

**IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL COMPONENTE ATMOSFÉRICO Y
FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR LA MINERÍA DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (ARENAS, GRAVAS Y RECEBOS) EN EL ÁREA
DE MONDOÑEDO.**

JOSEPH DAVID ZULUAGA PINEDA

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIASPROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL GIRARDOT
CUNDINAMARCA**

2024

**IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL COMPONENTE ATMOSFÉRICO Y
FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR LA MINERÍA DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (ARENAS, GRAVAS Y RECEBOS) EN EL ÁREA
DE MONDOÑEDO.**

JOSEPH DAVID ZULUAGA PINEDA

Proyecto de grado para optar al título de

Ingeniero Ambiental

Tutor

CARLOS JHONNATAN ALARCÓN MURILLO

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIASPROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL GIRARDOT
CUNDINAMARCA**

2024

DEDICATORIA

Este trabajo en el que he logrado investigar durante un periodo considerable se lo dedico a personas que aportaron de forma positiva sobre mi vida, la docente de investigación Sandra Bibiana Vargas, ejemplo a seguir y razón por la cual es posible que este documento se haya finalizado, mi futura esposa Dianne Helain razón de aliento apoyo y moral, fiel compañera y gran persona, mi orgullo; Mis amigos más leales, Andrés Felipe Ramírez (Broco) siempre estarás en mi corazón broco, tan real como para salvar mi vida, Brahyam Torres (Cineasta, Consciente y leal) dedicado también a ti, sabes escuchar, hablar y entender que a veces nos dejamos consumir por este mundo y verdaderamente estás y comprendes, a mis brocos que tanto quiero por su amistad y apoyo emocional en situaciones en las que no quería continuar, Mario Monje (El puma), Jonnier Martínez (El viejo Jony), a todos y cada uno les agradezco por estar, verdaderamente estar.

No puedo dejar atrás a personas que me brindaron palabras y acciones ejemplares para mi crecimiento personal, Vivian Jiménez (Mente filosófica de la actual década) mis más sincero respeto y admiración, y como no voy dedicar cosas bellas a las mujeres que pusieron primero su integridad por darme buen nombre, mujeres leales, valientes y trabajadoras, Allison Camargo, Valentina Williams y Saray Correcha (OG), tres seres de luz que pudo brindarme este largo camino de aprendizaje, incondicionales y reales, cariñosas e inteligentes, excelentes profesionales, amigas y confidentes, les agradezco a todos los que formaron parte no solo de este trabajo, sino también forman parte de mi alma, corazón y mente, los quiero y amo a todos, las mejores energías universales.

“Quiero poder expresar cualquier cosa que mi mente quiera, quiero lograr llegar a lugares desconocidos, pretendo aprender de cada acción, deseo expresar amor y paz, pero aun debo un poco de paz”, (Joseph David Zuluaga Pineda, (2024.)).

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud al universo por permitirme estar aquí, por brindarme la oportunidad de aprender y crecer a lo largo de este viaje académico.

A mi madre, quien siempre ha estado a mi lado, ofreciéndome ese abrazo de aliento en los momentos más difíciles. Su amor y apoyo incondicional han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

A la Universidad de Cundinamarca, Seccional Girardot, por proporcionarme un entorno académico enriquecedor y por ser el escenario donde he podido desarrollar mis conocimientos y habilidades.

Agradezco profundamente a mis docentes, en especial a Diana Meneses y Sandra Bibiana Vargas, quienes con su dedicación y pasión por la enseñanza han sido una fuente constante de inspiración. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi formación profesional.

A mi profesora de investigación, cuyo nombre no solo representa el conocimiento y la experiencia, sino también el compromiso con el desarrollo académico de sus estudiantes. Su guía y apoyo han sido cruciales para la realización de esta tesis.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido a mi formación y al desarrollo de este trabajo, les extiendo mi más sincero agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
3. JUSTIFICACIÓN	28
4. OBJETIVOS	30
4.1 OBJETIVO GENERAL	30
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	30
5. MARCO REFERENCIAL	31
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
6.1 IMPACTOS AMBIENTALES	37
6.2 METODO DE ANALISIS	40
6.3 MATRIZ CONESA FERNADEZ.....	41
6.4 FACTORES DE EMISIÓN.	45
7. RESUMEN METODOLOGICO	47
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
8.1 INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR MEDIO DE FACTORES DE EMISIÓN.	50
8.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN SEGÚN SUS PROCESOS PRODUCTIVOS.....	52
8.3 FACTORES DE EMISIÓN SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO.	64
9. CALCULOS MATEMATICOS PARA EL ORDEN LOGICO.....	75
9.1 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso productivo de	

descarga de camiones:.....	78
9.2 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso siguiente a la descarga de los camiones, específicamente las cintas transportadoras de roca (sin fragmentar) sin control de emisiones:.....	79
9.3 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso siguiente a la descarga de los camiones, específicamente las cintas transportadoras de roca (sin fragmentar) con control de emisiones:.....	79
9.4 Cálculo de emisiones de trituradoras primarias secundarias, terciarias sin control de emisión de material particulado:.....	80
9.5 Cálculo de emisiones de trituradoras primarias secundarias, terciarias con control de emisión de material particulado:.....	80
9.6 Cálculo de emisiones de trituradora para finos sin control de emisiones de material particulado (PM10):.....	81
9.7 Cálculo de emisión de trituradora de finos con control de emisión de material particulado:	81
9.8 Cálculo de emisiones para cintas transportadoras de roca (procesada o fragmentada):	82
9.9 Cálculo de emisión para cintas transportadoras de roca (procesada o fragmentada) con control de material particulado:.....	82
9.10 Cálculo de cinta transportadora final (cinta transportadora, roca triturada):	83
10. FUENTES MÓVILES	92
10.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES MÓVILES VEHICULARES	93
10.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE:.....	94
10.3 FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES PARA FUENTES MÓVILES EMISORAS DE CONTAMINANTES.....	99
10.4 NIVEL DE DETALLE.....	101
10.5 OTRAS EMISIONES.	103
11. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES.....	104

12. FACTOR DE ACTIVIDAD	105
12.1 CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMIONES DE CARGA REQUERIDOS PARA SUPLIR LA DEMANDA DIARIA DE PRODUCCIÓN:	107
13. FACTOR DE EMISIÓN	109
13.1 CÁLCULO EMPLEANDO EL FACTOR DE EMISIÓN	113
13.2 MÉTODO TIER2:.....	114
14. METODOLOGÍA USADA MATRIZ DE IMPORTANCIA, CONESA FERNANDEZ	118
14.1 CRITERIOS DE VALORACIÓN	119
14.2 JUSTIFICACIÓN DEL ENFOQUE EN EL COMPONENTE ATMOSFÉRICO	127
14.3 ANÁLISIS DE ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTO AMBIENTAL.....	128
14.4.1 ACTIVIDADES NEGATIVAS MÁS IMPACTANTES	133
14.5 CONCLUSIONES GENERALES DE LA EVALUACIÓN	137
15. DIFICULTADES Y POSIBILIDADES DE MEJORA	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	39
Material y equipo requeridos para la investigación.	39
Tabla 2.....	40
Niveles máximos permisibles de contaminantes criterios del aire.....	40
Tabla 3.....	41
Parámetros por medir de la matriz Conesa Fernández.....	41
Tabla 4.....	45
Rangos de medición de impactos ambientales positivos.	45
Tabla 5.....	55
Actividades o procesos productivos en relación con la clasificación según el tipo de proceso..	55
Tabla 6.....	61
Equipos comúnmente usados en la minería a cielo abierto.....	61
Tabla 7.....	61
Tamaño de la empresa o industria minera según sus características.....	61
Tabla 8.....	63
Nivel de detalle según la información recolectada.....	63
Tabla 9.....	64
Información necesaria para la evaluación de emisiones atmosféricas mediante el factor de emisión	64
Tabla 10.....	66
Generalidades sobre el contaminante criterio PM10.....	66
Tabla 11.....	67
Factores de emisión EPA para procesado y molienda de la roca (Kg / t).....	67

Tabla 12.....	69
Factor de actividad según el proceso productivo en la minería a cielo abierto para la extracción de materiales de construcción.	69
Tabla 13.....	83
Resumen de Emisiones en las Fuentes Fijas en relación con el factor de emisión y factor de actividad	83
Tabla 14.....	99
Recursos utilizados para la extracción de información valida en fuentes móviles	99
Tabla 15.....	113
Factor de emisión para fuentes móviles en Bogotá.....	113
Tabla 16.....	116
Resultados de los cálculos sobre contaminantes relacionados con el factor de emisión.	116
Tabla 17.....	125
Valores de importancia para la clasificación de la matriz de importancia	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	51
Procesos productivos de las canteras o minas a cielo abierto en relación con sus factores socioambiental.....	51
Figura 2.	53
Actividades industriales y contaminantes para monitorear por actividad industrial.....	53
Figura 3.	73
Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas sin control en los procesos ..	73
productivos.....	73
Figura 4.	74
Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas con control de partículas en los procesos productivos.	74
Figura 5.	90
Diagrama de flujo para la clasificación de las fuentes fijas emisoras de contaminantes.	90
Figura 6.	91
Diagrama de procesos productivos con emisión significativa de material particulado (PM10), procesos calculados por emisión.	91

INDICE DE GRAFICOS

Grafica 1.....	101
Niveles de complejidad para un inventario de fuentes móviles	101
Grafica 2.....	117
Variabilidad de Contaminantes según la cantidad de vehículos usados en el transporte.....	117
Gráfica 3.....	129
Impactos Negativos por Actividad ejecutada.....	129
Grafica 4.....	130
Impactos Negativos por Factor	130
Grafica 5.....	131
Impactos Positivos por Actividad	131
Grafica 6.....	132
Impactos Positivos por Factor	132

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.....	96
Clasificación por clase de vehículo según la legislación colombiana, Ley 769/2002 y Resolución 4100/2004.....	96
Ilustración 2.....	107
Recorrido del transporte de material explotado hacia la ciudad de Bogotá	107
Ilustración 3.....	112
Árbol de decisiones para la estimación de fuentes móviles.	112

RESUMEN

Este proyecto se plantea desde el área de la Ingeniería Ambiental y tiene como objetivo general analizar los impactos ambientales generados por la minería de materiales de construcción (arenas, gravas y recibos) en el sector de Mondoñedo, Mosquera. El enfoque de la investigación se centra en el cálculo de factores de emisión y la valoración de impactos ambientales en el componente atmosférico, específicamente en la calidad del aire. Para lograrlo, se ha utilizado la “GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL” y la “GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS”, que permiten una aproximación precisa a las condiciones reales del área de estudio. El proceso incluye el uso de métodos estadísticos para evaluar y calcular los resultados relacionados con los factores de emisión y la contaminación atmosférica. Los resultados obtenidos del análisis de las emisiones atmosféricas permiten cuantificar la carga contaminante asociada a los diferentes procesos mineros, proporcionando una estimación precisa de la cantidad de contaminantes emitidos al aire. Esto facilita la identificación de las fuentes de mayor impacto y la evaluación detallada de su contribución al deterioro de la calidad del aire en la zona de estudio.

