

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Estudios Sociales y Globales

Maestría en Cambio Climático y Negociación Ambiental

Contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador

María Caridad Rosero Romero

Tutor: Augusto David Sánchez Uvidía

Quito, 2024

Trabajo almacenado en el Repositorio Institucional UASB-DIGITAL con licencia Creative Commons 4.0 Internacional

	Reconocimiento de créditos de la obra No comercial Sin obras derivadas	
---	---	---

Para usar esta obra, deben respetarse los términos de esta licencia

Cláusula de cesión de derecho de publicación

Yo, María Caridad Rosero Romero, autora del trabajo intitulado: “Contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador”, mediante el presente documento de constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático y Negociación Ambiental en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

03 de junio de 2024

Firma: _____

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación es determinar la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por el tratamiento térmico (incineración) de una muestra de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos generados en la producción petrolera de Ecuador. Para este fin, la estrategia metodológica utilizada consistió en obtener la cantidad del peso de los desechos incinerados diferenciados por tipo y los factores de emisión del CO₂ y el N₂O relacionados, usando las ecuaciones 5.1 estimación de las emisiones de CO₂ basada en la cantidad total de desechos quemados y 5.5 estimación de las emisiones de N₂O basada en la entrada de desechos a los incineradores de las Guías para elaboración de Inventarios Nacionales de GEI para el sector Desechos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), con aplicación del software elaborado por la misma institución para este fin. Se obtuvo como resultado que la contribución de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos, es de 0.0028 Gg CO_{2eq}/Tn. Por lo tanto, las emisiones de GEI por incineración de los desechos considerados en este estudio de una de las mayores gestoras del país en el año 2018 fue de 0.88 Gg CO_{2eq}/año, lo que representa el 0.026 % de las emisiones reportados en el inventario nacional para el sector desechos en el año 2012, así también para el 2019, 8 gestoras ambientales que cuentan con la autorización ambiental correspondiente para la incineración de desechos peligrosos han incinerado un total de 3.321,33 toneladas, lo que corresponde a una emisión aproximada de 9,63 Gg CO_{2eq}/año. En este contexto, se determina la importancia de continuar realizando estos estudios ampliando la información a otros desechos generados a partir de las actividades del sector petrolero y otros; la importancia en la salud relacionada a estas emisiones y otras producto de la incineración; así también, los valores de emisiones obtenidos en el presente estudio representan un aporte inicial al desarrollo futuro del inventario nacional de gases de efecto invernadero del Ecuador, para la categoría 4C1 incineración de desechos.

Palabras clave: factores de emisión, inventarios nacionales, estimación, categorías, IPCC

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios quien guía mi vida y ha permitido que tome las decisiones de superarme.

Agradezco al motor de mi vida, mi hija Ana María Rosero quien motiva todo esfuerzo y sacrificio para seguir adelante. Así también, a mis padres Patricio Rosero y Ana Magdalena Romero por su ayuda incondicional. A mis hermanas Karla, María Alejandra y María José Rosero quienes son mi apoyo constante, así como a mi familia y amigos.

También un agradecimiento especial a mi tutor de tesis Augusto Sánchez por su colaboración y guía constante.

Tabla de Contenidos

Figuras y tablas.....	11
Abreviaturas.....	13
Introducción.....	15
1. Objetivos y pautas metodológicas de la investigación.....	22
Capítulo primero Emisiones de GEI, normativa en el Ecuador, sector desechos y desechos peligrosos.....	25
1. Cambio Climático, emisiones de GEI y efecto invernadero	25
2. Normativa para el manejo de desechos peligrosos en Ecuador	28
3. Sector Desechos	30
4. Desechos Peligrosos.....	32
Capítulo segundo Incineración de desechos peligrosos en el Ecuador: descripción del caso de estudio.....	37
1. Incineración de desechos peligrosos en Ecuador	37
2. Descripción del caso de estudio	40
Capítulo tercero Metodología.....	47
1. Identificación de los tipos de desechos incinerados.....	47
2. Cantidad de desechos incinerados.....	48
3. Ecuación de cálculo de las emisiones de CO ₂	49
4. Ecuación de cálculo de las emisiones de N ₂ O	49
5. Definición de los Factores de Emisión	50
6. Detalle del <i>software</i> de inventario del IPCC.....	52
7. Cálculo de las emisiones	54
Capítulo cuarto Resultados.....	57
1. Resultados	57
Capítulo quinto Discusión de los resultados	59
Conclusiones y recomendaciones.....	65
Lista de referencias.....	67
Anexos.....	73

Anexo 1: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO ₂ del desecho NE-03	73
Anexo 2: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO ₂ del desecho NE-42	73
Anexo 3: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO ₂ del desecho C.19.17	74
Anexo 4: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO ₂ del desecho NE-27	74
Anexo 5: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO ₂ del desecho NE-48	75

Figuras y tablas

Figura 1 Emisiones históricas globales del sector Desechos.....	18
Figura 2 Oferta de energía primaria (%)	19
Figura 3 Contexto nacional de las emisiones de GEI.....	20
Figura 4 Emisiones de GEI por cada sector de Ecuador	21
Figura 5. Ilustración del efecto invernadero	27
Figura 6. Estructura del Sector desechos según el IPCC.....	31
Figura 7. Mapa de ubicación referencial de la instalación de incineración.....	40
Figura 8. Incinerador marca Pennram E180.....	44
Figura 9. Diagrama del funcionamiento del proceso de incineración.	45
Figura 10. Software de inventario del IPCC.....	53
Figura 11. Detalle general del Software de inventario del IPCC.	54
Figura 12. Selección de sector, categoría, subcategoría y tipo de gas en el Software....	56
Tabla 1 Normativa ambiental referente a desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos de Ecuador.....	29
Tabla 2 Listado No 1: Desechos Peligrosos por fuente Específica para la industria petrolera.....	33
Tabla 3 Listado No 1: Desechos Peligrosos por fuente No Específica para la industria petrolera.....	34
Tabla 4 Principales tecnologías de incineración en Ecuador y su ubicación	38
Tabla 5 Características técnicas del Incinerador Pennram E180.....	41
Tabla 6 Residuos que abarcan el 80% de la incineración del 2018.....	48
Tabla 7 Listado de desechos tratados mediante Incineración Térmica - TTI.....	48
Tabla 8 Detalle del Factor de Emisión del Dióxido de Carbono (ID:615020).....	51
Tabla 9 Detalle del Factor de Emisión del Óxido Nitroso (ID: 615048).	51
Tabla 10 Datos de para la ecuación 5.1 Estimación de las emisiones de CO ₂	55
Tabla 11 Datos de para la ecuación 5.5 Estimación de las emisiones de N ₂ O.....	55
Tabla 12 Resultados de las emisiones de CO ₂ , por tipo de desechos.....	57
Tabla 13 Resultados de las emisiones de N ₂ O, por tipo de desechos.....	57

Abreviaturas

AFOLU	Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CO ₂	Bióxido de carbono
EFDB	Emission Factor Data Base
EQ	Equivalente
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg	Gigagramos
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MAATE	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
N ₂ O	Óxido Nitroso
PIB	Producto interno bruto
TULAS	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria del Ecuador
UNFCCC	Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático

Introducción

En el siglo XIX el consumo de crudo era de unos cuantos miles de barriles al año. Sin embargo, para finales del siglo XX, la cifra ascendió a más de 65 millones de barriles por día, siendo los mayores productores hasta el momento: Estados Unidos, Rusia, Arabia Saudita, Irak y Canadá. El consumo de petróleo es intensivo y las ganancias son multimillonarias para esta industria. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) en la actualidad más del 80% de la energía primaria total proviene de los combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas, de los cuales la mayor parte del petróleo se emplea en el transporte, electricidad y la industria petroquímica (Andrade 2022, 5-7).

Así también, indica la Agencia Internacional de Energía (AIE) que en la actualidad la demanda de petróleo a nivel mundial aumentará en 2,4 millones de barriles por día en el 2023, siendo un promedio anual récord de 102,2 millones de barriles por día. Este aumento en la demanda sigue superando las expectativas y se genera debido al mayor uso de petróleo en la generación energética, al incremento de los viajes por avión del verano, y mayor actividad de la industria petroquímica en China. Sin embargo, el crecimiento de la oferta mundial de petróleo también está superando las expectativas, ya que países como Estados Unidos y Brasil han incrementado su producción en comparación con lo proyectado (Precio Petróleo 2023, párr. 13).

En este sentido, se debe considerar tres posiciones importantes. Primero, la perspectiva de una demanda que va en aumento debido al crecimiento poblacional mundial y una economía global en expansión. Segundo, hay que reconocer que el petróleo desempeña un papel crítico en el sistema energético y económico actual, y que el suministro asequible y confiable del líquido es parte necesaria de una visión del futuro. Finalmente, la necesidad de reducir las emisiones relacionadas con la producción del petróleo de acuerdo con los objetivos climáticos internacionales (Agencia Internacional de Energía 2023, párr. 9).

Por lo tanto, es un desafío estratégico para la industria del petróleo lograr equilibrar los retornos a corto plazo con su mirada a operar a largo plazo. En la actualidad, la sociedad exige al mismo tiempo servicios energéticos a partir del petróleo y también reducción de emisiones, tomando en cuenta que las compañías de petróleo han sido competentes en el suministro de los combustibles que forman la base del sistema

energético actual. Entonces si las empresas petroleras, toman las medidas necesarias para abordar el cambio climático, con la reducción de los costos para desarrollar tecnologías bajas en carbono representan una inversión en la capacidad de las empresas para prosperar a largo plazo (Agencia Internacional de Energía 2023, párr. 15).

Los principales macroprocesos de la industria petrolera son: exploración, perforación, producción, refinación, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización del petróleo y sus derivados. Cada uno de estos procesos tienen impactos ambientales de contaminación a los recursos agua, aire y suelo (Moreno, 2011).

En cada uno de estos procesos se genera desechos no peligrosos, peligrosos y especiales, los cuales si no son gestionados de forma adecuada pueden afectar a la salud humana y al ambiente. Para el caso de los desechos peligrosos estos se los puede identificar con los siguientes nombres comunes: Aguas de fractura, Aguas contaminadas con hidrocarburos, cortes de perforación en base agua, cortes de perforación en base aceite, químicos caducados o fuera de especificaciones, aceites y lubricantes usados, grasas usadas, envases contaminados con hidrocarburos y/o productos químicos, paños absorbentes contaminados con hidrocarburos y/o productos químicos, material de embalaje contaminado con hidrocarburos y/o productos químicos, fondos de tanque, lodos de plantas de tratamiento, equipo de protección personal contaminado con materiales peligrosos, baterías, suelos contaminados con hidrocarburos y/o productos químicos, etc. (Bravo 2007). Mas adelante en el apartado de desechos peligrosos, se detalla la caracterización de estos de acuerdo con los listados nacionales de la normativa vigente en Ecuador.

Para la gestión de estos desechos peligrosos existen varios tipos de tratamientos. Lo ideal es tratar de reducir la cantidad de desechos generada en su origen, o incluso reciclar los materiales que puedan reutilizarse de manera productiva. Sin embargo, estas medidas no resuelven el problema de la eliminación de estos desechos (Servicios Medioambientales de Valencia 2022, párr. 9).

El tratamiento de desechos es un proceso de transformación con el fin de reducir el volumen y disminuir la peligrosidad. Entre los procesos de tratamiento tenemos los siguientes: Físicoquímicos, Estabilización – solidificación, Biológicos, Térmicos (el cual es el fundamento del presente trabajo), entre otros. Cada proceso de tratamiento producirá otros desechos, emisiones atmosféricas y efluentes, los cuales van a requerir una gestión especial en función de sus características. Por lo tanto, para diseñar un sistema de tratamiento de desechos se debe evaluar el impacto ambiental, ya que en algunos casos

se generan nuevos residuos o emisiones que pueden representar un importante riesgo para la salud y/o el ambiente (Martínez 2005).

Aquellos *Efectos directos*, los cuales se vinculan directamente con las principales actividades de la industria petrolera como la exploración, perforación, producción, traslado y bombeo, son las *Emisión de contaminantes atmosféricos*, generados por la combustión de gas, así como por la gestión y almacenamiento de desechos peligrosos y no peligrosos. También habría que incluir los compuestos orgánicos volátiles acumulados en los estanques para residuos del petróleo (Azqueta y Delacámara 2008, 4-6).

Con respecto a emisiones de gases de efecto invernadero, la producción, el transporte y el procesamiento de petróleo y gas generaron 5.100 millones de toneladas (Gt) equivalentes de CO₂ en el 2022, poco menos del 15 % de las emisiones mundiales de GEI del sector energético. La mitad de estas emisiones aproximadamente procedieron de la quema y del metano liberado en la ejecución de las operaciones de petróleo, con respecto a las emisiones generadas de los desechos de esta industria no se tiene información. Sin embargo, las emisiones del sector del petróleo y el gas son de interés y están cada vez más en la mira a medida que los gobiernos y las empresas establecen objetivos de reducción de emisiones, así también frente a la presión de los inversionistas y miembros de las juntas directivas para lograr objetivos más ambiciosos y una mayor divulgación (Agencia Internacional de Energía 2023, párr. 15).

La sociedad ha ido cambiando su organización, sus esquemas de producción y de consumo a medida de la evolución a nivel mundial. Tal es así, que, para sostener la demanda, el mundo se ha vuelto más productivo y a su vez los productos han disminuido perceptiblemente su ciclo de vida tornándose más complejos cada vez. A nivel global, en las últimas décadas se ha documentado un aumento significativo de los volúmenes de desechos generados y mayor presencia de materiales peligrosos en los mismos (Martínez 2005, 11).

La gestión de desechos peligrosos se ha vuelto un problema de gran importancia debido a los riesgos para la salud y la seguridad. Sin embargo, los países menos desarrollados enfrentan un conjunto de problemas adicionales, tomando en cuenta que varias de las sustancias peligrosas son producidas por tecnologías del mundo desarrollado. En comparación con los países económicamente desarrollados, las naciones en desarrollo no poseen la tecnología avanzada necesaria para el manejo adecuado de desechos peligrosos. Las severas restricciones financieras a menudo impiden además que

estos países encuentren dificultadas para adquirir las tecnologías necesarias. Esto se ve agravado por los problemas resultantes de las dificultades económicas, lo que hace que la gestión de desechos peligrosos sea de baja prioridad en comparación con otras preocupaciones más inmediatas (Kahn, Kaseva y Mbuligwe 2020).

Alrededor del 60% de las emisiones de GEI provienen de solo 10 países, mientras que los 100 menos emisores contribuyeron con menos del 3%. La energía representa casi las tres cuartas partes de las emisiones globales, seguida por la agricultura. Dentro del sector energético, el sector emisor más grande es la generación de electricidad y calor, seguido por el transporte y la manufactura, en estos se encuentra el sector petrolero como fuente de generación de emisiones. El uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS) es tanto una fuente como un sumidero de emisiones y un sector clave para llegar a cero emisiones netas. Si bien es cierto la problemática de los desechos es compleja, este sector, es el responsable del 3 a 4 % aproximadamente de las emisiones de GEI a nivel mundial (Climate Watch 2022). Sin embargo, como se observa en la figura a continuación, las emisiones de GEI de este sector van en aumento.

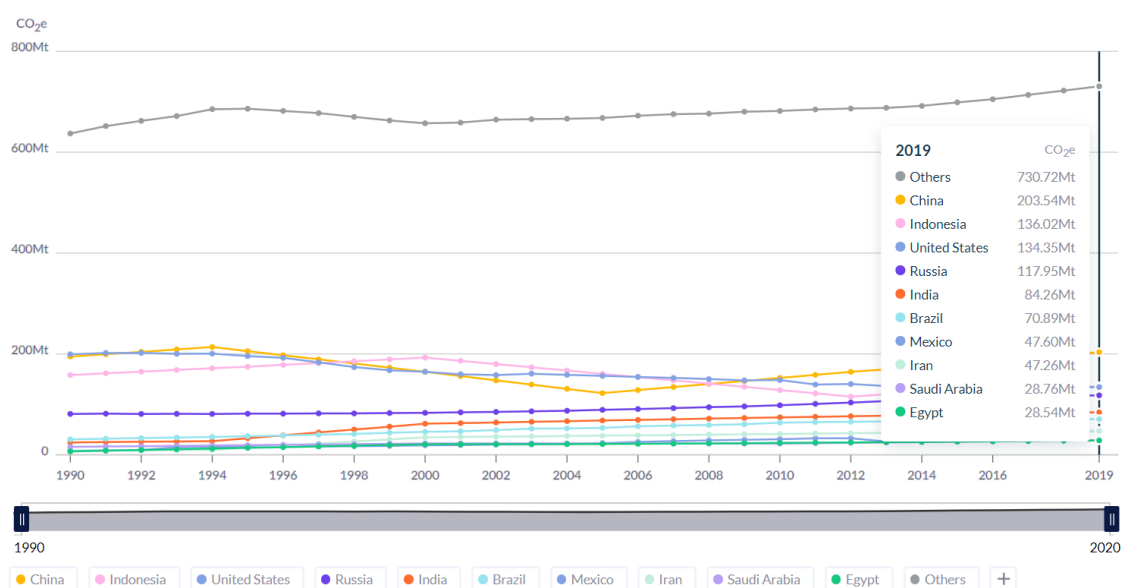


Figura 1 Emisiones históricas globales del sector Desechos
Fuente: (Climate Watch 2022)

Esto corresponde un gran desafío que tiene la economía global si se requiere mantener la senda histórica de los últimos siglos para “disociar la producción de desechos del crecimiento económico, a efectos de frenar el tradicional aumento de estos con el avance de la economía y disminuir a su vez la presencia de materiales peligrosos. Como

nos señala (Martínez 2005, 11), “este proceso debe además ser compatible con las políticas de desarrollo productivo y social necesarias para abatir la pobreza. Para esto será imprescindible, entre otras cosas, compatibilizar las normas de residuos peligrosos con criterios de eficiencia y competitividad productiva”.

