se utilizaron la clase 2, calderas de carbón agrupando los consumos de carbón mineral, carbón leña y coque; la clase 4, calderas de combustible pesado agrupando las cantidades usadas de fuel oil, petróleo, diésel, y keroseno; y la clase 6, calderas a fuel oil ligero/gas natural agrupando los consumos de gas natural, industrial y licuado. La gráfica 17 muestra los consumos de 2003 a 2018 presentados en el BECO.

La tabla 52 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 51.

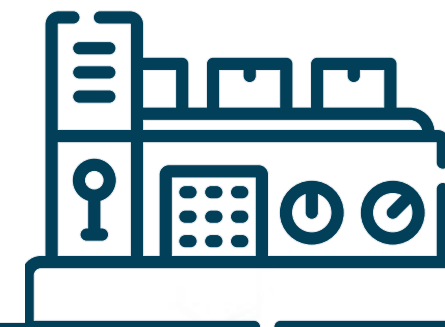
Tabla 52. Liberación de la categoría centrales eléctricas de combustibles de fósiles

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Generación de energía y calor			TJ/año	Aire	Residuo	Aire	Aire
3a	Centrales de combustibles fósiles			g EQT /año	g EQT /año	g EQT /año	g/año
	1	Calderas de energía co-alimentadas con combustible fósil y desechos		0	0	0	0
	2	Calderas de energía alimentadas con carbón	113,126	1.131	1.584	0.339	565.6
	3	Calderas de energía alimentadas con turba		0	0	0.000	0.0
	4	Calderas de energía alimentadas con combustible	6,596	0.016		0.000	0.0
	5	Calderas de energía alimentadas con esquisto bituminoso		0	0	0.000	0.0
	6	Caldera de energía alimentadas con combustibles ligeros/gas natural	175,973	0.088		0.018	8.8
Subtotal categoría				1.235	1.584	0.357	574.4

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Categoría 3b - Centrales de biomasa

En muchos países del mundo se utiliza la combustión de biomasa para la producción energía y calor, entre los combustibles utilizados se encuentran madera, ramas, cortezas, aserrín, virutas de madera, turba y/o residuos agrícolas (UNEP, 2013). En la mayoría de los casos, el combustible se quema directamente sin adición de combustibles fósiles en calderas de vapor de funcionamiento continuo, la formación de PCDD/PCDF se debe a la presencia de cloro en la herbácea utilizada como combustible.

Debido a que los procesos de producción de energía a partir de biomasa pueden variar debido al tipo de combustible por ello el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales dependiendo del tipo combustible ver tabla 53.

Tabla 53. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3b Plantas de energía a biomasa

3b	Plantas de energía a biomasa	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (μg EQT/T) biomasa quemada	Factores de emisión (μg EQT/T) biomasa quemada	Factores de emisión (μg EQT/T) biomasa quemada	Factores de emisión (μg /T) biomasa quemada
Clase		Aire	Residuo*	Aire	Aire
1	Calderas a biomasa mixta	500	ND	ND	ND
2	Calderas a madera limpia	50	15	25	10,000
3	Calderas a paja	50	70	ND	ND
4	Calderas a bagazo, cáscaras de arroz, etc.	50**	50	ND	ND

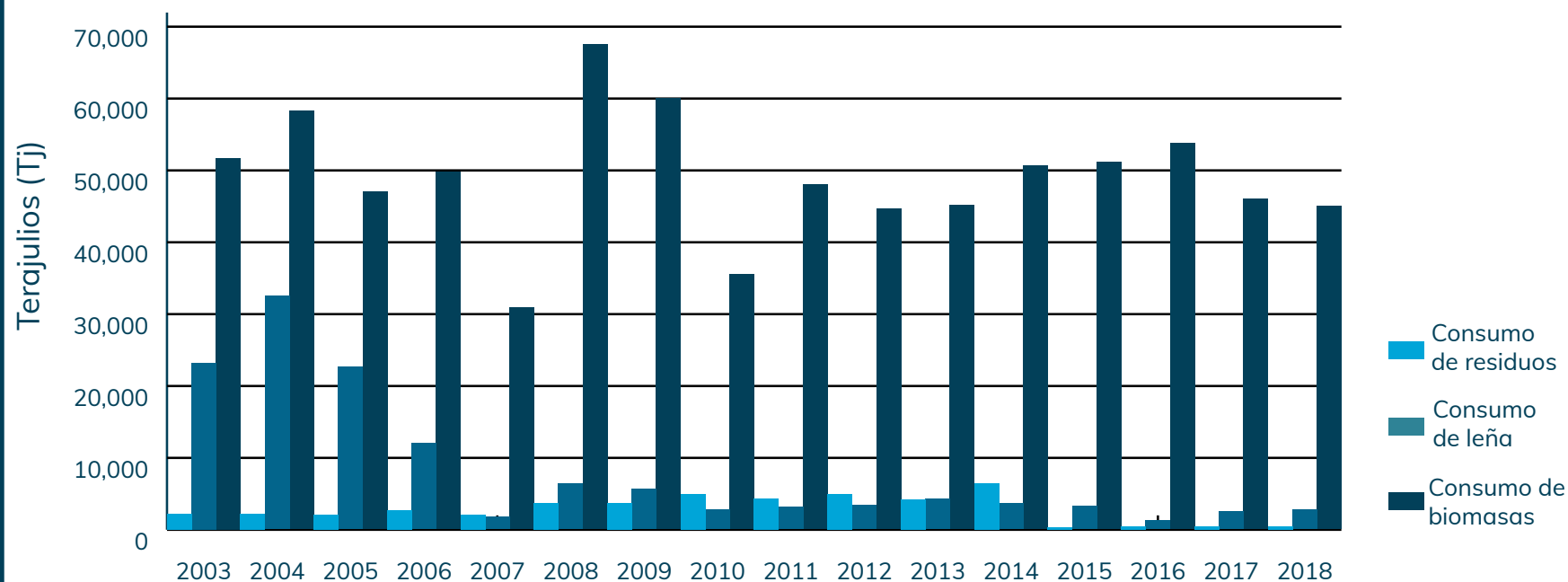
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

*Total de cenizas de fondo y cenizas volantes.** Estimación basada en la combustión de paja, Tailandia: Instalación con SCCA (ESP, ciclones, depuradores Venturi): ca. 20 μg EQT/TJ.

Situación en Colombia

De acuerdo con los datos registrados en el BECO, en el país se realiza la generación de energía eléctrica a partir de combustibles de biomasa especialmente en los sectores industrial y agrícola a partir del uso de bagazo, leña y recuperación de residuos (UPME, 2017).

Gráfica 18. Consumos de biomasa para generación de energía



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a las clases utilizadas en la actualización del inventario se emplearon la clase 1, calderas alimentadas con biomasa mixta a partir de los registrados por recuperación de residuos del BECO; en la clase 2 los consumos de leña registrados en el BECO y clase 4 con los consumos de bagazo⁹⁴ del BECO, cuesco de palma de aceite⁹⁵, tamo y cascarilla de arroz⁹⁶. La gráfica 18 presenta los consumos consolidados de 2003 a 2018.

⁹⁴ Capacidad calorífica aportada por Cenicaña 8,500 KJ/kg.

⁹⁵ El uso de cuesco de palma para esta actividad fueron estimados a partir de los factores residuales y potenciales energéticos registrados en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UMPE, 2011). Adicionalmente, en campo se encontró que el 77% de la biomasa residual es quemada en calderas, el 12% va a compostaje y el 10% se lleva a campo abierto.

⁹⁶ El uso de tamo y cascarilla de arroz para esta actividad fueron estimados a partir de los factores residuales y potenciales energéticos registrados en el Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia (UMPE, 2011). Adicionalmente, se encontró que el uso de tamo y cascarilla en calderas varía según la región, por ejemplo, para cascarilla en los llanos orientales se estima que el 5% se utiliza como combustible y el restante no se tiene claro el destino final (CAIA, 2019). En cuanto al uso de tamo en el Meta, se estima que el 5% es utilizado como biocombustible y el restante es devuelto al suelo o es quemado en campo abierto. Por otro lado, se encontró que en Norte de Santander el 10% del tamo es aprovechado como combustible y el resto es comercializado (CAIA, 2019).

En cuanto al uso de biomasa residual especialmente en los sectores de la caña de azúcar⁹⁷ y palma de aceite⁹⁸, se consumen directa y mayoritariamente en calderas como combustible para generar vapor, satisfaciendo así los requerimientos energéticos de los procesos de cogeneración apoyados en sistemas clásicos de combustión, las cuales producen energías térmicas y eléctricas, produciendo los siguientes beneficios: disminución en los consumos de combustibles fósiles como reducción en la emisión de GEI, disminución en los costos asociados a la compra de electricidad y ganancias a partir de la venta de energía eléctrica a terceros cuando existen excedentes (Minagricultura, 2020). Presentándose como una opción viable de producir energía en el país, en especial en zonas remotas, no conectadas al sistema interconectado nacional y de accesos complicados (Minagricultura, 2020).

La tabla 54 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 53.

⁹⁷ Actualmente, la industria de la caña cuenta con alrededor de 230,000 hectáreas sembradas en el Valle del Río Cauca y en el departamento del Meta, que suministra materia prima a los ingenios azucareros y por ende de producción de biocombustibles, que para el caso de la caña de azúcar corresponde a etanol y para palma a biodiésel.

⁹⁸ En el caso de la industria de la palma, hacia el año 2019 se contaba con alrededor de 450.000 hectáreas sembradas, distribuidas principalmente en tres diferentes zonas del país, que alimentan plantas extractoras de aceite (plantas de beneficio) con capacidades de procesamiento variables de 5 a 60 t/h de fruto, para obtener dos subproductos principales, aceite crudo de palma y aceite crudo de palmiste, que son la base de productos de alto valor agregado como: aceites para fines alimenticios, biodiésel, glicerina y químicos de especialidad.

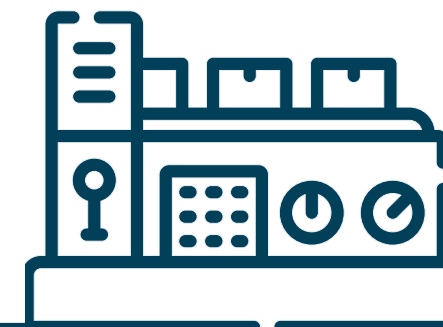
Tabla 54. Liberación de la categoría centrales eléctricas de centrales de biomasa

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Generación de energía y calor			TJ/año	Aire	Residuo	Aire	Aire
3b	Centrales de biomasa			g EQT /año	g EQT /año	g EQT /año	g /año
	1	Calderas de energía alimentadas con biomasa mixta	375	0.188	No aplica	0	0
	2	Calderas de energía alimentadas con madera limpia	2,637.70	0.132	0.04	0.066	26.4
	3	Calderas alimentadas con paja		0	0	0	0
	4	Calderas alimentadas con bagazo, cáscara de arroz, etc.	44,882.20	2.244	2.244	0	0
Subtotal categoría				2.563	2.244	0.066	26.4

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Categoría 3c - Combustión de biogás de rellenos sanitarios

El gas de rellenos sanitarios o vertederos, y el biogás se generan ambos de la digestión anaerobia de la materia orgánica, este gas está compuesto por una mezcla de monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, amoníaco, y fracciones más pequeñas de gases combustibles, así como una gran fracción de agua (UNEP, 2013). La combustión de este gas para la generación de energía se produce principalmente en calderas de gas o motores de gas/turbinas sin dejar ningún tipo de residuo (UNEP, 2013). El gas de relleno sanitario puede tener contaminantes de compuestos volátiles de los residuos que lo rodean, lo que produce altas emisiones de COP (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de combustión de biogás pueden producir el contaminante, el Toolkit 2013 lo incluye en una única clase de liberación de COP no intencionales (ver tabla 55).

Tabla 55. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3c Combustión de biogás de relleno sanitario

3c	Combustión de biogás de relleno sanitario	PCDD/PCDF	PCB	HCB
		Factores de emisión (μg EQT/TJ gas quemado)	Factores de emisión (μg EQT/TJ gas quemado)	Factores de emisión (μg /TJ gas quemado)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	Calderas, motores/turbinas, llamas ⁹⁹	8	4	500

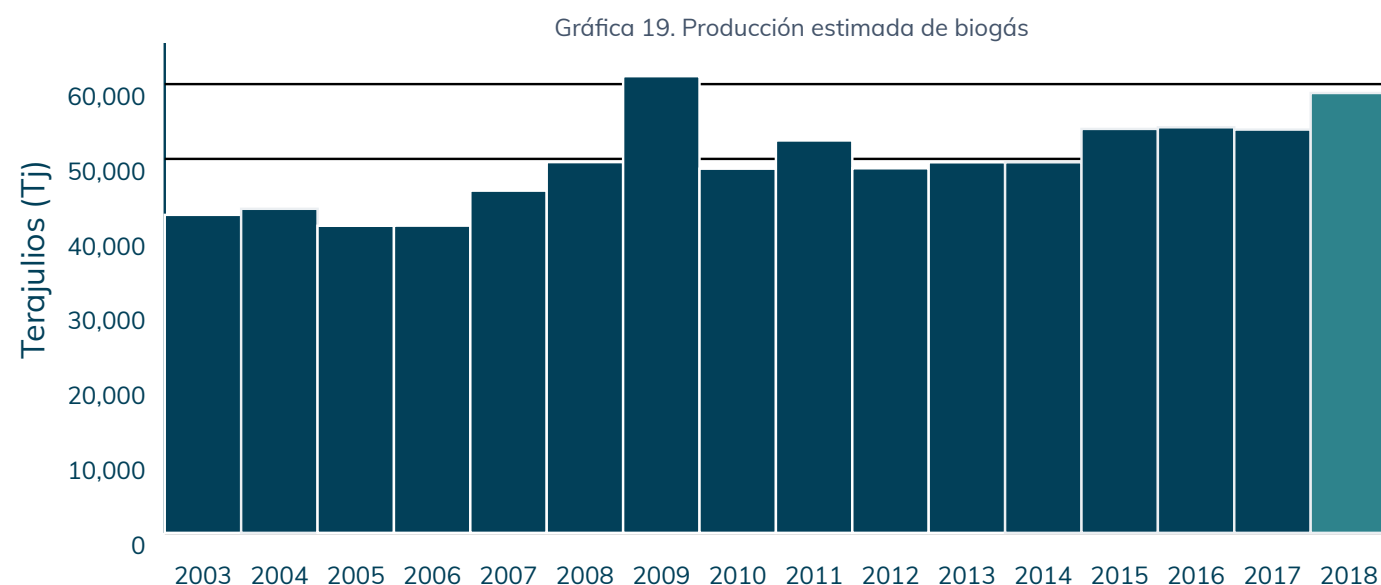
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

⁹⁹ La clase 1 comprende la combustión del biogás resultante de la digestión anaeróbica (véase más arriba).

Situación en Colombia

En Colombia el principal sistema de tratamiento de residuos sólidos son los rellenos sanitarios (Superservicios, 2019). De acuerdo con datos del Sistema Único de Información-SUI, a la fecha no es posible establecer una producción nacional de biogás (Superservicios, 2019), sin embargo, diferentes estudios concluyen que aproximadamente una tonelada de residuo dispuesta en el país genera 150m³ de metano (Camacho, 2006).

Actualmente en el país, en la gran mayoría de los rellenos no se está aprovechando el biogás producido, por lo tanto, se quema en teas o antorchas. La gráfica 19 presenta el estimativo de energía generada a partir de la quema de biogás producido en los rellenos sanitarios del país desde el año 2003 a 2018.



Fuente: elaboración propia a partir de información secundaria.

Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 56 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 55.

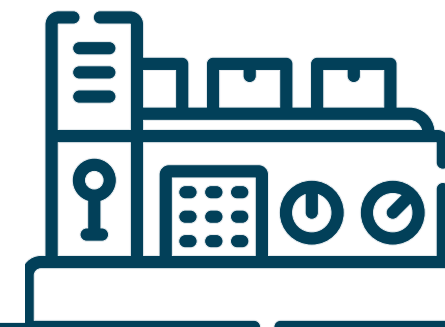
Tabla 56. Liberación de la categoría combustión de biogás

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Libe- ración anual	Liberación anual
Generación de energía y calor			TJ gas quemado /año	Aire	Aire	Aire
3c	Combustión de biogás de vertederos			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año
	1	Calderas, motores/turbinas y antorchas que queman biogás/gas de vertederos	58,809	0.47	0.235	29.4
Subtotal categoría				0.470	0.235	29.4

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Categoría 3d - Combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica

La práctica de calentar y cocinar con leña o biomasa en los hogares residenciales es una práctica común en muchos países. Sin embargo, de país a país varía principalmente en dos aspectos: i) según el tipo de combustible, existe una gran variedad que va desde el uso de carbón hasta el uso de diferentes tipos de biomasa y ii) en cuanto a los dispositivos tecnológicos se puede presentar la cocción de alimentos en estufas o a fuego abierto, de tres o más piedras. Por otro lado, los PCDD/PCDF se forman como resultado de una combustión incompleta, típica de estos pequeños dispositivos sin controles de combustión, o con controles limitados de las emisiones dependiendo fuertemente de la calidad del combustible (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de calefacción y cocina doméstica con biomasa puede variar por el tipo de combustible y tecnología, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales ver tabla 57.

Tabla 57. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3d Calefacción y cocina doméstica con biomasa

3d	Calefacción y cocina doméstica con biomasa	PCDD/PCDF		PCB		HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/TJ biomasa quemada)		Factores de emisión (µg EQT/TJ biomasa quemada)		Factores de emisión (µg /TJ biomasa quemada)	Factores de emisión (µg/ TJ biomasa quemada)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Estufas de biomasa contaminada ¹⁰⁰	1,500	1,000	1,500	ND	ND	ND
2	Estufas de biomasa virgen (tecnología avanzada) ¹⁰¹	100	10	10	ND	1,000	500
3	Estufas a paja ¹⁰²	450	30	30	ND	30,000	3,000
4	Estufas a carbón ¹⁰³	100*	0.1	ND	ND	ND	ND
5	Estufas de fuego abierto de tres piedras (madera virgen) ¹⁰⁴	20**	0.1	ND	0.1	ND	ND
6	Estufas sencillas (madera virgen) ¹⁰⁵	100	0.1	10	0.1	1,000	500

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

* Estimación preliminar de expertos; no se incluyen las emisiones de barbacoas. ** Estimación de expertos derivada de un estudio de campo en México (Cárdenas y col. 2011).

100 La clase 1 incluye todos los tipos de estufas alimentadas con biomasa contaminada, como residuos de madera, madera pintada, etc. Las emisiones reales dependerán del grado de contaminación y las condiciones de combustión.

101 La clase 2 comprende hornos y estufas con suministro de aire controlado y condiciones de combustión optimizadas, con combustión de madera virgen. Esta clase generalmente se aplica a la calefacción residencial con biomasa de los aparatos modernos. De hornos automáticos que utilizan virutas de madera o pellets se esperan emisiones menores.

102 La clase 3 se aplica a todos los tipos de la combustión doméstica que usan biomasa herbácea, p. ej., paja, como combustible. En el caso de combustibles mixtos (por ejemplo, madera y paja), se aplicará la clase con el factor de emisión más alta.

103 La clase 4 se aplica a todos los tipos de combustión doméstica que usan carbón como combustible.

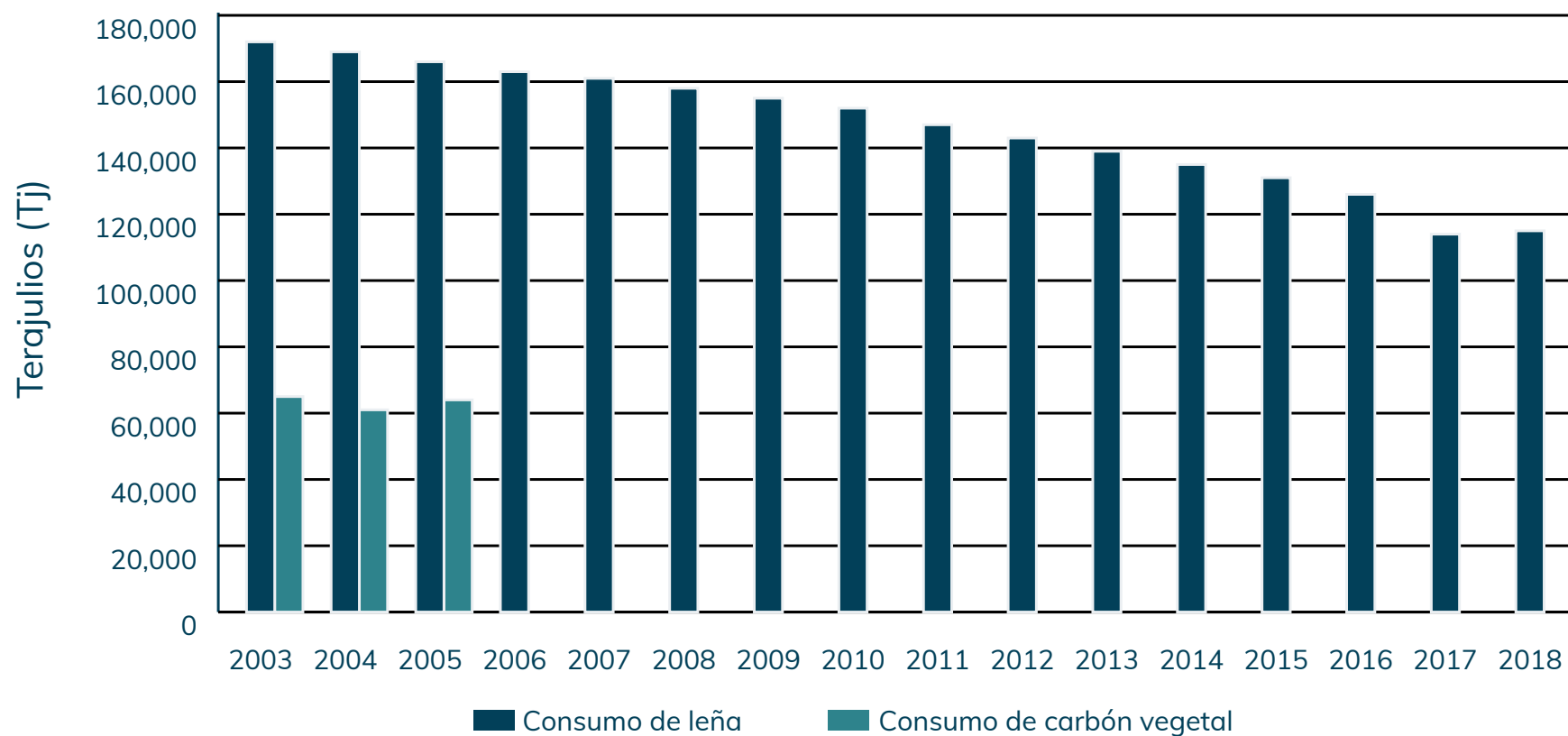
104 La clase 5 se aplica a la combustión residencial de madera sin control de las condiciones de combustión, y sin conductos para la evacuación de los gases de combustión. Las estufas tradicionales de tres piedras son un ejemplo típico.

105 La clase 6 se aplica a las estufas simples para calentar o cocinar, con control limitado de combustión y con un conducto para la evacuación de los gases de combustión.

Situación en Colombia

En el país, de acuerdo con los datos registrados en el BECO, en el sector residencial se realizan consumo de carbón vegetal y leña para calefacción y cocción de alimentos. En cuanto a los consumos de estos combustibles, la gráfica 20 presenta los datos para los años 2003 a 2018.

Gráfica 20. Producción de energía para calefacción y cocina doméstica con biomasa



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionada y liberación 2018

En cuanto a las clases utilizadas en la actualización del inventario se utilizaron la clase 2 estufas alimentadas de biomasa virgen. Debido a que el consumo de carbón vegetal cesó en 2005, no se tuvieron en cuenta más clases. Igualmente, se estimó que del peso total de la leña aproximadamente el 3% del queda como ceniza.

La tabla 58 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 58.

Tabla 58. Liberación de la categoría combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica

Cat	Cla	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF							
				Factor de emisión Toolkit 2013 (µg EQT/Tonelada)		Factor de emisión Colombia (µg EQT/Toneladas)		Liberación anual Toolkit 2013		Liberación anual Colombia	
			TJ/año	Aire (µg EQT/TJ)	Ceniza (µg EQT/tonelada ceniza)	Aire (µg EQT/TJ)	Ceniza (µg EQT /tonelada ceniza)	Aire g EQT/ año	Residuo como ceniza g EQT/ año	Aire g EQT/ año	Residuo como ceniza g EQT/ año
Generación de energía y calor											
3d	Combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica										
	1	Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminada		1,500	1,000	1,500	1,000	0	0	0	0
	2	Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen	115,361	100	10	10	1	11.54	1.84	1.154	0.184
	3	Estufas alimentadas con paja		450	30	450	30	0	0	0	0
	4	Estufas alimentadas con carbón vegetal		100	0.1	100	0.1	0	0	0	0
	5	Fogón abierto (3 piedras) alimentado con madera virgen		20	0.1	20	0.1	0	0	0	0
	6	Estufas simples alimentadas con madera virgen		100	0.1	100	0.1	0	0	0	0
Subtotal categoría								11.54	1.874	1.154	0.184

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Cat	Cla	Categoría de fuentes	Producción	PCB		HCB	PeCB
				Aire	Residuo	Aire	Aire
Generación de energía y calor			TJ/año	Aire	Residuo	Aire	Aire
3d	Combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica			g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
	1	Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminada		0	0	0	0
	2	Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen	115,361	1.154	0	115.4	57.7
	3	Estufas alimentadas con paja		0	0	0	0
	4	Estufas alimentadas con carbón vegetal		0	0	0	0
	5	Fogón abierto (3 piedras) alimentado con madera virgen		0	0	0	0
	6	Estufas simples alimentadas con madera virgen		0	0	0	0
Subtotal categoría				1.154	0	115.4	57.7

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

En cuanto a los factores de emisión correspondientes a la clase 3 d2. Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realizó mediciones de estos contaminantes en emisiones y cenizas resultantes de la combustión de madera virgen en seis estufas rurales a lo largo del país, lo cual permitió determinar factores de emisión nacionales para esta categoría. Como resultado, se observó que los factores del emisión Convenio en el Toolkit 2013 son aproximadamente 10 veces mayores a los medidos en campo. Para mayor información, revisar Anexo 3, “Informe de resultados de emisiones de dioxinas y furanos por quema de biomasa en estufas de leña abril 2019”.

Por lo tanto, para el presente proceso de actualización del inventario nacional se asumen los valores estimados por medio de los factores de emisión nacionales ver tabla 58.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 3 - Generación de Energía y Calor

Categoría 3e - Calefacción doméstica con combustibles fósiles

Los combustibles de fósiles se utilizan extensamente para la calefacción doméstica especialmente en los países desarrollados y países con economía en transición. Entre los combustibles más utilizados se encuentra carbón, combustible ligero, petróleo y gas natural. En cuanto a los hornos, en la mayoría de los casos se evidencia que están bien manejados y mantenidos para maximizar el calor (UNEP, 2013). La liberación de PCDD/PCDF al igual que la anterior categoría varía principalmente por el tipo de combustible utilizado.

Debido a que los procesos de calefacción y cocina doméstica con combustibles fósiles puede variar por el tipo de combustible, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en seis clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 59).

Tabla 59. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 3e Calefacción y cocina doméstica con combustibles fósiles

3e	Calefacción doméstica con combustibles fósiles	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (μg EQT/TJ biomasa quemada)		Factores de emisión (μg EQT/TJ biomasa quemada)	Factores de emisión (μg /TJ biomasa quemada)	Factores de emisión (μg /TJ biomasa quemada)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire	Aire
1	Estufas de coprocesamiento de carbón con alto contenido de cloro/residuos/biomasa ¹⁰⁶	1,700*	5,000	20	500,000	150,000
2	Estufas de carbón/residuos/biomasa ¹⁰⁷	200	NA	ND	ND	ND
3	Estufas a carbón ¹⁰⁸	100	5	0.3	700	300
4	Estufas a hulla ¹⁰⁹	100	NA	ND	ND	ND
5	Estufas a petróleo ¹¹⁰	10	NA	ND	100	ND
6	Estufas a gas natural ¹¹¹	1.5	NA	ND	50	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

106 La clase 1 se aplica a las estufas domésticas alimentadas con hulla con alto contenido de cloro (contenido de sal de cloro por encima de 0.5 % en masa). El alto contenido de sales de cloro es una característica específica de ciertos carbones nacionales. La información sobre las propiedades de los carbones y briquetas comercializados en un país para uso doméstico debe ser tomada en cuenta.

107 La clase 2 se aplica a las estufas domésticas que utilizan combustibles sólidos mixtos. En la mayoría de los casos, esta categoría se aplica a la cocción simultánea o alterna de carbón y biomasa. Sin embargo, el coprocesamiento de residuos en aparatos residenciales es una práctica ilegal en muchos países.

108 La clase 3 se aplica a las estufas domésticas, hornos y calderas de carbón o de briquetas de carbón con bajo contenido de cloro.

109 La clase 4 se aplica a las estufas domésticas, hornos y calderas de turba. El uso de la turba como combustible en el sector residencial está estrechamente vinculado a su disponibilidad local.

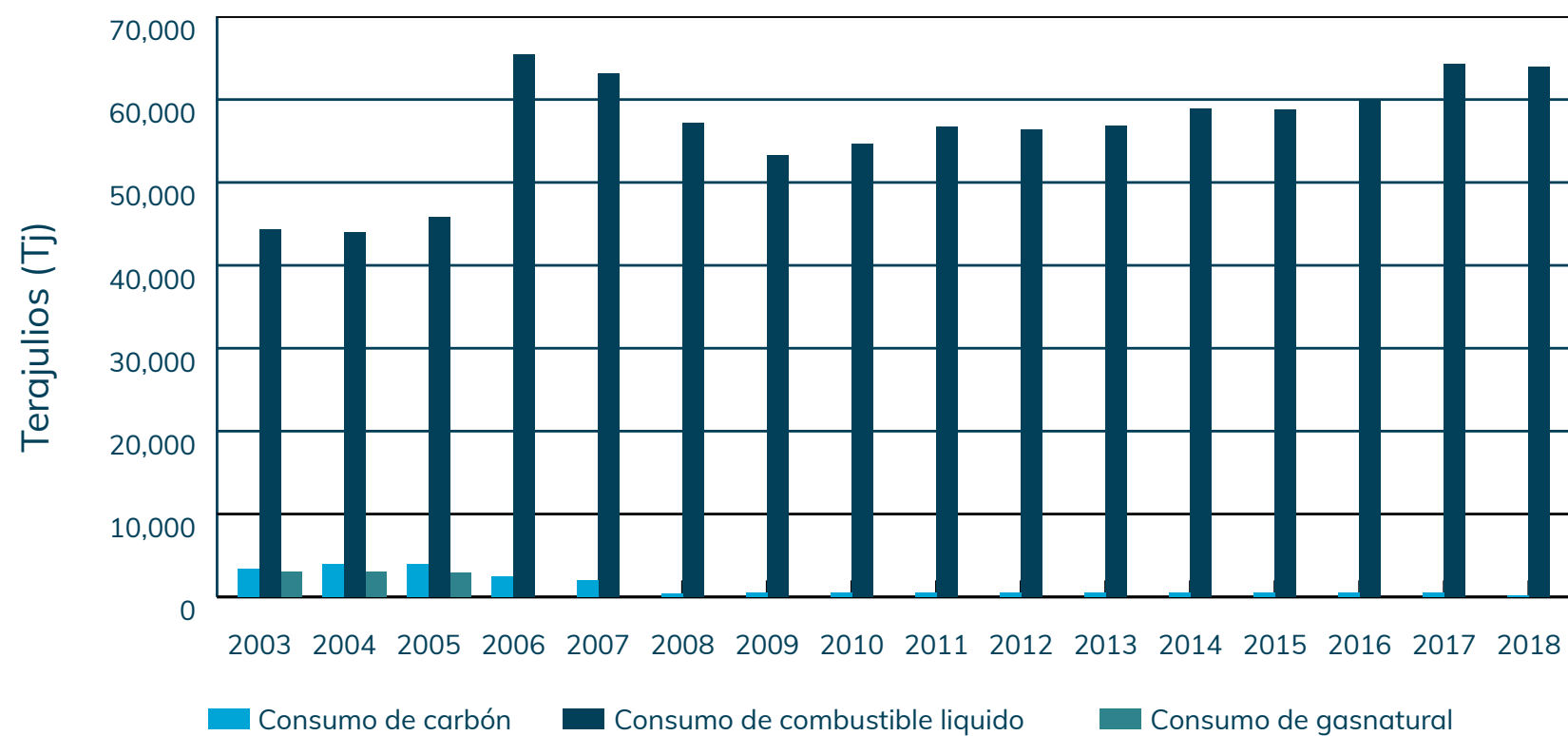
110 La clase 5 se aplica a las estufas domésticas, hornos y calderas de fuel-oil ligero. El empleo de fracciones pesadas del petróleo en el sector residencial está a menudo prohibido.

111 La clase 6 se aplica a las estufas domésticas, hornos y calderas de gas natural. El mismo factor puede ser aplicado al gas de petróleo ligero y fracciones similares.

Situación en Colombia

En el país, de acuerdo con los datos registrados en el BECO, en el sector residencial se realiza consumo de carbón mineral, gas natural, gas licuado, gasolina y keroseno para calefacción y cocción de alimentos. En cuanto a los consumos de estos combustibles, la gráfica 21 presenta los datos para los años 2003 a 2018.

Gráfica 21. Producción de energía para calefacción y cocina domésticas con combustibles fósiles



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

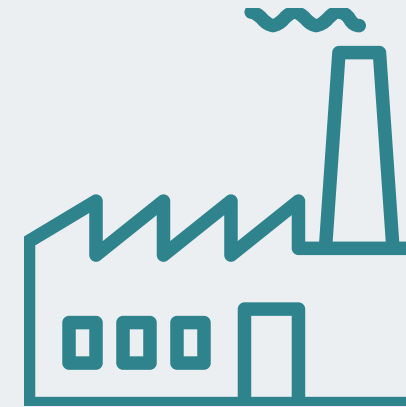
En cuanto a la actualización del inventario, se utilizó la clase 6, estufas alimentadas con gas natural o GLP, debido a que el consumo de carbón y combustibles líquidos cesó en 2005. La tabla 60 presenta la cuantificación de liberaciones de COP no intencionales para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 59.

Tabla 60. Liberación de la categoría uso de combustibles fósiles para calefacción y cocina doméstica

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB	PeCB
				Aire	Residuo como ceniza	Aire	Aire	Aire
Generación de energía y calor			TJ/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT /año	g /año	g /año
3e	Combustión de biomasa para calefacción y cocina doméstica							
	1	Estufas co-alimentadas con carbón con alto contenido de cloro/residuos/biomasa		0	0	0	0	0
	2	Estufas co-alimentadas carbón/residuos/biomasa		0	0	0	0	0
	3	Estufas alimentadas con carbón		0	0	0	0	0
	4	Estufas alimentadas con turba		0	0	0	0	0
	5	Estufas alimentadas con combustible líquido	184	0.002	0	0	0.0	0
	6	Estufas alimentadas con gas natural y/o GLP	63,992	0.096	0	0	3.2	0
Subtotal categoría				0.098	0	0	3.2	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



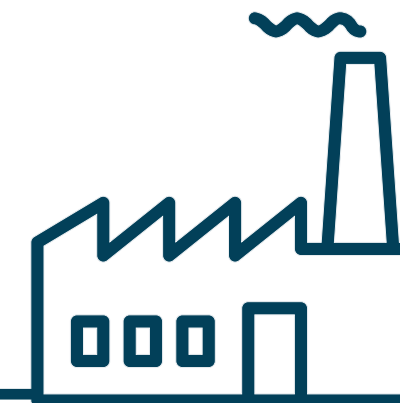


4.4 Grupo 4 - Producción de productos minerales

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4 a - Producción de cemento



Las principales materias primas para la producción de cemento son la arcilla y la piedra caliza. Hay cuatro rutas principales de proceso para la fabricación de cemento: proceso seco, semisecho, semihúmedo y húmedo (UNEP, 2013). Estos procesos se describen en detalle en las Directrices de MTD y MPA (ver sección 2.4).

Los hornos de cemento modernos utilizan con frecuencia el proceso seco, en el que las materias primas se pueden precalentar en un precalentador de ciclones múltiples dispuestos verticalmente, en el que los gases calientes ascendentes que salen del horno entran en contacto con las materias primas que fluyen hacia abajo (UNEP, 2013). Algunos procesos en seco utilizan también una fase de precalcinado justo antes de que la materia prima entre en el horno (UNEP, 2013). El uso del proceso húmedo, en el que la mezcla molida se mezcla con agua y se introduce en el horno, utiliza alrededor de 40% más energía que el proceso seco (UNEP, 2013). Los procesos semi-secos y semi-húmedos utilizan precalentadores de rejillas, también conocidas como hornos Lepol (UNEP, 2013).

Los combustibles más frecuentemente utilizados son el carbón, aceite, el gas o petcoke. En muchos casos, también se emplea una serie de combustibles alternativos, derivados de residuos de alto poder calorífico, como complemento a los combustibles fósiles (UNEP, 2013). Los residuos pueden ser: aceites usados, disolventes, harinas animales, algunos residuos industriales, y en algunos casos residuos peligrosos (UNEP, 2013). La mayoría de ellos se queman en el extremo (caliente) del quemador del horno (UNEP, 2013). Con frecuencia se utilizan neumáticos, que se pueden introducir en el horno enteros o cortados (UNEP, 2013). En general, los hornos de cemento no generan residuos debido a que el polvo se reintroduce al proceso y las liberaciones son insignificantes. Sin embargo, por tratarse de un proceso térmico en el cual se pueden encontrar las sustancias precursoras de COP no intencionales se incluyen en el análisis.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales, ver tabla 61.

Tabla 61. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 4 a Producción de cemento

4 a	Producción de cemento	PCDD/PCDF	PCB	HCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada clinker producido)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada clinker producido)	Factores de emisión (µg/tonelada clinker producido)	Factores de emisión (µg/tonelada clinker producido)
Clase		Aire	Aire	Aire	Aire
1	Hornos de chimenea ¹¹²	5	0.01	ND	ND
2	Hornos húmedos antiguos, temperatura ESP > 300°C ¹¹³	5	ND	ND	ND
3	Hornos rotatorios, temperatura ESP/FF 200-300°C ¹¹⁴	0.6	0.05	500	ND
4	Hornos húmedos, temperatura ESP/FF < 200°C Hornos secos con precalentador, precalcinator T < 200°C ¹¹⁵	0.05	0.005	50	1,200

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

112 La clase 1 comprende hornos de chimenea.

113 La clase 2 comprende hornos húmedos antiguos y con colectores de polvo que funcionan a temperaturas superiores a 300°C.

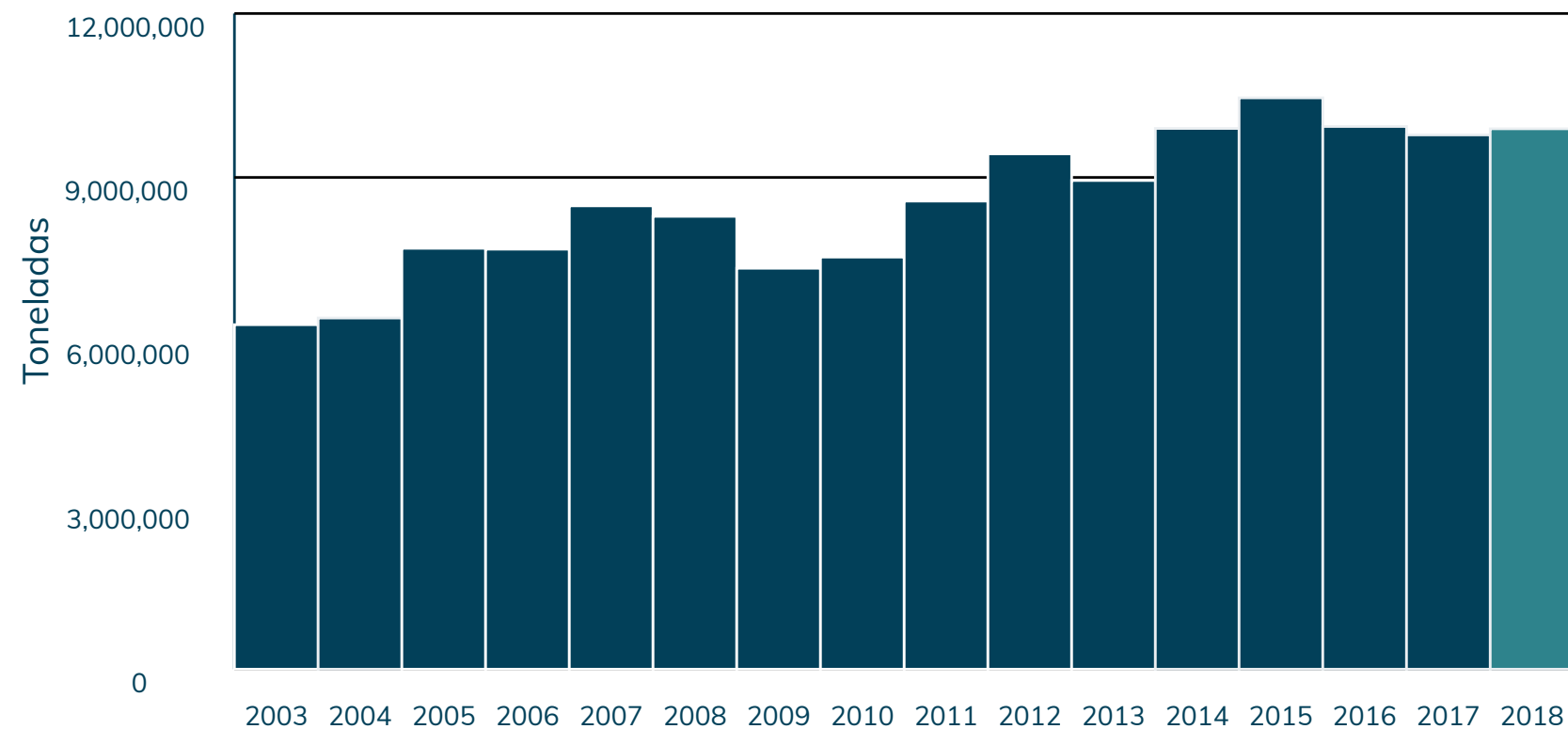
114 La clase 3 incluye hornos rotativos modernos, en los que el colector de polvo está entre 200°C y 300°C.

115 La clase 4 incluye plantas modernas en las que la temperatura del colector de polvo se mantiene por debajo de 200°C.

Situación en Colombia

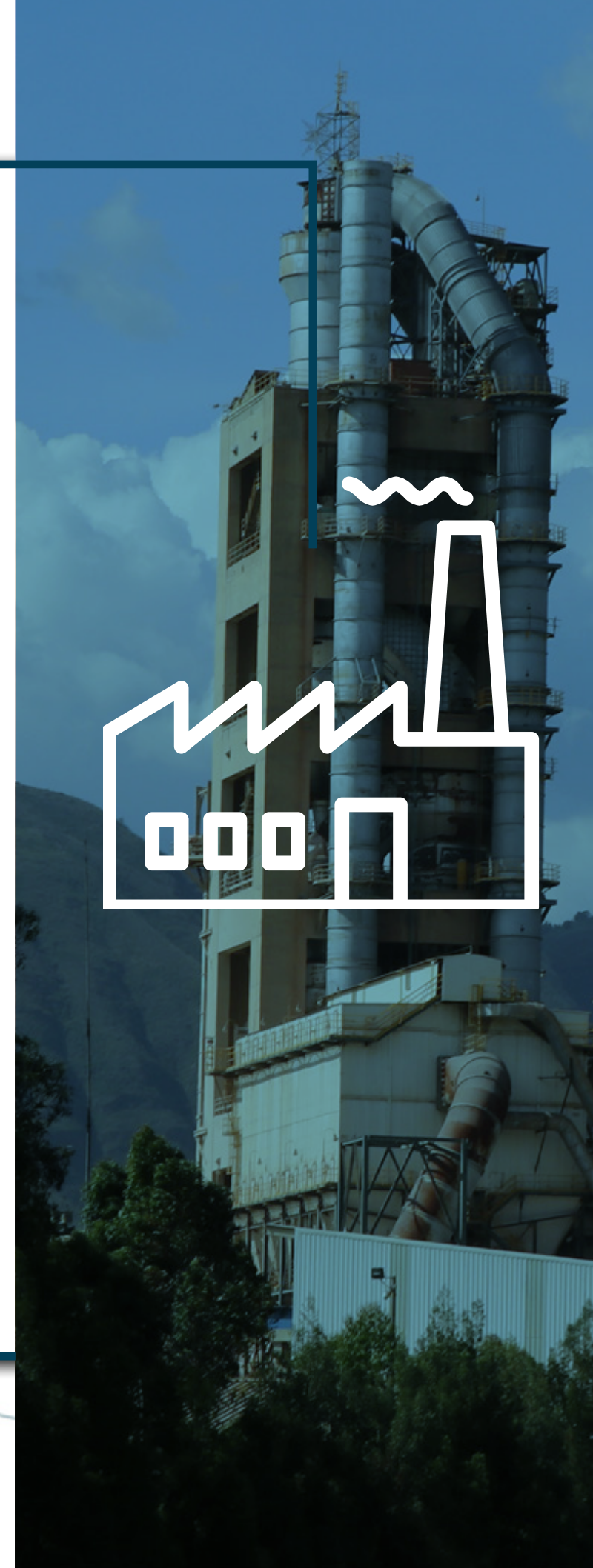
En Colombia de acuerdo a las estadísticas presentadas por el análisis minero sobre “Producción de Cemento, Clínker y Caliza Cementera” (Minminas, 2020). La producción de clínker viene en acenso (ver gráfica 22).

Gráfica 22. Producción nacional de clínker



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.

Al año 2020 hay 7 empresas que operan hornos de producción de cemento, cuyas plantas se ubican en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander, Santander, Sucre, Tolima y Valle del Cauca (Asocreto, 2020).



Clases seleccionadas y liberación 2018

Actualmente, en Colombia funcionan hornos húmedos, semihúmedos y/o secos, en los cuales en la salida de los gases del horno se aplican corrientes de aire fresco y aplican diferentes tecnologías para reducir la temperatura del producto hasta una temperatura entre 200 y 800°C (Bernal & Saavedra, 2008). Respecto a los sistemas de control de emisiones, las plantas del país disponen de filtros de mangas y/o precipitadores electrostáticos.

En este caso, se aplicó toda la producción del año 2018 bajo la clase 3 y 4. Según lo expuesto anteriormente, los resultados de emisión de PCDD/PCDF se presentan en la tabla 62, utilizando los factores de emisión de la tabla 61.

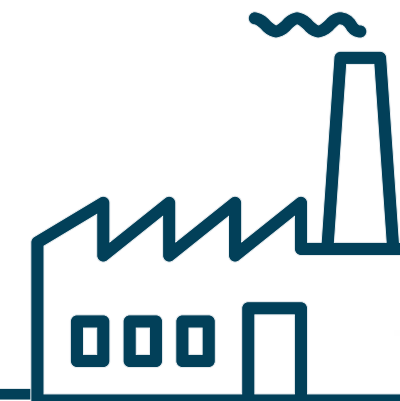
Tabla 62. Liberación de la categoría producción de cemento

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	PCB	HCB	PeCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de productos minerales			Toneladas/año	Aire	Aire	Aire	Aire
4a	Hornos de cemento			g EQT/año	g EQT/año	g /año	g /año
	1	Hornos de eje vertical		0	0	0	0
	2	Hornos antiguos vía húmeda, temperatura PES >300 °C		0	0	0	0
	3	Hornos vía húmeda, temperatura PES/FT 200 a 300 °C	4,386,113	2.632	0.219	2,193.1	0
	4	Hornos vía húmeda, temperatura PES/FT <200 °C y todo tipo de hornos vía seca con precalentador /precalcinador, T<200 °C	5,504,000	0.275	0.028	275.2	6,604.8
Subtotal categoría				2.907	0.247	2,468.3	6,604.8

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4b - Producción de cal

La producción de cal es el proceso por medio del cual se transforma la piedra caliza en hornos con una temperatura entre 900 y 1500°C en: cal viva la cual es óxido de calcio (CaO) producido por la descarbonatación de la caliza (CaCO₃) y cal apagada, que es cal viva con cierto contenido de agua y se compone principalmente de hidróxido de calcio-Ca(OH)₂. Este insumo es utilizado principalmente en industrias del acero, la construcción, la pulpa y el azúcar (UNEP, 2013).

La mayor liberación de PCDD/PCDF se puede dar en hornos en los cuales se posee una combustión deficiente y con sistemas de control de emisiones inexistente (UNEP, 2013).

Debido a que el nivel tecnológico en la producción de cal puede variar entre los países, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 63).

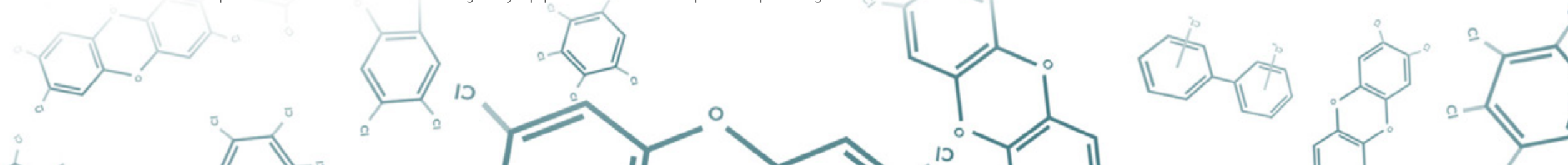
Tabla 63. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuente 4b Producción de cal

4 b	Producción de Cal	PCDD/PCDF	PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada producción de cal)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada producción de cal)	Factores de emisión (µg /tonelada producción de cal)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	Sin control de polvo, o combustibles pobres, contaminados ¹¹⁶	10		
2	Producción de cal usando reducción de polvo ¹¹⁷	0.07	0.03	10

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

116
117

La clase 1 comprende plantas con una combustión deficiente, y sistemas de limpieza de gases simples o inexistentes.
La clase 2 comprende los hornos de alta eficiencia energética y equipados con filtros de tela para la limpieza de gases.

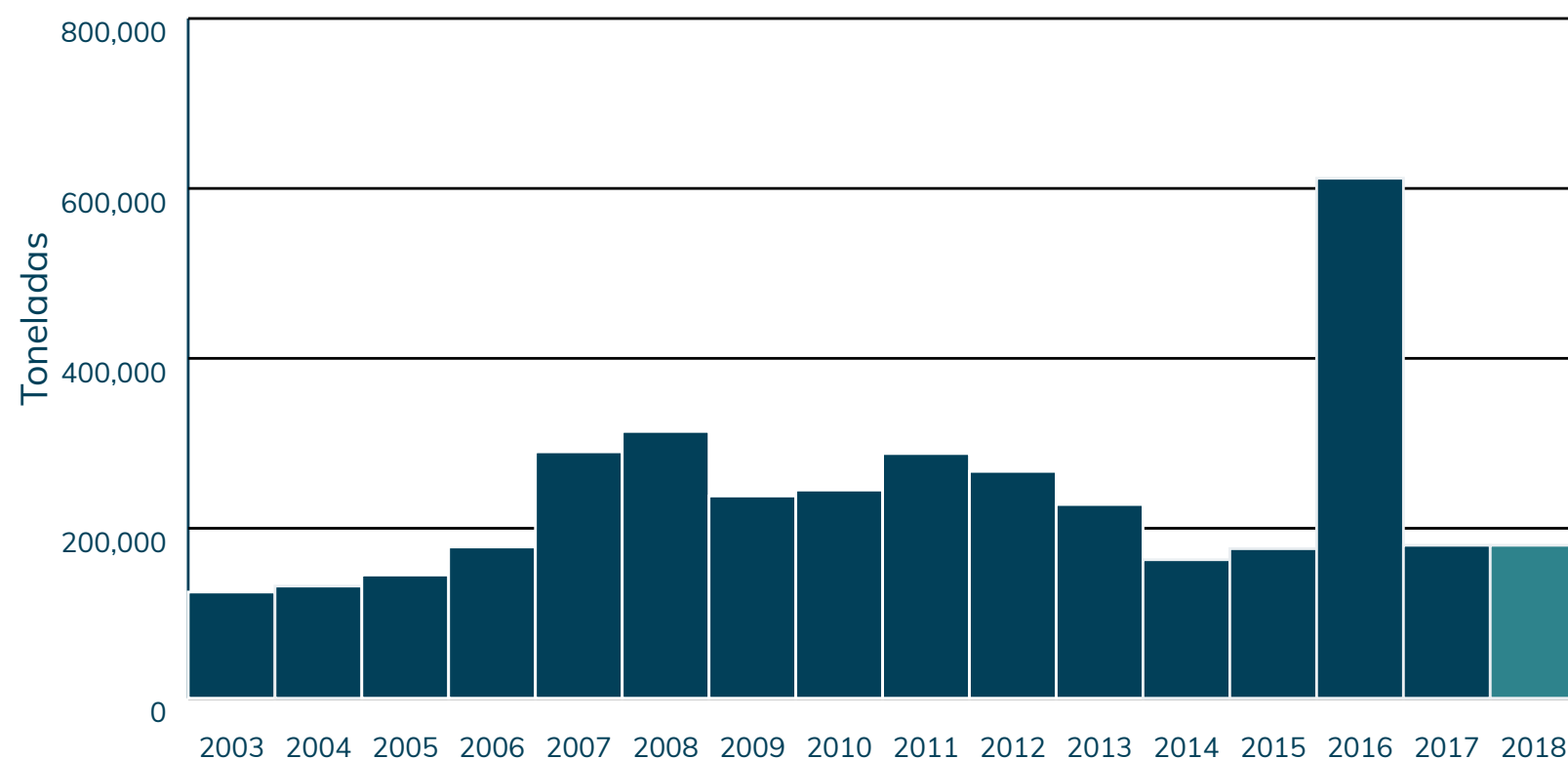


Situación en Colombia

En Colombia aproximadamente el 98% de la caliza extraída se destina a la producción de cemento y el 2% restante se utiliza en la industria siderúrgica, fabricación de cal viva o apagada y como roca ornamental en la construcción (ANM, 2017). La gráfica 25 presenta los datos de producción de cal reportados por la EAM desde el año 2003 a 2018.

La producción de caliza se realiza en 17 departamentos, sin embargo, las mayores producciones se realizan en Bolívar, Boyacá, Tolima y Valle del Cauca (ANM, 2017)

Gráfica 25. Producción nacional de cal



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.

La producción de caliza se realiza en 17 departamentos, sin embargo, las mayores producciones se realizan en Bolívar, Boyacá, Tolima y Valle del Cauca (ANM, 2017)



Clases seleccionadas y liberación 2018

Actualmente la producción de cal en el país ha estado migrando de uso de carbón a un combustible menos contaminante como el coque, sin embargo, muy pocas calderas en el país cuentan con sistemas de control de emisiones.

En este caso, se aplicó toda la producción del año 2018 bajo la clase 1. Según lo expuesto anteriormente, los resultados de emisión de COP no intencionales se presentan en la tabla 64, utilizando los factores de emisión de la tabla 63.

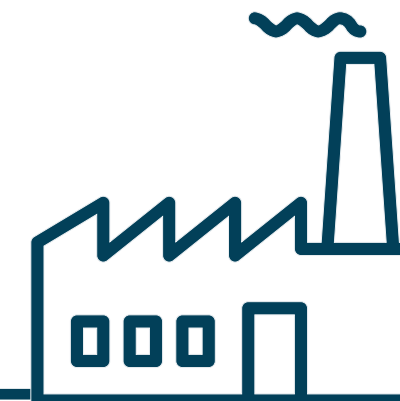
Tabla 64. Liberación de la categoría producción de cal

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	PCB	HCB	PeCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de productos minerales			Toneladas/año	Aire	Aire	Aire	Aire
4b	Cal			g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año
	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres	180,690	1.807	0	0	0
	2	Buena remoción de polvo		0	0	0	0
Subtotal categoría				1.807	0	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4c - Producción de ladrillos

El proceso de producción de ladrillo se realiza mediante la cocción de arcilla entre 24 a 48 horas según el producto final deseado en hornos que poseen una temperatura entre 800°C a 1300°C. Esta actividad es importante en países en desarrollo y emergentes (UNEP, 2013). La liberación de PCDD/PCDF aumenta según el tipo de combustible utilizado, para el caso de uso de residuos con alto valor calórico como aceite, llantas, plástico, entre otros, las liberaciones tienden a aumentar considerablemente (UNEP, 2013).

Debido a que el nivel tecnológico en la producción de ladrillo pueden variar entre los países, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 65).

Tabla 65. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 4c Producción de ladrillos

4c	Producción de ladrillos	PCDD/PCDF			PCB			HCB		
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada ladrillos producidos)			Factores de emisión (µg EQT/tonelada ladrillos producidos)			Factores de emisión (µg/tonelada ladrillos producidos)		
Clase		Aire	Producto	Residuo*	Aire	Producto	Residuo	Aire	Producto	Residuo
1	Sin reducción de emisiones, usa combustibles contaminados ¹¹⁸	0.2i	0.06iii	0.02v	0.015	0.01	0.001	225	100	1
2	Sin reducción de emisiones, usa combustibles no contaminados Con reducción de emisiones, usa cualquier tipo de combustible Sin reducción de emisiones, pero con controles de procesos de última generación ^{**119}	0.02ii	0.006iv	0.002vi	0.001	0.001	0.00004	30	20	0.2

* En países sin gestión de residuos o que no reutilizan los residuos de la fabricación de ladrillos, estos generalmente se incluyen en suelo.
 ** Para hornos de ladrillos con controles de procesos de última generación, como los de tipo Hoffmann, se ha demostrado que la co-incineración de residuos no promueve emisiones de PCDD/PCDF, en comparación al uso de carbón (Ubaque et al., 2010).
 i Confirmado/derivado de mediciones de campo en que usan aceites residuales.
 ii Confirmado/derivado de mediciones de campo en hornos mexicanos que usan madera virgen.
 iii Derivado de mediciones de campo en hornos artesanales de ladrillos que usan aceite residual.
 iv Derivado de hornos de ladrillos a carbón y madera virgen en México, Sudáfrica a escala industrial y artesanal.
 v Derivado de hornos de ladrillos artesanales mexicanos que queman combustibles contaminados.
 vi Derivado de hornos a madera virgen y carbón en México, Sud África y Kenia, a escala industrial y artesanal.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

118 Los factores de clase 1 deben aplicarse a los hornos más pequeños y menos controlados sin tecnología de limpieza de gases.

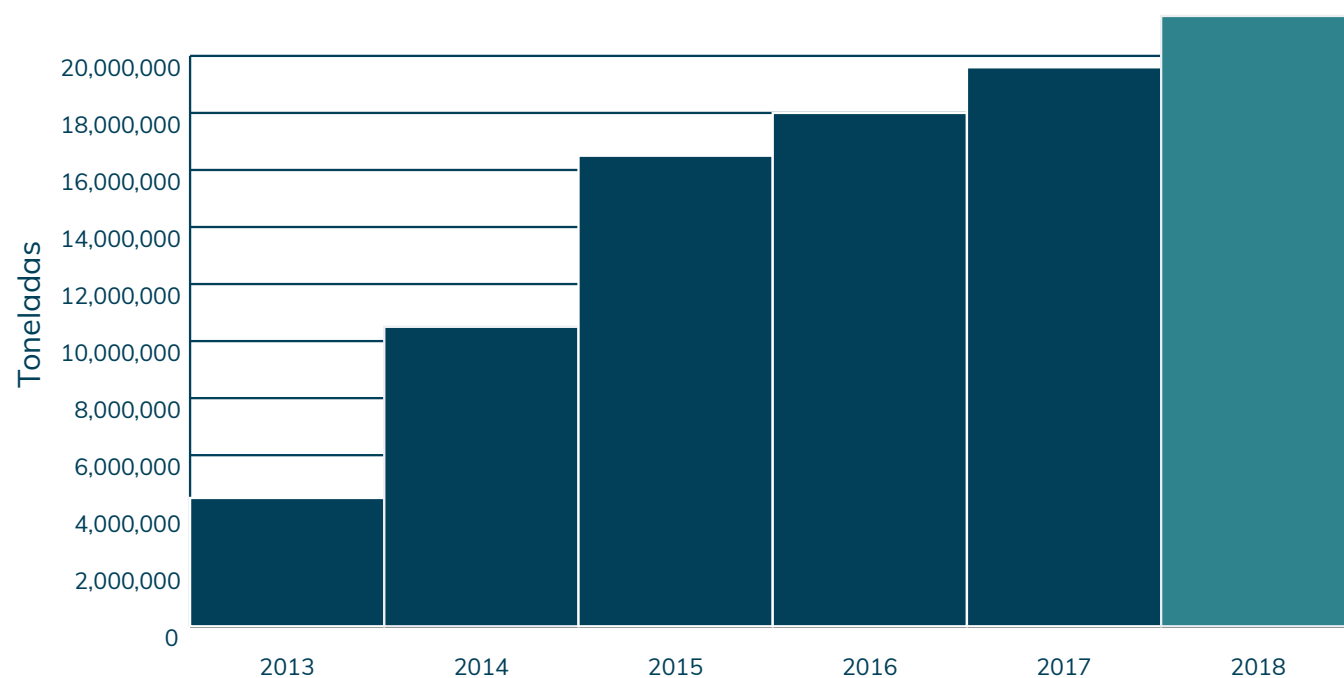
119 La clase 2 comprende las tecnologías sin reducción de emisiones que usan combustibles no contaminados, las que utilizan reducción de emisiones y cualquier tipo de combustible, y las que no tienen reducción de emisiones, pero sí controles de procesos de última generación.

Situación en Colombia

Actualmente Colombia cuenta con una infraestructura robusta para la producción de ladrillo de alta calidad, de hecho se estima que para el año 2015 existen 2,430 hornos productores (CAEM, 2016), cuya tecnología se puede categorizar en hornos artesanales, intermitentes, semi continuos y continuos (Construdata, 2012).

La industria ladrillera del país utiliza preferiblemente carbón como combustible. Se estima que una tonelada de carbón produce aproximadamente 3,250 ladrillos (Gil, Caro, Lesmes & Rincon, 2016). Se calcula que la industria ladrillera nacional, en promedio, produce 1,382,509 toneladas al mes cuya producción se centra en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Norte de Santander, Cauca y Valle del Cauca. En cuanto al tipo de industrias, se estima que del total aproximadamente el 52.4% viene de industrias grandes, medianas 24.3%, pequeñas 16.2% y artesanales 7.1% (CAEM, 2015).

Gráfica . Producción nacional de ladrillo



Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Actualmente, la normativa ambiental del país exige estándares de emisión¹²⁰ en MP, SO_x, NO_x, HCl y HF, sin embargo, no se observa que en su totalidad todos los hornos posean sistemas de control de emisiones.

En este caso, se aplicó el factor de emisión de la clase 1 para aquellas industrias artesanales y pequeñas y factor de emisión clase 2 para industrias medianas y grandes debido que pueden controlar mejor los procesos del horno. Los resultados de liberación de COP no intencionales se presentan en la tabla 66, utilizando los factores de emisión de la tabla 65.

120 Resolución 909 de 2008 o aquella que modifique o reemplace dicha norma.

Tabla 66. Liberación de la categoría producción de ladrillo

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF			PCB			HCB		
				Liberación anual			Liberación anual			Liberación anual		
Producción de productos minerales			Toneladas/ año	Aire	Producto	Residuo	Aire	Producto	Residuo	Aire	Producto	Residuo
4c	Ladrillos			g EQT / año	g EQT /año	g EQT /año	g EQT / año	g EQT/año	g EQT/año	g/año	g/año	g/año
	1	Sin tratamiento de emisiones y uso de combustibles contaminados	4,741,004	0.948	0.284	0.095	0.071	0.047	0.005	1066.7	474.1	4.7
	2	Sin tratamiento de emisiones y uso de combustibles no contaminados; con tratamiento de emisiones y uso de cualquier tipo de combustible; sin tratamiento de emisiones, pero "estado del arte" en el control de procesos.	16,483,084	0.330	0.099	0.033	0.016	0.016	0.001	494.5	329.7	3.3
Subtotal categoría				1.278	0.383	0.128	0.088	0.064	0.005	1561.2	803.8	8.0

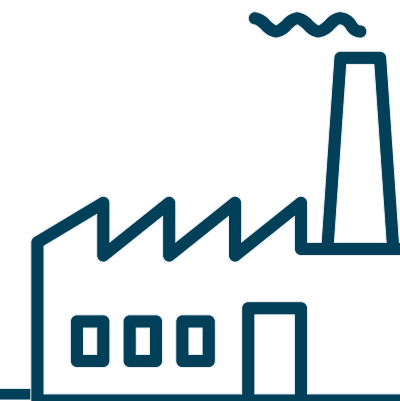
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4d - Producción de vidrio



La producción de vidrio consiste en transformar materias primas como arena, piedra caliza, dolomita, soda y en algunos casos vidrios reciclados en hornos que utilizan petróleo o gases como combustible operados continuamente o intermitentemente (UNEP, 2013).

Adicionalmente, esta industria puede usar una amplia gama de materiales adicionales para alcanzar las propiedades deseadas, tales como color, transparencia, y para purificación, en algunos casos se agregan compuestos clorados y fluorados los cuales pueden ayudar a la formación de PCDD/PCDF (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 67).

Tabla 67. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 4d Producción de vidrio

4d	Producción de vidrio	PCDD/PCDF	PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/Tonelada producto)	Factores de emisión (µg EQT/Tonelada producto)	Factores de emisión (µg/Tonelada producto)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	No se hace control del polvo o combustibles, contaminados ¹²¹	0.2	ND	ND
2	Producción de vidrio usando reducción del polvo ¹²²	0.015	0.001	30

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

121 Clase 1 incluye hornos sin controles del polvo, que usan combustibles malos, contaminados.
122 Clase 2 incluye hornos que utilizan reducción del polvo.

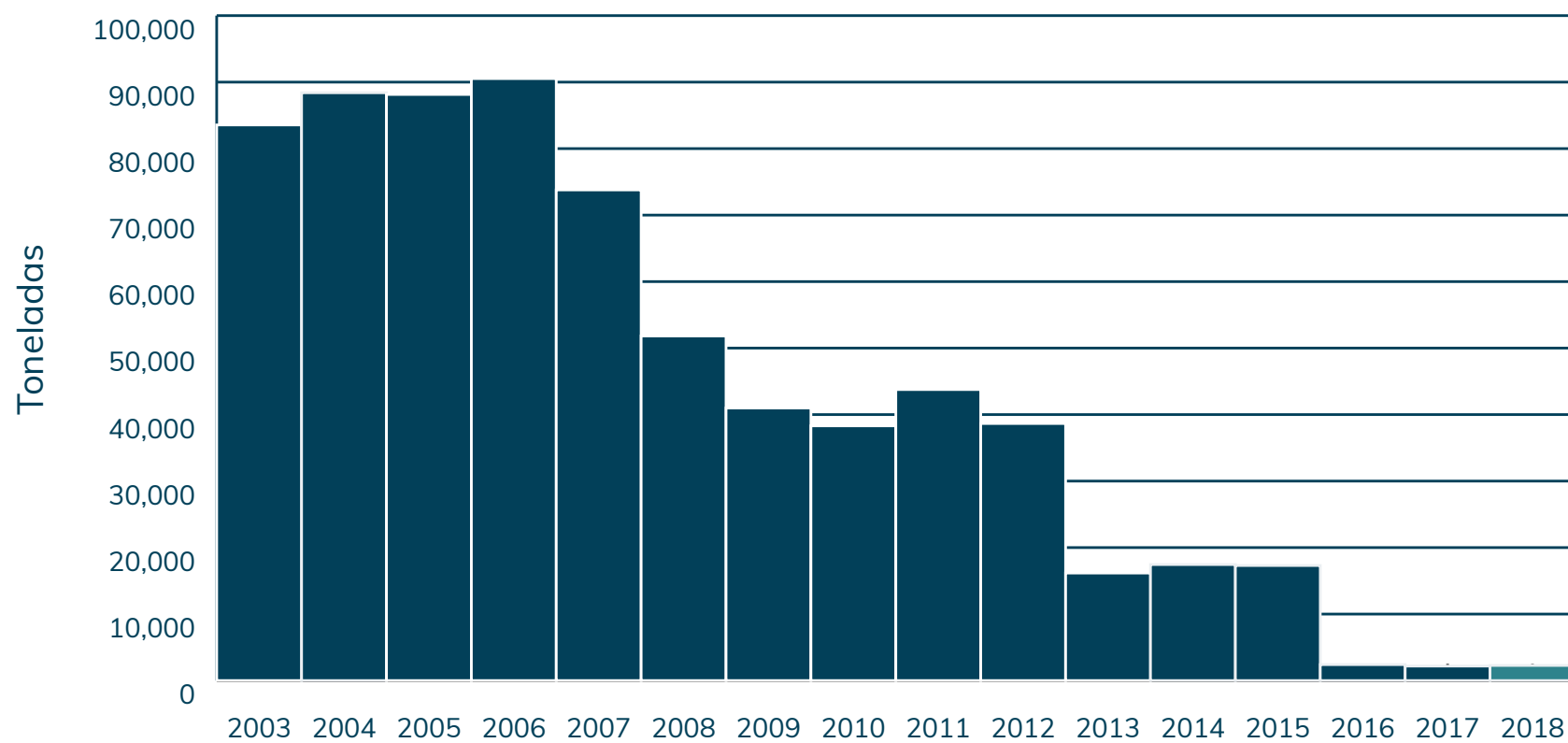
Situación en Colombia

La industria de vidrio en Colombia posee una gran cantidad de usos y encadenamientos con otras actividades como la construcción; el vidrio plano constituye un material básico en las estructuras, y tiene diversos usos en el sector automotor, el de alimentos (conservas, jugos, gaseosas, cervezas), y el farmacéutico, en cuanto a la producción de vidrio nacional, está altamente concentrada en una empresa con plantas en Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca que se dedica a la producción de envases de vidrio, vidrio plano y cristalería (legiscomex, 2017). La gráfica 24 presenta los datos estimados¹²³ de producción de vidrio de 2003 a 2018 reportados en la EAM.