Además, este proyecto de investigación ha abordado de manera integral los impactos ambientales asociados a la minería de materiales de construcción en el sector de Mondoñedo, Mosquera. Utilizando factores de emisión y metodologías reconocidas, se ha evaluado la carga contaminante en el componente atmosférico, específicamente en relación con la calidad del aire. Los resultados obtenidos han proporcionado una visión detallada de las emisiones atmosféricas

generadas por los procesos mineros, permitiendo identificar áreas críticas y establecer medidas para mitigar los impactos ambientales negativos.

Palabras Claves: Emission Factors, Emission Sources, Fixed Sources, Mobile Sources, Conesa Fernández Matrix, Pollutants

1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el estado actual del componente atmosférico, calidad del aire, frente a las problemáticas socio ambientales derivadas de la extracción de material en la minería de extracción de material de construcción en el sector de Los Puentes-Mondoñedo en el municipio de Mosquera. Esta evaluación se hizo en comparación con la minería de extracción de material de construcción que opera bajo los debidos licenciamientos ambientales de la CAR (Corporación Autónoma Regional), tal como se establece en la resolución No. 3280 del 11 de octubre de 2019. Adicionalmente, se realizaron cálculos ambientales en la matriz de calidad del aire, Así mismo, se llevó a cabo un análisis cartográfico de la cobertura vegetal en el área de estudio, en las cercanías de la comunidad de Mondoñedo en el municipio de Mosquera y "los puentes". Estos datos fueron utilizados para la evaluación de impacto ambiental a través de la "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental". (CONESA FERNANDEZ-VITORIA, 2010).

En Colombia, los materiales de construcción han desempeñado un papel fundamental en el sector de la construcción a lo largo de su historia. Estos elementos y materiales forman la base esencial para la creación de morteros, vías, elementos de construcción, bases, subbases y agregados para la fabricación de asfaltos, así como en diversas áreas de obras civiles. Esta relevancia tiene sus raíces en la era de la explotación del carbón en la década de 1910, que marcó un hito con la introducción de máquinas a vapor. A lo largo de la década de 1930, surgieron nuevas formas de explotación que abarcaron elementos como las calizas, yesos, arcillas y gravas,

utilizados ampliamente en la industria de la construcción. (Ministerio de Minas y Energía, 2013)

Según el Artículo 11 del Código de Minas (Ley 685 de 2001), se define claramente qué se entiende por materiales de construcción. Estos son considerados productos pétreos extraídos de minas y canteras, que desempeñan un papel fundamental en la industria de la construcción al ser utilizados como agregados en la elaboración de componentes de concreto, morteros, pavimentos, obras de tierra y productos similares. Además, esta categoría abarca los materiales de arrastre, como arenas, gravas y piedras que se encuentran en cauces y orillas de corrientes de agua, áreas de inundación y otros terrenos aluviales. (CÓDIGO DE MINAS, 2001)

El otorgamiento, vigencia y ejercicio del derecho a explorar y explotar los materiales de construcción están totalmente regulados por el Código de Minas, con la competencia exclusiva de la autoridad minera para llevar a cabo estas actividades. Aunque la explotación de materiales de construcción puede generar beneficios económicos considerables, los impactos que esta actividad provoca en los ecosistemas y la sociedad son motivo de profunda preocupación. En ocasiones, estos impactos resultan perjudiciales y sus consecuencias a menudo no son evaluadas adecuadamente. Además, en ciertos casos, se ha incumplido con acuerdos y tratados internacionales relevantes, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (UNCCD), resultando en una pérdida alarmante de biodiversidad y daños significativos a los ecosistemas. (Salamanca, Luis Jorge Garay, 2013)

En su búsqueda de inversión extranjera, el gobierno nacional impulsó una expansión en el sector minero, generando malestar entre las comunidades locales y despertando preocupaciones ambientales. Esto se debió en gran parte a la falta de inclusión de las comunidades locales y del medio ambiente en la formulación de políticas mineras (Fernandez, Marlon De Jesus Correa, 2018). En los proyectos extractivistas, las comunidades locales fueron las más afectadas, exigiendo el reconocimiento de su derecho a participar y ser escuchadas en decisiones que impactaran sus hogares, crecimiento económico y calidad de vida, además, emergieron problemáticas como la aparición de nuevas enfermedades respiratorias y gastrointestinales. (Damonte, Gerardo, 2014)

La actividad minera en áreas determinadas dio lugar a un fenómeno de desplazamiento de comunidades, transformación económica y pérdida de tradiciones culturales. Esto desencadenó desafíos sociales vinculados al flujo migratorio hacia centros urbanos más grandes, lo que a su vez contribuyó a aumentos en los niveles de pobreza, desempleo y hacinamiento. (Ortiz, José Arturo Martínez, 2017)

En noviembre de 2020, en Bogotá, Holcim (Colombia) reafirmó su compromiso con el país al inaugurar una planta de agregados en la región de Mondoñedo, Cundinamarca. Esta instalación, equipada con tecnología de vanguardia y conforme a estándares internacionales, constituyó un hito en los 65 años de presencia de la compañía en Colombia. Ubicada a tan solo

40 minutos de Bogotá, la planta no solo respalda las operaciones de Holcim, sino que también impulsa el desarrollo de productos y el suministro para diversas obras en las que la empresa está involucrada. "Todo esto sucede en un contexto de reactivación económica, en el que el sector de la construcción desempeña un papel crucial al impulsar el progreso, el empleo y la creación de nuevas oportunidades". (HOLCIM , 2023)

Por otra parte, Marco Maccarelli, presidente ejecutivo de Holcim (Colombia) S.A., destaca la completa conformidad de la planta en Mondoñedo con las regulaciones mineras y ambientales de Colombia. Además de su tecnología avanzada, la planta se distingue por su elevada capacidad de producción y eficiencia, lo que le permite generar diversas mezclas de acuerdo con los parámetros respaldados por LafargeHolcim, la matriz global líder en materiales de construcción. (HOLCIM , 2023)

En el departamento de Cundinamarca, específicamente en Mondoñedo, la actividad minera tiene efectos significativos en los recursos hídricos, la vegetación, el suelo y el aire. Entre los aspectos más destacados se encuentra la descarga de aguas desde el interior de las minas hacia arroyos, áreas abiertas o su uso en la irrigación de pastizales y cultivos. Si bien el 27% de las minas evaluadas en el estudio implementa algún tipo de tratamiento en las aguas y las libera hacia los puntos de emisión finales en condiciones aceptables, preocupa la deforestación causada por la obtención de madera para las operaciones mineras, la cual proviene de municipios vecinos. En su mayoría, los mineros no cumplen con los compromisos establecidos en los Planes de Manejo Ambiental ni en los planes de restauración morfológica presentados ante la Corporación

Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), según lo señalado por Espinoza Lizarazo (2017) en su artículo sobre la minería en Mosquera "Mondoñedo". (Lizarazo, Valentina Espinosa, 2017)

La extracción de estos materiales (grava y tierra) genera la liberación de partículas que se conocen como material particulado. Estas partículas consisten en una mezcla heterogénea de sólidos y líquidos de diversos tamaños, principalmente 2,5 y 10 micrómetros (Martínez, Alexander Jhonatan Hermitaño, 2017). Estas partículas en suspensión ejercen un impacto notable en el sistema respiratorio y cardiovascular (Organización Mundial de la Salud, 2005). Además, en las plantas, estas partículas refractan los rayos UV, lo que atrofia los procesos biológicos de las plantas (Alva Huamán, Daniel Alejandro, 2018). Al acumularse en grandes cantidades en las hojas, obstruyen las estomas y afectan el metabolismo de la planta. Asimismo, al precipitarse en el suelo, alteran el pH, modifican el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes. (Ortiz, José Arturo Martínez, 2017)

En consecuencia, la estimación precisa de las emisiones de contaminantes atmosféricos es crucial para la investigación y los resultados obtenidos. Para ello, diversos métodos han sido desarrollados y aplicados en el ámbito científico y regulatorio. Entre estos, destacan la medición directa, el balance de masas, el uso de factores de emisión y modelos de estimación.

La medición directa, que implica la observación y registro de las emisiones en tiempo

real mediante sistemas como los CEMS o el monitoreo paramétrico, proporciona una evaluación detallada, pero puede ser limitada por su alcance temporal y la disponibilidad de equipos en todas las fuentes. El balance de masas requiere un análisis exhaustivo de las entradas y salidas en los procesos y fuentes relevantes durante un período definido, ofreciendo una visión integral, pero dependiendo de la disponibilidad de datos detallados.

En ausencia de mediciones directas completas, se recurre a factores de emisión y factores de actividad, los cuales pueden derivarse de mediciones directas, balances de masas o modelos de estimación representativos de cada tipo de fuente.

En este contexto, se emplean factores de emisión de referencia, obtenidos de compilaciones reconocidas como el "AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors" de la US-EPA o el "EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook" de la EEA, cuando los datos locales o regionales no están disponibles. (MINISTERIO AMBIENTE Y DESAROLLO SOSTENIBLE, 2017)

Además, se utilizan modelos de emisión basados en ecuaciones empíricas, diseñados para estimar las emisiones de fuentes fijas y móviles. Estos modelos se fundamentan en el conocimiento científico de los procesos y las características específicas de cada tipo de fuente. En esta investigación, se emplearán tanto factores de emisión como modelos de estimación para evaluar las emisiones de fuentes fijas y móviles, con el objetivo de obtener una estimación

integral y precisa de los contaminantes atmosféricos en el área de estudio.

Por otro lado, en el ámbito minero, se están implementando acciones con el propósito de promover prácticas responsables y sostenibles a nivel global. Estas iniciativas se alinean con enfoques de desarrollo sostenible, como la sostenibilidad débil, que busca equilibrar la ganancia humana con la pérdida de recursos no renovables, y la sostenibilidad fuerte, que reconoce la irremplazabilidad de los sistemas naturales vitales, según lo planteado por Zarsky y Stanley. (Zarsky, 2013)

En este contexto, los mecanismos de desarrollo limpio, que surgieron del Protocolo de Kyoto, desempeñan un papel clave al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar la certificación de prácticas sustentables. En el caso específico de la minería, se ha establecido una metodología que define condiciones de extracción, incluyendo indicadores para medir emisiones de gases antes y después de proyectos mineros (UNIDAS NACIONES, 2023). Además, las empresas se comprometen con buenas prácticas mineras, integrando políticas, normativas sectoriales y procedimientos establecidos por gobiernos y recomendaciones gubernamentales para garantizar una minería más responsable y en armonía con la conservación ambiental (Goodland, Robert, 2012). Estos esfuerzos reflejan la búsqueda constante de un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del entorno. Finalmente, la actividad minera puede desencadenar un desarrollo significativo cuando se lleva a cabo dentro de un marco institucional adecuado, caracterizado por reglas claras y estables, y con el respaldo de un Estado sólido. Entre los aspectos positivos que el sector minero aporta en Colombia, destaca su

creciente impacto macroeconómico. Aunque su contribución al PIB aún es modesta, se observa un notable aumento, al igual que un crecimiento considerable en las exportaciones y la inversión extranjera directa (IED), además de un significativo peso en las finanzas públicas. Por otra parte, la gran minería también asume la construcción de infraestructura de uso público, como carreteras y puertos, lo que genera recursos que, debidamente invertidos, pueden traducirse en beneficios para toda la sociedad. Para maximizar esta contribución, las empresas mineras podrían considerar la inversión en actividades complementarias que agreguen valor y fortalezcan las redes productivas, (Ortiz, Astrid Martínez, 2012)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Instituto Internacional para el Ambiente y el Desarrollo (2010) argumenta que los proyectos mineros a gran escala prevalecen sobre la pequeña y/o minería artesanal, ocasionando desplazamiento humano y migraciones involuntarias. Esta dinámica constituye una de las problemáticas más severas para las comunidades locales, ya que resultan desposeídas de sus tierras o se ven obligadas a enfrentar los efectos contaminantes inherentes a la actividad minera.