En Ecuador, el sector petrolero representa la principal fuente de divisas como contribución al producto interno bruto (PIB) nacional con un 45% del total de exportaciones y contribuye con el 11% del (PIB) (EC Ministerio de Energía y Minas 2022, 27). Durante el 2022, la producción nacional de petróleo que corresponde a la suma de la producción de la Empresa Pública EP Petroecuador y de las compañías privadas llegó a un total de 45,17 millones de barriles, equivalente a un promedio diario de 490,94 miles de barriles (BCE 2023).

Como se observa en la figura 2, desde el punto de vista energético, el petróleo representó el 85,8 % de la energía primaria producida en el año 2021, lo que indica la fuerte dependencia energética y financiera del país respecto del petróleo (EC Ministerio de Energía y Minas 2022, 27).

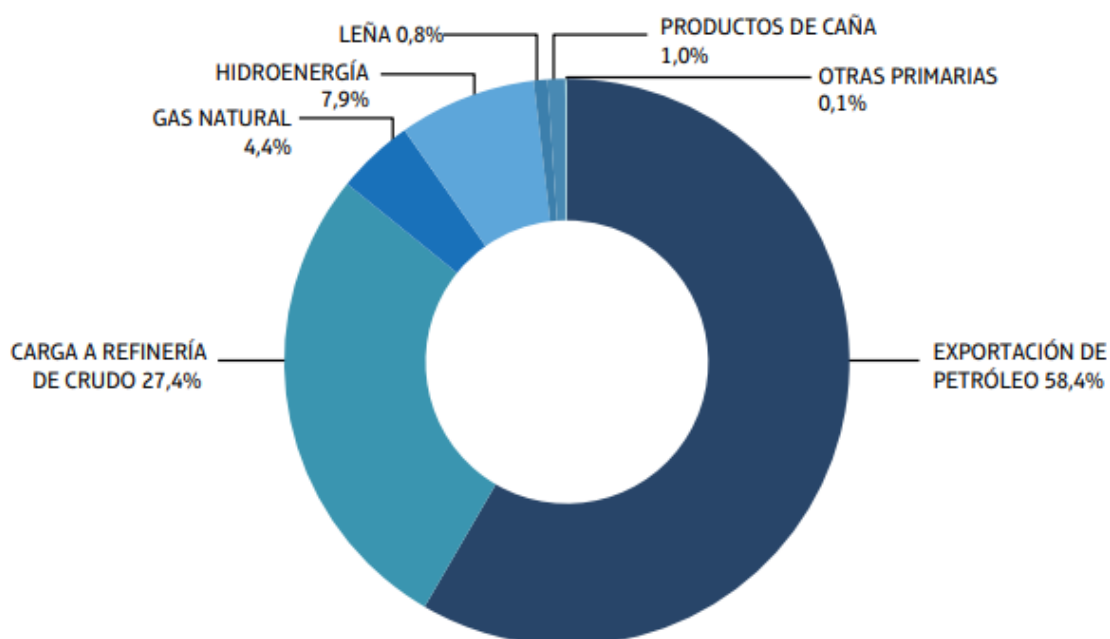


Figura 2 Oferta de energía primaria (%)
Fuente: (EC Ministerio de Energía y Minas 2022)

Lo anterior significa un gran reto para la descarbonización de la economía frente a los compromisos internacionales ratificados como el acuerdo de París a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), pues si bien se han

ejecutado proyectos de energía renovable (p. ej., hidroeléctrica y eólica), la producción petrolera en el país y su refinamiento contribuye a la generación de combustibles fósiles. Más aún, su cadena de producción en la fase del *Upstream*, es intensiva en demanda energética y genera desechos, muchos de los cuales son clasificados como peligrosos por la legislación ecuatoriana.

Según la categoría 1B que corresponde a las emisiones fugitivas provenientes de petróleo y gas natural, las cuales “agrupan a todas las emisiones generadas en las actividades de petróleo y gas natural e incluyen, las fugas de equipos, las pérdidas por evaporación, el venteo y la quema. Esta categoría incluye la subcategoría Petróleo y gas natural (1B2). Para el año 2012, las emisiones de GEI de esta categoría fueron de 771,48 Gg CO₂-eq” de acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Ministerio del Medio Ambiente 2016).

El Ecuador según datos históricos presentados en los documentos a la CMCC de la ONU las emisiones de GEI del sector desechos y a nivel de país para el 2019 es de 98,7 millones de toneladas de CO₂-eq, las cuales representan el 0,20 % de las emisiones globales (Climate Watch 2022). En la figura a continuación se muestra el contexto nacional de las emisiones de Ecuador tomando en cuenta las emisiones per cápita y las emisiones por el PIB.

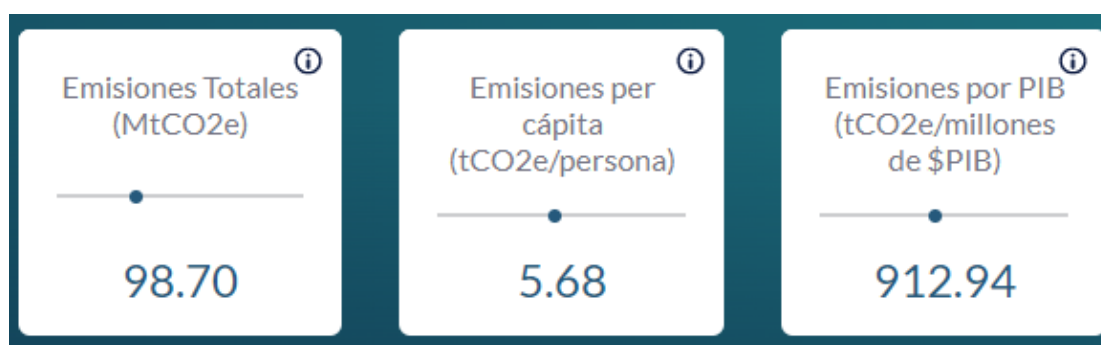


Figura 3 Contexto nacional de las emisiones de GEI
Fuente: (Climate Watch 2022)

Así también, en la siguiente figura a continuación se indica un gráfico comparativo de los porcentajes de las emisiones de acuerdo con cada sector, en el cual se evidencia que la mayor cantidad de emisiones provienen del sector energía, sin embargo, el sector desechos representa un 12.38 % del total (Climate Watch 2022).

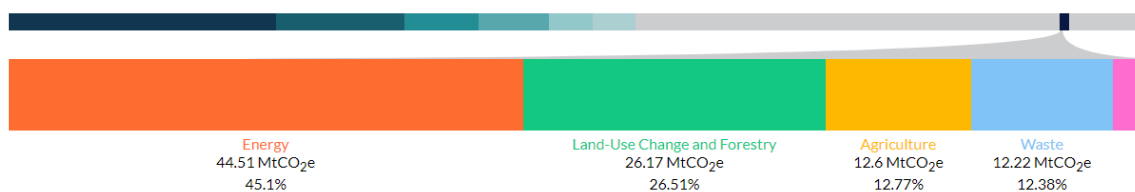


Figura 4 Emisiones de GEI por cada sector de Ecuador

Fuente: (Climate Watch 2022)

En Ecuador, los generadores de desechos peligrosos derivados de sus actividades productivas deben obtener el registro de generador. Las obligaciones ligadas a este registro son el manejo adecuado de los desechos, la identificación, caracterización y almacenamiento de acuerdo con el tipo, realizar la entrega de desechos a una empresa que cuente con la autorización administrativa correspondiente emitida por la Autoridad Ambiental Nacional, completar formalizar y custodiar el manifiesto único, así como custodiar las actas de eliminación o disposición final (EC 2019, art. 626).

Ecuador, cuenta con varias instalaciones con autorización administrativa emitida por la Autoridad Ambiental Nacional para la fase de gestión integral por medio de tratamiento térmico (incineración) de manera controlada. En estas, se incineran los desechos peligrosos que provienen de varios sectores industriales del país, principalmente el sector petrolero, esta actividad como proceso de gestión que se ejecuta en varios países que cuentan con la legislación correspondiente. La incineración es la combustión de los desechos en condiciones controladas. Durante este proceso los desechos se transforman en constituyentes gaseosos (Gases de Efecto Invernadero [GEI]) que son liberados a la atmósfera y en un residuo sólido relativamente no combustible e inerte (Miranda y Cordero 2011). Mas adelante en el apartado de emisiones se detalla los tipos de GEI que se generan.

Estas emisiones generadas a partir de este proceso han sido poco exploradas y no se cuenta hasta la fecha con información relevante al respecto, a pesar de que la generación de desechos peligrosos a partir de la industria está en aumento (Soliz 2015, 5-25). Tal es así, que en el inventario nacional de GEI de la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático, el sector desechos registra 3,95 % de las emisiones de GEI nacionales, las cuales corresponden a las categorías de residuos sólidos (rellenos sanitarios y botaderos de basura), así como de tratamiento de aguas residuales. Según la tabla 7 Resultados de emisiones netas de GEI (2012) en Gg de dióxido de carbono (CO₂)

el ítem 6C Incineración de desechos, las emisiones se registran con NE que significa No Estimado (EC Ministerio del Ambiente 2017).

En este contexto, según las directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC 2006), las emisiones de CO₂ como resultado de la oxidación durante el proceso de incineración del carbono contenido en los desechos de origen fósil, se consideran emisiones netas y deben ser incluidas en las estimaciones de las emisiones nacionales de CO₂, en este caso como parte del Sector Desechos. Los desechos de origen fósil son plásticos, algunos textiles, caucho, solventes líquidos, aceites desechados, entre otros.

1. Objetivos y pautas metodológicas de la investigación

El objetivo principal de la presente investigación es determinar la aproximación de la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador.

Tres son los objetivos específicos: 1) Seleccionar un método para estimar emisiones de CO₂ a partir de la combustión de residuos para un alcance¹ de Nivel 1; 2) Establecer una aproximación a la selección del dato de actividad para la incineración de desechos peligrosos en el país; y 3) Establecer una aproximación a la contribución en el sector desechos, de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico de desechos peligrosos asociados a las actividades de extracción de petróleo en el Ecuador.

Para el presente estudio, la estrategia metodológica utilizada para la estimación de las emisiones de CO₂ y N₂O provenientes de la incineración de desechos de acuerdo con el (IPCC 2006), consiste en obtener la cantidad del peso de los desechos incinerados diferenciados por tipo y los factores de emisión del CO₂ y el N₂O relacionados.

La presente tesis está estructurada por cinco capítulos, los dos primeros corresponden a la información de las emisiones de GEI, la normativa del Ecuador, el sector desechos, los desechos peligrosos, la incineración de los desechos peligrosos en el Ecuador y la descripción del caso de estudio. El tercer capítulo detalla metodología y la aplicación de esta en cada paso y el cuarto capítulo describe los resultados obtenidos y el

¹ Se propone este alcance debido a que las emisiones del tratamiento de desechos sólidos no constituyen una categoría clave del inventario de GEI.

capítulo quinto contiene la discusión de los resultados. Se finaliza con un apartado de recomendaciones y conclusiones, así como la lista de referencias.

Capítulo primero

Emisiones de GEI, normativa en el Ecuador, sector desechos y desechos peligrosos

Este estudio tiene como objetivo determinar una aproximación de la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador, para esto, es indispensable entender qué es el cambio climático, conocer cuáles son las emisiones de GEI que desnivelan el efecto invernadero normal, cuál es la normativa aplicable para el manejo de los desechos peligrosos, así también conocer el sector desechos según el IPCC y cómo están caracterizados los desechos peligrosos en el Ecuador.

Para responder a estas interrogantes el presente capítulo describirá el detalle de la información según la situación actual.

1. Cambio Climático, emisiones de GEI y efecto invernadero

Según la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables” (ONU 1992). Esta problemática está ligada al desarrollo de actividades productivas ya sean de carácter doméstico, industrial o agrícola, que en su cadena de producción presentan como último eslabón la generación de desechos, los cuales debido a la cantidad y al ritmo acelerado de producción constituyen un problema que va en aumento cada día (Solíz 2015, 5-25).

Las diversas transformaciones climáticas como el aumento de la temperatura media global, alteraciones en el patrón de precipitaciones, aumento del nivel del mar, reducción de la criosfera y cambios en los esquemas de eventos climáticos a extremos, son la muestra de la manifestación del cambio climático. Estas transformaciones han desencadenado efectos significativos en lo social, ambiental y en la economía. En este contexto, desde la economía el cambio climático, puede ser concebido como una

externalidad negativa, que requiere la instrumentación de varias políticas públicas que atiendan sus causas y consecuencias a nivel global. Por lo tanto, elaborar e instrumentar las estrategias de política pública que tomen en cuenta la contribución a los procesos mitigación de las emisiones de GEI y adaptación al cambio climático es de gran importancia. Así también las actividades que por mínimas que sean tengan impacto en las emisiones, como es el caso de la gestión de los desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos (Sánchez y Reyes 2015).

Los componentes gaseosos de la atmósfera tanto naturales como antropogénicos son los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales absorben y emiten radiación en longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja que es emitido por la superficie de la Tierra, las nubes y la atmósfera (Benavides y León 2007, 99). Los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra son:

- El vapor de agua (H₂O),
- Dióxido de carbono (CO₂),
- Óxido nitroso (N₂O),
- Metano (CH₄), y
- Ozono (O₃).

En la atmósfera también se encuentran una serie de gases de efecto invernadero (GEI) creados enteramente por el ser humano, como los halocarbonos (compuestos que contienen cloro, bromo o flúor y carbono), estos compuestos pueden actuar como potentes gases de efecto invernadero en la atmósfera y son también una de las causas del agotamiento de la capa de ozono en la atmósfera, estos gases son regulados por el Protocolo de Montreal (Benavides y León 2007, 99).

Un gas absorbe la energía, en el momento que la frecuencia de la radiación electromagnética es parecida a la frecuencia vibracional molecular del gas. Esta energía, se convierte en movimiento molecular interno produciendo un incremento de temperatura (Benavides y León 2007, 99).

En este sentido, la energía del sol llega a la tierra como radiación de onda corta. Una parte de esta radiación es reflejada por la atmosfera y la superficie terrestre. Sin embargo, la otra gran parte de la energía solar ingresa directamente por la atmósfera calentando la superficie de la Tierra. Posteriormente, toma forma de radiación infrarroja de onda larga, desprendiéndose de dicha energía y es enviada nuevamente al espacio. Los GEI que forman parte naturalmente de la atmosfera, absorben gran parte de la energía

infrarroja que emite la tierra, lo que imposibilita que la energía pase de forma ininterrumpida desde la superficie terrestre al espacio (Nájera 2009). En este contexto, los gases que producen el efecto invernadero actúan a manera de una cobija, agarrando el calor como se indica en la figura 5. En resultado, la temperatura de la atmósfera aumenta en relación con lo que sería sin la presencia de dichos gases.