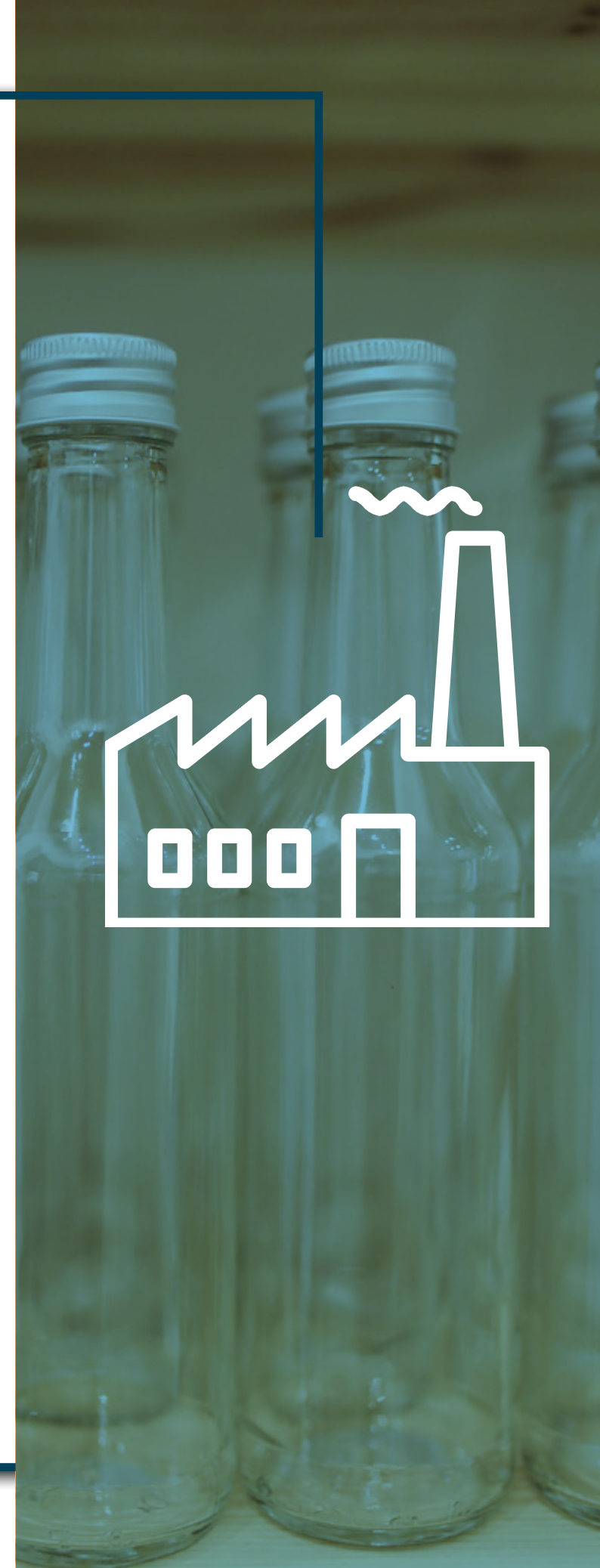
123 En este punto es importante notar que la gran mayoría de datos en esta categoría es en metros cuadrados, kilogramos y millares. A continuación, se nombran los factores de conversión de unidades a peso:

- Vidrio plano sin biselar ni azogar (m²): 6.3kg/m²
- Fibra de vidrio (kg)
- Frascos pequeños de vidrio para perfumería, farmacia y laboratorio (mi): 0.35kg/unidad
- Botellas de vidrio para bebidas no alcohólicas (mi): 0.35kg/unidad
- Botellas de vidrio de menos de un litro de capacidad (mi): 0.35kg/unidad
- Botellas de vidrio de un litro y más de capacidad (mi): 0.35kg/unidad

Gráfica 24. Producción nacional estimada de vidrio



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En este caso, se aplicó toda la producción del año 2018 bajo la clase 2 según lo expuesto anteriormente. Los resultados de emisión de PCDD/PCDF se presentan en la tabla 68, utilizando los factores de emisión de la tabla 67.

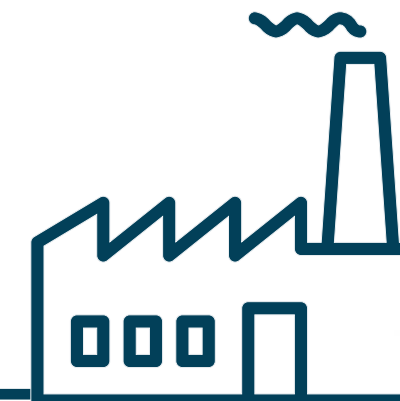
Tabla 68. Liberación de la categoría producción de vidrio

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de productos minerales			Toneladas/año	Aire	Aire	Aire
4d	Vidrio			g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres		0	0	0
	2	Buena remoción de polvo	2,272	0	0	0.1
Subtotal categoría				0	0	0.1

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4e - Producción de cerámicas

De acuerdo con el Toolkit, actualmente no existe suficiente información como para considerar la producción de cerámica como una fuente de PCDD/PCDF, sin embargo, por tratarse de un proceso térmico, lo más probable es que se generen los contaminantes (UNEP, 2013).

En cuanto a la emisión el Toolkit utiliza los mismos factores de producción de ladrillo por tratarse de procesos similares (UNEP, 2013).

4e	Producción de cerámicas	PCDD/PCDF			PCB			HCB		
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada ladrillos producidos)			Factores de emisión (µg EQT/tonelada ladrillos producidos)			Factores de emisión (µg/tonelada ladrillos producidos)		
Clase		Aire	Producto	Residuo*	Aire	Producto	Residuo	Aire	Producto	Residuo
1	Sin reducción de emisiones, usa combustibles contaminados	0.2i	0.06iii	0.02v	0.015	0.01	0.001	225	100	1
2	Sin reducción de emisiones, usa combustibles no contaminados Con reducción de emisiones, usa cualquier tipo de combustible Sin reducción de emisiones, pero con controles de procesos de última generación**	0.02ii	0.006iv	0.002vi	0.001	0.001	0.00004	30	20	0.2

* En países sin gestión de residuos o que no reutilizan los residuos de la fabricación de ladrillos, estos generalmente se incluyen en suelo.

** Para hornos de ladrillos con controles de procesos de última generación, como los de tipo Hoffmann, se ha demostrado que la co-incineración de residuos no promueve emisiones de PCDD/PCDF, en comparación al uso de carbón (Ubaque et al., 2010).

i Confirmado/derivado de mediciones de campo en que usan aceites residuales.

ii Confirmado/derivado de mediciones de campo en hornos mexicanos que usan madera virgen.

iii Derivado de mediciones de campo en hornos artesanales de ladrillos que usan aceite residual.

iv Derivado de hornos de ladrillos a carbón y madera virgen en México, Sudáfrica a escala industrial y artesanal.

v Derivado de hornos de ladrillos artesanales mexicanos que queman combustibles contaminados.

vi Derivado de hornos a madera virgen y carbón en México, Sud África y Kenia, a escala industrial y artesanal.

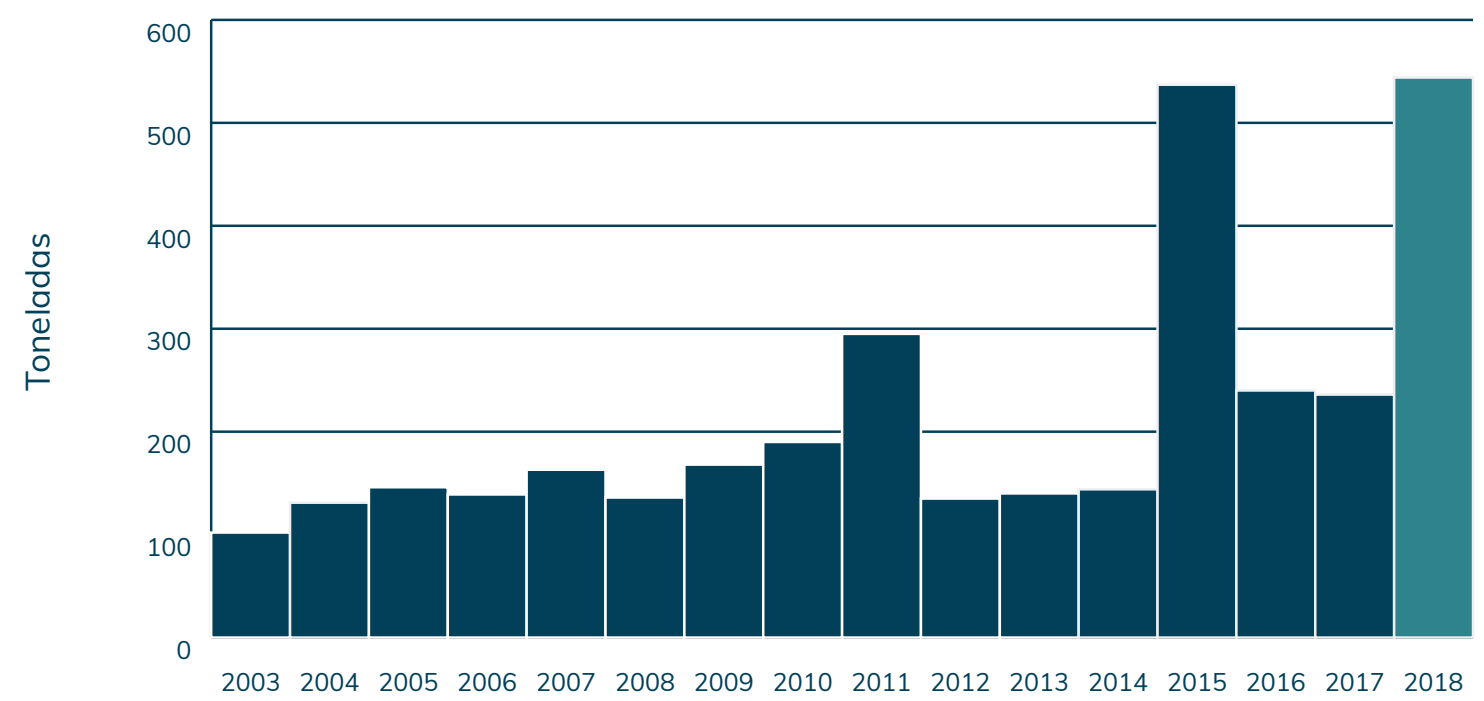
Situación en Colombia

Respecto a la producción de cerámica en el país, la industria tiene un estrecho lazo con el sector de la construcción; proporcionando productos empleados para el revestimiento de pisos y paredes, así como productos de porcelana sanitaria. En cuanto a la producción está altamente concentrada en cinco empresas que poseen la gran mayoría de la producción nacional (ANDI, 2017). La gráfica 25 presenta los datos estimados¹²⁴ de producción de cerámica de 2003 a 2018 reportados en la EAM.

124 En este punto es importante notar que la gran mayoría de datos en esta categoría es en unidades y millares. A continuación, se nombran los factores de conversión de unidades a peso:

- Tazas de retrete de loza o porcelana (n): 13 kg/ unidad
- Bidés de loza o porcelana (n): 52.17 kg /unidad
- Orinales de loza o porcelana (n): 20.46 kg/unidad
- Tanques para retrete cisternas de loza o porcelana (n): 13 kg/unidad
- Lavamanos de loza o porcelana (n): 7 kg/unidad
- Pedestales de loza o porcelana (n): 7 kg/unidad
- Utensilios de loza para la mesa y la cocina (mi): 1 kg/unidad
- Vajillas de porcelana (n): 9 kg/unidad
- Vajillas y utensilios de barro cocido (n): 1 kg/unidad
- Piezas en cerámica para vajillas (mi): 1 kg/unidad
- Accesorios fijos de loza o porcelana (n): 1 kg/unidad
- Ceniceros de loza o porcelana (n): 1 kg/unidad
- Jarrones de loza o porcelana (n): 1 kg/unidad
- Floreros de loza o porcelana (n): 1 kg/unidad
- Figuras decorativas y artísticas de loza o porcelana (n): 1 kg/unidad
- Materas de barro cocido (n): 1 kg/unidad
- Figuras y artículos decorativos y artísticos – artesanías (n): 1 kg/unidad
- Aisladores de porcelana (n): 1 kg/unidad
- Cajas y tapas en porcelana para registros (n): 1 kg/unidad

Gráfica 25. Producción nacional estimada de cerámica



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE

Durante el año 2016, se realizó la medición en emisiones de dioxinas y furanos en seis plantas productoras de cerámicas las cuales utilizan gas natural como combustible y cuentan con filtro para el control de partículas; estas plantas se ubican en los departamentos de Atlántico, Antioquia y Cundinamarca. Entre los resultados se encontró que ninguna planta reportó valores superiores a 0.02 ng-EQT/m³ cumpliendo los límites establecidos en la norma de emisiones de fuentes fijas (SGS, 2016).



Clases seleccionadas y liberación 2018

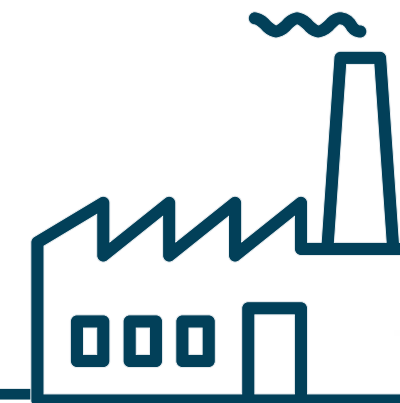
En este caso se aplicó toda la producción del año 2018 bajo la clase 1 debido a que no todas las plantas del país cuentan con hornos con sistemas de control de emisiones. Los resultados de liberación de COP no intencionales se presentan en la tabla 69, utilizando los factores de emisión de la tabla 67.

Tabla 69. Liberación de la categoría producción de cerámica

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Producción de productos minerales			Toneladas/año	Aire	Aire	Aire
4e	Cerámica			g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres	544,950	0.109	0	0
	2	Buena remoción de polvo		0	0	0
Subtotal categoría				0.109	0	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4f - Producción de mezclas asfálticas

El asfalto generalmente se utiliza para la construcción vial, y consiste en lascas de rocas, arena, agentes de volumen ligados entre sí en bitumen. La primera etapa del proceso generalmente es una unidad de secado al aire para los minerales, después se mezclan los minerales calientes con bitumen caliente para obtener asfalto (UNEP, 2013). Durante el proceso se puede liberar ceniza volante proveniente de incineración. Habitualmente las plantas de mezclado de asfalto en los países industrializados pueden realizar la limpieza de los gases con sistemas como filtros de tela o dispositivos de control de polvo húmedo (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta actividad en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 70).

Tabla 70. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 4f Mezcla de asfalto

4f	Mezcla de asfalto	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada mezcla de asfalto)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada mezcla de asfalto)	Factores de emisión (µg/tonelada mezcla de asfalto)
Clase		Aire	Residuos	Aire	Aire
1	Planta de mezclado sin limpieza de gases, combustibles malos ¹²⁵	0.07	ND		
2	Planta de mezclado con filtro de tela o depurador húmedo ¹²⁶	0.007	0.06	0.001	100

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

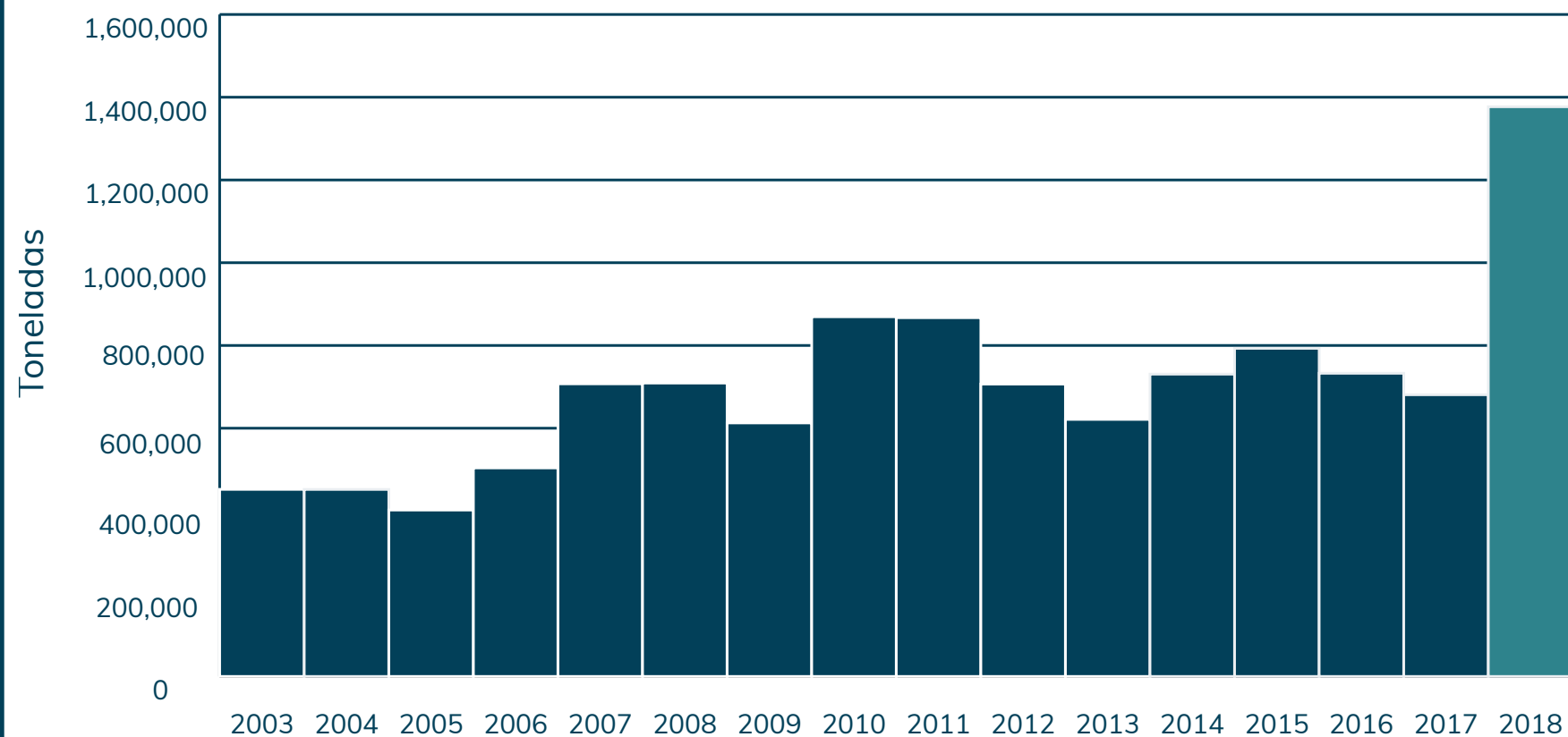
125 Clase 1 incluye instalaciones sin sistemas de limpieza de gases o que utilizan combustibles malos o contaminados.

126 Clase 2 incluye modernas instalaciones para la mezcla del asfalto equipadas con filtro de tela o depuradores húmedos para limpieza de gases.

Situación en Colombia

En Colombia las mezclas asfálticas se producen en plantas de asfalto de secamiento continuo, con sistema de mezclado y entrega tipo continuo o discontinuo y con sistemas de dosificación de agregados en frío o en caliente. Igualmente, estas plantas están obligadas a cumplir con la reglamentación vigente sobre control de vertimientos y calidad del aire para su funcionamiento (ANI, 2012). La gráfica 26 presenta los datos estimados de producción de mezclas asfálticas de 2003 a 2018 reportados en la EAM.

Gráfica 26. Producción nacional de mezclas asfálticas



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a los tipos de plantas para la fabricación de mezclas asfálticas en el país, existen dos tipos de mezcla continua y por lotes, las cuales pueden ser de tambor secador, mezclador de ejes paralelos y/o mezclador de tambor (ANI, 2012). En cuanto al uso de combustibles, la normativa ambiental vigente permite el uso de combustibles líquidos y sólidos bajo ciertas características, así como el uso de combustibles gaseosos de la síntesis de biomasa y/o combustibles pesados con previo estudio de niveles de emisiones (Minambiente, 1995). En lo concerniente al sistema de control de emisiones, las plantas deben tener, como mínimo, un sistema primario de recuperación de finos secos contenidos en los gases procedentes del secador y, por lo menos, un sistema secundario seco o húmedo que recoja lo que el primer sistema no alcance a capturar (ANI, 2012).

[En este caso, se aplicó toda la producción del año 2018 bajo la clase 2. Según lo expuesto anteriormente, los resultados de liberación de COP no intencionales se presentan en la tabla 71, utilizando los factores de emisión de la tabla 70.

Tabla 71. Liberación de la categoría producción de mezclas asfálticas

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Producción de productos minerales			Toneladas/año	Aire	Residuo	Aire	Aire
4f	Mezclas asfálticas			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año
	1	Plantas mezcladoras sin depuración de gases	1,377,244	0.096		0	0
	2	Plantas mezcladoras con filtro de tela, scrubber húmedo		0	0	0	0
Subtotal categoría				0.096	0	0	0

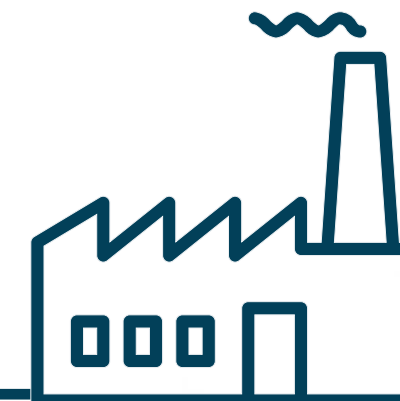
Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 4 - Producción de productos minerales

Categoría 4g - Producción de esquistos bituminosos



Los esquistos bituminosos son un término general que se aplica a un grupo de esquistos finos de color negruzco a marrón oscuro, lo suficientemente ricos en material bituminoso (llamado querógeno) como para obtener petróleo a partir de la destilación. Existen dos formas convencionales para procesar los esquistos bituminosos: la primera consiste en el fraccionamiento in situ de los esquistos, que luego son calentados para obtener gases y líquidos; la otra forma es mediante minería, transporte y calentamiento de los esquistos hasta aproximadamente 450°C, con adición de hidrógeno al producto resultante, y la eliminación y estabilización del residuo (UNEP, 2013).

Debido a que el nivel tecnológico en la producción de esquistos bituminosos puede variar entre los países, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 72).

Tabla 72. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuente 4g Procesamiento de esquistos bituminosos

4g	Procesamiento de esquistos bituminosos	PCDD/PCDF		PCB		HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada esquistos bituminosos)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada esquistos bituminosos)		Factores de emisión (µg/ tonelada esquistos bituminosos)
Clase		Aire	Producto	Residuo	Aire	Aire
1	Fraccionamiento térmico (proceso 1)	ND	ND	ND		
2	Pirolisis de esquistos bituminosos	0.003	0.07	2	0.001	3

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

De acuerdo con los datos recopilados por la principal empresa productora de hidrocarburos del país, no se ha tenido licencia ambiental hasta la fecha para la producción de esquistos bituminosos en todo el país, por lo tanto, no se registra producción.





4.5 Grupo 5 - Transporte

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 5 - Transporte

Categoría 5 a – Motores a gasolina de 4 tiempos

La mayor parte de los motores de combustión interna a gasolina que se usan hoy en día en los automóviles, camiones livianos, ciclomotores y otros vehículos, son de cuatro tiempos (admisión, compresión, expansión y escape) los cuales se completan en dos revoluciones completas del cigüeñal. Se ha observado que todos los motores de combustión interna producen PCDD/PCDF, sin embargo, cuando se usa gasolina sin plomo y se instala un convertidor catalítico para retirar el NOx y los hidrocarburos no combustionados, las emisiones del contaminante son despreciables.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cuatro clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 73).

Tabla 73. Factores de emisión de COP no intencionales para motores de 4 tiempos, categoría de fuente 5 a Motores a gasolina de 4 tiempos

5 a	Motores a gasolina de 4 tiempos	PCDD/PCDF	PCB	PeCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (µg/tonelada combustible quemado)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	Combustible con plomo* ¹²⁷	2.2		10
2	Gasolina sin plomo, sin catalizador* ¹²⁸	0.1	0.05	0.5
3	Gasolina sin plomo con catalizador*(**) ¹²⁹	0.001	0.0005	0.005
4	Etanol con catalizador ¹³⁰	0.0007		

* Cuando los datos de consumo están expresados en litros (L), nótese que 1 L de gasolina tiene una masa de 0,74 kg; por lo tanto, deberá utilizarse un factor de conversión de 0,00074 para convertir litros a toneladas.
 ** Las emisiones de motores con catalizadores averiados deberán calcularse utilizando el factor de emisión clase 2.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

127 La clase 1 incluye todos los tipos de vehículos de cuatro tiempos que funcionan con gasolina (etílica) y con plomo (gasolina con un contenido de plomo superior a 0.013g/l).

128 La clase 2 incluye todos los tipos de vehículos de cuatro tiempos que funcionan con gasolina, excluyendo la gasolina etílica o el GLP, y que no están equipados con catalizador, o cuando el catalizador no es el adecuado o no funciona. Los vehículos Euro clase 1 e inferiores (o su equivalente en otros países) pertenecen a esta categoría.

129 La clase 3 incluye todos los vehículos de cuatro tiempos que funcionan con gasolina, excepto gasolina etílica, o GLP, y están equipados con el catalizador correcto. Los vehículos Euro clase 2 y superior (y sus equivalentes en otros países) pertenecen a esta clase.

130 La clase 4 incluye todos los tipos de vehículos de cuatro tiempos con catalizador, que funcionan con etanol o mezcla de combustibles (gasolina-etanol, por ejemplo, E85), donde la proporción de etanol es mayor al 50%.

Situación en Colombia

Actualmente en Colombia la Resolución 68 de 2001 estableció estándares de diferentes propiedades en la gasolina entre los cuales se incluye un contenido máximo de plomo de 0.013 g/l a partir del año 2005 (Legis, 2001). A partir de este límite se establece que la gasolina producida nacionalmente es libre de plomo.

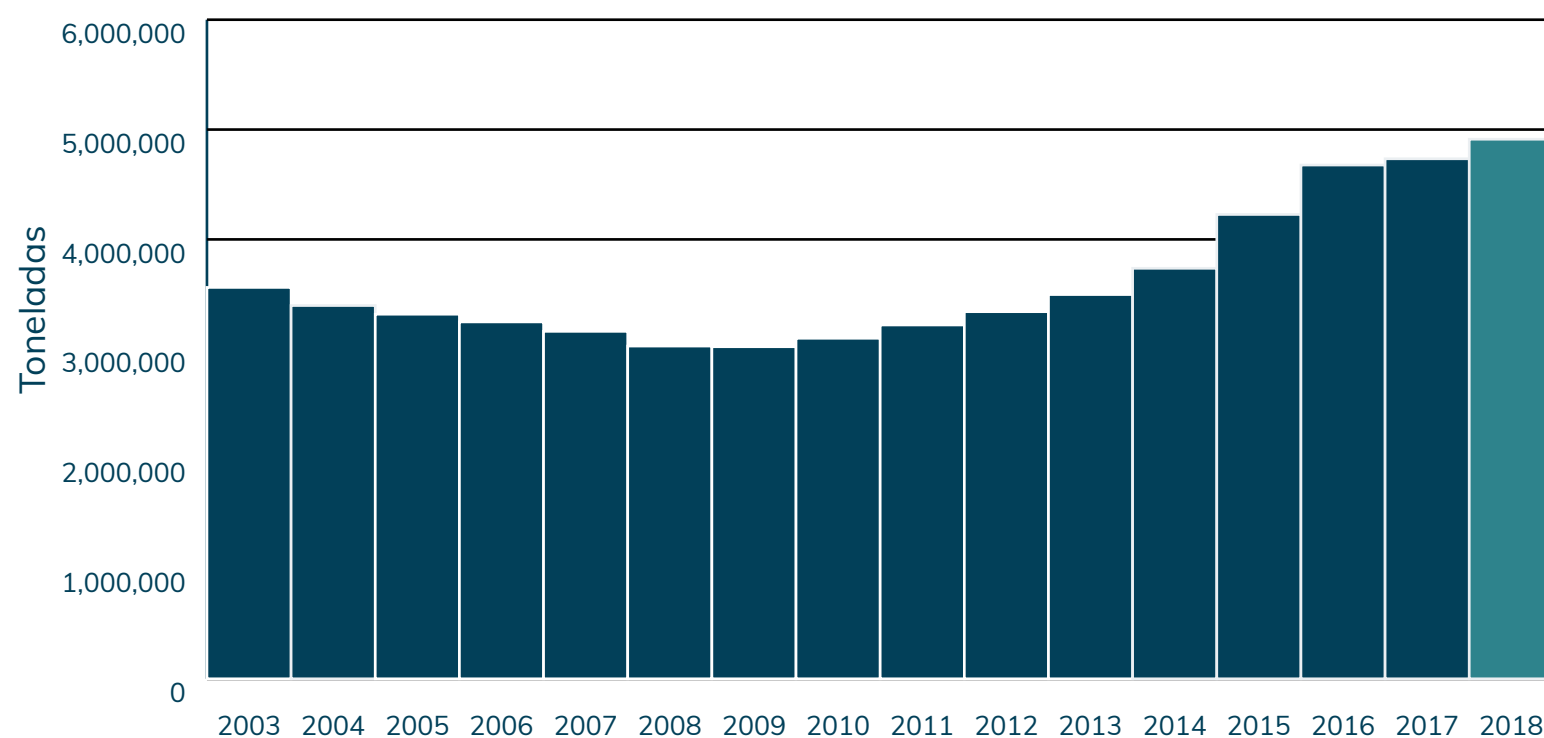
Respecto a los sistemas de control de emisiones, en este caso, los catalizadores de los vehículos son la opción utilizada, por ello la normatividad colombiana a partir del 2012 obliga a los vehículos a someterse a la primera revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes a partir del sexto (6°) año contado a partir de la fecha de su matrícula, luego anualmente (Mintransporte, 2012). En cuanto a vehículos nuevos de servicio público, así como motocicletas y similares, se someterán a la primera revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes al cumplir dos (2) años contados a partir de su fecha de matrícula, luego anualmente (Mintransporte, 2012).

La gráfica 27 presenta los consumos estimados¹³¹ de gasolina (UPME, 2017), los cuales van en aumento por el sector transporte para motores de cuatro tiempos entre el año 2003 a 2018.

¹³¹ En esta categoría es importante resaltar que los datos se encuentran en barriles diarios al mes, por lo tanto, a continuación se mencionan los factores de conversión utilizados en el presente estudio:

- Barril de petróleo: 0.1589 m³
- Densidad de la gasolina: 740 kg/m³

Gráfica 27. Consumos estimados de gasolina por motores de cuatro tiempos



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Debido a lo enunciado anteriormente sobre los contenidos de plomo en la gasolina y los controles de emisiones que están obligados a realizar los propietarios de vehículos anualmente sobre el funcionamiento de su catalizador, se asignó la categoría 3 para los consumos de gasolina por parte de estos vehículos para el año 2018. La tabla 74 presenta los resultados de liberación de COP no intencionales, utilizando los factores de emisión de la tabla 73.

Tabla 74. Liberación de la categoría consumo de gasolina motores de 4 tiempos

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Transporte			Toneladas /año	Aire	Aire	Aire
5a	Motores a gasolina de 4 tiempos			g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Combustible conteniendo plomo		0	0	0
	2	Combustible sin plomo, sin catalizador		0	0	0
	3	Combustible sin plomo, con catalizador	4,912,195	0.005	0.002	0.025
	4	Etanol con catalizador		0	0	0
Subtotal categoría				0.005	0.002	0.025

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 5 - Transporte

Categoría 5b – Motores a gasolina de 2 tiempos

La mayor parte de los motores de combustión interna a gasolina que se usan hoy en día en embarcaciones, motos de agua, ciclomotores, mototriciclos, máquinas de cortar césped, motosierras, y otros vehículos, son de dos tiempos: el ciclo combinado de escape y admisión, y el ciclo de compresión, expansión y combustión, los cuales se producen en una sola revolución completa del cigüeñal (UNEP, 2013). Debido a que la lubricación se realiza por medio de aceite que se agrega al combustible, en comparación con los motores de cuatro tiempos, pueden liberarse cantidades superiores de contaminantes y la eficiencia puede ser menor (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 75).

Tabla 75. Factores de emisión de COP no intencionales para motores de dos tiempos, categoría de fuente 5b Motores a gasolina de dos tiempos

5b	Motores a gasolina de dos tiempos	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada combustible quemado)	
Clase		Aire	
1	Combustible con plomo ^{*132}	3.5	
2	Combustible sin plomo ^{*133}	2.5	

* Cuando los datos de consumo están expresados en litros (L), nótese que 1 L de gasolina tiene una masa de 0,74 kg; por lo tanto, deber utilizarse un factor de conversión de 0,00074 para convertir litros a toneladas.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

132 Clase 1. Incluye toda la maquinaria móvil (ciclomotores, pequeños ciclomotores, mototriciclos, embarcaciones, motos de agua, máquinas de cortar césped, motosierras, y otros vehículos que funcionan a combustible con plomo (con contenido de plomo superior a 0.013 g/l).

133 Clase 2. Incluye toda la maquinaria móvil (ciclomotores, pequeños ciclomotores, embarcaciones, mototriciclos, cortadoras de césped, motosierras y otros) con motores de dos tiempos que funcionan con combustible sin plomo (con contenido inferior a 0.013 g/l).

Situación en Colombia

De acuerdo con una comunicación recibida del Ministerio de Transporte, se informa que en la plataforma de HQ-RUNT donde se registra el parque automotor a nivel nacional, los vehículos se clasifican por tipo, pero no por tipo de motor. Por lo tanto, no es posible saber el número exacto de vehículos que poseen motor de dos tiempos.

De acuerdo con el Plan decenal de descontaminación de aire de Bogotá para el año 2010, se estima que alrededor del 6% de los vehículos poseen motor de dos tiempos (SDA, 2010). Para el inventario nacional, este valor se extrapoló para los consumos de gasolina presentados para el sector transporte por el BECO.

Clases seleccionadas y liberación 2018

Debido a lo enunciado anteriormente sobre los contenidos de plomo en la gasolina, expuesto en la anterior categoría se asignó la clase 2 para los consumos de gasolina por parte de estos vehículos para el año 2018. La tabla 76 presenta los resultados de emisión de PCDD/PCDF, utilizando los factores de emisión de la tabla 75.

Tabla 76. Liberación de la categoría consumo de gasolina motores de 2 tiempos

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF
				Liberación anual
Transporte			Toneladas/año	Aire
5b	Motores a gasolina de 2 tiempos			g EQT/año
	1	Combustible conteniendo plomo		0
	2	Combustible sin plomo	313,544	0.784
Subtotal categoría				0.784

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 5 - Transporte

Categoría 5c - Motores diésel/ACPM

Los motores diésel se usan en camiones de gran tonelaje, camionetas, automóviles de pasajeros, maquinaria de construcción pesada, embarcaciones, generadores diésel, bombas y equipo agrícola, incluyendo tractores y demás maquinaria; estos motores usan diésel (combustible ligero) y un ciclo de cuatro tiempos en el que el combustible se agrega a alta presión y se quema, con lo cual el uso de combustible es más eficiente, sin embargo, las emisiones de este tipo de motores contienen altas concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos y material particulado (UNEP, 2013). En cuanto a los COP no intencionales, o no hay datos, o bien se han informado casi cero emisiones en los motores diésel recientemente reacondicionados para el tratamiento de emisiones (UNEP, 2013).

Debido a los diferentes tipos de diésel entre los países, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 77).

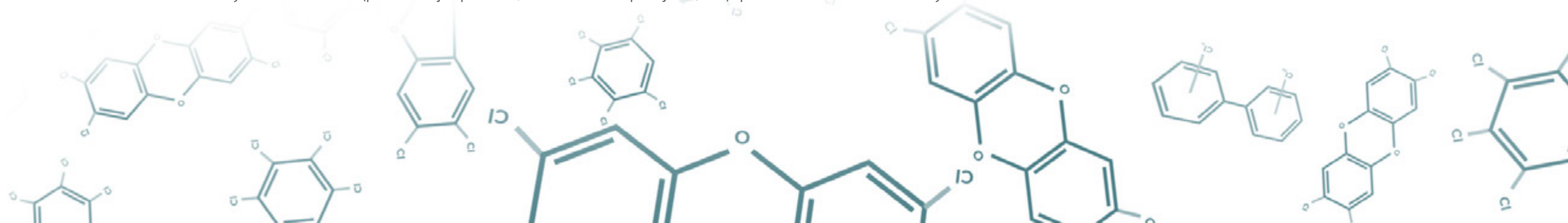
Tabla 77. Factores de emisión de COP no intencionales para motores diésel, categoría de fuente 5c Motores diésel

5c	Motores diésel/ACPM	PCDD/PCDF	PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (µg EQT/tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (µg/tonelada combustible quemado)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	Diésel/ACPM ¹³⁴	0.1	0.0001	100
2	Biodiesel ¹³⁵	0.07		

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

134 Clase 1. Incluye toda la maquinaria móvil (camiones de gran tonelaje, camionetas, automóviles de pasajeros, locomotoras, maquinaria de construcción pesada, embarcaciones, generadores diésel, bombas, equipo agrícola, etc.) que funcionan con diésel común.

135 Clase 2. Incluye vehículos diésel (para trabajos pesados, automóviles de pasajeros, etc.) que funcionan con diésel incluyendo 20% de biocombustible.



Situación en Colombia

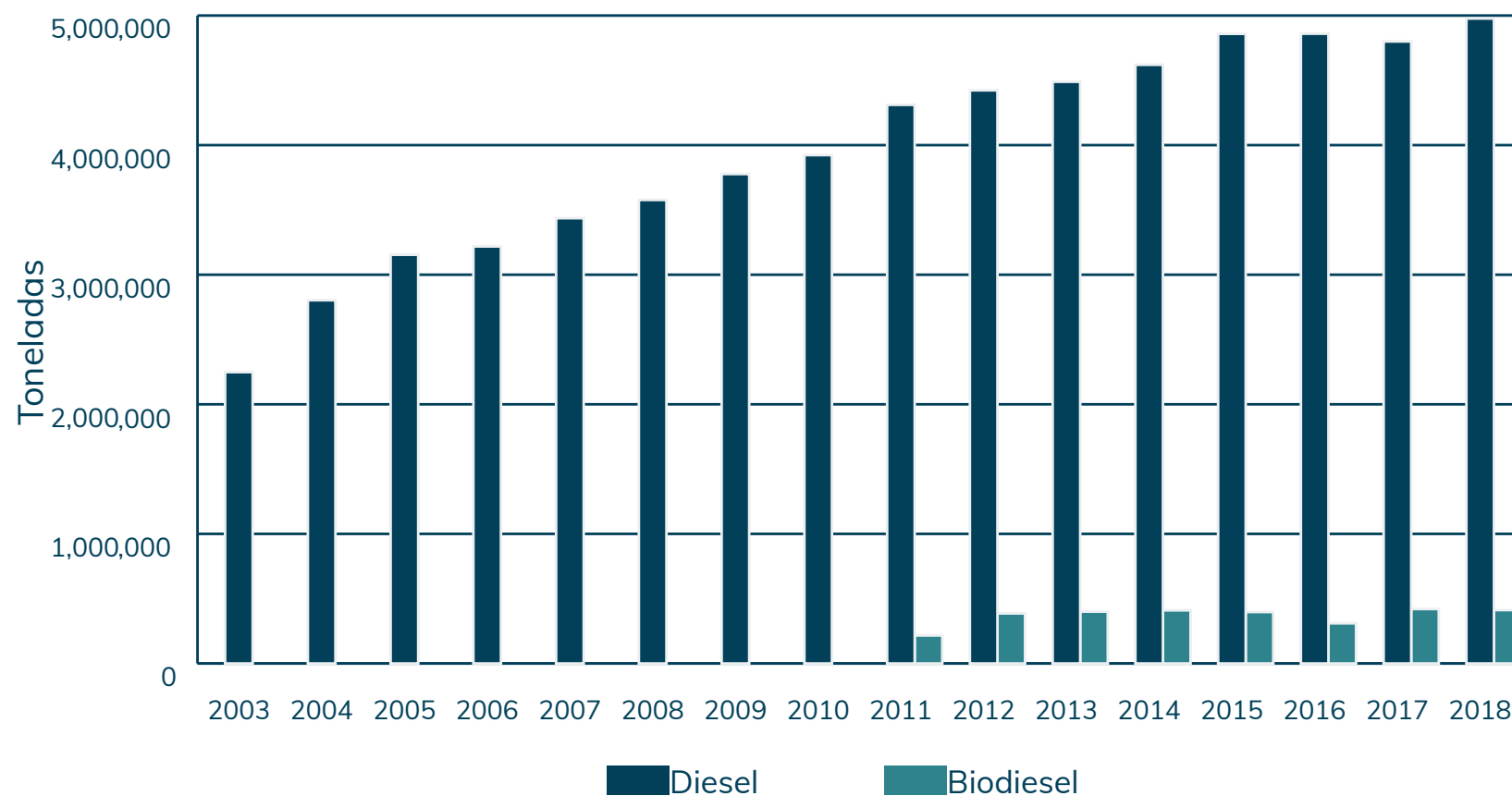
Actualmente en Colombia la Resolución 68 de 2001 estableció diferentes estándares de calidad de biodiesel, entre los que se sobresalen propiedades físicas, contenido de aromáticos, azufre, a partir del año 2005 (Legis, 2001).

Respecto a los sistemas de control de emisiones, aplica la misma normativa presentada en la Categoría 5 a – Motores de 4 tiempos. La gráfica 28 presenta los consumos estimados¹³⁶ de diésel y biodiesel reportados en el BECO y la EAM, respectivamente, los cuales van en aumento en el periodo 2003 a 2018.

136 En esta categoría es importante resaltar que los datos se encuentran en barriles diarios al mes, por lo tanto, a continuación se mencionan los factores de conversión utilizados en el presente estudio:

- Barril de petróleo: 0.1589 m³
- Densidad de la gasolina: 850 kg/m³

Gráfica 28. Consumos estimados de diésel/ACPM y biodiésel



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a las clases seleccionadas en la actualización del inventario se seleccionaron los consumos totales de diésel en la clase 1 y los consumos de biodiésel en la clase 2. Las liberaciones estimadas de COP no intencionales se presentan en la tabla 78, utilizando los factores de emisión de la tabla 77.

Tabla 78. Liberación de la categoría consumo motores diésel/ACPM

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Transporte			Toneladas /año	Aire	Aire	Aire
5c	Motores diésel/ACPM			g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Diésel común/ACPM	4,977,158	0.498	0	497.7
	2	Biodiesel	412,121	0.029	0	0
Subtotal categoría				0.527	0	497.7

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 5 - Transporte

Categoría 5d – Motores a combustible pesado

Los motores a fuel-oil pesado (HFO) se utilizan en barcos, tanques, generadores de energía estacionarios y otros motores de gran tamaño cuasi-estacionarios. Respecto a la disponibilidad de los factores de emisión de PCDD/PCDF, es muy limitada y actualmente no se puede distinguir en lo que atañe a la composición de los combustibles, contenido de cloro, el tipo de metales catalíticos presente, entre otros (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica solo esta categoría en una única clase de liberación de COP no intencionales, ver tabla 79.

Tabla 79. Factores de emisión de COP no intencionales por categoría de fuente 5d Motores a fuel oil pesado

5d	Motores a fuel oil pesado	PCDD/PCDF	PCB	HCB
		Factores de emisión (μg EQT/ Tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (μg EQT/ Tonelada combustible quemado)	Factores de emisión (μg / Tonelada combustible quemado)
Clase		Aire	Aire	Aire
1	Todos los tipos	2	0.03	200

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

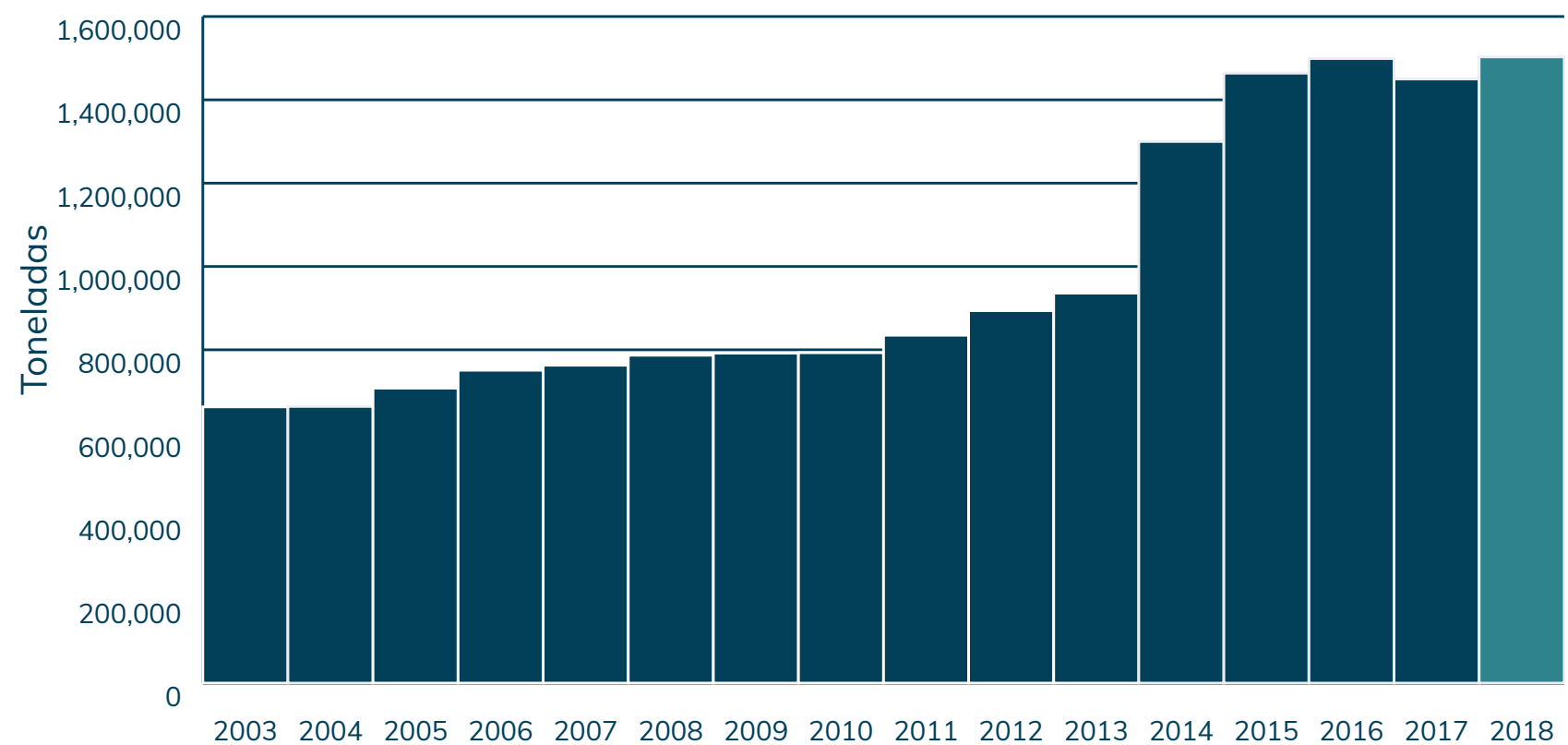
Situación en Colombia

Actualmente en Colombia la Resolución 68 de 2001 estableció estándares de cantidad máxima de azufre para este tipo de combustibles, a partir del año 2005 (Legis, 2001). La gráfica 29 presenta los consumos estimados¹³⁷ de fuel oil y keroseno presentados por el BECO respectivamente, los cuales van en aumento para el sector transporte durante el periodo 2003 a 2018.

137 En esta categoría es importante resaltar que los datos se encuentran en barriles diarios al mes, por lo tanto, a continuación se mencionan los factores de conversión utilizados en el presente estudio:

- Barril de petróleo: 0.1589 m³
- Densidad del fuel oil: 940 kg/m³

Gráfica 29. Consumos estimados de fuel oil y keroseno



Fuente: elaboración propia a partir de información de UPME.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Como esta categoría solo posee una clase, los consumos estimados se aplicaron a esta única clase. La tabla 80 presenta las estimaciones en la liberación de COP intencionales, utilizando los factores de emisión de la tabla 79.

Tabla 80. Liberación de la categoría consumo motores a combustible pesado

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	PCB	HCB
				Liberación anual	Liberación anual	Liberación anual
Transporte			Toneladas /año	g EQT/año	g EQT/año	g /año
5d	Motores a combustible pesado			Aire	Aire	Aire
	1	Todos los tipos	1,503,556	3.007	0.045	300.7
Subtotal categoría				3.007	0.045	300.7

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.





4.6 Grupo 6 - Procesos de quema a cielo abierto

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 6 - Procesos de quema a cielo abierto

Categoría 6 a – Quema de biomasa

En esta categoría se incluyen todas las quemaduras y/o incendios de biomasa que se producen a cielo abierto, como ecosistemas naturales y gestionados, incluyendo las selvas, bosques, matorrales, pastizales, sabanas, plantaciones y todos los incendios en las tierras agrícolas. En cuanto a las fuentes de ignición, pueden ser rayos, incendios intencionales, igniciones accidentales (por ejemplo, cigarrillos encendidos, vidrio, soldadores, líneas de transmisión eléctrica) e igniciones autorizadas con fines administrativos (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de quema de biomasa pueden ser de varios tipos y en el caso de quema de incineración de residuos puede variar entre países, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cinco clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 81).

Tabla 81. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 6 a Quema de biomasa

6 a	Quema de biomasa	PCDD/PCDF		PCB		HCB
		Factores de emisión (µg EQT/ Tonelada material quemado)		Factores de emisión (µg EQT/ Tonelada material quemado)		Factores de emisión (µg/ Tonelada material quemado)
Clase		Aire	Tierra	Aire	Tierra	Aire
1	Quema de residuos agrícolas en el campo, afectado, malas condiciones de quema ¹³⁸	30	10	3	0.3	ND
2	Quema de residuos agrícolas en el campo, no afectado ¹³⁹	0.5	0.05	0.05	0.01	1,000
3	Quema de caña de azúcar ¹⁴⁰	4	0.05	0.05	0.01	
4	Incendios forestales ¹⁴¹	1	0.15	0.1	0.1	2,000
5	Incendios de pastizales y sabana ¹⁴²	0.5	0.15	0.03	0.03	1,000

138 La clase 1 incluye la quema a cielo abierto de biomasa agrícola en el campo en condiciones que pueden favorecer el aumento y la liberación de PCDD/PCDF. Aunque existen pocos datos experimentales, se supone que la aplicación previa de plaguicidas clorados en los cultivos podría aumentar la formación y liberación de PCDD/PCDF. Otros factores tales como las grandes pilas o materiales húmedos incluyen las condiciones desfavorables de quema. En general, la biomasa puede consistir en cereales, leguminosas oleaginosas o cultivos de fibra, y se puede quemar como rastrojo, cortar y dejar en el campo o agrupados en montones. Potencialmente, esta clase incluye una amplia variación de intensidad de fuego, desde los relativamente fríos, los de baja intensidad con combustión lenta hasta los más calientes, de alta densidad con propagación rápida y combustión eficiente.

139 La clase 2 implica el mismo tipo de biomasa y la geometría del combustible; sin embargo, las condiciones de combustible y de quema constituirán las mejores prácticas ambientales, tales como la ausencia de precursores u otras condiciones que favorecen la formación de PCDD/PCDF. Estos fuegos también varían de relativamente fríos a calientes.

140 La clase 3 incluye la quema de caña de azúcar en el campo, previa a la cosecha. Se supone que las hojas se queman y los tallos se mantendrán en el campo para la cosecha, ya sea manual o a máquina. Estos incendios generalmente son intensos, de rápido movimiento y de duración relativamente corta.

141 La clase 4 comprende todos los tipos de incendios forestales, incluidos aquellos en los que se queman árboles enteros, follaje y residuos arbóreos.

142 La clase 5 incluye los incendios en las sabanas y pastizales. Los incendios en las sabanas con frecuencia consumen arbustos bajos, además de hierba y residuos arbóreos.

Situación en Colombia

De acuerdo con el Censo Nacional Agrícola, el área rural censada corresponde a 111.5 millones de hectáreas; de estas aproximadamente el 56.7% corresponde a bosque natural, 38.6% a uso agropecuario, 2.2% a uso no agropecuario y el 2.5% está destinado a otros usos (DANE, 2013).

En cuanto a las hectáreas agrícolas, se estima que el 35.1% se designa a cultivos agroindustriales (café, palma africana, caña de azúcar, cacao, entre otros), 22.3% a tubérculos y plátanos, 16% a cereales (maíz, arroz, entre otros), 14.6% a frutas, 6.8% a plantaciones forestales, 4.2% a hortalizas, verduras y legumbres, y el restante 1% a plantas aromáticas, medicinales flores y follajes (CAIA, 2019).

Colombia es un país que ha tenido tradición de quema para preparar terrenos de cultivo y disposición final en los sobrantes de cosecha, por ello, en atención a controlar esta práctica, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial emite la Resolución 532 de 2005, mediante la cual se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones para la realización de quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras.

Para el presente estudio se realizaron visitas en los municipios del país en los que se localiza la mayor producción de arroz, caña de azúcar, maíz, plátano, banano y palma de aceite, con el fin de establecer la situación actual de quemas y uso de plaguicidas clorados.

Cultivo de arroz

El sector arrocero colombiano se encuentra ubicado en las zonas de los Llanos Orientales, Bajo Cauca, Costa Norte, Centro (Huila y Tolima) y Santanderes, para el año 2019 se estima que se sembraron 561,073 hectáreas para una producción de 2,564,250 toneladas, de las cuales, aproximadamente el 96% se cosechó mecanizadamente y el restante 4% con un total de 16,403 productores (Fedearroz, 2020), convirtiéndolo en un sector importante en la economía del país.

Con el fin de evaluar el estado actual del manejo de los residuos postcosecha se realizaron visitas a los principales municipios productores, en las cuales se estableció por medio de encuestas realizadas a los agricultores cuál método utilizaba para reducir el tamo, ya sea por quema con fuego, por manejo con glifosato u otro. La tabla a continuación presenta los resultados por región.



- **Cultivo de arroz**
- **Cultivo de maíz**
- **Cultivo de banano y plátano**
- **Palma de aceite**
- **Cultivo de caña de azúcar**



Zonas visitadas	Región	Departamento	Municipio	Quema de biomasa (tamo)
Llanos orientales	Ariari	Meta	Granada	20% fuego/80% glifosato
			Fuente de oro	
			Cubarral	
	Altillanura		Puerto López	5% fuego/95% glifosato
			Puerto Gaitán	
	Casanare		Casanare	Yopal
Maní				
Paz de Ariporo				
Cúcuta (norte)	Zulia	Norte de Santander	Los Patios	90% fuego/10% glifosato
			Puerto Santander	
Centro	Distrito de riego Asojunjal	Huila	Campo	95% fuego / 5% glifosato
			Alegre	
			Juncal	
			Palermo	
			Yaguará	
			Neiva	
			Tello	
	Distrito de riego Asoporvenir		Garzón	
			Villa vieja	
			Aipe	
Centro	Distrito-Centro Uso Saldaña	Tolima	Saldaña	90% fuego / 10% glifosato
			Alvarado	
			Piedras	
			Coello	
			Espinal	
			Flandes	
			Purificación	
	Sur		Guamo	
			Armero-Guayabal	
	Norte		Falan	

Fuente: tomado de estudio CAIA, 2019.

La cascarilla también es un residuo que se genera en la producción del arroz. De acuerdo con las visitas realizadas, se encontró que en las zonas visitadas tan solo el 5% se reutiliza en los molinos como combustible del molino, del 95% restante no se tiene muy claro su destino final (CAIA, 2019); como esta masa no se quema en el campo, se tiene en cuenta en la Categoría 3b - Centrales de biomasa. En lo concerniente al tamo producido en campo en las zonas analizadas, se encontró que aproximadamente el 47% del tamo producido es quemado clase 1 y el restante es tratado con glifosato.

Otro factor importante por evaluar para la producción de COP no intencionales es el tipo de plaguicidas que se utilizan en el país. De acuerdo con las visitas realizadas en las cuatro zonas del estudio, se registraron 100 plaguicidas de los cuales el 46% corresponde a herbicidas para el control de malezas, 33% fungicidas para el manejo de enfermedades y 21% insecticidas (CAIA, 2019).

Según los resultados de la información recolectada, se observa que el 69% de los plaguicidas se encuentran en el registro nacional del ICA para el mes de mayo de 2019, 20% no se encuentran registrados para ningún cultivo y, por último, un 11% tiene autorización de uso en otros cultivos como tomate, maíz, café, algodón, melón, cítricos, cebolla, soya, papa, cebollín, remolacha, caña de azúcar y flores. Es decir, 31% de los plaguicidas utilizados en las zonas visitadas no se encuentran registrados para arroz, esto se debe a que los productores, en especial los pequeños, en zonas como Cúcuta y parte de la región del Ariari en los Llanos Orientales carecen de asistencia técnica dirigida por ingenieros agrónomos y adquieren plaguicidas sin asesoría, dosificando productos químicos de manera incorrecta (CAIA, 2019).

Finalmente, existen 22 que tienen solicitud de prohibición y dentro de estos, hay algunos con severa restricción como el uso de la Atrazina y el Benomyl. Así mismo, 42% del total de estas sustancias tiene componentes clorados los cuales pueden ser fuentes importantes de COP no intencionales en caso de que se quemem los residuos a cielo abierto (CAIA, 2019).

Cultivo de maíz

El maíz es uno de los cultivos más importantes de la agricultura nacional cuya producción se centra en los departamentos de Tolima, Huila y Llanos Orientales. Los pequeños agricultores con extensiones de tierra menores a cinco hectáreas conforman el 85% del total. Aproximadamente 200,000 familias dependen de esta actividad.

Con el fin de evaluar el estado actual del manejo de los residuos post cosecha se realizaron visitas a los principales municipios productores, en las cuales se estableció por medio de encuestas realizadas a los agricultores cuál método utilizaba para manejar los residuos generados como rastrojos, tusa, capacho y hojas secas, ya sea por quema con fuego, por manejo con glifosato u otro. La tabla a continuación presenta los resultados por región.

Zonas Visitadas	Región	Departamento	Municipio	Manejo de residuos de cosecha	
Llanos orientales	Altilanura	Meta	Puerto López-	Los pican y luego los incorporan al suelo	
			Puerto Gaitán		
	Pie de Monte	Meta	Villavicencio	Un 50% lo quema con fuego y otro 50% lo pica y lo incorpora al suelo	
			Granada		
Centro	Distrito de riego Asojuncal	Huila	Campo Alegre	Un 5% lo quema con fuego y otro 95% lo pica y lo incorpora al suelo	
			Neiva		
			Tello		
			La Plata		
	Distrito de riego Asoporvenir	Huila	Villa vieja	Un 60% lo quema con fuego y otro 40% lo pica y lo incorpora al suelo	
			Aipe		
	Centro	Distrito –Centro	Tolima	Saldaña	Un 25% lo quema con fuego y otro 75% lo pica y lo incorpora al suelo
				Uso Saldaña	
Coello					
Espinal					
Flandes					
Ibagué					
Purificación					
Guamo					
Sur					
Norte	Armero-Guayabal				
	Falan				

Fuente: tomado de estudio CAIA,2019.



- Cultivo de arroz
- Cultivo de maíz
- Cultivo de banano y plátano
- Palma de aceite
- Cultivo de caña de azúcar

Durante las visitas se encontró que la quema según los productores y algunos asistentes técnicos de las zonas visitadas se justifica para prevenir plagas y enfermedades, así como razones económicas, ya que con ellas se evita el desgaste de la maquinaria y los gastos del combustible, resultantes de pasar varias veces los discos de arado para incorporar los residuos al suelo (CAIA, 2019).

En cuanto al uso de plaguicidas utilizados en este cultivo se encontró que, en las regiones visitadas, se estima que existen 34 plaguicidas en maíz, de los cuales 2 están prohibidos (organosforados y piretroides).

De estos, el 18% están registrados en el ICA (2019) para otros cultivos diferentes al maíz, como: rosas, algodón, cebolla larga, cebollines, frijol, pastos, tomate de árbol, berenjena, pimentón, ají, aguacate, café, papa y piña. Por último, el 73% de plaguicidas se encuentran registrados en el ICA y el 9% no se encuentran registrados. Finalmente, el 38% de estas sustancias tiene componentes clorados que pueden ser fuentes importantes de COP no intencionales en caso de que se quemem los residuos a cielo abierto (CAIA, 2019).



Cultivo de banano y plátano

El cultivo de banano y plátano es considerado el cuarto cultivo más importante del mundo, por ser un producto básico y de exportación, es una fuente de empleo e ingresos en numerosos países del trópico y subtrópico, de hecho, Colombia es el tercer productor mundial de plátano con 2.7 millones de toneladas anuales.

Con el fin de evaluar el estado actual del manejo de los residuos post cosecha se realizaron visitas a los principales municipios productores, en las cuales se estableció por medio de encuestas realizadas a los agricultores cuál método utilizaba para manejar los residuos generados como raquis, vástago y rechazos, ya sea por quema con fuego, por manejo con glifosato u otro. La tabla a continuación presenta los resultados por región.

Zonas Visitadas	Región	Departamento	Municipio	Manejo de residuos de cosecha
Llanos Orientales	Ariari	Meta	Villavicencio	Los residuos los dejan a campo abierto y un 5% los quema con fuego
			Granada	
			Fuente de oro	Los residuos los dejan a campo abierto y un 10 % los quema con fuego
			Cubarral	Los residuos los dejan a campo abierto y un 5% los quema con fuego
	Altillanura		Puerto López	Los residuos los dejan a campo abierto, los pican y luego los incorporan al suelo
			Puerto Gaitán	
Cúcuta (norte)	Zulia	Norte de Santander	Cúcuta	Los residuos los dejan a campo abierto y un 20 % los quema con fuego
			El Zulia	
Huila	Distrito de riego Asopovenir	Huila	Villa vieja	Los residuos los dejan a campo abierto y un 5% los quema con fuego
			Aipe	
Urabá	Centro	Antioquia	Apartadó	Los residuos los dejan a campo abierto, los pican y luego los incorporan al suelo
			Carepa	
			Chigorodó	

Fuente: tomado de estudio CAIA, 2019.

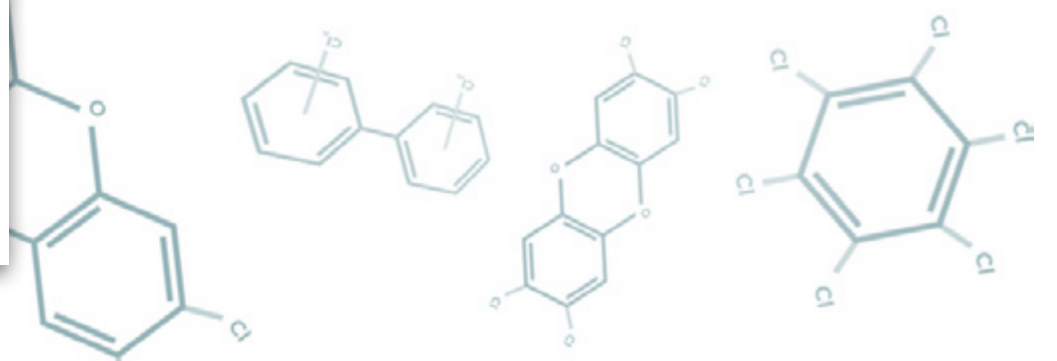


- Cultivo de arroz
- Cultivo de maíz
- Cultivo de banano y plátano
- Palma de aceite
- Cultivo de caña de azúcar

Adicionalmente, se verificó el manejo de los residuos de cosecha de plátano y banano en cada región visitada, observándose que en las zonas en que se produce el plátano para exportación como el Urabá antioqueño los residuos de cosecha se dejan en campo abierto, se pican y luego se incorporan al suelo, pero se les hace tratamiento químico para evitar la propagación de plagas y enfermedades en la próxima siembra. En las demás zonas, el 3.5% de los residuos se quema con fuego antes de la siembra clase 2.

Respecto al uso de plaguicidas, se registraron 28 plaguicidas utilizados, incluyendo ingrediente activo, tipo de plaguicida, dosis recomendada y aplicada, frecuencia de aplicación y sus respectivas observaciones, respecto al registro del ICA y/o manejo en campo.

El análisis muestra que el 93% de los plaguicidas se encuentra en el registro del ICA del año 2019, y solo el 7% está registrado para otros cultivos. Adicionalmente, es el único cultivo que no presenta plaguicidas no registrados en el ICA. Este comportamiento se debe a que los cultivos visitados son en su mayoría para exportación y se rigen por los protocolos y normas dictados por el ICA para tal fin. Es por ello también que se respetan las dosis recomendadas para todos los plaguicidas utilizados, ya que cuentan con asistencia técnica profesional de ingenieros agrónomos. Sin embargo, del 93% de todos los plaguicidas registrados en el ICA, 36% contiene un elemento clorado en la composición del ingrediente activo (CAIA, 2019).



Palma de aceite

El cultivo de la palma de aceite en Colombia ha sido importante en los últimos años, pues es el cuarto productor de palma de aceite del mundo y el primer productor en América; el sector palmero colombiano tiene más de 6,000 productores. La producción nacional se distribuye en cuatro zonas palmeras: la zona norte la componen la Costa y el Cesar con 15 núcleos, en la zona central se encuentran el Sur del Cesar, Bucaramanga y Norte de Santander con 13 núcleos; la zona oriental está compuesta por el Meta y Casanare con 25 núcleos y el suroccidente abarca Tumaco y Caquetá con 5 núcleos (Fedepalma 2018).

Con el fin de evaluar el estado actual del manejo de los residuos post cosecha se realizaron visitas a los principales municipios productores, en las cuales se estableció por medio de encuestas realizadas a los agricultores cuál método utilizaba para manejar los residuos generados como cuesco, fibra y raquis, ya sea por quema con fuego, por manejo con glifosato u otro. La tabla a continuación presenta los resultados por región.

Zonas Visitadas	Región	Departamento	Municipio	Manejo de residuos de cosecha
Llanos Orientales	Ariari	Meta	Granada	80% se aprovecha como combustible para calderas, 10% va a compostaje y se deja en campo abierto 10%
			Fuente de oro	
			Villavicencio	
			Castilla la Nueva	
			Puerto López	
			Puerto Gaitán	
Cúcuta (norte)	Zulia	Norte de Santander	Cúcuta	70% se aprovecha como combustible para calderas, 20% va a compostaje y se deja en campo abierto 10%
			El Zulia	

Fuente: tomado de estudio CAIA, 2019.



- Cultivo de arroz
- Cultivo de maíz
- Cultivo de banano y plátano
- **Palma de aceite**
- Cultivo de caña de azúcar

Debido a que los residuos no se queman a campo abierto no se incluyen en esta categoría (ver Categoría 3b - Centrales de biomasa).

En cuanto al uso de plaguicidas se encontraron 37 plaguicidas utilizados para el control de plagas, enfermedades y manejo de malezas o arvenses, de los cuales 9 están restringidos o con solicitud de prohibición.

Además, en este cultivo se encontró que solo el 32% de los plaguicidas están registrados para palma, el 33% no se encuentran registrados para ningún cultivo y el otro 35% están en el registro nacional del ICA para otros cultivos, como papa, tomate, cebolla, piña, aguacate, durazno, frijol, arroz y melón, entre otros; es decir, 68% de las sustancias registradas en campo no se utilizan de acuerdo a su objetivo por cultivo (CAIA, 2019).

Finalmente, el cultivo de palma de aceite es de todos los cultivos el que presenta un mayor porcentaje de componentes clorados con el 49% del total, es decir, casi la mitad de los plaguicidas reportados tiene cloro dentro de su ingrediente activo.





- Cultivo de arroz
- Cultivo de maíz
- Cultivo de banano y plátano
- Palma de aceite
- **Cultivo de caña de azúcar**

Cultivo de caña de azúcar

El sector azucarero colombiano se encuentra ubicado en el valle geográfico del río Cauca, que abarca 47 municipios desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda. Se estima que hay 225,560 hectáreas sembradas en caña para azúcar, de las cuales el 25% corresponde a tierras propias de los ingenios y el restante 75% a más de 2,750 cultivadores de caña (Asocaña, 2019), de las cuales se cosecharon 195,823 hectáreas (Asocaña, 2018).

La quema de biomasa a cielo abierto en la precosecha de caña de azúcar es en realidad una práctica extendida a nivel mundial y el uso de esta técnica es importante en el país, de hecho se estima que aproximadamente el 38% del área cultivada en el país es quemada (Minambiente, 2017b). De acuerdo con estimaciones realizadas por el sector, este valor se podría reducir hasta un 20%, sin embargo, esta reducción llevaría a implicaciones sociales importantes a los corteros¹⁴³ que dependen del cultivo. Adicionalmente, no todas las zonas cultivadas con caña son aptas para realizar la cosecha mecanizada por condiciones del suelo (Asocaña, 2010).

En cuanto al uso de fertilizantes el sector azucarero del país se ha logrado sustituir completamente el fertilizante cloruro de potasio, principal aportante de cloro a las hojas, logrando concentraciones de esta sustancia entre 0.12 a 0.2%. Igualmente, en cuanto al uso de agroquímicos en el cultivo se ha logrado implementar exitosamente mejores prácticas agrícolas que involucran el mínimo uso de plaguicidas y el control biológico de plagas (Asocaña, 2010).

Por lo tanto, al igual que la quema de los cultivos enunciados anteriormente, fue necesario estimar¹⁴⁴ la cantidad quemada a partir de las cifras de producción registradas en el CNA (Minagricultura, 2020) y a partir de la eficiencia del proceso de quema, de acuerdo con mediciones realizadas en 16 quemas efectuadas en los departamentos de Cauca y Valle del Cauca. Durante el proceso de actualización del presente inventario, se logró estimar que por hectárea de caña de azúcar sembrada se queman en promedio 11.64 toneladas de biomasa con una desviación estándar de 2.31 toneladas (Cenicaña, 2019).

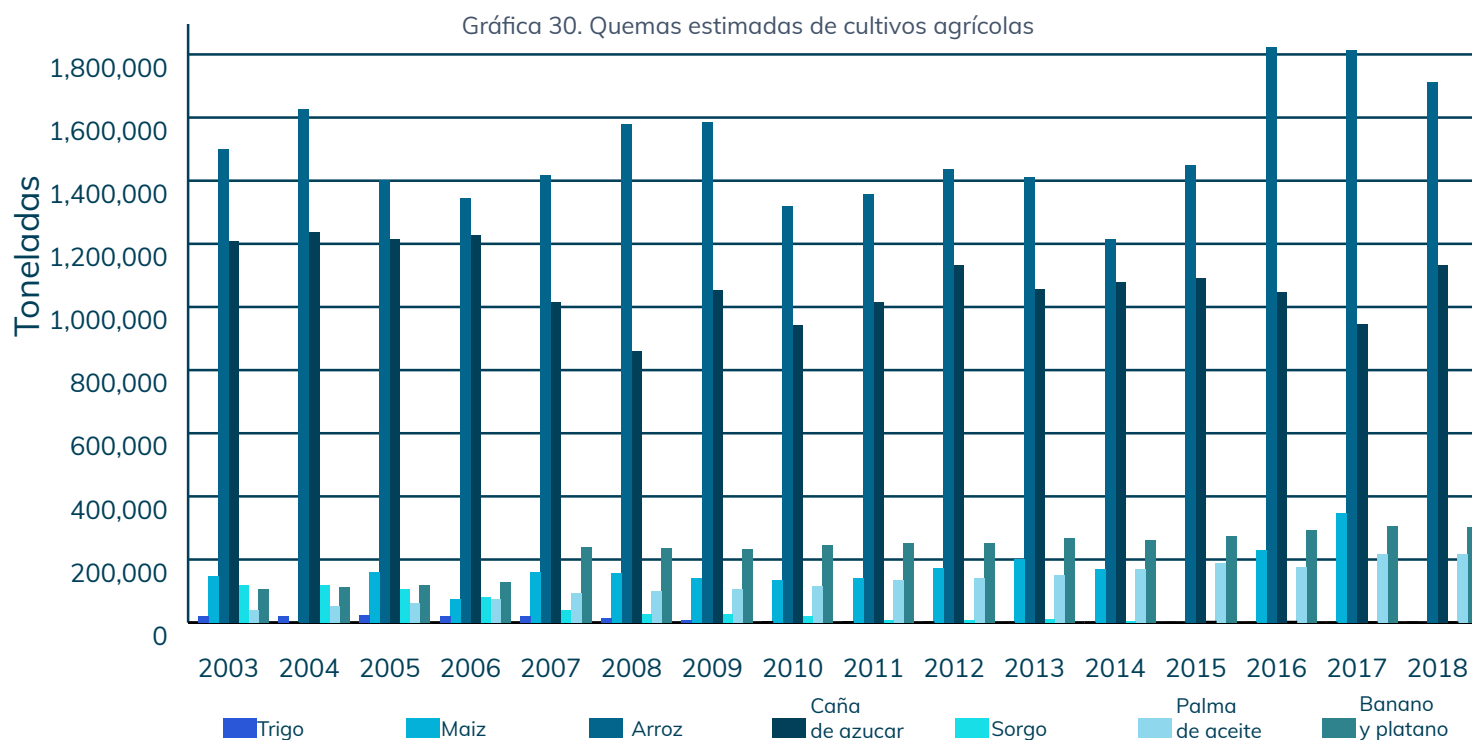


143 Cortero: persona empleada por los cultivadores de caña de azúcar para adelantar la labor de recolección de las plantas luego de realizar la práctica de la quema de biomasa.