Es importante destacar también que la minería informal o ilegal genera impactos significativos, incluida la destrucción de bosques y suelos, lo que conlleva a la fragilización de ecosistemas y plantea riesgos para la salud humana. Por consiguiente, los efectos no solo se limitan al ámbito ambiental, sino que también repercuten en la calidad de vida de las comunidades, abarcando aspectos como la salud y la vivienda (Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H., 2012).

Además, los impactos perjudiciales asociados con la actividad minera implican considerar cuestiones relacionadas con la antropización, es decir, la transformación que la actividad humana ejerce sobre el entorno y cómo esto puede influir en el ambiente y la sociedad. Entre las afectaciones más graves a nivel ambiental se incluyen la contaminación de las fuentes de agua, la polución acústica y la pérdida de la cobertura vegetal. Paralelamente, a nivel social, tanto la minería a gran como a pequeña escala puede dar lugar a problemas significativos, como la división y desplazamiento de comunidades, el aumento de los niveles de pobreza, la miseria y la violencia en las zonas afectadas. Además, estas actividades pueden alterar la orientación económica de las comunidades locales, entre otros aspectos. (Osorio Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H., 2012)

En resumen, la actividad minera no solo tiene un impacto ambiental sustancial, sino que también influye profundamente en la vida de las comunidades locales. La comprensión de estos efectos negativos abarca aspectos tanto ambientales como sociales, lo que subraya la necesidad de abordarlos de manera integral para lograr un equilibrio entre el desarrollo económico y el bienestar comunitario.

En Colombia, la minería desempeña un papel crucial en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), habiéndose incrementado en un 0.6% en 2020, según el Banco Mundial (Morales, A., & Domas, M.). A pesar de su relevancia económica, esta actividad abarca desde operaciones a gran escala, alineadas con regulaciones ambientales, hasta modalidades de mediana y pequeña envergadura. La regulación resulta esencial, ya que la carencia de medidas

adecuadas de supervisión puede agravar los problemas ambientales. La falta de armonización no solo conlleva la pérdida de un recurso económico fundamental, sino también el riesgo de fomentar la minería ilegal, con implicaciones más graves. Mantener la coherencia en la gestión de estas actividades es crucial para evitar consecuencias perjudiciales. El desafío radica en lograr un equilibrio entre el desarrollo económico minero y la preservación del entorno y el bienestar de la comunidad. Las prácticas responsables, alineadas con regulaciones ambientales y sociales, no solo favorecen el crecimiento económico, sino también previenen impactos negativos. En este sentido, la dirección en la regulación y gestión determinará el impacto real de la minería en Colombia, con la posibilidad de fomentar un crecimiento sostenible o desencadenar consecuencias no deseadas a largo plazo por una minería al margen de la ley que desenfoca su relación con las comunidades y medio ambiente. (Suárez Perilla, Laura Vanessa, 2021)

En Cundinamarca existen 104 títulos dedicados a esta actividad, de ellos, el 94% están a cargo de empresas y/o personas naturales, el 6% restante, corresponde a empresas multinacionales. (Agencia Nacional de Minería, 2023). Para Mosquera se registraron desde el año 1990 hasta el año 2010 un total de 11 títulos mineros para la explotación de recursos, que se utilizan para la construcción, en este caso (arenas arcillosas, arenas feldespáticas, arenas industriales, arenas y gravas silíceas, gravas, recebo), Por parte para Mondoñedo se presentan 2 (DOS) títulos mineros vigentes para la explotación de recursos con una área de 4.056.411,84 M2, además 1(un) título minero con termino de vigencia del año 2013, que se le otorgó el permiso de explotación sobre un área de 598.916,94 M2, los datos estadísticos fueron recolectados por medio de la gobernación de Cundinamarca que contaba con los títulos mineros vigentes, presentados en el documento publicado en el año 2021, Gobernación de Cundinamarca.

(AGENCIA NACIONAL DE MINERIA, 2022).

Además, el municipio de Mosquera se encuentra en la Provincia de la Sabana Occidente, en el Departamento de Cundinamarca. Situado a una altitud de 2516 metros sobre el nivel del mar, su clima oscila entre los 12 y 14°C. Mosquera se destaca como un núcleo agrícola tradicional, caracterizado por cultivos como espinacas, coliflores, lechugas, zanahorias, apio, ajos, papas y arvejas, entre otros. La modernización ha llegado también a la siembra y recolección. En términos de ganadería, la raza Holstein y Normanda son explotadas para la producción de leche y carne, mientras que en menor medida se crían especies menores como cerdos y pollos. Es importante resaltar la presencia de recursos naturales no renovables de relevancia económica, como las canteras, de las cuales se extraen constantemente materiales para la construcción de vías de alcance regional y departamental, con especial énfasis en el suministro para la capital del país. (Rojas Montero, Diego Andrés, 2016)

Dentro de este contexto, se focaliza la atención en la última actividad económica mencionada, que constituye el núcleo de este ejercicio académico. En particular, se explorará la actividad minera en el área de Mondoñedo, para analizar su relación con la contaminación al recurso aire, además de las emisiones calculadas por medio de factores de emisión, así como las problemáticas y beneficios asociados con esta extracción de materiales de construcción a cielo abierto.

En el contexto de la minería de materiales de construcción, surge una intrigante cuestión, ¿Cuáles son los impactos ambientales sobre el componente atmosféricos y las fuentes de emisión

de contaminantes, según las actividades de minería de materiales de construcción realizadas en el área de Mondoñedo?, esta pregunta no solo plantea la necesidad de explorar las evaluaciones técnicas y emisiones realizadas en el área delimitada, sino que también resalta la importancia de comprender cómo estas posibles discrepancias pueden influir en la calidad de vida y contaminación en el componente atmosférico.

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se deriva de un macroproyecto de investigación de la IV convocatoria interna titulado “IMPACTO DE LAS REPRESENTACIONES SOCIALES TERRITORIALES EN EL SUMAPAZ, EL ALTO MAGDALENA Y SABANA DE OCCIDENTE FRENTE A LAS ACTIVIDADES MINERAS”. Este macroproyecto tiene como objetivo principal analizar las implicaciones de las actividades mineras en diferentes regiones de Colombia, considerando tanto los aspectos sociales como los ambientales. Como trabajo previo, se ha utilizado factores de emisión para calcular la carga contaminante y se ha evaluado el impacto ambiental de las actividades de minería de materiales sobre el componente atmosférico.

El propósito de este estudio es identificar y valorar los posibles impactos ambientales sobre el componente atmosférico y la calidad del aire, empleando cálculos de factores de emisión y la matriz de impactos ambientales según la metodología de Conesa. En este sentido, se busca determinar si los impactos ambientales identificados técnicamente corresponden a las evaluaciones realizadas a través de estos métodos. Asimismo, se pretende determinar si existe la posibilidad de que algunos impactos ambientales puedan haber sido subestimados o no considerados adecuadamente.

En relación a los aspectos innovadores centrales planteados por esta investigación, se destaca en primer lugar cómo la colaboración entre docentes favorece la integración efectiva de conocimientos provenientes de disciplinas como la ingeniería ambiental. Es fundamental resaltar que un proyecto de esta envergadura brinda a los docentes investigadores la oportunidad de

adoptar cambios transformadores en sus enfoques de impartir conocimiento. En el contexto del siglo XXI, donde el trabajo colaborativo cobra un valor primordial en la formación integral promovida por el Modelo Educativo Institucional MEDIT, los profesores investigadores se embarcan en este camino, alineando su enfoque con el mismo sentido que transmiten a sus comunidades estudiantiles. Las conclusiones de este estudio deberían permitir mejorar la relación que se presenta entre las organizaciones dedicadas a las actividades mineras y la implementación de medidas ambientales más efectivas.

Para finalizar, las conclusiones obtenidas de este estudio deberían contribuir a mejorar la gestión de los impactos ambientales de las actividades mineras. Además, es importante destacar que la interdisciplinariedad de conocimiento desempeña un papel fundamental en el fortalecimiento de la Educación Ambiental. En este sentido, se reconoce que esta aproximación interdisciplinaria es una contribución significativa a la cultura institucional en constante evolución en la educación superior, tal como lo propone el Modelo Educativo Institucional MEDIT de la Universidad de Cundinamarca.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los impactos ambientales de la minería de materiales de construcción en el sector de los Puentes, Mosquera a través del cálculo aritmético de variables ambientales por medio de factores de emisión y matriz de impactos ambientales.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la carga contaminante generada por la minería de materiales de construcción en el sector de los Puentes, Mosquera, mediante el cálculo aritmético de variables ambientales utilizando factores de emisión específicos para los distintos procesos mineros a cielo abierto.
- Evaluar los impactos ambientales en el componente atmosférico aplicando la matriz de impactos ambientales según la metodología de Conesa, a partir de los datos obtenidos en el cálculo de variables ambientales.

5. MARCO REFERENCIAL

En las últimas décadas, el proceso de globalización y la expansión del capitalismo neoliberal han intensificado los conflictos en torno a los recursos naturales y la adquisición de territorios. En el escenario geopolítico actual, diversas zonas de América Latina, ricas en recursos naturales y biodiversidad, han surgido como ubicaciones estratégicas para la operación de empresas extractivas internacionales. Estos territorios albergan aproximadamente el 25% de los bosques y el 40% de la biodiversidad del planeta. Además, poseen alrededor de un tercio de las reservas globales de cobre, bauxita y plata, así como significativas cantidades de carbón, petróleo, gas y uranio. Sus cuencas acuíferas también cuentan con el 35% de la capacidad hidroenergética mundial. (Seoane, 2005: pág. 93).