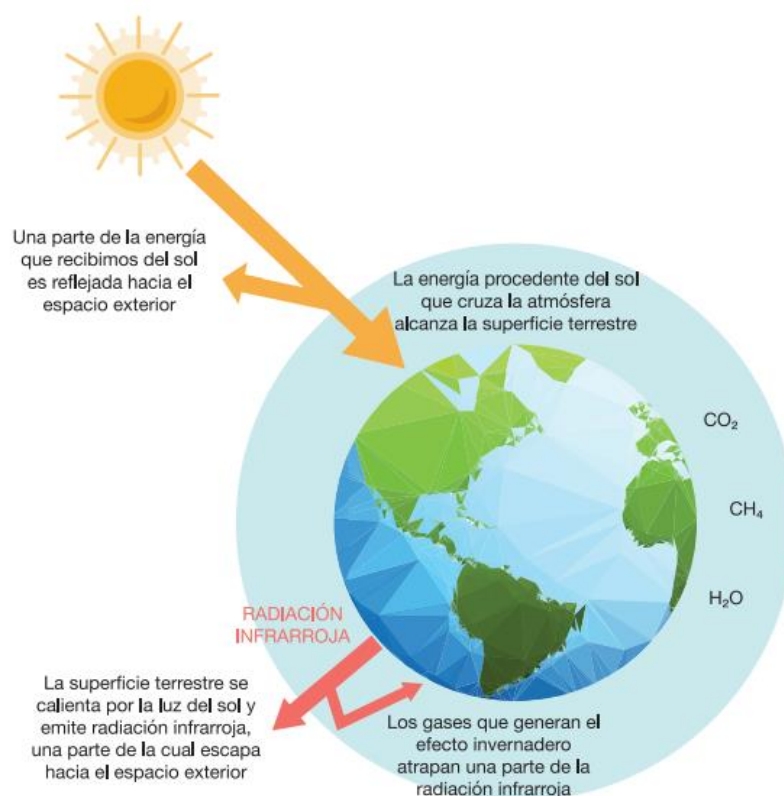


Figura 5. Ilustración del efecto invernadero
Fuente: (Guilyardi et al. 2018)

Estos gases producidos por la actividad humana generan el efecto invernadero incrementando a largo plazo la temperatura promedio de la atmósfera, dando como resultado lo que se conoce como calentamiento global. Hasta la actualidad, las emisiones producidas por la actividad antropogénica desde el comienzo de la revolución industrial sin considerar la época previa han generado un calentamiento global de 1.0 °C. por lo tanto, si estas emisiones no se disminuyen, lo más probable es que el incremento en la temperatura global de la tierra alcance 1.5 °C entre 2030 y 2052, representando un aumento de 0.5 °C respecto a la temperatura actual (Guilyardi et al. 2018).

2. Normativa para el manejo de desechos peligrosos en Ecuador

Para el manejo y gestión adecuada de los desechos, el Ecuador contempla varios instrumentos legales desde la constitución de la república, así como acuerdos internacionales aplicables de los cuales el Ecuador es signatario.

Como parte de la normativa internacional, se contempla los convenios que son específicamente relacionados al sector desechos que son el convenio de Basilea y el convenio de Estocolmo de los que el Ecuador forma parte.

El convenio de Basilea de adoptado en 1998 que entró en vigor en 1992 corresponde al acuerdo ambiental más completo en lo que se refiere a desechos peligrosos y otros desechos a nivel internacional. Este convenio regula los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y otros desechos. Sus Partes están obligadas a garantizar que estos desechos se gestionen y eliminen de manera ambientalmente racional, así como reducir al mínimo la cantidad que se transporta, trata y elimina los desechos, realizando esta gestión lo más cerca posible de su lugar de generación. El alcance de este convenio es desechos tóxicos, venenosos, explosivos, corrosivos, inflamables, eco tóxicos e infecciosos (PNUMA 1992).

El convenio de Estocolmo de 2001 tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los compuestos orgánicos persistentes (COP) (EC 2004, art. 1). Este convenio establece una lista de 12 sustancias químicas que poseen las características de COP y determina la obligación de control de estos productos químicos a los gobiernos que forman parte. Estos compuestos son un tipo de contaminantes químicos que representan una seria amenaza para la salud humana y los ecosistemas debido a su alta peligrosidad. Por ejemplo, los COP son el DDT, PCB y las dioxinas, los cuales provienen de los plaguicidas, sustancias químicas industriales o son subproductos no intencionales de ciertos procesos de combustión y de la industria química (Weinberg 2009).

Con respecto a la normativa nacional es específica para el país tomando en cuenta las características y condiciones propias. Sin embargo, en su mayoría ha sido tomada normativa de países desarrollados como base (Izquierdo 2021).

Es importante iniciar destacando lo que menciona el cuerpo legal más importante, la Constitución de la República del Ecuador desde 2008 “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*” (EC 2008, art. 14). Así también establece

“El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se incentivará y facilitará el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías” (EC 2008, art. 415).

Para mejor detalle y en contexto del presente estudio en la tabla 1, se resumen las normas y reglamentos ambientales relacionados a los desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos, en concordancia con lo dispuesto por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) en Ecuador.

Tabla 1
Normativa ambiental referente a desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos de Ecuador

Ítem	Norma/ Reglamento Vigente	Detalle
1	Código Orgánico del Ambiente Registro Oficial 983, Suplemento, 12-abr.-2017	Este Código tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o sumak kawsay. Y como parte de las disposiciones se expide el título V gestión integral de residuos y desechos.
2	Reglamento al Código Orgánico del Ambiente Decreto Ejecutivo 752 Registro Oficial 507, Suplemento, 12-jun.-2019	El presente Reglamento desarrolla y estructura la normativa necesaria para dotar de aplicabilidad a lo dispuesto en el Código Orgánico del Ambiente.
3	Reglamento ambiental de operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador Registro Oficial 174, 01-abr.-2020	En el presente reglamento se detalla en el art. 45 la gestión integral de residuos o desechos peligrosos y/o especiales.
4	Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente Decreto Ejecutivo 3399, Registro Oficial 3516, 31-mar-2003	TULSMA Libro I: De la autoridad Ambiental Libro II: De la gestión ambiental Libro III: Del régimen forestal Libro IV: De la biodiversidad Libro V: De los recursos costeros Libro VI: De la calidad ambiental Libro VII: Del régimen especial: Galápagos Libro VIII: Del Instituto para el Desarrollo Regional Amazónico ECO- RAE Libro IX: derechos o tasas por los servicios que el Ministerio de Ambiente presta por el uso y aprovechamiento de bienes nacionales que se encuentren bajo su cargo y protección.
5	Acuerdo Ministerial 061 Registro Oficial 316, 04-may-2015	Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria
6	Acuerdo Ministerial 026	Procedimientos para el registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al

Ítem	Norma/ Reglamento Vigente	Detalle
	Registro Oficial 334, 12-may-2008	licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos.
7	Acuerdo Ministerial 048 Registro Oficial 439, 13-may-2011	Normas de Coprocesamiento de Desechos Peligrosos de Hornos Cementeros
8	Acuerdo Ministerial 142 Registro Oficial 856 del 21/12/2012	Listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales
9	Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2266	Transporte, etiquetado, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos. Requisitos

Fuente: (EC Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica 2022)

Elaboración propia

3. Sector Desechos

Las Directrices del IPCC de 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, proporcionan metodologías destinadas a estimar los inventarios nacionales de emisiones antropogénicas por fuentes y absorciones por sumideros de los gases de efecto invernadero, tomando en cuenta los diferentes sectores de la economía (Pipatti y Manso 2006).

El sector de desechos corresponde a la cuarta de las Categorías principales de emisiones por fuentes y absorciones por sumideros, la cual está dividida en:

- 4A Eliminación de desechos sólidos
- 4B Tratamiento biológico de los desechos sólidos
- 4C Incineración e incineración abierta de desechos
- 4D Tratamiento y eliminación de aguas residuales
- 4E Otros

La presente investigación trabaja en la subcategoría 4C Incineración e incineración abierta de desechos, específicamente en la *4C1 Incineración de desechos*, de acuerdo con la estructura del sector desechos como se indica en la figura a continuación (Pipatti y Manso 2006).

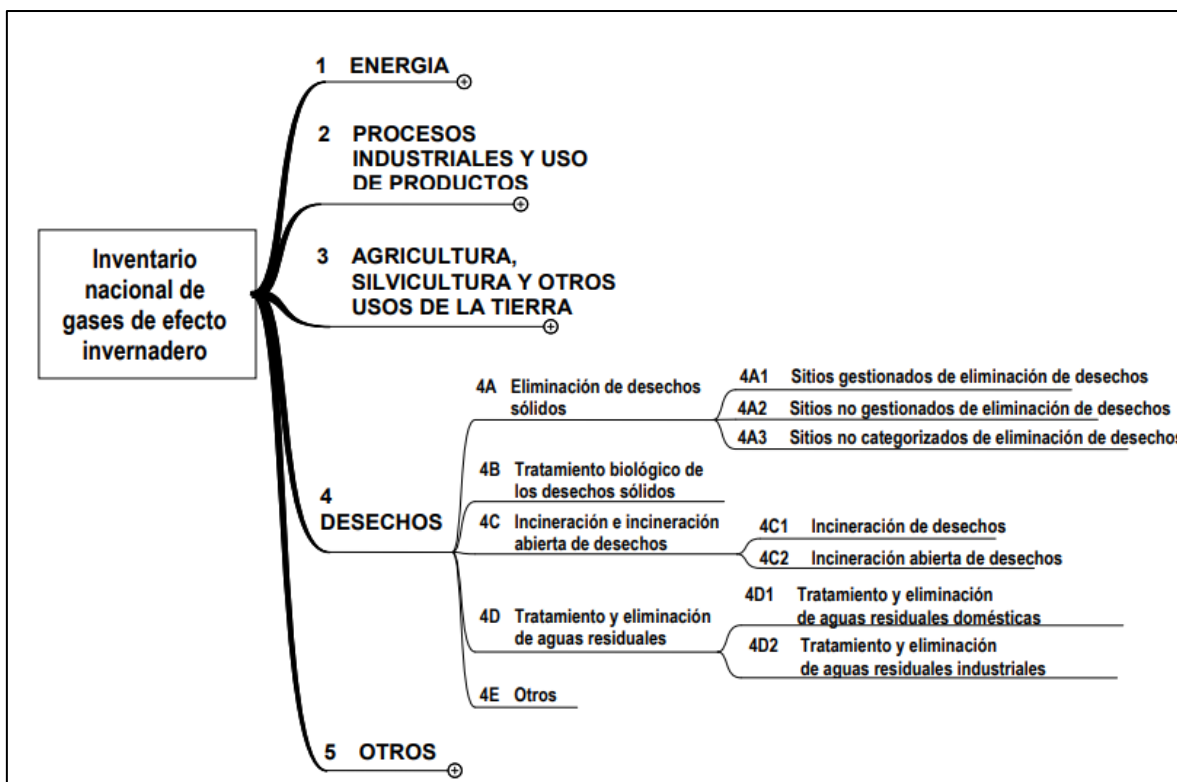


Figura 6. Estructura del Sector desechos según el IPCC
Fuente: (Pipatti y Manso 2006)

Con respecto al sector desechos, los gases de efecto invernadero asociados a este son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y específicamente los generados a partir del tratamiento térmico por medio de incineración de desechos son dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O) (Pipatti y Manso 2006).

Para el cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero, las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales, proporcionan metodologías que requieren el uso de Factores de emisión, los cuales son un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante (Pipatti y Manso 2006).

El sector desechos, es el responsable del 3 a 4 % aproximadamente de las emisiones de GEI a nivel mundial y dentro del Inventario Nacional de GEI, contempla las emisiones generadas a partir de: 4A: Eliminación de desechos sólidos, 4B: Tratamiento Biológicos de desechos sólidos, 4C: Incineración e incineración abierta de desechos, 4D: Tratamiento y eliminación de aguas residuales y 4E: Otros (IPCC 2006).

Por ejemplo, países como Chile, en su Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, dentro del capítulo 6 Sector Residuos, contempla la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos con una

estimación de 0,3 Gg CO₂ eq (0,01 %) adicional menciona que desde el 2010 presenta un incremento en un 26,8 % (Ministerio del Medio Ambiente 2016). A diferencia de países como Costa Rica, el cual, en su cuarta Comunicación Nacional, únicamente determina las emisiones asociadas a la subcategoría 4C2. Incineración abierta de residuos mas no la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos justificando la no tenencia de datos y la actividad en el país (Montoya y Granados 2021). Así también países como México, Colombia y Uruguay que presentan la misma situación de Ecuador. Sin embargo, en el caso de Uruguay desde el año 2015 tienen como estrategia de mitigación la reducción de emisiones a partir del sector desechos, tomando en cuenta la preparación de la información para la estimación de las emisiones de la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos (Ludeña y Ryfisch 2015).

En este contexto, si bien es cierto que la generación de desechos peligrosos puede ser inferior a la generación de desechos sólidos municipales en volumen, los primeros deben ser tomados en cuenta por su composición, afectación al ambiente, a la salud y contribución al cambio climático, ya que en el inventario nacional reportado en la Tercera Comunicación Nacional del país no se estima la incineración de este tipo de desechos. El Ecuador es uno de los países que ha ratificado la adhesión al Acuerdo de Paris, en el marco del cual se debe continuar elaborando el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, para lo cual la Dirección de Mitigación de la Subsecretaria de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, ha requerido últimamente la recopilación de información correspondiente a la incineración de desechos peligrosos en el Ecuador, mediante comunicados formales a las gestoras calificadas.

En la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador, la última entregada a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el sector desechos de acuerdo con el cálculo del inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI), para el año 2012 emitió 3.377,83 GgCO₂-eq, (4,19 % del total nacional), que corresponden, en su mayoría, a la categoría Disposición de residuos sólidos (6A), con un 83,40 % (EC Ministerio del Ambiente 2017).

4. Desechos Peligrosos

Según la definición del Acuerdo Ministerial 026 un desecho peligroso es “desecho sólido, pastoso, líquido o gaseoso resultante de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que

tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo con las disposiciones legales vigentes” (EC 2008, art. 1).

Cualquier sustancia (sólido, líquido o gaseoso) que se genera a partir del proceso productivo puede ser desechos peligrosos. Algunos pueden ser reciclables, reutilizables incluso con valor económico, otros requieren un tratamiento y disposición final en rellenos sanitarios o rellenos de seguridad (Izquierdo 2021).

En este contexto, el MAATE expide en el Anexo B los listados nacionales de desechos peligrosos mediante el (EC 2012, art. 2). Estos se dividen tomando en cuenta la fuente específica de generación.

- Listado No 1: Desechos Peligrosos por fuente Específica.
- Listado No 2: Desechos Peligrosos por fuente No Específica.

En cada uno de los listados se detalla la descripción de los desechos, la peligrosidad que corresponde a si son Corrosivos, Reactivos, Inflamables, Tóxicos o Bioinfecciosos (CRITB), el Código determinado por el presente acuerdo y el Código del Convenio de Basilea.

Los desechos por fuente específica son aquellos que se encuentran divididos por las categorías determinadas en concordancia con la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas (CIIU). A diferencia de los desechos que corresponde a una fuente No Específica es decir que se pueden genera en cualquier actividad (EC 2012, art. 2).