144 Metodología tomada del Libro de trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero, capítulo 4.5 paso 3 (IPCC, 1996).

Análisis global de quema en cultivos

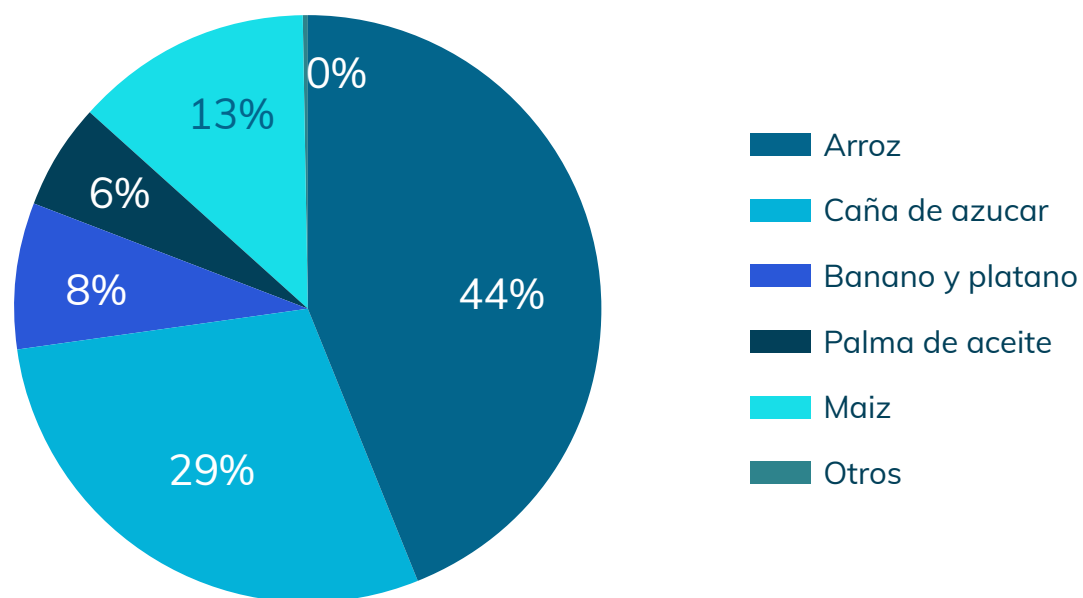
Finalmente, los estimados de cantidades de cultivos quemados¹⁴⁵ a partir de las cifras de producción registradas en los censos nacionales agropecuarios (Minagricultura, 2020) y los datos de manejo de residuos por tipo de cultivo enunciados anteriormente se presentan en la gráfica 30 para los años 2003 a 2018.



Fuente: elaboración propia a partir de información de Minagricultura y Minambiente.

La gráfica 31 presenta un estimativo de la cantidad de biomasa quemada de los cultivos analizados en el presente estudio, de la cual se puede establecer que el principal cultivo que se quema en el país es el de arroz, seguido por la caña.

Gráfica 31. Participación de quemadas de biomasa a nivel nacional



Fuente: elaboración propia a partir de información de Minagricultura y Minambiente.

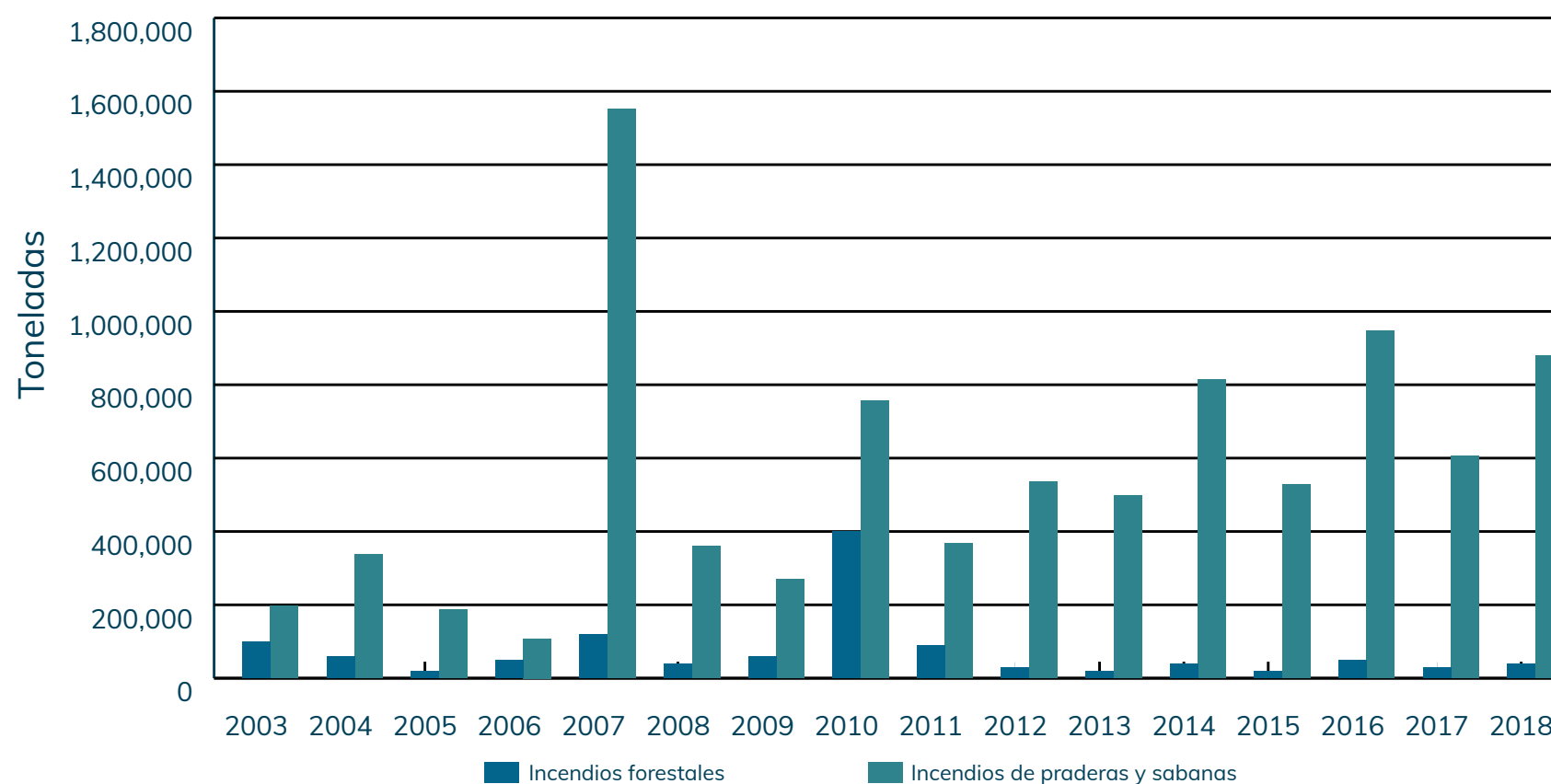
145 Metodología tomada del Libro de trabajo para el inventario de gases de efecto invernadero, capítulo 4.5 paso 3 (IPCC, 1996).



Incendios forestales y praderas

Los incendios de praderas y bosques en el país se dan por medio de la presencia de materiales que son precursores de incendios (ej., botellas, fogatas mal apagadas, entre otros) en ecosistemas generalmente secos o en algunos casos son causados de manera intencional. En cuanto a las estadísticas nacionales de áreas afectadas por incendios de cobertura vegetal, el IDEAM, a partir de imágenes satelitales e información de eventos, ha consolidado esta información durante años, sin embargo, la información se presenta en hectáreas, por lo cual fue necesario utilizar los factores de conversión¹⁴⁶ recomendados en el Toolkit para pasarlos a peso. La gráfica 32 presenta los estimativos de cantidad de bosque y praderas incendiadas de 2003 a 2018 (IDEAM, 2018a).

Gráfica 32. Cantidad estimada de bosque e incendiada



Fuente: elaboración propia a partir de información del IDEAM y Minambiente.

¹⁴⁶ El Toolkit recomienda un factor de 11 toneladas por hectárea incendiada de otros bosques templados (UNEP, 2013). Además, se recomienda un factor de 8.3 toneladas por hectárea incendiada de pastizal de sabana en clima tropical/subtropical (UNEP, 2013).

Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a la emisión de COP no intencionales por esta categoría para el año 2018, la tabla 82 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 81.

Tabla 82. Liberación de la categoría quema de biomasa

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB		HCB
				Liberación anual		Liberación anual		Libe- ración anual
Procesos de quema a cielo abierto			Toneladas/ año	Aire	Suelo	Aire	Suelo	Aire
6 a	Quema de biomasa			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Quema de residuos agrícolas en el campo, de cereales y otros rastrojos de cultivos, impactados, condiciones de quema deficientes	2,217,480 ¹⁴⁷	66.524	22.175	6.652	0.665	0
	2	Quema de residuos agrícolas en el campo, de cereales y otros rastrojos de cultivos, no impactados	304,346 ¹⁴⁸	0.152	0.015	0.015	0.003	304.3
	3	Quema de caña de azúcar	1,132,910	4.532	0.057	0.057	0.011	0
	4	Incendios forestales	46,665	0.047	0.007	0.005	0.005	93.3
	5	Incendios de praderas y sabanas	880,264	0.44	0.132	0.026	0.026	880.3
Subtotal categoría				71.695	22.386	6.755	0.711	1,277.9

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

En cuanto a los factores de emisión correspondientes a las clases 6a1, 6a2 y 6a3, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realizó mediciones de estos contaminantes en quemas en cultivos de arroz, caña de azúcar y maíz en diferentes sitios del país, lo cual permitió validar la elección de los factores de emisión para esta categoría. Revisar Anexo 4, "Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en quema de biomasa 2020".

147

Este dato lo conforman 1,712,253 toneladas de residuos de arroz, 500,935 toneladas de residuos de maíz, 2,101 toneladas de residuos de sorgo y 2190 toneladas de residuos de trigo.

148

Este dato lo conforman residuos de cultivos de plátano y banano.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 6 - Procesos de quema a cielo abierto

Categoría 6b – Quema de residuos e incendios accidentales

Esta categoría incluye la combustión deliberada de materiales de residuos para eliminación donde no se usa un horno o similar —por ejemplo, la quema de residuos domiciliarios y otros residuos en pilas a cielo abierto, la quema de residuos en vertederos— tanto deliberada como accidental, e incendios en edificios, automóviles y otros vehículos (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de quema a cielo abierto de residuos e incendios accidentales pueden ser de varios tipos, el Toolkit 2013 clasifica esta categoría en cinco clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 83).

Tabla 83. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 6b Quema a cielo abierto de residuos e incendios accidentales

6b	Quema a cielo abierto de residuos e incendios accidentales	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada material quemado)		Factores de emisión (µg EQT/tonelada material quemado)	Factores de emisión (µg/tonelada material quemado)
Clase		Aire	Suelo	Aire	Aire
1	Incendios en rellenos sanitarios (alto contenido de carbono orgánico compactado, húmedo,) ¹⁴⁹	300	10*	30	ND
2	Incendios accidentales en casas y fábricas (µg EQT por evento) ¹⁵⁰	400	400	2	ND
3	Quema a cielo abierto de residuos domiciliarios ¹⁵¹	40	1*	1	10,000
4	Incendios accidentales en vehículos (µg EQT por vehículo) ¹⁵²	100	18	ND	ND
5	Quema a cielo abierto de madera (construcción/demolición) ¹⁵³	60	10	ND	ND

* Con base en unas pocas mediciones de campo y concordante con la quema de biomasa EFSuelo donde la liberación en las cenizas es de 5%-10% de la EFAire.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁴⁹ La clase 1 se aplica a los incendios espontáneos o intencionales que ocurren en un repositorio de residuos urbanos o domésticos. Los residuos en esos emplazamientos a menudo pueden incluir los desechos de oficinas, pequeñas fábricas o talleres y restaurantes. En algunos casos, estos incendios tienen el propósito de reducir el volumen de residuos en el repositorio. Por lo general, los residuos tienen un contenido relativamente alto de carbono orgánico. El material combustible tiende a ser húmedo y a compactarse, y se quema mal y lentamente; de ahí que el factor de emisión sea superior que para la clase 3. Normalmente, la ignición se genera ya sea a partir de alguna chispa que se produce genera en la superficie, de la auto-ignición en el interior del cuerpo de los residuos o intencionalmente por razones de gestión. Cabe señalar que los incendios de este tipo son muy poco frecuentes en los rellenos sanitarios con ingeniería moderna, particularmente aquellos con compactación, cobertura diaria del suelo, el reciclaje del agua de escorrentía o lixiviación y de recolección de gas de rellenos sanitarios.

¹⁵⁰ La clase 2 comprende los incendios accidentales que involucran edificios, como viviendas y fábricas. En consecuencia, los factores de emisión se deben dar por evento y dependen en gran medida de los materiales quemados y de la naturaleza del incendio. Existe poca información sobre las emisiones procedentes de estos incendios y se da una única cifra indicativa para cubrir todos los incendios accidentales, excluidos los de vehículos. Los incendios de origen químico pueden provocar liberaciones elevadísimas cuando están involucrados ciertos precursores químicos. Sin embargo, no existe información suficiente para evaluar las liberaciones derivadas de incendios de sustancias químicas como una categoría aparte, por lo que esas emisiones se incluyen en esta clase de incendios accidentales. Cabe señalar que los incidentes específicos pueden dar lugar a contaminación local y posible "puntos calientes".

¹⁵¹ La clase 3 incluye la quema de residuos domésticos en pilas abiertas, hoyos, barriles, sin controles de contaminación. Los residuos se caracterizan típicamente por tener una gran fracción de residuos orgánicos/añoigrócolos y por estar dispuestos de una forma muy dispersa (no compactada).

¹⁵² La clase 4 comprende los incendios que implican automóviles y otros vehículos. Hay poca información para derivar los factores de emisión para este tipo de eventos y los vehículos involucrados pueden variar considerablemente, por lo que se espera que las emisiones varíen también. En consecuencia, los factores de emisión que se muestran son solo cálculos aproximados.

¹⁵³ La clase 5 comprende quema a cielo abierto de la madera y otros materiales utilizados en la construcción y que quedan como remanentes después de una demolición. Esa madera puede ser pintada o tratada con conservantes y plásticos, incluido el PVC, o puede estar presente en los otros materiales quemados.

Situación en Colombia

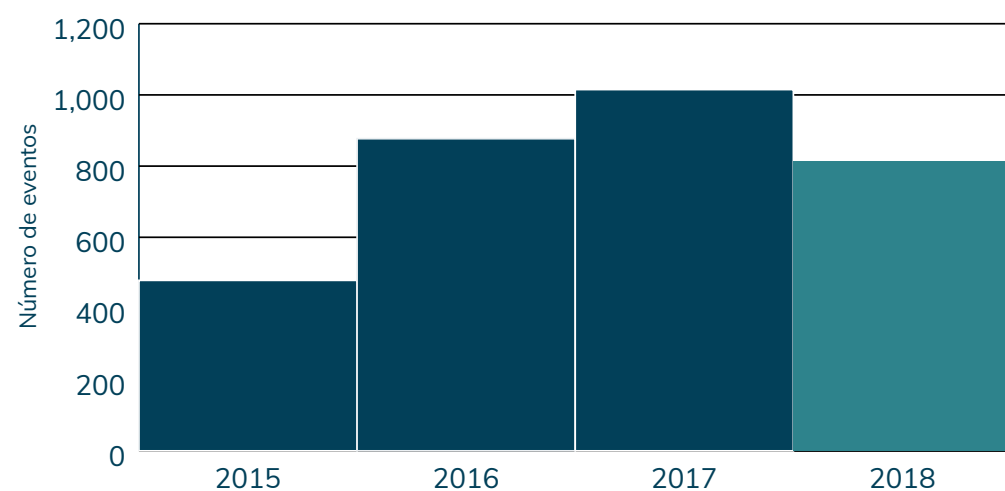
Incendios rellenos sanitarios

En cuanto a los incendios en rellenos sanitarios y botaderos de acuerdo con las consultas realizadas a las autoridades ambientales, consolidado anual de emergencias (UNGRD, 2020) y a los operadores, en el periodo comprendido entre 2007 a 2019 se reportaron 48 incendios en total, de los cuales el 27% se registraron en los rellenos sanitarios que les prestan servicio a las ciudades de San Andrés y Bucaramanga. Es claro que todos los eventos son distintos, pero en promedio ocurren 4 eventos al año con duración de 14 horas y un área afectada de 3 hectáreas; los sistemas que más se incendian con un 63% son los botaderos a cielo abierto activos o clausurados. Es difícil conocer con exactitud las cantidades que se quemaron durante estos eventos, sin embargo, usando los datos de los eventos reportados para el año 2018 se estima que se quemaron en total aproximadamente 47,828 toneladas.

Incendios de fábricas y viviendas

Para estimar el número de incendios de fábricas y casas se consultó la Dirección Nacional de Bomberos. La gráfica 33 presenta el número de eventos de este tipo registrados de 2015 a 2018¹⁵⁴.

Gráfica 33. Número de eventos de incendios de fábricas y/o casas



Fuente: elaboración propia a partir de información de DNBC.

Quemas a cielo abierto de residuos domésticos

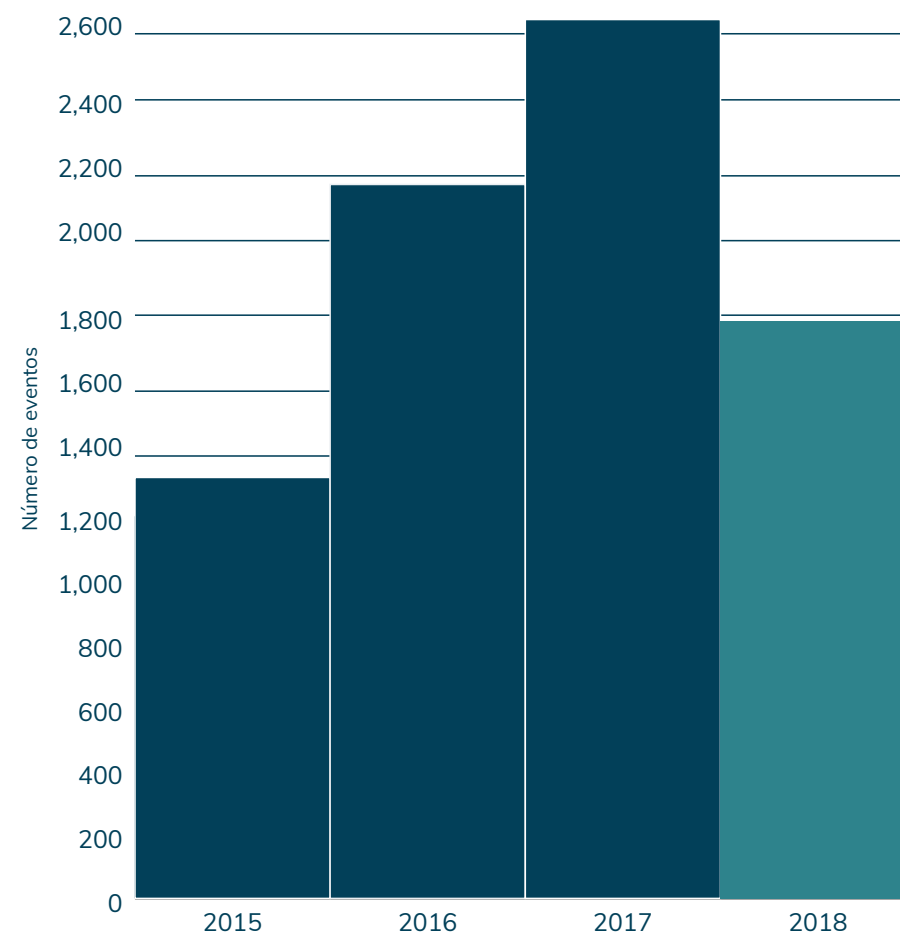
En la clase quema a cielo abierto de residuos domésticos, se encuentra que esta práctica es realizada principalmente en zonas rurales del país sin cobertura de recolección de residuos. Para el año 2014 estaba alrededor de 24.1% (DNP, 2016). Igualmente se estima que alrededor del 8.3% de la composición de los residuos rurales son materiales plásticos y/o caucho (OPS, 1991), los cuales son potencial fuente de generación de PCDD/PCDF si se queman. De acuerdo con los datos enunciados anteriormente, se estima que se quemaron aproximadamente 172,464 toneladas en el año 2018.

154 Los datos de 2003 a 2014 son estimaciones a partir de la información reportada debido a que la DNBC fue creada como unidad hasta 2014.

Incendios accidentales de vehículos

En cuanto al número de incendios accidentales de vehículos, se consultó a la Dirección Nacional de Bomberos. La gráfica 34 presenta el número de eventos de este tipo registrados de 2015 a 2018¹⁵⁵.

Gráfica 34. Cantidad de vehículos incendiados accidentalmente



Fuente: elaboración propia a partir de información de DNBC.

Para la clase quema a cielo abierto de madera y elementos de construcción se solicitó información a las autoridades ambientales, las cuales reportaron incidentes de este tipo en sus jurisdicciones, sin embargo, no fue posible establecer un valor aproximado.

155 Los datos de 2003 a 2014 son estimaciones a partir de la información reportada por bomberos y una regresión múltiple entre el número de casos y los siniestros pagados de vehículos en pesos presentados por Fasecolda debido a que la DNBC fue creada como unidad 2014.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018 la tabla 84 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 83.

Tabla 84. Liberaciones de la categoría quema de residuos e incendios accidentales

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Quema de residuos e incendios accidentales			Toneladas/ año	Aire	Suelo	Aire	Aire
6b	Quema de residuos e incendios accidentales			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Quema de vertedero de residuos (compactados, húmedos, alto contenido de C org.)	44,741	13.422	0.447	1.342	0
	2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas (por evento)	1,812	0.725	0.725	0.004	0
	3	Quema a cielo abierto de residuos domésticos	172,464	6.899	0.172	0.172	1724.6
	4	Incendios accidentales de vehículos (por unidad de vehículo)	813	0.081	0.015	0.000	0
	5	Quema a cielo abierto de madera (construcción/ demolición)		0	0	0.000	0
Subtotal categoría				21.127	1.359	1.518	1,724.6

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.





4.7 Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7 a - Fábricas de pulpa y papel

Calderas

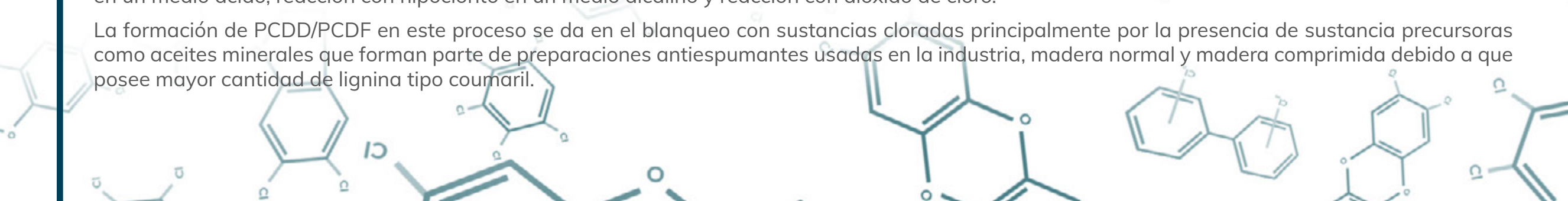
Los principales procesos de la fabricación de productos de papel y pasta de papel son el manejo y la preparación de materias primas, almacenamiento, descortezado de madera, astillado y limpieza de residuos agrícolas, eliminación de nudos, elaboración de pasta, procesamiento y blanqueo de la pasta, si es necesario y, finalmente, la fabricación de papel o cartón (UNEP, 2009).

La fabricación de pasta utiliza métodos mecánicos, termomecánicos, mecánico-químicos y químicos. A continuación, se nombran los principales procesos (UNEP, 2009):

- **Sulfato (kraft):** utiliza una mezcla de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio en condiciones alcalinas para disolver la lignina de las fibras madereras y de la mayor parte de las no madereras. Las fibras se liberan en la planta de cocción mediante la disolución de la lignina y parte de la hemicelulosa en la solución química de cocción (licor blanco). El licor de cocción usado (licor negro) se recupera para generar licor blanco para el primer paso de fabricación de papel. En fábricas con recuperación química se quema la mayor parte de las sustancias madereras disueltas, y el agua residual contiene principalmente los materiales orgánicos en forma de condensados. Este método de elaboración de pasta es el más utilizado a nivel mundial; constituye el 84% de la producción mundial química de pasta y el 63% de la producción total química y mecánica de pasta (método químico).
- **Sulfito:** métodos de ácido bisulfito, bisulfito, alcalino y sulfito neutro (Ca, Mg, NH₄, Na); distintas bases, en particular antraquinona, a diferentes pH, para disolver la lignina; para la mayor parte de fibras madereras (métodos químico y semiquímico).
- **Cal, cal-sosa:** en particular, fibras no madereras.
- **El método de sosa en frío, utiliza un pretratamiento de hidróxido de sodio a temperatura ambiente, con o sin carbonato sódico:** en particular, fibras de maderas duras y no madereras (semiquímico).
- **Sosa y antraquinona (AQ):** hidróxido de sodio solo o con carbonato sódico y antraquinona como catalizador; fibras de maderas duras y no madereras (método químico, similar al kraft, pero sin azufre), pocos olores.
- **Métodos organosolv:** aplicaciones madereras y no madereras, algunas probadas en planta, pero solo un proceso está disponible en el comercio.

Posterior al proceso de elaboración de la pasta sigue el proceso de blanqueo en el cual se aplica a la pasta diferentes compuestos químicos para aumentar el brillo. Igualmente, este proceso ayuda a eliminar la lignina residual que queda en la pasta. Entre los procesos de tratamiento se tienen aquellos totalmente libres de cloro, como la disolución de productos de la reacción con hidróxido de sodio-NaOH, reacción con oxígeno molecular a alta presión en un medio alcalino, extracción alcalina con oxígeno, reacción con peróxido de hidrogeno H₂O₂ en un medio alcalino, reacción con un agente quelante en un medio ácido para eliminar metales y con ozono. Entre los procesos de blanqueo con cloro se utilizan actualmente la reacción con cloro elemental en un medio ácido, reacción con hipoclorito en un medio alcalino y reacción con dióxido de cloro.

La formación de PCDD/PCDF en este proceso se da en el blanqueo con sustancias cloradas principalmente por la presencia de sustancia precursoras como aceites minerales que forman parte de preparaciones antiespumantes usadas en la industria, madera normal y madera comprimida debido a que posee mayor cantidad de lignina tipo coumaril.



El Toolkit 2013 divide los factores de emisión de COP no intencionales en dos procesos de paso de la pulpa por calderas (ver tabla 85) y proceso de producto terminado (ver tabla 86).

Tabla 85. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7a) Calderas para producción de energía en la industria de celulosa y papel

7 a	Producción de celulosa y papel	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		µg EQT/toneladas secadas al aire	µg EQT/toneladas ceniza depositada o volante	µg EQT/toneladas secadas al aire	µg/toneladas secadas al aire
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire
1	Calderas para recuperación alimentadas con licor negro	0.03	ND	0.015	2.5
2	Calderas para producción de energía alimentadas con lodo y/o biomasa/corteza	0.5	5	ND	ND
3	Calderas para producción de energía alimentadas con madera impregnada en sal	13	228	ND	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Tabla 86. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7a) Efluente de aguas residuales de la producción de celulosa y papel y lodos de celulosa

7 a	Celulosa y Papel Producción	PCDD/PCDF				
		Aguas residuales		Lodo residual		Producto
Clase		µg EQT/ AD tonelada celulosa	pg EQT/L	µg EQT/ AD tonelada celulosa	µg EQT/ tonelada lodo	µg EQT/ tonelada producto
1	Proceso Kraft, Cl2, fibras no de madera contaminadas con PCP	ND	300*	ND	ND	30
2	Proceso Kraft, Cl2	4.5	70	4.5	100	10
3	Tecnología mixta (Cl2 parcialmente en el primer paso, seguida de blanqueo sin cloro)	1	15	1.5	30	3
4	Proceso que usa sulfito, Cl2	ND	ND	ND	ND	0.1
5	Proceso Kraft, ClO2	0.06	2	0.2	10	0.5
6	Proceso que usa sulfito, ya sea con ClO2 o totalmente libre de cloro (TLC)	ND	ND	ND	ND	0.1
7	Proceso termomecánico, tratamiento químico que preserva la lignina	ND	ND	ND	ND	1
8	Reciclaje de papel a partir de papel de desecho contaminado	ND	30**	ND	ND	10
9	Reciclado de papel con papel moderno	ND	ND	ND	ND	3

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

* Efluente crudo.

** Agua residual del sistema de destinado.

7 a	Celulosa y papel producción (Continuación tabla anterior)	PCB			HCB
		Aguas residuales	Lodo residual	Producto	Agua residual
Clase		µg EQT/tonelada producto	µg EQT/tonelada producto	µg EQT/tonelada producto	µg/tonelada producto
1	Proceso Kraft, Cl ₂ , fibras no de madera contaminadas con PCP	ND	ND	ND	ND
2	Proceso Kraft, Cl ₂	2.25	2.25	5	10
3	Tecnología mixta (Cl ₂ parcialmente en el primer paso, seguida de blanqueo sin cloro)	ND	ND	ND	10
4	Proceso que usa sulfito, Cl ₂		ND		ND
5	Proceso Kraft, ClO ₂	0.03	0.1	0.25	10
6	Proceso que usa sulfito, ya sea con ClO ₂ o totalmente libre de cloro (TLC)	ND	ND	ND	ND
7	Proceso termomecánico, tratamiento químico que preserva la lignina	ND	ND	ND	ND
8	Reciclaje de papel a partir de papel de desecho contaminado	ND	ND	ND	ND
9	Reciclado de papel con papel moderno	ND	ND	ND	ND

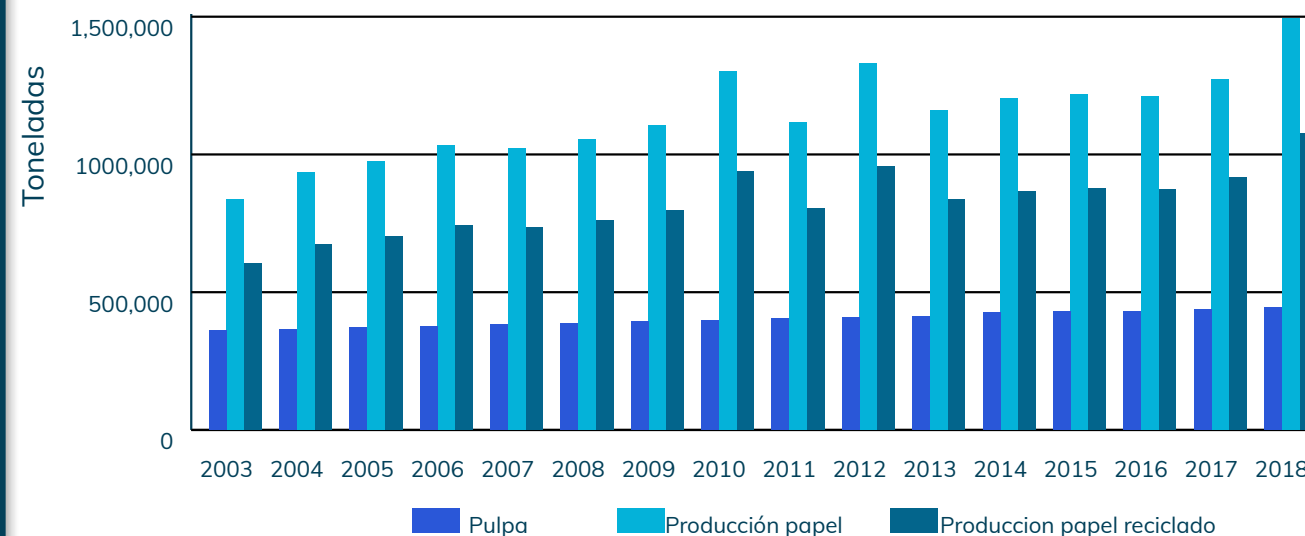
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

En Colombia actualmente existen 15 empresas dedicadas a la producción de pulpa y papel, sin embargo, 9 empresas poseen el 88.8% de la producción. En cuanto a los productos terminados, el 49% son empaques, el 32% son productos de imprenta y escritura, el 17% son productos higiénicos y el restante 2% son otros. Respecto a consumos aparentes, se estima que cada habitante consume aproximadamente 28 kg anuales de papel de los cuales el 76% proviene de producción nacional. En cuanto al reciclaje, se estima que la tasa de reciclaje nacional es del 55% (ANDI, 2015). La gráfica 41 presenta los datos estimados de producción de pulpa, papel y papel y cartón reciclado respectivamente de 2003 a 2018.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a empresas productoras de pulpa y papel, se informa que la gran mayoría utilizan calderas de fabricación de pulpa son alimentadas con licor negro. Así mismo, los procesos de producción de pasta y papel se realizan bajo los procesos kraft y sulfito con un blanqueo completamente libre de cloro.

Gráfica 35. Producción nacional de pulpa, papel y papel y cartón reciclados



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE y Minambiente.

Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 87 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 86 ver ANEXO 6.

Tabla 87. Liberaciones categoría producción de pulpa y papel

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF				PCB			HCB
				Liberación anual				Liberación anual			Liberación anual
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas/ año	Aire	Agua	Producto	Residuo	Agua	Producto	Residuo	Agua
7a	Fábricas de pulpa y papel *			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g/año
Calderas (por tSA de pulpa)											
1	Calderas de recuperación alimentadas con licor negro		444,264	0.013	0	0	0	0	0	0	
2	Calderas de energía alimentadas con lodos y/o biomasa/corteza			0	0	0	0	0	0	0	
3	Calderas de energía alimentadas con madera cargada de sal			0	0	0	0	0	0	0	
Descargas acuosas y productos											
1	Proceso Kraft, Cl2 gas, fibras no madereras, impactadas			0	0	0	0	0	0	0	
2	Proceso Kraft, tecnología antigua (Cl2)			0	0	0	0	0	0	0	
3	Proceso Kraft, tecnología mixta			0	0	0	0	0	0	0	
4	Pulpa/papel al Sulfito, tecnología antigua			0	0	0	0	0	0	0	
5	Proceso Kraft, tecnología moderna (ClO2)		1,449,207	0	0.087	0.725	0.290	0.043	0.362	0.145	
6	Papel al sulfito, tecnología nueva (ClO2, TLC)		44,821	0	0	0.004	0	0	0	0	
7	Pulpa PTM			0	0	0	0	0	0	0	
8	Papeles reciclados de desechos de papel contaminados			0	0	0	0	0	0	0	
9	Pulpa/papel reciclado de papeles modernos		1,075,700	0	0	3.227	0	0	0	0	
Subtotal categoría				0.013	0.087	3.956	0.290	0.043	0.362	0.145	0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 – Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7b – Productos químicos inorgánicos clorados

Producción de cloro elemental (por ton Unidad Electroquímica (ECU))

La producción de cloro es el primer paso en la producción de químicos y artículos de consumo, se estima que de la producción mundial el 35% se utiliza para la producción de dicloruro de etileno, el cual se utiliza para producir cloruro de vinilo que luego se polimerizará para producir cloruro de polivinilo, el 15% se utiliza para crear insumos básicos en la producción de poliuretano, el 20% para producir otros derivados orgánicos, el 20% se usa en la producción de químicos inorgánicos y finalmente el restante 10%, se emplea para procesos como plantas de tratamiento de agua potable y residual (UNEP, 2013).

Para la producción de cloro se utiliza el proceso cloro-alcali, en el cual el cloro y la soda cáustica se producen en una relación de masa 1:1.1 por la electrolisis de salmuera. Los factores de liberación de PCDD/PCDF aumentan por el contacto directo del cloro con materiales reactivos como electrodos de grafito, sellos, tampones, lubricantes, entre otros (UNEP, 2013).

Aquellos procesos que utilizan grafito poseen una liberación considerablemente mayor de PCDD/PCDF en comparación con aquellos que usan electrodos de titanio (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 divide los factores de emisión de COP no intencionales en dos procesos, los que utilizan electrodos de grafito y aquellos que utilizan titanio; los cuales, a su vez, dividen en tres teniendo en cuenta el nivel tecnológico que se tenga (ver tabla 88).

Tabla 88. Factores de emisión de COP no intencionales para las categorías de la fuente 7b. Producción de cloro elemental

7 a	Cloro elemental (Cl ₂)	PCDD/PCDF		
		Factores de emisión (µg EQT/ECU*)		
Clase		Aire	Agua	Residuo
1	Producción de cloro /cloro-álcali usando electrodos de grafito	ND	ND	20,000 µg EQT/ Toneladas lodo 1.000 µg EQT/ECU
Producción de cloro/cloro-álcali usando electrodos de titanio				
2a	Tecnologías simples ¹⁵⁶	ND	17	27
2b	Tecnologías intermedias ¹⁵⁷	ND	1.7 120 pg EQT/L	1.7
2c	Tecnologías complejas ¹⁵⁸	ND	0,002	0.3

*La unidad electroquímica (ECU) consiste de una tonelada de cloro y 1.1 toneladas de soda cáustica (NaOH).

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁵⁶ Tecnologías simples: sin información disponible, o los procesos (reacciones, pasos de purificación y tratamiento de residuos y agua residual) no se controlan con respecto a la formación de PCDD/PCDF u otros COP no intencionales. Los materiales químicos, emisiones aéreas, agua residual, residuos y productos no se monitorean para PCDD/PCDF, otros COP no intencionales o sustancias indicadoras.

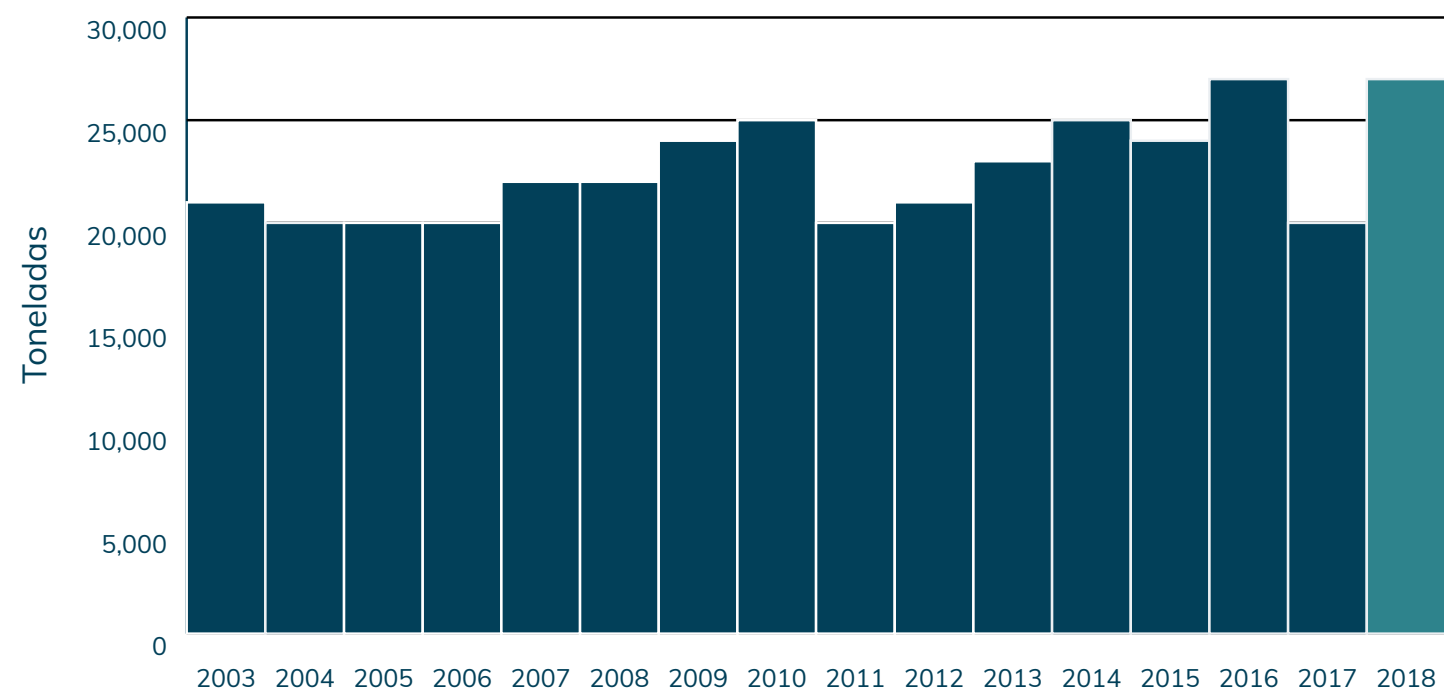
¹⁵⁷ Tecnologías intermedias: los procesos (reacciones y pasos de purificación incluyendo la prevención medidas integradas al proceso y producción y manejo de residuos y aguas residuales) se controlan hasta cierto punto para limitar las liberaciones. Los parámetros de estos procesos (por ej., material, temperatura; presencia o uso de cloro en alguna forma y si se utiliza, su concentración) también se controlan para reducir la formación y liberación no intencional de COP. Los insumos del proceso y emisiones al aire, agua residual, residuos y productos, se monitorean en cierta medida para PCDD/PCDF, u otros COP no intencionales o sustancias indicadoras.

¹⁵⁸ Tecnologías complejas: los procesos (reacciones y pasos de purificación incluyendo la prevención por medidas integradas al proceso y producción y tratamiento de aguas residuales y residuos) se optimizan para lograr emisiones bajas o ninguna emisión. Los parámetros de estos procesos (por ej., material, temperatura; presencia o uso de cloro en alguna forma y, si se utiliza, su concentración) se optimizan para una mínima formación y liberación de COP no intencionales. Los productos o subproductos químicos, emisiones aéreas, aguas residuales y residuos, se monitorean para PCDD/PCDF, otros COP no intencionales y sustancias indicadoras. Se utiliza un paso de refinación donde es apropiado, para minimizar los COP no intencionales en el producto o sub-producto químico. Los residuos del proceso deberían manejarse en una forma ambientalmente adecuada, como se describe en las guías sobre MTD y MPA.

Situación en Colombia

Actualmente en Colombia existen tres empresas dedicadas a producción de cloro, entre otros productos químicos, a partir del proceso cloro-álcali. Las plantas productivas se ubican en los departamentos de Atlántico, Bolívar, Cundinamarca y Valle del Cauca. A continuación, la gráfica 36 presenta la producción nacional de cloro estimada a partir de la EAM de 2003 a 2018.

Gráfica 36. Producción nacional de cloro



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, la tabla 89 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 88.

Tabla 89. Liberaciones categoría producción de cloro

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	
				Liberación anual	
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas /año	Agua	Residuo
7b	Productos químicos inorgánicos clorados			g EQT/año	g EQT/año
		Producción de cloro elemental (por ton Unidad Electroquímica (ECU))			
1	Producción de cloroalcali con ánodos de grafito			0	0
		Producción de cloroalcali con electrodos de titanio			
2a	Tecnología inferior (Low-End)		27,166	0.462	0.733
2b	Tecnología media (Mid-Range)			0	0
2c	Tecnología superior (High-End)			0	0
Subtotal categoría				0.462	0.733

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7c - Productos químicos alifáticos clorados

Los productos químicos alifáticos clorados son el dicloruro de etileno (EDC), monómero de cloruro de vinilo (VCM) y el cloruro de polivinilo (PVC), de estos el EDC se usa casi exclusivamente para la producción de VCM y el VCM se usa casi exclusivamente en la producción de resina de PVC (UNEP, 2013).

Actualmente existen dos procesos para producir PVC, la cadena de producción EDC/VCM/PVC usa etileno derivado del petróleo o gas natural como su material primario y es responsable de aproximadamente dos tercios de la producción global de PVC. Esta cadena es más favorable en la industria para la formación de PCDD/PCDF; y la cadena de producción de acetileno/ VCM/PVC que utiliza acetileno derivado de carbón como material primario y es responsable del tercio restante de la producción global de PVC (UNEP, 2013).

Actualmente en Colombia no se encuentran registros de producción de EDC ni monómero VCM, este último es importado al país proveniente de Estados Unidos para la producción de PVC.

El Toolkit 2013 divide los factores de emisión de COP no intencionales en tres procesos teniendo en cuenta el nivel tecnológico que se tenga (ver tabla 90).

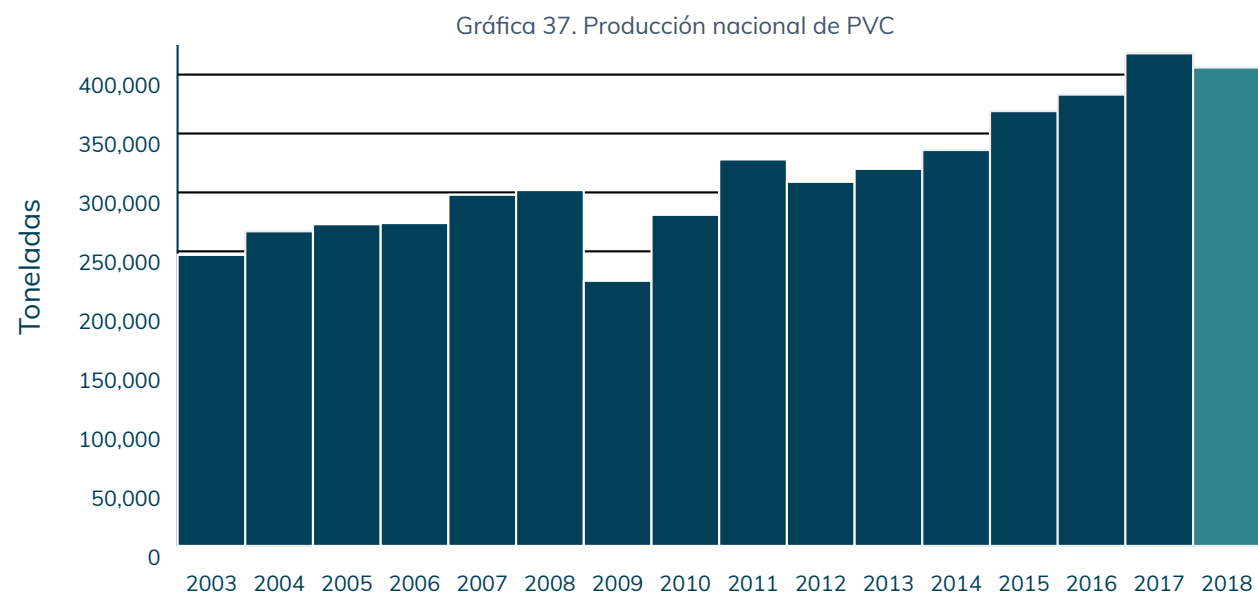
Tabla 90. Factores de emisión de COP no intencionales para la producción de PVC

7c	Solo PVC	PCDD/PCDF		
		Factores de emisión (µg EQT/Tonelada de PVC)		
Clase		Aire	Agua	Residuo
1	Tecnología inferior (Low-End)	1	0.03	0.095
2	Tecnología media (Mid-Range)	0.1	0.003	0.06
3	Tecnología superior (High-End)	0.021	0.0003	0.005

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

La gráfica 37 presenta la producción nacional de PVC estimada a partir de los datos presentados en la EAM.



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.

Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 91 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 90.

Tabla 91. Liberaciones categoría producción de PVC

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		
				Liberación anual		
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas /año	Aire	Agua	Residuo
7c				g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año
Solo PVC (por ton producto PVC)						
1		Tecnología inferior (Low-End)	406,558	0.407	0.012	0.039
2		Tecnología media (Mid-Range)		0	0	0
3		Tecnología superior (High-End)		0	0	0
Subtotal categoría				0.407	0.012	0.039

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7d - Productos químicos aromáticos clorados

En esta categoría se incluye la producción de compuestos químicos en los cuales durante sus procesos productivos se forman PCDD/PCDF, entre los cuales están: clorobenzenos, PCB, PCP y PCP-Ni, 2, 4, 5-T y 2, 4, 6-2, 4, 6-triclorofenol, cloronitrofenol (CNP), pentacloronitrobenzeno (PCNB), 2, 4-D y derivados, parafinas cloradas, p-Cloranilo, triclosan, ftalocianina y dioxazina en tintes y pigmentos.

A pesar de que en el país se registran importaciones de estos productos químicos como clorobenzeno, o-diclorobenzeno y p-diclorobenzeno, 2, 4, 5-T (ácido 2, 4, 5,- triclorofenoxiacético), ácido 2, 4-diclorofenoxiacético (2, 4-D) y cloroparafinas (DIAN, 2015), no se registra producción de ninguna de estas sustancias, por lo tanto, no se evalúa esta categoría (DANE, 2020).

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7e - Otros productos químicos clorados y no clorados

En esta categoría se incluye la producción de compuestos químicos en los cuales durante sus procesos productivos se forman PCDD/PCDF, entre los cuales están: $TiCl_4$, TiO_2 y caprolactama.

A pesar de que en el país se ha realizado históricamente la producción de caprolactama, desde el año 2014 la producción se registra como cero (DANE, 2020), por lo tanto, no se evalúa esta categoría.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7f - Refinerías de petróleo

La industria de refinación de petróleo convierte petróleo crudo en productos refinados, incluyendo gas licuado de petróleo, gasolina, kerosene, combustible de aviación, combustible diésel, aceites combustibles, aceites lubricantes, bitumen y material para la industria petroquímica. La composición del petróleo (petróleo crudo) puede variar mucho dependiendo de su fuente (UNEP, 2013).

Los procesos de refinación de petróleo que han sido identificados como fuentes de PCDD/PCDF fuentes incluyen los siguientes (UNEP, 2013):

- Las fuentes estacionarias de combustión, como calderas y calentadores de los procesos, generan calor y energía quemando combustibles derivados de los procesos de refinado; estas fuentes son analizadas en el Grupo de fuentes 3 Generación de energía y calefacción. Se debe prestar especial atención al elaborar el inventario de PCDD/PCDF para esta categoría de fuente para evitar el doble recuento de las emisiones de calderas para producción de energía.
- Las unidades de coquización utilizan altas temperaturas para romper los hidrocarburos pesados para formar destilados más útiles como aceites para calefacción o gasolina. Las unidades tradicionales de coquización líquida son una de las mayores fuentes de emisiones en una refinería, siendo comparable a las emisiones de un regenerador CCU.
- Las unidades de reforma catalítica son una serie de reactores catalíticos que transforman la nafta a gasolina de alto octanaje. El catalizador acumula carbón (coque) para que deba ser regenerado. En el proceso continuo, permanentemente se va sacando el catalizador viejo del reactor al regenerador donde se quema el carbón a partir del catalizador con aire caliente/vapor. Se agregan cloro u organocloros, como tri- o percloroetileno, para retener la actividad catalítica. Mientras que los reactores no tienen descargas directas del proceso, los regeneradores del catalizador tienen descargas.
- Las antorchas constituyen un equipamiento de seguridad obligatorio que se utiliza durante los trastornos, inicio de funcionamiento, apagado, y purgas del sistema y para manejar la eliminación de los gases de residuos de operaciones de rutina.
- Es posible que se libere PCDD/PCDF a la atmósfera de las chimeneas de venteo y las antorchas, capturados en sistemas de lavado y liberados al agua en efluentes tratados, y liberados en los residuos como catalizadores y lodos del tratamiento de las aguas residuales.

El Toolkit 2013 divide los factores de emisión de PCDD/PCDF en dos procesos: quema en antorcha (ver tabla 92) y proceso de producción del crudo como tal (ver tabla 93).

Tabla 92. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría quema en antorchas de la fuente 7f Refinería de petróleo

7f		PCDD/PCDF
		Refinería de petróleo (antorcha de gases)
Clasificación		Aire µg EQT/TJ combustible quemado
1	Llamarada	0.25

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Tabla 93. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría producción de la fuente 7f Refinería de petróleo

7f	Refinería de Petróleo (procesos de producción)	PCDD/PCDF			PCB		HCB
		Factores de emisión			Factores de emisión		Factores de emisión
Clasificación		Aire	Agua	Residuo	Aire	Residuo	Aire
		µg EQT/toneladas oilA	pg EQT/L	µg EQT/ toneladas residuo	µg EQT/toneladas oilA	µg EQT/ toneladas residuo	µg /toneladas oilA
1	Unidad de reforma catalítica (incluyendo regenerador del catalizador)	0.017	NA	14	0.01	7	2
2	Unidad de coquización	0.41	NA	ND	ND	ND	ND
3	Tratamiento de las aguas residuales de toda la refinería	ND	5	ND	ND	ND	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.



Situación en Colombia

En Colombia la producción de petróleo es un rubro importante dentro de la económica nacional, de hecho se estima que aproximadamente el 25% de las exportaciones totales del país son petróleo crudo (MINMINAS, 2018). Se calcula que tan solo 20 campos ubicados en los departamentos de Meta, Casanare y Arauca producen el 66% del crudo (ANH, 2017). En el país actualmente existen dos plantas de refinación de crudo ubicadas en los departamentos de Bolívar y Santander (Minminas, 2018).

A partir de datos recopilados a Ecopetrol en el 2017, fue posible recopilar los datos de combustible quemado¹⁵⁹ en antorchas, cantidad de producción de hidrocarburo procesado bajo los procesos de unidad de reformado catalítico y coquización.

¹⁵⁹ Para poder incluir estos valores son necesarios ingresarlos al Toolkit en TJ por los que fue necesario hacer las siguientes conversiones de unidades:

- El gas quemado en las antorchas es en su mayoría metano por lo que se asumió una densidad de 0.656 kg/m³
- El poder calorífico del metano se asumió como 13249 kcal/kg-
- 1 kcal es 4.186 8×10⁻⁹ Terajulios [TJ]

Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a la liberación de COP no intencionales por esta categoría para el año 2018 la tabla 94 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 92 y tabla 93.

Tabla 94. Liberaciones categoría producción refinerías de petróleo

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF			PCB		HCB	
				Liberación anual			Liberación anual		Liberación anual	
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas/ año	Aire	Agua	Residuo	Aire	Residuo	Aire	
7f	Refinerías de petróleo			g EQT/ año	g EQT/ año	g EQT/ año	g EQT /año	g EQT /año	g/año	
	1	Antorchas (por TJ de combustible quemado)	128,323	0.032	0	0	0	0	0	
Procesos de producción (por ton hidrocarburo procesado)									Por favor ingrese masa de residuos en Toneladas	
	1	Unidad de reformado catalítico (catalytic reforming)	284,400	0.006	0	3.594	0.003	1.797	0.6	256,683
	2	Unidad de coquización (coking)	595,849	0.238	0	0	0	0	0	Por favor ingrese agua vertida en L
	3	Tratamiento de aguas residuales de la refinería		0	0.054	0	0	0		10,800,000,000
Subtotal categoría				0.276	0.054	3.594	0.003	1.797	0.6	

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7g - Industria textil

La industria textil es una de las cadenas industriales más largas y más complicadas en el sector de manufactura. Esta industria se trata de un grupo de establecimientos diversos y fragmentados que producen y/o procesan productos relacionados con la industria textil, como fibra, estambre y telas, para luego seguir su procesado en productos terminados (UNEP, 2013).

Estos establecimientos van desde operaciones pequeñas “de calle secundaria” con pocos controles, hasta operaciones de gran escala altamente sofisticadas con controles de contaminación sumamente completos (UNEP, 2013). Dada la complejidad de los procesos para convertir fibras naturales en productos finales, la mayoría de las fábricas textiles se especializan (UNEP, 2013).

Las industrias de producción textil son posibles fuentes de PCDD/PCDF por una serie de factores (UNEP, 2013):

- La materia prima puede contaminarse con PCDD/PCDF debido al tratamiento con plaguicidas contaminados con PCDD/PCDF, como pentaclorofenol.
- Los colorantes y pigmentos usados en las fibras y textiles se pueden contaminar con PCDD/PCDF, por ejemplo, colorantes de dioxazina producidos a partir de pigmentos con base en cloranil y ftalocianina.
- Los procesos de terminado pueden incluir el uso de productos químicos contaminados con PCDD/PCDF, como Triclosan, un agente antimicrobiano.
- Las calderas y calefactores se pueden usar para producción de energía y generación de calor (véase Grupo de fuentes 3);
- Se pueden usar incineradores para eliminación de residuos de procesos.
- Se liberan grandes volúmenes de efluentes al ambiente.
- Formación de PCDD/PCDF durante el acabado.

Debido a que los procesos de producción textil varía entre los países, el Toolkit 2013 clasifica esta actividad en tres clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 95).

Tabla 95. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7g Producción de textiles

7g	Producción de textiles	PCDD/PCDF
		Factores de emisión (µg EQT/ Toneladas textiles)
Clase		Producto
1	Tecnología simple	100
2	Tecnología intermedia no MTDA	0.1
3	Tecnología MTD compleja	NA

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

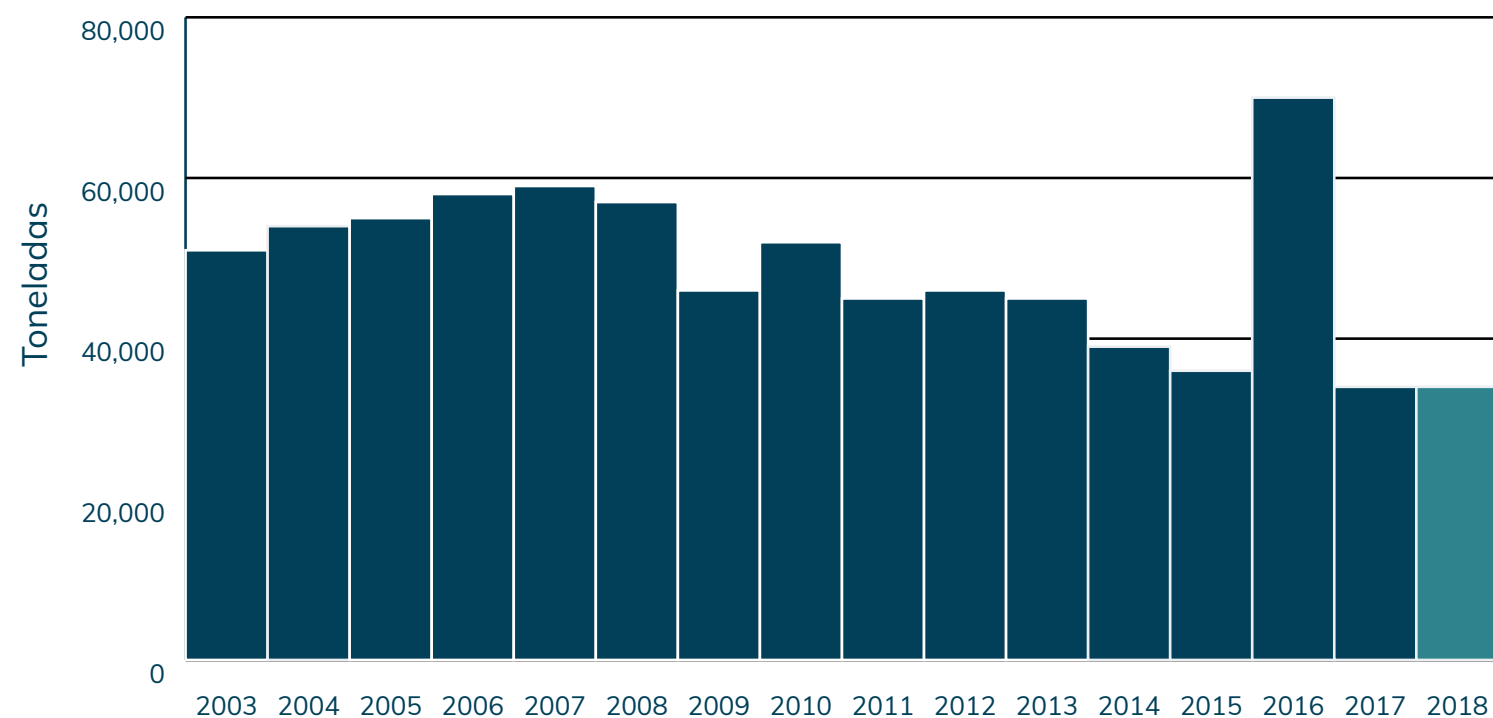
Situación en Colombia

La industria textil es un sector importante en la economía colombiana, en el año 2016 representó el 8.8% del PIB de la industria manufacturera y es una fuente importante de empleo, representa cerca del 24% del empleo en el país (CAIA, 2019).

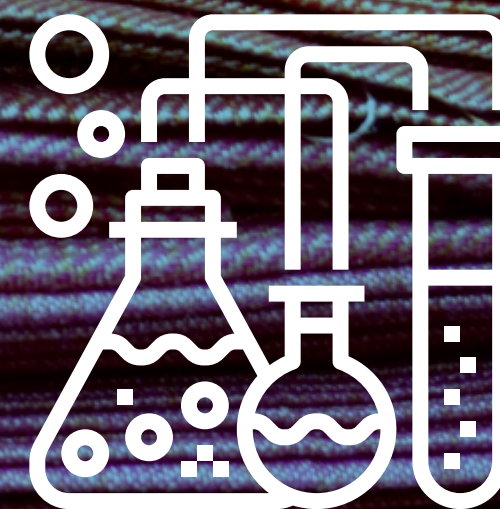
En el país esta cadena de producción se ha integrado verticalmente desde el cultivo de algodón (o importación) y la elaboración de fibras manufacturadas, pasando por la fabricación de la hilaza, el acabado y la confección de prendas, y finalizando con la venta y comercialización del producto terminado (CAIA, 2019). La producción de este sector se concentra en Medellín y Bogotá, que representan cerca del 80% de la producción textil nacional, seguidos por Ibagué, Cali y Pereira (CAIA, 2019).

La gráfica 38 presenta los datos de producción de fibras textiles e hilados reportados por la EAM desde el año 2003 a 2018.

Gráfica 38. Producción nacional de textiles e hilados



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En Colombia, la mayor cantidad de algodón que se utiliza en la industria textil es importado y proviene principalmente de Estados Unidos, Burkina Faso y Brasil (Grupo PIGA, 2015), mientras que la lana es de origen fundamentalmente nacional (CAIA, 2019).

Con respecto al uso de sustancias químicas en el país, algunas empresas del sector textil cuentan con la certificación OEKO-TEX¹⁶⁰ (PTP, 2012), para asegurar que los artículos textiles estén libres de sustancias nocivas, como pesticidas, fenoles clorados, ftalatos, PFOS, PFOA y compuestos aromáticos clorados, entre otros (CAIA, 2019).

Otra certificación aplicable al sector es la Norma Textil Orgánica Global (GOTS, por su sigla en inglés), la cual certifica a los productos textiles que contengan al menos un 70% de fibra orgánica y que todos los insumos químicos, colorantes y auxiliares, cumplan con requisitos ambientales y toxicológicos (CAIA, 2019).

En cuanto a la información suministrada en las reuniones y las revisiones de fuentes secundaria, se estima que para el 2012 aproximadamente el 38% de las empresas contaban con un mecanismo de control de proveedores para evitar o minimizar el uso de componentes en cuya producción se hubiesen utilizado sustancias peligrosas en las cuales están aquellas precursoras de PCDD/PCDF (CAIA, 2019). En cuanto al uso de Triclosan y Pentaclorofenol, una de las principales empresas productoras del país informó que establece límites de contenido de estas sustancias dada la obligación de cumplir con los requerimientos REACH (CAIA, 2019).

En relación con el uso de colorantes o pigmentos a base de ftalocianinas, la misma empresa informó que no la utiliza (CAIA, 2019). Sin embargo, existen pruebas de que en Colombia aún existe el uso de Ftalocianinas, sustancias usadas como colorantes y pigmentos en tintas de impresión y colorantes para textiles en industrias más pequeñas (García & Suárez, 2016).

La tabla 96 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 95 ver ANEXO 6.

160 El STANDARD 100 de OEKO-TEX® es un sistema de pruebas y verificación independiente y homogéneo en todo el mundo para productos textiles brutos, intermedios y finales en todas las fases de fabricación, así como para los materiales y accesorios utilizados.

Tabla 96. Liberaciones de categoría producción textil

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF
				Liberación anual
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas/ año	Producto
7g	Plantas textiles			g EQT/año
	1	Tecnología inferior (Low-End)	20,711	2.071
	2	Tecnología media (Mid-Range), no-MTD	13,807	0.001
	3	Tecnología superior (High-End), MTD		0
Subtotal categoría				2.072

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 7 - Producción y uso de Productos químicos y Bienes de consumo

Categoría 7h - Industria cuero

La operación de las curtiembres consiste en convertir la piel virgen o el cuero sin procesar de un animal en cuero para abastecer la manufactura de una amplia gama de productos. El curtido es la etapa fundamental de todo el proceso, lo que le da al cuero su estabilidad y carácter esencial (UNEP, 2013).

La industria de la curtiembre es un sector con alto potencial contaminante y varias inquietudes ambientales, entre las que se incluyen las emisiones atmosféricas, las aguas residuales y los residuos sólidos (UNEP, 2013).

Se han detectado PCDD/PCDF en mercancía de cuero terminada. La evidencia sugiere que las fuentes de PCDD/PCDF son las tinturas contaminadas, como las derivadas del cloranil y biocidas contaminados, como PCP. Si bien no se ha evaluado la formación de PCDD/PCDF o su aparición en los procesos de producción del cuero, es razonable esperar que el uso de tinturas y productos químicos biocidas contaminados con PCDD/PCDF den lugar a la aparición de estos en las aguas residuales y lodos originados del tratamiento de las aguas residuales de los procesos en cuestión. Además, se pueden formar más PCDD/PCDF en la cadena de producción del cuero cuando se tratan las aguas residuales del proceso y se incinera el lodo de tratamiento de aguas residuales y otros desechos del proceso (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 97).

Tabla 97. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 7h Industria de cuero

7h	Industria de cuero	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (µg EQT/tonelada cuero)	
Clase		Producto	
1	Tecnología simple	1,000	
2	Tecnología intermedia	10	

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

En el país la cadena del cuero, calzado e industria marroquinera depende en gran medida del sacrificio de ganado bovino, del cual se obtiene gran parte de la oferta de cuero y pieles, no obstante, esta oferta no puede ser aprovechada completamente, debido al bajo cuidado que se realiza al cuero durante el proceso de levante del ganado vacuno y durante su sacrificio.

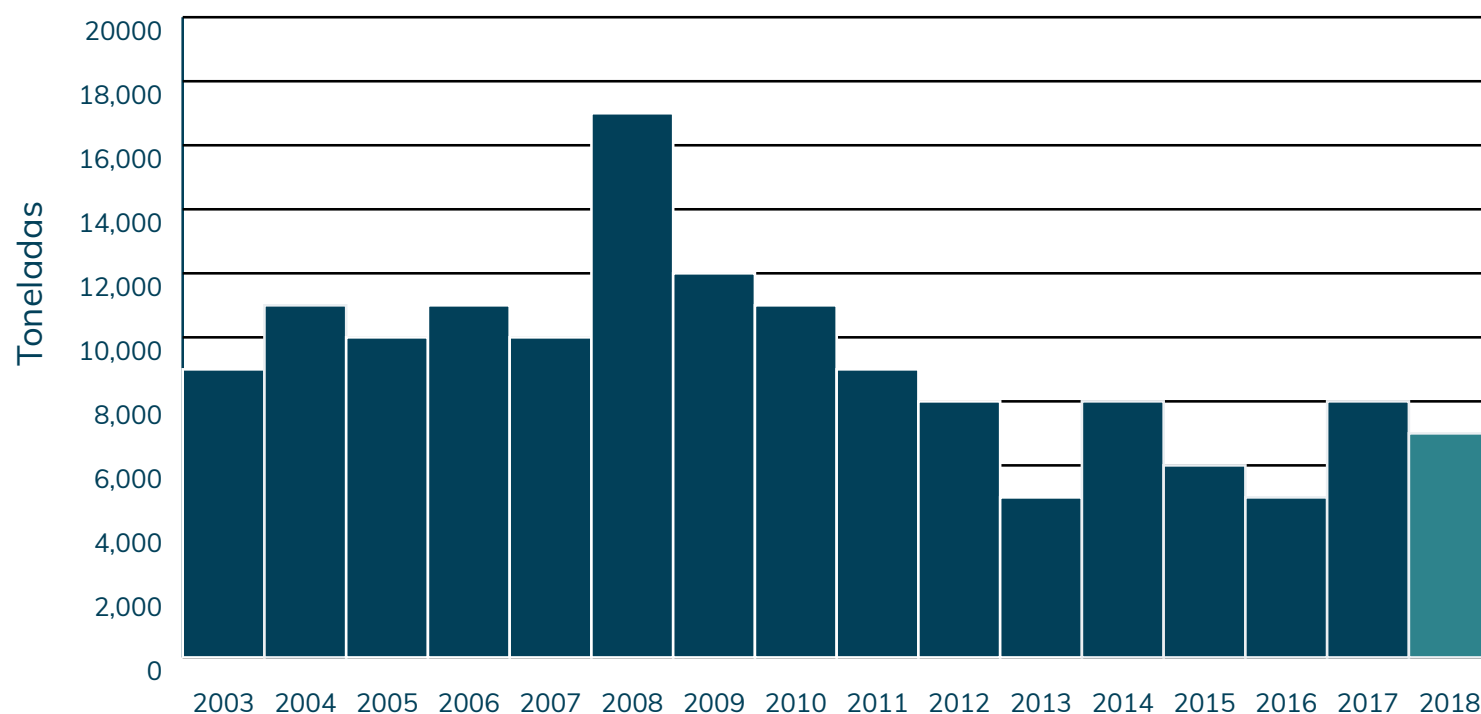
En el país la actividad del curtido de pieles se concentra fundamentalmente en el departamento de Cundinamarca (Villapinzón y Chocontá) y Bogotá (Barrio San Benito) en donde se concentra cerca del 80% de las curtiembres que funcionan en el país, son en su mayoría pequeñas y medianas empresas que aportan el 38% de la producción nacional (25% se produce en Villapinzón y Chocontá, y 13% en Bogotá) (CAIA, 2019).

En cuanto a la producción de cuero curtido, el departamento de Antioquia con solo 7 curtiembres grandes aporta más del 20% de la producción nacional. El 75% de la producción nacional se centra en Cundinamarca (25%), Antioquia (23%), Valle del Cauca (14.5%) y Bogotá (13%) (CAIA, 2019).

La gráfica 39 presenta los datos de producción estimada¹⁶¹ de cuero reportados por la EAM desde el año 2003 a 2018.

¹⁶¹ La gran mayoría de estos datos se presentan en d2, por lo que es necesario ingresarlo al Toolkit en toneladas. Para ello se asumió un facto de conversión de 1kg por cada 0.8 m² de cuero curtido

Gráfica 39. Producción nacional estimada de cuero



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a consultas realizadas a diferentes empresas de producción de cuero ubicadas en los principales centros de manufactura, se encontró que en la etapa de acabado y teñido no se utilizan biocidas y en la actualidad no se usa ningún colorante o sustancia que contenga cloro (CAIA, 2019).

Por otro lado, de acuerdo con las visitas a dos de las curtiembres más grandes del país, cuya producción corresponde a cerca del 80% del total nacional, en la etapa de recurtido utilizan fungicidas libres de pentaclorofenol y de hidrocarburos halogenados absorbibles-AOX (CAIA, 2019).

En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría, la tabla 98 presenta los resultados para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 97.

Tabla 98. Liberaciones de categoría producción de cuero

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF
				Liberación anual
Producción y uso de productos químicos y bienes de consumo			Toneladas/ año	Producto
7h	Plantas procesadoras de cueros			g EQT/año
	1	Tecnología inferior (Low-End)	1,531	1.53
	2	Tecnología media (Mid-Range)	6,122	0.061
Subtotal categoría				1.592

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.





4.8 Grupo 8 - Misceláneos o varios

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 8 - Misceláneos o varios

Categoría 8 a - Secado de biomasa

El secado de biomasa leñosa o herbácea, por ejemplo chips de madera o forraje verde, se da ya sea con o sin contención, en los que los gases de combustión contaminados con COP no intencionales entran en contacto con el material que se está secando (UNEP, 2013).