En el contexto de las iniciativas de integración regional promovidas por organismos multilaterales de financiamiento y varios gobiernos latinoamericanos, el caso de la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA) ilustra cómo América Latina ha asumido un nuevo rol en la reestructuración territorial global. Esta región se ha convertido en una importante exportadora de materias primas, lo que ha conducido a un proceso de reprivatización económica (Svampa, 2008). La adopción de nuevas tecnologías y la implementación intensiva de prácticas extractivas se presentan como requisitos indispensables para lograr el desarrollo económico en las áreas que albergan vastas reservas de recursos naturales.

Por otra parte, los emprendimientos mineros a gran escala constituyen en América Latina

una de las más importantes industrias extractivas, de acuerdo a los datos del Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL) en nuestro continente existen 160 proyectos mineros implicados en 136 conflictos que afectan a un conjunto de 178 comunidades. Los países en donde se registran la mayor cantidad de proyectos mineros en conflicto son: Colombia con 30, Argentina con 28, Perú con 23, Chile con 20, Brasil con 21 y México con 12. (Bárcena, 2018), la actividad minera, dentro de un marco institucional sólido y reglas claras, tiene el potencial de contribuir al desarrollo económico. En el contexto de Colombia, la minería ha demostrado aspectos positivos, como su creciente impacto macroeconómico, evidenciado por una mayor contribución al PIB, un aumento en las exportaciones y la inversión extranjera directa (IED), así como su relevancia en las finanzas públicas. Además, la industria minera de gran envergadura contribuye a la construcción de infraestructura pública, como carreteras y puertos, y genera recursos que, si se administran adecuadamente, pueden beneficiar a toda la sociedad. Para maximizar su contribución, sería beneficioso que las empresas mineras inviertan en actividades conexas que añadan valor y refuercen las cadenas productivas. (Mauricio Cárdenas, 2008)

La disponibilidad de información sobre el potencial minero, el impacto ambiental y la generación de empleo en Colombia es limitada. Por esta razón, es de vital importancia caracterizar en detalle el sector minero colombiano, lo cual tiene implicaciones económicas, políticas y sociales significativas. En este estudio, se actualiza la información proporcionada previamente por Fedesarrollo en 2008, y se profundiza en la comprensión de los diversos tipos de minería y (Ortiz, 2012) los efectos macroeconómicos de esta actividad.

Dando continuidad a otro aspecto importante, la actividad minera, dentro de un marco

institucional sólido y reglas claras, tiene el potencial de contribuir al desarrollo económico. En el contexto de Colombia, la minería ha demostrado aspectos positivos, como su creciente impacto macroeconómico, evidenciado por una mayor contribución al PIB, un aumento en las exportaciones y la inversión extranjera directa (IED), así como su relevancia en las finanzas públicas. Además, la industria minera de gran envergadura contribuye a la construcción de infraestructura pública, como carreteras y puertos, y genera recursos que, si se administran adecuadamente, pueden beneficiar a toda la sociedad. Para maximizar su contribución, sería beneficioso que las empresas mineras inviertan en actividades conexas que añadan valor y refuercen las cadenas productivas. (Mauricio Cárdenas, 2008)

La disponibilidad de información sobre el potencial minero, el impacto ambiental y la generación de empleo en Colombia es limitada. Por esta razón, es de vital importancia caracterizar en detalle el sector minero colombiano, lo cual tiene implicaciones económicas, políticas y sociales significativas. En este estudio, se actualiza la información proporcionada previamente por Fedesarrollo en 2008, y se profundiza en la comprensión de los diversos tipos de minería y los efectos macroeconómicos de esta actividad. (Ortiz, Astrid Martínez, 2012)

Es importante reconocer como se ejecuta el proceso y la maquinaria usada en el mismo, por lo tanto, se evidencia en la minería a cielo abierto, un conjunto de maquinarias desempeña un rol esencial que impacta directamente en la producción y en todas las fases operativas. Entre estas máquinas, destacan el Cargador Frontal y la Retroexcavadora, cuya capacidad para agilizar la carga y movimiento de materiales se traduce en una optimización de tiempos y una mejora en la eficiencia general de la extracción. Además, estas máquinas tienen un efecto profundo en la

preparación del terreno al facilitar la creación de accesos adecuados y la configuración del sitio de trabajo de manera eficiente. (P., 2014)

La Perforadora también ejerce una influencia significativa en la producción. Al permitir la fragmentación controlada del material, esta máquina no solo incrementa la eficiencia del proceso de extracción, sino que también mitiga los riesgos inherentes a las voladuras. De manera similar, los Camiones de Transporte desempeñan un papel crucial en la logística minera al asegurar un flujo constante de producción. Su capacidad para adaptarse a diversos terrenos y transportar grandes volúmenes de material es una pieza clave en la cadena de operaciones.

Los Compresores contribuyen en gran medida a la eficiencia en la producción al proporcionar energía a herramientas neumáticas utilizadas en varias tareas. Esta agilidad se traduce en una mejora general en la productividad y la velocidad de las operaciones. Por último, los Tractores demuestran su versatilidad en la nivelación de terrenos, la construcción de vías internas y el transporte interno en la mina. En conjunto, estas maquinarias no solo optimizan la producción en la minería a cielo abierto, sino que también generan un impacto directo en la seguridad laboral al agilizar operaciones, configurar condiciones adecuadas en el terreno y reducir los riesgos asociados con la extracción y el transporte de materiales. (P., 2014)

Entre otros, para la medición de variables ambientales es importante reconocer los diferentes tipos de fuentes de emisión y sus factores de emisión, por ello, la estimación precisa de las emisiones de contaminantes atmosféricos es esencial para comprender el impacto ambiental de diversas actividades y desarrollar estrategias efectivas de gestión ambiental. En este

sentido, se emplean metodologías que incluyen modelos de emisión y factores de emisión, tanto locales como globales. Los modelos de emisión son herramientas fundamentales que se basan en relaciones matemáticas y ecuaciones empíricas para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos. Estos modelos se desarrollan considerando diversos factores, como el tipo de fuente, las condiciones operativas y las características del entorno, lo que permite realizar proyecciones y escenarios futuros, así como evaluar el impacto de medidas de control y políticas ambientales. (Minambiente, 2019)

Por otro lado, los factores de emisión representan la cantidad de contaminantes emitidos por unidad de actividad o producción, y pueden derivarse tanto de datos locales como de compilaciones globales realizadas por organismos reconocidos a nivel internacional. Estos factores proporcionan una base sólida para la estimación de emisiones en contextos donde la información local es limitada o inexistente, permitiendo una evaluación más completa de la calidad del aire y sus efectos en la salud humana y el medio ambiente.

En el marco de esta investigación, se utilizarán modelos de emisión y factores de emisión, tanto locales como globales, para evaluar las emisiones de contaminantes atmosféricos de fuentes fijas y móviles en el área de estudio. Esto permitirá obtener una estimación integral y precisa de los contaminantes atmosféricos presentes en la región, así como identificar oportunidades para la implementación de medidas de control y mitigación que contribuyan a mejorar la calidad del aire y proteger la salud humana y el medio ambiente. (EPA CARTAGENA, 2020)

En este contexto, las operaciones mineras de este tipo generan una serie de consecuencias significativas que afectan tanto al entorno natural como a las comunidades circundantes y estas deben ser cuantificadas, modeladas y analizadas.

Según el artículo publicado en 2015 sobre “Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente”. La alteración y degradación de la superficie terrestre, como se destaca en el artículo, es un efecto evidente de la minería a cielo abierto. La transformación de la topografía y la acumulación de materiales de desecho impactan directamente la morfología local y pueden tener efectos duraderos en el paisaje. Además, la contaminación del aire, la cual es resaltada en el artículo, es una preocupación relevante debido a la generación de partículas finas y químicos perjudiciales durante la actividad minera. (Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente, 2016)

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas es otro aspecto crítico, como menciona el artículo. Si los residuos generados no se manejan adecuadamente, pueden filtrarse y afectar los cuerpos de agua cercanos, comprometiendo la calidad del agua y la vida acuática. La eliminación de la vegetación y la perturbación del hábitat, tal como se expone en el artículo, también son efectos directos de la minería a cielo abierto, lo cual puede tener un impacto negativo en la biodiversidad local y en los ecosistemas circundantes.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología se basa en la construcción científica-investigativa, de una estrategia paradigmática y metodológica que permita abordar la destreza académica, ética y profesional que permitan el desarrollo de acciones conjuntas que permitan responder a la problemática y por supuesto, a la pregunta de si ¿Es posible determinar una posible brecha entre la percepción de la comunidad sobre las probables problemáticas ambientales de la minería de materiales de construcción y los impactos ambientales evaluados técnicamente para estas actividades?.

La presente metodología se desarrolló en las siguientes etapas:

6.1 IMPACTOS AMBIENTALES

La recolección de datos se realizará mediante la designación de puntos estratégicos (total:7 puntos), para la medición de los siguientes parámetros: PM10, Ruido Ambiental y CO2, por otro lado, en los mismos puntos se realiza la medición del ruido ambiental, este se desarrollará con la metodología de muestreo consagrado en la resolución 627 del 2006, más específicamente lo dictado en el anexo 3 (PROCEDIMIENTOS DE MEDICION); de igual forma, se plantea que si el muestro no se puede realizar mediante equipos de medición, se determinara el valor de los parámetros anteriormente mediante el cálculo de factores de emisión.

También, se desea anexar un análisis multitemporal de la pérdida de cobertura vegetal, mediante la utilización de imágenes de satélite obtenidas de los satélites SENTINEL 2 y LANSAND 8, donde se observará que tanta pérdida de cobertura vegetal partiendo del 2010 a la actualidad en la zona de extracción de materiales de construcción en Mondoñedo, mediante la utilización de ARCGIS 10.8.2, se desea contemplar el modelo multitemporal de la cobertura vegetal y su pérdida en estos años.

De igual forma, para evaluar el impacto de las actividades de extracción de material de construcción en los parámetros ambientales identificados, se emplearán diversas metodologías recomendadas en la "Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas". En primer lugar, se utilizarán factores de emisión, los cuales representan la cantidad de contaminantes emitidos por unidad de actividad. Estos factores pueden derivarse de mediciones directas, balances de masas o modelos de estimación representativos de cada tipo de fuente. Si no se dispone de factores de emisión locales, se recurrirá a factores de emisión de referencia compilados por organizaciones reconocidas a nivel internacional.

Además, se emplearán modelos de emisión que se basan en ecuaciones empíricas y relaciones matemáticas para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos. Estos modelos tienen en cuenta una serie de variables, como el tipo de fuente, las condiciones operativas y las características del entorno, lo que permite realizar proyecciones y escenarios futuros, así como evaluar el impacto de medidas de control y políticas ambientales en la reducción de emisiones.

El análisis de los datos obtenidos mediante estas metodologías proporcionará una evaluación integral del impacto de las actividades de extracción de material de construcción en los parámetros ambientales seleccionados, permitiendo identificar posibles medidas de mitigación y control para reducir su impacto en el medio ambiente.

Los equipos y materiales para utilizar se observan en la siguiente tabla dependiendo el componente a medir.