Para la actividad de la industria petrolera, el Acuerdo Ministerial 142 ha determinado los siguientes desechos por fuerte Específica como se detalla en la tabla a continuación:

Tabla 2

Listado No 1: Desechos Peligrosos por fuente Específica para la industria petrolera

CIU	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS	CRITB	CÓDIGO
B 6	EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS Extracción de petróleo crudo y gas natura		
	Recorte de perforación de pozos petroleros en los cuales se usen lodos base aceite	T	B.06.01
	Lodos, ripios y desechos de perforación en superficie que contienen, hidrocarburos, HAP's, Cadmio, Cromo (VI), Vanadio, Bario, Mercurio, Níquel	T	B.06.02
	Lodos de la separación primaria (aceite/agua/sólidos)	T, I	B.06.03
	Aguas de fracturación hidráulica / Aguas de formación.	T	B.06.04
	Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua	T	B.06.05
	Fluidos con pH < 2 o > 12,5	C	B.06.06
9	Actividades de servicio de apoyo para la extracción de petróleo, gas natural, minas y canteras		

CIU	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS	CRITB	CÓDIGO
	Material explosivo fuera de especificaciones	R	B.09.01
	Desechos líquidos de revelado (líquidos que contienen nitrato de plata)	T	B.09.01
19	Fabricación de productos de la refinación del petróleo y coque		
	Natas del sistema de flotación en la refinación del petróleo y almacenamiento de productos derivados	T, I	C.19.01
	Lodos, sedimentos del tratamiento de los efluentes que contienen	T, I	C.19.02
	Slops de petróleo	T, I	C.19.03
	Lodos de fondos de tanques de hidrocarburos y de agua de formación	T, I	C.19.04
	Desechos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro proceso pirolítico	T, I	C.19.05
	Desechos de tetraetilo de plomo o impegados con tetraetilo de plomo	T	C.19.06
	Vegetación contaminada con hidrocarburos	T	C.19.07
	Mezclas oleosas agua-hidrocarburos, emulsiones	T	C.19.08
	Desechos generados en las hidrosulfuradoras.	T	C.19.09
	Arcillas de filtración, carbón activado u otros materiales filtrantes usados contaminados con hidrocarburos	T	C.19.10
	Desechos de coque que no se reintegren al proceso	T	C.19.11
	Catalizadores agotados que contienen alguno de los siguientes elementos: Ni, Pd, Pt, V, Mn, As, Se, Cd, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Sc, Co, Cu, Y, Nb, Hf, W, Ti, Cr, Ni, Zn, Mo, Zr, Ta, Re.	T	C.19.12
	Suelos contaminados con hidrocarburos generados por derrames	T	C.19.13
	Materiales adsorbentes contaminados utilizados en los derrames de hidrocarburos o de sustancias químicas peligrosas	T	C.19.14
	Productos químicos caducados o productos finales de refinación fuera	T	C.19.15
	Desechos de materiales aislantes, materiales refractarios o similares que contienen sustancias peligrosas	T	C.19.16
	Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	T	C.19.17

Fuente: (EC 2012, art. 2)

Elaboración propia

Así también se detalla desechos por fuerte No Específica asociados a las actividades petroleras:

Tabla 3

Listado No 1: Desechos Peligrosos por fuente No Específica para la industria petrolera

DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS	CRITB	CÓDIGO
Aceites dieléctricos usados que no contengan bifenilopoliclorados (PBC), terfenilopoliclorados (PCT) o bifenilopolibromados (PBB)	T, I	NE-01
Aceites minerales usados o gastados	T, I	NE-03
Baterías usadas que contengan Hg, Ni, Cd u otros materiales peligrosos y que exhiban características de peligrosidad.	T	NE-08
Chatarra contaminada con materiales peligrosos	T	NE-09

DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS	CRITB	CÓDIGO
Desechos biopeligrosos activos resultantes de la atención médica prestados en centros	B	NE-10
Desechos contaminados con peróxidos	R	NE-11
Desechos de catalizadores que contengan metales pesados	T	NE-16
Desechos de soluciones ácidas con pH < 2	C	NE-18
Desechos de soluciones alcalinas con pH > 12.5	C	NE-19
Desechos que contienen, consisten o están contaminados con dioxinas y furanos	T	NE-22
Desechos químicos de laboratorio de análisis y control de calidad	T	NE-23
Desechos sólidos o lodos/sedimentos de sistemas de tratamiento de las aguas residuales industriales que contengan materiales peligrosos: Cr (VI), As, Cd, Se, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, cianuros, fenoles o metales pesados	T	NE-24
Envases contaminados con materiales peligrosos	T	NE-27
Equipo de protección personal contaminado con materiales peligrosos	T	NE-30
Filtros usados de aceite mineral	T	NE-32
Aceites, grasas y ceras usadas o fuera de especificaciones	I	NE-34
Hidrocarburos sucios o contaminados con otras sustancias	T, I	NE-35
Lodos de aceite	T	NE-36
Lodos de sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas que contengan	T	NE-37
Lodos de tanques de almacenamiento de hidrocarburos	T, I	NE-38
Luminarias, lámparas, tubos fluorescentes, focos ahorradores usados que contengan mercurio	T	NE-40
Material filtrante y/o carbón activado usados con contenido nocivo	T	NE-41
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	T	NE-42
Material adsorbente contaminado con sustancias químicas peligrosas: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	T	NE-43
Material de embalaje contaminado con restos de sustancias o desechos peligrosos	T	NE-44
Mezclas oleosas, emulsiones de hidrocarburos- agua, desechos de taladrina	T	NE-45
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	T	NE-48
Suelos contaminados con materiales peligrosos	T	NE-52

Fuente: (EC 2012, art. 2)

Elaboración propia

Cada uno de los desechos, son sometidos a diferentes tratamientos para su gestión de acuerdo con las autorizaciones emitidas por el ente regulador con las que cuentan las empresas petroleras y gestoras ambientales (Izquierdo 2021).

Capítulo segundo

Incineración de desechos peligrosos en el Ecuador: descripción del caso de estudio

Este estudio tiene como objetivo determinar una aproximación de la contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador, para esto, es indispensable entender qué es la incineración de desechos peligrosos y cuál es el estudio de caso con el que se realizó el presente estudio.

Para responder a estas interrogantes el presente capítulo describirá el detalle de la información según la situación actual.

1. Incineración de desechos peligrosos en Ecuador

Una de las fases de gestión para el manejo de desechos peligrosos es el tratamiento térmico por Incineración (Oxidación Térmica). En este sentido, toda persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera para prestar este servicio deberá cumplir con el procedimiento previo al licenciamiento ambiental para la gestión de desechos peligrosos (EC 2008, art 2).

La incineración es una técnica utilizada como tratamiento controlado para una amplia variedad de desechos. Esta técnica, corresponde a la acción de quemar los desechos en incineradores (hornos especiales), mediante un proceso de combustión controlada. Este proceso transforma los desechos en residuos sólidos como cenizas, escorias y compuestos gaseosos, los cuales posteriormente son tratados y/o dispuestos. La incineración es solo una parte de la gestión, es decir se requiere de un sistema complementario de tratamiento para los restos generados de la combustión (Montenegro 2011).

En los últimos 15 años, las diferentes tecnologías de incineración han ido mejorando como resultado a los requerimientos de las legislaciones específicas para el sector. Los cambios y mejoras han permitido la reducción de las emisiones a la atmósfera de las instalaciones que realizan este proceso, así también la optimización de costes y tiempo (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011).

En Ecuador, existe un colectivo conformado por personas jurídicas que tienen como actividades económicas principales alguna de las fases de gestión de residuos y desechos denominado Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador, estas empresas van creciendo y van desarrollando más sus actividades. Como parte de la gestión de desechos se encuentran aquellas empresas que ejecutan el tratamiento térmico de los desechos (Incineración), de las cuales a continuación se puede resumir las principales tecnologías utilizadas, así como la provincia donde tienen ubicadas sus plantas (Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador 2022).

Tabla 4
Principales tecnologías de incineración en Ecuador y su ubicación

NOMBRE EMPRESA	TÉCNOLOGÍA DE INCINERACIÓN	PROVINCIA
Hazwat	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Sucumbíos
Gpower Group	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Orellana
Pecs Soluciones Ambientales	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Orellana
Ecuambiente Conuslting Group Cia. Ltda.	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión y sistema de lavado de gases	Orellana
Gadere S.A. by Veolia	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Guayas
Plusambiente	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Orellana
Incinerox Cía. Ltda.	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión y sistema de lavado de gases	Sucumbíos
Celtel Ecuador	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Sucumbíos
G&M Tratamiento Integral de Desechos	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión y sistema de gases	Pichincha
Ecoambiental Andina Cía. Ltda.	Gestora Ambiental – Incinerador con quemadores duales para combustión y postcombustión, y lavador de gases	Orellana
Ecoresa Ecología y Reciclaje S.A.	Gestora Ambiental – Incinerador con dos cámaras de combustión	Orellana
UNACEM	“Co-procesamiento” en Horno rotatorio para calcinación - Industria del cemento.	Pichincha
Geocycle – Holcim	“Co-procesamiento” en Horno rotatorio para calcinación - Industria del cemento.	Guayas

Fuente: (Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador 2022)
Elaboración propia

De las empresas gestoras ambientales mencionadas en la tabla 4, aquellas ubicadas en las provincias de Sucumbíos y Orellana, son las que principalmente reciben los desechos peligrosos generados por el sector petrolero según la (Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador 2022).

“El objetivo de la incineración de residuos es [...] reducir su volumen y peligrosidad, concentrando o destruyendo las sustancias potencialmente nocivas. Los procesos de incineración también pueden ofrecer un medio que permita la recuperación del contenido energético, mineral o químico de los residuos” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011). Las principales etapas del proceso de incineración son:

- 1) Secado y desgasado. Únicamente depende del calor aportado y en este se desprende el contenido volátil (como hidrocarburos y agua) a temperaturas entre 100 y 300 °C.
- 2) Pirólisis y gasificación. La descomposición consecutiva de las sustancias orgánicas en ausencia de un agente oxidante a temperaturas de 250 a 700 °C es la pirolisis, y la gasificación corresponde a la reacción de los desechos con el vapor de agua y CO₂ a temperaturas entre 500 y 1000 °C. por lo tanto se realiza la transferencia de la materia orgánica sólida a la fase gaseosa.
- 3) Oxidación. De acuerdo con el método de incineración, a temperaturas entre 800 y 1450 °C los gases combustibles creados en las etapas anteriores se oxidan.

El sector de incineración puede dividirse en algunos subsectores principales, entre los cuales están la incineración de residuos urbanos mixtos con y sin pretratamiento, incineración de lodos de depuradora, incineración de residuos clínicos e incineración de desechos peligrosos. Esta última incluye la incineración en plantas industriales y/o plantas comerciales en las que normalmente reciben una amplia variedad de desechos (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011).

Las ventajas de la incineración son varias y de gran interés, como por ejemplo la reducción del volumen de los residuos y desechos, reducción del impacto ambiental en comparación con un relleno sanitario, la desintoxicación destruyendo las bacterias, virus y compuestos orgánicos y la recuperación de energía (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011).

Así también, esta tecnología presenta algunas desventajas como, por ejemplo, un costo elevado en la operación, se requiere mano de obra calificada, se presentan problemas operacionales debido a la variabilidad de la composición de los desechos y las emisiones generada en el proceso (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011).

2. Descripción del caso de estudio

El proyecto del cual se está obteniendo la información es una empresa Gestora Ambiental que cuenta con las regularizaciones administrativas correspondientes emitidas por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, para el proceso de incineración desde el año 2006, siendo una de las empresas más antiguas del sector con este proceso. Su experiencia en la gestión ambiental con el sector petrolero es de 33 años, atendiendo los requerimientos de varias empresas operadoras de campos petroleros como la estatal EP Petroecuador, así también las privadas Repsol YPF, Tecpetrol, Andespetroleum, Pluspetrol, Shaya Ecuador S.A., Orión Energy, Gran Tierra Energy, Geopark, entre otras de servicios petroleros como Schlumberger del Ecuador, Halliburton, Baker, Hilon, Tuscany, Sinopec, Consorcio Pañaturi, OCP, entre otras. Esta experiencia es la que permite tomar como referencia a esta empresa para el presente estudio, sin embargo, salvando la confidencialidad de los datos se omite el nombre. Se encuentra ubicada en la provincia de Orellana, Cantón Francisco de Orellana, del Ecuador.

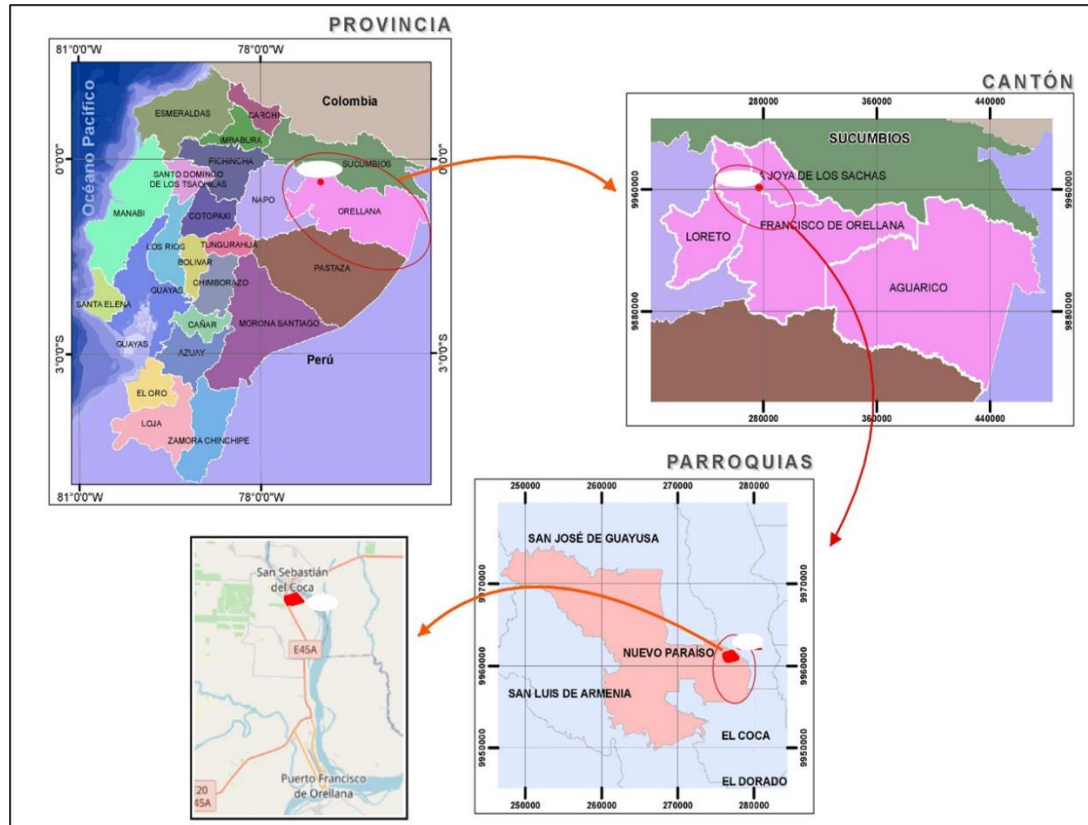


Figura 7. Mapa de ubicación referencial de la instalación de incineración
Fuente: (gestora ambiental 2022)

Esta gestora ambiental como parte de sus servicios realiza la incineración de desechos peligrosos de varias industrias a nivel nacional, sin embargo, los desechos contaminados con hidrocarburos provienen principalmente del sector petrolero cuyas actividades se ubican en las provincias de Napo, Sucumbíos y Orellana.

La tecnología utilizada en la planta de incineración de esta empresa es la incineración (Oxidación Térmica) controlada con un equipo de dos cámaras de combustión. El promedio por hora de temperaturas del incinerador en la cámara de ignición se encuentra entre 820 y 860 °C, y, en la cámara de postcombustión se encuentra entre 950 y 1100 °C; los bultos que comprenden las dietas tienen un peso ideal de 30 kg y la carga se la realiza cada 10 minutos (Valarezo 2022, entrevista personal). El incinerador con el que cuenta la empresa gestora ambiental es un equipo de marca Pennram E180, cuyas características se indican en la tabla 5.

Tabla 5
Características técnicas del Incinerador Pennram E180

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Tipo de Residuo	Desechos generados en procesos industriales
Generador	Marca Pennram E180
Procedencia	U.S.A.
Capacidad de Incineración (Kg. /hora)	180 – 200 (Kg. /hora)
Combustible	Diesel o GLP
Cámara Primaria	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen (5.5 m3), • Sistema automático de recolección de ceniza (9.28 m3). <p>Equipada con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quemador North American. • Bujía de encendido para llama piloto que actúa por 15 seg por cada ciclo de incineración. • Escáner UV marca Honeywell que electrónicamente controla y supervisa la llama. • Válvula principal de combustible, regulador de presión de diésel y válvula manual. • El aire de combustión se modula hasta apagarse cuando el quemador no está en uso. • El aire piloto y de atomización está activo durante la operación de la cámara. <p>Sistema de seguridad del quemador primario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema encendido. • Modo del temporizador apagado. • Temperatura de la cámara, límites de operación. • Compuerta de ceniza probada cerrada • Puerta de fuego, probada cerrada. • Quemador primario off-on-auto esté en on ó posición de auto. • Carga posterior con demora del temporizador • Consumo promedio de combustible: 200.000 btu/h.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Posee un sistema de enfriamiento periódico con spray (rociador) de agua pulverizada y controlado automáticamente por un sensor de temperatura. • Quemador: 960.000 btu/h
Cámara Secundaria	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen (2.2 m3). • Quemador: 2.000.000 btu/h modulado. <p>Equipada con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quemador North American. • Bujía de encendido para llama piloto que actúa por 15 seg. por cada ciclo de incineración. • Escáner UV marca Honeywell que electrónicamente controla y supervisa la llama. • Válvula principal de combustible, • Regulador de presión de diésel y válvula manual. • Aire de combustión se modula hasta apagarse cuando el quemador no está en uso. • El aire piloto y de atomización está activo durante la operación de la cámara. <p>Sistema de seguridad del quemador secundario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema encendido. • Modo del temporizador apagado. • Temperatura de la cámara, límites de operación. • Quemador secundario off-on-auto esté en On ó posición de auto. • Seguridad en arranque y prepurga. <p>Sistema de seguridad del aire de combustión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema encendido • Modo del temporizador apagado. • Seguridad en arranque y prepurga. • Está provisto de un sistema de inyección de aire a través de 32 boquillas, para optimizar la turbulencia del aire de combustión.
Rango de Temperaturas	
a) Primaria	> 850 °C
b) Secundaria	> 1100 °C
Capacidad de Calentamiento	
Capacidad de Calentamiento	Uno (1) por cada cámara
Conexión eléctrica	220 v., 3 f., 60 Hz.
Energía eléctrica de conexión	Energía de tres fases (trifásico)
Control de temperatura	Sistema automático e independiente PLC para cada cámara
Registro de temperatura	Sistema automático e independiente PLC para cada cámara
Método de carga para sólidos	Automático, termo controlado
Puerta de carga	Independiente, de operación hidráulica controlada por la temperatura de la cámara de combustión (para inicio de operaciones y eventuales sobrecargas o descensos de temperatura)
Sistema de Alimentación de Desechos	Automática: Los desechos se depositan al interior de la cámara primaria automáticamente por medio de un pistón hidráulico. El desplazamiento del indicado pistón es controlado por sensores de movimiento ubicados en lugares estratégicos
Sistema de Extracción de cenizas	Automática: Equipo construido en acero inoxidable 304 de ¼”.
Ceniza residual	Biológicamente inerte: 95% de reducción al peso