Bajo condiciones controladas, se usan combustibles limpios como la madera. El secado de forraje verde usando malos combustibles, por ejemplo madera tratada, textiles, alfombras, entre otros, puede llevar a la formación de PCDD/PCDF y a la contaminación del forraje (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales según el tipo de combustible que se utilice (ver tabla 99).

Tabla 99. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8 a Secado de biomasa

8 a	Secado de biomasa	PCDD/PCDF		
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada producto seco)		
Clase		Aire	Producto	Residuo
1	Combustible altamente contaminado (material tratado con PCP o de otra forma)	10	1	2,000
2	Combustible moderadamente contaminado	0.1	0	20
3	Combustible limpio	0.01	0.1 ¹⁶²	5

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

162 Para biomasa herbácea que se está secando, usar un factor de emisión al producto de 1 μg EQT/toneladas de producto seco

Situación en Colombia

Secado de madera

La producción de madera es una actividad importante en el país, según cifras oficiales, existen 740 empresas registradas dedicadas a la transformación de madera (DANE, 2020), sin embargo, estos datos representan únicamente las empresas investigadas por la Encuesta Anual Manufacturera, solo incluye aquellas empresas que ocupan 10 o más personas, o que en su defecto presenten unos ingresos brutos iguales o superiores a 65 millones de pesos para el año 2014, de hecho se estima que el número aproximado de empresas es aproximadamente 5.300 microempresas (Profor, 2017).

En el presente estudio se realizaron visitas a empresas ubicadas en las principales zonas productoras de madera del país Antioquia y Bogotá, en las cuales se encontró que gran cantidad de empresas que tienen dentro de sus procesos el secado de maderas son pequeñas empresas, con baja producción, rendimiento y mano de obra no calificada (CAIA, 2019). En cuanto a los tipos de secado de madera en el país se utilizan calderas, sistemas convencionales y de vacío, los cuales funcionan con electricidad (centros de enseñanza), gas (grandes ciudades), carbón y leña no inmunizada (zonas rurales), por lo tanto, se puede considerar para el presente estudio que toda la producción de madera utiliza combustibles limpios (CAIA, 2019) de acuerdo a la tabla 99, ver Anexo6.

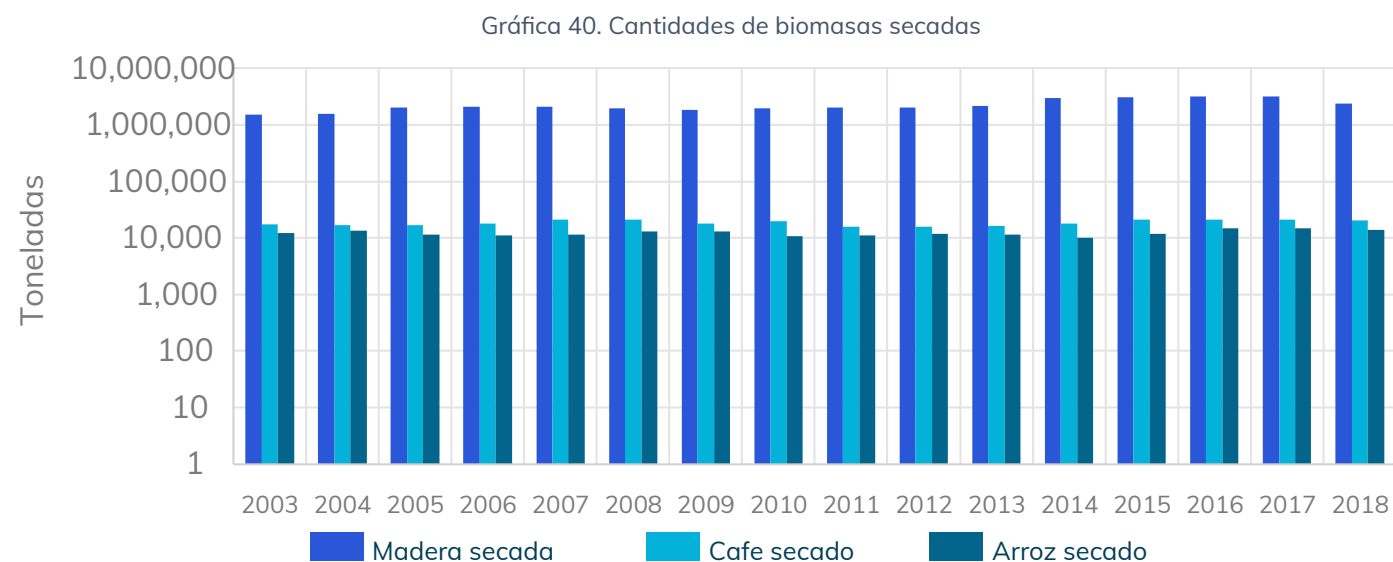
Secado de café

El café es uno de los principales productos del país. De acuerdo con consultas realizadas a la Federación Nacional de Cafeteros, se encuentra que la actividad es realizada en su mayoría por caficultores pequeños productores, de hecho, para el 2018, más del 95% de la producción total se realiza en fincas no mayores de 5 hectáreas, por lo tanto, esta situación permite que en la mayoría de estos casos el proceso de secado de café sea llevado a cabo utilizando energía solar. En cuanto a los caficultores medianos y grandes (de más de 5 y hasta 10 ha y más de 10 ha, respectivamente) combinan las alternativas de secado solar y secado mecánico a partir del uso de combustibles limpios de acuerdo con la tabla 99 ver ANEXO 6.

Secado de arroz a partir de cascarilla

Otro proceso importante por analizar en el presente inventario es el secado de arroz, a partir del uso de cascarilla como combustible, teniendo en cuenta como se enuncia en la Categoría 6 a – Quema de biomasa, que el 42% de la producción de arroz utiliza plaguicidas clorados los cuales a la hora de incinerarse son posibles fuentes de producción de COP no intencionales.

A continuación, en la gráfica 40 se presentan los datos de cantidades de madera, arroz y café secados desde 2003 a 2018.



Fuente: elaboración propia a partir de información de FNC, DANE, Agronet.

Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF, por esta categoría para el año 2018 la tabla 100 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 99.

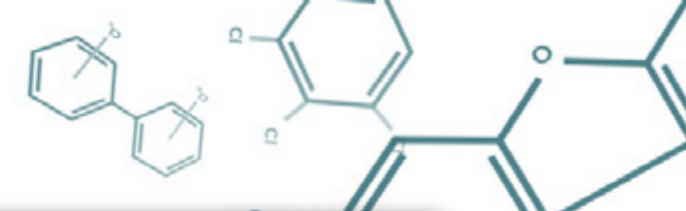


Tabla 100. Liberaciones de categoría secado de biomasa

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		
				Liberación anual		
Misceláneos			Toneladas/año	Aire	Producto	Residuo
8a	Secado de biomasa			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año
	1	Combustible altamente contaminado (tratado con PCP)		0	0	0
	2	Combustible moderadamente contaminado	5,854	0.001	0.001	0.117
	3	Combustible limpio	2,376,234	0.024	0.238	11.881*
Subtotal categoría				0.024	0.238	11.998

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

* Liberación generada principalmente por el sector de secado de madera.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 8 - Misceláneos o varios

Categoría 8b – Crematorios

La cremación, en la que se reducen los cuerpos humanos a cenizas quemándolos, es una práctica común en muchas sociedades. Los componentes esenciales para la cremación son el ataúd (y el cadáver), la cámara principal de combustión, y, donde correspondiere, la cámara de combustión retardada y el sistema de control de contaminación del aire (UNEP, 2013). Las emisiones de PCDD/PCDF dependen principalmente de la cantidad de elementos diferentes a los cuerpos como ropa, ataúd, entre otros.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales según el tipo de objetos que va al horno y el control de emisiones (ver tabla 101).

Tabla 101. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8b Cremaciones

8b	Crematorios	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión (µg EQT por cada cremación)		Factores de emisión (µg EQT por cada cremación)	Factores de emisión (µg por cada cremación)
Clase		Aire	Residuo	Aire	Aire
1	No control ¹⁶³	90	ND	0.05	ND
2	Medio control o cremaciones a cielo abierto ¹⁶⁴	10	2.5	0.03	150
3	Control óptimo ¹⁶⁵	0.4	2.5	0.01	ND

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

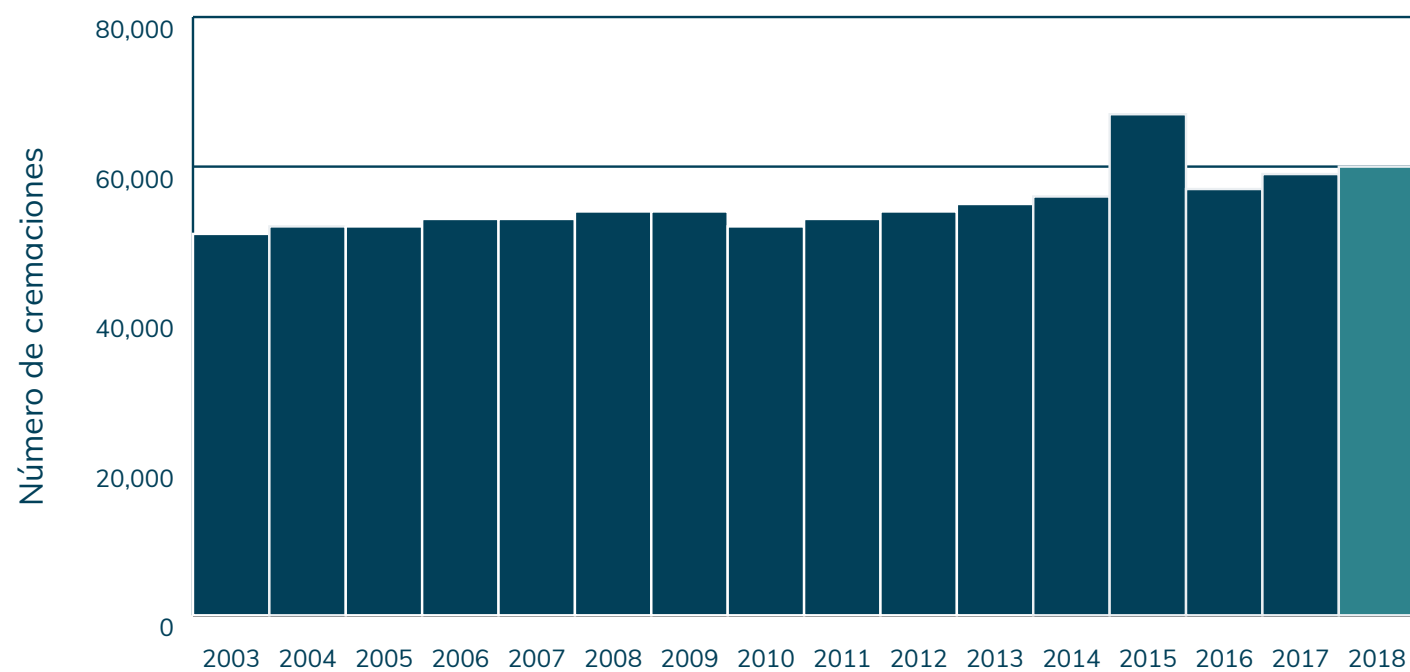
¹⁶³ La clase 1 incluye las instalaciones con solo un quemador, cámara de combustión pequeña, malas condiciones de combustión, por ej., temperaturas inferiores a 850°C, flujo de aire de combustión no controlada, etc., si junto con el ataúd se quema plástico u otros materiales de decoración, si la madera del ataúd ha sido tratada con conservantes, o si no hay sistema de limpieza de gas de chimenea instalado.

¹⁶⁴ La clase 2 incluye las instalaciones donde las condiciones de combustión son mejores —las temperaturas seguras por encima de 850°C, flujo de aire de combustión controlada, sin agregado de plásticos u otros materiales problemáticos— y se hace algo de remoción de polvo. Esta clase también incluye cremaciones a cielo abierto.

¹⁶⁵ La clase 3 incluye las instalaciones de última generación con sistemas de control de contaminación de aire sofisticados.

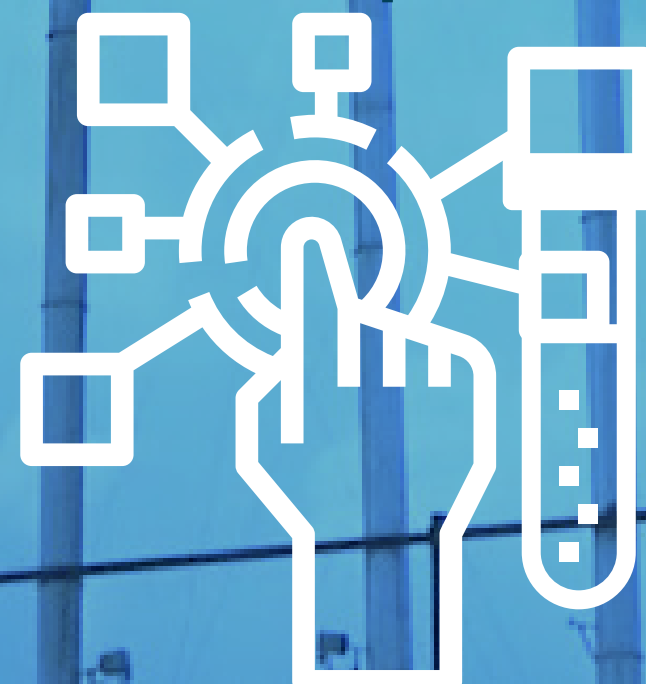
Situación en Colombia

De acuerdo con consultas realizadas a los gremios nacionales de parques de cremación, es difícil establecer un número consolidado de cremaciones anuales, por lo cual fue necesario establecer un estimativo basado en la tasa nacional de mortalidad alrededor del 6% (DANE, 2018) y una tasa aproximada de cremación del 22% (Fenalco, 2012) (ver gráfica 41).



Gráfica 41. Cantidades estimada de cuerpos cremados

Fuente: elaboración propia a partir de información secundaria.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En cuanto a los factores de emisión para esta actividad se seleccionó la clase 2, debido a que en consultas realizadas con el gremio se encontró que en su totalidad los cuerpos ingresan libres de materiales precursores de los contaminantes del presente estudio y se observa que el sector cumple los límites permisibles de emisiones gracias al diseño térmico de los hornos y condiciones de operación de estos (Ambar Tech, 2012). En cuanto a la liberación de COP no intencionales por esta categoría para el año 2018 la tabla 102 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 101.

Tabla 102. Liberaciones de categoría cremaciones

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual
Misceláneos			Cremaciones	Aire	Residuo	Aire	Aire
8b	Cremaciones			g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g /año
	1	Sin control (por cremación)		0	0	0	0
	2	Control medio o cremaciones al aire libre (por cremación)	60,299	0.603	0.151	0.002	9.0
	3	Control óptimo (por cremación)		0	0	0	0
Subtotal categoría				0.603	0.151	0.002	9.0

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 8 - Misceláneos o varios

Categoría 8c – Ahumaderos

El ahumado de alimentos para la conservación de carnes y pescado es una práctica común en muchos países. Los lugares donde se realiza este proceso, o casas de humo, son habitualmente instalaciones pequeñas en las que se usa madera como combustible y que funcionan bajo condiciones de combustión subóptimas (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales según el tipo de objetos que va al horno y el control de emisiones (ver tabla 103).

Tabla 103. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8c Casas de humo (simulacros)

8c	Casas de humo (simulacros)	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (μg EQT/ Tonelada producto)	Concentración (ng EQT/kg ceniza)
Clase		Aire	Residuo
1	Combustibles contaminados ¹⁶⁶	50	2,000
2	Combustibles limpios, sin combustión retardada ¹⁶⁷	6	20
3	Combustibles limpios, con combustión retardada ¹⁶⁸	0.6	20

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁶⁶ La clase 1 se debe aplicar si se usa madera tratada u otra biomasa contaminada como combustible.

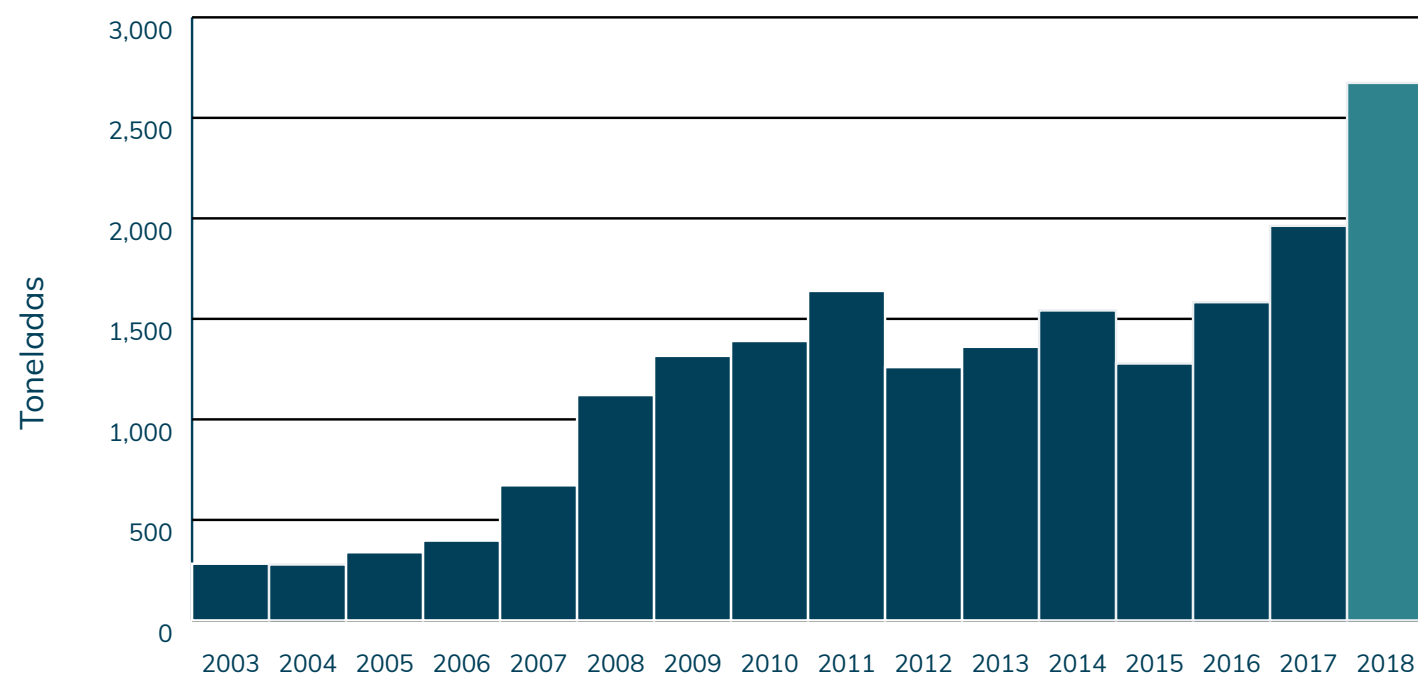
¹⁶⁷ La clase 2 se debe aplicar si se usa madera limpia u otra biomasa como combustible.

¹⁶⁸ La clase 3 se debe aplicar si se usa madera limpia u otra biomasa como combustible y hay un sistema de control de contaminación de última generación instalado funcionando.

Situación en Colombia

En Colombia, de acuerdo con la EAM del DANE, esta es una actividad que ha venido aumentando principalmente para producir carnes ahumadas de 2003 a 2018 (ver gráfica 42).

Gráfica 42. Cantidad de carne ahumada producida



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.



Clases seleccionadas y liberación 2018

En el país esta actividad generalmente se hace sin cámaras de postcombustión y con combustibles limpios, por ello se estableció la clase 2. En cuanto a la liberación de COP no intencionales por esta categoría, para el año 2018 la tabla 104 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 103.

Tabla 104. Liberaciones de categoría ahumaderos

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	
				Liberación anual	
Misceláneos			Toneladas /año	Aire	Residuo
8c	Ahumaderos			g EQT/año	g EQT/año
	1	Combustibles contaminados		0	0
	2	Combustible limpio, sin postcombustión	2,674	0.016	0.053
	3	Combustible limpio, con postcombustión		0	0
Subtotal categoría				0.016	0.053

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 8 - Misceláneos o varios

Categoría 8d - Limpieza en seco

Se han detectado PCDD/PCDF en los residuos de destilación originados en la limpieza en seco (limpieza de textiles con solventes orgánicos, no lavado con agua), además se han identificado fuentes de PCDD/PCDF como el uso de biocidas contaminados, como PCP, para proteger textiles o materias primas —lana, algodón, entre otros— y el uso en textiles de colorantes y pigmentos contaminados con PCDD/PCDF. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el proceso de limpieza en seco en sí no genera PCDD/PCDF, sino que redistribuye el PCDD/PCDF ya presente en los textiles previamente contaminados, por lo tanto, cuando se destila el solvente para recuperarlo y volverlo a usar, el PCDD/PCDF se concentra en los residuos de destilación, que normalmente se eliminan (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales según el tipo de textiles que se limpian (ver tabla 105).

Tabla 105. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8d Limpieza en seco

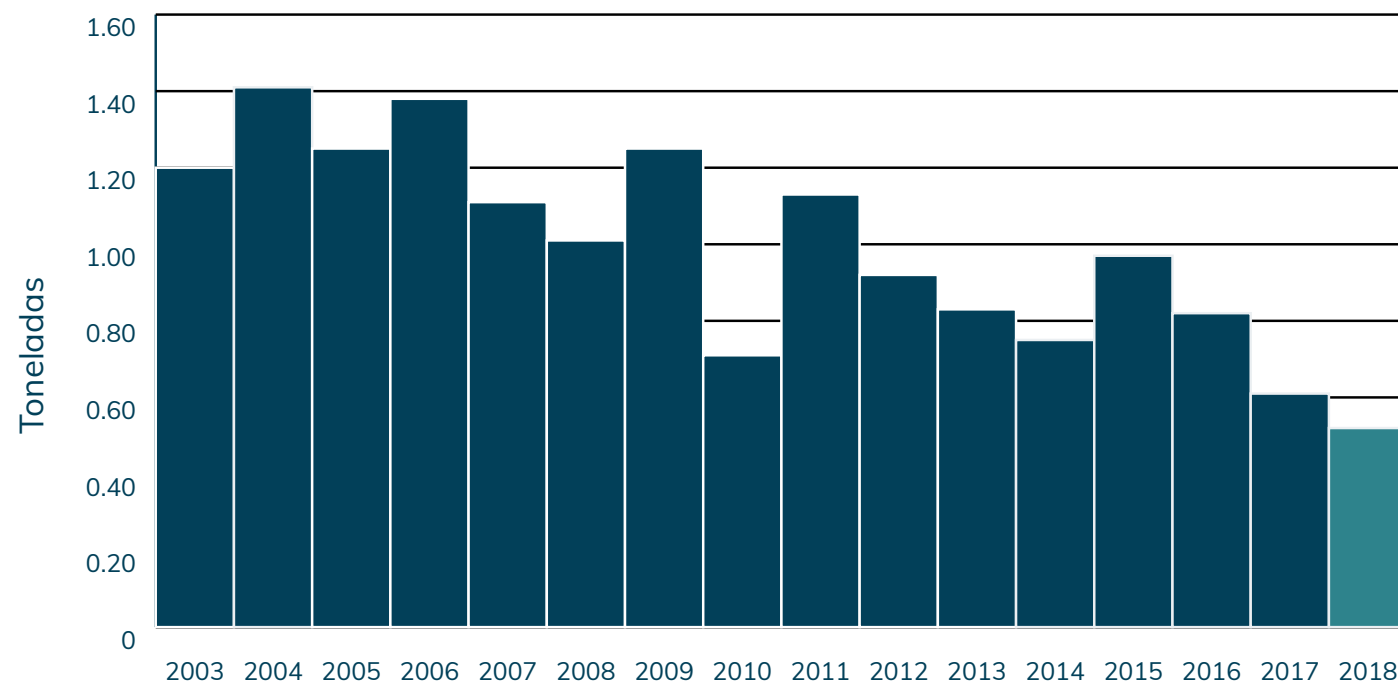
8d	Limpieza en seco	PCDD/PCDF	
		Concentración en los residuos de destilación (μg EQT/tonelada residuo generado)	
Clase		Residuo	
1	Textiles pesados, tratados con PCP, etc.	3,000	
2	Textiles normales	50	

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

En el país no hay datos sobre las tasas de producción y la generación de residuos para la categoría de limpieza en seco, sin embargo, se poseen las estadísticas oficiales sobre importación de percloroetileno, por lo tanto, se estima que el consumo promedio de este compuesto es de 10 kg de percloroetileno por tonelada de textil limpio y que alrededor del 1% del peso es residuo (UNEP, 2013). La gráfica 43 presenta los datos estimados de residuos generados por limpieza en seco a partir de las importaciones nacionales de percloroetileno (DIAN, 2018).

Gráfica 43. Cantidades estimadas de residuos de la limpieza en seco



Fuente: elaboración propia a partir de información de DIAN.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Como no se sabe la naturaleza de los textiles, se estimó que la mitad de los residuos está contaminada clase 1 y la otra mitad está limpia clase 2, de acuerdo a la recomendación expuesto en el Toolkit 2013 ver PARTE III APÉNDICES E INVENTARIOS DE MUESTRA. En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018 la tabla 106 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 105.

Tabla 106. Liberaciones de categoría limpieza en seco

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF
				Liberación anual
Misceláneos			Toneladas/año	Residuo
8d	Limpieza en seco			g EQT/año
	1	Textiles pesados, tratados con PCP, etc.	0.26	0.001
	2	Textiles normales	0.26	0
Subtotal categoría				0.001

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 8 - Misceláneos o varios

Categoría 8e - Consumo de cigarrillo

Al igual que en cualquier otro proceso térmico, la “combustión” de cigarrillos y tabacos produce PCDD/PCDF (UNEP, 2013). El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (tabla 107).

Tabla 107. Liberación de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 8e Consumo de tabaco

8e	Consumo de tabaco	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (µg EQT/millones de cigarrillos o cigarrillos ¹⁶⁹)	
Clasificación		Aire	Residuo
1	Tabaco	0.3	0.3
2	Cigarrillo	0.1	0.1

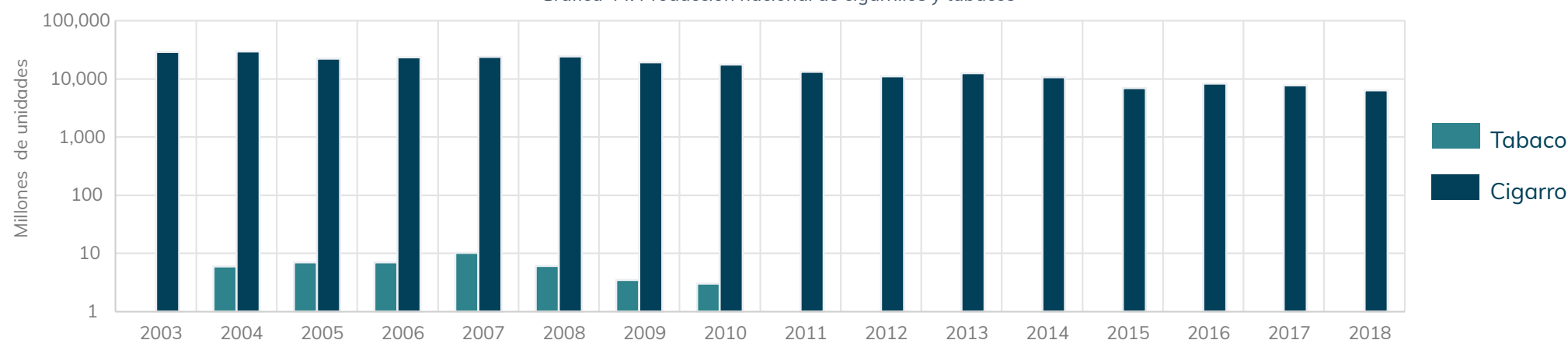
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

169 Los factores de emisión debidos al consumo de tabaco se aplican a la cantidad total de cigarrillos y cigarras, y no al peso del tabaco.

Situación en Colombia

En Colombia existe producción de cigarrillos y tabacos¹⁷⁰. Los datos recopilados en la EAM se presentan en la gráfica 44 del 2003 a 2018.

Gráfica 44. Producción nacional de cigarrillos y tabacos



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.

170 En este ítem se asume que la producción es igual al consumo.

Clases seleccionadas y liberación 2018

La tabla 108 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 107.

Tabla 108. Liberaciones de categoría consumo de tabaco

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF	
				Liberación anual	
Misceláneos			Millones de cigarros o cigarrillos /año	Aire	Residuo
8e	Consumo de tabaco			g EQT/año	g EQT/año
	1	Tabaco (por millón unidades)		0	0
	2	Cigarrillo (por millón unidades)	6,337	0.001	0.001
Subtotal categoría				0.001	0.001

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.





4.9 Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Categoría 9 a – Rellenos sanitarios, rellenos de seguridad y botaderos



Los rellenos sanitarios son lugares donde se entierran residuos en emplazamientos especialmente diseñados y fosas sin revestimientos o donde estos son depositados en pilas en la superficie (vertederos abiertos), en estos los residuos biodegradables se descomponen formando gases (siendo el metano el componente más importante cuando el proceso de degradación procede de manera anaerobia) y lixiviados (UNEP, 2013). Si bien no se ha cuantificado/informado PCDD/DFPC en los gases de vertederos, se sabe que están presentes en el lixiviado o filtraciones de rellenos sanitarios y, en ciertos casos, en suelos cercanos (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 109).

Tabla 109. Factores de emisiones COP no intencionales para rellenos sanitarios, celdas de seguridad, botaderos y explotación minera en rellenos sanitarios categoría de fuentes 9 a

9 a	Rellenos sanitarios y botaderos	PCDD/PCDF	
		Factores de emisión (µg EQT/Toneladas residuos eliminados)	
Clasificación		Agua	Residuo
1	Residuos peligrosos ¹⁷¹	5	NA*
2	Desechos mixtos	0.5	50
3	Residuos domiciliarios	0.05	5

*Los residuos en los residuos de las categorías 1 a 8 son detallados en las categorías correspondientes.

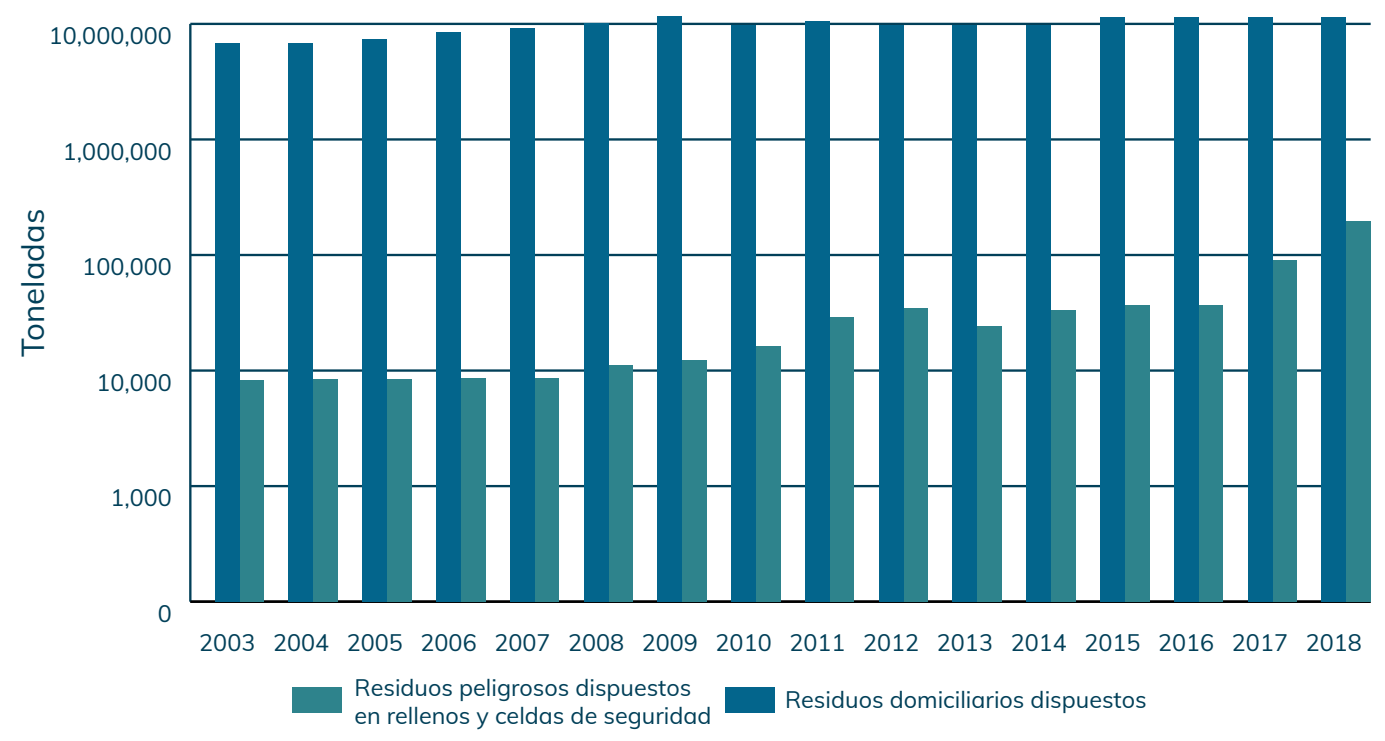
Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁷¹ Para el presente ejercicio interpretar "residuos peligrosos" aquellas cantidades que son dispuestas en celdas de seguridad

Situación en Colombia

En Colombia en las cifras del año 2018 se estima que el 96% de los residuos ordinarios generados se disponen en rellenos sanitarios, un 2% se dispone en botaderos a cielo abierto y el restante en cuerpos de agua, entre otros (Superservicios, 2019). En cuanto a los residuos peligrosos, después de sus respectivos tratamientos, se disponen en rellenos o celdas de seguridad (IDEAM, 2020). Los datos de cantidades dispuestas por medio de estos dos sistemas desde 2003 a 2018 se presentan en la gráfica 45.

Gráfica 45. Cantidades dispuestas de residuos en rellenos sanitarios, botaderos y rellenos de seguridad



Fuente: elaboración propia a partir de información de Superservicios e IDEAM.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Debido a que en el país se disponen parte de los residuos peligrosos, en rellenos de seguridad se asumió la clase 1 para estas cantidades y la clase 3 para los residuos domiciliarios que van a los rellenos sanitarios. La tabla 110 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018 por medio de los factores recomendados por el Toolkit 2013 y aquellos estimados a partir de datos recopilados en el país (ver Anexo 2).

Tabla 110. Liberaciones de categoría Rellenos sanitarios, vertederos y remoción de relleno sanitario

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	PCDD/PCDF								
			Factor de emisión Toolkit 2013 (µg EQT/tonelada)		Factor de emisión Colombia (µg EQT/tonelada)		Producción (Toneladas/año)	Liberación anual Toolkit 2013 (g EQT/año)		Liberación anual Colombia (g EQT/año)	
Disposición			Agua	Residuo	Agua	Residuo			Agua	Residuo	Agua
a		Rellenos sanitarios y botaderos						Agua	Residuo	Agua	Residuo
	1	Residuos peligrosos	5	NA	5	NA	207,811	1.039	0	1.039	0
	2	Desechos mezclados	0.5	50	0.0005	0.05		0	0	0	0
	3	Residuos domésticos	0.05	5	0.00005	0.005	11,077,536	0.555	55.388	0.001	0.055
Subtotal categoría								1.594	55.388	1.040	0.055

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.

En cuanto a los factores de emisión correspondientes a las clases 9 a2. Desechos mixtos y 9 a3. Desechos domiciliarios, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realizó mediciones de estos contaminantes en lixiviados en ocho de los principales rellenos sanitarios del país, lo cual permitió determinar factores de emisión nacionales para esta categoría. Como resultado se observó que los factores de emisión del Convenio en el Toolkit 2013 son aproximadamente 1,000 veces mayores a los medidos en campo. Para mayor información, revisar Anexo 2, “Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos en lixiviados de rellenos sanitarios del país, octubre 2019”.

Por lo tanto, para el presente proceso de actualización del inventario nacional se asumen los valores estimados por medio de los factores de emisión nacionales (ver tabla 110).



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Categoría 9b – Vertimientos tratados

Las aguas residuales son los residuos que se han disuelto y/o suspendido en agua, típicamente incluyen heces y orina humana, agua de baño, el agua que se utiliza para lavar la ropa y otros elementos y, en ciertos casos, escorrentías de las aguas pluviales y las aguas residuales industriales (UNEP, 2013). Las concentraciones de PCDD/ PCDF en el efluente tratado son habitualmente bajas, sin embargo, las concentraciones de PCDD/PCDF pueden aumentar en algunos casos hasta 50 veces cuando se utiliza cloro para desinfectar al efluente tratado, la mayor parte del PCDD/ PCDF que se halla en las aguas residuales, y subsiguientemente en el efluente tratado y en el lodo de las aguas residuales, se originan en otros procesos o productos (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 111).

Tabla 111. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 9b Aguas residuales y tratamiento de aguas residuales

9b	Alcantarillado y tratamiento de alcantarillado	PCDD/PCDF		PCB	HCB
		Factores de emisión		Factores de emisión	Factores de emisión
Clasificación		Agua (pg EQT/L)	Producto = residuo (µg EQT/tonelada d. m.)	Producto = residuo (µg EQT/ tonelada d. m.)	Producto = residuo (µg /tonelada d. m.)
1	Contribuciones domésticas mixtas e industriales específicas**	10 ^a 1 ^b	NA ^a 200 ^b	ND ND	ND ND
2	Contribuciones urbanas e industriales	1 ^a 0.2 ^b	NA ^a 20 ^b	ND ND	ND 200,000
3	Contribuciones domésticas	0,04 ^a 0.04 ^b	NA ^a 4 ^b	ND 0.1	ND 10,000

^a sin remoción de lodo, ^b con remoción de lodo.

* Usar FE Producto cuando se aplica al suelo residuo (lodo).

** para aquellas emisiones que no quedan cubierta en el grupo de fuentes 7.

Nota: los factores de emisión se presentan en pg EQT/L de efluentes tratados y en µg EQT por tonelada de lodo cloacal (materia seca = d.m.) generado.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Situación en Colombia

De acuerdo con estudios realizados por el Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios de la Superintendencia de Servicios Públicos, en Colombia alrededor del 30.6% del agua utilizada es tratada (Superservicios, 2013). Por otro lado, según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2018a), la demanda del agua son los relacionados en la tabla 112.

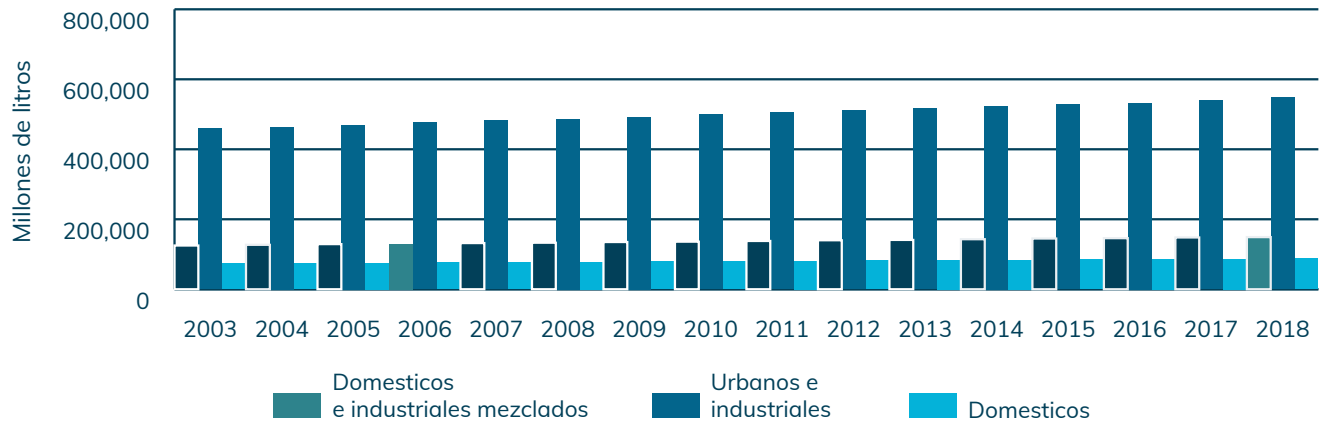
Tabla 112. Demanda nacional de agua

Demanda hídrica	Participación (%)	Demanda hídrica	Participación (%)
Agrícola	43.1%	Industria	2.8%
Energía	24.3%	Minería	1.7%
Pecuario	8.2%	Hidrocarburos	1.5%
Piscícola	8.1%	Servicios	1.5%
Doméstico	7.3%	Construcción	1.1%

Fuente IDEAM

Por otro lado, para estimar los volúmenes de agua se empezó por calcular el consumo doméstico, el cual se estima en 110 l/hab día, de los cuales el 80% se vuelve residual (Min-vivienda, 2017). Por otro lado, se estima que el 82% se produce en cabeceras municipales y el restante 12% en poblaciones rurales (IDEAM, 2014). Igualmente, aproximadamente el 50.8% del agua residual generada en el país está relacionada con actividades que están en el Toolkit o son posibles fuentes de producción de dioxinas. Finalmente, para estimar los volúmenes de los otros usos, se extrapoló de acuerdo con la tabla enunciada anteriormente. Los datos estimados de 2003 a 2018 se presentan en la gráfica 46.

Gráfica 46. Cantidades estimadas de agua residual tratada nacional



Fuente: elaboración propia a partir de información de IDEAM.

En cuanto a la producción de lodo se estimó, de acuerdo con los datos de la PTAR El Salitre, en Bogotá, que el caudal de operación es 4m³/s y se producen 4,077 toneladas de biosólido mensualmente. Por lo tanto, se estimó una relación de cantidad de agua tratada por tonelada de biosólido generado, asumiendo que posee una materia seca del 33% (EAAB, 2010). La producción de lodo estimada para el 2018 es 101,552 toneladas en las tres condiciones que propone el Toolkit.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Para esta categoría se estimaron valores para las tres clases. La tabla 113 presenta los resultados en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 111.



Tabla 113. Liberaciones de categoría agua tratada

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF		PCB	HCB	
				Liberación anual		Liberación anual	Liberación anual	
Disposición			Toneladas/ año	g EQT/año	g EQT/año	g EQT/año	g /año	
9b	Desagües cloacales y su tratamiento			Agua	Residuo	Residuo	Residuo	Por favor, ingrese agua vertida en L
1	Domésticos e industriales mezclados		19,401	0.15	3.88	0	0	
	Sin remoción de lodos			0	0	0	0	
	Con remoción de lodos		19,401	0.15	3.88	0	0	149,974,813,709
2	Urbanos e industriales		70,746	0.109	1.415	0	0	
	Sin remoción de lodos			0	0	0	0	
	Con remoción de lodos		70,746	0.109	1.415	0	14,149.2	546,892,766,455
3	Domésticos		11,405	0.035	0.046	0	0	
	Sin remoción de lodos			0	0	0	0	
	Con remoción de lodos		11,405	0.035	0.046	0.001	114.1	86,165,222,447
Subtotal categoría				0.295	5.341	0.001	14,263.3	

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Categoría 9c – Vertimientos a cuerpos de agua sin tratar

El vertido en aguas abiertas es la práctica de arrojar aguas residuales u otros residuos directamente en las aguas superficiales, es decir: ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas. En esta categoría se incluyen todas aquellas prácticas que no tratan sus vertimientos y que pueden estar generando PCDD/PCDF.

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en tres clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 114).

Tabla 114. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de fuentes 9b Aguas vertidas directamente a cuerpos de agua

9c	Vertido a cuerpos de agua sin tratar	PCDD/PCDF
		Factores de emisión ($\mu\text{g EQT}/\text{m}^3$)
Clasificación		Agua
1	Aguas residuales mezcladas, domésticas e industriales ¹⁷²	0.005
2	Aguas residuales urbanas y periurbanas sin componente industrial o poco ¹⁷³	0.0002
3	Ambientes lejanos ¹⁷⁴	0.0001

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

¹⁷² La clase 1 se debe aplicar si las aguas residuales que se vierten incluyen aguas residuales tanto domésticas como industriales, que contengan PCDD/PCDF potencialmente, tal como se describe para el grupo de fuentes 1 a 8 o escorrentías de agua de tormenta de áreas urbanas, periurbanas o industrializadas.

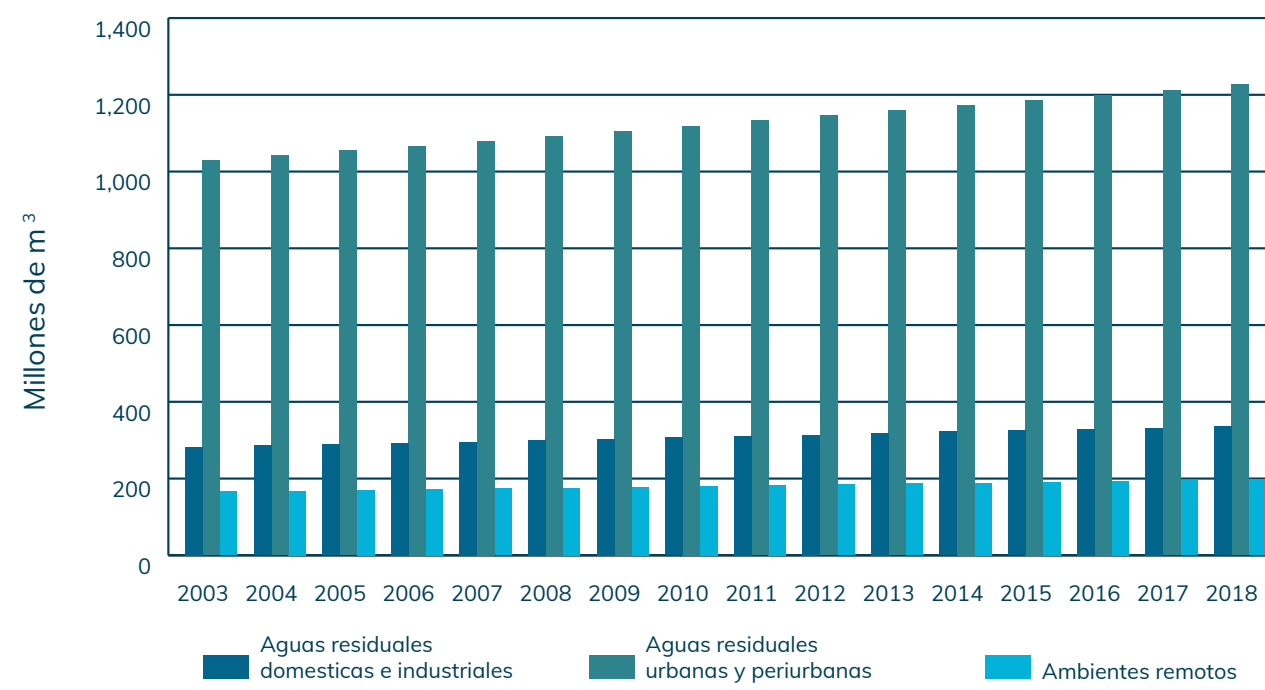
¹⁷³ La clase 2 se debe aplicar para áreas urbanas y periurbanas con pocas industrias o sin ellas.

¹⁷⁴ La clase 3 incluye áreas remotas sin fuentes conocidas de PCDD/PCDF.

Situación en Colombia

Se estima que en Colombia alrededor del 69.4% del agua utilizada en el país no es tratada (Superservicios, 2013). Por lo tanto, se realizan los mismos cálculos que en la categoría anterior. Las estimaciones de 2003 a 2018 se presentan en la gráfica 47.

Gráfica 47. Cantidad de agua residual estimada vertida directamente a cuerpos de agua



Fuente: elaboración propia a partir de información de IDEAM y Superservicios.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Para esta categoría se estimaron valores para las tres clases. Los resultados son presentados en la tabla 115 en cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, utilizando los factores de emisión de la tabla 114.

Tabla 115. Liberaciones de categoría agua vertida directamente a cuerpos de agua

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	
				Liberación anual	
Disposición			Toneladas/año	Agua	
9c	Vertidos directos al agua			g EQT/año	Por favor, ingrese agua vertida en m3
	1	Aguas residuales domésticas e industriales mezclados		1.682	336,435,279
	2	Aguas residuales urbanas y peri-urbanas		0.245	1,226,832,800
	3	Ambientes remotos		0.02	197,779,150
Subtotal categoría				1.947	

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías



Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Categoría 9d - Compostaje

El compostaje es la descomposición biológica de residuos sólidos biodegradables bajo condiciones controladas predominantemente aeróbicas a un estado que sea suficientemente estable como para poderse almacenar y manipular que esté con la maduración correcta como para usarlo de modo seguro en la agricultura (UNEP, 2013).

Se han encontrado concentraciones de PCDD/PCDF en compost de diferentes países principalmente cuando la materia prima viene de procesos donde se formaron previamente (UNEP, 2013).

El Toolkit 2013 clasifica esta categoría en dos clases de liberación de COP no intencionales (ver tabla 116).

Tabla 116. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 9d Compostaje

9d	Compostaje*	PCDD/PCDF	HCB
		Factores de emisión (μg EQT/tonelada d. m.)	Factores de emisión (μg /tonelada d. m.)
Clasificación		Producto	Residuo
1	Compost de residuos orgánicos separados de residuos mixtos ¹⁷⁵	50	NA
2	Compost limpio (residuos orgánicos separados en la fuente o material verde) ¹⁷⁶	5	4,000

*El compost finalmente se aplica al suelo.

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

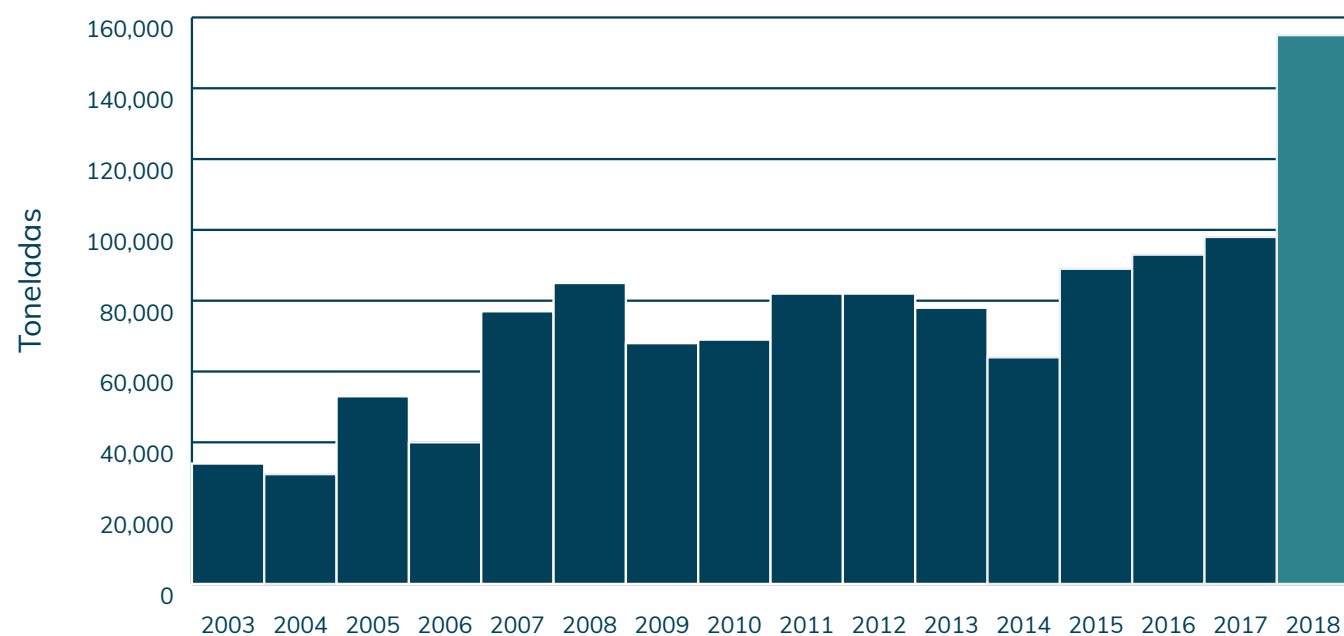
¹⁷⁵ La clase 1 se debe aplicar cuando se separa la fracción orgánica de los residuos mixtos y luego se hacen compost. Esos compost también contienen niveles más altos de metales y plásticos.

¹⁷⁶ La clase 2 se debe aplicar para compost donde se han separado los componentes orgánicos (cocina/residuos de mercados, frutas, hortalizas, etc.) en la fuente o se han usado material verde.

Situación en Colombia

En el país la producción de compost es una práctica común entre los diferentes gremios agrícolas. Los datos de producción de abono orgánico estimados en la EAM desde 2003 a 2018 se presentan en la gráfica 48.

Gráfica 48. Cantidades estimadas de producción de compost



Fuente: elaboración propia a partir de información de DANE.

De acuerdo con consultas realizadas al ICA, se establece que el compost producido en Colombia sigue altos estándares de calidad, reduciendo considerablemente el contenido de residuos mixtos, por lo cual se puede considerar como limpio.



Clases seleccionadas y liberación 2018

Para esta categoría se asumió la clase 2 debido a la calidad del compost producido nacionalmente. En cuanto a la liberación de PCDD/PCDF por esta categoría para el año 2018, la tabla 117 presenta los resultados, utilizando los factores de emisión de la tabla 116.

Tabla 117. Liberaciones de categoría producción de compost

Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/ PCDF	HCB
				Liberación anual	Liberación anual
Disposición			Toneladas/ año	Producto	Residuo
9d	Compostaje			g EQT/año	g/año
	1	Residuos orgánicos separados de residuos mezclados		0	0
	2	Compost limpio	155,037	0.775	620.1
Subtotal categoría				0.775	620.1

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 9 - Disposición de efluentes y vertederos

Categoría 9e - Disposición de desechos de aceite no térmico



En cuanto a las liberaciones de PCDD/PCDF a partir del tratamiento de aceites residuales es difícil estimarlas, por varias razones, en primer lugar, no existe una definición clara de aceites “usados” o “residuales”. El Toolkit se considera aceite residual (o aceite usado) a cualquier aceite derivado del petróleo, sintético o de origen vegetal o animal que ha sido utilizado (UNEP, 2013).

Sin embargo, en la actualidad, no existen pruebas de la formación de PCDD/PCDF o PCB en refinerías de aceites residuales. Los datos disponibles indican que las liberaciones de PCDD/PCDF y PCB procedentes de refinerías de aceites residuales o de plantas de manipulación y manejo provienen de la producción industrial o deliberada de PCB o de clorobenceno presentes en los aceites residuales, ya sea por contaminación durante el proceso de síntesis (de estos químicos), o por contaminación en la fase de utilización o en las primeras etapas del proceso de reciclaje.

En la actualidad, no se pueden proporcionar factores de emisión con respecto a ningún vector de liberación respecto a esta categoría.

Actualmente en Colombia, se estima que se producen aproximadamente 1997,4 toneladas (IDEAM, 2020) de aceites de este tipo¹⁷⁷ a los cuales se les da tratamiento diferente al térmico. Sin embargo, como se explicó anteriormente, esta categoría no posee factores de emisión, por lo tanto, no se estima una liberación de PCDD/PCDF.

177 Correspondiente a las corrientes de residuos Y8 y A3020.





El artículo 6 del Convenio de Estocolmo apoya a las partes a desarrollar estrategias para identificar sitios contaminados con COP no intencionales, también llamados puntos calientes. En este grupo de fuentes se incluye una lista de actividades que podrían haber dado lugar a la contaminación de suelos y sedimentos con PCDD/PCDF y otros COP no intencionales, incluyendo los depósitos conexos (UNEP, 2013).

Los puntos calientes representan hoy en día una fuente importante de exposición humana, a menudo a través de la contaminación de alimentos (UNEP, 2013). En el presente capítulo revisaremos aquellas actividades que en el país se pueden considerar como puntos calientes o sitios contaminados de acuerdo al Toolkit 2013.

4.10 Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10a - Sitios de producción de cloro

Algunos procesos de la fabricación de cloro se han asociado a una elevada formación y liberación de PCDD/PCDF y otros COP no intencionales. En esta categoría se analizan específicamente los residuos generados en la producción de cloro-álcali, proceso Le-blanc y producción asociada al cloro/lejía (UNEP, 2013).

En Colombia existen dos plantas productoras de cloro y derivados ubicadas en Cundinamarca y Valle del Cauca, sin embargo, no se ha realizado un estudio en el país el cual determine la concentración de PCDD/PCDF y otros COP no intencionales en los residuos generados por estas industrias (ej., ánodos de grafito), así como el destino de disposición final de este tipo de residuos.

Por lo tanto, para el presente estudio no se identifican sitios contaminados por esta actividad productiva, por lo tanto, se recomienda realizar un estudio en esta materia en futuras actualizaciones.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

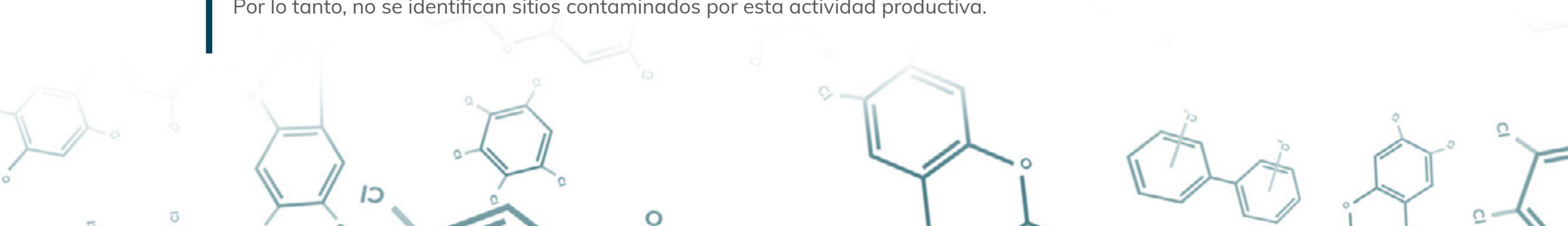
Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10b - Sitios de producción de compuestos orgánicos clorados

Los lugares de mayor contaminación por PCDD/PCDF y puntos calientes han surgido como consecuencia de la producción de organoclorados (UNEP, 2013).

En Colombia, de acuerdo con el Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo, si bien este tipo de sustancias se importaron anteriormente para el uso en diferentes sectores, nunca han sido producidos en el país (Minambiente, 2017a).

Por lo tanto, no se identifican sitios contaminados por esta actividad productiva.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10c – Sitios de aplicación de plaguicidas y productos químicos que contienen dioxinas y furanos



Lugares donde se hayan aplicado plaguicidas y otros productos químicos para reducir la densidad de la vegetación, como el 2, 4, 5-T, 2, 4-D, PCP, entre otros, han resultado contaminados con PCDD/PCDF y otros COP no intencionales, debido a la presencia de estas sustancias dentro de las mezclas de los plaguicidas (UNEP, 2013).

En cuanto al uso de estas sustancias en el país, cabe notar que, de acuerdo a la Resolución 749 de 1979 del ICA, se cancelaron los registros de venta de los productos herbicidas a base de 2, 4, 5-T y 2, 4, 5-TP (ICA, 2004), sin embargo, se registran importaciones de ácido 2,4,5-T (ISO) (ácido 2, 4, 5-triclorofenoxiacético), sus sales y sus ésteres, desde 2007 al 2017 (DANE, 2017).

Actualmente, en Colombia se importan y comercializan herbicidas con 2,4-D como ingrediente activo (ej., o WEEDAR 860 SL) (ANLA, 2018), se estima que anualmente se importan 3,000 toneladas de este insumo como ácido 2,4-D (ISO) (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), sales del ácido 2,4-D y ésteres del 2,4-D (ISO) para uso agrícola durante el periodo 2002 a 2018 (DANE, 2017).

En relación con el pentaclorofenol (PCP), de acuerdo con la Resolución 10255 de 1993 del Ministerio de Salud, se prohíbe la importación, producción, formulación, comercialización, uso y manejo de esta sustancia (ICA, 2004), así como no se ha registrado importación de esta desde el año 2008 (Minambiente, 2017a).

Como se enunció anteriormente el 2, 4, 5-T y 2, 4-D se han utilizado en el país, sin embargo, no se han realizado estudios sobre el contenido de PCDD/PCDF en los productos que se comercializan nacionalmente, por lo tanto, no se pueden establecer sitios contaminados con estas sustancias, por lo tanto, se recomienda realizar un estudio en esta materia en futuras actualizaciones.

Por otro lado, en el presente estudio se realizaron análisis de presencia de PCDD/PCDF en suelos y cenizas en los cultivos de arroz, maíz y caña de azúcar en diferentes zonas del país donde se han realizado quemas de residuos agrícolas, ver Anexo 4 “Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en quema de biomasa 2020”, en el cual la presencia de estas sustancias en las matrices analizadas se encontraron en una concentración muy baja. Por lo tanto, para el presente estudio no se identifican sitios contaminados con PCDD/PCDF por quema de biomasa.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10d - Sitios de fabricación e inmunización de madera

En el mundo los aserraderos y plantas de fabricación de la madera suelen asociarse al uso de pentaclorofenol como inmunizador, en ellos, los suelos y sedimentos pueden verse contaminados con PCDD/PCDF debido a que estas industrias usan grandes volúmenes de agua y se encuentran por lo general cerca de ríos (UNEP, 2013).

Como se comentó anteriormente, el pentaclorofenol ha sido prohibido en el país desde 1993 (Minambiente, 2017a). Adicionalmente, la inmunización de madera más común en el país, consta en aplicar arseniato de cobre cromatado-CCA tipo C que es una mezcla de cobre, cromo y arsénico, actuando sobre la madera de la siguiente manera: el cobre es un fungicida previniendo el ataque de los hongos, el arsénico es utilizado como pentóxido y es utilizado para prevenir el ataque de los xilófagos y el cromo juega un papel importante como fijador de los químicos en las fibras de la madera (CAIA, 2019), por lo tanto dicho proceso se encuentra libre de COP. Sin embargo, el arseniato de cobre cromatado-CCA puede servir como coayudante de la reacción de formación de PCDD/PCDF en caso que se quemara esta madera.

Por lo tanto, para el presente estudio no se identifican sitios contaminados por esta actividad productiva.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10e - Fábricas textiles y de cuero

En el mundo este sector ha utilizado, y en muchos casos sigue utilizando, PCDD/PCDF y otros COP no intencionales que contienen productos químicos como el PCP, cloranil y ciertos tintes (UNEP, 2013).

Sin embargo, como ya se enunció anteriormente tanto en las empresas de textiles como de curtido de cuero, no se registra el uso de sustancias precursoras de COP como: pentaclorofenol, ftalatos, PFOS, PFOA y compuestos aromáticos clorados, entre otros (CAIA, 2019), por lo tanto dicho proceso se encuentra libre de COP.

Por lo tanto, para el presente estudio no se identifican sitios contaminados por esta actividad productiva.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10f - Uso de PCB



El uso de PCB ha generado la contaminación con PCDF y otros PCB tipo dioxina, de una gran cantidad de emplazamientos y puntos calientes debido a la producción, uso industrial, liberaciones de los equipos y aplicaciones abiertas (UNEP, 2013).

Las liberaciones de PCDF solo pueden estimarse mediante la cantidad de PCB filtrado. Para esta evaluación se debe considerar el EQT total del PCDF y el PCB tipo dioxina. Es necesario tener en cuenta que cuanto mayor sea la cantidad de años en los que han sido utilizados los equipos, más aumentan las concentraciones de PCDF en los equipos, además, en caso de sufrir un elevado estrés térmico (incendio, corto circuito), el PCDF será entonces el mayor contribuyente de EQT (UNEP, 2013).

Debido a que el PCB varía según la cantidad de cloro en los equipos, el Toolkit 2013 clasifica esta actividad en cuatro clases de liberación de COP no intencionales (tabla 118).

Tabla 118. Factores de emisión de COP no intencionales para la categoría de la fuente 10f Uso de PCB

9d	Uso de PCB	PCDD/PCDF				
		Factores de emisión (µg EQT/ Tonelada de PCB en equipo)				
Clasificación		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
1	Bajo nivel de cloro, ej., Clophen A30, Aroclor 1242	NA	NA	NA	15,000	NA
2	Nivel moderado de cloro, ej., Clophen A40, Aroclor 1248; KC-400; KC-500	NA	NA	NA	70,000	NA
3	Nivel moderado de cloro, ej. Clophen A50, Aroclor 1254	NA	NA	NA	300,000	NA
4	Alto nivel de cloro, ej. Clophen A60, Aroclor 1260	NA	NA	NA	1,500,000	NA

Fuente: elaborado a partir Toolkit 2013.

Actualmente el país posee el Inventario Nacional de PCB, reglamentado mediante la Resolución 222 de 2011, el cual tiene como objetivo que “los propietarios deben presentar el inventario total de los equipos y desechos de su propiedad para efectos de cuantificar y controlar los progresos alcanzados frente a la identificación y eliminación de equipos y desechos contaminados con PCB” (IDEAM, 2012).

En él, las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que sean propietarios de equipos o desechos que consistan, contengan o estén contaminados con bifenilos policlorados (PCB) deben diligenciar o actualizar anualmente la información requerida en el Inventario de PCB, dentro de los plazos establecidos en el artículo 16 de la Resolución 222/2011. Así mismo, estos equipos y/o desechos se deben clasificar cuatro grupos según su la concentración de PCB (Minambiente, 2017a), alineado al mandato del Convenio de Estocolmo, según se muestra en la tabla 119.

Tabla 119. Grupos de clasificación de elementos según su contenido de PCB

Grupo	Concentración
1. Equipos fabricados con fluidos y desechos contaminados con PCB	Concentración igual o superior a 10% de PCB (mayor a 100,000 ppm en peso)
2. Equipos y desechos que contienen o pueden contener PCB	Concentración igual o superior a 0.05% y menor a 10% de PCB (igual o mayor a 500 ppm y menor de 100,000 ppm en peso)
3. Equipos y desechos contaminados con PCB	Concentración igual o superior a 0.005% y menor a 0.05% de PCB (igual o mayor a 50 ppm y menor de 500 ppm en peso)
4. Equipos y desechos no PCB	Concentración menor a 0.005% de PCB (menos de 50 ppm en peso)

Fuente: elaborado de Minambiente.

Sin embargo, para efectos de la metodología del Toolkit 2013 para el presente inventario las cantidades de PCB que aún existan en el país deben ingresar de acuerdo con la cantidad de cloros o por tipo de PCB. Diferente a la clasificación que posee el Inventario Nacional de PCB que es por concentración (ppm), como se muestra en la tabla 119.

De acuerdo con información enviada por el IDEAM sobre Inventario Nacional de PCB año 2018, se estima que para el año presente del estudio en el país existían 907 equipos¹⁷⁸ clasificados en el grupo 1, 2 y 3. Adicionalmente, se estima que para ese año existían 393 toneladas de líquidos con contenidos mayores a 50 ppm de PCB provenientes de estos equipos.

Para esta categoría se asumió que las concentraciones de PCB en el país pertenecen a la clase 1. En cuanto a las liberaciones de PCDD/PCDF por esta categoría la tabla 120 presenta la estimación de las liberaciones, utilizando los factores de emisión de la tabla 118.

Tabla 120. Liberaciones de categoría uso de PCB

178 Transformadores, condensadores, entre otro tipo de equipos.



Cat.	Cla.	Categoría de fuentes	Producción	PCDD/PCDF
				Liberación anual
			Toneladas/ año	Producto
				g EQT/año
Puntos calientes				
10f	Uso de PCB			
	1	Cloración baja, ej. Clophen A30, Aroclor 1242	393	5.895
	2	Cloración media, ej. Clophen A40, Aroclor 1248		0
	3	Cloración media, ej. Clophen A50, Aroclor 1254		0
	4	Cloración alta, ej. Clophen A60, Aroclor 1260		0
Subtotal categoría				5.895

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Toolkit 2013.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10g – Uso de cloro para producción de metales y productos químicos inorgánicos

Además de la industria de los organoclorados, muchas otras industrias utilizan y utilizaban cloro, llevando a la presencia de residuos y emisiones de PCDD/PCDF, como lo han sido la industria del papel, producción de magnesio y dióxido de titanio-TiO₂ (UNEP, 2013).

En cuanto a la producción nacional de papel, según a lo comentado en el análisis de la Categoría 7 a – Fábricas de pulpa y papel, pág. 108, hace años la industria colombiana produce papel libre de cloro. Respecto a la producción nacional de magnesio y dióxido de titanio-TiO₂ no se registra producción en el país.

Por lo tanto, para el presente estudio no se identifican sitios contaminados por esta actividad productiva.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10h-Incineradores de residuos

En esta categoría se incluyen los residuos generados (cenizas y agua de depuradores húmedos) de aquellos incineradores que no cumplen las MTD y/o aquellos incineradores que procesan productos organoclorados, especialmente precursores de PCDD/PCDF (PCB, clorofenoles, clorobencenos y otros compuestos aromáticos clorados), los cuales causan un impacto apreciable en el ambiente local (UNEP, 2013).

En el país existen 26 rellenos de seguridad y/o celdas de seguridad, ubicadas en los departamentos de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Cundinamarca, Guaviare, Huila, Magdalena, Norte de Santander, Putumayo, Santander y Valle del Cauca (IDEAM, 2020). En estos sitios se han dispuesto durante años cenizas y residuos generados en los proceso de incineración de residuos peligrosos, de aquellos hornos descritos en el Categoría 1b - Incineración de residuos peligrosos de la pág. 34. Por lo tanto, se considera que estas zonas y otras donde se hayan recibido históricamente cenizas o residuos de este tipo de actividad son sitios potencialmente contaminados con PCDD/PCDF y otros COP no intencionales.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10i - Industrias del metal



En el mundo se han encontrado sitios contaminados con PCDD/PCDF asociados con la industria metalúrgica. Las liberaciones de la producción de metales primarios pueden generar sitios contaminados debido a la distribución de escoria a cielo abierto, además se ha encontrado que las emisiones de hornos de fundición de metales no ferrosos, han contaminado los suelos circundantes, con niveles de PCDD/PCDF superiores a los valores establecidos por países europeos para los suelos contaminados (UNEP, 2013).

En el país existe una planta primaria de producción de acero ubicada en el departamento de Boyacá, cuya escoria de proceso productivo se ha distribuido a cielo abierto a lo largo del tiempo, lo cual genera preocupación de acuerdo a lo comentado anteriormente. Al relacionar la producción de acero primario con los factores de emisión estimados para los residuos, se estima que la producción del sinter necesario podría ser responsable de 0.297 g EQT/año. Aunque esta estimación se encuentra por debajo de lo que se puede considerar un punto caliente, se recomienda realizar mediciones de contenidos de PCDD/PCDF en la escoria del proceso siderúrgico con el fin de determinar si el sitio donde se ha dispuesto se considera contaminado.

En cuanto a la producción secundaria de acero en el presente estudio se realizaron mediciones de PCDD/PCDF en escoria de proceso, así como del polvo recolectado por filtros de mangas del sistema de control de emisiones en una planta ubicada en el país. Las mediciones muestran que en la escoria de proceso se pueden encontrar hasta 4.83 ng EQT/kg; y en el polvo por el filtro de mangas, hasta 3920 ng EQT/kg. Si se utilizaran estos valores para calcular un factor de emisión a los residuos, se estima que el resultado sería cuatro veces mayor a lo indicado en el Toolkit 2013 para el factor de emisión más alto de este proceso productivo. Por lo anterior, es plausible que las celdas de seguridad donde se depositan estos residuos se consideren como puntos calientes.