Tabla 1.
Material y equipo requeridos para la investigación.

<i>Componente</i>	<i>Equipo</i>
<i>Atmosférico</i>	<i>Sonómetro (En caso de no ser posible, factores de emisión)</i>
	<i>Sensores de Calidad de Aire</i>
<i>Laboratorio (mediciones)</i>	<i>Laboratorios de la universidad de Cundinamarca (en caso de toma de muestras)</i>

Nota. Elaboración propia, 2024.

6.2 METODO DE ANALISIS

Se realizará un análisis mediante normativa ambiental vigente de los datos obtenidos con medición de equipos o matemáticamente por factores de emisión. A continuación, se muestra los límites máximos permisibles para calidad del aire con contaminantes criterio según la resolución 2254 del 2017.

Tabla 2.

Niveles máximos permisibles de contaminantes criterios del aire.

<i>Contaminante</i>	<i>Niveles Máximos Permisibles</i> <i>(mc/m3)</i>	<i>Tiempo de Exposición</i>
<i>PM10</i>	<i>50</i>	<i>Anual</i>
	<i>100</i>	<i>24 horas</i>
<i>CO</i>	<i>5.000</i>	<i>8 horas</i>
	<i>35.000</i>	<i>1 hora</i>

Nota. Adaptado de (MINISTERIO AMBIENTE Y DESAROLLO SOSTENIBLE, 2017)

6.3 MATRIZ CONESA FERNADEZ

Es una matriz de causa-efecto, donde se identifican impactos ambientales y sociales; esta matriz califica 10 parámetros como: Naturaleza, Extensión (EX), Intensidad (I), Momento (Mo), Persistencia (Pe), Reversibilidad (RV), Recuperabilidad (RC), Sinergia (SI), Efecto (EF), Acumulación (AC). Esta matriz ayudara a determinar y cuantificar los impactos como la modificación del uso del suelo, emisión de contaminantes, sobreexplotación de recursos naturales, deterioro del paisaje y modificaciones al entorno social, ambiental y económico de la zona de estudio.

Cada parámetro tiene su puntaje y se dará un puntaje final 0- 100 donde se determinará los impactos más significativos que genera la extracción de material de la minería a cielo abierto.

Tabla 3.

Parámetros por medir de la matriz Conesa Fernández.

<i>Parámetro</i>	<i>Criterios</i>	<i>Calificación</i>	<i>Descripción</i>
<i>Naturaleza</i>	<i>Positivo</i>	+	<i>Se refiere al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-)</i>
	<i>Negativo</i>	-	
<i>Extensión</i>	<i>Puntual</i>	<i>1</i>	<i>Área de influencia teórica del impacto</i>
	<i>Parcial</i>	<i>2</i>	

<i>Parámetro</i>	<i>Criterios</i>	<i>Calificación</i>	<i>Descripción</i>
	<i>Extensa</i>	<i>4</i>	
	<i>Crítica</i>	<i>(+4)</i>	
<i>Intensidad</i>	<i>Baja</i>	<i>1</i>	<i>Grado de influencia de la acción sobre el factor.</i>
	<i>Media</i>	<i>2</i>	
	<i>Alta</i>	<i>4</i>	
	<i>Muy alta</i>	<i>8</i>	
	<i>Tota</i>	<i>12</i>	
<i>Momento</i>	<i>Largo plazo</i>	<i>1</i>	<i>Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor ambiental considerado</i>
	<i>Medio Plazo</i>	<i>2</i>	
	<i>Inmediato</i>	<i>4</i>	
	<i>Crítico</i>	<i>(+4)</i>	
<i>Persistencia</i>	<i>Fugaz</i>	<i>1</i>	<i>Tiempo de permanencia del efecto desde su aparición</i>
	<i>Temporal</i>	<i>2</i>	
	<i>Permanente</i>	<i>4</i>	
<i>Reversibilidad</i>	<i>Corto plazo</i>	<i>1</i>	<i>posibilidad de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales.</i>
	<i>Medio plazo</i>	<i>2</i>	
	<i>Irreversible</i>	<i>4</i>	

<i>Parámetro</i>	<i>Criterios</i>	<i>Calificación</i>	<i>Descripción</i>
<i>Recuperabilidad</i>	<i>Recuperable inmediato</i>	<i>1</i>	<i>Posibilidad de retornar a las condiciones iniciales por medio de la intervención humana.</i>
	<i>Recuperable a medio plazo</i>	<i>2</i>	
	<i>Irrecuperable</i>	<i>8</i>	
<i>Sinergia</i>	<i>Sin sinergismo</i>	<i>1</i>	<i>Manifestación de varios efectos simples</i>
	<i>Sinérgico</i>	<i>2</i>	
	<i>Muy sinérgico</i>	<i>4</i>	
<i>Efecto</i>	<i>Indirecto</i>	<i>1</i>	<i>Relación causa-efecto</i>
	<i>Directo</i>	<i>4</i>	
<i>Acumulación</i>	<i>Simple</i>	<i>1</i>	<i>Incremento gradual de la manifestación del efecto</i>
	<i>Acumulativo</i>	<i>4</i>	

Nota. Adaptado de (CONESA FERNANDEZ-VITORIA, 2010)

El Cálculo de Importancia (I) de un impacto ambiental y según el resultado numérico se evaluará con la siguiente ecuación:

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Ecuación 1. Ecuación del cálculo de Importancia (I). (CONESA FERNANDEZ-VITORIA, 2010)

0

A continuación, se establece el nivel de impacto ambiental con sus respectivos rangos.

<i>Valor</i>	<i>Calificación</i>	<i>Significado</i>
<i>< 40</i>	<i>Bajo</i>	<i>Son generalmente puntuales, de baja intensidad reversibles en el corto plazo</i>
<i>40 - 59</i>	<i>Moderado</i>	<i>Impactos generalmente de intensidad media o alta, reversibles en el mediano plazo y recuperable en el mismo plazo.</i>
<i>60 - 79</i>	<i>Severo</i>	<i>Impactos de intensidad alta o muy alta, persistentes, reversibles en el mediano plazo.</i>
<i>80 - 100</i>	<i>Critico</i>	<i>Impactos de intensidad muy alta o total, extensión local e irreversibles</i>

Nota. Adaptado de (CONESA FERNANDEZ-VITORIA, 2010)

En cuanto se refiere a los impactos positivos, estos son objeto de la siguiente clasificación

Tabla 4.

Rangos de medición de impactos ambientales positivos.

<i>Importancia</i>	<i>Valor absoluto de la importancia</i>	<i>Color</i>
<i>Positivo</i>	<i><45</i>	
<i>Positivo importante</i>	<i>46-92</i>	

Nota. Adaptado de (CONESA FERNANDEZ-VITORIA, 2010).

6.4 FACTORES DE EMISIÓN.

Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas sin control en los procesos productivos.

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,t}$$

- **FE_{j,i}**: se refiere al factor de emisión de una sustancia específica o una mezcla de sustancias (j) asociado con una actividad particular (i).
- Por otro lado, **FA_{i,t}**: representa el factor de actividad correspondiente a la actividad (i) en un período de tiempo determinado (t).

Nota. Adaptado de Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de 2017

Además de esta ecuación, también se adaptó la ecuación en el caso de los procesos que contienen una medida de mitigación o algún tipo de control de emisiones, a continuación:

Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas con control de partículas en los procesos productivos.

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,t} * \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

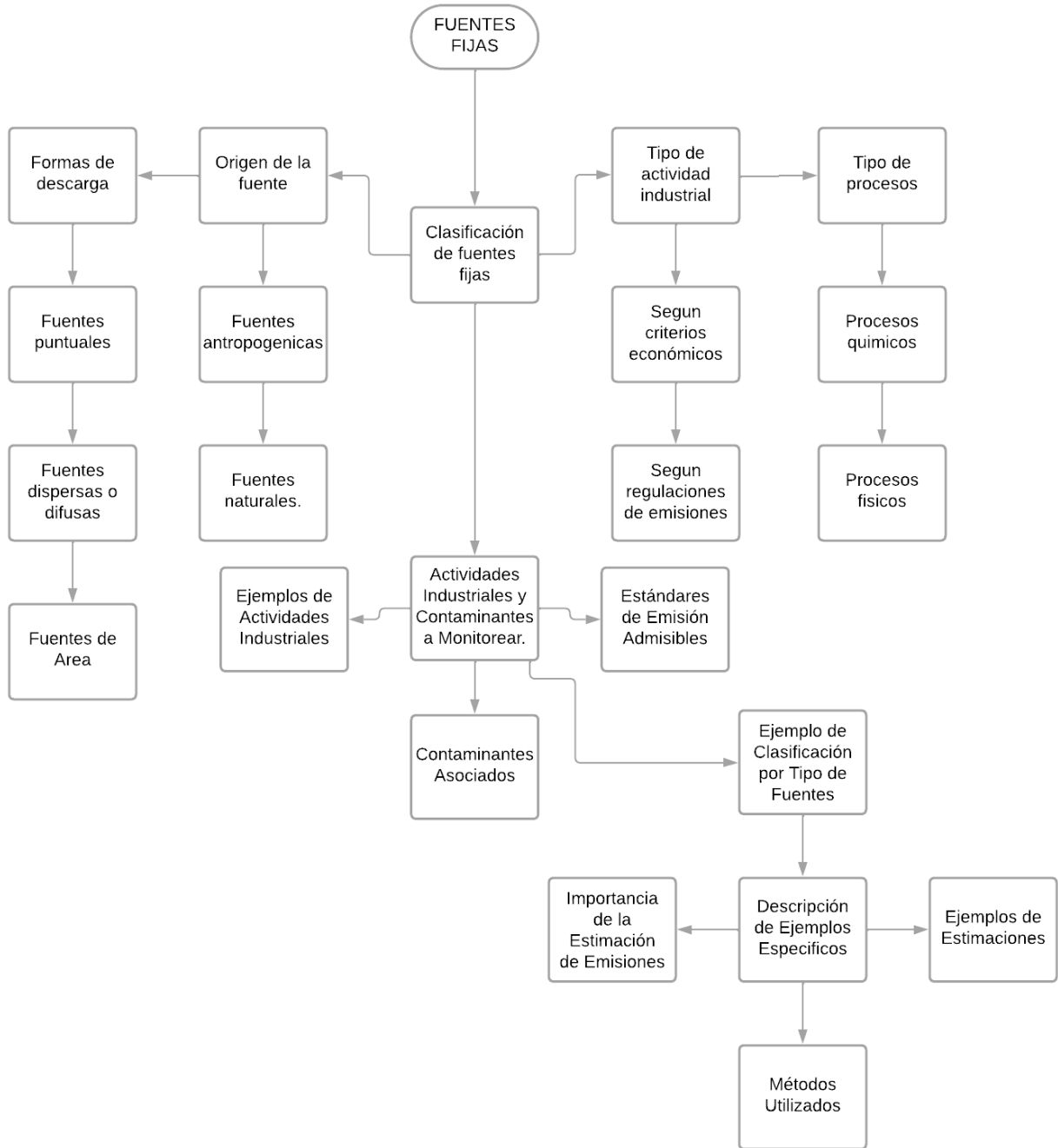
- **FE_{j,i}** hace referencia al factor que indica la cantidad de emisiones liberadas por una sustancia específica o una combinación de sustancias (j) en relación con una actividad en particular (i).
- Por otro lado, **FA_{i,t}** representa el factor que cuantifica la intensidad de una actividad específica (i) durante un intervalo de tiempo dado (t).
- Finalmente, la **ER** se refiere a la eficiencia del equipo en la reducción de emisiones, expresada en porcentaje.