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Panel de control, PLC	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control con PLC, interactiva con una pantalla táctil. • El sistema de control es totalmente automatizado y posee un sistema de bloqueo de seguridad. • Todos los componentes del sistema deberán emplear memoria no volátil; la memoria se retendrá por al menos un año con cortes de energía.
Chimenea de Humo	
Chimenea de Altura	Medidas: 71 cm I.D. x 86 cm O.D. x 731 cm de altura, desde el incinerador hasta la salida
Tiempo de residencia de los gases en la segunda cámara	A 1000°.C de un (1) segundo
SISTEMA DE PURIFICACION DE GASES Desempeño de emisiones corregido al 7% O ₂ : NO PRODUCE HUMO	<p>El cual incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de enfriamiento de gases. • Sistema para recuperación de calor, utilizado en producción de: agua caliente, vapor o aire caliente. <p><i>Baghouse</i> usado como (<i>scrubber</i> seco), equipado con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema automático para recolección de cenizas volátiles. • Sistema de limpieza, aire en contraflujo. • Sistema de inyección de cal hidratada. • Etc.
	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas ≤ 0.08 gr/dscf • CO ≤ 40 ppmv • Emisiones visibles promedio con menos del 5% de opacidad (no visible). • Contenido del gas de escape en promedio de basura: • Nitrógeno 68.4% • Dióxido de Carbono 13.6% • Oxígeno 12.4% • Vapor de Agua 5.5% • Dióxido de Azufre $< 0.0001\%$ • Ácido Clorhídrico $< 0.0001\%$ • Polvo Microscópico $< 0.0001\%$ • Monóxido de Carbono < 30 ppm • Dioxina < 0.1 partes por billón

Fuente: (Pennram Diversified Manufacturing Corporation 2010)
Elaboración propia

A continuación, en la figura 8 se presenta una fotografía del incinerador Pennram E180 ubicado en el área de manejo de desechos peligrosos de la empresa gestora ambiental.



Figura 8. Incinerador marca Pennram E180

Fuente: Imagen tomada de la empresa gestora ambiental 2022

Así también, como se observa en la figura 9 a continuación se detalla el funcionamiento del incinerador Pennram E180 por medio de un diagrama de flujo. En este, podemos identificar la entrada de los desechos al proceso, los cuales se depositan al interior de la cámara primaria automáticamente por medio de un pistón hidráulico, este pistón es controlado por sensores de movimiento ubicados en lugares estratégicos. Los desechos ingresan a la cámara primaria en la cual se combustionan y los gases pasan a cámara secundaria o cámara de postcombustión. Una vez se realiza todo el proceso los gases que contienen GEI salen por la chimenea de humo la cual está conectada a un sistema de lavador de gases. Para las cenizas, se cuenta con un sistema de paletas recolectoras, las cuales están atadas a una cadena de acero, que forma parte de un sistema hidráulico que trabaja a 1000 psi, el cual activa 6 motores hidráulicos que mueven la cadena periódicamente en intervalos de tiempo regulados. Este sistema de recolección automático de las cenizas residuales permite la operación de la máquina 24 h./día (Pennram Diversified Manufacturing Corporation 2010).

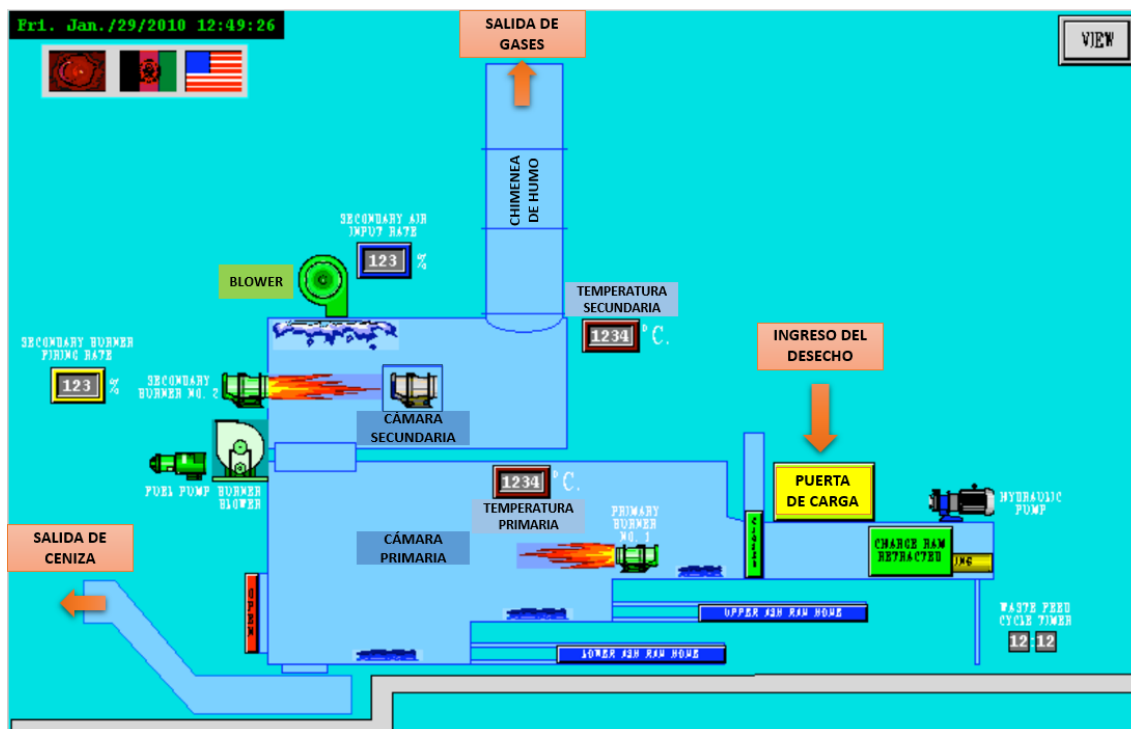


Figura 9. Diagrama del funcionamiento del proceso de incineración.
Fuente: (Pennram Diversified Manufacturing Corporation 2010).

De acuerdo con los protocolos internos de la empresa gestora ambiental, para garantizar un proceso adecuado es importante que se realice una selección y separación entre desechos que serán incinerados (paños contaminados, plásticos contaminados, vegetación contaminada, aceites, grasas) de aquellos que por sus características deberán ser separados del proceso y deberán optar por otro tipo de tratamiento y disposición final como son el vidrio, químicos, chatarra, aerosoles, pilas, clínicos, entre otros (Valarezo 2022, entrevista personal).

Para la incineración de desechos se debe considerar características como, poder calorífico del desecho, tipo de desechos de acuerdo con el tipo de contaminante incrustado acuerdo (aceite, grasas, químicos, petróleo, etc.) y la cantidad. Una vez realizada la selección de desechos contaminados se procede a realizar los bultos, a estos se los coloca en el interior de la cámara de ignición del sistema de alimentación del incinerador (Valarezo 2022, entrevista personal).

Capítulo tercero

Metodología

Este capítulo, describe la estrategia metodológica utilizada para para la estimación de las emisiones de CO₂ y N₂O provenientes de la incineración de desechos de acuerdo con el (IPCC 2006), consiste en obtener la cantidad del peso de los desechos incinerados diferenciados por tipo y los factores de emisión del CO₂ y el N₂O relacionados.

Para las emisiones de CO₂ y N₂O provenientes de la incineración, se seguirán los siguientes pasos:

- Identificar los tipos de desechos incinerados.
- Recopilar los datos sobre las cantidades de desechos incinerados, la documentación sobre los métodos o tecnología utilizada y las fuentes de los datos.
- Usar valores por defecto proporcionados sobre el contenido de materia seca, contenido de carbono total, fracción de carbono fósil y factor de oxidación para los diferentes tipos de desechos.
- Calcular las emisiones de CO₂ y N₂O provenientes de la incineración de desechos peligrosos, mediante el uso del Software de Inventario del IPCC.
- El método aplicarse para la estimación es de acuerdo con el Nivel 1, debido a que las emisiones de CO₂ y N₂O generadas por incineración no son una categoría principal y los parámetros utilizados constituyen valores por defecto.

1. Identificación de los tipos de desechos incinerados

La información para la ejecución del presente proyecto corresponde a los datos de los desechos peligrosos que han sido gestionados por medio de tratamiento térmico (Incineración) por la empresa Gestora Ambiental durante el año 2018.

La cantidad y el tipo de desecho que ingresa a la empresa Gestora Ambiental se determina mediante los documentos habilitantes en conformidad con el Acuerdo Ministerial 026 (EC 2008, art. 2), que corresponde al Manifiesto Único de transferencia del MAATE. En este documento se detalla como parte del generador la descripción de los desechos, la codificación de estos de acuerdo con los listados según el (EC 2012, art.

2), envase en el cual está almacenado, cantidades y unidad de medida, adicionales datos de responsables de Generador, Transportista y Destinatario. Esta información es ingresada a registros internos de la Gestora Ambiental para llevar la trazabilidad de los tipos de desechos, cantidades, tipo de tratamiento, cliente del cual provienen, etc.

Al final del año, se recopila la información en el Formulario Anexo A MA-SGD-DA Declaración Anual de Generación y Manejo de Desechos Peligrosos. En este registro en la tabla del ítem 1.4 *Manejo de Desechos Peligrosos* se llena la información del manejo de los desechos dependiente el tipo de tratamiento y disposición final que se le dio.

De este listado se seleccionó los desechos relacionados a las actividades de extracción de petróleo y utilizando el principio de Pareto (Sales 2013), se ha priorizado para considerar 5 tipos de residuos que abarcan el 80 % del volumen total que se incineró en el año, los cuales se detalla en la tabla 6.

Tabla 6
Residuos que abarcan el 80% de la incineración del 2018

ÍTEM	TIPO DE DESECHO	CLAVE
1	Aceites minerales usados o gastados	NE-03
2	Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42
3	Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17
4	Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27
5	Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48

Fuente y elaboración propias

2. Cantidad de desechos incinerados

La tabla 7 detalla las cantidades de los desechos con sus características de CRTIB: Corrosivo, Reactivo, Tóxico, Inflamable y Bioinfeccioso, así también la metodología que fue utilizada por la gestora ambiental para realizar la gestión de estos desechos, en este caso es tratamiento térmico que corresponde a la Incineración controlada.

Tabla 7
Listado de desechos tratados mediante Incineración Térmica - TTI.

Nombre del desecho	Código AM 142	C	R	T	I	B	Clasificación de tratamiento	Operación	Cantidad	Unidad
Aceites minerales usados o gastados	NE-03			T	I		IN	TT1	85,33	1
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42			T			IN	TT1	82,65	1

Nombre del desecho	Código AM 142	C	R	T	I	B	Clasificación de tratamiento	Operación	Cantidad	Unidad
Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17			T			IN	TT1	65,14	1
Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27			T			IN	TT1	39,85	1
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48			T			IN	TT1	31,7	1
CRTIB: Corrosivo, Reactivo, Tóxico, Inflamable y Bioinfeccioso. IN: Incineración TT1: Tratamiento Térmico I: Toneladas										

Fuente: (Empresa Gestora Ambiental 2018)

Elaboración propia

3. Ecuación de cálculo de las emisiones de CO₂

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se utilizará la ecuación 5.1 Estimación de las emisiones de CO₂ basada en la cantidad total de desechos incinerados (IPCC 2006):

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = Emisiones de CO₂ durante el año del inventario, Gg/año

SW_i = Cantidad total de desechos de tipo i (peso húmedo) incinerados, Gg/año

dm_i = Contenido de materia seca en los desechos (peso húmedo) incinerados,

(fracción)

CF_i = Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total),

(fracción)

FCF_i = Fracción de carbono fósil en el carbono total, (fracción)

OF_i = Factor de oxidación, (fracción)

44/12 = Factor de conversión de Carbono en CO₂

i = Tipo de desecho incinerado especificado de la manera siguiente: HW: Desecho peligroso.

4. Ecuación de cálculo de las emisiones de N₂O

Para la estimación del N₂O, se utilizará la ecuación 5.5 Estimación de las emisiones de N₂O basada en la entrada desechos a los incineradores (IPCC 2006)

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

Donde:

Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O durante el año del inventario, Gg/año

IWi = cantidad de desechos de tipo i incinerados o quemados por incineración abierta, Gg/año

EFi = factor de emisión de N₂O (kg. de N₂O/Gg de desechos) para desechos de tipo i

10⁻⁶ = factor de conversión de kilogramos en gigagramos

i = categoría o tipo de desecho incinerado, HW: desecho peligroso,

Como parte del análisis de la información se detalla a continuación la ejecución de la metodología utilizada en el presente estudio.

5. Definición de los Factores de Emisión

Para la definición de los factores de emisión, se utilizó la información contenida en el Emission Factor Database (EFDB).² Esta base de datos corresponde a un material de apoyo preparado por el IPCC, en la cual se puede encontrar datos de los factores de emisión, así como otros parámetros con documentación de antecedentes o referencias técnicas que pueden usarse para estimar las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (IPCC 2006).

A continuación, se detalla la búsqueda básica realizada para la categoría 4C1 Incineración de Residuos. Ingresamos al sitio web, elegimos búsqueda básica, posteriormente el año 2006 en el casillero de Directrices del IPCC, se escoge la categoría (4) Residuos, (4.C) Incineración y Quema a Cielo Abierto de Residuos y finalmente (4.C.1) Incineración de Residuos. Con esta opción se despliega todos los registros que forman parte de la base.

Para fines del presente estudio, procedemos a seleccionar los gases dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O).

Una vez filtrado los gases de interés, se procedió a escoger el factor de emisión tomando en cuenta los parámetros de selección apropiados para el presente estudio. Para el caso del gas dióxido de carbono, se determina el ID:615020 y se obtiene el detalle del

² La base de datos se encuentra disponible en el siguiente enlace <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>.

factor de emisión como factor de oxidación en (%) del aporte de carbono con el valor de 100 %, como se indica en la tabla 8.

Tabla 8
Detalle del Factor de Emisión del Dióxido de Carbono (ID:615020).

Información administrativa	
Proveedor de datos:	IPCC
País del proveedor de datos:	(No aplica)
Contacto del proveedor de datos:	ipcc-efdb@iges.or.jp
Información administrativa	
Gas:	DIÓXIDO DE CARBONO
IPCC 1996 Categoría de fuente/sumidero:	Residuos (6) -> Incineración de residuos (6C)
IPCC 2006 Categoría de fuente/sumidero:	Residuos (4) -> Incineración y quema a cielo abierto de residuos (4.C) -> Incineración de residuos (4.C.1)
Propiedades	
Tecnologías/Prácticas:	Incineración
Parámetros/Condiciones:	para RSU, Residuos industriales, residuos clínicos, lodos de depuradora, residuos líquidos fósiles. Combustión en instalaciones de incineración controlada, altas temperaturas de combustión, largo tiempo de residencia, agitación eficiente de residuos, aire para una combustión más completa.
Descripción:	Factor de oxidación como % del aporte de carbono
Valor:	100 %
Ecuación:	Ecuación 5.1 del Capítulo 5, Volumen 5 de las Directrices de 2006
Hoja de trabajo del IPCC:	4C1
Fuente de datos:	Tabla 5.2 p 5.18 del Capítulo 5 en el Volumen 5, las Directrices del IPCC de 2006
Referencia técnica:	Autores principales del Capítulo 5 en el Volumen 5, las Directrices del IPCC de 2006
Idioma de referencia:	inglés
Incertidumbres expresadas como límite de confianza del 95%:	Superior: Desconocido Inferior: Desconocido
Calidad de los datos:	Juicio experto de los Autores Principales del Capítulo 5 en el Volumen 5 de las Directrices del IPCC de 2006
Referencia de calidad de datos:	Directrices del IPCC de 2006
Información de uso/revisión	
Tipo de parámetro:	Incumplimiento del IPCC de 2006
Comentarios del proveedor de datos:	Aplicable para la incineración de RSU, Residuos industriales, residuos clínicos, lodos de depuradora, residuos líquidos fósiles.