Adicionalmente se realizaron mediciones de contenido de PCDD/PCDF en la escoria generada durante el proceso de producción secundaria de aluminio usando aceite como combustible. En dicho caso se determinó una concentración de 18 ng EQT/kg. Se calcula así, teniendo en cuenta la producción de aluminio, que esta libera 0.004 g EQT/año en las escorias resultantes. El cambio de tecnología a GLP como combustible, disminuye la liberación de PCDD/PCDF a los residuos, cuya concentración medida fue de 5 ng EQT/kg, estimándose así un contenido de hasta 0.001 g EQT/año en las escorias de aluminio secundario usando esta tecnología.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10j - Incendios accidentales

Los incendios de edificios y otras estructuras con cantidades concentradas de material de combustión lenta o con niveles elevados de PVC, pueden generar emisiones y depósitos con altos niveles de PCDD/PCDF, que por lo general se concentran en el hollín, por lo tanto, se recomienda recoger el hollín y eliminarlo adecuadamente como un residuo peligroso (UNEP, 2013).

En el país se estima que para el año 2015 ocurrieron 1,435 incendios accidentales, de los cuales 988 fueron en viviendas, 159 establecimientos comerciales, 56 bodegas, 48 fábricas, 22 oficinas y empresas y los restantes 144 casos son otras instalaciones y sin identificar (DNBC, 2017). Por lo tanto, dependiendo de los materiales quemados durante estos eventos se pudieron haber generado importantes cantidades de PCDD/PCDF y otros COP no intencionales, los cuales se pueden encontrar en las cenizas y hollín, por lo tanto, se puede presumir que los sitios donde se hallan dispuesto este tipo de residuos como contaminados. Sin embargo, no se ha realizado ninguna caracterización de estos contaminantes durante estos procesos, así como el destino de los mismos, por lo tanto, para el presente estudio no es posible establecer sitios contaminados en el país.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10k - Dragado de sedimentos y llanuras de inundación contaminadas

Los sedimentos procedentes de puertos o de vertimientos industriales provenientes de cualquiera de las actividades industriales mencionadas en el inventario anteriormente pueden estar contaminados con PCDD, HCB y otros contaminantes, como los metales pesados (UNEP, 2013).

Debido a que es una práctica común en el país, realizar el dragado de sólidos de fondo para preservar la hidráulica y realizar descontaminación de los cuerpos de agua, dicho residuos removidos pueden estar contaminado de PCDD/PCDF y otros COP no intencionales, especialmente en zonas del país donde se llevan actividades nombradas en el presente inventario. Sin embargo, debido a que no se ha realizado ninguna caracterización de estos contaminantes en lodo de cuerpos de agua, no es posible establecer sitios contaminados en el país.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10l - Vertido de desechos/residuos de los grupos 1-9

En los lugares donde se hayan eliminado productos o residuos con PCDD/PCDF, es probable que dichos contaminantes pasen al ambiente, estos contaminantes permanecen relativamente estable en rellenos sanitarios o vertederos siempre que no haya otros depósitos orgánicos que favorezcan la filtración o escape de agua que pueda desplazar la contaminación (UNEP, 2013).

Como se comentó en la sección Categoría 10h - Incineradores de residuos, en el país existen rellenos de seguridad y celdas de seguridad los cuales son sitios en los que históricamente se han almacenado residuos y cenizas de procesos que posiblemente están impactadas de estas sustancias y se podría considerar estos sitios como contaminados.

En cuanto a la presencia de estos contaminantes en los rellenos sanitarios del país, se recomienda ver el Anexo 2 "Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos en lixiviados de rellenos sanitarios del país, octubre 2020", en el cual los resultados muestran una presencia muy baja de PCDD/PCDF en los principales rellenos sanitarios del país.



Identificación y cuantificación de liberaciones anuales de COP no intencionales para cada grupo con sus categorías

Grupo 10 - Sitios contaminados y puntos calientes

Categoría 10m - Sitios de caolín y arcilla de bola

Se han encontrado altas concentraciones, especialmente de PCDD en minas de arcilla plástica en diferentes países, lo cual indica que estos compuestos han estado presentes mucho antes que la propia industria del cloro, además, también pueden tener un origen no antropogénico (UNEP, 2013).

El Ministerio de Minas, a través del Servicio Geológico Colombiano, reporta que las minas de arcilla caolinítica que se explotan en el país se encuentran ubicadas en los departamentos de Cauca, Antioquia, Risaralda y Boyacá (SGC, 2019), sin embargo, no se poseen datos sobre la presencia de estas sustancias en este tipo de arcillas, por lo tanto, no es posible establecer sitios contaminados en el país.



5. Resultados del inventario



5.1 Liberación total estimada

Resultados del inventario

Liberación total estimada

PCDD/PCDF

Aplicando la metodología explicada anteriormente y sumando la liberación de todas las categorías del presente inventario, se estimó una **liberación total del país de 276 g EQT de PCDD/PCDF** en el año 2018, distribuida por categoría de fuente y liberación al ambiente como se muestra en la tabla 122.

La mayor liberación al ambiente fue al aire con el 59% del total nacional, seguida por los residuos con el 26%. Entre estas dos liberaciones se encuentra el 85%, el restante lo aportan las liberaciones al suelo con un 9%, producto con un 5% y al agua con un 1%.

En cuanto a las liberaciones por grupo, la 6-Procesos de quema a cielo abierto con el 42%, seguido por la 1-Incineración de residuos con el 22%, así como la 2-Producción de metales ferrosos y no ferrosos con el 13%. Entre estos grupos suman el 77% de la liberación total. La tabla 122 resume los resultados presentados anteriormente.

Tabla 122. Liberación estimada de PCDD/PCDF en Colombia año base 2018

Grupo		Liberación anual (g EQT/a)					Total por categoría	% Contribución por categoría
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo		
1	Incineración de desechos	37.143	0.000	0.000	0.000	24.411	61.553	22.30%
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	15.356	0.172	0.000	0.000	19.726	35.255	12.77%
3	Generación de energía y calor	5.521	0.000	0.000	0.000	4.051	9.572	3.47%
4	Producción de productos minerales	6.197	0.000	0.000	0.383	0.128	6.708	2.43%
5	Transporte	4.322	0.000	0.000	0.000	0.000	4.322	1.57%
6	Procesos de quema a cielo abierto	92.822	0.000	23.745	0.000	0.000	116.567	42.23%
7	Producción productos químicos y Bienes de consumo	0.696	0.615	0.000	7.620	4.656	13.587	4.92%
8	Misceláneos	0.644	0.000	0.000	0.238	12.204	13.086	4.74%
9	Disposición / relleno sanitario	0.000	3.282	0.000	0.775	5.396	9.453	3.42%
10	Puntos calientes	0.000	0.000	0.000	5.895	0.000	5.895	2.14%
Total		162.701	4.069	23.745	14.912	70.572	275.999	100%
Liberación al ambiente (%)		58.9%	1.5%	8.6%	5.4%	25.6%	100%	
Emisión per cápita (µg-EQT/año)		3.3	0.1	0.5	0.3	1.4	5.5	

Fuente: elaboración propia.

Con base en la población, superficie y producto interno bruto, se pueden obtener los índices de liberación de PCDD/PCDF para Colombia señalados en la tabla 123.

Tabla 123. Índices de liberación de PCDD/PCDF 2018

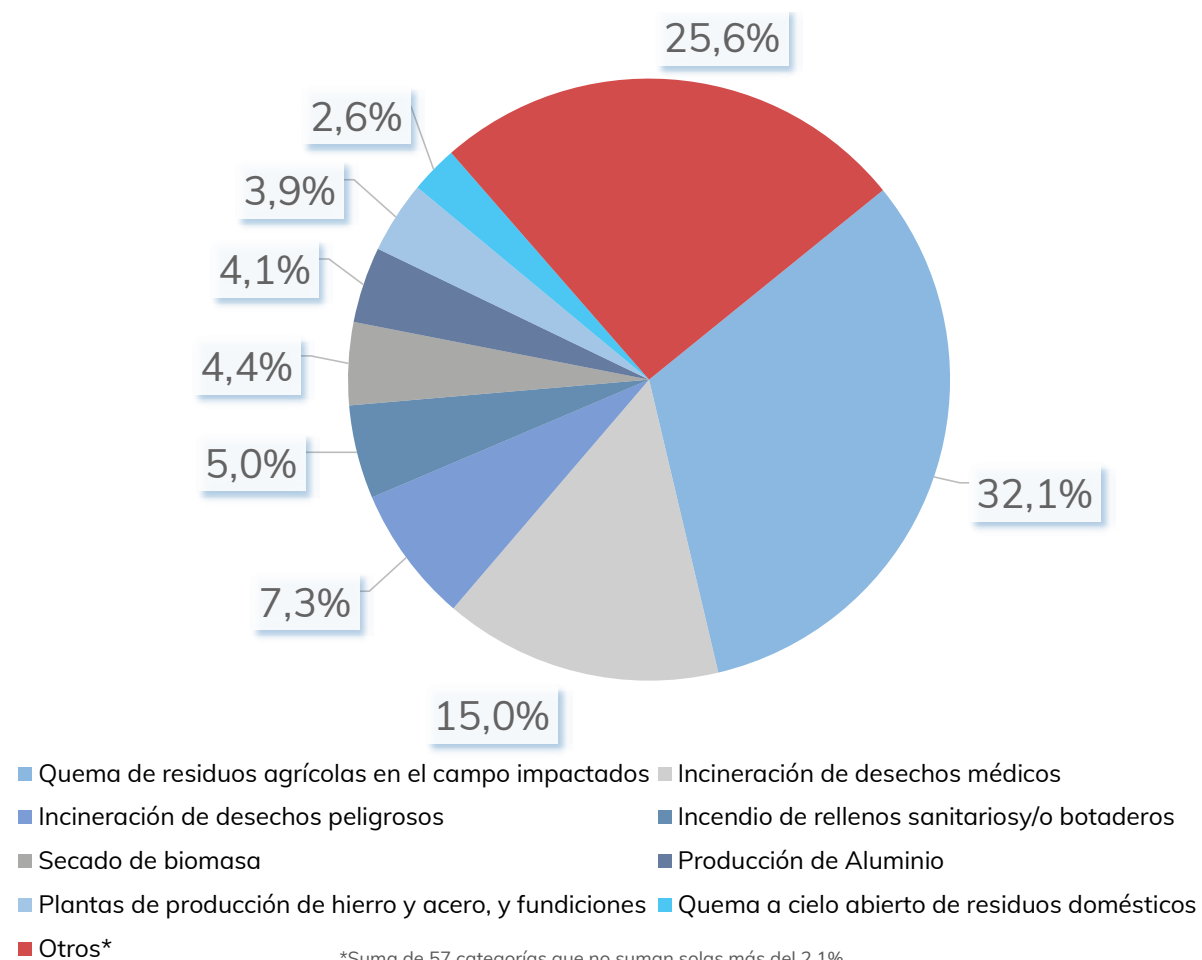
Índices de liberación para el año 2018		
Liberación por habitante al año	49,834,240 hab	5.5 µg EQT/hab
Liberación por km ² al año	2,070,408 km ²	133 µg EQT/ km ²

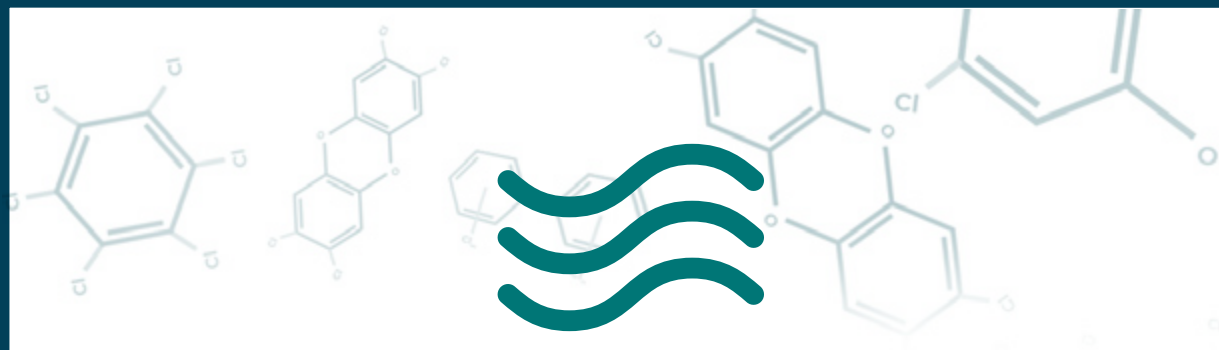
Fuente: elaboración propia.

Al realizar el análisis por clases para los datos del año 2018 se obtiene que el proceso que más impacta en la liberación de PCDD/PCDF es la quema de residuos agrícolas impactados con plaguicidas y/o fertilizantes precursores de COP no intencionales, seguido por la incineración de residuos médicos y peligrosos (ver gráfica 49).

“En el presente inventario, se estimó una liberación total del país de 276 g EQT de PCDD/PCDF en el año 2018”

Gráfica 49. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación total año 2018 de PCDD/PCDF





Emisión al aire

En cuanto a las emisiones al aire, el grupo con mayor aporte son los 6-Procesos de quema a cielo abierto con un 57%, 1-Incineración de desechos con el 23%, seguido por 2-Producción de metales ferrosos y no ferrosos ambos grupos con 9%, seguido por 4-Producción de productos minerales con el 4%, seguido por 3-Generación de energía y calor con un 3% y con un 5-Transporte 3%, para un total de 162.7 g EQT/año (ver gráfica 50).

Tabla 124. Emisión absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de emisión al aire año 2018 de PCDD/PCDF

Puesto	Clase	g EQT/año	%
1	6 a1. Quema de residuos agrícolas en el campo impactados	66.524	41%
2	1c. Incineración de desechos médicos	32.659	20%
3	6b1. Incendio de rellenos y botaderos	13.422	8%
4	6b3. Quema a cielo abierto de residuos domésticos	6.899	4%
5	2g. Producción de zinc	5.568	3%
6	6b2. Quema de caña de azúcar	4.532	3%
7	1b. Incineración de desechos peligrosos	4.480	3%
8	2e. Producción de aluminio	3.753	2%
9	Otros	24.863	15%
Total		162.701	100%

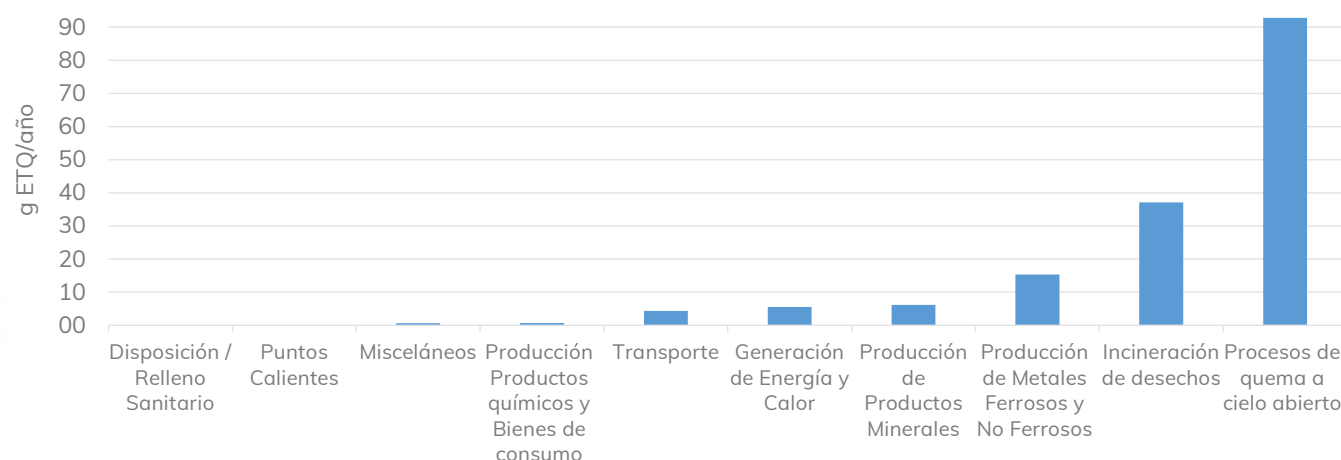
Fuente: elaboración propia.

Las actividades que más contribuyen a la emisión al aire, considerando las 64 clases que evalúa el Toolkit, se resumen en la tabla 124.

La quema de residuos agrícolas en el campo impactados con plaguicidas resulta el mayor contribuyente, con un 41% del total emitido al aire. Adicionalmente, es necesario destacar las emisiones por incineración de residuos médicos con un 20%, los incendios en rellenos sanitarios con el 8%, la quema a cielo abierto de residuos domésticos con un 4% y la producción de zinc, caña de azúcar e incineración de desechos peligrosos con un 3% cada una.

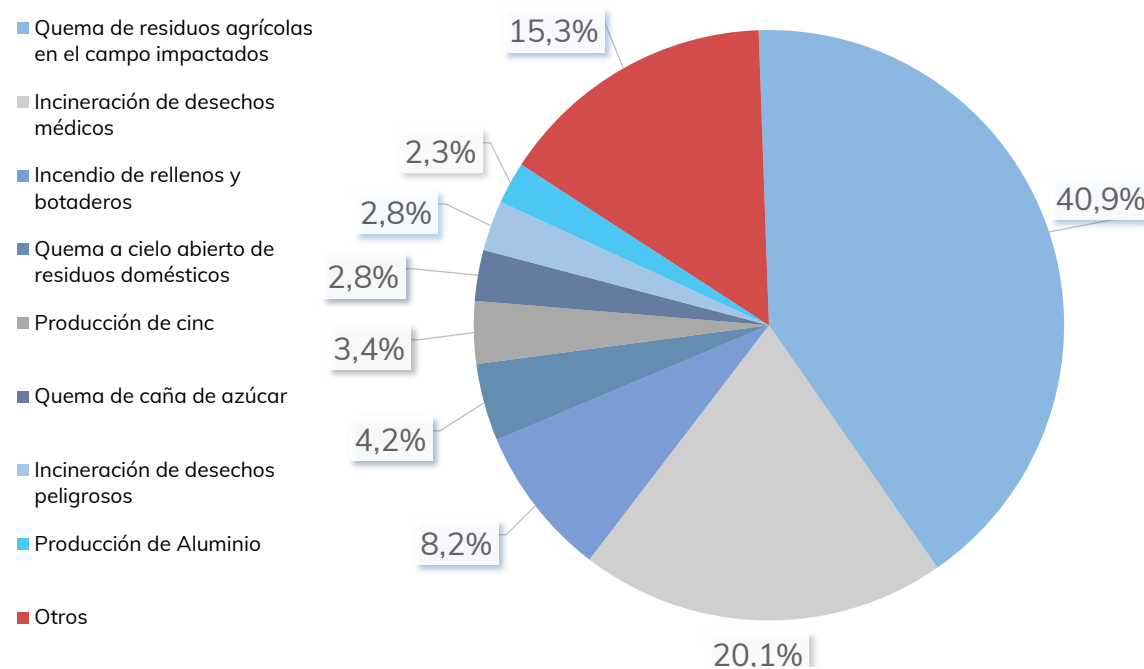
En la fuente "otros", se incluye la suma de 61 clases que por sí solas no aportan el 3% de la emisión (ver gráfica 51).

Gráfica 50. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al aire por grupo año 2018



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 51. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de emisión al aire año 2018 de PCDD/PCDF



Fuente: elaboración propia.



Liberación a los residuos

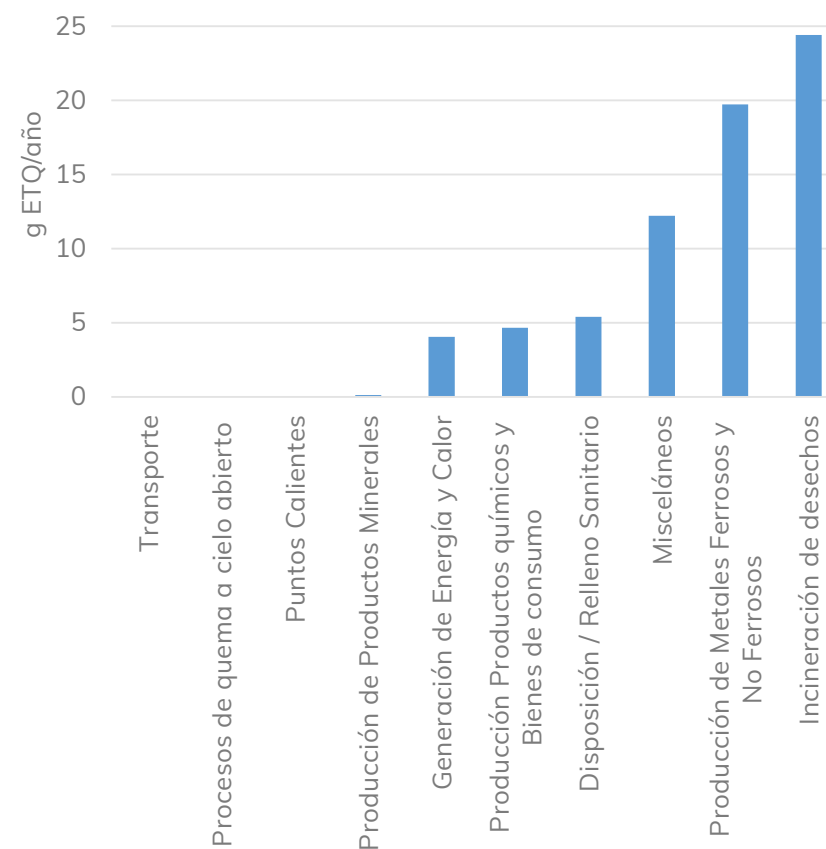
En cuanto a las liberaciones a los residuos, el grupo que más liberaciones crea es 1-Incineración de desechos con un 35%, 2-Producción de metales ferrosos y no ferrosos con un 28%, 8-Miscelaneos con 17%, 9-Disposición/Relleno Sanitario con un 8%, 7-Producción de productos químicos y bienes de consumo con un 7%, 3-Generación de energía y calor con un 6%, para un total de 70.6 g EQT/año (ver gráfica 52).

Las actividades que más contribuyen a la liberación a los residuos, considerando las 64 clases que evalúa el Toolkit, se resumen en la tabla 125.

La incineración de residuos peligrosos resulta el mayor contribuyente, con un 22% del total emitido al residuo como cenizas de proceso. Adicionalmente, es necesario destacar la liberación a los residuos en los procesos de secado de biomasa con el 17% y las plantas productoras de hierro, acero y fundiciones con un 13%, incineración de desechos médicos con el 11% y producción de aluminio con un 11% cada uno, agua vertida tratada con el 8% y refinerías de petróleo con un 5%.

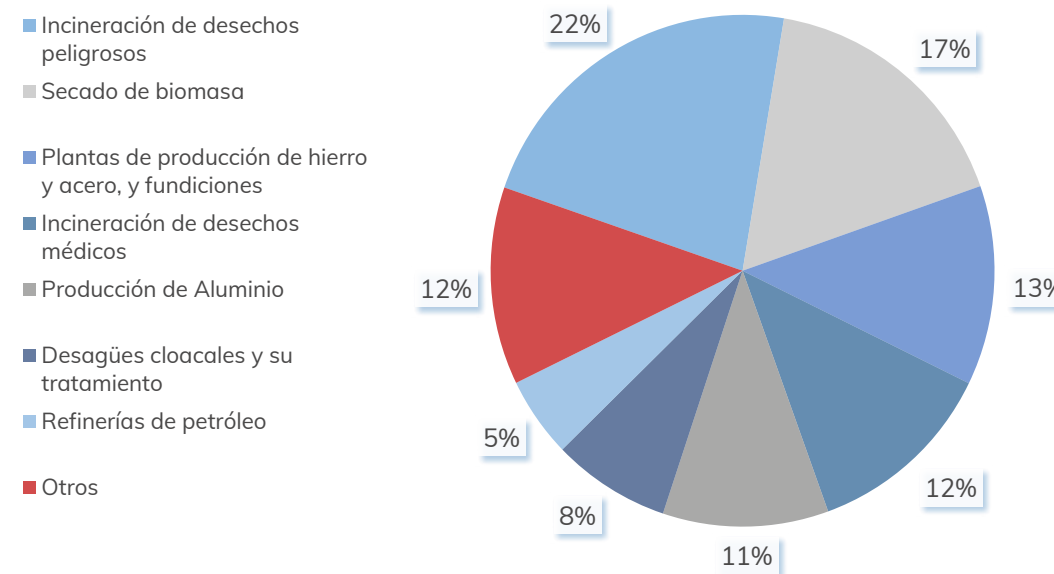
En la fuente “otros” se incluyen la suma de 48 clases, que por sí solas no aportan el 3% de la liberación (ver gráfica 53).

Gráfica 52. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al residuo por grupo año 2018



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 53. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los residuos año 2018 de PCDD/PCDF



Fuente: elaboración propia.

Tabla 125. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación en los residuos año 2018 de PCDD/PCDF

Puesto	Clase	g EQT/año	%
1	1b. Incineración de desechos peligrosos	15.776	22%
2	8 a. Secado de biomasa	11.998	17%
3	2c. Plantas de producción de hierro y acero, y fundiciones	8.902	13%
4	1c. Incineración de desechos médicos	8.635	12%
5	2e. Producción de Aluminio	7.506	11%
6	9b. Desagües cloacales y su tratamiento	5.341	8%
7	6f. Refinerías de petróleo	3.594	5%
	Otros	8.820	12%
	Total	70.572	100%

Fuente: elaboración propia.



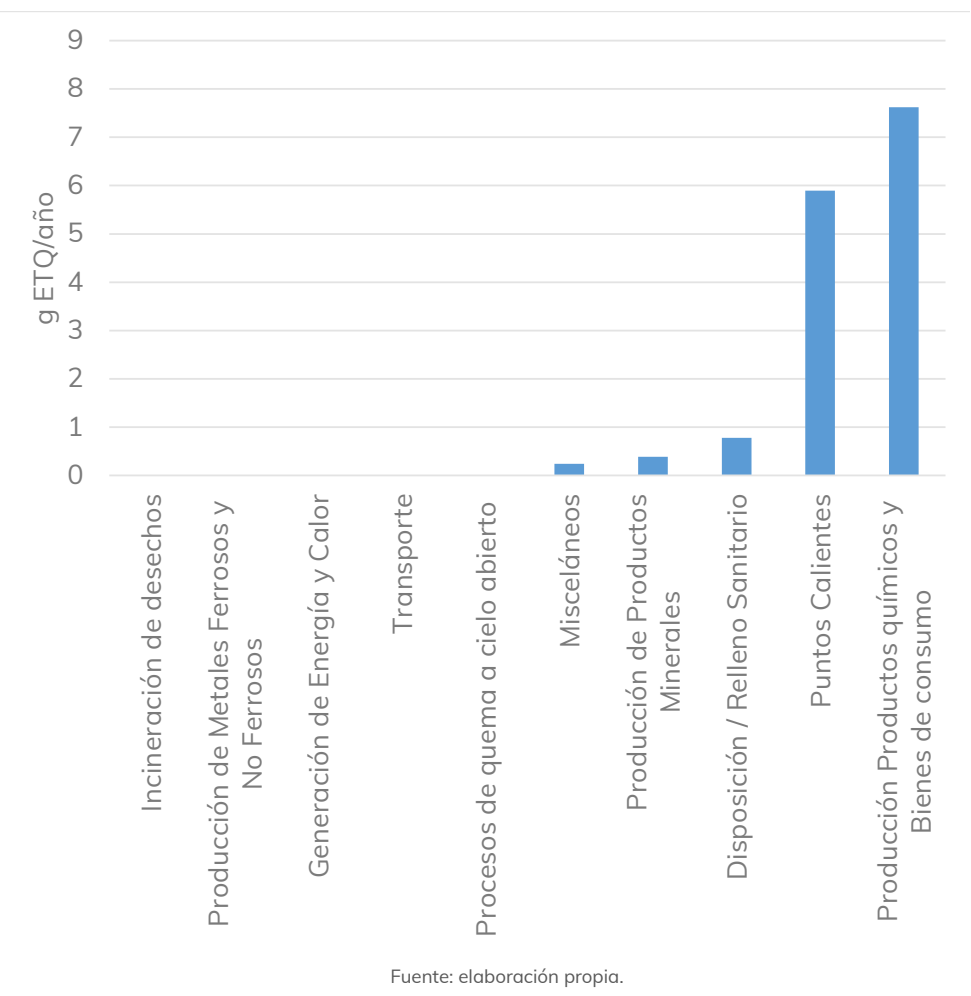
Liberación a los productos

En cuanto a las liberaciones al producto, el grupo que más liberaciones crea es 7-Producción de productos químicos y bienes de consumo con un 51%, seguido por la 9-Disposición/relleno sanitario con el 5%, 4-Producción de productos minerales con el 3% y 8-Misceláneos con el 2%, para un total de 14.9 g EQT/año. Es necesario comentar que los 10-Puntos calientes aportarían a esta matriz el 40%, sin embargo, corresponde al remanente de PCB que están en el Inventario Nacional, el cual año tras año se ha venido eliminando (ver gráfica 54).

Las participaciones de los mayores contribuyentes de liberación a los productos, en términos de fuente considerando las 64 posibles clases, se resumen en la tabla 126.

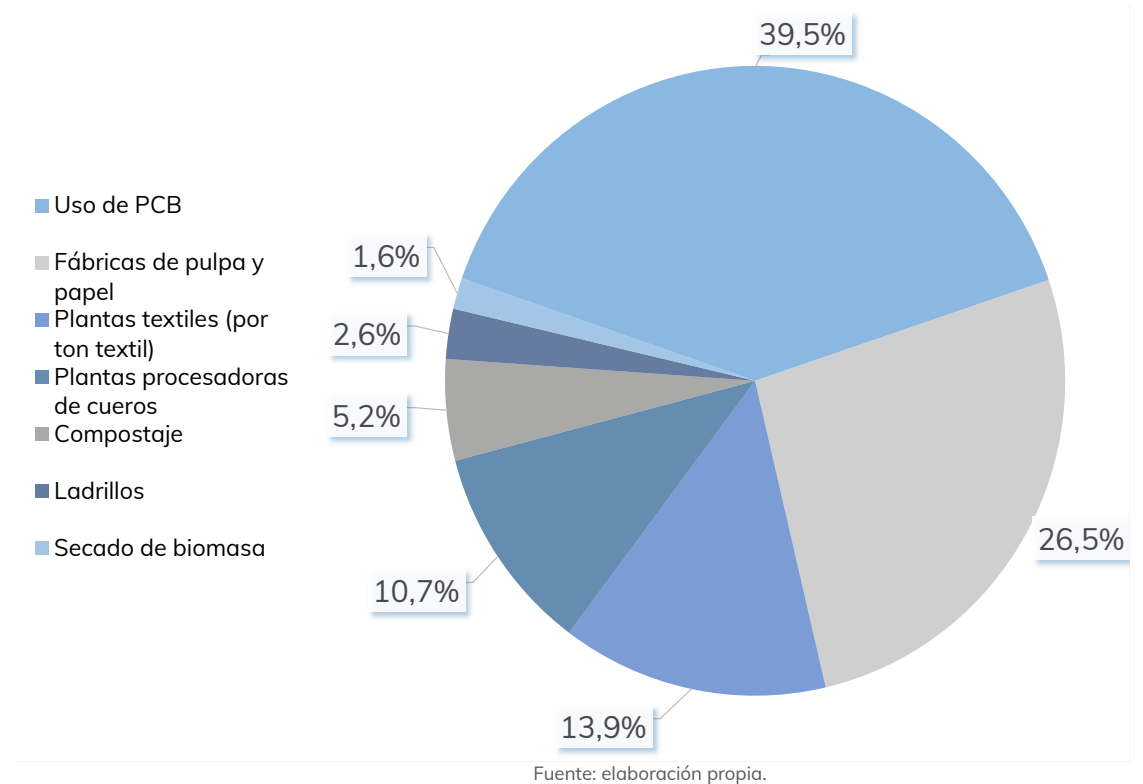
El uso de PCB resulta el mayor contribuyente individual, con un 40% del total emitido al producto. Este dato fue posible estimarlo debido a que existe un control riguroso en el tema en el país. Adicionalmente, es necesario destacar las liberaciones en la fabricación de pulpa y papel con el 27%, la producción de textiles con el 14% y cueros con el 11% (ver gráfica 55).

Gráfica 54. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al producto por grupo año 2018



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 55. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los productos año 2018 de PCDD/PCDF

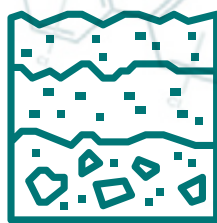


Fuente: elaboración propia.

Tabla 126. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación a los productos año 2018 de PCDD/PCDF

Puesto	Clase	g EQT/año	%
1	10f. Uso de PCB	5.895	40%
2	7 a. Fábricas de pulpa y papel	3.956	27%
3	7g. Plantas textiles	2.072	14%
4	7h. Plantas procesadoras de cueros	1.592	11%
5	9d. Compostaje	0.775	5%
6	4c. Ladrillos	0.383	3%
7	8 a. Secado de biomasa	0.238	2%
Total		14.91	100%

Fuente: elaboración propia.



Liberación al suelo

En cuanto a las liberaciones al suelo, el único grupo que emite liberaciones es el 6-Procesos de quema a cielo abierto, con un total de 23.7 g EQT/año.

Las actividades que más contribuyen a la liberación al suelo, considerando las 64 clases que evalúa el Toolkit, se resumen en la tabla 127.

La quema de residuos agrícolas impactados con plaguicidas resulta el mayor contribuyente individual, con un 93% del total emitido al residuo, los incendios accidentales de fábricas y viviendas con un 3%, incendios de rellenos y botaderos con un 2%, quema a cielo abierto de residuos domésticos e incendios de praderas y sabanas con un 1% cada una.

En la fuente “otros” se incluyen la suma de 62 clases que por sí solas no suman el 1% de la liberación (ver gráfica 56).

Gráfica 56. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al suelo año 2018 de PCDD/PCDF

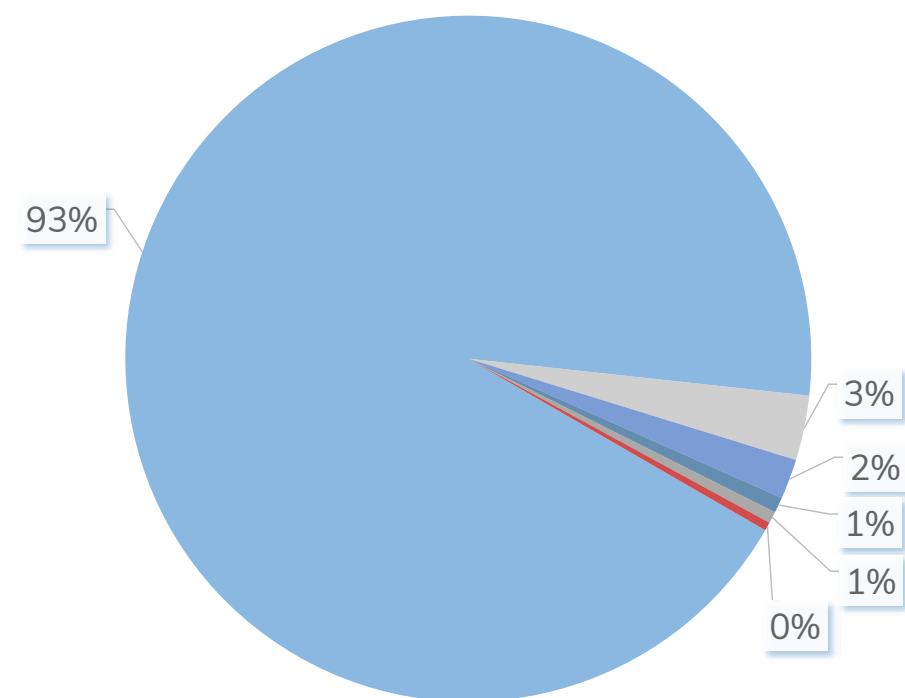


Tabla 127. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al suelo año 2018 de PCDD/PCDF

Puesto	Clase	g EQT/año	%
1	6a1. Quema de residuos agrícolas en el campo con plaguicida	22.175	93%
2	6b2. Incendios accidentales de viviendas, fábricas	0.725	3%
3	6b1. Incendio de rellenos sanitarios y botaderos	0.447	2%
4	6b3. Quema a cielo abierto de residuos domésticos	0.172	1%
5	6a5. Incendios de praderas y sabanas	0.132	1%
	Otros	0.093	0%
	Total	23.745	100%

Fuente: elaboración propia.

■ Quema de residuos agrícolas en el campo impactados ■ Incendios accidentales de viviendas, fábricas
 ■ Incendio de rellenos y botaderos ■ Quema a cielo abierto de residuos domésticos
 ■ Incendios de praderas y sabanas ■ Otro

Fuente: elaboración propia.



Liberación al agua

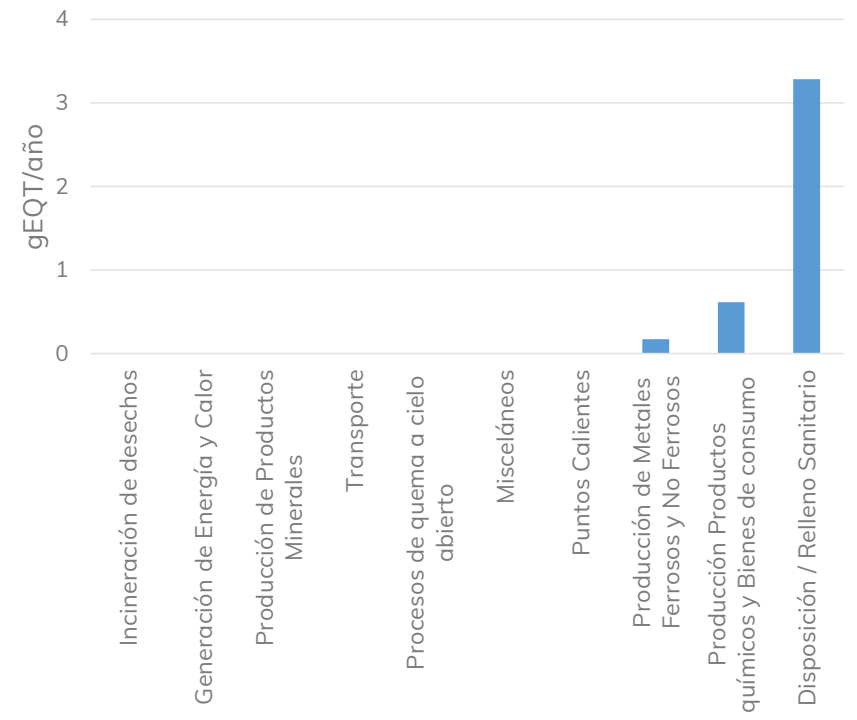
En cuanto a las liberaciones al agua, el grupo que más liberaciones crea es 9-Disposición/relleno sanitario con un 81%, seguido por 7-Producción productos químicos y bienes de consumo con el 15% y 2-Producción de metales ferrosos y no ferrosos con un 4%, para un total de 4.1 g EQT/año (ver gráfica 57).

Las actividades que más contribuyen a la liberación al agua, considerando las 64 que evalúa el Toolkit, se resumen en la tabla 128.

El vertimiento de afluentes sin tratar es el mayor contribuyente individual, con un 64% del total emitido al residuo. Además, la producción de químicos inorgánicos clorados con el 16% y desagües cloacales y su tratamiento con un 10%.

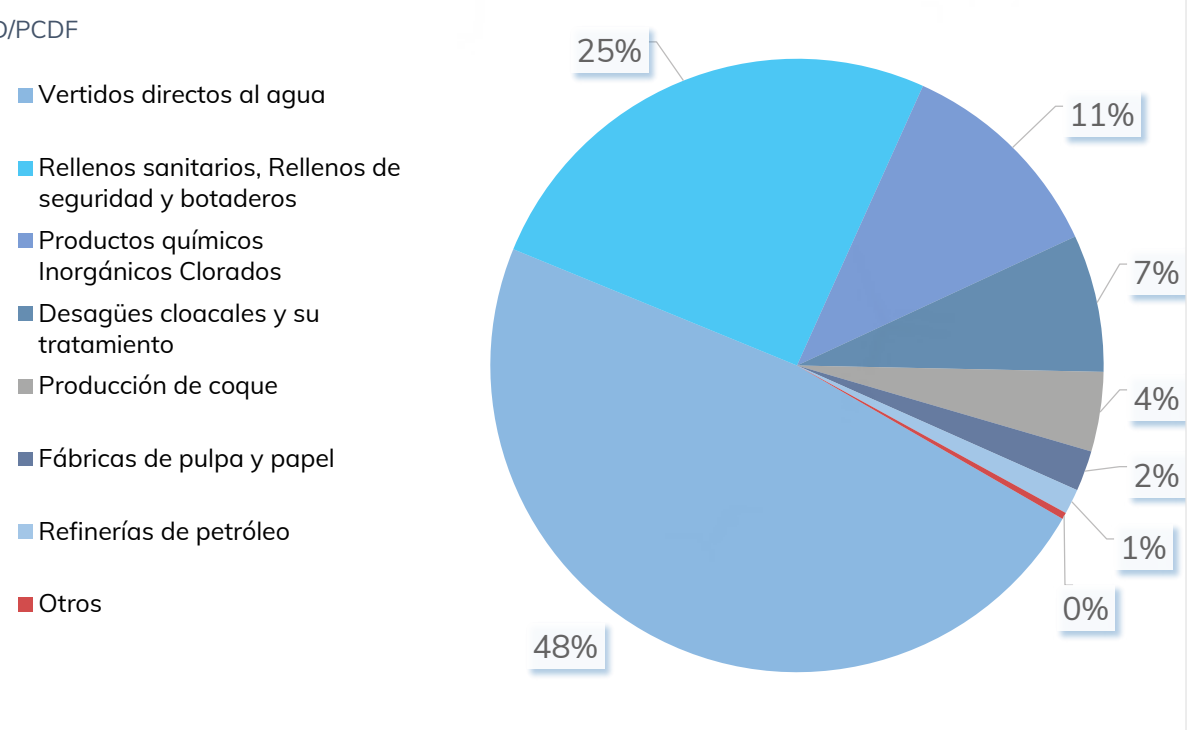
En la fuente otros se incluyen la suma de 58 fuentes que por sí solas aportan menos del 2% de la liberación (ver gráfica 58).

Gráfica 57. Distribución de las liberaciones de PCDD/PCDF al agua por grupo año 2018



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 58. Participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al agua año 2018 de PCDD/PCDF



Fuente: elaboración propia.

Tabla 128. Liberación absoluta y participación relativa (%) de las fuentes por clase de liberación al agua año 2018 de PCDD/PCDF

Puesto	Clase	g EQT/año	%
1	9c. Vertidos directos al agua	1.947	48%
2	9 a. Rellenos sanitarios, rellenos de seguridad y botaderos	1.040	25%
3	7b. Productos químicos inorgánicos clorados	0.462	11%
4	9b. Desagües cloacales y su tratamiento	0.295	7%
5	2b. Producción de coque	0.171	4%
6	7 a. Fábricas de pulpa y papel	0.087	2%
7	7f. Refinerías de petróleo	0.054	1%
	Otros	0.014	0%
	Total	4.08	100%

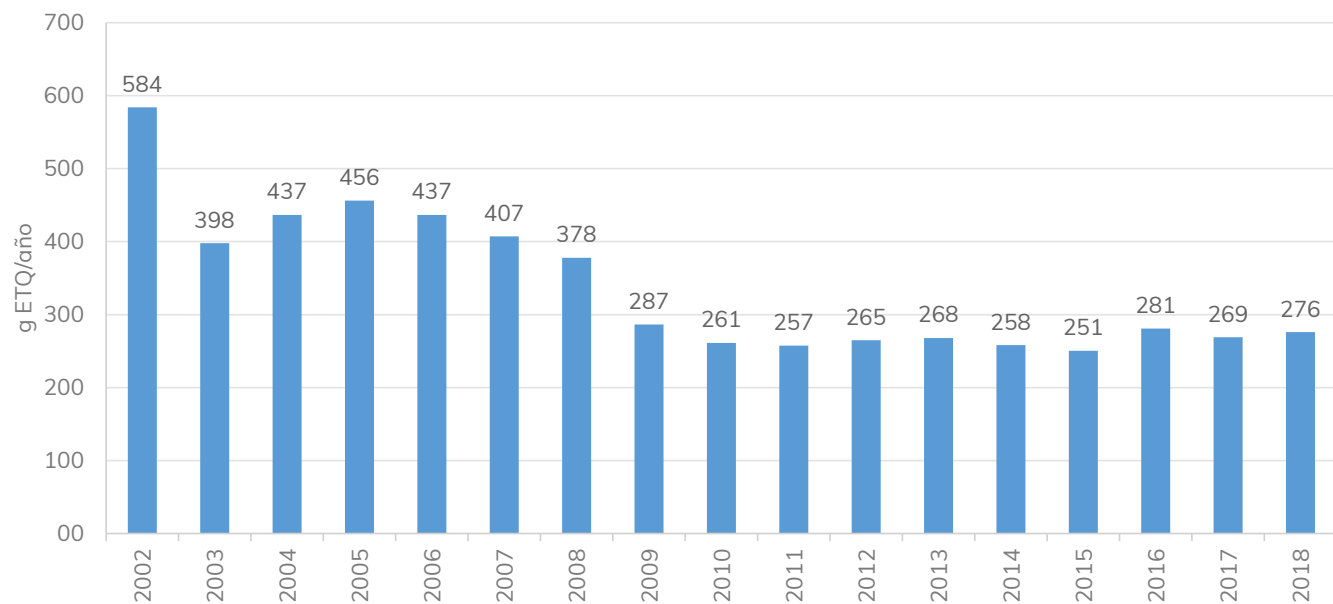
Fuente: elaboración propia.

Evolución de la liberación de PCDD/PCDF año 2003 a 2018

Adicionalmente del inventario estimado anteriormente, se realizó el cálculo de los inventarios en los años 2003 a 2018.

A continuación, la gráfica 59 presenta el total de las liberaciones de PCDD/PCDF estimada por medio del Toolkit 2013. Como se puede observar, del año 2002 a 2018 se ha producido una reducción de aproximadamente un 52.7%.

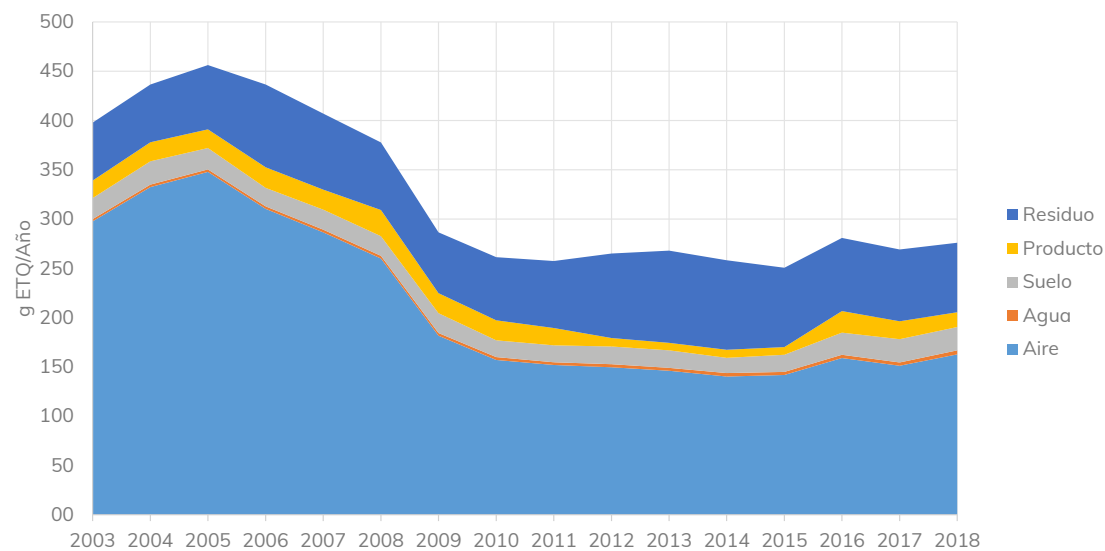
Gráfica 59. Liberación total estimada de PCDD/PCDF de 2003 a 2018



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la liberación del contaminante al ambiente durante el periodo analizado, la gráfica 60 permite establecer que la mayor parte de la emisión en el tiempo ha sido al aire y liberaciones a los residuos.

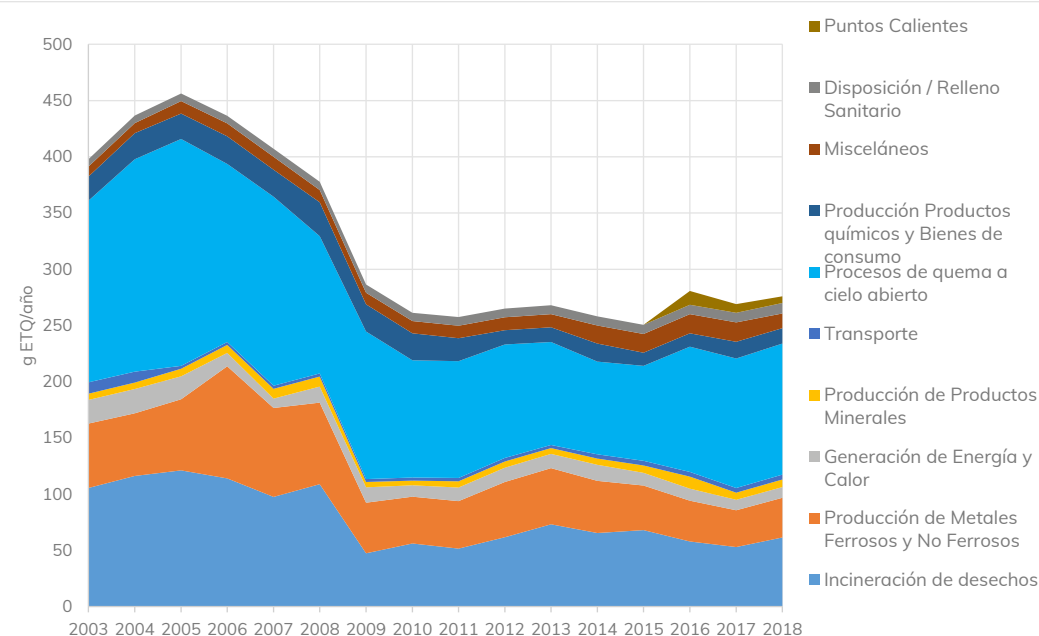
Gráfica 60. Producción estimada por matriz de PCDD/PCDF de 2003 a 2018



Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la producción del contaminante por grupo durante los años 2003 a 2018, la gráfica 61 permite ver la evolución de liberación. La principal disminución se debe al descenso en las quemaduras a cielo abierto, en especial las agrícolas, mejoras en los sistemas de control de hornos de incineración y siderurgias.

Gráfica 61. Producción estimada por grupo de PCDD/PCDF de 2003 a 2018



Fuente: elaboración propia.

Comparación de la liberación de Colombia con respecto al resto de las Partes

El Toolkit 2013 es una herramienta utilizada para realizar inventarios de estos contaminantes en varios países, de acuerdo con lo requerido por los artículos 5 y 15 del Convenio de Estocolmo. Como ya se comentó anteriormente, esta herramienta permite comparar la liberación entre países y permite determinar la situación global de liberación de PCDD/PCDF y otros COP.

Para el año 2020, 107 países han informado al Convenio sus inventarios nacionales de los 183 que lo han ratificado, ya sea por medio de los Planes de Implementación del Convenio de Estocolmo – NIP y/o reportes nacionales, los cuales están en la obligación de realizar e informar cada cuatro años al Convenio.

De acuerdo con información recopilada en las fuentes anteriormente escritas, la cual se encuentra disponible en la página del Convenio, la ilustración 5 muestra el reporte consolidado de liberación total de PCDD/PCDF de aquellos países que han comunicado los resultados del uso del Toolkit 2013. Así mismo, la ilustración 6 presenta la comparación de liberación de estas sustancias per cápita entre países.

Ilustración 6. Comparación de liberación de PCDD/PCDF per cápita entre países Partes del Convenio de Estocolmo

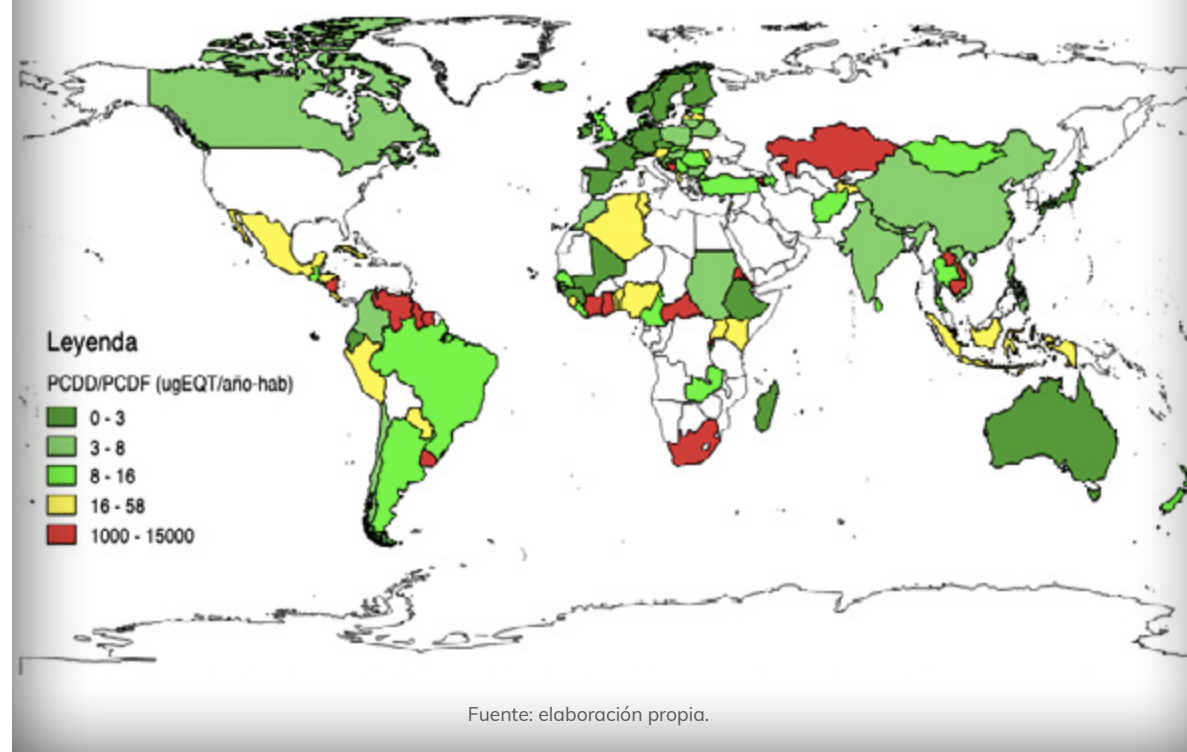
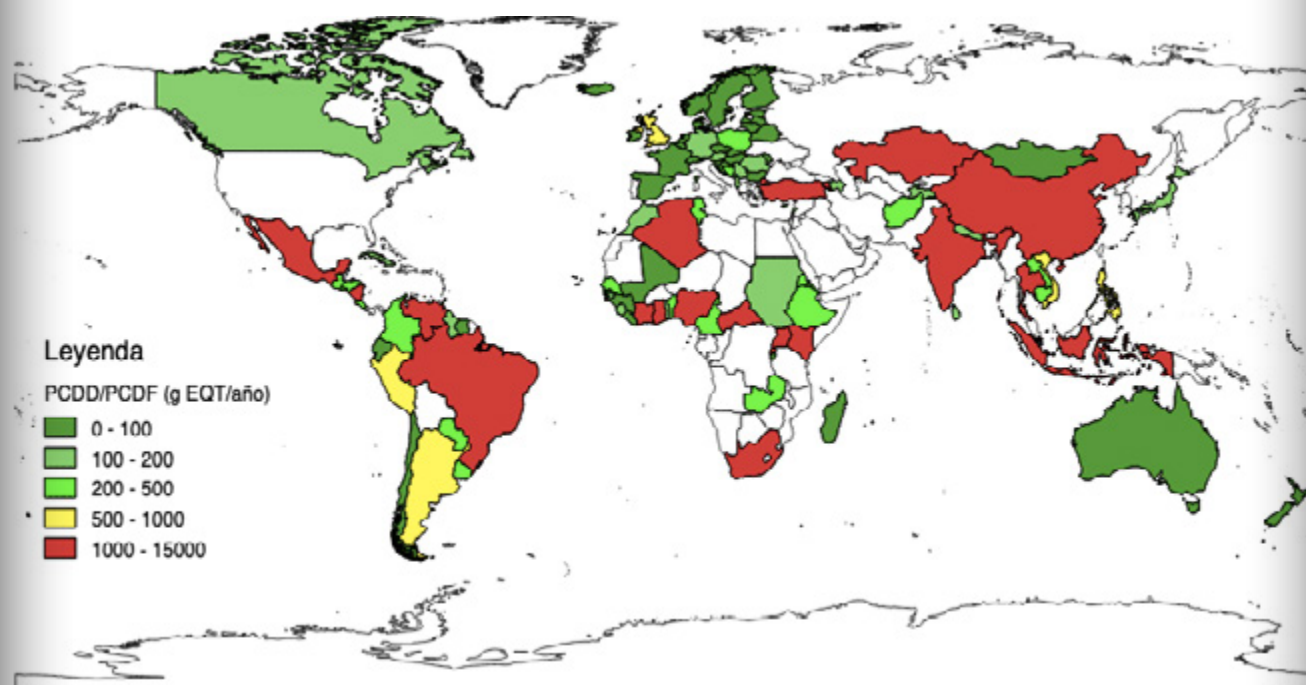


Ilustración 5. Comparación de liberación total de PCDD/PCDF entre países Partes del Convenio de Estocolmo



En cuanto a la liberación total del país, Colombia emite aproximadamente el 0.3% de la liberación mundial estimada en 87,274 g EQT anuales¹⁷⁹. Colombia se sitúa en el puesto 7 de liberaciones de PCDD/PCDF entre 17 países de Latinoamérica y el Caribe. Venezuela, México, Nicaragua y Brasil son los principales.

China es el primer generador mundial de PCDD/PCDF con cantidades superiores a 10,000 g EQT/año. Cinco países representan aproximadamente el 50% de las liberaciones mundiales de PCDD/PCDF (China, Indonesia, Rwanda, India y México).

Se estima que Colombia genera 5.5 µg EQT/ habitante-año. Dentro de la lista de liberaciones mundiales ocupa el puesto 78 (de mayor a menor).

Las liberaciones de PCDD/PCDF per cápita de Colombia son similares a las de países asiáticos como Viet Nam (5.7) y a las de Hungría (5.1) en Latinoamérica. Estas se encuentran por debajo de las de países desarrollados como Reino Unido (11.9) y de las de otros países latinoamericanos como México (45.3), Perú (20.4), Argentina (15.3) y Brasil (10.7).

Finalmente, este es un análisis preliminar, debido a que existen gran variedad de países que no han comunicado los inventarios.

179 Dato estimado haciendo sesgo de datos anómalos.

Como se enunció en la sección 2.1, el PCB es una sustancia que se genera como subproducto no intencional en los mismos procesos de formación de PCDD/PCDF. De acuerdo con los datos recopilados para el año 2018, se estima que se produjo una **liberación total de 14.9 g EQT de PCB no intencional**, distribuida por categoría de fuente y liberación al ambiente como se muestra en la tabla 129.

Tabla 129. Liberación estimada de PCB no intencional en Colombia año 2018

Grupo	Liberación anual (g EQT/a)						% Contribución por categoría	
	Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total por categoría		
1	Incineración de desechos	0.336	0.000	0.000	0.000	0.066	0.403	2.70%
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.809	0.061	0.000	0.000	0.033	0.904	6.06%
3	Generación de energía y calor	1.812	0.000	0.000	0.000	0.000	1.812	12.15%
4	Producción de productos minerales	0.334	0.000	0.000	0.064	0.005	0.404	2.71%
5	Transporte	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048	0.32%
6	Procesos de quema a cielo abierto	8.274	0.000	0.711	0.000	0.000	8.984	60.24%
7	Producción Productos químicos y Bienes de consumo	0.010	0.043	0.000	0.362	1.942	2.357	15.80%
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.01%
9	Disposición / relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.01%
10	Puntos calientes	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00%
Total		11.625	0.105	0.711	0.426	2.048	14.914	100.00%
Liberación al ambiente (%)		77.9%	0.7%	4.8%	2.9%	13.7%	100.0%	
Emisión per cápita (µg-EQT/año)		0.233	0.002	0.014	0.009	0.041	0.299	

Fuente: elaboración propia.

La mayor liberación al ambiente fue al aire con el 78% del total liberado al ambiente para el año 2018. Seguida a esta liberación, están los residuos con el 14%. Entre estas dos liberaciones se encuentra el 92% de la liberación total.

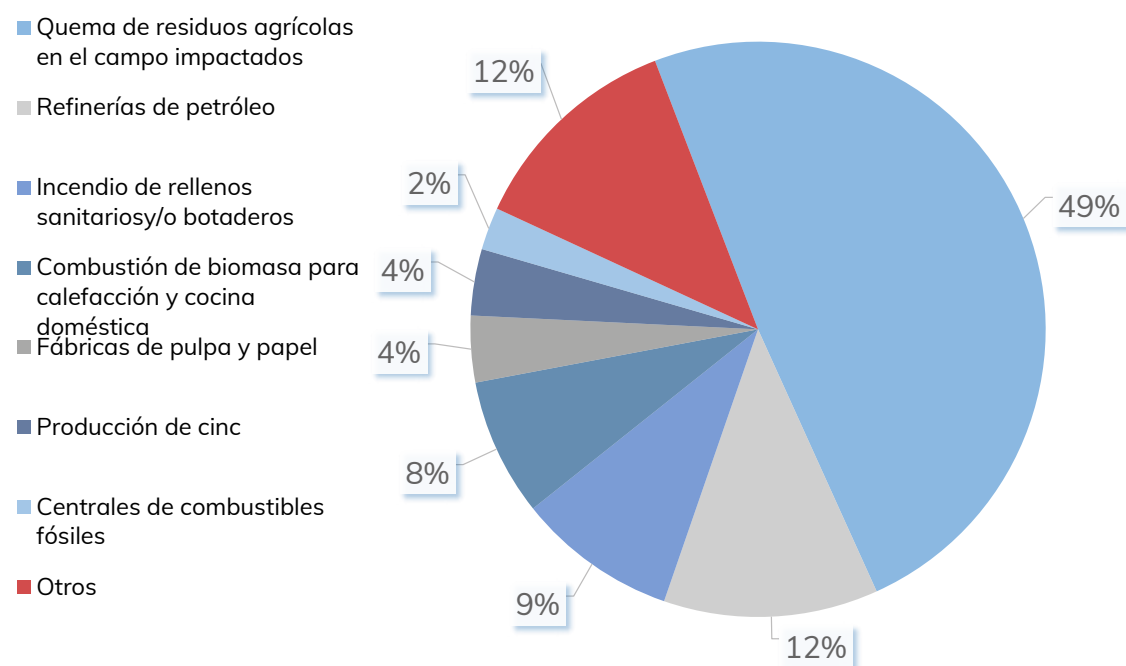
En cuanto a las liberaciones por grupo los principales son los 6-Procesos de quema a cielo abierto con el 60%, seguido por la 7-Producción de productos químicos y bienes de consumo con un 16%, seguido por 3-Generación de energía y calor con un 12%, seguida por la 2-Producción de metales ferrosos y no ferrosos con un 6%, entre estos grupos suman el 94% de la liberación total.

Al realizar el análisis por clases para los datos del año 2018 se obtiene que el proceso de quema de residuos agrícolas impactados es el principal aportando el 49% (ver gráfica 62).

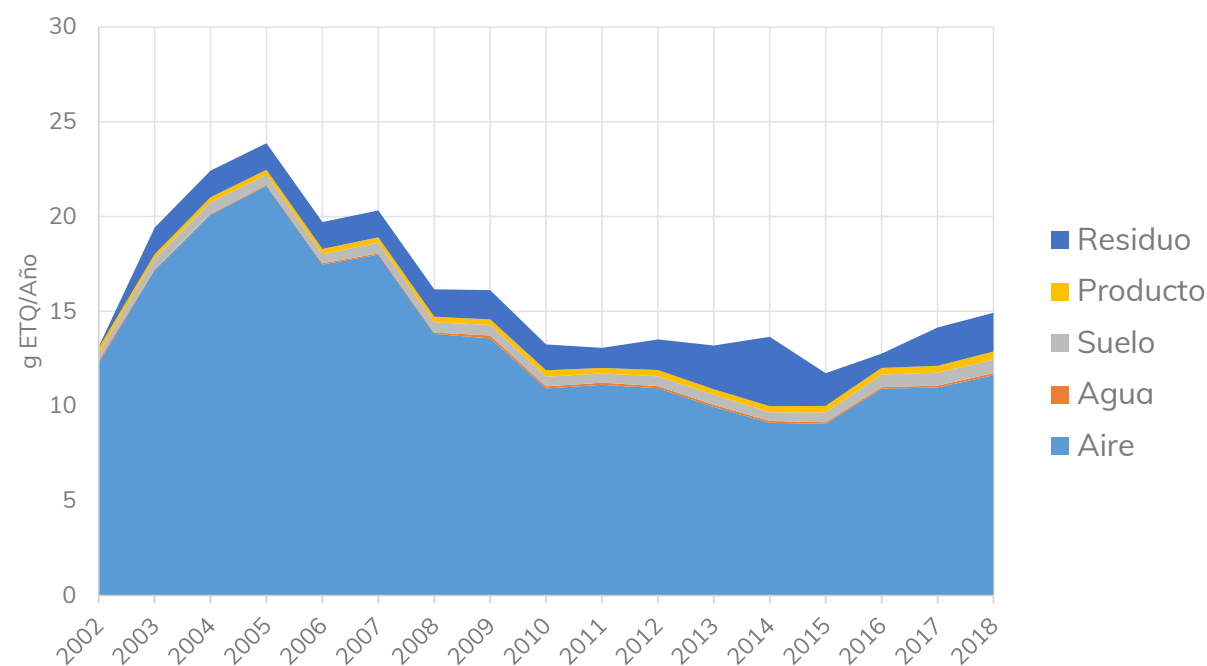
Al igual que los PCDD/PCDF para la producción de PCB no intencional, se realizó un estimativo desde el 2003 al 2018 (ver gráfica 63). En dicha gráfica se puede observar una disminución en la liberación, principalmente por la reducción en el país de las quemas de residuos agrícolas.

Los inventarios estimados por categorías y matriz ambiental para este contaminante se encuentra en el Anexo 1, Serie histórica PCB 2003-2018.

Gráfica 62. Producción estimada de PCB no intencional liberado por clases 2018



Gráfica 63. Producción estimada por matriz ambiental de PCB no intencional de 2003 a 2018



Resultados del inventario

Liberación total estimada

HCB

Como se enunció en la sección 2.1, el HCB no intencional es una sustancia que se genera como sub-producto no intencional en los mismos procesos de formación de PCDD/PCDF. De acuerdo con los datos recopilados para el año 2018, se estima que se **produjo una liberación total de 25,701.3 g¹⁸⁰**, distribuida por categoría de fuente y liberación al ambiente como se muestra en la tabla 130.

¹⁸⁰ Las unidades son gramo de sustancia por año, estas unidades no son comparables con las del inventario de PCDD/PCDF y PCB 2018 debido a que no están en g EQT.

Tabla 130. Liberación estimada de HCB no intencional en Colombia año 2018

Grupo		Liberación anual (g/a)					Total por categoría	% Contribución por categoría
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo		
1	Incineración de desechos	137.1	0.0	0.0	0.0	9.6	146.7	0.57%
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1,254.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1,254.8	4.88%
3	Generación de energía y calor	748.8	0.0	0.0	0.0	0.0	748.8	2.91%
4	Producción de productos minerales	4,029.5	0.0	0.0	803.8	8.0	4,841.3	18.84%
5	Transporte	798.5	0.0	0.0	0.0	0.0	798.5	3.11%
6	Procesos de quema a cielo abierto	3,002.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3,002.6	11.68%
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	14.5	0.0	0.0	0.0	16.2	0.06%
8	Misceláneos	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.04%
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	14,883.4	14,883.4	57.91%
10	Puntos calientes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
Total		9,982.0	14.5	0.0	803.8	14,901.1	25,701.3	100.00%
Liberación al ambiente (%)		38.8%	0.1%	0.0%	3.1%	58.0%	100.0%	
Emisión per cápita (µg/año)		200.3	0.3	-	16.1	299.0	515.7	

Fuente: elaboración propia.

La mayor liberación al ambiente fue al residuo con el 58% del total liberado al ambiente para el año 2018. Seguida a esta liberación, está el aire con el 39%. Entre estas dos liberaciones se encuentra el 97% de la liberación total.

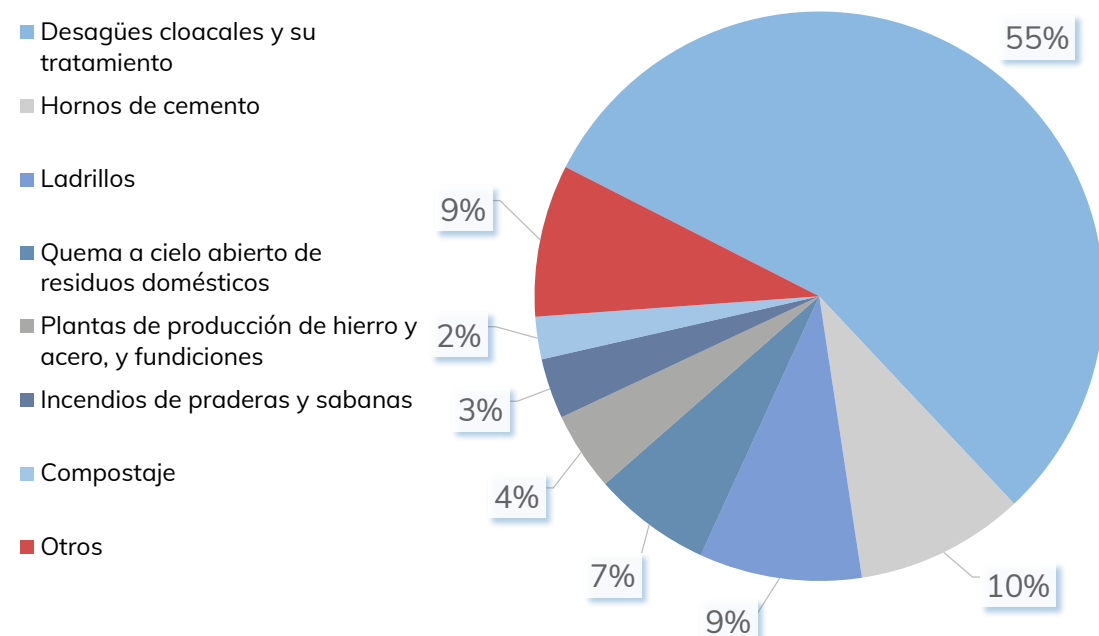
En cuanto a las liberaciones por grupo, la principal es la 9-Disposición/rellenos con el 58%, seguidas por la 4-Producción de productos minerales con un 19%, seguida por los 6-Procesos de quema a cielo abierto con el 12% entre estos grupos suman el 88% de la liberación total.

Al realizar el análisis por clases para los datos del año 2018 se obtiene que el proceso de disposición de aguas tratadas es el principal aportando el 55% (ver gráfica 64).