Nota. Adaptado de Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de 2017.

7. RESUMEN METODOLOGICO

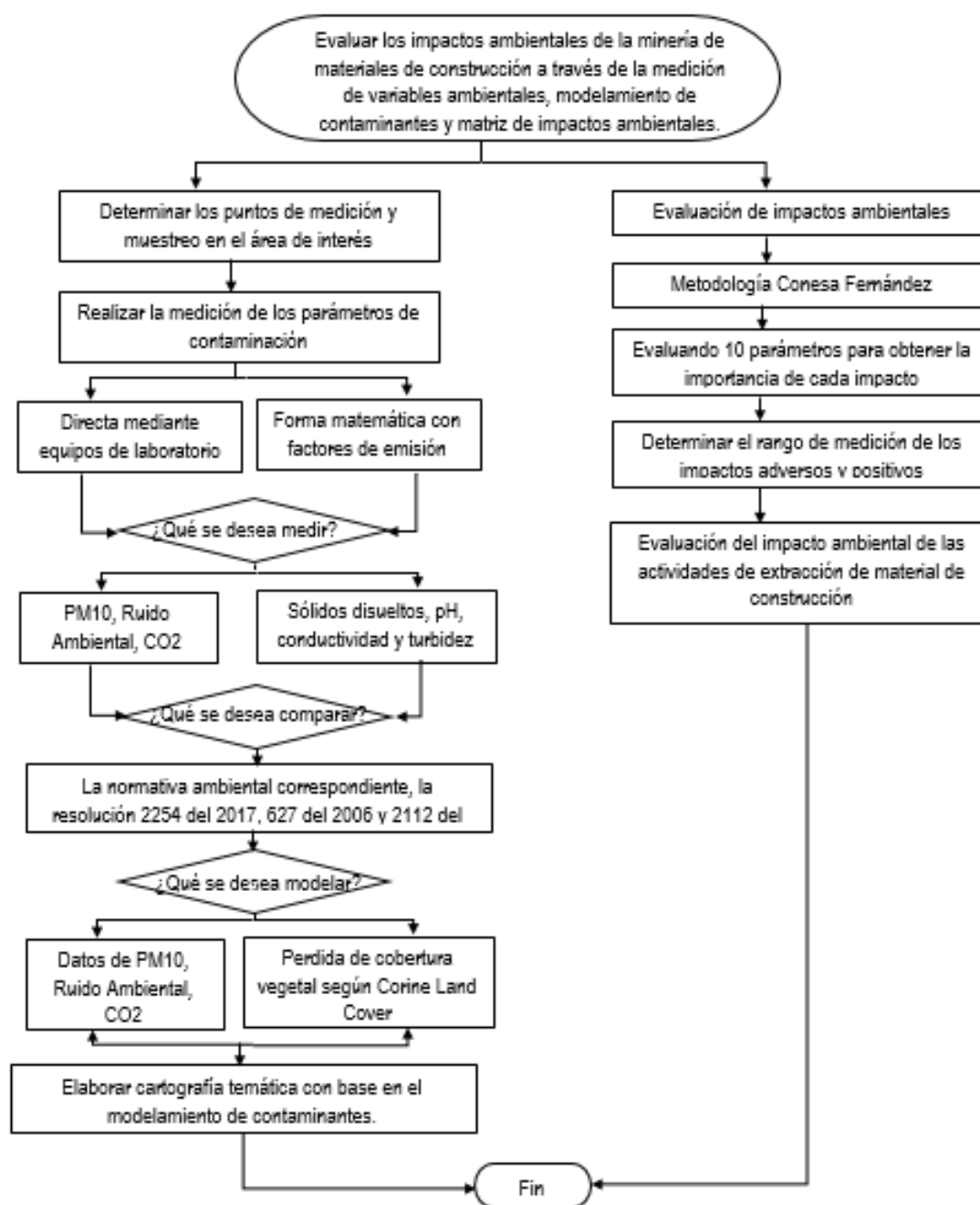
A continuación, Se llevará a cabo una síntesis de cada metodología junto con su objetivo específico, utilizando diagramas de flujo y fuentes de información pertinentes para una explicación clara y concisa de las metodologías empleadas a lo largo de la investigación. Esta estrategia busca ofrecer una visión detallada y estructurada de los procedimientos metodológicos aplicados en el estudio, facilitando la comprensión de los procesos involucrados y permitiendo una visualización fluida de la secuencia de actividades llevadas a cabo en la investigación.

Diagrama 1. Resumen metodología sobre factores de emisión y su clasificación, primer objetivo.



Nota. Adaptado de GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS, 2017.

Diagrama 2. Resumen segundo objetivo específico, metodología de Conesa Fernández.



Nota. Elaboración Propia, 2023.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

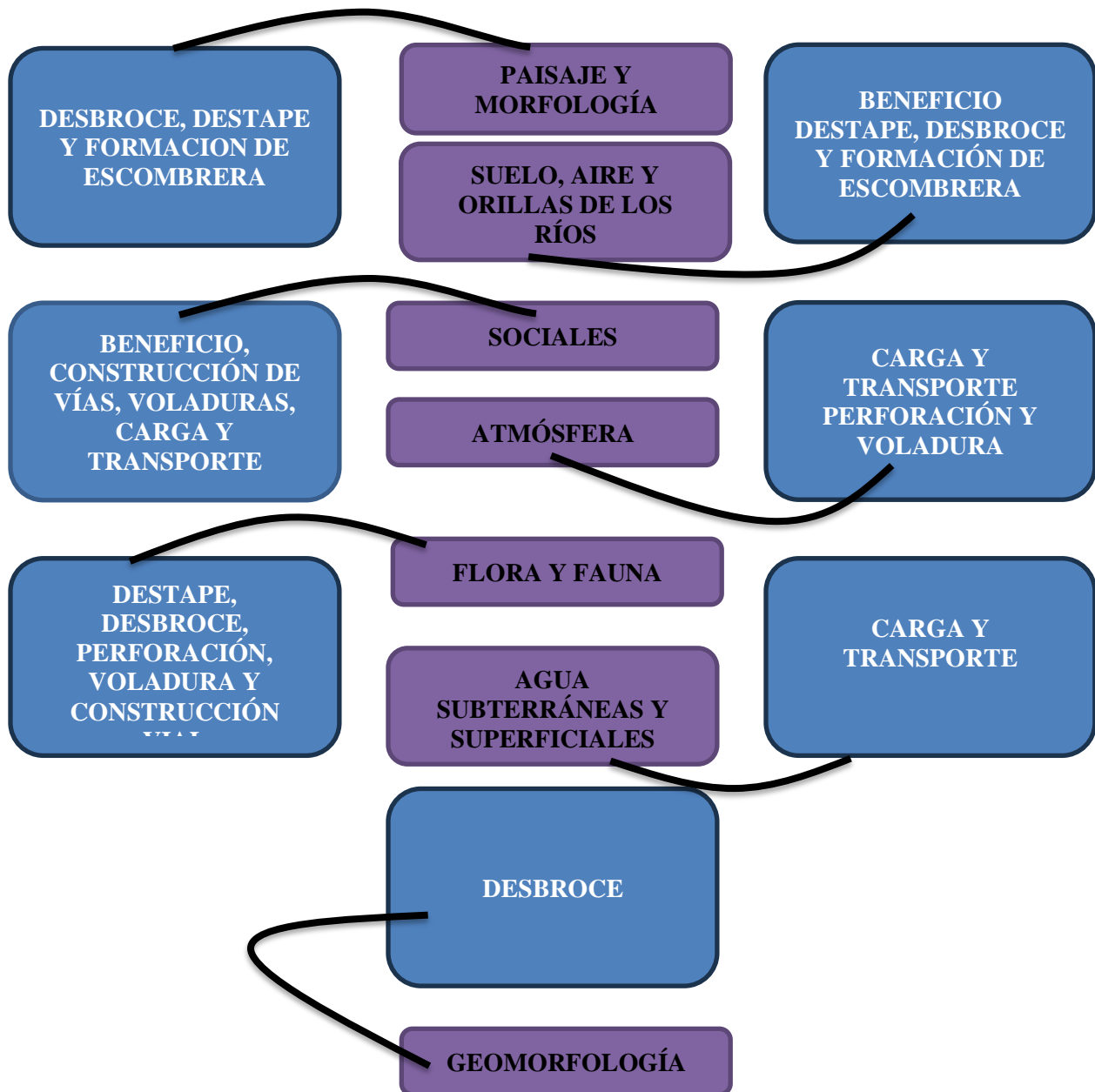
8.1 INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR MEDIO DE FACTORES DE EMISIÓN.

En las actividades realizadas en “MINERIA A CIELO ABIERTO PARA LA EXTRACCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”, existe varios procesos productivos que permiten la identificación y clasificación de las fuentes emisoras de contaminantes, en este caso, en el primer paso se define por medio de una revisión literaria enfocada a establecer los modelos de procesos productivos mayormente utilizados en la industria minera, específicamente en las minas a cielo abierto que explotan material para construcción. A continuación, se presenta un diagrama (Figura 1) como modelo estándar de los procesos productivos, permitiendo caracterizar y clasificar el tipo o tipos de fuentes de emisión.

Siendo así, en esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de las emisiones atmosféricas generadas por la minería de materiales de construcción en el sector de los Puentes, Mosquera. Utilizando factores de emisión específicos, se realizó el cálculo aritmético de diversas variables ambientales, permitiendo cuantificar la carga contaminante asociada a los diferentes procesos mineros. Estos factores de emisión, basados en estándares reconocidos y en estudios previos internacionales y nacionales, proporcionan una estimación de mediana precisión de la cantidad de contaminantes emitidos al aire, facilitando la identificación de las fuentes de mayor impacto y la evaluación detallada de su contribución al deterioro de la calidad del aire en la zona de estudio.

Figura 1.

Procesos productivos de las canteras o minas a cielo abierto en relación con sus factores socioambiental.



Nota. Adaptado de Arleis Pérez Salazar (2015).

8.2 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN SEGÚN SUS PROCESOS PRODUCTIVOS.