Fuente: (IPCC 2006)

Elaboración propia

Para el caso del gas Óxido Nitroso, se determina el ID: 615048 y se obtiene el detalle del Factor de emisión con el valor de 9,8 g N₂O/t Desechos Peligrosos incinerados en peso húmedo, como se indica en la Tabla 9.

Tabla 9
Detalle del Factor de Emisión del Óxido Nitroso (ID: 615048).

Información administrativa	
Proveedor de datos:	IPCC
País del proveedor de datos:	(No aplica)
Contacto del proveedor de datos:	ipcc-efdb@iges.or.jp

Información administrativa	
Gas:	ÓXIDO NITROSO
IPCC 1996 Categoría de fuente/sumidero:	Residuos (6) -> Incineración de residuos (6C)
IPCC 2006 Categoría de fuente/sumidero:	Residuos (4) -> Incineración y quema a cielo abierto de residuos (4.C) -> Incineración de residuos (4.C.1)
Propiedades	
Tecnologías/Prácticas:	Incineración de residuos Industriales
Parámetros/Condiciones:	Aceite usado
Región/Condiciones regionales:	Japón
Descripción:	Factor de emisión de N ₂ O
Valor:	9,8 g N₂O/t RSU incinerados en peso húmedo
Ecuación:	Ecuación 5.5 del Capítulo 5, Volumen 5 de las Directrices de 2006
Hoja de trabajo del IPCC:	4C1 Incineración de residuos
Fuente de datos:	Tabla 5.5 p 5.21 del Capítulo 5 en el Volumen 5, las Directrices del IPCC de 2006
Referencia técnica:	GIÓ (2005). Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de JAPÓN. Ministerio del Medio Ambiente/ Oficina de Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Japón (GIO) / Centro de Investigación Ambiental Global (CGER) / Instituto Nacional de Estudios Ambientales (NIES).
Idioma de referencia:	inglés
Incertidumbres expresadas como límite de confianza del 95%:	Superior: Desconocido Inferior: Desconocido
Calidad de los datos:	Autores principales del Capítulo 5 del Volumen 5 de las Directrices del IPCC de 2006
Referencia de calidad de datos:	Directrices del IPCC de 2006
Información de uso/revisión	
Tipo de parámetro:	Otro (por ejemplo, compilado)
Comentarios del proveedor de datos:	Las emisiones de óxido nitroso de la incineración de desechos se determinan en función del tipo de tecnología y las condiciones de combustión, la tecnología aplicada para la reducción de NO _x y el contenido de la corriente de desechos. Como resultado, los factores de emisión pueden variar de un sitio a otro.

Fuente: (IPCC 2006)

Elaboración propia

6. Detalle del *software* de inventario del IPCC

Para la estimación de las emisiones de CO₂ y N₂O a partir de la incineración de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos se va a utilizar la herramienta Software de inventario del IPCC versión 2.65 (IPCC 2021)³.

³ La herramienta se puede descargar del siguiente enlace: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>.

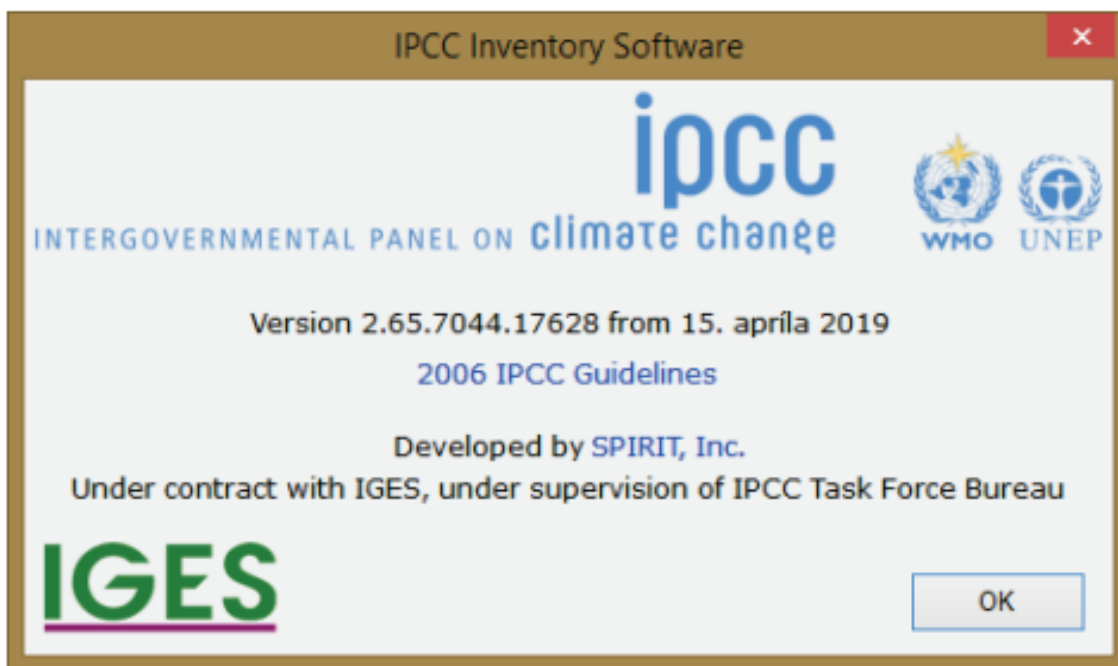


Figura 10. Software de inventario del IPCC
Fuente: (IPCC 2021)

Este software implementa los métodos de nivel 1 más simples para todos los sectores y los métodos de nivel 2 para la mayoría de las categorías en los sectores de energía, Industria (IPPU) y desechos, así también las categorías de agricultura en el sector AFOLU. Para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero se realiza en concordancia con las directrices del IPCC del 2006. Es importante mencionar que todas las estimaciones obtenidas a partir de este software pueden ser utilizadas por los países para realizar una comparación con sus propias estimaciones nacionales (IPCC 2021).

En la siguiente figura 11 se indica la pantalla con un detalle general de los componentes del *software*.

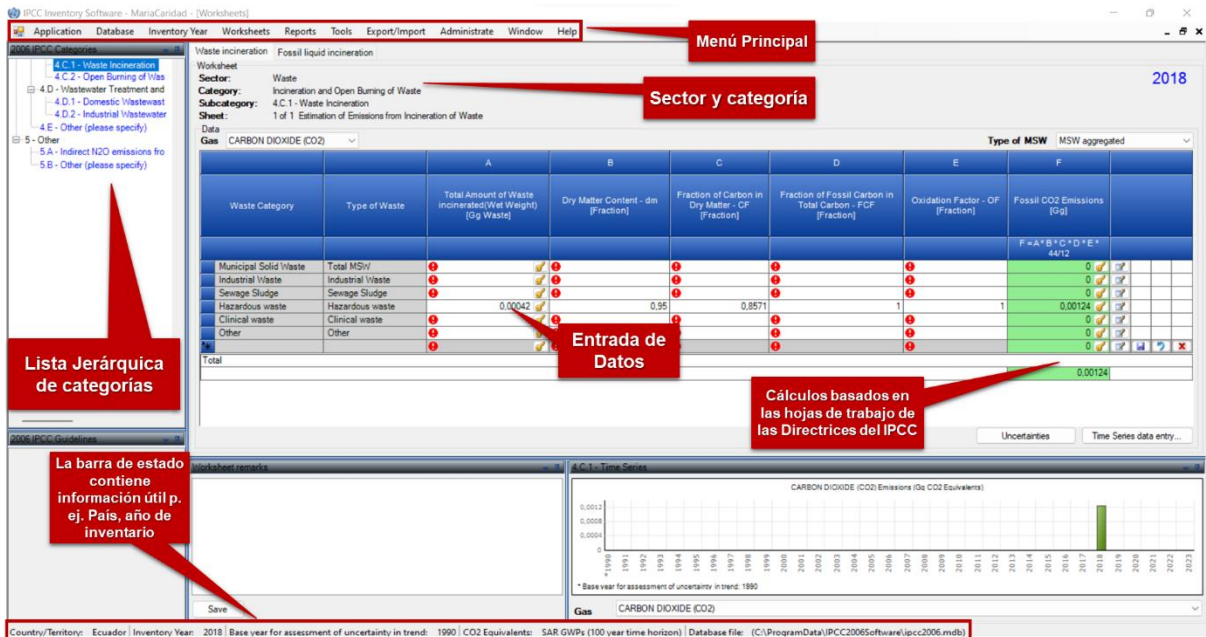


Figura 11. Detalle general del Software de inventario del IPCC.

Fuente: (IPCC 2021)

El *software* de inventario del IPCC tiene funciones administrativas como país, usuarios años; presenta análisis de incertidumbre, método de referencia; contiene datos por defecto, hojas de trabajo para la entrada de los datos; gestores de datos como tipos de tierras y ganados; archivos de datos; así también permite la exportación e importación de los datos.

7. Cálculo de las emisiones

Para el cálculo de las emisiones en el software aplicando las ecuaciones 5.1 para el CO₂ y 5.5 para el N₂O se realizó la recopilación de los datos, tomando referencias como el informe del protocolo de pruebas realizado por la empresa gestora ambiental como parte del cumplimiento legal para obtener el permiso ambiental para la fase de gestión de desechos con tratamiento térmico (incineración). Así también, se tomó en cuenta datos por default y bibliográficos detallados en las tablas 6 y 7.

Los valores para el uso de la Ecuación 5.1 Estimación de las emisiones de CO₂ basada en la cantidad total de desechos quemados del (IPCC 2006), se detallan en la tabla 10 a continuación.

Tabla 10
Datos de para la ecuación 5.1 Estimación de las emisiones de CO₂.

i		SW_i	dm_i	CF_i	FCF_i	OF_i
TIPO DE DESECHO	CLAVE					
Aceites minerales usados o gastados	NE-03	0,08533 Gg/año	0,8	0,84	1	1
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42	0,08265 Gg/año	0,95	0,8571	1	1
Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17	0,06514 Gg/año	0,95	0,8571	1	1
Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27	0,03985 Gg/año	1	0,99	1	1
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48	0,0317 Gg/año	0,9	0,84	1	1

Fuente: (IPCC 2006); (Gestora ambiental 2018)

Elaboración propia

Así también los valores para la ecuación 5.5 Estimación de las emisiones de N₂O basada en la entrada desechos a los incineradores (IPCC 2006), se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11
Datos de para la ecuación 5.5 Estimación de las emisiones de N₂O.

I		IW_i	EF
TIPO DE DESECHO	CLAVE		
Aceites minerales usados o gastados	NE-03	0,08533 Gg/año	9,8 kg N ₂ O/Gg
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42	0,08265 Gg/año	9,8 kg N ₂ O/Gg
Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17	0,06514 Gg/año	9,8 kg N ₂ O/Gg
Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27	0,03985 Gg/año	9,8 kg N ₂ O/Gg
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48	0,0317 Gg/año	9,8 kg N ₂ O/Gg

Fuente: (IPCC 2006); (Gestora ambiental 2018)

Elaboración propia

En el Software de Inventario del IPCC, se escogió el año de inventario 2018 para el presente estudio.

En la pantalla principal se escoge el sector desechos, categoría 4C Incineración e incineración abierta de desechos y la subcategoría 4C1 Incineración de desechos. Para el ingreso de datos se escoge el tipo de gas que se requiere calcular. Se despliega la hoja de cálculo de Incineración de residuos para los elementos escogidos, como se indica en la Figura 12.

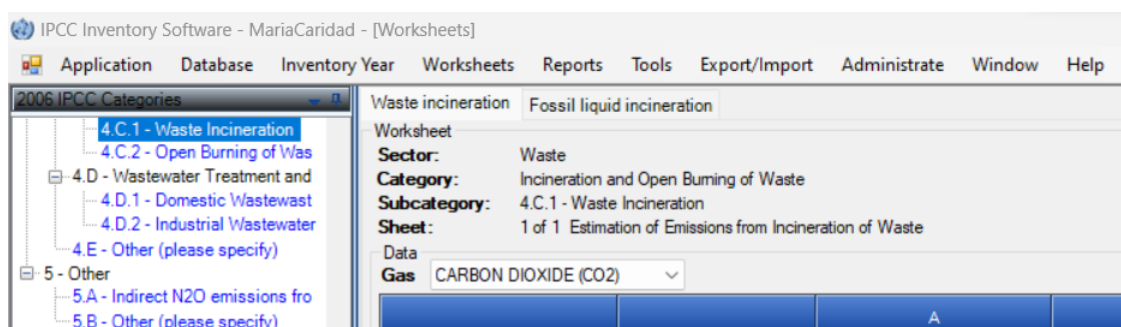


Figura 12. Selección de sector, categoría, subcategoría y tipo de gas en el Software

Fuente: (IPCC 2021)

Posteriormente, en la sección de entrada de datos, se realizó el ingreso de los datos recopilados en la tabla 10 para CO₂ y tabla 11 para N₂O. Las imágenes del ingreso de los datos para las emisiones de CO₂ por cada tipo de desecho se presentan en el anexo 1, del presente documento.

Para el caso de las emisiones de N₂O, se realizará la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Emisiones\ N2O = Valor\ total * 296\ (Potencial\ de\ calentamiento\ global)}$$

Este valor expresa el efecto de calentamiento en un horizonte temporal de 100 años “que produce hoy una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂”. De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiativos de cada gas, así como sus diferentes periodos de permanencia en la atmósfera (IPCC 2006).

Capítulo cuarto

Resultados

Este capítulo busca exponer los resultados obtenidos en el presente estudio sobre las emisiones de GEI a partir de la incineración de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos de una empresa gestora ambiental y la extrapolación a las 8 empresas gestoras ubicadas en las provincias de Orellana y Sucumbíos, las cuales representan aquellas que realizan incineración en Ecuador y receptan los desechos peligrosos del sector petrolero.

1. Resultados

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del software de inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ generadas de la incineración de desechos contaminados con hidrocarburos por cada tipo de desecho se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12
Resultados de las emisiones de CO₂, por tipo de desechos.

Nombre del desecho	Código AM 142	Emisiones CO ₂
Aceites minerales usados o gastados	NE-03	0,21025 Gg/año
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42	0,24676 Gg/año
Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17	0,19448 Gg/año
Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27	0,14466 Gg/año
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48	0,08787 Gg/año
	<i>Total</i>	<i>0,88402 Gg/año</i>

Fuente y elaboración propias

Así también, se obtuvieron como resultados para las emisiones de N₂O, de acuerdo con el tipo de desecho los detallados en la Tabla 13.

Tabla 13
Resultados de las emisiones de N₂O, por tipo de desechos.

Nombre del desecho	Código AM 142	Emisiones N ₂ O
Aceites minerales usados o gastados	NE-03	8,36234E-07 Gg/año
Material adsorbente contaminado con hidrocarburos: waipes, paños, trapos, aserrín, barreras adsorbentes y otros materiales sólidos adsorbentes	NE-42	8,0997E-07 Gg/año

Nombre del desecho	Código AM 142	Emisiones N ₂ O
Materiales plásticos contaminados con hidrocarburos o productos químicos peligrosos	C.19.17	6,38372E-07 Gg/año
Envases contaminados con materiales peligrosos	NE-27	3,9053E-07 Gg/año
Productos químicos caducados o fuera de especificaciones	NE-48	3,1066E-07 Gg/año
	<i>Total</i>	<i>2,98577E-06 Gg/año</i>

Fuente y elaboración propias

El valor total obtenido para las emisiones de N₂O de acuerdo con la tabla 11 es *2,98577E-06 Gg/año*, el cual multiplicado por el potencial de calentamiento global de 296 da como resultado.

$$CO_{2eq} = 2,98577E - 06 \text{ Gg/año} \times 296$$

$$CO_{2eq} = 0,000883786736 \text{ Gg/año}$$

En este sentido bajo las condiciones específicas del presente estudio el total de emisiones de CO₂ a partir de la incineración de los desechos contaminados por hidrocarburos identificados en las tablas 12 y 13 es de *0.884903787 Gg CO_{2eq}/año*, lo que representa el *0.026 %* de las emisiones reportados en el inventario nacional de gases de efecto invernadero para el sector desechos en el año 2012. Y el valor de emisiones por tonelada de desechos es de *0.002888371 Gg CO_{2eq}/Tn*.

En este sentido, de acuerdo con la información proporcionada por la Unión de gestores del Ecuador, las 8 empresas gestoras ambientales que cuentan con la autorización ambiental correspondiente para la incineración de desechos peligrosos han incinerado un total de 3.321,33 toneladas para el año 2019, lo que corresponde a una emisión aproximada de *9,63 Gg CO_{2eq}/año*. Estas emisiones corresponden a la contribución aproximada a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador, tomando en cuenta que estas son las empresas que gestionan los desechos del sector petrolero.