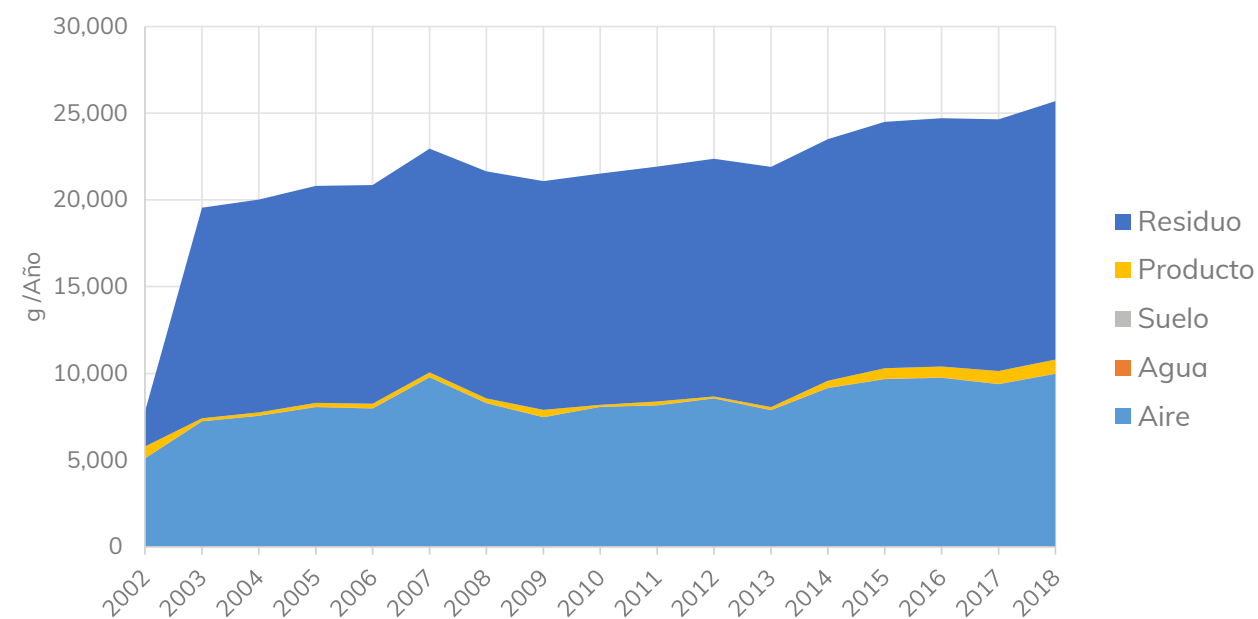
Al igual que PCDD/PCDF para la producción de HCB no intencional, se realizó un estimativo desde el 2003 al 2018 (ver gráfica 65).

Los inventarios estimados por categorías y matriz ambiental para este contaminante se encuentra en el Anexo 1, Serie histórica HCB 2003-2018.

Gráfica 64. Producción estimada de HCB no intencional liberado por clases 2018



Gráfica 65 Producción estimada por matriz ambiental de HCB no intencional de 2003 a 2018



Resultados del inventario

Liberación total estimada

PeCB

Como se enunció en la sección 2.1, el PeCB no intencional es una sustancia que se genera como subproducto no intencional en los mismos procesos de formación de PCDD/PCDF. De acuerdo con los datos recopilados para el año 2018 se estima que se **produjo una liberación total de 7,665.7 g¹⁸¹**, distribuida por categoría de fuente y liberación al ambiente como se muestra en la tabla 131.

¹⁸¹ Las unidades son gramo de sustancia por año. Estas unidades no son comparables con las del inventario de PCDD/PCDF 2018 debido a que no están en g EQT.

Tabla 131. Liberación estimada de PeCB no intencional en Colombia año 2018

Grupo	Liberación anual (g/a)						Total por categoría	% Contribución por categoría
	Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo			
1	Incineración de desechos	107.3	0.0	0.0	0.0	0.0	107.3	1.40%
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	895.9	0.0	0.0	0.0	0.0	895.9	11.69%
3	Generación de energía y calor	57.7	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7	0.75%
4	Producción de productos minerales	6,604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6,604.8	86.16%
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
7	Producción Productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
9	Disposición / relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
10	Puntos calientes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00%
Total		7,665.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7,665.7	100.00%
Liberación al ambiente (%)		100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	
Emisión per cápita (µg/año)		153.823	-	-	-	-	153.823	

Fuente: elaboración propia.

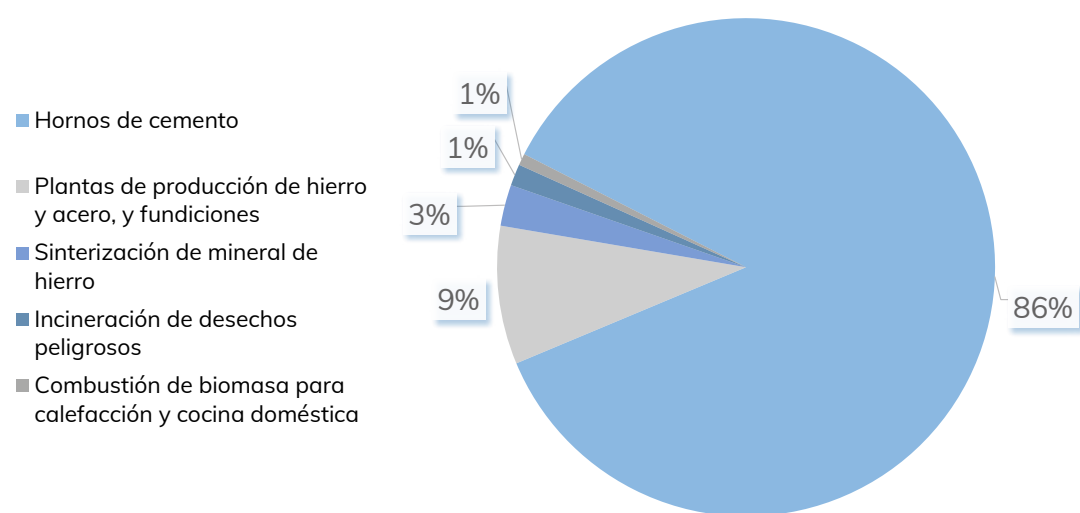
La única liberación al ambiente es al aire, en cuanto a las liberaciones por grupo la principal es la 4-Producción de productos minerales con el 86%, seguido por la 4-Producción de metales ferrosos y no ferrosos con un 12%. Entre estos grupos suman el 98% de la liberación total.

Al igual que PCDD/PCDF para la producción de PeCB no intencional se realizó un estimativo desde el 2003 al 2018 (ver gráfica 67). En dicha gráfica se puede observar un aumento en la liberación de este contaminante debido al aumento en la producción nacional de cemento.

Los inventarios estimados por categorías y matriz ambiental para este contaminante se encuentran en el Anexo 1, Serie histórica PeCB 2003-2018. Finalmente, como las estimaciones de PCDD/PCDF, PCB, HCB y PeCB no poseen las mismas unidades, no es posible comparar las liberaciones en gramos con aquellas en gramos de equivalente tóxico. Por ello se estima que para el 2018 el país emitió 290.9 g EQT/año PCDD/PCDF y PCB no intencional, cuya distribución se representa en la gráfica 68.

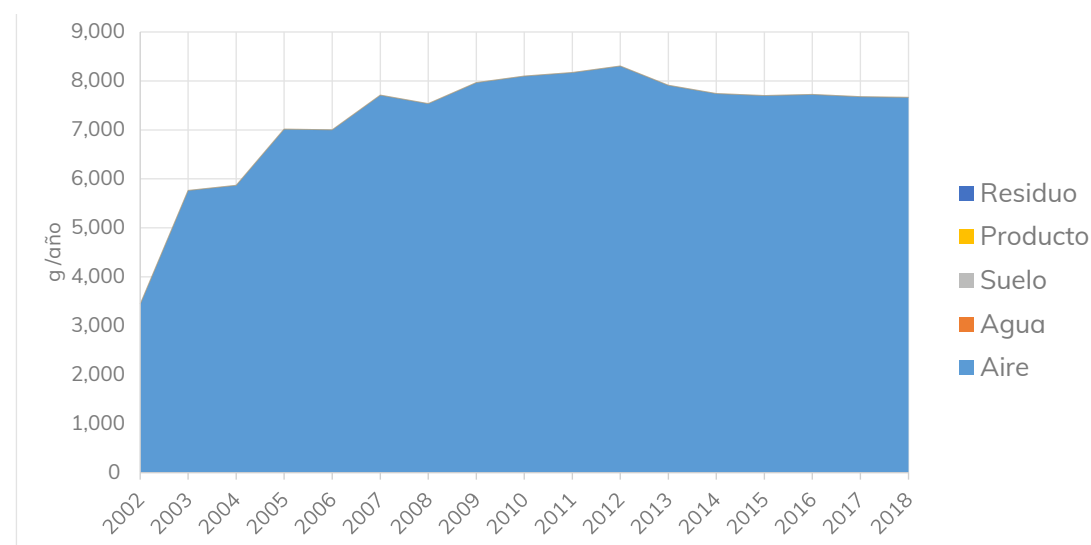
Por otro lado, se estima que en el año 2018 el país emitió 33,367 g de HCB y PeCB, cuya distribución se representa en la gráfica 69.

Gráfica 66. Producción estimada de PeCB no intencional liberado por clases 2018



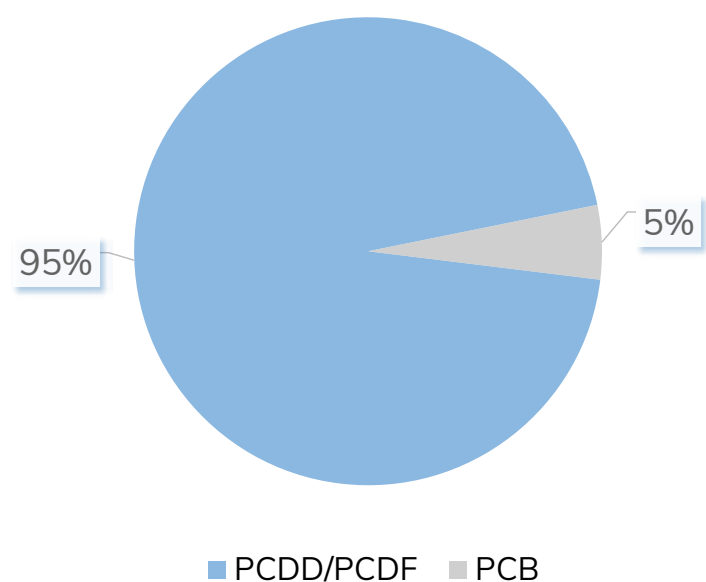
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 67. Producción estimada por matriz ambiental de PeCB no intencional de 2003 a 2018



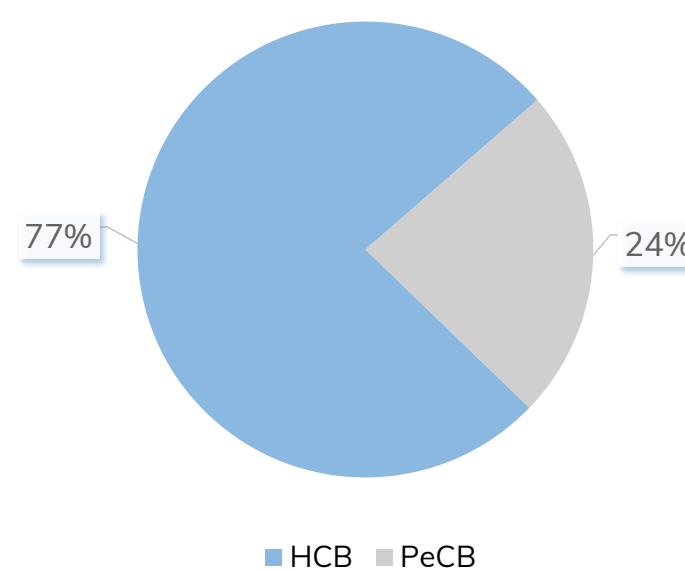
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 68. Distribución porcentual de liberación de g EQT de COP no intencionales



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 69. Distribución porcentual de liberación de gramos de COP no intencionales



Fuente: elaboración propia.

6. Conclusiones



El inventario de generación de **PCDD/PCDF para el año 2018 estimó una liberación anual de 276.0 g EQT** de los cuales aproximadamente el 59% va al aire y el 26% quedan como residuos, ya sean cenizas de procesos o como polvos recolectados por los sistemas de control de emisiones, si no se tienen tecnologías que destruyan estas sustancias. En comparación con la línea base año 2002, el país ha logrado reducir su tasa de liberación aproximadamente en un 52%, esta reducción se debe, primero, a la mejora en los sistemas productivos, así como a la implementación de sistemas de control de emisiones en diferentes empresas del país (ej., empresas gestoras de residuos peligrosos, empresas de fundición de metales, hornos cementeros, entre otras), segundo, el país en el 2008 emitió una norma de estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, entre los cuales se incluyen las PCDD/PCDF en determinados sectores productivos y, tercero, el control por parte de las autoridades ambientales a las emisiones en fuentes fijas, calidad de aire y quema de residuos.

Del total estimado, en los principales grupos aportantes a la liberación de PCDD/PCDF está primero la **incineración de residuos** debido a la gran cantidad de cloro que poseen estos (ej., PVC en residuos médicos) y la falta de sistemas de control de emisiones que destruyan o absorban PCDD/PCDF en los incineradores; segundo, **Producción de metales ferrosos y no ferrosos**, que si bien la gran mayoría de estas industrias tienen sistemas de control que retienen las emisiones permitiéndoles cumplir la norma (ej., filtros de mangas), es necesario que estos sistemas sean capaces de destruir o absorber efectivamente los PCDD/PCDF en los hornos (ej., Quench tower, sistemas SCR DeDiox), sumado a la entrada en el proceso de fundición de sustancias precursoras de PCDD/PCDF en la chatarra que se funde (ej., plásticos, aceites, pinturas, etc.); y, tercero, procesos de **quema a cielo abierto**, a causa del uso de plaguicidas y/o fertilizantes clorados y lo común de la práctica de quema de residuos agrícolas en el país, así se encuentre regulada. Por ello, es necesario que dichos sectores apliquen las Mejores Técnicas Disponibles-MTD y Mejores Prácticas Ambientales-MPA recomendados por el Convenio de Estocolmo que se recomiendan el próximo capítulo.

Se requiere hacer una revisión de la normativa ambiental en materia de emisiones, con el fin de establecer si las medidas de control y seguimiento actuales son adecuadas para lograr que los sectores que generan este tipo de contaminantes realmente están mitigando la generación de estas sustancias por medio de la mejora de procesos productivos y/o instalación de sistemas de control de emisiones apropiados, así como la inclusión de sectores que no están regulados.

En cuanto a la liberación total del país, Colombia emite aproximadamente el 0.3% de la liberación mundial estimada en 87,274 g EQT anuales¹⁸². Colombia se sitúa en el puesto 7 de liberaciones de PCDD/PCDF entre 17 países de Latinoamérica y el Caribe. Venezuela, México, Nicaragua y Brasil son los principales.

El inventario de generación de **PCB no intencional estimó una liberación anual de 14.9 g EQT** de los cuales la gran mayoría va al aire y a residuos. Del total estimado los principales grupos aportantes a la liberación están los Procesos de quema a cielo abierto y la Producción de productos químicos y Bienes de consumo.

El inventario de generación de **HCB no intencional estimó una liberación anual de 25,701 g** de los cuales en su gran mayoría quedan en los residuos de procesos y al aire como emisiones. Del total estimado los principales grupos aportantes a la liberación, están la Disposición de residuos y la Generación de energía y calor.

El inventario de generación de **PeCB no intencional estimó una liberación anual de 7,665 g**, las cuales van en su totalidad al aire. Del total estimado en los principales grupos aportantes a la liberación están la Producción de productos minerales y la Producción de metales ferrosos y no ferrosos.

182

Dato estimado haciendo sesgo de datos anómalos.

7. Recomendaciones



La producción de COP no intencionales es dinámica, por ello se recomienda **tener el inventario de COP no intencionales actualizado cada cuatro años de acuerdo** con lo estipulado en el Convenio de Estocolmo, con el fin de identificar aquellas clases con alta generación y así poder tomar medidas que busquen la reducción de estos contaminantes.

Para una próxima actualización de los inventarios de COP no intencionales se recomienda el uso de bases de datos nacionales, como la EAM del DANE, RUA, RETC del IDEAM entre otras, las cuales pueden ser insu- mo fundamental para establecer los datos de clases. Igualmente, se recomienda las consultas directas con gremios, asociaciones y productores, los cuales se han visto fortalecidos en los últimos años.

En cuanto a los factores de emisión se recomienda hacer estimaciones nacionales, principalmente en los sectores con mayores tasas de generación. Buscando así que las cantidades calculadas representen mejor el contexto nacional posibilitando su uso en futuras actualizaciones del inventario. En caso de que no se pueda hacer y sea necesario el uso de los factores de emisión que trae el Toolkit por defecto, se recomienda usar la información en los permisos y/o licencias ambientales, los cuales se encuentran en las Corporaciones Autónomas Ambientales, sin dejar a un lado las consultas directas con las empresas o gremios.

Con el fin de reducir al máximo las liberaciones de PCDD/PCDF en los principales grupos generadores, se recomienda:

- Aumentar el tratamiento de residuos hospitalarios con sistemas que eviten la incineración como **sistemas térmicos sin combustión** (ej., autoclaves de calor húmedo), químicos, radiación entre otros. Para más información, consultar los textos de MTD/MPA recomendados por el Convenio de Estocolmo (ver pág. 23).
- Disminuir al máximo el uso de plaguicidas o fertilizantes clorados, evitando así la presencia del átomo de cloro, principal ingrediente en la generación de COP no intencionales, así mismo, **impulsar sistemas de recolección de cosecha que evitan las quemas y manejo de residuos de biomasa que no impliquen quema**. Para más información, consultar los textos de mejores prácticas agrícolas, dependiendo de los cultivos.
- Se requiere hacer un trabajo coordinado entre las autoridades ambientales y agrícolas con el fin de establecer **programas con los sectores agrícolas a fin de eliminar la práctica de las quemas agrícolas**,

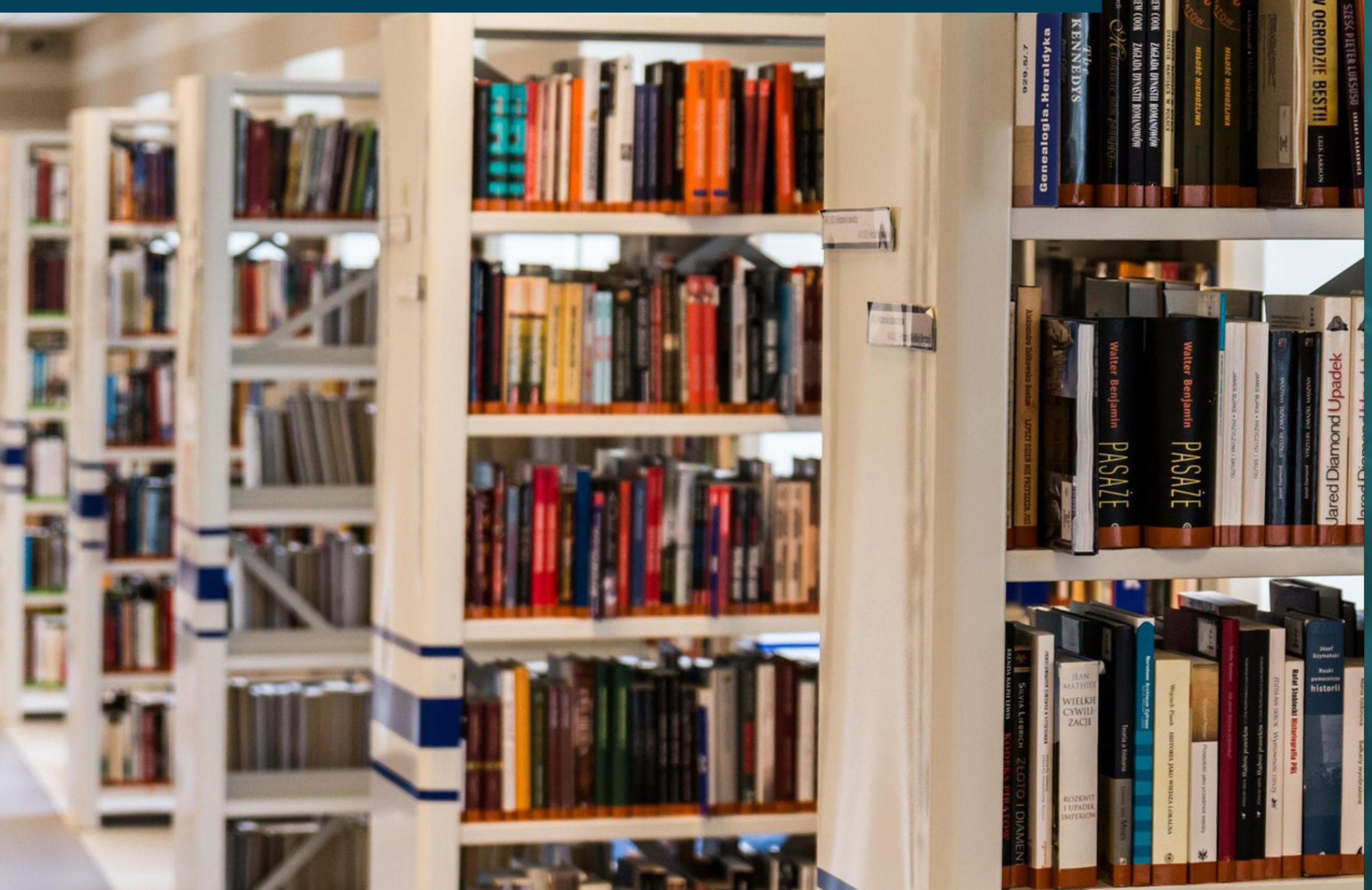
pues son una de las principales fuentes de generación de COP no intencionales.

- En la producción secundaria de metales se deben implementar MTD/MPA que **garanticen la limpieza de la chatarra** que se utiliza como materia prima para la producción de acero, cobre, aluminio, entre otros (ver pág. 23).
- Implementar sistemas capaces de capturar emisiones difusas en zonas de fundición o incineración, así como tener instalados sistemas de control de emisiones que efectivamente eviten, **destruyan o absorban PCDD/PCDF** (ej., Quenchin tower, sistemas SCR DeDiox), en las empresas que realizan actividades que corresponden a clases que poseen un alto perfil de producción de estas sustancias, según el presente inventario. Para más información, consultar los textos de MTD/MPA recomendados por el Convenio de Estocolmo (ver pág. 23).
- Respecto al tratamiento de residuos especialmente hospitalarios, se recomienda fomentar sistemas de tratamiento que no impliquen incineración o establecer sistemas de **separación de residuos que garanticen el retiro de elementos con cloro**.
- Teniendo en cuenta los compromisos internacionales adquiridos por Colombia, es importante que los sectores productivos **realicen el monitoreo periódico de COP no intencionales**.

Debido a que la metodología de estimación de los inventarios de PCB no intencional, HCB y PeCB es nueva, la gran mayoría de los países no los han implementado, por lo cual se recomienda en un futuro hacer comparaciones similares a la realizada para PCDD/PCDF con el fin de establecer niveles altos o bajos. Adicionalmente, se sugiere validar cifras de estos inventarios realizando mediciones en las matrices enunciadas anteriormente.

Finalmente, se requiere mayor capacitación y entrenamiento para las autoridades ambientales sobre la generación de estas sustancias y las medidas que se deben tomar para disminuir su generación, así como para el análisis de información que se obtenga de las mediciones de estos contaminantes. Por ello, dentro de las principales dificultades que se tiene en el país para controlar las liberaciones de COP no intencionales, se identificó la falta de laboratorios que realicen este tipo de pruebas en el país, por lo que se requiere fortalecer por lo menos un laboratorio nacional que preste este tipo de servicios.

8. Referencias



- Amanda L. Northcross, S.K. (2012). Dioxin inhalation doses from wood combustion in indoor cookfires. . Atmospheric Environment 49, 415-418.
- Ambar Tech. (2012). Evaluación de los hornos crematorios en Colombia.
- ANDI. (2014). GUÍA PRÁCTICA DE GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE . Obtenido de [https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia_galvanizado_24nov14+\(1\).pdf](https://www.idu.gov.co/web/content/7423/guia_galvanizado_24nov14+(1).pdf)
- ANDI. (2015). Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón. Obtenido de La industria de papel en Colombia: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/20-industria-de-pulpa-papel-y-carton>
- ANDI. (2017). COMITÉ COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE ACERO. Obtenido de Acero en cifras: <http://www.andi.com.co/Home/Camara/6-comite-colombiano-de-productores-de-acero>
- ANDI. (2017). Comité del Sector Cerámico. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/LaIndustriaCeramicaDeColombia.pdf>
- ANH. (2017). En 20 campos se produce el 66 % del petróleo del país. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/los-20-campos-petroleros-de-colombia-con-mayor-produccion-84750>
- ANI. (2012). NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS. Obtenido de Capítulo 4 - PAVIMENTOS ASFALTICOS: ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGLP%20001-2016-M-1/Especificaciones%20Generales%20de%20Construcci%C3%B3n%20de%20carreteras/CAP%C3%8DTULO%204_1.pdf
- ANLA. (2018). Por la cual se emite Dictamen Técnico Ambiental para el producto formulado WEEDAR 860 SL, a partir del ingrediente activo grado técnico 2,4-D. Obtenido de http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_1699_03102018_ct_5764.pdf
- ANM. (2017). Agencia Nacional de Minería. Obtenido de Calizas: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/ficha_calizas_es.pdf
- ANM. (2017). INFORME TÉCNICO JURÍDICO DE LA PROPUESTA DE CONTRATO DE CONCESION OLD-10541. Obtenido de MINERALES DE ZINC Y SUS CONCENTRADOS, MINERALES DE PLOMO Y SUS CONCENTRADOS, OTROS MINERALES NCP, MINERALES DE NÍQUEL Y SUS CONCENTRADOS, MINERALES DE ORO Y PLATINO, Y SUS CONCENTRADOS, MINERALES DE CROMO Y SUS CONCENTRADOS, MINERALES DE COBRE Y SUS CONCE: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/informe_tecnico_juridico_old-10541.pdf
- ANM. (2018). Agencia Nacional de Minería. Obtenido de Carbón: http://mineriaencolombia.anm.gov.co/images/pdfs_minerales/FICHA-carbon_espanol.pdf
- ASOCAÑA. (2010). Cálculo del potencial de emisiones de dioxinas y furanos en la quema de caña de azúcar del valle geográfico del Valle del Cauca.
- ASOCAÑA. (2018). Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña.
- ASOCAÑA. (2019). El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad. Obtenido de <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- ASOCRETO. (2020). Oficio de validación de cifras durante el proceso de Actualización del Inventario Nacional de fuentes y estimación de liberaciones de COP no intencionales.
- Berdowski J.J.M., B. J. (1997). The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants. TNO, Apeldoorn, Netherlands: Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht 104 02 672/03.
- Bernal, B. F., & Saavedra, K. H. (2008). Universidad de la Salle. Obtenido de DIAGNÓSTICO DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO EN COLOMBIA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA DE EMISIÓN DE FUENTES FIJAS : <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/13962/T41.08%20F391d.pdf;jsessionid=754636D6FBFCD4E86169EE44A0BEBDBB?sequence=1>
- Cadavid, G. (2014). Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso siderúrgico. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- CAEM. (2015). Inventario nacional del sector ladrillero colombiano.
- CAEM. (2016). Validate inventory of the brick sector in Colombia. Obtenido de <https://www.ccacoalition.org/fr/resources/inventory-and-assessment-tool-colombia-black-carbon-and-other-pollutant-emissions-brick>
- CAIA. (2019). Realizar un diagnostico sobre los aspectos de orden tecnológico, de producción y ambientales que se deben considerar en el inventario de Dioxinas y Furanos que adelanta el MADS en sectores agrícolas e industriales. Bogotá: PNUD.
- Camacho, C. S. (2006). ALTERNATIVAS DE UTILIZACIÓN DE BIOGÁS DE RELLENOS SANITARIOS EN COLOMBIA. Bogotá.
- Carbones. (2019). El coque metalúrgico. Obtenido de <http://www.carbones.cl/coque.htm>
- Casanova, J., Muro, J., Eljarrat, E., Caixach, J., & Rivera, J. (1994). PCDF and PCDD levels in different types of environmental samples in Spain.
- CENICAÑA. (2019). Informe de muestreo de cenizas y suelo en cultivos de caña de azúcar.
- Colombia. (2018). Regiones. Obtenido de <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/geografia/regiones/>
- Colombia. (2020). ¿Cómo es la organización político-administrativa de Colombia? Obtenido de <http://www.colombia.co/esta-es-colombia/estructura-del-estado/como-es-la-organizacion-politico-administrativa-de-colombia/>
- Construdata. (2012). Diagnóstico de la industria ladrillera en el país. Obtenido de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/L/ladillosdiagnostico/ladillosdiagnostico.asp>

- Cortes, V. (2009). Carbón . Obtenido de <http://www.factoria3.com/documentos/CARBON.pdf>
- DANE. (2013). Censo Nacional Agropecuario.
- DANE. (2017). IMPORTACIONES COLOMBIANAS POR PARTIDAS ARANCELARIAS Y PAÍSES DE ORIGEN. Obtenido de DIRECCIÓN DE DIFUSIÓN, MERCADEO Y CULTURA ESTADÍSTICA.
- DANE. (2018). Boletín técnico EAM. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2018.pdf
- DANE. (2018). Estadísticas vitales nacimientos y defunciones. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/nacimientos-y-defunciones>
- DANE. (2018). Estimaciones y proyecciones de población. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- DANE. (2019). Boletín Técnico. Obtenido de Encuesta Nacional Agropecuaria-ENA.
- DANE. (2020). Encuesta anual manufacturera. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/industria/encuesta-anual-manufacturera-enam>
- DIAN. (2015). Dirección Nacional de Impuestos y Aduanas Nacionales. Obtenido de IMPORTACIONES COLOMBIANAS POR PARTIDAS ARANCELARIAS Y PAISES DE ORIGEN: <https://www.dian.gov.co/>
- DIAN. (2018). IMPORTACIONES COLOMBIANAS POR PARTIDAS ARANCELARIAS Y PAÍSES DE ORIGEN. Obtenido de DIRECCIÓN DE DIFUSIÓN, MERCADEO Y CULTURA ESTADÍSTICA.
- Dinero. (15 de 03 de 2018). La mala racha de la industria cementer en Colombia. Obtenido de <https://www.dinero.com/edicion-impres/negocios/articulo/estado-de-las-cementer-en-colombia/256335>
- DNBC. (2017). Dirección Nacional de Bomberos Colombia. Obtenido de Respuesta solicitud base de datos 2015.
- DNP. (2004). Análisis Cadenas Productivas. Obtenido de Vidrio: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/Paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>
- DNP. (04 de 10 de 2004). Análisis Cadenas Productivas. Obtenido de Cerámica: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/Paginas/analisis-cadenas-productivas.aspx>
- DNP. (2016). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos: Diagnóstico preliminar y pasos a seguir: http://www.minambiente.gov.co/images/DNP_Sirly_Castro_-_Directora_de_Desarrollo_Urbano.pdf
- DNP. (2019). Documento CONPES 3963. Obtenido de POLÍTICA PARA LA MODERNIZACIÓN DEL SECTOR TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGA: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3963.pdf>
- Donato, V., & Haedo, C. (2019). Atlas de la geografía industrial de Colombia: especialización sectorial, concentración y competitividad territorial de la industria manufacturera colombiana/ Vicente Nicolás Donato; Christian Haedo. - 1a ed. - Ci.
- EAAB. (2010). Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. Obtenido de PLAN DE ACCIÓN INMEDIATO Y ALTERNATIVAS FUTURAS PARA EL MANEJO DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ .
- EAAB. (11 de 2010). PLAN DE ACCIÓN INMEDIATO Y ALTERNATIVAS FUTURAS PARA EL MANEJO DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ. PRODUCTO 2.
- EEA. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.
- EPA. (s.f.). Método 1613. Dioxinas y furanos tetra- a octa-clorinados por dilución isotópica y HRGC/HRMS.
- FAO. (2015). EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES. Obtenido de INFORME NACIONAL COLOMBIA: <http://www.fao.org/home/en/>
- FEDEARROZ. (2020). Censo Nacional Arrocerero. Obtenido de DANE.
- FEDESARROLLO. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia.
- FENALCO. (2012). Medellín es la ciudad donde más se hacen cremaciones. Obtenido de <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/economica/medellin-es-la-ciudad-donde-mas-se-hacen-cremaciones-68007>
- Fiedler, H. (1995). Dioxin-Reassessment: Implications for Germany. Organohalogen. Eco Informa Press., 209-228.
- García, & Suárez. (2016). Síntesis y caracterización de la Ftalocianina de Aluminio Sulfonada mediante Ácido Clorosulfónico. Bogotá D.C: Universidad Distrital Fransisco José de Caldas.
- García, A. (2010). Colombia País Maravilloso. Obtenido de Manual Así es Colombia: <https://www.todacolombia.com/geografia-colombia/ubicacion-geografica.html>
- Gil, Caro, Lesmes, & Rincon. (2016). Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción de Ladrillo en la Región de Boyacá, Colombia. Revista L' esprit Ingéniux.
- Grupo PIGA. (2015). Programa Integral de Gestión Ambiental Sactorial-PGAS Subsector Textil. Universidad Nacional de Colombia.
- Gullett BK, T. A. (2003). PCDD/F, PCB, HxCBz, PAH, and PM emission factors for fireplace and woodstove combustion in the San Francisco bay region. Environ Sci Technol 37, 1758–1765.
- Herrera, G. (06 de 04 de 2013). DInero. Obtenido de El aluminio sí es negocio, pero: <https://www.dinero.com/empresas/articulo/el-aluminio-si-negocio-pero/177048>
- Hiraoka, M., Tanaka, M., Matsuzawa, Y., Miyaji, K., Kawanishi, T., Matumoto, S., . . . Ihara, H. (1993). Concentrations of M D / W in Leachates froi disixisal sites and their removal characteristics during Leachate Treatient. Organohalogen Compounds.

- ICA. (2004). RESTRICCIONES, PROHIBICIONES Y SUSPENSIÓN DE REGISTROS DE PLAGUICIDAS DE USO AGRÍCOLA EN COLOMBIA. Obtenido de <https://www.ica.gov.co/getdoc/b2e5ff99-bd80-45e8-aa7a-e55f0b5b42dc/plaguicidas-prohibidos.aspx>
- IDEAM. (2012). INVENTARIO DE COMPUESTOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/inventario-pcb>
- IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM. (2018). Sabana inventario nacional de PCB. Datos registrados periodo de corte 01/01/2015 a 31/12/2015.
- IDEAM. (2018a). Estunio Nacional del Agua.
- IDEAM. (2018a). Variación de la superficie de cobertura vegetal afectada por incendios. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/bosques-y-recurso-forestal>
- IDEAM. (2020). Indicadores y Variables Ambientales Nacionales. Obtenido de Uso de los recursos y residuos peligrosos: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/uso-de-los-recursos-y-residuos-peligrosos>
- Indexmoda. (2008). Industria textil. Obtenido de <https://encolombia.com/economia/info-economica/algodon/industriatextil/>
- INFOACERO. (2017). PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ACERO EN COLOMBIA 2005-2016. Obtenido de <https://infoacero.camacero.org/produccion-y-consumo-de-acero-en-colombia-2005-2016/>
- IPCC. (1996). LIBRO DE TRABAJO PARA EL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. Obtenido de Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdffiles/spnch4-2.pdf>
- Jin, G., Lee, J., Chang, Y., & Shin, S. (2007). EMISSION CHARACTERISTICS OF PCDD/FS IN WASTES FROM INDUSTRIAL SOURCES IN SOUTH KOREA. Organohalogen Compounds.
- K2. (2016). Informe técnico de prodcción de níquel planta Cerro Matoso S.A.
- Ki-In, C., & Dong-Hoon, L. (2005). PCDD/DF in leachates from Korean MSW landfills. CHEMOSPHERE.
- La República. (2017). Datos de chatarrización Ministerio de transporte. Obtenido de Edición 42 del Congreso Internacional de Transporte de Carga y su Logística: <https://www.larepublica.co/economia/se-han-chatarrizado-26852-vehiculos-de-carga-en-12-anos-segun-colfecar-2547991>
- Legis. (2001). RESOLUCIÓN 68 DE 2001 . Obtenido de “Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 de 1995, adicionada por la Resolución 125 de 1996 y modificada por la Resolución 623 de 1998, que regulalos criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos: http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol_75992041b545f034e0430a010151f034
- legiscomex. (2017). Vidrio en Colombia/Inteligencia de mercados. Obtenido de <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/informe-sectorial-sector-vidrio-colombia-2017-completo-rci318.pdf>
- Litten, S., McReynolds, D., Swart, J., Estabrooks, F., Hoover, D., & Hamilton, C. (2003). CHLORINATED DIOXIN/FURANS IN NEW YORK HARBOR WATER, WASTEWATER, BIOTA, AND SEDIMENTS. Organohalogen Compounds.
- LUA. (1997). Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. Essen, Germany: Materialien 43. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen.
- Martínez-Buitrago, S. Y., & Romero-Coca, J. A. (Junio de 2018). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos productivos: Un análisis de su competitividad. Invesitgación y Reflexión. doi:<https://doi.org/10.18359/rfce.2357>
- MAVDT. (5 de Junio de 2008). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de Resolución 909: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/f0-Resoluci%C3%B3n%20909%20de%202008%20-%20Normas%20y%20estandares%20de%20emisi%C3%B3n%20Fuentes%20fijas.pdf>
- Minagricultura. (2020). Agronet-EVA. Obtenido de Información del 3er Censo Nacional Agropecuario: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Minagricultura. (2020). Agronet-EVA. Obtenido de Información del 3er Censo Nacional Agropecuario: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Minagricultura. (2020). Respuesta comunicado -Socialización “Actualización inventario nacional de COP no intencionales”. Cesar Augusto Corredor Velandia.
- Minambiente. (1995). Resolución 989 de 1995. Obtenido de Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. : http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/fuentes_moviles/Resolucion_898_de_1995_-_Calidad_Combustibles.pdf
- Minambiente. (2002). DECRETO NÚMERO 1713.
- Minambiente. (27 de Julio de 2004). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de Resolución 0886 de 2004: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/65-Resoluci%C3%B3n%20886%20de%202004%20-%20Modifica%20Resoluci%C3%B3n%20058%20de%202002.pdf>
- Minambiente. (2007). Inventario nacional de fuentes y liberación de dioxinas y furanos en Colombia. Línea base 2002.
- Minambiente. (2015). Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña.
- Minambiente. (2017). Política nacional de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Minambiente.

- Minambiente. (2017a). Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes . Obtenido de www.minambiente.gov.co
- Minambiente. (Octubre de 2017b). Metodos de monitoreo recomendados para la medición de COP no intencionales y análisis teórico-práctico para calcular reducción de emisiones: sector de la caña de azúcar.
- Minambiente. (01 de 2018). DAASU. Obtenido de Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo: <https://bibliovirtual.minambiente.gov.co/documentos/MEMORIA/CD-MADS-0379/CD-MADS-0379.pdf>
- Ministry for the environment New Zealand. (2011). New Zealand Inventory of Dioxin Emissions to Air, Land and Water, and Reservoir Sources.
- MINMINAS. (2018). ¿Qué nos ha dejado el petróleo luego de 100 años de desarrollo? Obtenido de <https://www.dinero.com/especiales-comerciales/especiales/articulo/importancia-del-petroleo-en-la-economia-colombiana/258265>
- Minminas. (2020). Análisis minero. Obtenido de Análisis de la Producción de Cemento, Clinker y Caliza Cementera: <https://www.minenergia.gov.co/analisis-minero>
- Mintransporte. (2012). Transporte Automotor - Revisión Vehicular Mecánica y Gases. Obtenido de Decreto 019 de 2012: <https://www.mintransporte.gov.co/preguntas-frecuentes/76/transporte-automotor--revison-vehicular-mecanica-y-gases/>
- Minvivienda. (10 de 07 de 2014). Ministerio de vivienda ciudad y territorio. Obtenido de Decreto 1287 de 2014: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>
- Minvivienda. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Resolución 330.
- Natura. (2018). Proyecto tipo para la sustitución de 500 fogones tradicionales por estufas eficientes para vivienda rural.
- Nigel W. Tame, B. Z. (2007). Formation of dioxins and furans during combustion of treated wood. *Progress in Energy and Combustion Science* 33 , 384–408.
- Northcross, S. H. (2012). Dioxin inhalation doses from wood combustion in indoor cookfires. *Atmospheric Environment* 49, 415-418.
- OEC. (2020). Colombia. Obtenido de <https://atlas.media.mit.edu/es/profile/country/col/>
- Oehme M, M. M. (1995). Levels and congener patterns of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in solid residues from wood-fired boilers. Influence of combustion conditions and fuel type. *Chemosphere* 30, 1527-1539.
- Olarte V., C. P., Rivera O., I. D., Padilla T., L. G., Álvarez R., M. R., Ladino Z., M. J., & Cuéllar B., M. (2013). *Boletín Forestal* 2011. Bogotá D.C.: IDEAM.
- OPS. (1991). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia. Obtenido de Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/colombia/colombia4.html>
- Patel, N. T. (1995). General principles of good sampling practice. *The Royal Society of Chemistry*, 33-34.
- PNUMA. (2007). DIRECTRICES SOBRE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y ORIENTACIÓN PROVISIONAL SOBRE MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES. Obtenido de Sección V.A Incineradoras de desechos: <http://www.pops.int/Implementation/BATandBEP/BATBEPGuidelinesArticle5/tabid/187/Default.aspx>
- PNUMA. (2007). DIRECTRICES SOBRE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES Y ORIENTACIÓN PROVISIONAL SOBRE MEJORES PRÁCTICAS AMBIENTALES , conforme al Artículo 5 y Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Ginebra: Secretaría del Convenio de Estocolmo.
- PNUMA. (2019). Orientación/directrices por categorías de fuentes: Categorías de fuentes de la Parte II del Anexo C. Obtenido de Categoría de fuentes (d) de la Parte II: Procesos térmicos en la industria metalúrgica: <http://chm.pops.int/Implementation/BATBEP/BATBEPGuidelinesArticle5/tabid/187/Default.aspx>
- PNUMA. (2019). Section VI Guidance/guidelines by source category: Source categories in Part III of Annex C. Obtenido de Part III Source category (b): Thermal processes in the metallurgical industry not mentioned in Annex C, Part II: <http://chm.pops.int/Implementation/BATBEP/BATBEPGuidelinesArticle5/tabid/187/Default.aspx>
- Presidencia de la República. (2015). Decreto 1075 de 2015. Obtenido de Título 6 RESIDUOS PELIGROSOS CAPÍTULO 1 SECCIÓN 1: <http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=63521>
- PROFOR. (2017). Situación actual y potencial de fomento de plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia. Obtenido de https://www.profor.info/sites/profor.info/files/Informe%20Final%20-%20Plantaciones%20Comerciales%20en%20Colombia_1.pdf
- PTP. (2012). Informe de Sostenibilidad. Bogotá: Sector Sistema Moda. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Quintero C., A. J. (2016). Cuantificación del poder calorífico de los bosques de Cundinamarca para el uso de energías alternativas. Monografía Universidad Distrital.
- Recursos Minerales. (2008). Los Recursos Minerales de Colombia. Obtenido de Metales industriales: <http://recursosmineralesdecolombia.weebly.com/metales-industriales.html>
- RED VERDE. (2017). Corporación para el manejo de electrodomésticos. Obtenido de Informe de Gestión: <http://www.redverde.co/images/documentos/esal/INFORME-DE-GESTION-2017.pdf>

- rivm. (2009). Inventory emission factors for pentachlorobenzene . Obtenido de <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/601773002.pdf>
- Romero, J. C., & Martinez, S. (2016). REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE LAS CURTIEMBRES EN SUS PROCESOS Y PRODUCTOS: UN ANÁLISIS DE SU COMPETITIVIDAD. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v26n1/0121-6805-rfce-26-01-00113.pdf>
- Sang-Yee, H., Yong-Jin, K., & Dong-Hoon, L. (2008). Leaching characteristics of PCDDs/DFs and dioxin-like PCBs from landfills containing municipal solid waste and incineration residues. CHEMOSPHERE.
- SDA. (2010). Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886
- Seljeskog M., G. F. (2017). Recommended revisions of Norwegian emission factors for wood stoves. Energy Procedia 105, 1022-1028.
- SGC. (2019). RECURSOS MINERALES DE COLOMBIA.
- SGS. (2016). Monitoreo Isocinético de dioxinas y furanos. Obtenido de Empresas del sector cerámica.
- Stockholm Convention. (2018). The POPs. Obtenido de All POPs listed in the Stockholm Convention: <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>
- Superservicios. (2013). Informe Técnico sobre Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia. Bogotá: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
- Superservicios. (2019). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos.
- Superservicios. (12 de 2019). Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Obtenido de Disposición Final de Residuos Sólidos - Informe Nacional 2019: <http://www.superservicios.gov.co/Acueducto-Alcantarillado-Aseo/Publicaciones>
- Superservicios. (12 de 2019). Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Obtenido de Disposición Final de Residuos Sólidos Informe Nacional 2018: <http://www.superservicios.gov.co/Acueducto-Alcantarillado-Aseo/Publicaciones>
- Torres, P., Barba, L., Ojeda, C., Martínez, J., & Castaño, Y. (2014). INFLUENCIA DE LA EDAD DE LIXIVIADOS SOBRE SU COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y SU POTENCIAL DE TOXICIDAD.
- UMPE. (2011). Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- UNAL. (2001). Minerales polimetálicos en Colombia. Obtenido de Análisis del mercado nacional: <http://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/geologia/economica/Polimetálicos-Colombia.pdf>
- UNAL. (2018). Detección de los puntos críticos del proceso de galvanizado por inmersión en caliente: un enfoque hacia la sostenibilidad y el desarrollo sostenible. Obtenido de Jose Daniel Hernández Betancur.
- UNEP . (2013). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention.
- UNEP. (2007). Documento de Directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales. Suiza.
- UNEP. (2009). Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP).
- UNEP. (2013). Kit de herramientas Para la identificación y cuantificación de vertidos de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el Artículo 5 del Convenio de Estocolmo. STOCKHOLM CONVENTION.
- UNEP, Convenio de Estocolmo. (2013). Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de vertidos de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el Artículo 5 del Convenio de Estocolmo.
- UNGRD. (2020). Casos atendidos. Obtenido de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Consolidado-Atencion-de-Emergencias.aspx>
- Uniandes. (2006). Obtenido de PLAN DE ACCIÓN INMEDIATO Y ALTERNATIVAS FUTURAS PARA EL MANEJO DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ .
- United Kingdom Environment Agency. (2001). Integrated Pollution Prevention and Control. IPPC S2.01.
- UPME. (11 de 2009). El níquel en Colombia. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/El_Niquel_en_Colombia_2009.pdf
- UPME. (2012). Estudio de producción de coque y carbón metalúrgico, uso y comercialización. Bogotá.
- UPME. (05 de 12 de 2013). Estudio para caracterizar el mercado nacional e internacional de los minerales estratégicos. Obtenido de Reporte final preparado para UPME: http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Estudio_para_caracterizar_mercado_nacional.pdf
- UPME. (2017). Balance Energético Colombiano – BECO. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx>
- UPME. (2017a). Magnesio Balance 2012 - 2016. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_magnesio.pdf
- UPME. (2017a). Níquel Balance 2012 - 2016. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_niquel.pdf
- UPME. (2017b). Cobre Balance 2012 - 2016. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_cobre.pdf

- UPME. (2018). Boletín estadístico de Minas y Energía.
- US EPA. (1997). Locating and estimating air emissions from sources of dioxins and furans.
- Valter Francescato, E. A. (2008). Wood Fuels Handbook. Italia: Italian Agriforestry Energy Association.
- Vieira, J. (03 de 10 de 2016). Alumina pasará de exportar 12% a 25% de su producción. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/empresas/alumina-pasara-de-exportar-12-a-25-de-su-produccion-2427331>
- Vikelsoe, J. M. (1994). Emission of dioxins from danish wood-stoves. Chemosphere, Vol. 29, 2019-2027.
- W., T. G. (2002). Emissions of Dioxins, PCBs and PAHs from Domestic Heating. Vienna, Austria: Monographs 153. Federal Environmental Agency.
- Wasson SJ, L. W. (2005). of chromium, copper, arsenic, and PCDDs/Fs from open burning of CCA-treated wood. Environ. Sci. Technol. 39, 8865-8876.
- Wevers M, D. F. (2003). PCDD/F and PAH emissions from domestic heating appliances with solid fuel. Organohalogen Compounds, 60-65.
- Worldsteel association. (2018). STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2018.
- Wunderli S, Z. M. (2000). Determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo-furans in solid residues from wood combustion by HRGC/HRMS. Chemosphere 40, 641-649.

Anexo 1

Serie histórica COP no intencionales 2003-2018



2003

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	91.7	0.0	0.0	0.0	13.9	105.6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	32.8	0.0	0.0	0.0	24.5	57.3
3	Generación de energía y calor	16.5	0.0	0.0	0.0	4.5	21.0
4	Producción de productos minerales	5.4	0.0	0.0	0.1	0.0	5.6
5	Transporte	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	141.2	0.0	21.3	0.0	0.0	162.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.5	0.0	17.2	3.4	21.4
8	Misceláneos	0.5	0.0	0.0	0.2	8.1	8.7
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	1.9	0.0	0.2	4.5	6.6
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	298.4	2.5	21.3	17.6	58.8	
Gran total		398.7					

2004

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	101.9	0.0	0.0	0.0	14.4	116.3
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	32.4	0.1	0.0	0.0	23.2	55.6
3	Generación de energía y calor	16.8	0.0	0.0	0.0	4.9	21.6
4	Producción de productos minerales	5.6	0.0	0.0	0.1	0.0	5.8
5	Transporte	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
6	Procesos de quema a cielo abierto	165.3	0.0	23.5	0.0	0.0	188.9
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.5	0.0	19.0	3.4	23.2
8	Misceláneos	0.5	0.0	0.0	0.2	8.2	8.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	1.9	0.0	0.2	4.6	6.7
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	332.5	2.5	23.5	19.5	58.6	
Gran Total		436.6					

2005

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	106.2	0.0	0.0	0.0	15.0	121.2
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	35.5	0.1	0.0	0.0	27.6	63.1
3	Generación de energía y calor	16.1	0.0	0.0	0.0	4.4	20.5
4	Producción de productos minerales	6.6	0.0	0.0	0.1	0.0	6.8
5	Transporte	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
6	Procesos de quema a cielo abierto	179.9	0.0	21.8	0.0	0.0	201.7
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.5	0.0	18.3	3.4	22.5
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.3	11.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.0	0.0	0.3	4.6	6.9
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	347.8	2.5	21.8	18.9	65.3	
Gran total		456.4					

2006

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	98.5	0.0	0.0	0.0	15.4	114.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	54.2	0.1	0.0	0.0	45.4	99.7
3	Generación de energía y calor	7.0	0.0	0.0	0.0	4.2	11.2
4	Producción de productos minerales	7.0	0.0	0.0	0.2	0.1	7.2
5	Transporte	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	139.4	0.0	18.9	0.0	0.0	158.2
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.5	0.0	20.3	3.4	24.5
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.7	11.4
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.0	0.0	0.2	4.7	6.9
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	309.7	2.6	18.9	20.9	83.8	
Gran total		435.8					

2007

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	79.0	0.0	0.0	0.0	18.7	97.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	42.2	0.1	0.0	0.0	36.7	78.9
3	Generación de energía y calor	5.5	0.0	0.0	0.0	2.8	8.3
4	Producción de productos minerales	8.6	0.0	0.0	0.2	0.1	8.8
5	Transporte	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	147.6	0.0	20.4	0.0	0.0	168.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.5	0.0	19.6	3.5	24.0
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.7	11.5
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.0	0.0	0.4	4.8	7.2
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	286.5	2.7	20.4	20.3	77.2	
Gran total		407.1					

2009

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	36.0	0.0	0.0	0.0	11.6	47.5
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	18.0	0.1	0.0	0.0	26.7	44.8
3	Generación de energía y calor	8.6	0.0	0.0	0.0	5.1	13.7
4	Producción de productos minerales	4.5	0.0	0.0	0.2	0.1	4.8
5	Transporte	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	110.9	0.0	20.1	0.0	0.0	131.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.6	0.0	19.7	3.7	24.2
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	9.6	10.4
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.1	0.0	0.3	4.9	7.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	181.6	2.7	20.1	20.4	61.6	
Gran total		286.520					

2008

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	96.0	0.0	0.0	0.0	13.0	109.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	40.6	0.2	0.0	0.0	31.7	72.4
3	Generación de energía y calor	8.9	0.0	0.0	0.0	5.4	14.3
4	Producción de productos minerales	8.7	0.0	0.0	0.2	0.1	8.9
5	Transporte	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	102.1	0.0	20.0	0.0	0.0	122.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.5	0.0	25.7	3.5	30.2
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.1	10.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.0	0.0	0.4	4.8	7.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	259.9	2.8	20.0	26.5	68.6	
Gran Total		377.8					

2010

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	40.2	0.0	0.0	0.0	16.1	56.3
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	14.7	0.1	0.0	0.0	26.6	41.5
3	Generación de energía y calor	7.1	0.0	0.0	0.0	3.0	10.1
4	Producción de productos minerales	4.2	0.0	0.0	0.1	0.0	4.3
5	Transporte	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	87.2	0.0	16.9	0.0	0.0	104.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.3	0.6	0.0	19.8	3.4	24.1
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.2	10.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.1	0.0	0.3	4.9	7.4
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	157.1	2.9	16.9	20.4	64.1	
Gran total		261.4					

2011

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	33.3	0.0	0.0	0.0	18.4	51.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	14.6	0.1	0.0	0.0	27.3	42.1
3	Generación de energía y calor	7.9	0.0	0.0	0.0	4.3	12.2
4	Producción de productos minerales	5.5	0.0	0.0	0.1	0.0	5.6
5	Transporte	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	86.6	0.0	17.2	0.0	0.0	103.8
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.5	0.0	16.9	2.6	20.4
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.4	11.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.2	0.0	0.4	5.0	7.6
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	151.9	2.8	17.2	17.6	68.0	
Gran Total		257.5					

2012

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	30.3	0.0	0.0	0.0	31.4	61.8
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	18.5	0.1	0.0	0.0	30.6	49.2
3	Generación de energía y calor	8.2	0.0	0.0	0.0	4.3	12.5
4	Producción de productos minerales	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6
5	Transporte	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
6	Procesos de quema a cielo abierto	83.0	0.0	18.1	0.0	0.0	101.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.5	0.0	8.0	3.7	12.6
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	10.6	11.4
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.4	0.0	0.4	5.0	7.8
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	149.6	3.0	18.1	8.6	85.7	
Gran Total		265.1					

2013

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	35.1	0.0	0.0	0.0	38.2	73.3
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	20.4	0.1	0.0	0.0	29.4	49.9
3	Generación de energía y calor	8.0	0.0	0.0	0.0	4.6	12.6
4	Producción de productos minerales	5.0	0.0	0.0	0.1	0.0	5.1
5	Transporte	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
6	Procesos de quema a cielo abierto	73.7	0.0	17.7	0.0	0.0	91.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.5	0.0	7.0	5.1	13.0
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	11.1	11.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.3	0.0	0.4	5.1	7.8
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	146.1	3.0	17.7	7.7	93.5	
Gran total		268.0					

2014

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	35.2	0.0	0.0	0.0	30.3	65.5
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	18.7	0.1	0.0	0.0	27.5	46.3
3	Generación de energía y calor	9.4	0.0	0.0	0.0	4.9	14.4
4	Producción de productos minerales	5.3	0.0	0.0	0.2	0.1	5.5
5	Transporte	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	67.0	0.0	15.5	0.0	0.0	82.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.6	0.0	7.3	7.8	16.1
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.3	15.1	16.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.7	0.0	0.3	5.2	8.2
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	140.3	3.4	15.5	8.1	90.9	
Gran total		258.2					

2015

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	42.3	0.0	0.0	0.0	25.8	68.1
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	14.7	0.1	0.0	0.0	24.8	39.6
3	Generación de energía y calor	6.4	0.0	0.0	0.0	5.0	11.4
4	Producción de productos minerales	6.2	0.0	0.0	0.3	0.1	6.6
5	Transporte	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1
6	Procesos de quema a cielo abierto	66.9	0.0	17.4	0.0	0.0	84.4
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.4	0.5	0.0	6.8	3.9	11.7
8	Misceláneos	0.7	0.0	0.0	0.3	15.6	16.6
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.4	0.0	0.4	5.2	8.1
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	141.8	3.1	17.4	7.9	80.4	
Gran Total		250.6					

2016

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	34.8	0.0	0.0	0.0	23.1	57.9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	13.4	0.1	0.0	0.0	22.7	36.2
3	Generación de energía y calor	6.2	0.0	0.0	0.0	4.6	10.8
4	Producción de productos minerales	10.2	0.0	0.0	0.3	0.1	10.6
5	Transporte	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
6	Procesos de quema a cielo abierto	88.9	0.0	22.4	0.0	0.0	111.3
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.7	0.6	0.0	8.5	2.1	12.0
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.3	16.2	17.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.5	0.0	0.5	5.3	8.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				12.3	0.0	12.3
1-10	Total	159.1	3.2	22.4	22.0	74.1	
Gran total		280.8					

2017

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	30.9	0.0	0.0	0.0	22.0	52.9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	11.8	0.2	0.0	0.0	20.7	32.7
3	Generación de energía y calor	5.4	0.0	0.0	0.0	3.9	9.3
4	Producción de productos minerales	5.9	0.0	0.0	0.4	0.1	6.4
5	Transporte	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
6	Procesos de quema a cielo abierto	91.6	0.0	23.6	0.0	0.0	115.2
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.7	0.5	0.0	9.3	4.4	14.9
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.3	16.3	17.3
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	2.7	0.0	0.5	5.3	8.5
10	Identificación de potenciales puntos calientes				7.7	0.0	7.7
1-10	Total	151.2	3.3	23.6	18.1	72.8	
Gran total		269.1					

2018

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	37.1	0.0	0.0	0.0	24.4	61.6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	15.4	0.2	0.0	0.0	19.7	35.3
3	Generación de energía y calor	5.5	0.0	0.0	0.0	4.1	9.6
4	Producción de productos minerales	6.2	0.0	0.0	0.4	0.1	6.7
5	Transporte	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
6	Procesos de quema a cielo abierto	92.8	0.0	23.7	0.0	0.0	116.6
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.7	0.6	0.0	7.6	4.7	13.6
8	Misceláneos	0.6	0.0	0.0	0.2	12.2	13.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	3.3	0.0	0.8	5.4	9.5
10	Identificación de potenciales puntos calientes				5.9	0.0	5.9
1-10	Total	162.7	4.1	23.7	14.9	70.6	
Gran total		276.0					

2003

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.292	0.000	0.000	0.000	0.000	0.292
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.735	0.000	0.000	0.000	0.000	0.735
3	Generación de energía y calor	2.760	0.000	0.000	0.000	0.000	2.760
4	Producción de productos minerales	0.340	0.000	0.000	0.017	0.002	0.358
5	Transporte	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
6	Procesos de quema a cielo abierto	13.049	0.000	0.568	0.000	0.000	13.617
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.006	0.025	0.000	0.210	1.402	1.642
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	17.205	0.025	0.568	0.226	1.404	
Gran total		19.428					

2004

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.301	0.000	0.000	0.000	0.000	0.301
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.971	0.000	0.000	0.000	0.000	0.971
3	Generación de energía y calor	2.943	0.000	0.000	0.000	0.000	2.943
4	Producción de productos minerales	0.350	0.000	0.000	0.019	0.002	0.370
5	Transporte	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
6	Procesos de quema a cielo abierto	15.525	0.000	0.612	0.000	0.000	16.138
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.006	0.028	0.000	0.234	1.403	1.671
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	20.118	0.028	0.612	0.253	1.406	
Gran total		22.416					

2005

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.312	0.000	0.000	0.000	0.000	0.312
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1.017	0.000	0.000	0.000	0.000	1.017
3	Generación de energía y calor	2.702	0.000	0.000	0.000	0.000	2.702
4	Producción de productos minerales	0.419	0.000	0.000	0.023	0.002	0.445
5	Transporte	0.188	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188
6	Procesos de quema a cielo abierto	16.991	0.000	0.531	0.000	0.000	17.522
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.008	0.029	0.000	0.244	1.406	1.687
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	21.638	0.029	0.531	0.266	1.409	
Gran total		23.875					

2006

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.326	0.000	0.000	0.000	0.000	0.326
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1.168	0.000	0.000	0.000	0.000	1.168
3	Generación de energía y calor	2.164	0.000	0.000	0.000	0.000	2.164
4	Producción de productos minerales	0.423	0.000	0.000	0.026	0.003	0.452
5	Transporte	0.185	0.000	0.000	0.000	0.000	0.185
6	Procesos de quema a cielo abierto	12.936	0.000	0.474	0.000	0.000	13.410
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.008	0.031	0.000	0.258	1.412	1.709
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	17.213	0.031	0.474	0.284	1.416	
Gran total		19.418					

2007

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.398	0.000	0.000	0.000	0.000	0.398
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1.105	0.000	0.000	0.000	0.000	1.105
3	Generación de energía y calor	2.062	0.000	0.000	0.000	0.000	2.062
4	Producción de productos minerales	0.464	0.000	0.000	0.026	0.003	0.493
5	Transporte	0.181	0.000	0.000	0.000	0.000	0.181
6	Procesos de quema a cielo abierto	13.804	0.000	0.564	0.000	0.000	14.368
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.008	0.031	0.000	0.256	1.414	1.708
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	18.023	0.031	0.564	0.282	1.418	
Gran total		20.317					

2008

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.268	0.000	0.000	0.000	0.000	0.268
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1.285	0.000	0.000	0.000	0.000	1.285
3	Generación de energía y calor	2.312	0.000	0.000	0.000	0.000	2.312
4	Producción de productos minerales	0.453	0.000	0.000	0.026	0.003	0.481
5	Transporte	0.175	0.000	0.000	0.000	0.000	0.175
6	Procesos de quema a cielo abierto	9.336	0.000	0.547	0.000	0.000	9.882
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.008	0.032	0.000	0.264	1.453	1.757
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	13.838	0.032	0.547	0.290	1.457	
Gran total		16.163					

2009

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.146	0.000	0.000	0.000	0.036	0.181
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.723	0.000	0.000	0.000	0.000	0.723
3	Generación de energía y calor	2.326	0.000	0.000	0.000	0.000	2.326
4	Producción de productos minerales	0.165	0.000	0.000	0.033	0.003	0.201
5	Transporte	0.175	0.000	0.000	0.000	0.000	0.175
6	Procesos de quema a cielo abierto	10.145	0.000	0.556	0.000	0.000	10.701
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.032	0.000	0.264	1.507	1.812
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	13.690	0.032	0.556	0.298	1.546	
Gran total		16.122					

2010

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.200	0.000	0.000	0.000	0.054	0.254
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.680	0.000	0.000	0.000	0.006	0.686
3	Generación de energía y calor	1.989	0.000	0.000	0.000	0.000	1.989
4	Producción de productos minerales	0.141	0.000	0.000	0.009	0.001	0.150
5	Transporte	0.179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.179
6	Procesos de quema a cielo abierto	7.799	0.000	0.519	0.000	0.000	8.319
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.038	0.000	0.314	1.313	1.673
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	11.000	0.038	0.519	0.322	1.374	
Gran total		13.253					

2011

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.271	0.000	0.000	0.000	0.037	0.308
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.687	0.000	0.000	0.000	0.004	0.691
3	Generación de energía y calor	2.124	0.000	0.000	0.000	0.000	2.124
4	Producción de productos minerales	0.204	0.000	0.000	0.017	0.001	0.222
5	Transporte	0.187	0.000	0.000	0.000	0.000	0.187
6	Procesos de quema a cielo abierto	7.717	0.000	0.487	0.000	0.000	8.205
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.032	0.000	0.267	1.017	1.325
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	11.201	0.032	0.487	0.283	1.060	
Gran total		13.064					

2012

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.504	0.000	0.000	0.000	0.044	0.548
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.622	0.000	0.000	0.000	0.004	0.626
3	Generación de energía y calor	2.130	0.000	0.000	0.000	0.000	2.130
4	Producción de productos minerales	0.235	0.000	0.000	0.008	0.001	0.243
5	Transporte	0.194	0.000	0.000	0.000	0.000	0.194
6	Procesos de quema a cielo abierto	7.311	0.000	0.519	0.000	0.000	7.830
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.010	0.038	0.000	0.321	1.563	1.932
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	11.007	0.038	0.519	0.329	1.613	
Gran Total		13.506					

2013

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.614	0.000	0.000	0.000	0.053	0.667
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.575	0.000	0.000	0.000	0.034	0.608
3	Generación de energía y calor	2.170	0.000	0.000	0.000	0.000	2.170
4	Producción de productos minerales	0.218	0.000	0.000	0.013	0.001	0.233
5	Transporte	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
6	Procesos de quema a cielo abierto	6.414	0.000	0.519	0.000	0.000	6.933
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.033	0.000	0.277	2.223	2.543
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	10.032	0.033	0.519	0.291	2.312	
Gran total		13.187					

2014

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.459	0.000	0.000	0.000	0.059	0.517
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.517	0.000	0.000	0.000	0.033	0.550
3	Generación de energía y calor	2.126	0.000	0.000	0.000	0.000	2.126
4	Producción de productos minerales	0.290	0.000	0.000	0.031	0.003	0.324
5	Transporte	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041
6	Procesos de quema a cielo abierto	5.732	0.000	0.460	0.000	0.000	6.193
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.035	0.000	0.288	3.559	3.891
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	9.176	0.035	0.460	0.320	3.654	
Gran total		13.646					

2015

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.343	0.000	0.000	0.000	0.077	0.420
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.523	0.000	0.000	0.000	0.038	0.561
3	Generación de energía y calor	2.089	0.000	0.000	0.000	0.000	2.089
4	Producción de productos minerales	0.343	0.000	0.000	0.049	0.004	0.396
5	Transporte	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
6	Procesos de quema a cielo abierto	5.745	0.000	0.524	0.000	0.000	6.269
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.010	0.035	0.000	0.294	1.612	1.951
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	9.102	0.035	0.524	0.343	1.733	
Gran total		11.737					

2016

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.335	0.000	0.000	0.000	0.052	0.387
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.450	0.000	0.000	0.000	0.034	0.484
3	Generación de energía y calor	1.904	0.000	0.000	0.000	0.000	1.904
4	Producción de productos minerales	0.317	0.000	0.000	0.050	0.004	0.372
5	Transporte	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048
6	Procesos de quema a cielo abierto	7.893	0.000	0.666	0.000	0.000	8.559
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.035	0.000	0.294	0.671	1.009
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	10.958	0.035	0.666	0.344	0.762	
Gran total		12.765					

2017

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.313	0.000	0.000	0.000	0.054	0.367
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.417	0.000	0.000	0.000	0.035	0.452
3	Generación de energía y calor	1.738	0.000	0.000	0.000	0.000	1.738
4	Producción de productos minerales	0.322	0.000	0.000	0.059	0.005	0.385
5	Transporte	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046
6	Procesos de quema a cielo abierto	8.190	0.000	0.683	0.000	0.000	8.873
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.009	0.037	0.000	0.309	1.920	2.276
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición/relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	11.036	0.037	0.683	0.368	2.016	
Gran total		14.141					

2018

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g EQT/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.336	0.000	0.000	0.000	0.066	0.403
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.871	0.000	0.000	0.000	0.033	0.904
3	Generación de energía y calor	1.812	0.000	0.000	0.000	0.000	1.812
4	Producción de productos minerales	0.334	0.000	0.000	0.064	0.005	0.404
5	Transporte	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.048
6	Procesos de quema a cielo abierto	8.274	0.000	0.711	0.000	0.000	8.984
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.010	0.043	0.000	0.362	1.942	2.357
8	Misceláneos	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
9	Disposición / relleno sanitario	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.000	0.000	0.000
1-10	Total	11.686	0.043	0.711	0.426	2.048	
Gran total		14.914					

2003

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	249.9	0.0	0.0	0.0	0.0	249.9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
3	Generación de energía y calor	886.1	0.0	0.0	0.0	0.0	886.1
4	Producción de productos minerales	3524.4	0.0	0.0	165.3	1.7	3691.3
5	Transporte	393.2	0.0	0.0	0.0	0.0	393.2
6	Procesos de quema a cielo abierto	2176.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2176.9
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.2	8.4	0.0	0.0	0.0	9.6
8	Misceláneos	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	12143.0	12143.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7239.7	8.4	0.0	165.3	12144.7	
Gran total		19558.0					

2004

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	260.1	0.0	0.0	0.0	0.0	260.1
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
3	Generación de energía y calor	944.7	0.0	0.0	0.0	0.0	944.7
4	Producción de productos minerales	3636.1	0.0	0.0	187.8	1.9	3825.8
5	Transporte	447.3	0.0	0.0	0.0	0.0	447.3
6	Procesos de quema a cielo abierto	2253.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2253.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.2	9.3	0.0	0.0	0.0	10.6
8	Misceláneos	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	12277.3	12277.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7551.2	9.3	0.0	187.8	12279.2	
Gran total		20027.6					

2005

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	270.7	0.0	0.0	0.0	0.0	270.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
3	Generación de energía y calor	922.7	0.0	0.0	0.0	0.0	922.7
4	Producción de productos minerales	4366.2	0.0	0.0	228.6	2.3	4597.1
5	Transporte	458.7	0.0	0.0	0.0	0.0	458.7
6	Procesos de quema a cielo abierto	2033.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2033.2
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.6	9.7	0.0	0.0	0.0	11.3
8	Misceláneos	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	12514.0	12514.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8061.4	9.7	0.0	228.6	12516.3	
Gran total		20816.0					

2006

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	281.7	0.0	0.0	0.0	0.0	281.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
3	Generación de energía y calor	763.5	0.0	0.0	0.0	0.0	763.5
4	Producción de productos minerales	4426.5	0.0	0.0	258.9	2.6	4688.0
5	Transporte	473.8	0.0	0.0	0.0	0.0	473.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	1911.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1911.6
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.6	10.3	0.0	0.0	0.0	11.9
8	Misceláneos	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	12611.2	12611.2
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7867.1	10.3	0.0	258.9	12613.8	
Gran total		20750.2					

2007

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	170.8	0.0	0.0	0.0	0.0	170.8
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
3	Generación de energía y calor	563.3	0.0	0.0	0.0	0.0	563.3
4	Producción de productos minerales	4833.4	0.0	0.0	263.7	2.6	5099.7
5	Transporte	497.9	0.0	0.0	0.0	0.0	497.9
6	Procesos de quema a cielo abierto	3702.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3702.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.5	10.2	0.0	0.0	0.0	11.8
8	Misceláneos	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	12909.8	12909.8
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9777.4	10.2	0.0	263.7	12912.5	
Gran total		22963.8					

2008

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	233.8	0.0	0.0	0.0	0.0	233.8
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
3	Generación de energía y calor	855.0	0.0	0.0	0.0	0.0	855.0
4	Producción de productos minerales	4724.4	0.0	0.0	257.8	2.6	4984.8
5	Transporte	516.8	0.0	0.0	0.0	0.0	516.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	1949.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1949.7
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.5	10.6	0.0	0.0	0.0	12.1
8	Misceláneos	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13089.9	13089.9
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8289.6	10.6	0.0	257.8	13092.5	
Gran total		21650.5					

2009

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	70.6	0.0	0.0	0.0	5.2	75.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1667.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1667.8
3	Generación de energía y calor	877.7	0.0	0.0	0.0	0.0	877.7
4	Producción de productos minerales	2002.5	0.0	0.0	416.9	4.2	2423.6
5	Transporte	537.8	0.0	0.0	0.0	0.0	537.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	2307.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2307.4
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	10.6	0.0	0.0	0.0	12.3
8	Misceláneos	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13174.3	13174.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7473.7	10.6	0.0	416.9	13183.6	
Gran total		21084.7					

2010

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	104.6	0.0	0.0	0.0	7.8	112.4
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1882.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1882.9
3	Generación de energía y calor	536.4	0.0	0.0	0.0	0.0	536.4
4	Producción de productos minerales	1502.4	0.0	0.0	107.0	1.1	1610.5
5	Transporte	552.6	0.0	0.0	0.0	0.0	552.6
6	Procesos de quema a cielo abierto	3481.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3481.4
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	12.5	0.0	0.0	0.0	14.3
8	Misceláneos	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13330.3	13330.3
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8069.8	12.5	0.0	107.0	13339.1	
Gran total		21528.5					

2011

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	83.5	0.0	0.0	0.0	5.4	88.9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1984.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1984.3
3	Generación de energía y calor	783.2	0.0	0.0	0.0	0.0	783.2
4	Producción de productos minerales	2214.3	0.0	0.0	209.8	2.1	2426.2
5	Transporte	599.8	0.0	0.0	0.0	0.0	599.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	2478.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2478.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.8	10.7	0.0	0.0	0.0	12.5
8	Misceláneos	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13538.2	13538.2
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8153.4	10.7	0.0	209.8	13545.7	
Gran total		21919.5					

2012

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	114.8	0.0	0.0	0.0	6.4	121.2
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	2024.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2024.2
3	Generación de energía y calor	863.9	0.0	0.0	0.0	0.0	863.9
4	Producción de productos minerales	2432.1	0.0	0.0	99.4	1.0	2532.5
5	Transporte	622.8	0.0	0.0	0.0	0.0	622.8
6	Procesos de quema a cielo abierto	2494.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2494.5
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.8	12.8	0.0	0.0	0.0	14.6
8	Misceláneos	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13690.8	13690.8
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8562.3	12.8	0.0	99.4	13698.2	
Gran total		22372.7					

2013

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	138.9	0.0	0.0	0.0	7.7	146.6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1330.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1330.6
3	Generación de energía y calor	956.3	0.0	0.0	0.0	0.0	956.3
4	Producción de productos minerales	2325.0	0.0	0.0	169.6	1.7	2496.2
5	Transporte	636.2	0.0	0.0	0.0	0.0	636.2
6	Procesos de quema a cielo abierto	2486.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2486.8
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	11.1	0.0	0.0	0.0	12.8
8	Misceláneos	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13831.7	13831.7
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7883.8	11.1	0.0	169.6	13841.1	
Gran total		21905.5					

2014

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	134.4	0.0	0.0	0.0	8.5	142.9
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1256.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1256.8
3	Generación de energía y calor	968.3	0.0	0.0	0.0	0.0	968.3
4	Producción de productos minerales	3239.1	0.0	0.0	395.1	4.0	3638.1
5	Transporte	722.2	0.0	0.0	0.0	0.0	722.2
6	Procesos de quema a cielo abierto	2830.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2830.6
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.6	11.5	0.0	0.0	0.0	13.2
8	Misceláneos	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	13928.5	13928.5
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9161.3	11.5	0.0	395.1	13940.9	
Gran total		23508.8					

2015

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	155.0	0.0	0.0	0.0	11.2	166.1
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1266.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1266.0
3	Generación de energía y calor	970.2	0.0	0.0	0.0	0.0	970.2
4	Producción de productos minerales	3956.9	0.0	0.0	620.7	6.2	4583.8
5	Transporte	779.0	0.0	0.0	0.0	0.0	779.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	2529.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2529.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	11.8	0.0	0.0	0.0	13.5
8	Misceláneos	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	14183.6	14183.6
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9667.9	11.8	0.0	620.7	14201.0	
Gran total		24501.3					

2016

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	113.5	0.0	0.0	0.0	7.6	121.1
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1312.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1312.9
3	Generación de energía y calor	799.3	0.0	0.0	0.0	0.0	799.3
4	Producción de productos minerales	3710.0	0.0	0.0	628.3	6.3	4344.6
5	Transporte	786.0	0.0	0.0	0.0	0.0	786.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	3024.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3024.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.6	11.8	0.0	0.0	0.0	13.4
8	Misceláneos	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	14300.8	14300.8
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9756.1	11.8	0.0	628.3	14314.6	
Gran total		24710.8					

2017

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	115.1	0.0	0.0	0.0	7.9	123.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1287.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1287.5
3	Generación de energía y calor	675.2	0.0	0.0	0.0	0.0	675.2
4	Producción de productos minerales	3844.9	0.0	0.0	737.4	7.4	4589.7
5	Transporte	770.2	0.0	0.0	0.0	0.0	770.2
6	Procesos de quema a cielo abierto	2681.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2681.1
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	12.4	0.0	0.0	0.0	14.0
8	Misceláneos	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	14500.4	14500.4
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9384.7	12.4	0.0	737.4	14515.7	
Gran total		24650.1					

2018

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	137.1	0.0	0.0	0.0	9.6	146.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1254.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1254.8
3	Generación de energía y calor	748.8	0.0	0.0	0.0	0.0	748.8
4	Producción de productos minerales	4029.5	0.0	0.0	803.8	8.0	4841.3
5	Transporte	798.5	0.0	0.0	0.0	0.0	798.5
6	Procesos de quema a cielo abierto	3002.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3002.6
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	1.7	14.5	0.0	0.0	0.0	16.2
8	Misceláneos	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	14883.4	14883.4
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	9982.0	14.5	0.0	803.8	14901.1	
Gran total		25701.3					

2003

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de energía y calor	87.1	0.0	0.0	0.0	0.0	87.1
4	Producción de productos minerales	5674.6	0.0	0.0	0.0	0.0	5674.6
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	5761.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		5762					

2004

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de energía y calor	85.3	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3
4	Producción de productos minerales	5784.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5784.2
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	5869.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		5870					

2005

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de energía y calor	83.7	0.0	0.0	0.0	0.0	83.7
4	Producción de productos minerales	6933.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6933.5
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7017.2	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7017					

2006

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de Energía y Calor	82.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.0
4	Producción de productos minerales	6919.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6919.0
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7001.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7001					

2007

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de energía y calor	80.6	0.0	0.0	0.0	0.0	80.6
4	Producción de productos minerales	7632.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7632.1
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7712.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7713					

2008

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Generación de energía y calor	79.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.0
4	Producción de productos minerales	7459.7	0.0	0.0	0.0	0.0	7459.7
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7538.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7539					

2009

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	44.7	0.0	0.0	0.0	0.0	44.7
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1240.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1240.4
3	Generación de energía y calor	77.4	0.0	0.0	0.0	0.0	77.4
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7967.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7967					

2010

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	60.4	0.0	0.0	0.0	0.0	60.4
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1357.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1357.4
3	Generación de energía y calor	75.7	0.0	0.0	0.0	0.0	75.7
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8098.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		8098					

2011

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	90.5	0.0	0.0	0.0	0.0	90.5
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1401.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1401.2
3	Generación de energía y calor	73.9	0.0	0.0	0.0	0.0	73.9
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8170.4	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		8170					

2012

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	174.4	0.0	0.0	0.0	0.0	174.4
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1453.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1453.5
3	Generación de energía y calor	72.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	8304.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		8305					

2013

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	212.6	0.0	0.0	0.0	0.0	212.6
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	1026.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1026.3
3	Generación de energía y calor	69.9	0.0	0.0	0.0	0.0	69.9
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7913.6	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7914					

2014

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	154.2	0.0	0.0	0.0	0.0	154.2
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	916.9	0.0	0.0	0.0	0.0	916.9
3	Generación de energía y calor	67.8	0.0	0.0	0.0	0.0	67.8
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7743.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7744					

Anexo 1

Serie histórica PeCB 2003-2018

2015

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	107.2	0.0	0.0	0.0	0.0	107.2
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	925.2	0.0	0.0	0.0	0.0	925.2
3	Generación de energía y calor	65.6	0.0	0.0	0.0	0.0	65.6
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7702.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7703					

2017

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	101.5	0.0	0.0	0.0	0.0	101.5
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	913.6	0.0	0.0	0.0	0.0	913.6
3	Generación de energía y calor	57.3	0.0	0.0	0.0	0.0	57.3
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7677.3	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7677					

2016

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	110.2	0.0	0.0	0.0	0.0	110.2
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	944.5	0.0	0.0	0.0	0.0	944.5
3	Generación de energía y calor	63.3	0.0	0.0	0.0	0.0	63.3
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7722.8	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7723					

2018

Grupo	Grupos de fuentes	Liberación anual (g/a)					
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo	Total
1	Incineración de desechos	107.3	0.0	0.0	0.0	0.0	107.3
2	Producción de metales ferrosos y no ferrosos	895.9	0.0	0.0	0.0	0.0	895.9
3	Generación de energía y calor	57.7	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7
4	Producción de productos minerales	6604.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6604.8
5	Transporte	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	Procesos de quema a cielo abierto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Producción productos químicos y bienes de consumo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	Misceláneos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	Disposición/relleno sanitario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	Identificación de potenciales puntos calientes				0.0	0.0	0.0
1-10	Total	7665.7	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gran total		7666					

Anexo 2

Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos en lixiviados de rellenos sanitarios del país, octubre 2020

Introducción

Los rellenos sanitarios son lugares técnicamente seleccionados, diseñados y operados para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final (Minambiente, 2002). Actualmente en el país se disponen aproximadamente 10,853,834 toneladas de residuos, de los cuales el 96.01% se disponen en 174 rellenos sanitarios a lo largo del país, convirtiendo este sistema en el más utilizado (Superservicios, 2019).