De acuerdo con la clasificación establecida en el gráfico 2 (Diagrama de flujo para la clasificación de las fuentes fijas emisoras de contaminantes.) se establece que para las emisiones por fuentes fijas son clasificadas por su forma de descarga como fuentes fijas dispersas o difusas, debido a que tal y como lo establece la “*Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*”, estas hacen referencia a aquellas donde los focos de emisión se dispersan por el área, debido al desplazamiento del proceso causante de la emisión, este tipo de fuente de emisión se presenta en las actividades de explotación minera a cielo abierto.

De igual forma, se determinó que el origen de la fuente de emisión es antropogénico dado que son todas aquellas emisiones que emiten compuestos contaminantes a la atmósfera con intervención directa del hombre (Minambiente, 2017).

Además, se concluyó que el tipo de actividad industrial se percibe en tres diferentes aspectos y cada uno de ellos posee una clasificación propia, el primer aspecto importante es el tipo de actividad económica productiva, este caso corresponde a sección B categorías presentadas en la CIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades

Económicas) que involucra fuentes fijas según la actividad económica productiva, se determina que esta sección es la indicada debido a que cuenta con características que se asocian a las actividades que se llevan a cabo en las minas a cielo abierto para la explotación de materiales de construcción, sus similitudes están en que la actividad anteriormente nombrada usa varios de los procesos productivos que se incluyen en la sección B, exactamente en la división 08 (Extracción de otras minas y canteras), se añaden actividades adicionales orientadas a la preparación de materias primas para su venta, como el triturado, molienda, limpieza, secado, selección y concentración de minerales, algunas de estas actividades o procesos son llevados a cabo en la sección determinada (DANE, 2020).

Por otra parte, las actividades productivas según la reglamentación de emisiones contaminantes fueron identificadas, para ello se profundizo en la normatividad ambiental colombiana en este caso la “*Resolución 909 del 5 de Junio de 2008 Fuentes Fija*”, se estableció como “*Otras Actividades Industriales*” Según la resolución expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el año 2008.

Figura 2.

Actividades industriales y contaminantes para monitorear por actividad industrial

Actividad industrial	Procesos e instalaciones	Contaminantes
Otras actividades industriales	El proceso e instalaciones que generen emisiones contaminantes a la atmósfera.	MP, SO ₂ , NO _x , HF, HCl, HC _T , Dioxinas y Furanos, Neblinas ácida o trióxido de azufre, COV, Pb, Cd, Cu, CO, Hg, Amoniac (NH ₃), Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S) y mercaptanos, Carbono Orgánico Total (COT)

Nota. Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (2008)

En esta figura se presentan diferentes contaminantes que deben ser monitoreados según la actividad industrial que se ejecute, aun así, los contaminantes que se usarán para los cálculos y ecuaciones solo serán PM.10, NO_x y CO_x, solo los contaminantes anteriormente mencionados serán tenidos en cuenta, se realizó de esta forma debido al enfoque que se pretende desde el trabajo de investigación, siendo un enfoque adaptado a la información disponible y verificable, en este caso los documentos referenciados previamente citados, donde se aloja la información correspondiente sobre factores de emisión, requisitos para la determinación de una categoría y de igual forma todas aquellas actividades que permiten el reconocimiento y modelamiento sobre los contaminantes emitidos por la industria minera, por medio de El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a través del artículo 6 de la Resolución 909 del 2008 (MAVDT, 2008a).

Luego de ello, se resolvieron los tipos de procesos por los cuales la industria minera en este caso puntual se enfoca, por razones de efectividad se plantearon en la siguiente Tabla de Procesos físicos y químicos en la minería a cielo abierto para la extracción de materiales de construcción, en su clasificación se definió como F (Procesos físicos), Q (Procesos químicos) y

F-Q (Procesos Físico-Químicos).

Tabla 5.

Actividades o procesos productivos en relación con la clasificación según el tipo de proceso.

Factores	Acción o actividad	Tipo de proceso	Clasificación
<p>PAISAJE Y MORFOLOGIA</p>	<p>DESBROCE, DESTAPE Y FORMACION DE ESCOMBRERA</p>	<p>Proceso físico, el proceso de desbroce consiste en la remoción física de la vegetación y la capa superficial del suelo para facilitar el acceso a la zona de extracción de minerales. Este proceso se lleva a cabo mediante maquinaria pesada y herramientas manuales, sin involucrar cambios químicos en los materiales.</p>	<p>F</p>

<p>SUELO, AIRE Y FUENTES HIDRICAS CERCANAS</p>	<p>BENEFICIO DESTAPE, DESBROCE Y FORMACIÓN DE ESCOMBRERA</p>	<p>Proceso físico, contaminación del aire debido al polvo que sale por la chimenea de las plantas, además, aumento de la erosión, sedimentación y disminución en la calidad de los suelos</p>	<p>F</p>
<p>SOCIALES</p>	<p>BENEFICIO, CONSTRUCCIÓN DE VÍAS, VOLADURAS, CARGA Y TRANSPORTE</p>	<p>La construcción de vías implica la preparación física del terreno para establecer caminos y accesos a la zona minera. Esta actividad comprende la nivelación del terreno, la construcción de carreteras o caminos para el tránsito de maquinaria y equipos de transporte, sin implicar reacciones químicas, de igual forma, el proceso de beneficio</p>	<p>F-Q</p>

		<p>comprende la separación de minerales útiles de la roca madre. Esto puede implicar el uso de métodos químicos como la lixiviación, donde se emplean soluciones químicas para disolver los minerales valiosos de la roca circundante, así como procesos físicos como la separación gravitacional o la flotación.</p>	
--	--	---	--

<p>ATMÓSFERA</p>	<p>CARGA Y TRANSPORTE PERFORACIÓN Y VOLADURA</p>	<p>La carga y transporte de materiales extraídos se realiza mediante el uso de equipos especializados como excavadoras y camiones volquete. Este proceso implica la manipulación física de los materiales para su traslado desde la mina hasta el lugar de procesamiento o almacenamiento, sin intervención de procesos químicos, Aunque la perforación es esencialmente un proceso físico, la voladura involucra aspectos químicos. Durante la voladura, se utilizan explosivos que contienen compuestos químicos</p>	<p>F-Q</p>
------------------	--	--	------------

		específicos para fragmentar la roca y facilitar la extracción de minerales.	
FLORA Y FAUNA	DESTAPE, DESBROCE, PERFORACIÓN, VOLADURA Y CONSTRUCCIÓN VIAL	Aplica con las generalidades de CONSTRUCCIÓN DE VÍAS, VOLADURAS, siendo este un proceso físico-químico.	F-Q
AGUA SUBTERRANEA Y SUPERFICIALES	CARGA Y TRANSPORTE	Proceso Físico-Químico	F-Q
GEOMORFOLOGÍA	DESBROCE	Aplica con las generalidades del desbroce, siendo este un	F

		proceso físico.	
--	--	-----------------	--

Nota. Adaptado de Arlés Pérez Salazar (2015)

Otras generalidades que se destacaron al momento de establecer un orden lógico en la categorización de las fuentes fijas fueron el tipo de combustible, los equipos de combustión que se usan en las minas a cielo abierto para extracción de materiales de construcción y finalmente el tamaño de la empresa, siendo así, el tipo de combustible definido fue el Diesel corriente, o ACPM (Aceite Combustible Para Motores), un combustible líquido, se estableció según la información proporcionada en el reporte de la Universidad Pontificia Bolivariana (2010), donde se detalla que este combustible es principalmente usado en la industria minera, ya que es usado en los motores Diesel de combustión interna, de esta forma se relaciona con el uso de maquinaria específica para la minería a cielo abierto, maquinaria que en su mayoría está relacionada usa motores Diesel. (Minambiente, 2017)

Por consiguiente, se relaciona con los equipos que se emplean en la minería superficial, ya sean tajos abiertos o canteras, en este caso, estos equipos son utilizados para los procesos productivos que se llevan a cabo dentro del área, los equipos que se utilizaron en calidad de generar cálculos más detallados fueron los descritos en la siguiente tabla, representando las emisiones contaminantes con mayor significancia en el área de influencia. (Quispe, 2015)

Tabla 6.

Equipos comúnmente usados en la minería a cielo abierto

Equipos utilizados en los procesos productivos.		
Equipo de minado	Equipos auxiliares	Equipos continuos
<ul style="list-style-type: none"> • Perforadoras Rotativas • Palas excavadoras • Cargadoras Frontales • Camiones Volcadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Empujadores • Trituradores • Niveladoras • Regadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Fajas Transportadoras • Retroexcavadoras • Excavadoras de cucharas

Nota. Adaptado de Quispe (2015).

Finalmente, la definición sobre el tamaño de una empresa en una industria minera, se realizó con fuentes bibliográficas calificadas para la determinación de la misma, siendo una empresa mediana de minería, se estima que por el área que se aprecia en la cartografía esta empresa presenta las siguientes características que la hacen una empresa mediana (Tabla 7). (Ley 905 de 2004 - Gestor Normativo, s. f.).

Tabla 7.

Tamaño de la empresa o industria minera según sus características.

NUMERO DE TRABAJADORES ACTIVOS	ACTIVOS TOTALES	TAMAÑO DE LA EMPRESA	SE DEFINE COMO EMPRESA DE UN TAMAÑO MEDIANO POR SUS CARACTERISTICAS FRENTE AL NUMERO DE TRABAJADORES Y LO QUE SE PREVEE POR EL GRAN ÁREA SOBRE EL QUE SE EXPLOTA Y SU TOTAL EN ACTIVOS.
Planta de personal no superior a los diez (10) trabajadores	Activos totales excluida la vivienda por valor inferior a quinientos (500) salarios mínimos mensuales legales vigentes	MICROEMPRESA	
Planta de personal entre once (11) y cincuenta (50) trabajadores	activos totales por valor entre quinientos uno (501) y menos de cinco mil (5.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes	EMPRESA PEQUEÑA	
Planta de personal entre cincuenta y uno (51) y	Activos totales por valor entre cinco mil uno (5.001) a treinta	EMPRESA MEDIANA	

doscientos (200) trabajadores	mil (30.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes.		
----------------------------------	---	--	--

Nota. Elaboración propia sobre la (Ley 905 de 2004 - Gestor Normativo, s. f.).

Luego de llevar a cabo una clasificación completa frente a las fuentes fijas, se definió el nivel de detalle por medio de la información recolectada, siendo así la forma más versátil para definir con que información se pretendía trabajar e investigar, por este motivo estos niveles pueden determinarse durante el desarrollo del inventario, basándose bien sea en el uso final del inventario o la disponibilidad de recursos, y dependen en gran medida del método elegido para estimar las emisiones (Radian International LLC, 2006) como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8.

Nivel de detalle según la información recolectada.