Capítulo quinto

Discusión de los resultados

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) hoy en día la demanda de petróleo a nivel mundial aumentará en 2,4 millones de barriles por día en el 2023, lo cual sigue superando las expectativas y se genera debido al mayor uso de petróleo en la generación energética, al incremento de los viajes por avión del verano, y mayor actividad de la industria petroquímica en China (Precio Petróleo 2023, párr. 13). En lo que respecta a Ecuador Según el (EC Ministerio de Energía y Minas 2022, 27) el sector petrolero representa la principal fuente de divisas como contribución al producto interno bruto (PIB) nacional con un 45% del total de exportaciones y contribuye con el 11% del (PIB), lo que indica la fuerte dependencia energética y financiera del país respecto del petróleo.

La industria petrolera se compone de varios macroprocesos como la exploración, perforación, producción, refinación, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización del petróleo y sus derivados. Cada uno de estos tienen impactos ambientales de contaminación a los recursos agua, aire y suelo (Moreno, 2011). Uno de estos impactos es la generación de desechos peligrosos.

Los desechos y la gestión de estos son un aspecto significativo para el medio ambiente, el cambio climático y la salud humana. Mas aún aquellos desechos que corresponden a características corrosivos, reactivos, inflamables, tóxicos o bioinfecciosos. Según (Kahn, Kaseva y Mbuligwe 2020), el manejo de los desechos peligrosos es complejo en todas partes del mundo, pero en los países menos desarrollados enfrentan varios problemas adicionales, que incluyen la falta de tecnologías avanzadas de manejo de desechos y la incapacidad de costearlas, así también graves dificultades económicas y otras relacionadas que hacen que el manejo de desechos peligrosos sea un problema y no se priorice.

Tomando en cuenta que la demanda de petróleo va en aumento, se liga directamente a la mayor generación de desechos peligrosos producto de sus actividades. Así también, es importante mencionar que las cantidades de desechos generadas en condiciones normales de las operaciones petroleras pueden incrementar significativamente cuando se producen eventos no deseados como los derrames de petróleo. Según (Bravo 2007) en el Ecuador, entre 1972 y 2001, en el SOTE han ocurrido

61 eventos contingentes que significaron 600 mil barriles de crudo, con una generación de desechos contaminados aproximadamente de 20.000 toneladas. Adicional es importante tomar en cuenta que estos eventos de derrames además de aumentar la generación de desechos peligrosos dejan secuelas como la toxicidad aguda del agua potable y los sedimentos, lo que aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas de agua dulce y causa problemas de salud humana, que van desde mareos hasta cáncer, lo cual ha sido identificado en estudios según (Durango et al. 2018, 11).

En este contexto, el tratamiento térmico por incineración de desechos puede verse como una respuesta a las amenazas medioambientales que representan las corrientes de desechos mal gestionadas o que no se gestionan, reduciendo de forma global el impacto ambiental (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino 2011). Sin embargo, las instalaciones de incineración generan emisiones y consumos de recursos, influenciados por el diseño y el funcionamiento de los equipos. Por lo tanto, uno de los posibles impactos de estas instalaciones se engloba en la categoría de emisiones globales del proceso a la atmósfera (Martínez 2005).

Entre estas emisiones, están las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las cuales impulsan el cambio climático. Si bien es cierto la problemática de los desechos es compleja, este sector, es el responsable del 3 a 4 % aproximadamente de las emisiones de GEI a nivel mundial, las cuales van en aumento tal como se evidencia en la figura 1 del presente documento (Climate Watch 2022). Este porcentaje de las emisiones de GEI que provienen del sector desechos, puede parecer una pequeña fracción de las emisiones globales. Sin embargo, según el (World Bank 2010) esta cifra equivale a 1,32 millones de toneladas de CO_{2eq}, lo cual ofrece importantes oportunidades de mitigación de GEI que deberían ser tomadas en cuenta en las diferentes políticas de los países.

Ecuador, según los datos históricos presentados en los documentos a la CMCC de las Naciones Unidas, las emisiones de GEI del sector desechos y a nivel de país para el 2019 es de 98,7 millones de toneladas de CO_{2eq}, las cuales representan el 0,20 % de las emisiones globales según (Climate Watch 2022). Cabe recalcar que estas emisiones no contemplan la subcategoría 4C1 Incineración de desechos que forma parte de este sector y es parte fundamental del presente estudio.

Los resultados arrojados de la presente investigación enfocada en la subcategoría 4C1 Incineración de desechos, dieron un total de 0,88 Gg CO_{2eq}/año emitido a partir de la incineración de desechos peligrosos contaminados por hidrocarburos correspondiente

a la gestión realizada por una empresa gestora ambiental en el año 2018 y el valor de emisiones por tonelada de desechos es de 0,0029 Gg CO_{2eq}/Tn.

Sin embargo, tomando en cuenta el valor obtenido por tonelada de desechos bajo las condiciones del presente trabajo y haciendo la comparación y extrapolación con las 3.321,33 toneladas de desechos peligrosos contaminados por hidrocarburos para el año 2019 incinerados por las 8 empresas gestoras ambientales las emisiones ascienden a 9,63 Gg CO_{2eq}/año. Estas 8 empresas corresponden a aquellas que cuentan con la autorización ambiental para la incineración de desechos peligrosos y están ubicadas en las provincias de Sucumbíos y Orellana, las cuales reciben los desechos del sector petrolero para su gestión (Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador 2022). En este sentido, estas emisiones corresponden a la contribución aproximada a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador. En comparación con países como Chile, que, en su Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos con una estimación de 0,3 Gg CO₂ eq (0,01 %) adicional menciona que desde el 2010 presenta un incremento en un 26,8 % (Ministerio del Medio Ambiente 2016), Ecuador presenta una tendencia al alza de emisiones en esta subcategoría.

La contribución de estas emisiones de CO₂ para el sector desechos, podría ser mínima en comparación con las que se generan a partir de la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios que fue para el 2012 de 2.817,10 GgCO_{2eq} lo que corresponde al 4,19 % del total nacional, según la Tercera Comunicación Nacional (EC Ministerio del Ambiente 2017). Sin embargo, las emisiones correspondientes a la subcategoría 4C1 Incineración de desechos deben ser tomadas en cuenta para soportar los principios de transparencia, exactitud, comparabilidad en la realización del Inventario Nacional de GEI (IPCC 2006). Así también, por la situación crítica que representa la generación y falta de gestión de los desechos peligrosos ya que son una amenaza para la salud humana y al ecosistema natural por sus características tóxicas y de polución (EC Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca 2021).

A diferencia de países como Costa Rica, el cual, en su cuarta Comunicación Nacional, únicamente determina las emisiones asociadas a la subcategoría 4C2. Incineración abierta de residuos mas no la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos justificando la no tenencia de datos y la actividad en el país (Montoya y Granados 2021). Así también países como México, Colombia y Uruguay que presentan la misma situación

de Ecuador. Sin embargo, en el caso de Uruguay desde el año 2015 tienen como estrategia de mitigación la reducción de emisiones a partir del sector desechos, tomando en cuenta la preparación de la información para la estimación de las emisiones de la subcategoría 4.C.1 Incineración de Residuos (Ludeña y Ryfisch 2015).

Otro factor que se debe tomar en cuenta sobre la importancia del estudio de estas emisiones es la disminución de espacio disponible para la implantación de rellenos sanitarios y la potencial utilización de la energía producida que está incrementando el uso de la incineración de residuos en muchos países. Por ejemplo, en Japón el 70% de los residuos sólidos son incinerados, en estos se incluyen peligrosos y no peligrosos (Vicari 2015). En este contexto, tener claridad sobre la estimación de emisiones a partir de la incineración de desechos peligrosos, es un punto de partida que permitirá evaluar de mejor manera la opción para la implementación de esta tecnología en lugar de rellenos sanitarios o botaderos de basura a cielo abierto como es el caso de Ecuador en la mayoría de los cantones con todos los impactos al ambiente y a la salud que estos tienen. También cabe recalcar según lo que indican (Rondón, Szantó, Pacheco y Gálvez 2016) que los rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto contribuyen a las emisiones de GEI por la generación de Metano (CH_4), gas que tiene el poder de calentamiento 80 veces mayor que el CO_2 .

Como parte de la legislación ecuatoriana para la aprobación de la autorización ambiental de una empresa gestora, requiere la ejecución de un protocolo de pruebas (EC 2008, art. 1), el cual se realiza con datos provenientes de análisis de laboratorios acreditados, lo que permitió obtener algunos datos de actividad para los desechos analizados en el presente estudio. Así también, la disponibilidad de información en las bases de datos para determinar los factores de emisión e instrumentos del IPCC que proporcionan las metodologías y herramientas como el software para realizar los cálculos fueron indispensables para la ejecución del presente estudio (Pipatti y Manso 2006).

Es importante mencionar, que la incertidumbre utilizando el alcance de Nivel 1 debido a que las emisiones del tratamiento de desechos sólidos no constituyen una categoría clave del inventario de GEI se encuentra $\pm 20\%$, sin embargo, cuenta con el respaldo del IPCC y los resultados se pueden seguir ampliando a los demás niveles conforme se cuente con los datos (Hiraishi y Nyenzi 2006).

Adicional, tomando en cuenta la categoría 1B que corresponde a las emisiones fugitivas provenientes de petróleo y gas natural, las cuales “agrupan a todas las emisiones

generadas en las actividades de petróleo y gas natural e incluyen, las fugas de equipos, las pérdidas por evaporación, el venteo y la quema. Esta categoría incluye la subcategoría Petróleo y gas natural (1B2), la cual para el año 2012, las emisiones de GEI fueron de 771,48 Gg CO₂-eq” (Ministerio del Medio Ambiente 2016), siguen siendo bajas las emisiones de la subcategoría 4C1 Incineración de desechos determinada en el presente estudio para el sector desechos, sin embargo, la importancia de su desarrollo proporcionará medidas de mitigación que puedan ser ejecutadas por los países (World Bank 2010).

El primer objetivo de cualquier política de gestión de desechos debería ser minimizar los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. En el caso de desechos peligrosos que contengan componentes tóxicos, el tratamiento térmico (Incineración) con valorización energética constituye una opción de tratamiento rentable, cumpliendo con los pilares de “Sostenibilidad” y los requisitos de “Producción Eficiente en Recursos y Limpia”. La recuperación de hierro de las cenizas de incineración, el reciclaje de agua, la sustitución de combustible fósil por desechos de alto poder calorífico en el proceso de incineración y la valorización energética, evitan el uso de recursos no renovables. Y con respecto a las emisiones a la atmósfera las mismas deben ser monitoreadas y controladas. Además, estudios recientes sobre los efectos en la salud de los incineradores de desechos modernos y de última generación muestran que cualquier daño potencial a la salud de quienes viven cerca o trabajan en una planta de incineración de desechos peligrosos probablemente sea muy pequeño, si es detectable (Rondón, Szantó, Pacheco y Gálvez 2016).

No obstante, también hay evidencia del impacto del cambio climático sobre la salud. Por ejemplo, enfermedades respiratorias, como el asma y alergias están asociadas con la contaminación del aire, tal es así, que la relación entre la contaminación atmosférica y la salud es cada día más evidente. En Europa, el asma y las alergias han aumentado durante las últimas décadas, un 10 % aproximadamente de la población infantil padece alguna de estas enfermedades. Los agentes ambientales implicados son los óxidos de nitrógeno y azufre, las partículas en suspensión, ozono, metales, compuestos orgánicos volátiles (COV) y los hidrocarburos (Vargas 2005).

Los problemas de salud pública derivados de la producción petrolera, tomando en cuenta el factor directo que es la generación de desechos peligrosos y los daños que pueden ocasionar a la salud si no son gestionados de forma adecuada. Según (Coronel, Au y Izzotti 2019), la producción de petróleo crudo es una industria altamente

contaminante y se ha demostrado los efectos en las poblaciones indígenas en el desarrollo de enfermedades como cáncer de estómago, recto, piel, tejidos blandos, riñón y cuello uterino en adultos y leucemia en niños, así como, algunos biomarcadores y estudios de mecanismos muestran efectos de exposición, por lo tanto, las investigaciones deben también abordar esta problemática.

Como indica, (Durango et al. 2022), la inhalación es la principal vía de exposición a la contaminación atmosférica de las poblaciones locales y el carbón es carcinógeno con efectos a corto plazo en la salud, ya que puede causar enfermedades cardiorrespiratorias. Si bien es cierto el presente estudio se enfoca en las emisiones de gases de efecto invernadero que son responsables del cambio climático, la incineración en su proceso emite también otro tipo de contaminantes. Por lo tanto, es de gran importancia que las políticas y regulaciones tomen en cuenta este particular para incluir controles en este contexto que permitan no poner más en riesgo la salud de las personas. Tal es así, que según (Facchinelli et al 2020), estudios recientes mostraron diez comunidades indígenas, 18 pueblos pequeños y diez escuelas ubicadas dentro de un radio de 650 m de los sitios de quema de gas detectados, lo que sugiere exposición a contaminantes y posibles impactos en la salud. En si las emisiones atmosféricas que proceden de las actividades petroleras específicas, así como de las actividades adicionales como es el caso de la incineración de desechos peligrosos, afectan a la salud humana (Durango et al. 2019).

Conclusiones y recomendaciones

Recomendaciones

Es recomendable realizar este tipo de estudios para los desechos peligrosos hospitalarios, de los cuales se cuenta con más información y su división por tipo es más específica.

Es recomendable que se genere legislación adecuada que permita regularizar las instalaciones de incineración de desechos, que contemplen mecanismos de seguimiento y control de las emisiones generadas del proceso, así como de la operatividad de los equipos.

Sería de gran importancia que la legislación correspondiente a la determinación de los tipos de desechos del Acuerdo Ministerial 142, contenga mayor detalle de los tipos de desechos y su composición.

Las emisiones asociadas a la gestión de los desechos en este caso a la incineración, debería ser un dato que se contemple como parte de la huella de carbono de un barril de petróleo.

Conclusiones

Las emisiones de GEI por incineración de los desechos considerados en este estudio de una de las mayores gestoras del país en el año 2018 fue de $0.88 \text{ Gg CO}_{2\text{eq}}/\text{año}$, lo que representa el 0.026 % de las emisiones reportados en el inventario nacional de gases de efecto invernadero para el sector desechos en el año 2012.

La contribución de las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos, es de $0.0028 \text{ Gg CO}_{2\text{eq}}/\text{Tn}$. Y la contribución aproximada a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el tratamiento térmico (incineración) de desechos peligrosos contaminados con hidrocarburos en el Ecuador, a partir de las toneladas de desechos peligrosos incinerados por las 8 gestoras ambientales ascienden a $9,63 \text{ Gg CO}_{2\text{eq}}/\text{año}$.

La información requerida por las guías del IPCC para el cálculo de las emisiones de GEI estuvo disponible gracias a los protocolos de pruebas que ejecutan las empresas

gestoras para obtención de la autorización administrativa que les permita realizar la incineración de desechos peligrosos.

Se utilizaron factores de emisión por default de la base de datos del IPCC, la cual fue una herramienta de gran ayuda, a pesar de que los parámetros o condiciones de selección son generales y aplicables de forma regional.

Los valores de emisiones obtenidos en el presente estudio representan un aporte inicial al desarrollo futuro del inventario nacional de gases de efecto invernadero del Ecuador, para la categoría 4C1 incineración de desechos.

Si bien los protocolos de pruebas constituyen la base de la información requerida para la aplicación de las ecuaciones en el software de inventario del IPCC es indispensable ampliar su alcance para todos los desechos contemplados en los listados nacionales de la legislación vigente.

Los resultados obtenidos en el presente estudio corresponden evidentemente a un valor mínimo comparado con las emisiones a partir de la gestión de residuos sólidos en rellenos sanitarios, sin embargo, lo que no significa que no deban ser estimadas, sino más bien continuar con el desarrollo para obtener datos certeros de esta categoría.

Es importante que las investigaciones posteriores tomen en cuenta la afectación de la salud humana, ya que el impacto del cambio climático sobre esta es evidente. Por ejemplo, enfermedades respiratorias, como el asma y alergias están asociadas con la contaminación del aire, así como enfermedades que se agravan con el cambio del clima.