Las PCDD/PCDF se forman principalmente por procesos térmicos que manejan temperaturas entre 200°C y 900°C en presencia de cloro y, en menor medida, en procesos industriales en condiciones alcalinas con presencia de cloro. Debido a que estas condiciones no son propias del relleno sanitario, diferentes investigaciones han demostrado que estas sustancias pueden llegar a estos sitios como residuos de procesos industriales (ej., cenizas impregnadas).

Si bien no se ha cuantificado formación de PCDD/PCDF en los gases producidos en el relleno sanitario, se sabe que estas sustancias pueden estar presentes en los lixiviados, principalmente por filtraciones de agua lluvia y en ciertos casos se han encontrado en suelos cercanos (UNEP, 2013).

En cuanto a la producción de estos contaminantes, el Toolkit 2013 contempla dos fuentes de liberación al ambiente: al agua o lixiviado, como ya se enunció anteriormente, y al residuo como residuos impregnados con estas sustancias las cuales están almacenados en los rellenos sanitarios. La tabla 1 presenta los factores de emisión de PCDD/PCDF que establece el Convenio de Estocolmo de acuerdo al Toolkit 2013 para la estimación por cada fuente dependiendo del tipo de desechos que llegan al relleno sanitario.

Tabla 1. Factores de emisión al agua y al residuo de rellenos sanitarios

9a	Rellenos sanitarios y vertederos de residuos	Factores de emisión (µg EQT/Tonelada residuos eliminados)				
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
1	Desechos peligrosos	NA	5	NA	NA	NA*
2	Desechos mixtos	NA	0.5	NA	NA	50
3	Desechos domiciliarios	NA	0.05	NA	NA	5

* Los residuos de las categorías 1 a 3 son detallados en las categorías correspondientes.

Los factores de emisión de la tabla 1 están basados en estudios realizados en diferentes países europeos y asiáticos, y se expresa en el tipo de toneladas de residuos dispuestos. Debido a las múltiples fuentes de incertidumbre asociadas a los niveles de PCDD/PCDF en los residuos y liberaciones de los rellenos sanitarios, se asigna a los factores de emisión un nivel de confianza medio a bajo.

Formación de dioxinas y furanos PCDD/PCDF en rellenos sanitarios

Los PCDD/PCDF se forman como resultado de una combustión incompleta, típica de dispositivos sin controles de combustión, o con controles limitados. Adicionalmente, también se pueden crear en ambientes alcalinos con presencia de fenoles clorados, compuestos aromáticos, sustancias cloradas y productos químicos inorgánicos. Como ya se comentó anteriormente, estas condiciones son difíciles de encontrar en un relleno sanitario con excepción de un incendio del mismo, por lo tanto, estas sustancias pueden llegar a estos ambientes por medio de residuos impregnados de las sustancias como cenizas de procesos industriales, incendios, entre otros.

Lixiviados

Es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Generalmente los lixiviados se componen de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos los cuales se pueden clasificar en (Torres, Barba, Ojeda, Martínez & Castaño, 2014):

1. Materia orgánica disuelta¹⁸³
2. Macrocomponentes inorgánicos¹⁸⁴
3. Metales pesados¹⁸⁵
4. Compuestos xenobióticos¹⁸⁶
5. Otros compuestos¹⁸⁷

¹⁸³ DQO, COT, AGV, ácidos húmicos y fúlvicos.

¹⁸⁴ Ca, Mg, Na, K, NH₄⁺, Fe, Mn, Cl, SO₄, HCO₃.

¹⁸⁵ Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn.

¹⁸⁶ Hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas, plastificantes.

¹⁸⁷ Boratos, sulfuros, arsenato, selenato, Ba, Li, Hg, Co.

De acuerdo con el tiempo de operación del relleno sanitario y particularmente de la celda del relleno de la cual provenga el lixiviado, se pueden clasificar en jóvenes aquellos menores a 5 años, intermedios entre 5 a 10 años y maduros mayores a diez años (Torres, Barba, Ojeda, Martínez & Castaño, 2014).

El presente estudio, busca determinar las concentraciones de estas sustancias en lixiviado dicho procedimiento se comenta a continuación, así como los sitios seleccionados.

Rellenos sanitarios objeto del estudio

Para efectos de estimar las liberaciones de estas sustancias en rellenos sanitarios del país, se seleccionaron ocho de los principales rellenos del país, los cuales les prestan sus servicios a 198 municipios del país incluyendo las ciudades principales. La tabla 2 presenta los sistemas.

Tabla 2. Rellenos sanitarios objeto de estudio

No.	Nombre del relleno sanitario	Ubicación	Municipios atendidos
1	Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo	Bojacá	Albán, Anolaima, Bituima, Bojacá, Cachipay, Cajicá, Carmen de Carupa, Chaguaní, Chía, Chocontá, Cogua, Cota, El Colegio, El Peñón, El Rosal, Facatativá, Fómeque, Funza, Fúquene, Fusagasugá, Gachalá, Gachancipá, Gachetá, Gama, Granada, Guachetá, Guasca, Guatavita, Guayabal de Siquima, Junín, La Calera, La Mesa, La Peña, La Vega, Lenguazaque, Machetá, Madrid, Manta Mosquera, Nemocón, Nimaima, Nocaima, Pacho, Paime, Quebradanegra, Quipile, San Antonio del Tequendama, San Cayetano, San Francisco, Sasima, Sesquilé, Sibaté, Silvania, Simijaca, Soacha, Sopó, Subachoque, Suesca, Supatá, Susa, Sutatausa, Tabio, Tausa, Tena, Tenjo, Tibirita, Tocancipá, Topaipí, Ubalá, Útica, Vergara, Vianí, Villa de san Diego de Ubaté, Villagómez, Villapinzón, Zipacón y Zipaquirá
2	Relleno sanitario La Pradera	Don Matías	Barbosa, Bello, Betulia, Buritica, Cisneros, Copacabana, Ebéjico, Entreríos, Envigado, Fredonia, Girardota, Gómez Plata, Guarne, Itaguí, Jericó, La Estrella, Medellín, Pueblorrico, Retiro, Rionegro, Sabaneta, Salgar, San Jerónimo, San Pedro de los Milagros, Santa Bárbara, Santa Fe de Antioquia, Santa Rosa de Osos, Santo Domingo, Sopetrán, Valparaíso, Venecia, Yolombó
3	Relleno sanitario Los Ángeles	Neiva	Inzá, Páez, Agrado, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Garzón, Gigante, Hobo, Íquira, La Argentina, La Plata, Nátaga, Neiva, Paicol, Palermo, Pital, Rivera, Santa María, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia, Villavieja, Yaguará, Villagarzón
4	Relleno sanitario Colombia El Guabal	Yotoco	Buenos Aires, Caloto, Guachené, Padilla, Santander de Quilichao, Suárez, Villa Rica, Andalucía, Cali, Calima, Candelaria, Dagua, El Cerrito, Florida, Jamundí, La Cumbre, Palmira, Restrepo, Yotoco, Yumbo
5	Relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos	Galapa	Baranoa, Campo de la Cruz, Candelaria, Juan de Acosta, Malambo, Manatí, Palmar de Varela, Piojó, Polonuevo, Ponedera, Repelón, Sabanagrande, Santa Lucía, Santo Tomás, Soledad, Suan, Tubará, Usiacurí
6	Relleno sanitario Doña Juana	Bogotá D.C	Bogotá D.C., Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fosca, Gutiérrez, Ubaque, Une
7	Relleno sanitario El Carrasco	Bucaramanga	Betulia, Bucaramanga, California, Charta, El Playón, Floridablanca, Girón, Lebrija, Los Santos, Matanza, Piedecuesta, Rionegro, Santa Bárbara, Suratá, Tona, Zapatoca
8	Relleno sanitario Magic Garden	San Andrés	San Andrés

Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolló el presente estudio, en el cual se realizaron ocho mediciones y análisis de PCDD/PCDF en muestra compuesta de lixiviado. Estos resultados permiten tener un primer acercamiento a las condiciones nacionales.

Materiales y métodos

Muestreo:

La toma de muestras tuvo en cuenta los lineamientos establecidos en los métodos analíticos de la EPA 8290 “dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF) por cromatografía de gas de alta resolución/espectrometría de masa de alta resolución (HRGC/HRMS)” y/o EPA 1613 “dioxinas y furanos tetra- a octa-clorinados por dilución isotópica y HRGC/HRMS”.

Durante la toma de las muestras, se utilizó vidrio nuevo y limpio, así como filtros nuevos para la toma de las muestras y la preparación de estas, en todo caso, evitando contaminación cruzada. Para ello se cumplió con los requerimientos para la limpieza del material de vidrio para la toma de muestras, considerando especialmente el siguiente procedimiento:

- ✓ Enjuagar la cristalería con agua caliente que contenga detergente.
- ✓ Enjuagar con abundante agua de grifo y varias porciones de agua tipo I. Escurrir en seco.
- ✓ Enjuagar con acetona y hexano libre de pesticidas.
- ✓ Después de que la cristalería esté seca, guardarla invertida o cubierta con papel de aluminio en un ambiente limpio.

En cada relleno sanitario, se tomó una muestra simple por duplicado de mínimo un (1) litro de lixiviado en el punto de salida de cada celda de residuo antes de cualquier tratamiento. Las muestras se envasaron en botellas nuevas de vidrio ámbar con tapa de rosca revestidas con PTFE (teflón) debido a que aquellas de polipropileno o polietileno pueden absorber estas sustancias. Cada muestra se rotuló, mantuvo a temperatura de refrigeración (<4°C) y en la oscuridad evitando especialmente la luz solar.

Adicionalmente en cada muestreo se midió cloro residual. En caso de que esta prueba resultara positiva fue necesario añadir 80mg de tiosulfato de sodio por litro de muestra con el fin de que el método de detección fuera efectivo. En cuanto al pH en cada muestra, cuando el pH fue mayor a 9, resultó necesario ajustarlo con ácido sulfúrico entre 7 y 8.

Aunque los métodos recomiendan separar los sólidos suspendidos en las muestras, este procedimiento no se realizó. En cambio, se procesó la totalidad de cada muestra incluyendo los sólidos.

Análisis de GC-MS:

Los análisis se realizaron de acuerdo con el procedimiento IQS-MEDAM-PNT-A-0005, el cual se resume a continuación:

- ✓ Peso de muestra (aproximadamente 1 kg).
- ✓ Agitación, adición de patrones de extracción marcados con ^{13}C y esterilización durante un mínimo de 3 horas.
- ✓ Extracción líquido-líquido con hexano.
- ✓ Secado del estrato de columna de sulfato sódico.
- ✓ Purificación en columna de sílica multicapa y carbón grafitizado.
- ✓ Concentración final (15µl aprox.) y adición de patrones de jeringa.
- ✓ Análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), cuyo procedimiento para la cuantificación de dioxinas y furanos se encuentra en el método EPA 1613B “Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dillution (High Resolution Gas Chromatography/High Resolution Mass Spectrometry”, que consiste en la extracción Soxhlet con tolueno y posterior análisis por GC-MS.

Los resultados obtenidos durante el análisis son recuperación de los patrones de extracción marcados con ^{13}C , concentraciones de cada uno de los congéneres sustituidos en las posiciones 2,3,7,8 expresados en pg/kg de muestra, límite de cuantificación y concentración total de cada uno de los homólogos, concentración total de dioxinas y furanos en la muestra como equivalentes tóxicos internacionales (pg ITEQ/kg muestra). En cuanto al valor de incertidumbre del método, está estimado en 25%.

Los resultados obtenidos se emplearon para calcular la concentración de pgEQT/L, utilizando las densidades de las muestras que fueron determinadas en el laboratorio.

Resultados y discusión

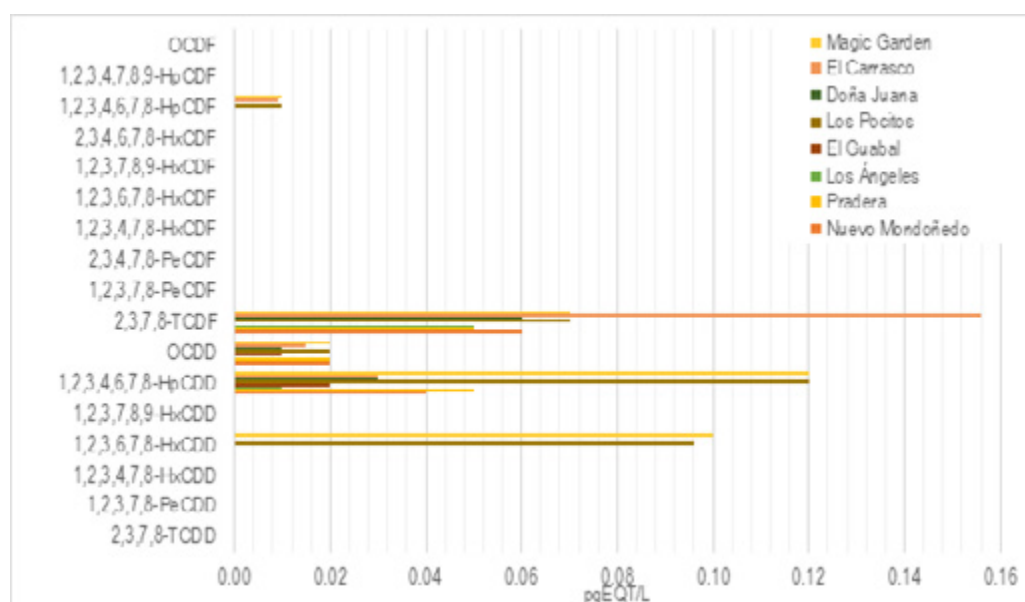
Durante el desarrollo del muestreo se solicitó a los rellenos sanitarios información adicional, la cual ayuda a robustecer el análisis. La tabla 3 presenta la información cualitativa solicitada.

Tabla 3. Información adicional de los rellenos sanitarios

Muestra	Lugar	Tipos de residuos dispuestos
1	Nuevo Mondoñedo	Ordinarios
2	Pradera	Ordinarios y poda de arboles
3	Los Ángeles	Ordinarios
4	El Guabal	Ordinarios
5	Los Pocitos	Ordinarios, industriales, peligrosos, poda de árboles y césped
6	Doña Juana	Ordinarios y poda de arboles
7	El Carrasco	Ordinarios
8	Magic Garden	Ordinarios

El perfil de dioxinas y furanos que se presenta en la gráfica 1, corresponde a un perfil típico de presencia de PCDD/PCDF en lixiviado, con concentraciones importantes de las sustancias OCDD, 1, 2, 3, 4, 6, 7,8-HpCDD y 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-HpCDF (Ki-In & Dong-Hoon, 2005), sin embargo, llaman la atención de las concentraciones importantes de TCDF y 1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD, que no son comunes en los artículos consultados.

Gráfica 1. Liberación de dioxinas y furanos en pg EQT/L para cada sitio muestreado



La información cuantitativa solicitada a los rellenos, así como la compilación de los resultados de laboratorio para cada punto de muestreo, se encuentra en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de la emisión de PCDD/PCDF al agua en lixiviados

Muestra	Lugar	Cantidades dispuestas anualmente	Caudal de lixiviado	Liberaciones en lixiviado		Carga emitida al ambiente	
		Toneladas	(L/s)	pg/L	pg ITEQ/L	µg/año	µg ITEQ/
1	Nuevo Mondoñedo	488,292	3.50	27.85	0.11	3,073.97	12.14
2	Pradera	953,628	1.20	34.96	0.13	1,323.00	4.92
3	Los Ángeles	154,560	1.10	11.53	0.07	399.97	2.43
4	El Guabal	846,504	7.90	11.53	0.02	2,872.52	4.98
5	Los Pocitos	569,184	2.00	54.53	0.32	3,439.32	20.18
6	Doña Juana	2,260,608	22.00	24.33	0.11	16,879.96	76.32
7	El Carrasco	370,488	2.50	31.87	0.21	2,512.63	16.56
8	Magic Garden	804	0.10	55.09	0.32	173.73	1.01
Total anual		5,644,068	—	—	—	30,675.10	138.54

Los resultados obtenidos muestran valores máximos (0.32 pg ITEQ/L) y mínimos (0.07 pg ITEQ/L) que son comparables con datos de estudios internacionales presentados en la tabla 5, quedando en evidencia que las concentraciones en Colombia son bajas relativas a otros países. Esto se atribuye a que la gran mayoría de residuos que se disponen en el país son ordinarios: orgánicos y domiciliarios.

Tabla 5. Estudios internacionales sobre la medición de dioxinas y furanos en lixiviados

Estudio	País	Tipo de residuos dispuestos	PCDD/PCDF (pgEQT/L)	n
			Máximo y mínimo	
(Jin, Lee, Chang & Shin, 2007)	Corea	ND	31,170-0.00	20
(Casanova, Muro, Eljarrat, Caixach & Rivera, 1994)	España	Residuos municipales e industriales	1,520-1.60	ND
(Ministry for the Environment New Zealand, 2011)	Nueva Zelanda	Residuos domésticos y peligrosos	221-7.50	5
(Hiraoka et al., 1993)	Japón	Residuos de incineración	50-0.00	17
(Ki-In & Dong-Hoon, 2005)	Corea	Residuos municipales y cenizas de fondo (solo si cumple niveles de metales)	46.2-4.10	5
(Sang-Yee, Yong-Jin & Dong-Hoon, 2008)	Corea	Residuos municipales, industriales y/o incineración	5.8-0.65	12
(Litten, y otros, 2003)	USA	ND	0.6-0.03	4

Como se observa en la tabla anterior, las concentraciones PCDD/PCDF tiende a aumentar según el tipo de residuo dispuesto en los rellenos sanitarios. Por ejemplo, en países como Corea del Sur y Japón aproximadamente el 70% de los residuos se incineran (generando los contaminantes) y las cenizas se disponen en rellenos sanitarios, razón por la cual estos rellenos pueden tener altas concentraciones de PCDD/PCDF y, al contacto con la lluvia, estas sustancias drenan al lixiviado (Hiraoka et al., 1993).

En cuanto a la comparación entre los resultados obtenidos en las mediciones y los datos que estima el Toolkit 2013 para lixiviados, los resultados obtenidos se utilizaron para calcular un factor de emisión, que relaciona los $\mu\text{g ITEQ/año}$ con las toneladas dispuestas. Tanto en cálculos promedio como ponderados, se obtuvo un factor de emisión de 0.000025 ± 0.000018 . En un panorama conservador se consideraría el límite superior (0.000043); pero aún en este caso el factor de emisión estimado para la realidad colombiana estaría tres órdenes de magnitud por debajo del propuesto en el Toolkit 2013. Esta diferencia de hasta 1000 veces indica que calcular la emisión al ambiente usando el factor de emisión predeterminado sobreestimaría las liberaciones reales del país, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6. Comparación emisión estimada vs. Toolkit 2013 en lixiviado

Muestra	Lugar	Carga emitida al ambiente	
		Estimada Colombia	Toolkit 2013
		$\mu\text{g ITEQ/año}$	$\mu\text{g ITEQ/año}$
1	Nuevo Mondoñedo	12.1	24,414.6
2	Pradera	4.9	47,681.4
3	Los Ángeles	2.4	7,728.0
4	El Guabal	5.0	42,325.2
5	Los Pocitos	20.2	28,459.2
6	Doña Juana	76.3	113,030.4
7	El Carrasco	16.6	18,524.4
8	Magic Garden	1.0	40.2

Debido a la gran diferencia en la estimación de PCDD/PCDF emitidos al ambiente entre los factores de emisión del Toolkit 2013 (ver tabla 1) y los calculados con mediciones sobre los lixiviados, es razonable considerar que los factores predeterminados no aplican en el contexto colombiano. El uso del factor de emisión calculado mostraría un panorama más realista y reduciría las cifras del inventario, lo cual impactaría favorablemente la estimación de estas sustancias a nivel nacional y cambiaría el panorama del inventario actual, en el que esta categoría ocupa la tercera causa de emisión en Colombia.

El cambio en este factor de emisión vendría acompañado de los demás factores de la categoría. Teniendo en cuenta los estudios utilizados para calcular los factores de emisión predefinidos en el Toolkit 2013, se considera adecuado mantener la proporción entre los factores, utilizando la lixiviación como base de cálculo. En este orden de ideas, los valores de la tabla 1 no aplicarían a la estimación del inventario en Colombia, y en cambio se utilizarían los valores propuestos en la tabla 7

Tabla 7. Factores de emisión al agua y al residuo de rellenos sanitarios para Colombia

9a	Rellenos sanitarios y vertederos de residuos	Factores de emisión ($\mu\text{g EQT/Tonelada residuos eliminados}$)				
		Aire	Agua	Suelo	Producto	Residuo
1	Desechos peligrosos	NA	5	NA	NA	NA*
2	Desechos mixtos	NA	0.0005	NA	NA	0.05
3	Desechos domiciliarios	NA	0.00005	NA	NA	0.005

Aunque los valores encontrados son bajos, es importante tener en cuenta que la gran mayoría de estas sustancias permanecen en la fase sólida de los desechos dispuestos en los rellenos sanitarios debido a la baja solubilidad de estas sustancias en agua. El $\log K_{oc}$ de varios congéneres en diversos estudios muestra consistentemente valores superiores a 6, lo que significa que la concentración de PCDD/PCDF en carbono orgánico sería por lo menos 1,000,000 de veces mayor a la concentración en fase acuosa. Debido a que el análisis de las muestras incluyó sólidos suspendidos en el lixiviado es razonable pensar que la concentración reportada es mayor a la que se hubiera encontrado sobre el lixiviado filtrado y, por ende, no se está subestimando deliberadamente la emisión de PCDD/PCDF en esta categoría. El posible contenido de estos contaminantes en el residuo concuerda con esta información; no obstante, es importante resaltar que esta concentración no resulta en un motivo de preocupación, ya que, de acuerdo con las mediciones realizadas, los contaminantes no se están liberando al ambiente.

Conclusiones

Las concentraciones medidas de PCDD/PCDF en lixiviados del país están en el rango de 0.02 pg EQT/L y 0.32 pg EQT/L. Los valores encontrados son menores a los reportados en la bibliografía debido a que en Colombia los residuos son predominantemente ordinarios, en contraste con los residuos dispuestos en otros países, como cenizas de procesos industriales.

Los resultados obtenidos se utilizaron para estimar un factor de emisión colombiano. Este factor se encuentra tres órdenes de magnitud por debajo de los factores de emisión reportados en el Toolkit 2013 del Convenio de Estocolmo. Por lo tanto, se considera adecuado para Colombia modular en un factor de 1000 veces los factores de emisión de Toolkit 2013 para la categoría 9a - Rellenos sanitarios y vertederos de residuos, resultando en estimaciones más ajustadas a la realidad nacional.

Referencias

- Casanova, J., Muro, J., Eljarrat, E., Caixach, J. & Rivera, J. (1994). PCDF and PCDD levels in different types of environmental samples in Spain. *Fresenius J Anal Chem* 348, 167–170 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF00321624>
- Hiraoka, M., Tanaka, M., Matsuzawa, Y., Miyaji, K., Kawanishi, T., Matumoto, S. & Ihara, H. (1993). Concentrations of M D/W in Leachates from disixisal sites and their removal characteristics during Leachate Treatment. *Organohalogen Compounds*.
- Jin, G., Lee, J., Chang, Y. & Shin, S. (2007). Emission characteristics of PCDD/FS in wastes from industrial sources in South Korea. *Organohalogen Compounds*.
- Ki-In, C. & Dong-Hoon, L. (2005). PCDD/DF in leachates from Korean MSW landfills. *Chemosphere*.
- Litten, S., McReynolds, D., Swart, J., Estabrooks, F., Hoover, D. & Hamilton, C. (2003). Chlorinated dioxin/furans in New York harbor water, wastewater, biota, and sediments. *Organohalogen Compounds*.
- Minambiente. (2002). Decreto número 1713.
- Ministry for the Environment New Zealand. (2011). New Zealand Inventory of Dioxin Emissions to Air, Land and Water, and Reservoir Sources.
- Sang-Yee, H., Yong-Jin, K. & Dong-Hoon, L. (2008). Leaching characteristics of PCDDs/DFs and dioxin-like PCBs from landfills containing municipal solid waste and incineration residues. *Chemosphere*.
- Superservicios. (2017). Informe de Disposición Final de Residuos Sólidos.
- Torres, P., Barba, L., Ojeda, C., Martínez, J. & Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición físico-química y su potencial de toxicidad. Cali, Valle del Cauca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*
- UNEP. (2013). Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs under Article 5 of the Stockholm Convention.

Anexo 3

Informe de resultados de liberaciones de dioxinas y furanos por quema de biomasa en estufas de leña abril 2019

Introducción

Billones de personas en el mundo usan biomasa como combustible para la calefacción y cocina en los hogares, especialmente rurales (UNEP, 2007). De acuerdo con el Balance Energético Colombiano (BECO), en el 2018 (último reporte anual), la oferta interna para consumo final de leña fue de 6,123 kt, con un consumo urbano de 541 kt y rural de 5,582 kt.

Los métodos para cocinar que utilizan biomasa son, por lo general, rudimentarios. El término biomasa se emplea para describir la materia orgánica natural como madera, paja, cáscara de coco, cascarillas varias, estiércol, entre otros, los cuales se utilizan como combustible para calefacción. En muchos casos, los métodos de quema de biomasa para cocinar se tratan simplemente de estructuras sencillas, con fuego abierto, no tienen chimenea ni ventilación para humo y hollín, lo que implica que cualquier persona que esté cerca inhalará directamente cualquier emisión. La contaminación del aire en interiores (hollín y humo) derivada del uso deficiente de combustibles de biomasa en viviendas es un problema de salud pública importante. Los estudios realizados en las dos últimas décadas han demostrado que la baja calidad del aire en interiores es una de las principales causas de muerte, enfermedades respiratorias y salud deficiente en mujeres y niños de zonas rurales en países en desarrollo, así como en grupos de bajos ingresos (UNEP, 2007). La exposición diaria al humo generado por la quema de biomasa en estufas domésticas está ligada a la exposición de compuestos tóxicos, incluyendo las dioxinas (dibenzoparadióxinas policloradas - PCDD) y furanos (dibenzofuranos policlorados - PCDF), que ya son bien conocidos por ser bioacumulables y por sus efectos adversos a la salud (Nigel & Tame, 2007). Existen estudios en los que se han realizado mediciones de la dosis diaria de PCDD/PCDF por la inhalación de partículas de humo por quema de madera, indicando niveles importantes sin superar los límites dados por la Organización Mundial de la Salud (Amanda L. Northcross, 2012). En general, existe una considerable variación e incertidumbre respecto a los factores de emisión de la combustión doméstica. La combustión incompleta puede generar la formación de PCDD/PCDF, que son liberados principalmente al aire, pero una cantidad puede quedar depositada en las cenizas (residuo). En la tabla 1 se presentan los factores de emisión de PCDD/PCDF, que establece el Convenio de Estocolmo de acuerdo con el Toolkit para la estimación por cada fuente.

Tabla 1. Factores de emisión al aire y residuo (cenizas) por la quema de madera/biomasa en estufas domésticas (UNEP, Convenio de Estocolmo, 2013)

Clasificación	Aire (µg EQT/TJ)	Residuo - ceniza (µg EQT/Tonelada ceniza)
Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminada	1,500	1,000
Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen	100	10

Los factores de emisión de la tabla 1 están basados en estudios realizados en varios países europeos. Los factores de emisión para cenizas se expresan sobre la base de concentraciones medidas en cenizas y no tienen relación alguna con el valor calorífico del combustible.

La madera o biomasa contaminada se refiere a los residuos de madera o madera pintada, entre otros. Las emisiones dependerán del grado de contaminación y de las condiciones de combustión.

El factor de emisión para hornos o estufas con suministro de madera virgen también aplica para estufas con suministro de aire controlado y condiciones de combustión optimizadas, es decir, aplica a la calefacción residencial con biomasa de los aparatos modernos, y hornos automáticos que utilizan virutas de madera o pellets.

Debido que hay múltiples fuentes de incertidumbres asociadas a las emisiones del sector residencial, los factores de clases son inciertos, ya que la cobertura de los datos estadísticos es incompleta (UNEP, Convenio de Estocolmo, 2013) y, por lo tanto, el nivel de confianza se considera bajo. Las emisiones de PCDD/PCDF dependen de la calidad del combustible y la combustión, y estos dos parámetros son variables.

Formación de dioxinas y furanos PCDD/PCDF en la combustión de biomasa en estufas

Los PCDD/PCDF se forman como resultado de una combustión incompleta, típica de dispositivos sin controles de combustión, o con controles limitados. El Inventario Europeo de Emisiones revela que la combustión doméstica de madera es una de las que más contribuye a las emisiones de PCDD/PCDF al aire (Berdowski, 1997).

Algunos estudios, según el documento de directrices sobre Mejores Técnicas Disponibles (MTD) y Mejores Prácticas Ambientales (MPA) para los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) (UNEP, 2007), han demostrado que las fuentes de combustión domésticas liberan cantidades importantes de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo. La cantidad de compuestos liberados depende principalmente del combustible utilizado (desechos domésticos, maderas impregnados de sal marina y madera tratada son fuentes importantes de PCDD/PCDF) y de la eficiencia de la combustión. La eficiencia de la combustión depende de la temperatura de esta, adecuada mezcla de los gases, el tiempo de residencia, suficiente oxígeno y propiedades del combustible como, por ejemplo la humedad, entre otros. Por su gran abundancia, los equipos de combustión doméstica contribuyen apreciablemente a las liberaciones globales de las sustancias químicas que figuran en el Anexo C.

Aunque se ha prestado especial atención a la combustión de madera, se debería tener en cuenta que el material quemado a menudo contiene no solo madera natural, sino también madera de desecho revestida y tratada con diferentes compuestos químicos, entre ellos, organoclorados. Los residuos de madera (de desecho e industrial) suelen contener diversos tipos de contaminantes (arsenato de cobre cromado, pentaclorofenol, creosota, adhesivos, resinas, pintura y otros revestimientos de superficies). También es común utilizar cualquier material combustible, incluidos los desechos (ej., textiles, caucho, plásticos, material impreso, material para embalaje, aceite de desecho, etc.).

De acuerdo con el documento de directrices sobre MTD y MPA para COP (UNEP, 2007) se han detectado niveles medibles de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD) en hollín de chimenea y en cenizas de fondo de horno de estufas y hogares alimentados con leña. Se ha determinado que los depósitos de chimenea de la combustión doméstica con madera contienen perfiles de congéneres de PCDD/PCDF similares a los de los gases de combustión provenientes de incineradores de desechos urbanos. Esto indica que la madera usada en aparatos de combustión doméstica puede estar contaminada.

Cenizas de fondo

Son los restos o residuos no acuosos y no gaseosos que permanecen después de que un material se quema. Las cenizas son un producto final de la combustión incompleta. El tipo más conocido de ceniza es producida por la quema de madera. Cuanto más oscuras sean las cenizas de madera, mayor será el contenido de carbón restante debido a una combustión incompleta.

Gran parte de la ceniza de madera contiene carbonato de calcio como su principal componente, que representa un 25% o incluso un 45%. Menos del 10% es potasa y menos del 1% de fosfato; hay oligoelementos de hierro, manganeso, zinc, cobre y algunos metales pesados. Sin embargo, estos números varían, ya que la temperatura de combustión es una variable importante para determinar la composición de la ceniza de la madera. Todos estos son, principalmente, en forma de óxidos.

Tipos de cenizas:

- Cenizas volantes: cenizas ligeras que salen por los ductos de las chimeneas.
- Cenizas de fondo o pesadas: es la porción más pesada de ceniza que se deposita en el fondo.

Varios factores tienen un gran impacto en la composición de las cenizas:

- La temperatura de combustión.
- El tipo, la edad y el entorno de crecimiento de la madera.
- Si las cenizas están expuestas al ambiente luego de la combustión, los óxidos pueden volver a convertirse en carbonatos al reaccionar con el dióxido de carbono en el aire.

Debido a que en general las cenizas producidas en estos procesos generalmente se disponen como residuos ordinarios se hace importante conocer la concentración de PCDD/PCDF debido a que poseen la capacidad de depositarse en el ambiente, se acumulan y eventualmente pueden ingresar a la cadena alimenticia.

Para el presente estudio, se realizó el muestreo de cenizas de fondo, formadas al final del muestreo de emisiones en las chimeneas de las estufas, dado que las cenizas volantes son capturadas por la emisión en aire durante el muestreo isocinético.

Estufas objeto del estudio

Para efectos de estimar las emisiones, las estufas de leña se clasifican en cuatro categorías: estufas de leña convencionales, estufas de leña no catalíticas, estufas de pellets y estufas de leña catalíticas. Estas categorías se basan en el tipo de combustible y las características de reducción de emisiones (Natura, 2018). Para este estudio, se utilizaron estufas convencionales de los siguientes tipos:

•Estufas in situ

Las estufas in situ se construyen en el lugar dispuesto para la cocina. Se puede construir con servicios adicionales, según necesidad, como calentador de agua, horno y parrilla.

•Estufas móviles o “tamaleras”

Estas estufas pueden ser desplazadas a diferentes lugares de cocción, requieren condiciones particulares para el transporte y en el lugar de instalación. En general, las estufas móviles presentan diseños modulares, entre una y tres hornillas, con diámetros que pueden o no diferir entre sí. Tienen la propiedad de adaptarse a costumbres de cocción a cielo abierto e intradomiciliaria con la instalación de chimenea.

•Estufas híbridas

Las estufas híbridas tienen la propiedad de facilitar la adaptación y combinación de varios tipos de combustibles o mecanismos de combustión (semi-gasificación) y que de manera especial facilitan la transición entre la cocción tradicional (con leña) y la cocción a partir de gas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se desarrolló el presente estudio, en el cual se realizaron seis mediciones de emisiones de PCDD/PCDF por la quema de leña en estufas domésticas con chimenea, y también se determinaron estos compuestos en el residuo, es decir, en las cenizas de fondo formadas durante el calentamiento. Los resultados obtenidos en cenizas de fondo son complementarios a los resultados en la emisión de aire. Estos resultados permiten tener un primer acercamiento a las condiciones nacionales, con el tipo de estufas que se utilizan y a la leña que se produce y comercializa en el país.

Materiales y métodos

•Muestreo

El muestreo de emisiones de dioxinas y furanos fue realizado por un laboratorio nacional acreditado con la ISO/IEC 17025 para el método EPA 23 “Determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans from stationary sources”. Estas mediciones se realizaron en tres diferentes tipos de estufas que contaban con ducto de escape de gases: estufas in situ, estufas móviles o “tamaleras” y estufas híbridas; como se observa en la tabla 2. Cada estufa se alimentó con leña simulando el uso normal. Las fuentes objeto de estudio fueron seleccionadas en tres sectores del país, ubicados en hogares de zonas rurales y fabricantes de estufas en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Huila. La función que cumplen las estufas es la preparación de alimentos para el hogar. Por otra parte, la biomasa utilizada como combustible en las mediciones realizadas, es la utilizada normalmente por las familias que hacen uso de las estufas, la cual corresponde a leña recolectada de forma ocasional en los alrededores de las fincas o casas de la zona de forma aleatoria.

Tabla 2. Sitios del muestreo, tipos de estufa y madera

Muestra	Lugar		Zona	Estufa	Madera
1	San Vicente	Antioquia	Rural	In situ poco tiempo de instalada	Varios: pino, aguacate y sietecueros
2	Granada	Antioquia	Rural	In situ poco tiempo de instalada	Pino
3	Guasca	Cundinamarca	Rural	In situ varios años de instalada	Eucalipto
4	Guasca	Cundinamarca	Rural	In situ varios años de instalada	Pino
5	Neiva	Huila	Fabricante de estufas	Portátil-híbrida, nueva	Guácimo
6	Neiva	Huila	Fabricante de estufas	Móvil o tamalera, nueva	Arrayán

Para el desarrollo del muestreo de emisiones, se realizaron los métodos mencionados en la tabla 3.

Tabla 3. Métodos aplicados al muestreo de emisiones

Método EPA	Descripción
1	Selección del sitio de muestreo, determinación del número de puntos y su localización.
2	Determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas o ductos con tubo pitot estándar.
3	Análisis del porcentaje de dióxido de carbono (CO ₂), oxígeno (O ₂), monóxido de carbono (CO) y el peso molecular seco, en los gases efluentes.
3B	Análisis del gas para la determinación del factor de corrección de la tasa de emisión o exceso de aire.
4	Determinación del contenido de humedad de los gases.
5	Determinación de la constante isocinético y emisiones de partículas.
23	Determinación de compuestos semivolátiles, dioxinas p-dibenzo policloradas —PCDD— y Furanos dibenzo sustituidos policlorados —PCDF—.

En el muestreo realizado bajo el método EPA 23, las partículas (vapores condensables) y vapores no condensables son succionadas de manera compuesta isocinéticamente (la velocidad de succión del muestreador es igual a la velocidad de ascenso de los gases por la chimenea), según aplicación del método EPA 5. El material particulado es capturado en caliente en un filtro de fibra de vidrio (previamente pesado y con muestra espía) montado en el sistema de succión de la muestra. La fracción mayoritaria de vapores que no se condensaron sobre la línea de muestreo antes del filtro a la temperatura de 120 °C es licuada o sublimada en el condensador posterior al filtro o retenida física o químicamente sobre la resina XAD-2. La resina, los filtros y el lavado del material (boquillas y trampas) fueron enviados a un laboratorio de análisis.

Luego de terminado el proceso de toma de muestras de emisiones, se realizó la toma de muestras de cenizas, utilizando el método de cuarteo (Patel, 1995). Estas muestras fueron pesadas en su totalidad para hacer el respectivo cálculo de formación total de cenizas por biomasa utilizada durante el muestreo.

Análisis de GC-MS

Las muestras de emisiones y cenizas fueron analizadas por Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), cuyo procedimiento para la cuantificación de dioxinas y furanos se encuentra en el método EPA 1613B “Tetra-through Octa-chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dillution (High Resolution Gas Chromatography/High Resolution Mass Spectrometry)” (EPA), que consiste en la extracción Soxhlet con tolueno y posterior análisis por GC-MS.

Las muestras de emisiones se expresaron en nanogramos de equivalente tóxico por metro cúbico e igualmente por cantidad de biomasa quemada; y para las muestras de cenizas de fondo se expresaron en nanogramo de equivalente tóxico por tonelada de cenizas formadas.

Resultados y discusión

En el desarrollo del muestreo, se obtuvo información sobre el peso de la madera usada durante el tiempo de muestreo, así como la cantidad total de cenizas de fondo y cuyos datos permitieron obtener un promedio de formación de cenizas del 2,2% (ver tabla 4).

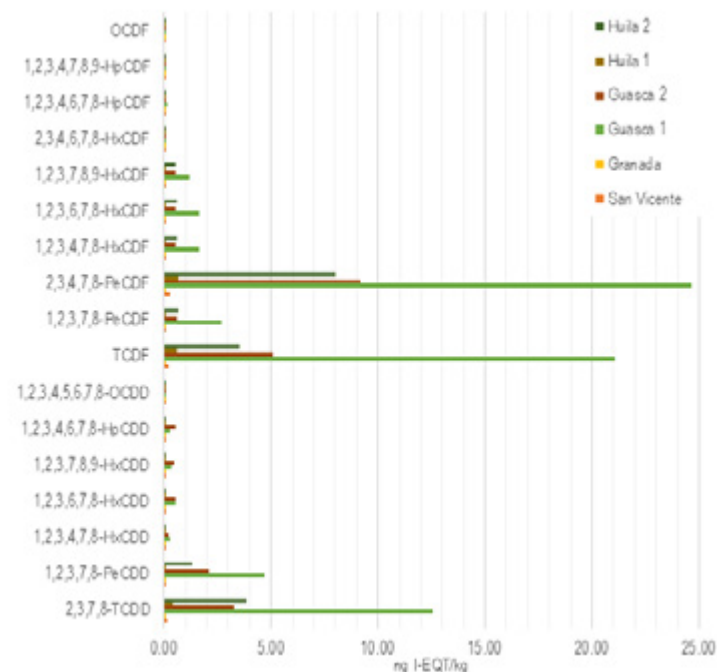
Tabla 4. Cantidad de madera usada en el muestreo y cantidad de cenizas formadas

Muestra	Lugar		Madera	Peso madera (kg)	Peso cenizas (g)	Formación cenizas (%)
1	San Vicente	Antioquia	Varios	17.0	277.9	1.6
2	Granada	Antioquia	Pino	20.0	504.6	2.5
3	Guasca	Cundinamarca	Eucalipto	24.0	998.0	4.2
4	Guasca	Cundinamarca	Pino	28.0	385.0	1.4
5	Neiva	Huila	Guácimo	8.5	110.0	1.3
6	Neiva	Huila	Arroyán	19.9	506.0	2.5

El perfil de dioxinas y furanos que se presenta en la gráfica 1 corresponde a un perfil típico de la combustión de madera (Nigel & Tame, 2007; Amanda & Northcross, 2012), en donde las concentraciones más altas corresponden a TCDF, PeCDF, HxCDF y TCDD.

La compilación de los resultados para cada punto de muestreo se encuentra en la tabla 5.

Gráfica 1. Emisión de dioxinas y furanos en ng I-EQT/kg para cada sitio muestreado



Por otro lado, el perfil de dioxinas y furanos encontrado en las muestras de cenizas de fondo se presenta la gráfica 2.

Gráfica 2. Concentración de dioxinas y furanos en µg I-EQT/Tonelada de cenizas para cada sitio muestreado

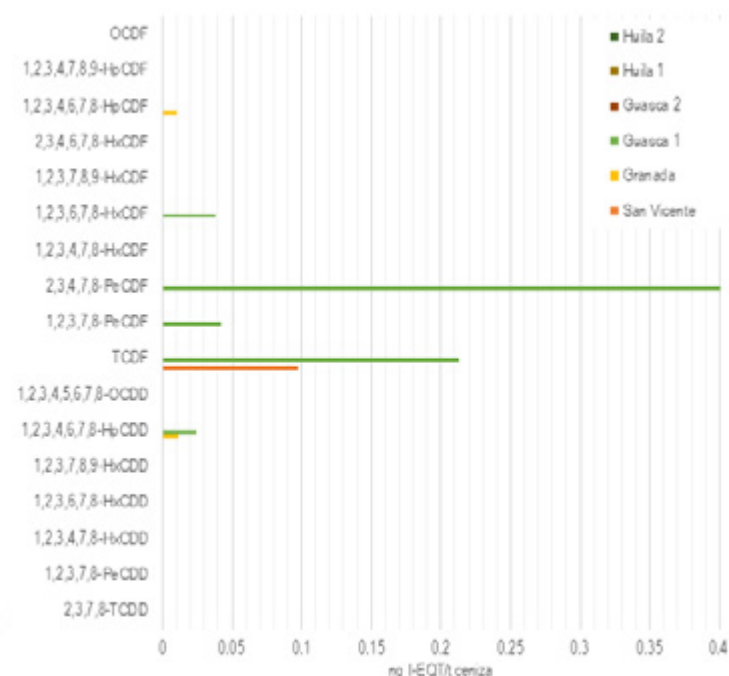


Tabla 5. Resultados de la emisión de PCDD/PCDF al aire y en cenizas de fondo

Muestra	Lugar	Madera	A	B	C	
			ng I-EQT/m ³	µg I-EQT/TJ	µg I-EQT/t	
1	San Vicente	Antioquia	Pino, aguacate y sietecueros	0.18	1.014	0.098
2	Granada	Antioquia	Pino	0.02	0.076	0.022
3	Guasca	Cundinamarca	Eucalipto	7.28	46.347	0.719
4	Guasca	Cundinamarca	Pino	3.64	10.313	0.000
5	Neiva	Huila	Guácimo	0.90	5.576	0.000
6	Neiva	Huila	Arrayán	10.76	21.250	0.000

La columna A de la tabla 5 corresponde a valores comparables con los límites normativos de la Resolución 909 de 2008, “Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas”. Las muestras 3, 4, 5 y 6 sobrepasan el valor admisible para PCDD/PCDF: 0.5 ngEQT/m³. Los valores de concentración fueron corregidos a las condiciones de referencia (25 °C y 760 mmHg) y para un 11% de O₂. Cabe notar que los procesos de combustión en estufas de leña no están controlados, por lo cual la comparación exclusivamente sirve como referencia y ya que la concentración está en función del volumen de muestra, es decir, a la relación aire-biomasa, su interpretación debe enfocarse a la estructura y operación de la estufa o combustor. Los valores elevados de las muestras 3 y 4 se explican al tener en cuenta que son estufas con varios años de uso. En el caso de la muestra 6, la estufa, que corresponde a una estufa móvil o tamalera, tiene un funcionamiento diferente a las demás.

La columna B son factores de emisión que pueden relacionarse con los propuestos por el Convenio de Estocolmo, presentados en la tabla 1. Para tal fin se relacionaron los ng I-TEQ generados con la biomasa quemada. La capacidad calorífica usada para los cálculos (14.4 MJ/kg) corresponde al valor calorífico neto promedio para troncos de madera, que se considera adecuado en términos prácticos (Valter Francescato, 2008). No obstante, el valor de los factores de emisión podría ajustarse más a cada caso particular al incluir la humedad específica de cada especie (ej., porcentaje de humedad de 33% para eucalipto) (Quintero, 2016). Para encontrar un valor nacional, se ponderaron los factores obtenidos usando el área registrada ante el ICA para especies forestales (Olarte et al., 2013), arrojando como resultado final 9.24 µg I-EQT/TJ, valor que concuerda con el caso más común: pino, genero correspondiente al 53% del área registrada, en estufas in situ con varios años de instalación.

La columna C muestra también factores de emisión, en este caso concernientes a los $\mu\text{g I-TEQ}$ contenidos en la ceniza generada. Excepto para la muestra 3, los valores se muestran varios órdenes de magnitud por debajo del factor sugerido por el Toolkit 2013. Aún bajo un panorama conservador, las mediciones realizadas indican que la emisión de dioxinas y furanos en cenizas no sería mayor a $1.0 \mu\text{g I-EQT/t}$.

Si se comparan los resultados de emisiones (en $\mu\text{g I-EQT/TJ}$) y cenizas (en $\mu\text{g I-EQT/tonelada de ceniza}$) consignados en la tabla 5 con los factores del Toolkit 2013, se puede concluir que la biomasa usada en las seis mediciones era madera virgen o no contaminada. La combustión de madera virgen generará concentraciones de PCDD/PCDF más bajas en la ceniza en contraposición a madera tratada o contaminada, que produce concentraciones más altas de acuerdo con los estudios revisados por el Convenio de Estocolmo (US EPA, 1997).

De acuerdo con lo anterior, los factores de emisión predefinidos en el Toolkit 2013 (ver tabla 1) para madera virgen no aplicarían a la estimación del inventario en Colombia, y en cambio se utilizarían los valores propuestos en la tabla 6.

Tabla 6. Factores de emisión al aire y residuo (cenizas) por la quema de madera/biomasa en estufas domésticas (Colombia)

Clasificación	Aire ($\mu\text{g EQT/TJ}$)	Residuo - ceniza ($\mu\text{g EQT/Tonelada ceniza}$)
Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminada	1,500	1,000
Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen	10	1

La alta variabilidad que muestran los datos de este estudio coincide con la premisa de que las liberaciones PCDD/PCDF en estufas domésticas que utilizan madera dependen de muchas variables relacionadas con el diseño del combustor (el tipo de estufa), la eficiencia de la combustión, las características operativas, del combustible (especie, humedad) y su contenido de cloro (Nigel W. Tame, 2007). Todas las variables contempladas en el estudio afectan la desviación de los resultados, incluso el tiempo de uso de las estufas, ya que la quema forma depósitos que, de no ser removidos, se acumulan y modifican; esta es la razón por la cual las muestras 3 y 4 presentan valores más altos. En consecuencia, la eficiencia de la combustión y las liberaciones varían mucho entre las estufas de leña (US EPA, 1997).

Se realizó una revisión de estudios realizados con maderas similares y estufas domésticas, cuyos resultados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Estudios internacionales sobre liberaciones de dioxinas y furanos por la quema de biomasa en estufas domésticas

Estudio	Tipo de madera	Tipo de estufa	PCDD/PCDF Promedio en emisiones	n
(Gullett BK, 2003)	Roble	Estufa no catalítica	$19,77 \mu\text{gEQT/TJ}$	13
(G. Thanner and W. Moche., 2002)	Leña de venta regular	Tres tipos de estufas de hierro fundido con alto uso	$320,00 \mu\text{gEQT/TJ}$	8
(LUA, 1997)	Madera contaminada Madera virgen	Estufa convencional	$1,50 \mu\text{gEQT/TJ}$ $0,10 \mu\text{gEQT/TJ}$	-
(Vikelsøe, 1994)	Madera no contaminada	Varios	$1,9 \text{ ngEQT/kg}$	24
(Wevers, 2003)	Pino	Estufa convencional	$0,66 \text{ ngEQT/m}^3$	-
(Northcross, 2012)	No indican	Estufa convencional	$0,051 \text{ ngEQT/m}^3$	8
(Seljeskog, 2017)	Varios	Estufa convencional	$6,78 \mu\text{g/t}$	-
(Wasson, 2005)	ND	ND	$0,33 \text{ a } 0,66 \mu\text{gTEQ/t}$	-
(Wunderli, 2000)	ND	ND	$4,9 \mu\text{gTEQ/Tonelada para cenizas de fondo}$	-
(Oehme, 1995)	ND	ND	$0,41 \mu\text{gTEQ/ Tonelada en cenizas de madera con mala combustión}$ $0,24 \mu\text{gTEQ/ Tonelada en cenizas de madera con buena combustión}$	-

Comparando los resultados obtenidos en Colombia con los de estudios internacionales, el factor de emisión se encuentra dentro del rango de valores reportados. La alta variabilidad de estos es reflejo de la falta de control del proceso en las estufas de leña y sugiere un bajo nivel de confiabilidad para las estimaciones de emisiones al aire usando factores genéricos. En cuanto a la generación de PCDD/PCDF en aire, dependen del tipo de madera usada y de la calidad de combustión. En cuanto a las cenizas la producción de estos contaminantes, depende de la atmósfera de oxígeno localizada en la ceniza y al consumo de carbono antes de que se alcancen las temperaturas de formación adecuadas y el enfriamiento posterior.

Sin embargo, cabe notar que las cenizas de fondo normalmente tienen bajas concentraciones de PCDD/PCDF comparada con las emisiones, sin embargo, cantidades más altas podrían ser resultado de una estufa con alto tiempo de uso debido a la formación de depósitos en el combustor que no han sido removidos.

En cuanto a las recomendaciones que da el Convenio de Estocolmo (UNEP, 2007), para reducir las emisiones en las estufas, se deben utilizar dispositivos de calentamiento optimizados. Para obtener una combustión óptima se debería mantener la estufa (o combustor) limpia y libre de hollín, para lo cual debe asegurarse la

limpieza periódica (por lo menos una vez al año). Las fuentes de combustión domésticas generalmente no utilizan dispositivos de control de la contaminación del aire. La reducción de emisiones en estufas de leña debería incluir deflectores, cámaras de combustión secundarias y cámaras de combustión catalíticas. Los quemadores o convertidores catalíticos son similares a los utilizados en automóviles. Los dispositivos de control de estufas de leña pueden perder eficiencia con el tiempo, por lo que debe hacerse seguimiento. El control de la degradación de cualquier estufa, incluidas las estufas de leña no catalíticas puede tener como resultado sellos y juntas deteriorados, deflectores desalineados y mecanismos de derivación, refractarios rotos u otros componentes funcionales dañados. Además, las eficiencias de combustión pueden verse afectadas por las diferencias en el sellado de la cámara y el control de los sistemas de admisión y escape.

La evaluación de las emisiones de contaminantes en fogones tradicionales y estufas mejoradas ha sido muy poco evaluada de acuerdo con el documento de los “Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña” (Minambiente, 2015). La Facultad de Salud Pública de la Universidad de Antioquia realizó muestreos isocinéticos en el 2011 en las chimeneas de estufas eficientes y fogones tradicionales, en viviendas beneficiarias en municipios del oriente antioqueño, jurisdicción de Cornare, cuyos resultados mostraron que el uso de estufas tipo “huellas” reduce el 94,2% del material particulado y que la reducción de otros contaminantes tiene la misma tendencia. Estos resultados se correlacionan con los obtenidos en este estudio.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados de liberaciones de PCDD/PCDF por la quema de biomasa en estufas domésticas se encontraron entre 0.076 μg I-EQT/TJ y 46.347 μg I-EQT/TJ al aire; y entre 0.000 μg I-EQT/tonelada y 0.719 μg I-EQT/tonelada en cenizas. Estos valores se encuentran por debajo de los factores de emisión sugeridos en el Toolkit 2013 del Convenio de Estocolmo. Los valores encontrados en cada caso difieren entre sí considerablemente debido a que dependen de las variables intrínsecas proceso, como lo son el combustible, el combustor y la combustión. A pesar de lo anterior, fue posible estimar factores de emisión ajustados a la realidad colombiana que se encuentran en un orden de magnitud por debajo de los predefinidos. Se considera adecuado para Colombia preferir el uso de estos factores de emisión.

Los resultados demuestran la incidencia en el diseño y operación de la estufa sobre la emisión de PCDD/PCDF. Esto concuerda con los reportes de otros estudios, y sugiere que se pueden reducir las liberaciones nacionales al mejorar el diseño y operación de las estufas, así como procurar el uso de madera no contaminada o virgen.

Aunque los valores encontrados para PCDD/PCDF son bajos, ello no implica que las estufas de leña sean inocuas, pues existen otros contaminantes como material particulado (PM), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC); que pueden encontrarse en las liberaciones por quema de biomasa y que también son relevantes en salud.

Referencias

- Amanda, L. & Northcross, S. K. (2012). Dioxin inhalation doses from wood combustion in indoor cookfires. *Atmospheric Environment*, 49, 415-418.
- Berdowski J.J.M. et al (1997). The European Emission Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants. TNO, Apeldoorn, Netherlands: Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Forschungsbericht, 104(2), 672/03.
- EPA. (s. f.). Método 1613. Dioxinas y furanos tetra-a octa-clorinados por dilución isotópica y HRGC/HRMS.
- Gullett, B.K. et al (2003). PCDD/F, PCB, HxCBz, PAH, and PM emission factors for fireplace and woodstove combustion in the San Francisco bay region. *Environ Sci Technol*, 37, 1758-1765.
- LUA. (1997). Identification of Relevant Industrial Sources of Dioxins and Furans in Europe. Essen, Germany: Materialien 43. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen.
- Minambiente. (2015). Lineamientos para un programa nacional de estufas eficientes para cocción con leña.
- Natura. (2018). Proyecto tipo para la sustitución de 500 fogones tradicionales por estufas eficientes para vivienda rural.
- Nigel, W. & Tame, B. Z. (2007). Formation of dioxins and furans during combustion of treated wood. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 384-408.
- Northcross, S. H. (2012). Dioxin inhalation doses from wood combustion in indoor cookfires. *Atmospheric Environment*, 49, 415-418.
- Oehme M, M. M. (1995). Levels and congener patterns of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in solid residues from wood-fired boilers. Influence of combustion conditions and fuel type. *Chemosphere*, 30, 1527-1539.
- Olarte V., C. P., Rivera O., I. D., Padilla T., L. G., Álvarez R., M. R., Ladino Z., M. J. & Cuéllar B., M. (2013). Boletín Forestal 2011. Bogotá, D. C.: IDEAM.
- Patel, N. T. (1995). General principles of good sampling practice. Cambridge. The Royal Society of Chemistry.
- Quintero, C., A. J. (2016). Cuantificación del poder calorífico de los bosques de Cundinamarca para el uso de energías alternativas (monografía), Universidad Distrital.
- Seljeskog, M., Goile, F. & Skreiberg, Ø. (2017). Recommended revisions of Norwegian emission factors for wood stoves. *Energy Procedia*, 105, 1022-1028.
- UNEP. (2007). Documento de Directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales. Suiza.
- UNEP, Convenio de Estocolmo. (2013). Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de vertidos de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el artículo 5 del Convenio de Estocolmo.
- US EPA. (1997). Locating and estimating air emissions from sources of dioxins and furans.
- Francescato, V. et al (2008). Wood Fuels Handbook. Italia: Italian Agriforestry Energy Association.
- Vikelsee, J. M. (1994). Emission of dioxins from danish wood-stoves. *Chemosphere*, 29, 2019-2027.
- Thanner G et al. (2002). Emissions of Dioxins, PCBs and PAHs from Domestic Heating. Vienna, Austria: Monographs 153. Federal Environmental Agency.
- Wasson, S. J. , L. W. (2005). of chromium, copper, arsenic, and PCDDs/Fs from open burning of CCA-treated wood. *Environ. Sci. Technol*, 39, 8865-8876.
- Wevers, M. et al. (2003). PCDD/F and PAH emissions from domestic heating appliances with solid fuel. *Organohalogen Compounds*, vol 60-65.
- Wunderli, S. et al. (2000). Determination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzo-furans in solid residues from wood combustion by HRGC/HRMS. *Chemosphere*, 40, 641-649.
-
-

Anexo 4

Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en quema de biomasa 2020

Introducción

Colombia se ha caracterizado por ser un país agrícola con un amplio potencial productivo principalmente por su condición de país tropical, disposición de gran variedad de pisos térmicos y disponibilidad de recursos hídricos. De acuerdo con el anuario estadístico del sector agropecuario de 2017, el país poseía 4,610,693 hectáreas cultivadas de las cuales el 16% corresponde a café, 13% arroz, 12% maíz, palma de aceite 11%, plátano 9%, caña panelera y azúcar 8%, frutales 7%, otros 22% (Minagricultura, 2017).

La quema de residuos agrícolas históricamente ha sido vista por los agricultores como una forma viable para eliminar rápidamente los excedentes no valorizables de los cultivos, los cuales pueden causar brotes de enfermedades, entre otras razones, y para el caso de la caña de azúcar ha sido una práctica que facilita el corte manual. Sin embargo, esta práctica causa múltiples impactos a la salud y al ambiente, entre los cuales destacan: alta emisión de gases efecto invernadero, serias repercusiones sobre la salud, entre las que destacan la irritación de la piel, mucosas y daño celular en el pulmón. Adicionalmente, se ha observado que la quema de estos residuos de cosecha disminuye el potencial de aporte de nutrientes al suelo y el incremento de la fracción orgánica para mantener sostenible la fertilidad del suelo agrícola.

Entre las sustancias que se pueden generar en este proceso se encuentran las dioxinas (dibenzoparadióxinas policloradas - PCDD) y furanos (dibenzofuranos policlorados - PCDF), los cuales son bioacumulables y producen efectos adversos a la salud (Nigel & Tame, 2007). La formación de estas sustancias se debe al uso de plaguicidas y fertilizantes clorados junto con las quemaduras realizadas a cielo abierto. De hecho, de acuerdo con el inventario de COP no intencionales de 2018, la “Quema de residuos agrícolas en el campo, de cereales y otros rastrojos de cultivos, impactados, condiciones de quema deficientes”, es la segunda fuente de producción de PCDD/PCDF en el país.

El presente estudio busca validar la asignación del factor de emisión realizada en la actualización del inventario de COP no intencionales en los sectores de producción de arroz, caña de azúcar y maíz, a partir de mediciones de estos contaminantes en suelos y cenizas en procesos de quemaduras a cielo abierto. Adicionalmente, busca aumentar el margen de confianza de los resultados del mismo documento.

Marco conceptual

Formación de PCDD/PCDF en los procesos de quema en cultivos de arroz y maíz

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) no intencionales, como su nombre lo indica, nunca han sido usados como productos comerciales ni han sido fabricados intencionalmente. Estos contaminantes, como las PCDD/PCDF, se producen principalmente en los procesos de combustión, para lo cual se requiere la presencia de carbono, oxígeno, hidrógeno y cloro, así como una temperatura de combustión entre 200°C y 900°C.

Dentro de las sustancias que se consideran en el Anexo C del Convenio de Estocolmo se encuentran las policlorodibenzodioxinas y policlorodibenzofuranos (PCDD/PCDF), el hexaclorobenceno (HCB), hexaclorobutadieno (HCBd), los bifenilos policlorados (PCB), los naftalenos policlorados (PCN) y el pentaclorobenceno (PeCB).

Debido a que los procesos de combustión en los cultivos de arroz, caña de azúcar y maíz presentan las condiciones enumeradas anteriormente, representan una posible fuente de PCDD/PCDF, por lo cual se hace necesario medir la concentración de estos contaminantes después de un proceso de quema en los suelos y en las cenizas.

- Matriz suelo

Se considera como suelo al material orgánico o mineral no consolidado en la superficie terrestre que sirve como medio natural para el crecimiento de plantas. La presencia de PCDD/PCDF en suelos agrícolas representa dos posibles riesgos a la salud humana: uno mayor debido a la posibilidad de que estos contaminantes pasen a la cadena alimenticia; y uno menor debido a la exposición directa de los agricultores al suelo.

- Matriz ceniza

Son los restos o residuos no acuosos y no gaseosos que permanecen después de que un material se quema. Las cenizas son un producto final de la combustión incompleta. Cuanto más oscuras sean las cenizas de la biomasa, mayor será el contenido de carbón restante debido a una combustión incompleta.

Gran parte de la ceniza contiene carbonato de calcio como su principal componente, que representa desde un 25% hasta un 45%. Menos del 10% es potasa y menos del 1% de fosfato; así como algunos oligoelementos de hierro, manganeso, zinc, cobre y metales pesados; todos estos, principalmente, en forma de óxidos. Estos números varían, ya que la temperatura de combustión es una variable importante que determina la composición de la ceniza.

Tipos de cenizas:

- Cenizas volantes: cenizas ligeras que se transportan por el aire o salen por los ductos de las chimeneas.
- Cenizas de fondo o pesadas: es la porción más pesada de ceniza, que se deposita en el fondo.

Varios factores tienen un gran impacto en la composición de las cenizas:

- La temperatura de combustión.
- El tipo, la edad y el entorno de crecimiento de la biomasa.
- Si las cenizas están expuestas al ambiente luego de la combustión, los óxidos pueden volver a convertirse en carbonatos al reaccionar con el dióxido de carbono en el aire.

Debido a que las cenizas producidas en estos procesos generalmente se disponen como residuos ordinarios, es importante conocer la concentración de PCDD/PCDF, pues los depósitos de residuos pueden ser una fuente que libere estos contaminantes al ambiente, donde se acumulan y eventualmente pueden ingresar a la cadena alimenticia.

Inventario nacional de PCDD/PCDF

Generalidades

El Convenio de Estocolmo establece que las Partes (países miembros) deben realizar y actualizar permanentemente el inventario de los COP no intencionales. Para este fin se puede utilizar el “Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de liberaciones de dioxinas y furanos” (Toolkit 2013), lo que corresponde a un cálculo eminentemente teórico. Así mismo, se pueden realizar mediciones directas para establecer de forma cuantitativa las liberaciones de estas sustancias en emisiones, vertimientos o en residuos, aspecto que se recomienda cuando la actividad es relevante y se quieren establecer medidas para lograr una disminución en la generación.

Basado en esta herramienta, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible publicó un inventario tomando como base de producción sectorial el año 2002. Este fue recalculado durante el año 2015 debido a una actualización de la herramienta anteriormente enunciada. A la fecha se está realizando un nuevo proceso de actualización de este, para el cual se realizan los cálculos con datos del año 2018.