Lista de referencias

- Agencia Internacional de Energía. 2023. “La industria del petróleo y el gas en las transiciones energéticas. Informe especial Perspectivas Energéticas Mundiales”. Accedido el 25 de noviembre. <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>
- Agencia Internacional de Energía. 2023. “Seguimiento del suministro de petróleo y gas natural”. Accedido el 25 de noviembre. <https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels>
- Andrade, Aland Bisso. 2022. “Petróleo: daño medioambiental y un peligro para la salud pública”. *Rev Soc Peru Med Interna* 2022;35(1): 5-7.
- Azqueta, Diego y Delacámara, Gonzalo. 2008. “El costo ecológico de la extracción de petróleo: una simulación”. *Revista de la Cepal* 94.
- Banco Central del Ecuador. 2023. “Análisis del Sector Petrolero 2022”
- Benavides Ballesteros, Henry Oswaldo, y Gloria Esperanza León Aristizabal. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el Cambio Climático. Nota Técnica del IDEAM. Colombia. <https://acortar.link/krTVd5>
- Bravo, Elizabeth. 2007. “Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad”. *Acción Ecológica*. 19 de abril. https://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf
- Climate Watch. 2022. Emisiones históricas de GEI. Washington, DC: Instituto de Recursos Mundiales. Disponible en línea en: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>
- Durango, Juan; Saqalli, Mehdi; Laplanche, Chirtophe; Locquet, Marine; Elger, Arnaud. 2018. *Spatial Analysis of Accidental Oil Spills Using Heterogeneous Data: A Case Study from the North-Eastern Ecuadorian Amazon*. Sustainability.
- Durango, J; Saqalli, M; Ferrant, S; Bonilla, S; Maurice, L; Arellano, P; Elger, A. 2019. *Risk assessment of unlined oil pits leaking into groundwater in the Ecuadorian Amazon: A modified GIS-DRASTIC approach*. Elsevier Ltd.

- Durango, J; Saqalli, M; Parra, R; Elger, A. 2021. Spatial inventory of selected atmospheric emissions from oil industry in Ecuadorian Amazon: Insights from comparisons among satellite and institutional datasets. Elsevier Ltd.
- EC. 2004. *Constitución de la República del Ecuador*. Registro Oficial 449, 20 de octubre.
- EC. 2008. *Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Registro Oficial 381, 20 de julio.
- EC. 2012. *Acuerdo Ministerial 026*. Registro Oficial 334, Suplemento, 12 de mayo
- EC. 2012. *Acuerdo Ministerial 142*. Registro Oficial 856, Suplemento, 21 de diciembre
- EC. 2019. *Decreto Ejecutivo 752. Reglamento al Código orgánico del Ambiente*. Registro Oficial 507, Suplemento, 12 de junio.
- EC Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. 2022. “Biblioteca Legal”. *Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Accedido 15 de octubre. <https://www.ambiente.gob.ec/biblioteca/>.
- EC Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2017. “Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. *Ministerio del Ambiente del Ecuador*. <https://acortar.link/oXPNAM>.
- EC Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. 2021. Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador.
- EC Ministerio de Energía y Minas. 2022. *Balance Energético Nacional 2021*. Quito: Ministerio de Energía y Minas. https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf.
- Facchinelli, Francesco; Pappalardo, Salvatore; Fera, Giuseppe; Crescini, Edoardo; Codato, Daniele; Diantini, Alberto; Moncayo Donald; Fajardo, Pablo; Bignante, Elisa; De Marchi, Massimo. 2022. Extreme citizens science for climate justice: linking pixel to people for mapping gas flaring in Amazon rainforest. *Environmental Research Letters*.
- Farías, Fernando; Rudnick, Andrea y Jadrijevic, Maritza. 2016. Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Greenpeace. 2009. “Incineración de residuos: malos humos para el clima”. *Greenpeace España*. <https://acortar.link/JOdclv>.
- Guilyardi Eric, Lydie Lescarmontier, Robin Matthews, Sakina Pen Point, Anwar Bhai; Jenny Schlipmann; y David Wilgenbus. 2018. Reporte Especial del IPCC

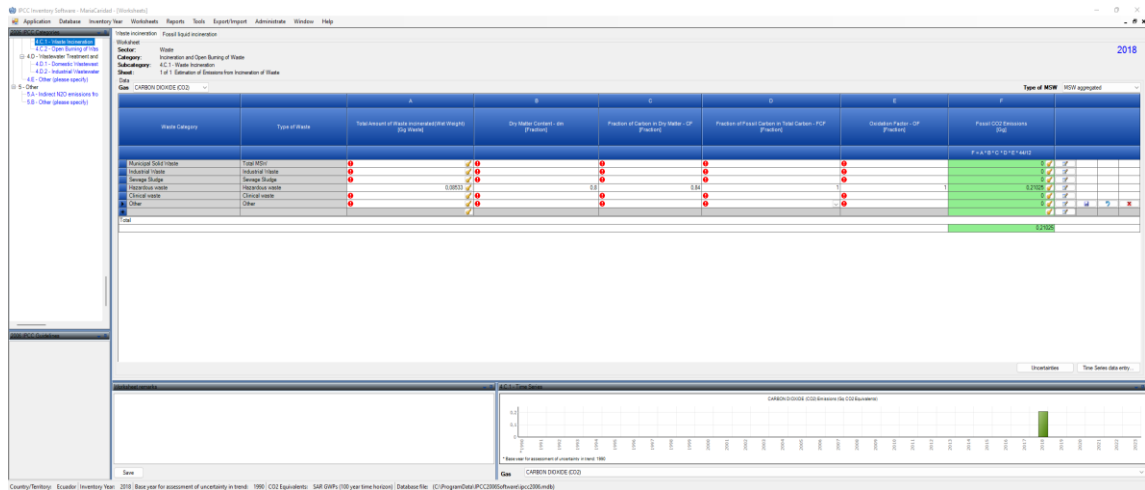
- “Calentamiento Global de 1.5 Grados C” Resumen para profesores. OCE, Francia.
<https://ipcc.link/qO68Gd>
- Hiraishi Taka y Nyenzi Buruhani. 2006 . Capítulo 6. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre 6.1 en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- IPCC. 2006. “Directrices de IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero”.
- . 2006. Emission Factor Database (EFDB). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- . 2006. “Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories”. (eds)tesis
 . Published: IGES, Japón.
- . 2021. Task force on National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>
- Izquierdo Condo, Mishel Melisa. 2021. “Análisis de la gestión de los desechos peligrosos y especiales domiciliarios en el Distrito Metropolitano de Quito”. Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Kahn, Danielle J., Kaseva M. E., y Mbuligwe, S. E. 2020. Hazardous Wastes Issues in Developing Countries
- Ludeña, Carlos y Ryfisch, David. 2015. Uruguay: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Nota técnica Número 860.
- Martínez, Javier. 2005. Guía para la gestión integral de residuos peligrosos, Fundamentos Tomo 1. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y El Caribe.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2011. *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2016. *Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente, Chile.
- Miranda Suarez, Rodolfo Fernando y Cordero Méndez, Miguel de los Santos. 2011. “Diseño de un programa de mantenimiento para el equipo de incineración de desechos peligrosos y control de riesgo ubicado en la industria Sociedad Agrícola

- e Industrial San Carlos S. A.”. Tesis de ingeniería, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.
- Montenegro Perez, Diego Antonio. 2011. “Proyecto de instauración de una planta de incineración de residuos peligrosos en el Distrito Metropolitano de Quito”. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Montoya, Yazmín y Granados, Rodrigo. 2021. Cuarta Comunicación Nacional de Costa Rica a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Moreno Avilés, Julia María. 2011. “Diseño e implementación de un sistema de manejo de residuos peligrosos generados en los terminales y depósitos de EP Petroecuador”. Tesis de maestría, Universidad Internacional SEK, Ecuador.
- Nájera Luna, Juan Abel. 1999. “Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento en Biomasa y captura de Carbono en 10 especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México”. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- ONU. 1992. “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. *Naciones Unidas*. 18 de octubre de 2022. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>
- Pennram Diversified Manufacturing Corporation. 2010. *Manual del equipo Pennramn modelo E-180*. Estados Unidos
- Pipatti, Ritta, y Sonia Maria Manso. 2006. “Capítulo 1 Introducción de las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”.
- PNUMA. 1992. “Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación”. *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. 01 de septiembre de 2022. <https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf>
- Precio Petróleo. 2023. “AIE: Nuevo récord de la demanda mundial de petróleo en 2023 alcanzando los 102,2 mbd”. PrecioPetroleo.net. Accedido el 28 de noviembre. <https://www.preciopetroleo.net/demanda-petroleo-2023.html>
- Rondón Estefai, Szantó Marcel, Pacheco Juan y Gálvez Alejandro. 2016. Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. CEPAL. Chile.
- Sales, Matías. 2013. “Diagrama de Pareto”. EALDE Business School.

- Sánchez Luis, y Orlando Reyes. 2015. *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general*. Santiago de Chile: Cepal. <https://acortar.link/XXKkzw>.
- Servicios Medioambientales de Valencia. 2022. “Tratamiento de residuos peligrosos: ¿puede hacerlo cualquiera?”. Accedido el 28 de noviembre. <https://www.smv.es/tratamiento-residuos-peligrosos/>
- Solíz Torres, María Fernanda. 2015. “Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador”. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* N.º 17.
- Unión de Gestores de Residuos y Desechos del Ecuador . 2022. *Gestores Ecuador*. <https://gestoresecuador.com>
- Vargas, Francisco. 2005. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española. Salud Publica* vol.79.
- Vicari, Ricardo. 2015 “Emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación en el sector residuos La economía del cambio climático en la Argentina”. ISSN 1564-4189.
- Weinberg, Jack. 2009. *Guía para las ONU sobre los contaminantes orgánicos persistentes*. Ciudad de México: Red Internacional para la Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (IPEN). <https://acortar.link/kmnl6h>.
- World Bank. 2010. “A city - wide approach to carbon finance”. Carbon partnership facility innovation.

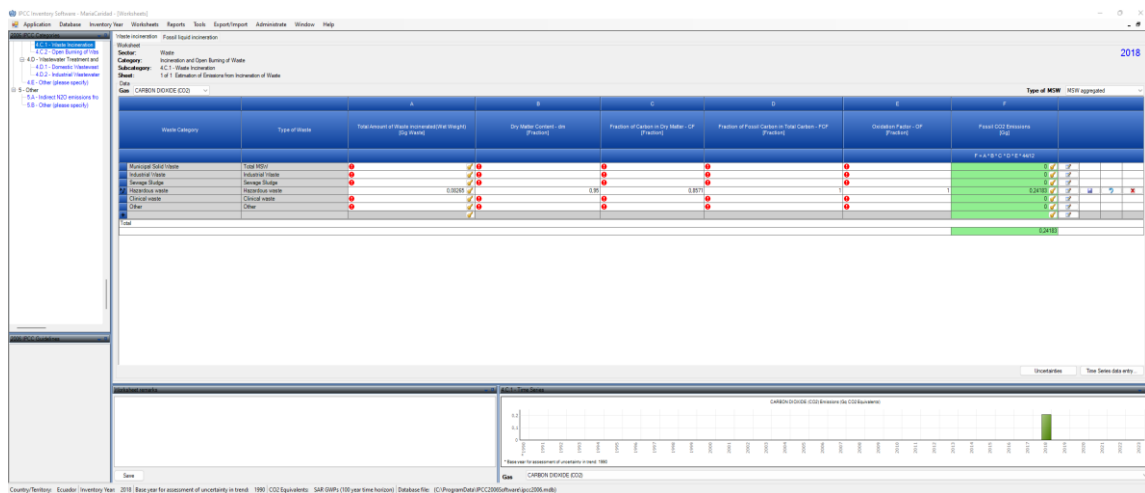
Anexos

Anexo 1: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ del desecho NE-03



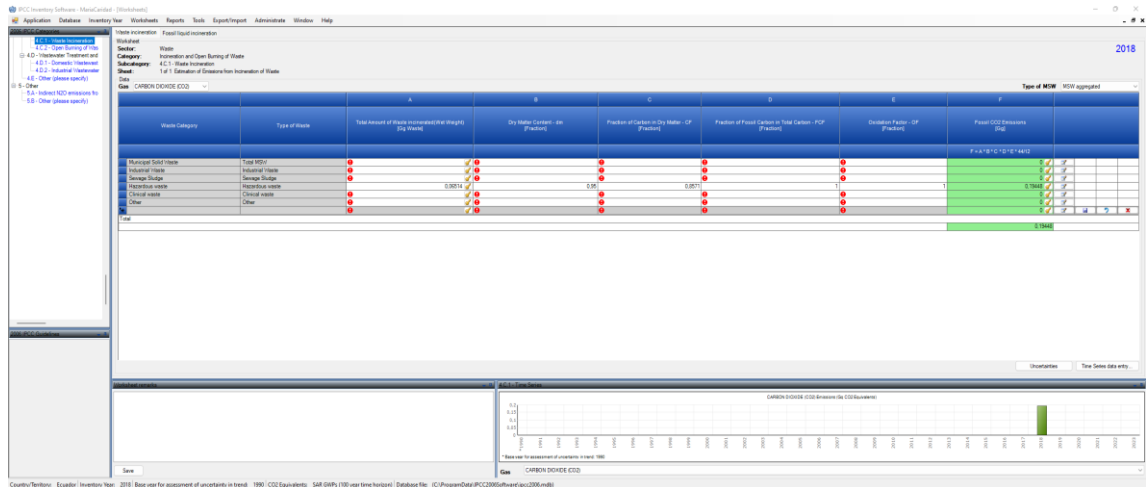
Fuente: (IPCC 2021)

Anexo 2: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ del desecho NE-42



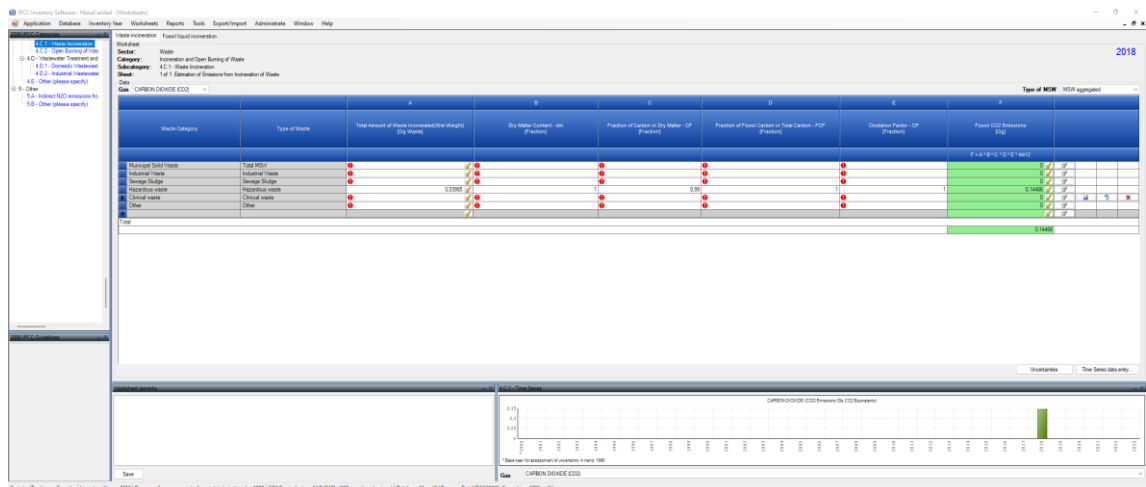
Fuente: (IPCC 2021)

Anexo 3: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ del desecho C.19.17



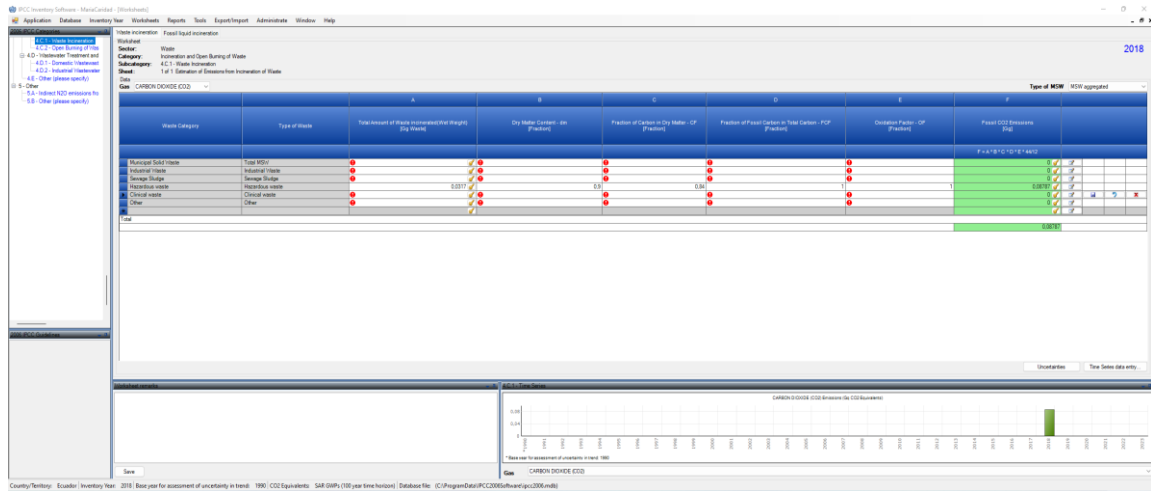
Fuente: (IPCC 2021)

Anexo 4: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ del desecho NE-27



Fuente: (IPCC 2021)

Anexo 5: Aplicación del Software del Inventario del IPCC para las emisiones de CO₂ del desecho NE-48



Fuente: (IPCC 2021)