Actualización del inventario con datos 2018

Dentro de los diez grupos que analiza el Toolkit 2013, existe una categoría llamada quemadas de biomasa-6a, la cual analiza las liberaciones del presente estudio, las cuales se muestran a continuación.

Categoría 6a – Quemadas de biomasa (Toolkit 2013)

Las liberaciones de esta categoría incluyen todas las quemadas o incendios de biomasa que se producen a cielo abierto, ya sean naturales o antrópicas en ecosistemas naturales o gestionados, entre las cuales están quemada de residuos agrícolas, incendios forestales, entre otros. En cuanto a las fuentes de ignición, pueden ser rayos, incendios intencionales, igniciones accidentales (por ejemplo, cigarrillos encendidos, vidrio, soldadores, líneas de transmisión eléctrica) e igniciones autorizadas con fines administrativos (UNEP, 2013).

Debido a que los procesos de quemada de biomasa pueden ser de varios tipos, y en el caso de quemada de incineración de residuos puede variar entre países. La liberación de PCDD/PCDF para esta categoría para el año 2018, organizada por tipo de cultivo estudiado, se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Generación estimada de PCDD/PCDF en categoría 6a – Quemada de biomasa

Clase	Biomasa	Toneladas estimadas incineradas al año*	Factor de emisión		Emisión estimada			% de emisión
			Aire (µg EQT/ton quemada)	Suelo (µg EQT/ton quemada)	Aire (g EQT/año)	Suelo (g EQT/año)	Total (g EQT/año)	
6a1	Arroz	1,712,253	30	10	51.37	17.12	68.49	72.8%
6a1	Maíz	500,935	30	10	15.03	5.01	20.04	21.3%
6a1	Sorgo	2,101	30	10	0.06	0.02	0.08	0.1%
6a1	Trigo	2,190	30	10	0.07	0.02	0.09	0.1%
6a2	Banano y plátano	304,346	0.5	0.05	0.15	0.02	0.17	0.2%
6a3	Caña de azúcar	1,132,910	4	0.05	4.53	0.06	4.59	4.9%
6a4	Incendios forestales	46,665	1	0.15	0.05	0.01	0.05	0.1%
6a5	Incendios de praderas y sabanas	880,264	0.5	0.15	0.44	0.13	0.57	0.6%
Total estimado en categoría 6a – Quemadas de biomasa							94.081	100.0

* Estimado realizado de acuerdo con Diagnóstico para adelantar el inventario de COPs No Intencionales, CAIA 2019.

Como se puede ver en la tabla, los cultivos que más impactan en la liberación de PCDD/PCDF son, en su orden arroz, maíz y caña de azúcar; las otras actividades o eventos son casi despreciables. Por lo tanto, es necesario verificar si los factores de emisión seleccionados corresponden al contexto nacional, por ello se realizaron mediciones en los principales municipios que producen estos productos en zonas donde se realizan quemadas en suelo y ceniza después de una quemada.

Zonas objeto de estudio

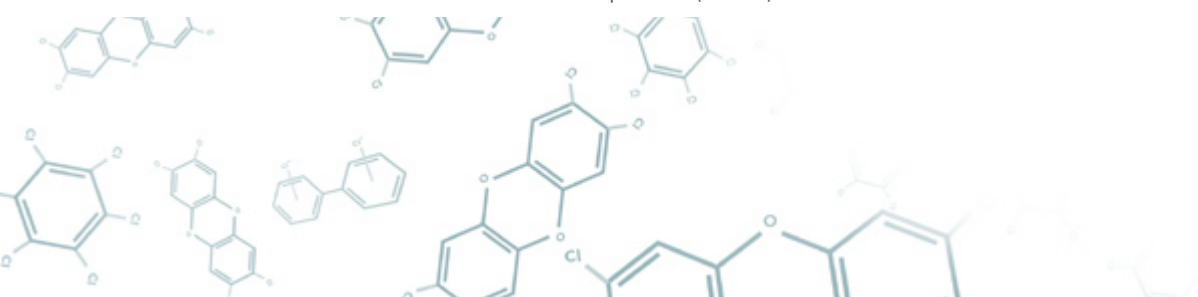
Para efectos de estimar las liberaciones de estas sustancias en los cultivos enunciados anteriormente se seleccionaron catorce cultivos a lo largo del país. La tabla 2 presenta los sitios medidos.

Tabla 2. Municipios donde se realizaron las mediciones

Cultivo	Departamento	Municipio
Arroz	Huila	Juncal
	Tolima	Saldaña
	Casanare	Yopal
	Norte de Santander	Cúcuta
Maíz	Tolima	Espinal
	Casanare	Yopal
Caña de azúcar	Cauca	Miranda
		Corinto
	Valle del Cauca	Cartago (2)
		Bugalagrande
		Zarzal
		San Pedro
		Tuluá (2)
		Candelaria (4)
		Ansermanuevo
		Riofrio
		Palmira188
		Florida (2)189

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron cuarenta y ocho mediciones y análisis de PCDD/PCDF, 22 muestras de cenizas y 26 en suelo. Estos resultados permiten tener un primer acercamiento a las condiciones nacionales.

188 Suelo donde no se realiza la práctica (blanco).
 189 En una de estas muestras no se realiza la práctica (blanco).



Metodología de muestreo y análisis

• Suelos

Para el muestreo de suelo, se siguió el procedimiento a continuación (IDEAM, 2007; ISO, 2002):

1. Definir zona de quemado para recolección aleatoria sistemática por cuadrícula de suelo, considerando los cronogramas de quemado y la información suministrada por SINPAVESA para los casos de caña de azúcar.
2. Tomar en cada cuadrícula, después del proceso de quema, una muestra del suelo superficial (10 centímetros de profundidad), para lo cual se puede hacer uso de equipos o herramientas como tornillo sinfín o barreno.
3. Mezclar y homogenizar las muestras de las cuadrículas para obtener una muestra compuesta (mínimo 100 g).
4. Usar un recipiente ámbar (evita la degradación fotolítica) de boca ancha para el almacenamiento de la muestra homogenizada.
5. Registrar los datos de la muestra (georreferenciación, fecha de la toma, nombre del personal quien toma la muestra, otros)
6. Almacenar preferiblemente en oscuridad y a temperatura de refrigeración hasta la llegada al laboratorio.

• Cenizas

En el presente estudio se realizó el muestreo de las cenizas de fondo, formadas después de los procesos de quema. Las muestras de cenizas se tomaron a la par con las de suelos, recolectando la ceniza depositada sobre el suelo. Se cuidó que no hubiera contaminación cruzada de suelo en las muestras de ceniza y, debido a su baja densidad, las muestras de ceniza se compactaron, también logrando un mínimo de 100 g.

Análisis de GC-MS

• Arroz y maíz

Las muestras de suelo en arroz y maíz, para suelo y cenizas fueron analizadas en el laboratorio acreditado ALS Canadá, subcontratado a través de Keika Ventures LLC. El método de extracción y análisis usado fue el EPA 1613B “Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS” (US-EPA, 1994), que consiste en el enriquecimiento isotópico, extracción Soxhlet y posterior análisis por GC-MS del extracto para obtener la concentración de los congéneres evaluados en picogramo de contaminante por gramo de suelo y ceniza (pg/g).

• Caña de azúcar

Las muestras de suelo de caña de azúcar, para suelo y cenizas fueron analizadas en el laboratorio acreditado Eurofins TestAmerica en Sacramento, Estados Unidos. El método de extracción y análisis usado fue el EPA 8290A “Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) by high-resolution gas chromatography/high-resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS)” (US-EPA, 2007) que consiste en el enriquecimiento isotópico, extracción Soxhlet y posterior análisis por GC-MS del extracto para obtener la concentración de los congéneres evaluados en nanogramo de contaminante por gramo de suelo y ceniza (ng/g).

Resultados y discusión

• Arroz y maíz

Para estimar la contribución de los cultivos de arroz y maíz al inventario de PCDD/PCDF se realizó un muestreo de suelos y cenizas en 6 sitios donde según el estudio previo (CAIA, 2019) se práctica la quema de biomasa. La información de los lugares se relaciona en la tabla 3. La programación del muestreo, en lugar y fechas, tuvo en cuenta las prácticas agrícolas de las haciendas. En los recorridos en campo para cultivo de maíz se encontró que no se estaba realizando quema; en cambio, la biomasa postcosecha se utiliza para alimentación animal. Las muestras de suelo para este cultivo corresponden a sitios en los que se realizaron quemas anteriormente. En vez de las dos muestras de cenizas, se tomó una muestra adicional en suelo de arroz y una muestra adicional de suelo en maíz (ver tabla 3).

Tabla 3. Caracterización de sitios de muestreo de arroz y maíz

Cultivo	Municipio	Área quemada (m ²)
Arroz	Juncal	79.2
Arroz	Saldaña	63.0
Arroz	Yopal	61.2
Arroz	Cúcuta	66.0
Maíz	Espinal	NA
Maíz	Yopal	NA

La caracterización de la biomasa de arroz utilizada durante los procesos de quema se muestra en la tabla 4. Estos datos permiten relacionar la información en campo (hectáreas quemadas) con las entradas que requiere el Toolkit 2013 en la categoría 6a, que corresponde a toneladas de biomasa quemadas en base seca.

Tabla 4. Caracterización de biomasa de arroz

Departamento	Municipio	Biomasa pre-quema (kg)	Biomasa post-quema (kg)	BQBSa (kg)	Ceniza (g)	Ceniza/BQBS (g/t)
Huila	Juncal	0.560	0.240	0.272	236	867,647
		0.740	0.240	0.425	389	915,294
		0.730	0.330	0.340	291	855,882
Tolima	Saldaña	0.680	0.290	0.332	288	868,778
		0.600	0.310	0.247	200	811,359
		0.730	0.370	0.306	251	820,261
Casanare	Yopal	0.400	0.280	0.102	060	588,235
		0.450	0.240	0.179	143	801,120
		0.520	0.320	0.170	122	717,647
Norte de Santander	Cúcuta	0.750	0.450	0.255	188	737,255
		0.680	0.475	0.174	103	591,105
		0.720	0.400	0.272	212	779,412

a Biomasa quemada en base seca.

Tanto las biomásas como la masa de ceniza se midieron en áreas de 0.16m². Considerando que una hectárea corresponde a 10,000m², en promedio una hectárea cultivada (y quemada) con arroz corresponde a 0.41 toneladas de biomasa quemada en base seca. Así mismo, en promedio cada tonelada de biomasa en base seca quemada produce 779,500 gramos de ceniza.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras tomadas para los cultivos de arroz y maíz se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Síntesis de resultados de laboratorio para suelos y cenizas de arroz y maíz

Departamento	Municipio	Cultivo	Área [m2]	BQBSa [t]	Concentración [pg EQT/g]	
					Suelo	Ceniza
Huila	Juncal	Arroz	79	0.171	0.408	0.116
Tolima	Saldaña	Arroz	63	0.116	0.490	0.078
Tolima	Saldaña	Arroz			0.709b	
Casanare	Yopal	Arroz	61	0.057	0.099	0.093
Norte de Santander	Cúcuta	Arroz	66	0.096	0.567	0.045
Tolima	Espinal	Maíz	No reportada	—	0.423	—
Casanare	Yopal	Maíz	No reportada	—	0.155	—
Casanare	Yopal	Maíz			0.153c	—

^a Biomasa quemada en base seca. ^b Muestra adicional de suelo posterior a el ejercicio de quema. ^c Muestra adicional de suelo, duplicado del ejercicio de quema.

Los resultados reportados se encuentran en equivalentes tóxicos (pg EQ-T/g) calculados a través de los factores de toxicidad internacionales WHO-TEF (Van den Berg et al., 2006). El valor promedio de la concentración de PCDD/PCDF en el suelo agrícola colombiano para arroz es de 0.391 pg EQT/g (0.099-0.567 pg EQT/g). El valor promedio de la concentración de PCDD/PCDF en el suelo agrícola colombiano para maíz es de 0.289 pg EQT/g (0.153-0.423 pg EQT/g). Estos resultados son comparables con los valores reportados internacionalmente para suelos de uso agrícola (0-4 pg EQT/g) y menor a los reportados para suelos urbanos o sitios de almacenamiento de químicos y plaguicidas, sugiriendo que las concentraciones encontradas en estos suelos corresponden a las actividades que allí se desarrollan.

La literatura indica que, durante la quema, debido al calentamiento del suelo, existen procesos tanto de formación como de volatilización de PCDD/PCDF (Black et al., 2012), de manera que se observan cambios en las proporciones del perfil de estas sustancias. La proporción usual de furanos en los ng de EQT de matrices no impactadas por procesos de quema es del 20% o menor, no obstante, la proporción en las muestras de suelo contenían entre el 33% y el 56% de furanos, por lo que en estas muestras se puede atribuir la presencia de PCDD/PCDF a procesos de quema a cielo

abierto (Suzuki et al., 2016). Un caso particular fue el suelo de maíz medido en Casanare, con proporción de furanos entre el 20% y el 27%, corroborando que en este territorio no se han practicado quemas recientemente como informaron los agricultores.

La prueba adicional en arroz permitió determinar el nivel de impacto que puede llegar a tener un proceso de quema. La muestra tomada en un tiempo posterior a la jornada de quema mostró una concentración mayor, con una diferencia de 0.219 g EQT por gramo de suelo. Al multiplicar esta diferencia en la concentración por la cantidad de suelo impactado (63 m2 a 10 cm de profundidad | Densidad del suelo: 1.4 ± 0.3 g/cm3) se calcula una liberación de 1.932 µg EQT. Este valor es comparable con 1.16 µg EQT, que se obtienen al usar el factor de emisión para suelos en cultivos impactados sobre la estimación de toneladas de biomasa en base seca quemadas para dicho ejercicio. Esto indica que los factores de la clase 6a1 reflejan adecuadamente la realidad nacional en el cultivo del arroz.

La muestra adicional en maíz demostró una precisión de las determinaciones con 0.6% de desviación entre los duplicados, lo que sirve como un criterio de confianza.

El valor promedio de la concentración de PCDD/PCDF en la ceniza producto de la quema es de 0.332 pg EQT/g. Esta concentración es menor a las reportadas por otros estudios de 1.1 pg EQT/g (Black et al., 2012), pero mayor a la encontrada en cultivos que se consideran no impactados por plaguicidas clorados de 0.069 pg EQT/g. Se considera importante realizar estudios adicionales que abarquen una muestra mayor de la población total y que permitan proponer ideas concluyentes al respecto.

- Caña de azúcar

Para determinar el estado actual del país y la contribución del sector de caña de azúcar al inventario de PCDD/PCDF se realizó un muestreo de suelos y cenizas en 16 sitios donde se practica la quema en precosecha. Adicionalmente se midieron las concentraciones de PCDD/PCDF en dos lugares considerados blanco. La información de los lugares se relaciona en la tabla 6.

Tabla 6. Caracterización de sitios de muestreo en caña de azúcar

Municipio	Área (ha)	Variedad	TCHa (ton)	No. Corte	Edad de corte (meses)
Miranda	2.5	CC 85-92	118.3	1	13.3
Corinto	2.2	CC 01-1228	116.9	7	13.1
Cartago	1.5	CC 01-1940	98.1	5	16.3
Cartago	2.3	CC 01-1940	79.8	3	15.9
Bugalagrande	12.0	CC 97-7170	163.9	1	13.5
Zarzal	8.0	CC 85-92	118.1	7	13.4
San Pedro	2.1	CC 85-92	122.7	19	12.6
Tuluá	10.0	CC 01-1940	130.3	2	11.8
Tuluá	18.5	CC 01-1940	101.8	2	14.0
Candelaria	30.0	CC 01-1940	154.0	3	14.2
Candelaria	32.2	CC 01-1940	151.9	4	14.2
Candelaria	9.6	CC 01-746	153.4	4	13.8
Candelaria	17.2	CC 01-1940	121.9	2	11.8
Ansermanuevo	1.9	CC 93-4418	93.5	4	13.9
Riofrio	13.0	CC 85-92	89.7	9	12.3
Florida	1.9	CC 93-4418	111.0	6	13.5
Palmira	22.4	-	-	-	-
Florida	1.4	-	-	-	-

a Toneladas de caña por hectárea.

La programación del muestreo, en lugar y fechas, tuvo en cuenta las prácticas agrícolas de las haciendas, las restricciones legales y el impacto de incendios recientes. La información sobre los procesos de quema, incluidas las condiciones meteorológicas más relevantes, se muestra en la tabla 10.

Durante la quema no se presentó precipitación en los sitios de muestreo, excepto en Remolinos que acumuló 0.1 mm. La precipitación acumulada más alta se registró en Agrorisa, con 5.2 mm, sin embargo, al comparar dicho valor con la precipitación anual de 1715 mm, no se considera significativa ni podría afectar la concentración de PCDD/PCDF en suelos y cenizas por procesos de lavado.

La caracterización de la biomasa utilizada durante los procesos de quema se muestra en la tabla 7. Estos datos muestran en detalle las características de la biomasa durante los procesos de quema estudiados y son los que permiten estimar la cantidad total de toneladas quemadas en caña de azúcar que requiere el Toolkit 2013 en el grupo 6.

Tabla 7. Información de los procesos de quema

Municipio	Condiciones meteorológicas durante la quema					Precipitación acumulada (mm) 24 horas después
	Hora Quema	Dirección viento	Velocidad viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Temperatura (°C)	
Miranda	17:00	ENE	0,9	51	29.6	0.5
Corinto	17:00	NNE	4,7	66	28	1.6
Cartago	15:28	NW	3,4	39	32.4	0.0
Cartago	16:43	WNW	2,5	34	32.4	1.5
Bugalagrande	22:09	SE	1,8	75	23.8	0.0
Zarzal	13:35	SSW	1,8	50	30.1	0.0
San Pedro	18:59	ENE	1	46	28.4	1.3
Tuluá	22:49	SSE	1,9	59	28.1	0.0
Tuluá	17:20	WNW	2,1	38	32.4	0.0
Candelaria	17:20	N	3,8	39	32	0,0
Candelaria	21:21	NE	4,1	67	26.1	0,0
Candelaria	22:51	NE	1,7	75	22.9	0,0
Candelaria	19:07	SSW	1,6	70	26.7	0,0
Ansermanuevo	16:38	WSW	0,8	56	29.9	5,2
Riofrio	16:36	SSW	1,7	49	30.2	1,3
Florida	16:30	N	2,1	57	29.5	1,3

Tabla 8. Caracterización de biomasa de caña de azúcar

Municipio	Área (ha)	Toneladas por hectárea de biomasa (ton)			% BNM ^a	Características de biomasa no molinable		TBQBS ^b (ton)
		No Molinable	Molinable	Total		Humedad (%)	(%) Masa consum	
Miranda	2.5	31.04	120.11	151.15	21%	35%	78%	39.4
Corinto	2.2	24.33	138.28	162.61	15%	43%	58%	17.5
Cartago	1.5	26.67	103.93	130.59	20%	44%	78%	17.5
Cartago	2.3	26.30	84.30	110.59	24%	43%	85%	29.2
Bugalagrande	12.0	30.52	168.33	198.85	15%	50%	71%	129.3
Zarzal	8.0	25.76	121.41	147.16	18%	52%	92%	90.7
San Pedro	2.1	25.26	132.22	157.48	16%	53%	84%	21.0
Tuluá	10.0	32.39	136.67	169.06	19%	48%	91%	154.6
Tuluá	18.5	18.63	112.33	130.96	14%	39%	73%	154.2
Candelaria	30.0	16.56	178.94	195.50	8%	40%	81%	242.9
Candelaria	32.2	28.59	167.22	195.82	15%	53%	85%	371.2
Candelaria	9.6	25.89	180.11	206.00	13%	43%	90%	128.2
Candelaria	17.2	25.63	130.74	156.37	16%	45%	90%	220.0
Ansermanuevo	1.9	17.93	93.52	111.45	16%	38%	94%	20.4
Riofrío	13.0	24.39	87.72	112.11	22%	33%	88%	186.2
Florida	1.9	20.22	116.59	136.82	15%	38%	83%	19.4

^a Porcentaje de biomasa no molinable. ^b Total de biomasa quemada en base seca.

La biomasa no molinable corresponde a las fracciones de hojas verdes, hojas secas y cogollos en las respectivas suertes. Se considera que la biomasa no molinable es la que se podría consumir durante los procesos de quema de los cultivos; no obstante, la combustión no es completa y solo un porcentaje de esta se consume. A través de esta información es que se estimó el factor de 11.64 toneladas (base seca) de biomasa quemada por hectárea.

La síntesis de los resultados de laboratorio se muestra en la tabla 9 a con-

tinuación.

Tabla 9. Síntesis de resultados de laboratorio para suelos y cenizas en caña de azúcar

Municipio	Concentración [pg EQT/g]			
	Muestra ^a	Suelo	Muestra ^a	Ceniza
Miranda	1	0.2419	19	0.0051
Corinto	2	0.3813	20	0.0049
Cartago	3	1.2679 ^b	21	0.0035
Cartago	4	0.0513	22	0.0070
Bugalagrande	5	0.1572	23	0.1006
Zarzal	6	0.4238	24	0.1125
San Pedro	7	0.1438	25	0.0859
Tuluá	8	0.0651	26	0.1079
Tuluá	9	0.2040	27	1.2487 ^b
Candelaria	10	0.1327	28	0.0850
Candelaria	11	0.4034	29	0.1441
Candelaria	12	0.2376	30	0.1301
Candelaria	13	0.2820	31	0.1565
Ansermanuevo	14	0.2003	32	0.4530 ^b
Riofrío	15	0.2546	33	0.0110
Florida	16	0.0447	34	0.0106
Palmira	17 ^c	0.0280		—
Florida	18 ^c	0.3149		—

^a Identificador de las muestras sufijo al código 320-55324 en el reporte homónimo de TestAmerica. ^b Datos anómalos, es decir, que no corresponden a la misma población estadística que las demás muestras. ^c Blancos, es decir, suelos donde no se realizaron quemas previas a la toma de muestra. Estos datos no pertenecen a la población de las muestras 1 a 16.

Los valores reportados incluyen las concentraciones detectadas, aún por debajo del límite de comunicación (RL). De acuerdo con directivas internacionales, el reporte de las concentraciones de PCDD/PCDF requiere un concepto sobre los límites por utilizar (Comisión Europea, 2017). Los resultados se reportaron usando el concepto de límite inferior, donde la concentración de cada congéner no cuantificado se toma como cero. La mayoría de congéneres cuantificados se encuentran por debajo del límite de comunicación (RL), implicando valores inexactos por su alto coeficiente de variación. Solo unos pocos de los congéneres cuantificados superan los límites de cuantificación.

Los resultados obtenidos se utilizaron para calcular la concentración en equivalentes tóxicos (pg EQT/g) a través de los factores de toxicidad internacionales I-TEF (Kutz, Barnes, Bottimore, Greim & Bretthauer, 1990) y se analizaron como una población estadística. El análisis de datos anómalos mostró que las muestras 3 (suelo), 27 y 32 (cenizas) no pertenecen a la misma población estadística, lo cual se discute en los apartados a continuación.

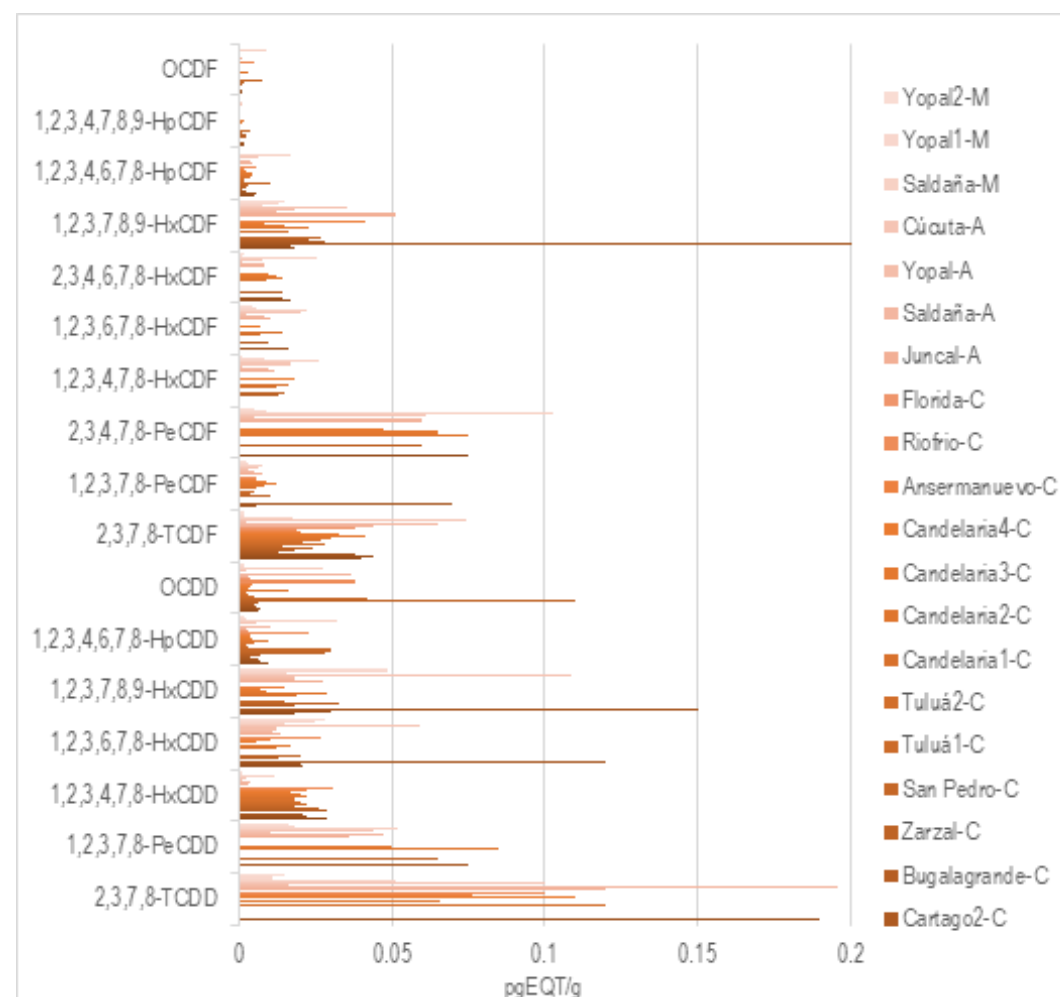
El valor promedio de la concentración de PCDD/PCDF en el suelo agrícola colombiano para caña de azúcar es de 0.215 pg EQT/g (0.045-0.424 pg EQT/g). Este resultado es comparable con valores reportados internacionalmente para suelos de uso agrícola (0-4 pg EQT/g) y menor a los reportados para suelos urbanos o sitios de almacenamiento de químicos y plaguicidas, sugiriendo que las concentraciones encontradas en estos suelos corresponden a la actividad que allí se desarrolla. La literatura indica que, durante la quema, debido al calentamiento del suelo, existen procesos tanto de formación como de volatilización de PCDD/PCDF (Black et al., 2012), de manera que se observan cambios en las proporciones del perfil de estas sustancias. En los blancos, el contaminante en mayor proporción es la dioxina OCDD y menos del 20% de los EQT pueden atribuirse a furanos; sin embargo, el perfil cambia en las muestras de suelo con procesos de quema, donde los furanos explican hasta el 85% de los EQT encontrados. En otras palabras, si los furanos en muestras de suelo superan el 40% de los PCDD/PCDF encontrados, se puede atribuir su presencia a impactos por procesos de quema a cielo abierto (Suzuki et al., 2016), lo que se evidenció en los suelos en los que se ha quemado caña de azúcar.

El valor promedio de la concentración de PCDD/PCDF en la ceniza producto de la quema es de 0.069 pg EQT/g. Esta concentración es un orden de magnitud menor a las reportadas por otros estudios (Black et al., 2012). Si se asume que durante un proceso de combustión se producen 0.5g ceniza/m³ aire (Wang, Wang, Xu & Zhu, 2017), la concentración estimada en aire sería de 0.034 pg EQT/m³, que es menor al ruido de fondo reportado en aire, de 0.05 pg EQT/m³ (Lorber et al., 1998). Estos resultados se deben a que el laboratorio TestAmerica utilizó una quinta parte de la porción de la muestra usual (2 g en vez de 10 g) para la determinación de PCDD/PCDF en cenizas, lo cual derivó en límites estimados de detección (EDL) de hasta 2.4 pg/g. A dichos EDL no es posible determinar la concentración usual de PCDD/PCDF en ceniza, de 1.1 pg EQT/g (Black et al., 2012); es decir, que las bajas concentraciones reportadas en la mayoría de las muestras de ceniza se deben a ensayos de sensibilidad menor a la requerida. Para dos

muestras de ceniza analizadas con la sensibilidad suficiente (EDL ≈ 0.28 pg/g), las concentraciones reportadas fueron de 0.453 pg EQT/g y 1.249 pg EQT/g, que están acordes con la concentración usual y que, por ende, sugieren que el factor de emisión del Toolkit 2013, de 0.05 µg EQT/ton quemada, que está basado en esta concentración, describe adecuadamente la realidad nacional.

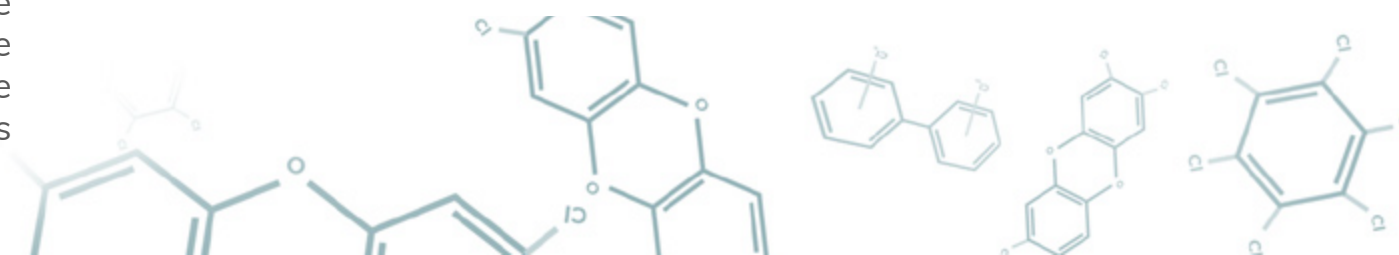
Finalmente, el perfil de dioxinas y furanos en los muestreos de suelo para los cultivos analizados, se presenta en la gráfica 1. Para este tipo de prácticas, se encuentran más dioxinas en comparación con los furanos y la sustancia más común es la 2, 3, 7, 8-TCDF, la cual se encontró en todos los muestreos.

Gráfica 1. Liberación de dioxinas y furanos en pg EQT/g para las muestras de suelo

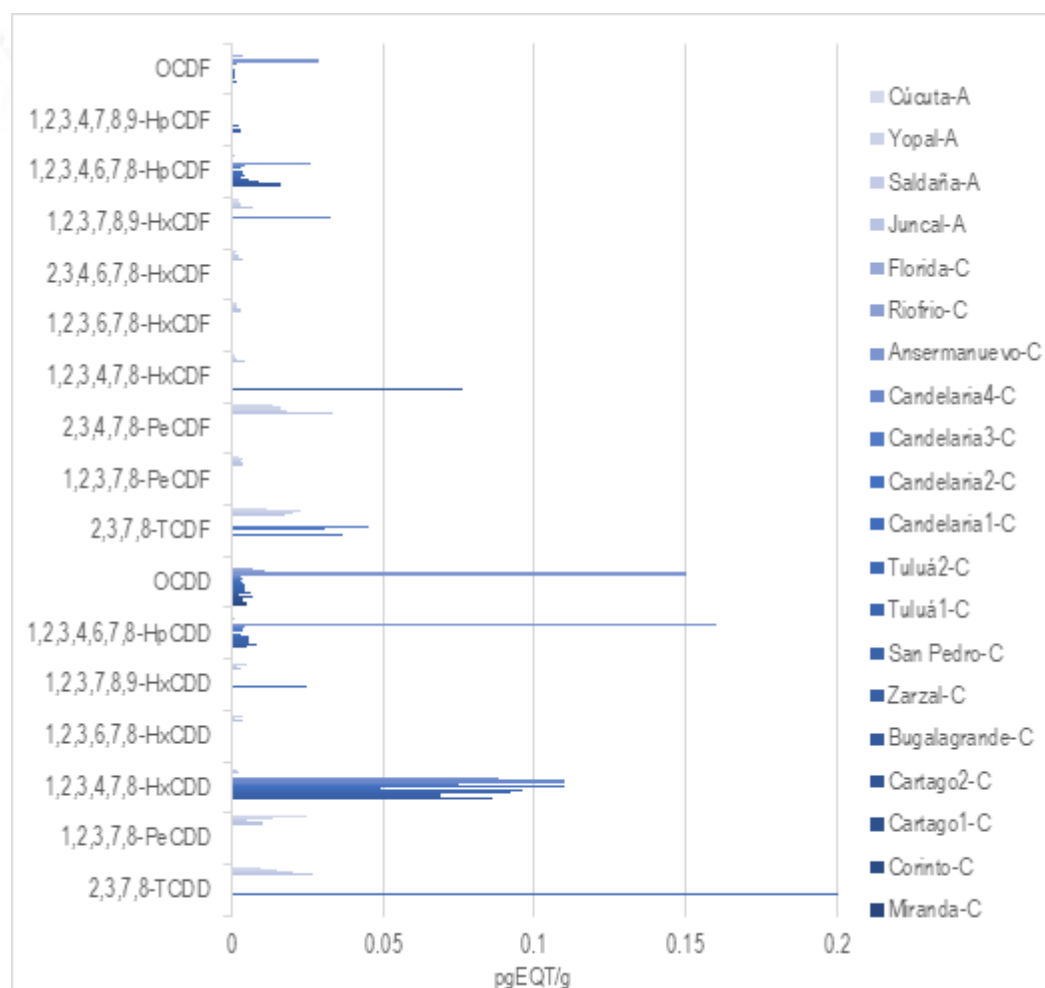


A, cultivo de arroz; C, cultivo de caña de azúcar; y M, cultivo de maíz.

En cuanto al perfil de dioxinas y furanos en los muestreos de ceniza para los cultivos analizados, se presenta en la gráfica 2, al igual que en suelo las sustancias más comunes son dioxinas en comparación con los furanos, en este caso la sustancia más común es la OCDD, la cual se encontró en todos los muestreos.



Gráfica 2. Liberación de dioxinas y furanos en pg EQT/g para las muestras de ceniza



A, cultivo de arroz; C, cultivo de caña de azúcar; y M, cultivo de maíz.

Conclusiones y recomendaciones

La producción de arroz es responsable aproximadamente del 24.8% del inventario de PCDD/PCDF en Colombia para un total de 68.490 g EQT emitidos al año. La producción de maíz es responsable aproximadamente del 7.3% del inventario de PCDD/PCDF en Colombia para un total de 20.037 g EQT emitidos al año. La caña de azúcar es responsable aproximadamente del 1.7% del inventario de PCDD/PCDF en Colombia para un total de 4.588 g EQT emitidos al año.

La concentración de PCDD/PCDF encontrada en este estudio para suelo agrícola colombiano es de 0.391 pg EQT/g para arroz, de 0.289 pgEQT/g para maíz y de 0.215 pg EQT/g para caña de azúcar. Estos resultados son comparables con valores internacionales y con los valores usados para calcular los factores de emisión del Toolkit 2013, por lo cual se considera que dichos factores reflejan adecuadamente la realidad nacional. Las concentraciones también demuestran indicios de un mayor impacto en el sector del arroz, y de un impacto menor en el sector de caña de azúcar, lo cual también coincide con lo propuesto por el Toolkit 2013.

Aunque los valores encontrados para PCDD/PCDF no son mayores a los reportados internacionalmente, ello no implica que las quemas de biomasa sean inocuas, pues existen otros contaminantes como material particulado (PM), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC); que pueden encontrarse en las emisiones por quema de biomasa y que también son relevantes en salud.

Se recomienda hacer un ejercicio de medición en las calderas que utilizan residuos del arroz (tamo y cascarilla) y de la caña de azúcar (bagazo) como biomasa para aprovechamiento energético, con el fin de corroborar las liberaciones de generación de energía y calor, y direccionar las decisiones que procuren una reducción en estas liberaciones. También se deben tomar medidas de control para asegurar la calidad de los resultados del ejercicio.

Para reducir las liberaciones de PCDD/PCDF por quemas de biomasa en el sector de arroz, se recomienda implementar estrategias que faciliten la disminución de las prácticas de quema en este sector. Así mismo, mitigar el uso de plaguicidas clorados y generar acompañamiento que evite el uso de sustancias prohibidas o no diseñadas para este cultivo.

Para reducir las liberaciones de PCDD/PCDF por quemas de biomasa en el sector de caña de azúcar, se recomienda continuar con la disminución de las prácticas de quema en este sector. La implementación de cosecha en verde ha demostrado, de acuerdo con los procesos de mejora actuales, ser una opción viable la cual debe ir acompañada con procesos sociales que mitiguen el posible impacto económico sobre las comunidades de corteros y cosechadores.

Referencias

- Amanda L. & Northcross, S. K. (2012). Dioxin inhalation doses from wood combustion in indoor cookfires. *Atmospheric Environment*, 49, 415-418.
- Asocaña. (2017). Informe anual. Sector Agroindustrial de la caña 2016-2017. Obtenido de <https://www.asocana.org/documentos/2252017-AC412FF9-00FF00,000A000,878787,C3C-3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,A3C4B5,D2D2D2.pdf>
- Black, R. R., Meyer, C. P., Yates, A., Van Zwieten, L., Chittim, B. G. & Mueller, J. F. (2012). Release of PCDD/PCDF to air and land during open burning of sugarcane and forest litter over soil fortified with mass labelled PCDD/PCDF. *Atmospheric Environment*, 59, 125-130.
- Black, R., Meyer, C. Touati, A., Gullett, B., Fiedler, H. & Mueller, J. (2012). Emission factors for PCDD/PCDF and dl-PCB from open burning of biomass. *Environment International*, 38, 62-66.
- CAIA. (2019). Realizar un diagnóstico sobre los aspectos de orden tecnológico, de producción y ambientales que se deben considerar en el inventario de dioxinas y furanos que adelanta el MADS en sectores agrícolas e industriales. Bogotá: PNUD.
- Cenicaña. (2019). Informe de muestreo de cenizas y suelo en cultivos de caña de azúcar.
- Comisión Europea. (5 de abril de 2017). Reglamento (UE) 2017/644. Diario Oficial de la Unión Europea, págs. L92/2-L92/34.
- Comisión Europea. (3 de Mayo de 2017). Reglamento (UE) 2017/771. Diario Oficial de la Unión Europea, págs. L115/22-L115/42.
- EPA. (s. f.). Método 1613. Dioxinas y furanos tetra-a octa-clorinados por dilución isotópica y HRGC/HRMS.
- IDEAM. (2007). Resolución n.o 0062. Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país.
- ISO. (2002). 10381-1 Soil quality —Sampling— Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.
- Lorber, M., Pinsky, P., Gehring, P., Braverman, C., Winters, D. & Sovocool, W. (1998). Relationships between dioxins in soil, air, ash, and emissions from a municipal solid waste incinerator emitting large amounts of dioxins. *Chemosphere*, 37, 2173-2197.
- Minagricultura. (2016). Agronet. Obtenido de Información del 3.er Censo Nacional Agropecuario. Disponible en <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Minagricultura. (2017). EVA. Obtenido de Tablas Anuario.
- Minambiente. (Febrero de 2019). "Informe sobre "Monitoreo y medición de dioxinas y furanos en el sector de la caña de azúcar en Colombia". Obtenido de consultoría en Minambiente de Carolina Ramírez
- Müller, J., Muller, R., Goudkamp, K., Shaw, M., Mortimer, M., Haynes, D., . . . Moore, M. (2004). Dioxins in soil in Australia, National Dioxins Program Technical Report n.o 5. Canberra: Australian Government, Department of the Environment and Heritage.
- Nigel, W. & Tame, B. Z. (2007). Formation of dioxins and furans during combustion of treated wood. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 384-408.
- Patel, N. T. (1995). General principles of good sampling practice. The Royal Society of Chemistry, 33-34.
- Suzuki, G., Someya, M., Matsukami, H., Tue, N. M., Uchida, N., Tuyen, L. H., ... Takigami, H. (2016). Comprehensive evaluation of dioxins and dioxin-like compounds in surface soils and river sediments from e-waste-processing sites in a village in northern Vietnam: Heading towards the environmentally sound management of e-waste. *Emerging Contaminants*, 2, 98-108.
- UNEP. (2013). Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de vertidos de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el artículo 5 del Convenio de Estocolmo. Stockholm convention.
- US-EPA. (1994). Tetra-through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS. Office of Water Engineering and Analysis Division.
- US-EPA. (2007). Method 8290A. En *Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods* (pp. 8290A-1 - 8290A-72).
- Van den Berg, M., Birnbaum, L., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., ... Peterson, R. (2006). The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicological Sciences*, 93(2), 223-241.
- Kutz, F., Barnes, D., Bottimore, D., Greim, H. & Bretthauer, E. (1990). The international toxicity equivalency factor (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxins and related compounds. *Chemosphere*, 20, 751-757.
- Wang, H., Wang, L., Xu, B. & Zhu, H. (2017). Experimental study on extinction performance of carbon nanotubes smoke to infrared radiation. *Conference on New Material and Chemical Industry*.

Anexo 5

Nivel de confianza en los factores de actividad y emisión en el proceso de actualización del Inventario de COP no intencionales

En el presente anexo, se presentan los niveles de confianza de los factores actividad y emisión.

En los factores de actividad, el nivel de confianza se estimó por medio de la procedencia de los datos, a partir de la siguiente clasificación:

- Alto: para datos aportados directamente por los productores/consumidores/gestores
- Medio: para datos recopilados por entidades gubernamentales/gremios
- Bajo: para datos estimados a partir de información secundaria

Para determinar la procedencia y nivel de confianza de los factores de emisión se recomienda consultar el “Kit de herramientas para la identificación y cuantificación de vertidos de dioxinas, furanos y otros COP no intencionales bajo el artículo 5 del Convenio de Estocolmo-Enero de 2013 PNUMA”. En aquellos casos donde halla * son factores de emisión estimados o validados nacionalmente, cuyos estudios se encuentran en los anexos 2, 3 y 4 del presente documento.

Grupo 1

Cat.	Clase		Factor		Fuente de información consultada
			Actividad	Emisión	
a	1	Tecnología simple de combustión, sin SCCA	Medio	Medio	Superservicios
	2	Combustión controlada, mínimo SCCA	Medio	Medio	
	3	Combustión controlada, buen SCCA	Medio	Medio	
	4	Alta tecnología de combustión, SCCA sofisticado	Medio	Medio	
b	1	Tecnología simple de combustión, sin SCCA	Medio	Bajo	IDEAM, autoridades ambientales
	2	Combustión controlada, mínimo SCCA	Medio	Bajo	
	3	Combustión controlada, buen SCCA	Medio	Bajo	
	4	Alta tecnología de combustión, SCCA sofisticado	Medio	Bajo	
c	1	Combustión por lotes no controlada, sin SCCA	Medio	Bajo	IDEAM, autoridades ambientales
	2	Combustión por lotes controlada, sin o mínimo SCCA	Medio	Bajo	
	3	Combustión por lotes controlada, buen SCCA	Medio	Medio	
	4	Alta tecnología continua, SCCA sofisticado	Medio	Medio	
d	1	Combustión no controlada de tipo lote, sin SCCA	No aplica	Bajo	No aplica
	2	Combustión controlada tipo lote, sin SCCA o con SCCA mínimos	No aplica	Medio	
	3	Combustión controlada, continua, de alta tecnología, con SCCA sofisticados	No aplica	Medio	
e	1	Hornos antiguos, por lotes, sin/escaso SCCA	Bajo	Medio	Empresas de servicios públicos
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	Bajo	Medio	
	3	Estado del arte, SCCA completo	Bajo	Medio	

Grupo 1

Grupo 2

Cat.	Clase	Factor		Fuente de información consultada	
		Actividad	Emisión		
f	1	Antiguos hornos, por lotes, sin/escaso SCCA	Medio	Medio	ICA
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	Medio	Medio	
	3	Estado del arte, SSCA completo	Medio	Medio	
g	1	Hornos antiguos, por lotes, sin/escaso SCCA	Medio	Medio	INVIMA y empresas prestadoras de servicios de cremación de animales
	2	Actualizado, continuo, algún SCCA	Medio	Medio	
	3	Estado del arte, SSCA completo	Medio	Medio	
a	1	Alto reciclado de desechos, incluyendo materiales contaminados con aceite, sin SCCA	Medio	Medio en aire/bajo en residuo	Woldsteel association, autoridades ambientales y empresas
	2	Escaso uso de desechos, planta bien controlada	Medio	Alto en aire/bajo en residuo	
	3	Alta tecnología, reducción de emisiones	Medio	Alto en aire/bajo en residuo	
b	1	Sin limpieza de gases	Alto	Medio	UPME y empresas
	2	SSCA con postcombustión/remoción de polvo	Alto	Medio	
c	Plantas de hierro y acero				Woldsteel association, ANDI, autoridades ambientales y empresas
	1	Chatarra sucia, precalentamiento de chatarra, controles limitados	Alto	Alto en aire/medio en residuo	
	2	Chatarra limpia/hierro virgen o chatarra sucia, postcombustión, filtro de tela	Alto	Alto	
	3	Chatarra limpia/hierro virgen o chatarra sucia, HAE equipado con SCCA diseñado para bajas emisiones de PCDD/PCDF, HBO	Alto	Alto en aire/medio en residuo	
	4	Altos hornos con SCCA	Alto	Alto	
	Fundición de hierro				DANE y autoridades ambientales
	1	Cubilote de aire frío o cubilote de aire caliente o tambor rotatorio, sin SCCA	Medio	Medio	
	2	Tambor rotatorio - filtro de tela o scrubber húmedo	Medio	Medio en aire/bajo en residuo	
	3	Cubilote de aire frío, filtro de tela o scrubber húmedo	Medio	Medio en aire/bajo en residuo	
	4	Cubilote de aire caliente u horno de inducción, filtro de tela o scrubber húmedo	Medio	Medio	
	Plantas de galvanizado por inmersión en caliente				DANE y autoridades ambientales
	1	Instalaciones sin SCCA	Medio	Medio en aire/bajo en residuo	
	2	Instalaciones sin etapa de desengrasado, buen SCCA	Medio	Medio en aire/bajo en residuo	
3	Instalaciones con etapa de desengrasado, buen SCCA	Medio	Medio en aire/bajo en residuo		

Grupo 2

Cat.	Clase	Factor		Fuente de información consultada	
		Actividad	Emisión		
d	1	Cu secundario. Tecnología básica	Medio	Medio en aire y agua/bajo en residuo	DANE y autoridades ambientales
	2	Cu secundario. Bien controlada	Medio	Alto en aire/medio en agua/bajo en residuo	
	3	Cu secundario - control optimizado para PCDD/PCDF	Medio	Medio	
	4	Fundición y colada de Cu/aleaciones de Cu	Medio	Medio	
	5	Cu primario, bien controlado, con alimentación de algunos materiales secundarios	Medio	Alto en aire/medio en agua	
	6	Fundición primaria de Cu puro sin alimentación de materiales secundarios	Medio	Medio	
e	1	Procesamiento de chatarra de Al, tratamiento mínimo de materiales de entrada, remoción simple de polvo	Medio	Medio	DANE y autoridades ambientales
	2	Tratamiento de chatarra, bien controlado, filtro de tela, inyección de cal	Medio	Alto en aire/medio en residuo	
	3	Proceso optimizado para reducción de PCDD/PPCDF	Medio	Medio	
	4	Secado de virutas (plantas simples)	Medio	Medio	
	5	Desengrasado térmico, hornos rotatorios, postcombustión, filtros de tela	Medio	Medio	
	6	Plantas de Al primario	Medio	No aplica	
f	1	Producción de Pb a partir de chatarra conteniendo PVC	Medio	Medio	DANE y autoridades ambientales
	2	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ , algún SCCA	Medio	Alto	
	3	Producción de Pb a partir de chatarra libre de PVC/Cl ₂ en hornos de alta eficiencia, con SCCA incluyendo scrubbers	Medio	Medio	
	4	Producción de plomo primario puro	Medio	Medio	
g	1	Horno sin control de polvo	Medio	Medio	DANE y autoridades ambientales
	2	Hornos de briqueteado en caliente/Hornos rotatorios, control básico	Medio	Alto en aire/medio en residuo	
	3	Control integral	Medio	Alto en aire/medio en residuo	
	4	Fusión de cinc y producción primaria de cinc	Medio	Medio	
h	1	Desengrasado térmico de virutas	Medio	Alto	DANE y autoridades ambientales
	2	Hornos de fundición simples	Medio	Medio	
	3	Chatarra mezclada, hornos de inducción, filtro de bolsa	Medio	Alto en aire/medio en residuo	
	4	Equipamiento sofisticado, insumos limpios, buen SCCA	Medio	Alto	

Grupo 2

Grupo 3

Cat.	Clase	Factor		Fuente de información consultada	
		Actividad	Emisión		
i	1	Producción por tratamiento térmico de MgO/C en Cl2. Sin tratamiento de efluentes, tratamiento de gas limitado	No se realiza en el país	Medio	DANE e ICA
	2	Producción por termotratamiento de MgO/C en Cl2. Control integral de la contaminación	No se realiza en el país	Alto en aire y agua/medio en residuo	
	3	Proceso de reducción térmica	No se realiza en el país	Alto	
j	1	Procesos térmicos de metales no ferrosos. Chatarra contaminada, sin sistema de SCCA o con sistema simple	Medio	Medio	UPME, y autoridades ambientales
	2	Procesos térmicos de metales no ferrosos. Chatarra limpia, filtros de tela/inyección de cal/sistemas de postcombustión	Medio	Medio	
k	1	Plantas trituradoras de metales	Bajo	Alto	DIAN y Bacex
l	1	Quema de cables a cielo abierto	No fue posible estimar	Medio	Autoridades ambientales
	2	Quema de placas de circuitos a cielo abierto	No fue posible estimar	Medio	
	3	Horno básico con postcombustión y depurador húmedo	No fue posible estimar	Medio	
	4	Quema de motores eléctricos y zapatas de freno, etc. Equipado con postcombustión	No fue posible estimar	Medio	
a	1	Calderas de energía co-alimentadas con combustible fósil y desechos	Medio	Bajo	UPME
	2	Calderas de energía alimentadas con carbón	Medio	Medio en aire/alto en residuo	
	3	Calderas de energía alimentadas con turba	Medio	Bajo	
	4	Calderas de energía alimentadas con combustible pesado	Medio	Medio	
	5	Calderas de energía alimentadas con esquisto bituminoso	Medio	Bajo	
	6	Caldera de energía alimentadas con combustibles ligeros/gas natural	Medio	Alto	
b	1	Calderas de energía alimentadas con biomasa mixta	Medio	Medio	UPME
	2	Calderas de energía alimentadas con madera limpia	Medio	Alto	
	3	Calderas alimentadas con paja	Medio	Medio	
	4	Calderas alimentadas con bagazo, cáscara de arroz, etc.	Medio	Bajo	
c	1	Calderas, motores/turbinas y antorchas que queman biogás/gas de vertederos	Bajo	Medio	Empresas administradoras de rellenos sanitarios

Grupo 3

Grupo 4

Cat.	Clase		Factor		Fuente de información consultada
			Actividad	Emisión	
d	1	Estufas alimentadas con madera/biomasa contaminada	Medio	Bajo	UPME
	2	Estufas alimentadas con madera/biomasa virgen	Medio	Alto*	
	3	Estufas alimentadas con paja	Medio	Bajo	
	4	Estufas alimentadas con carbón vegetal	Medio	Bajo	
	5	Fogón abierto (3 piedras) alimentado con madera virgen	Medio	Bajo	
	6	Estufas simples alimentadas con madera virgen	Medio	Bajo	
e	1	Estufas co-alimentadas con carbón con alto contenido de cloro/residuos/biomasa	Medio	Bajo	UPME
	2	Estufas co-alimentadas carbón/residuos/biomasa	Medio	Bajo	
	3	Estufas alimentadas con carbón	Medio	Medio	
	4	Estufas alimentadas con turba	Medio	Medio	
	5	Estufas alimentadas con combustible líquido	Medio	Medio	
	6	Estufas alimentadas con gas natural o GLP	Medio	Medio	
a	1	Hornos de eje vertical	Medio	Alto	Minminas, UPME y autoridades ambientales
	2	Hornos antiguos vía húmeda, temperatura PES >300 °C	Alto	Alto	
	3	Hornos vía húmeda, temperatura PES/FT 200 a 300 °C	Alto	Alto	
	4	Hornos vía húmeda, temperatura PES/FT <200 °C y todo tipo de hornos vía seca con precalentador /precalcinador, T<200 °C	Alto	Alto	
b	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres	Medio	Medio	ANM, DANE y autoridades ambientales
	2	Buena remoción de polvo	Medio	Alto	
c	1	Sin tratamiento de emisiones y uso de combustibles contaminados	Medio	Alto	DANE, CAEM y autoridades ambientales
	2	Sin tratamiento de emisiones y uso de combustibles no contaminados; Con tratamiento de emisiones y uso de cualquier tipo de combustible; Sin tratamiento de emisiones, pero "estado del arte" en el control de procesos.	Medio	Medio	
d	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres	Medio	Medio	DANE y autoridades ambientales
	2	Buena remoción de polvo	Medio	Medio	
e	1	Ciclón/sin control de polvo, combustibles contaminados o pobres	Medio	Medio	DANE y autoridades ambientales
	2	Buena remoción de polvo	Medio	Medio	
f	1	Plantas mezcladoras sin depuración de gases	Medio	Medio	DANE y ANI
	2	Plantas mezcladoras con filtro de tela, scrubber húmedo	Medio	Medio	
g	1	Fraccionamiento térmico (proceso 1)	No se realiza en el país	Medio	ECOPETROL
	2	Pirolisis de esquistos bituminosos	No se realiza en el país	Medio	

Grupo 5

Cat.	Clase	Factor		Fuente de información consultada	
		Actividad	Emisión		
a	1	Combustible conteniendo plomo	Alto	Alto	Mintransporte, Minambiente y UPME
	2	Combustible sin plomo, sin catalizador	Alto	Medio	
	3	Combustible sin plomo, con catalizador	Alto	Medio	
	4	Etanol con catalizador	Alto	Bajo	
b	1	Combustible conteniendo plomo	Bajo	Bajo	Mintransporte, Minambiente y UPME
	2	Combustible sin plomo	Bajo	Bajo	
c	1	Diésel común	Alto	Medio	Mintransporte, Minambiente y UPME
	2	Biodiesel	Alto	Medio	
d	1	Todos los tipos	Alto	Medio	UPME

Grupo 6

a	1	Quema de residuos agrícolas en el campo, de cereales y otros rastrojos de cultivos, impactados, condiciones de quema deficientes	Medio	Medio	Gremios agrícolas, Asocaña, Fedearroz y Minagricultura
	2	Quema de residuos agrícolas en el campo, de cereales y otros rastrojos de cultivos, no impactados	Medio	Medio	
	3	Quema de caña de azúcar	Alto	Alto	
	4	Incendios forestales	Medio	Alto*	IDEAM
	5	Incendios de praderas y sabanas	Medio	Alto	IDEAM
b	1	Quema de vertedero de residuos (compactados, húmedos, alto contenido de C org.)	Bajo	Medio	DNBC, UNGRD y superservicios
	2	Incendios accidentales de viviendas, fábricas	Alto	Medio	DNBC y UNGRD
	3	Quema a cielo abierto de residuos domésticos	Bajo	Medio	DNP
	4	Incendios accidentales de vehículos (por unidad de vehículo)	Alto	Medio	DNBC y UNGRD
	5	Quema a cielo abierto de madera (construcción/demolición)	No fue posible estimar	Medio	No fue posible estimar

Grupo 7

a	Todos	Fábricas de pulpa y papel	Alto	Medio	ANDI y empresas productoras
b	Todos	Productos químicos inorgánicos clorados	Medio	Bajo	DANE
c	Todos	Productos químicos alifáticos clorados	Medio	Bajo	DANE
d	Todos	Productos químicos aromáticos clorados (por ton producto)	Medio	Medio	DANE
e	Todos	Otros productos químicos clorados y no clorados (por tonelada de producto)	Medio	Medio	DANE
f	Todos	Refinerías de petróleo	Alto	Medio	Ecopetrol
g	Todos	Plantas textiles (por ton textil)	Medio	Bajo	DANE y empresas productoras

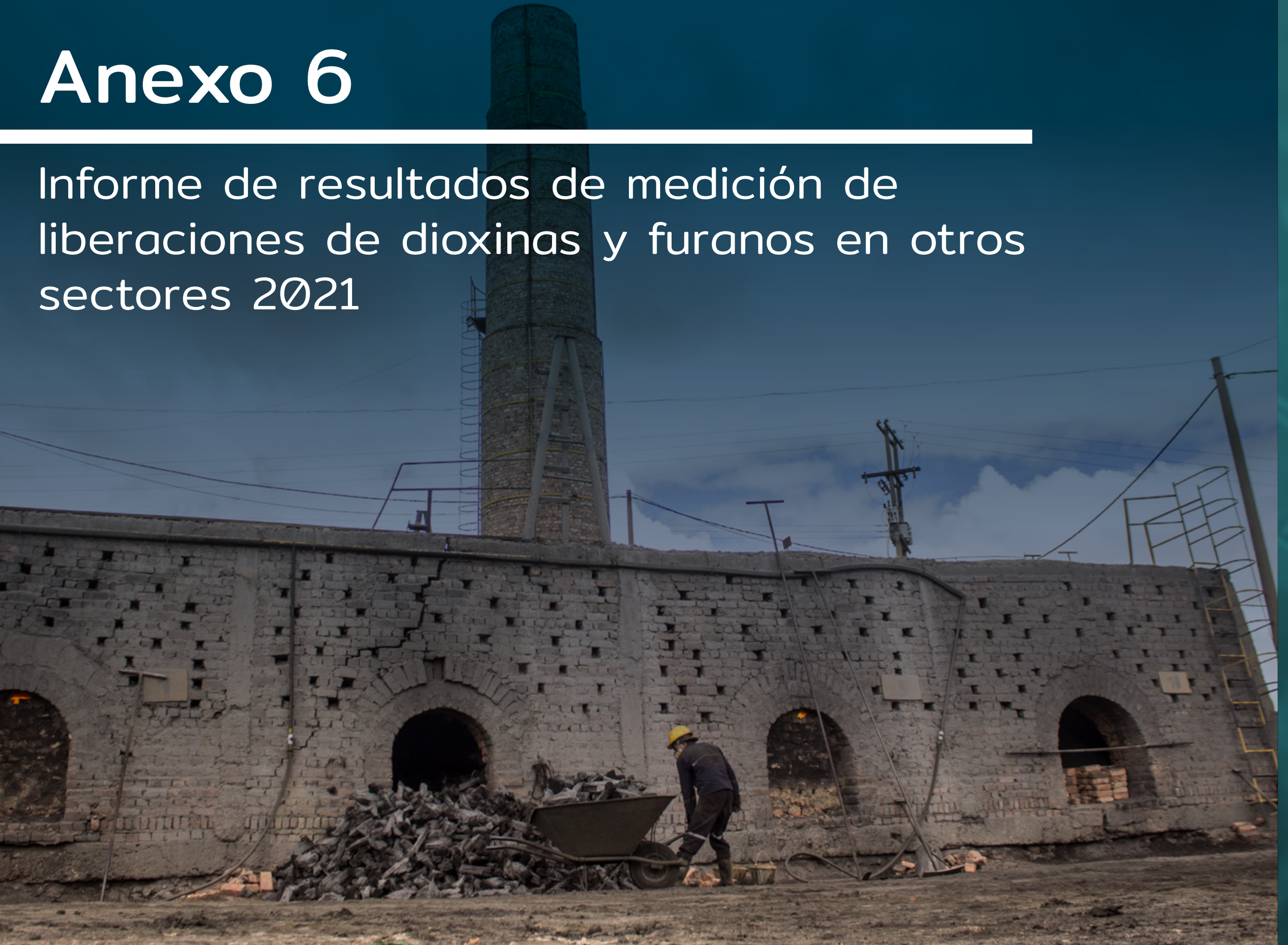
Grupo 8

Grupo 9

Cat.	Clase		Factor		Fuente de información consultada
			Actividad	Emisión	
h	T o - dos	Plantas procesadoras de cueros	Medio	Bajo	DANE y empresas productoras
a	1	Combustible altamente contaminado (tratado con PCP)	Medio	Bajo	DANE, FNC, Fedemaderas y Fedearroz
	2	Combustible moderadamente contaminado	Medio	Bajo	
	3	Combustible limpio	Medio	Bajo	
b	1	Sin control (por cremación)	Bajo	Alto	Fenalco y DANE
	2	Control medio o cremaciones al aire libre (por cremación)	Bajo	Medio	
	3	Control óptimo (por cremación)	Bajo	Bajo	
c	1	Combustibles contaminados	Medio	Bajo	DANE y autoridades ambientales
	2	Combustible limpio, sin postcombustión	Medio	Bajo	
	3	Combustible limpio, con postcombustión	Medio	Bajo	
d	1	Textiles pesados, tratados con PCP, etc.	Medio	Bajo	DIAN
	2	Textiles normales	Medio	Bajo	
e	1	Cigarro (por millón unidades)	Medio	Bajo	DANE
	2	Cigarrillo (por millón unidades)	Medio	Bajo	
a	1	Desechos peligrosos	Medio	Bajo	IDEAM
	2	Desechos mezclados	Medio	Bajo	Superservicios
	3	Desechos domésticos	Medio	Alto*	
b	1	Contribuciones domésticas mixtas e industriales específicas	Bajo	Alto	IDEAM
	2	Contribuciones urbanas e industriales	Bajo	Alto	
	3	Contribuciones domésticas	Bajo	Alto	
c	1	Aguas residuales domésticas e industriales mezclados	Bajo	Bajo	IDEAM
	2	Aguas residuales urbanas y peri-urbanas	Bajo	Bajo	
	3	Ambientes remotos	Bajo	Bajo	
d	1	Residuos orgánicos separados de residuos mezclados	Medio	Alto	DANE e ICA
	2	Compost limpio	Medio	Alto	
e	1	Todas las fracciones	Medio	No aplica	IDEAM
10f	T o - dos	PCB en equipos	Alto	Medio	IDEAM

Anexo 6

Informe de resultados de medición de liberaciones de dioxinas y furanos en otros sectores 2021



Introducción

En el marco del Proyecto PNUD 98842, se realizaron seis mediciones de PCDD/PCDF en los sectores de la industria textil (1), inmunizadoras de madera (2), producción de coque (2) y industria papelerera (1), que son analizados en el presente inventario tomado como referencia los datos obtenidos a partir del Toolkit 2013 (UNEP, 2013).

En todos los casos se reportan los resultados de acuerdo a la regla de decisión de límite superior del Reglamento UE 2017/644, que estipula que para los congéneres no cuantificados (no detectados o bajo el límite de cuantificación) el valor a utilizar corresponde al límite de cuantificación establecido para el método. Los factores de equivalencia tóxica se tomaron directamente del Capítulo II, Artículo 5 de la Resolución 909 de 2008.

Los valores reportados en aire (ng-EQT/m³) corresponden a la concentración de PCDD/PCDF a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg) con corrección de O₂ al 11%. El volumen de gas utilizado corresponde al volumen de referencia reportado por la empresa que realizó la medición. También se estimó para esta matriz el factor de emisión, que relaciona los contaminantes con la cantidad de insumo producido durante una hora, tiempo reportado del muestreo.

Así mismo, se reportan las concentraciones encontradas en ceniza (ng-EQT/kg de ceniza) y el factor de emisión a los residuos para lo cual se estimaron las cenizas como un 10% del combustible alimentado (UNEP, 2013). La metodología de muestreo, así como los materiales y métodos, son los mismos reportados en los anexos 2 y 3, del presente inventario.

Resultados y discusión

Industria papelerera

Medición adelantada en una empresa ubicada en el departamento de Antioquia, la cual realiza fabricación de papel y cartón a partir de material 100% reciclado, dicha empresa cuenta con sistema de hidropulper, el cual prepara la pulpa que ingresa a los formadores y secadores del molino, generando las bobinas de papel, en este último proceso se utiliza el vapor de la caldera; luego de este proceso el papel llega al área de transformación, donde se elabora cartón compacto, single face, láminas de cartón corrugado y cajas de cartón corrugado.

Esta empresa posee una caldera JCT (600BHP) para generar el vapor necesario, la cual emplea carbón como combustible, con una producción de 2.71 toneladas de cartón /hora y cuenta con un sistema de control de emisiones de multiciclón, filtro de mangas y lavador de gases. De acuerdo a los resultados obtenidos en la jornada de medición se encontró una liberación de 0.042 ng-EQT/m³ al aire y 49.5 ng/kg en sus residuos (ceniza).

Al estimar los factores de emisión de esta industria con los resultados de las

mediciones anteriormente enunciadas, se calcula en 1×10^{-4} µg-EQT/Ton-papel al aire y de 1.6 µg-EQT/Ton-papel a los residuos, resultados que se encuentran por debajo a los establecidos en el grupo 7 categoría “a” clase 9 del Toolkit 2013 de 3 µg-EQT/Ton-papel al residuo, datos utilizados para el presente inventario.

Inmunizadoras de madera

En este sector se analizaron dos empresas ubicadas en el departamento de Antioquia, las cuales producen y venden madera inmunizada. Las cuales llevan a cabo un proceso de secado en cámaras de aire forzado para una posterior inmunización de madera por medio de una cámara de vacío tipo autoclave, mejorando las propiedades físicas y mecánicas de la madera, y permitiendo transformaciones y acabados posteriores.

La primera empresa posee una caldera Ferrocarril (200BHP), la cual emplea biomasa como combustible, con una producción total de 0.56 toneladas de madera seca /hora y cuenta con un sistema de control de emisiones de multiciclón y lavador de gases. De acuerdo a los resultados obtenidos en la jornada de medición se encontró una liberación de 0.077 ng-EQT/m³ al aire y 37.6 ng/kg en sus residuos. Al estimar los factores de emisión de esta industria con los resultados de las mediciones anteriormente enunciadas, se calcula en 2×10^{-4} µg EQT/Ton madera al aire y de 3.4 µg-EQT/Ton-madera a los residuos.

La segunda empresa posee una caldera Colmáquinas (300BHP), la cual emplea biomasa como combustible, con una producción total de 0.25 toneladas de madera seca /hora y cuenta con un sistema de control de emisiones de multiciclón y lavador de gases. De acuerdo a los resultados obtenidos en la jornada de medición se encontró una liberación de 0.233 ng-EQT/m³ al aire y 2627.8 ng/kg en sus residuos (ceniza). Al estimar los factores de emisión de esta industria con los resultados de las mediciones anteriormente enunciadas, se calcula en 0.002 µg-EQT/Ton-madera al aire y de 131.4 µg-EQT/Ton-madera a los residuos.

Al comparar los resultados de los factores de emisión estimados en estas dos empresas, con los establecidos en el grupo 8 categoría “a” clase 3 del Toolkit 2013 de 0.01 µg-EQT/Ton-madera al aire y 5 µg-EQT/Ton-madera al residuo, se observa que están por debajo en el aire y en residuos en la primera empresa. Sin embargo, en la segunda empresa los factores de emisión en residuo están de uno a dos órdenes de magnitud por encima de la primera empresa y de los recomendados por el Toolkit 2013. Aunque se desconoce la causa de la diferencia (tipo de madera, de caldera, de combustible, etc.), lo cual puede ser objeto de análisis para futuras investigaciones, esta condición no lleva a incumplimientos de la normatividad vigente en Colombia. Por todo lo anterior, se corrobora que, a nivel general, los factores de emisión del Toolkit 2013 son representativos de las tecnologías empleadas por la inmunizadoras de madera en Colombia.

Producción de coque

Se llevó a cabo una medición en una empresa ubicada en el departamento de Cundinamarca, la cual realiza coquización de carbón en hornos tipo colmena o cubilote, producto que se utiliza ampliamente en diferentes sectores industriales como combustible.

En esta empresa se realizaron mediciones en dos fuentes fijas: una en chimenea conectada a 85 hornos; y la otra, en una chimenea conectada a 65 hornos, ambas chimeneas cuentan con un sistema de control de emisiones de cámara de postcombustión. Durante las mediciones, ambas fuentes se alimentaron con carbón a una tasa de 17.5 Ton/hora con un rendimiento del 64%. De acuerdo a los resultados obtenidos en la jornada de medición se encontró una liberación de 0.026 ng-EQT/m³ y 0.018 ng-EQT/m³ al aire; y 5.8 ng/kg y 6.1 ng/kg en los residuos (ceniza) para las fuentes respectivamente.

Al estimar los factores de emisión de esta industria con los resultados de las mediciones anteriormente enunciadas, se calcula en 1×10^{-5} µg-EQT/Ton-coque al aire en ambos casos; y de 0.92 µg EQT/Ton-coque y 0.96 µg EQT/Ton-coque a los residuos para las fuentes (de 85 y 65 hornos respectivamente), resultados que se encuentran por debajo a los recomendados en el grupo 2 categoría “b” clase 2 del Toolkit 2013, que es de 0.03 al aire µg-EQT/Ton-coque y por encima a los recomendados para residuos de 0.06 µg-EQT/Ton-coque utilizados para el presente inventario. Finalmente, esta condición no lleva a incumplimientos de la normatividad vigente en Colombia y, de igual forma, corrobora la representatividad de los factores de emisión establecidos por el Toolkit 2013 para las industrias de producción de coque en Colombia.

Industria textil

Se adelantó una medición en una empresa ubicada en el departamento de Antioquia, la cual realiza el proceso de teñido textil por medio de colorantes.

Esta empresa posee una caldera Dynaterm (700BHP) para generar el vapor necesario, la cual, emplea carbón como combustible con una producción total de 0.65 toneladas de textil producido /hora y cuenta con un sistema de control de emisiones de multiciclón y lavador de gases. De acuerdo a los resultados obtenidos en la jornada de medición se encontró una liberación de 0.040 ng-EQT/m³ al aire y 6.170 ng/kg en sus residuos (ceniza).

Al estimar los factores de emisión de esta industria con los resultados de las mediciones anteriormente enunciadas, se calcula en 2×10^{-4} µg-EQT/Ton-textil al aire y de 0.5 µg EQT/Ton textil a los residuos. El Toolkit 2013 no incluye factores de emisión en estas matrices, pues sólo incluye liberaciones al producto en el grupo 7 categoría “g”, por lo cual, no es posible realizar una comparación.

Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio sirve como acercamiento a la generación de PCDD/PCDF en aire y residuos en sectores diferentes a los que regularmente se les mide este parámetro, con excepción de la producción de coque. Adicionalmente, ayuda a verificar la representatividad de los factores de emisión del Toolkit 2013 en la situación del país y los sectores analizados. Aunque estos sectores son relevantes en Colombia, las mediciones realizadas y las estimaciones a través del Toolkit 2013 coinciden en que estos no liberan una cantidad importante de COP No Intencionales a nivel nacional.

En las fuentes fijas analizadas las emisiones de PCDD/PCDF se encuentran por debajo del límite establecido en la resolución 909 de 2008 de 0.5 ng EQT/m³. En cuanto a los resultados encontrados en los residuos no existe un estándar establecido. Si bien los resultados en aire muestran que los sistemas de control de emisiones están siendo efectivos para dar cumplimiento con el estándar nacional, las concentraciones encontradas en los residuos (cenizas) de los sectores de inmunización de madera y producción de coque sugieren que las empresas podrían tomar medidas adicionales para disminuir la liberación de contaminantes a sus residuos.

Para futuros estudios se recomienda aumentar el número de muestras realizadas respecto al presente estudio, así como realizar una caracterización del cloro en el combustible que se utiliza en los hornos con el fin de conocer las fuentes y cantidades de cloro en el proceso y su relación con las PCDD/PCDF que se están generando en los residuos.