NIVEL DETALLE					
PUNTO O DE CHIMENEA	LUGAR EXACTO DE LAS EMISIONES	HORARIOS DE OPERACIÓN NORMAL	EMISIONES MEDIDAS/ESTIMADAS	EFICIENCIA DEL SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINANTES	DETALLES DE LA CHIMENEA (ALTURA, DIÁMETRO)

PROCESOS	MATERIAS PRIMAS	CORRIENTE S DE PROCESO	DATOS DE OPERACIÓN (REAL, MÁXIMA, DISEÑO)	CAPACIDAD DEL EQUIPO POR PROCESO O SEGMENTO	CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE
PLANTA	NOMBRE DE PLANTA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	Contacto (Nombre, Teléfono, Correo Electrónico)	Número de Identificación de la Actividad Industrial (CIU)	Producción (Frecuencia, Materias Primas, Subproductos, etc.)

Nota. Adaptado de (Minambiente, 2017).

8.3 FACTORES DE EMISIÓN SEGÚN EL PROCESO PRODUCTIVO.

Los factores de emisión en las fuentes fijas, puede estimarse de diferentes formas, como, por ejemplo, por medición directa, balance masa o a partir de factores de emisión ya establecidos en estudios realizados tanto a nivel nacional, como a nivel internacional, en este caso específico se utilizaron diferentes fuentes de interés que permitieron reconocer los factores de emisión correspondientes a la actividad industrial que se realiza en la Mina a cielo abierto en Mondoñedo específicamente en el Sector de los Puentes; Para establecer el factor de emisión también es necesario identificar las fuentes de emisión, el factor de la actividad y la estimación de las emisiones (Tabla 9), (Minambiente, 2017).

Tabla 9.

Información necesaria para la evaluación de emisiones atmosféricas mediante el factor de

emisión

ACTIVIDAD	CARACTERISTICA
Identificación de las fuentes de emisión	Fuente Fija dispersas o difusas.
Factor de actividad	Este factor de actividad está basado en las actividades que emiten mayor contaminación por tener una presencia dominante en la industria; en este caso los procesos de triturado y la liberación de PM10 por día, mes o año.
Estimación de las emisiones	Emisiones durante el proceso de trituración, perforación, carga y transporte, para la fuente fija dispersa, se tuvo en cuenta la trituración y sus procesos adyacentes y la perforación de igual forma.

Nota. Adaptado de Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de 2017.

Luego de realizar una identificación sobre los requisitos e información válida para la estimación de las emisiones a partir de los factores de emisión, se procedió a identificar el contaminante criterio para su posterior definición, el material particulado producido principalmente por las actividades mineras fue seleccionado como contaminante principal n las fuente fija ya anteriormente nombrada, el contaminante asociado a la actividad minera usualmente se produce como resultado de la perturbación de diferentes partículas que son

derivadas del suelo o de las rocas que han sido extraídas por medio de acciones mecánicas, como pueden ser el transporte y manejo, además del soplado, todo depende de los factores climáticos, la geología del área de interés y el método usado, de igual forma existe un alto potencial de que existan elevados niveles de material particulado alrededor de las minas a cielo abierto según (ANDERSON CARRILLO MONTERO, 2008).

Tabla 10.

Generalidades sobre el contaminante criterio PM10

Definición	Cualquier material sólido o líquido dividido finamente diferente, según medición por los métodos federales de referencia (40 CFR 53)
Fuentes:	Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, cintas transportadoras, incineradores, cubilotes, equipo procesador, digestores incendios forestales.
Efectos:	Efectos en la respiración y el sistema respiratorio, agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, daños en el tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura.
Legislación:	Resolución 601 del 4 de abril de 2006
Varios:	Ejemplos: Polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio asbesto

Nota. Elaborado por manual de control de la calidad del aire. ALLEY Roberts & associates. Mc

Graw Hill, 2001.

Finalmente se realizó el cálculo de los factores de emisión por medio de referencias bibliográficas que permitan identificar el factor de emisión y factor de actividad, además de ello se definieron los procesos específicos que van a ser calculados, en este trabajo de investigación se definieron algunos procesos comunes más usados en la minería a cielo abierto, además de la explotación de rocas y su triturado, para ello se generó una tabla que declara los factores de emisión de cada proceso siendo este el factor de emisión y además de ello se definió el factor de actividad de cada actividad, es necesario explicar que se definieron procesos con técnicas de control y sin técnicas de control, de esta forma la exactitud de la información fue analizada con un espectro mucho más amplio, la información está contemplada en la (Tabla 11).

Tabla 11.

Factores de emisión EPA para procesado y molienda de la roca (Kg / t)

Fuente (a)	PST	Calidad F.E	PM10	Calidad F.E
Perforación húmeda (roca sin fragmentar)	ND		$4,0 \cdot 10^{-5}$	E
Descarga de camiones (roca fragmentada)	ND		$8,0 \cdot 10^{-6}$	E
Tamizador	0,0125	E	0,0043	C
Tamizador (Controlado)	0,0011	E	0,00037	C
Triturado Primario			(b)	

Triturador Primario (Controlado)	(b)		(b)	
Triturador Secundario	(b)		(b)	
Triturador Secundario (Controlado)	(b)		(b)	
Triturador Terciario	0,0027	E	0,0012	C
Triturador Terciario (Controlado)	0,0006	E	0,00027	C
Triturador de Finos	0,0195	E	0,0075	E
Triturador de Finos (Controlado)	0,0015	E	0,0006	E
Tamizador de Finos	0,15	E	0,036	E
Tamizador de Finos (Controlado)	0,0018	E	0,0011	E
Cinta transportadora	0,0015	E	0,00055	D
Cinta transportadora (Controlado)	0,00007	E	$2,3 \cdot 10^{-5}$	D
Carga de camiones (Cinta transportadora, roca triturada)	ND		$5,0 \cdot 10^{-5}$	E

Nota. Adaptación sobre la información extraída de (EPA, 2004).

A continuación, se clasificó con letras algunas pautas según la necesidad o la información recolectada, en el caso de (a) son todas las fuentes fijas que se incluyen de forma general en el proceso minería a cielo abierto para explotación de materiales de construcción (Roca, arenas, gravas), por otra parte la letra (b) se refiere al uso específico de los valores como factores de emisión en PM10 Y PST del triturado terciario, en la tabla anteriormente descrita se especificó cuáles procesos deben llevar los mismo valores que se utilizan en el triturado terciario y finalmente (ND) se refiere a que no hay disponibilidad de la información requerida. (Consejería

de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible, 2020).

En el caso de los factores por actividad se determinaron indagando específicamente a cuanta carga anual corresponde cada proceso, en relación a la capacidad de triturado por hora, día o año, para ello se utilizaron valores relativos y que se reflejaran sobre otros documentos, debido a la nula posibilidad de realizar una visita técnica que nos permitía obtener este tipo de información con la Mina que se localiza en el municipio de Mondoñedo en el sector de “Los Puentes”, además de ello se omiten varios datos sobre la empresa para brindar seguridad sobre los datos personales de muchas de las personas que fueron encuestadas con un fin académico y exploratorio, los documentos usados para determinar los valores según el factor de actividad fueron los siguientes expresados en la (Tabla 12).

Tabla 12.

Factor de actividad según el proceso productivo en la minería a cielo abierto para la extracción de materiales de construcción.

Fuente (a)	Factor de Actividad (Kg de material procesado* Tiempo)	Observaciones
Perforación húmeda (roca sin fragmentar)	Se utilizaron 6 perforaciones por semana, se determinó esta aproximación debido a la poca disponibilidad de información, de esta forma se concluyó que mensualmente	Modelo ideal de perforaciones diarias (estimaciones hipotéticas para obtener resultados completos dentro de la teoría)

	se realizan aproximadamente 24 perforaciones de tamaño promedio.	
Descarga de camiones (roca fragmentada)	240000 kg/día, arenas, gravas y recibos	Suponiendo que las cintas transportadoras tienen la capacidad de transportar 240t/d de roca fragmentada, cabe aclarar que este modelo estándar no refleja las emisiones o extracciones diarias reales en la minería a cielo abierto en el sector de Mondoñedo “los puentes”.
Tamizador	ND	ND
Tamizador (Controlado)	ND	ND
Triturado Primario	Granulometría inicial: < 300 x 75 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	Maquinaria elegida según la granulometría indicada tanto en la (Figura 6 Esquema general del proceso molienda y clasificación de material extraído), en relación con
Triturador Primario (Controlado)	Granulometría inicial: < 300 x 75 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	

Triturador Secundario	Granulometría inicial: < 100 x 25 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	las especificaciones de la maquinaria ofertada comúnmente para actividades industriales de este tipo, específicamente la empresa RETSCH que oferta maquinaria para el procesado de materiales de construcción, en esta investigación y con fines educativos se determinó que el modelo estándar de trituradora en el proceso de molienda de arenas, gravas y recibos es la TRITURADORA DE MANDÍBULAS BB 600, debido a su ajuste preciso para los diferentes niveles de granulometría. (Retsch MILLING SIEVING ASSISTING, 2023)
Triturador Secundario (Controlado)	Granulometría inicial: < 100 x 25 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	
Triturador Terciario	Granulometría inicial: < 25 x 10 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	
Triturador Terciario (Controlado)	Granulometría inicial: < 25 x 10 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	
Triturador de Finos	Granulometría inicial: < 10 x 5 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	
Triturador de Finos (Controlado)	Granulometría inicial: < 10 x 5 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	
Tamizador de Finos	ND	ND
Tamizador de Finos (Controlado)	ND	ND

<p>Cinta transportadora</p>	<p>Velocidad(m/s): 0.8, 650 mm (tamaño de granulo), capacidad de transporte(t/d) de 240t/d</p>	<p>Cinta transportadora recta estándar, modelo estándar usado en diversas industrias, como metalurgia, minas, carbón, puerto marítimo, centrales eléctricas y materiales de construcción para la transmisión de materiales a granel, este modelo precisa de características específicas, como su velocidad de transporte y capacidad máxima por día dependiente a la misma, además el tamaño del granulo se definió como granulo promedio de entrada. (UNIQUE GRUPO YUXIN TRANSPORTADOR , 2023)</p>
<p>Cinta transportadora (Controlado)</p>	<p>Velocidad(m/s): 0.8, 650 mm (tamaño de granulo), capacidad de transporte(t/d) de 240t/d</p>	<p>Para la cinta transportadora que permite la movilización de los materiales ya procesados a los camiones de carga, fue usada otra variable en las especificaciones, en este caso granulo con un tamaño menor luego de haber sido</p>
<p>Carga de camiones (Cinta transportadora, roca triturada)</p>	<p>Velocidad(m/s): 0.8, 500(tamaño de granulo<50mm), capacidad de transporte(t/d) de 120t/d</p>	<p>Para la cinta transportadora que permite la movilización de los materiales ya procesados a los camiones de carga, fue usada otra variable en las especificaciones, en este caso granulo con un tamaño menor luego de haber sido</p>

		procesados en la trituración primaria, secundaria, terciaria y fina.
--	--	--

Nota. Elaboración propia sobre la información extraída de (Retsch MILLING SIEVING ASSISTING, 2023).

Los cálculos de emisiones contaminantes por PM10 en la industria minera a cielo abierto para materiales de construcción, fueron realizadas en relación con la información de la Tabla 11 y 12, a continuación, se presentan las fórmulas implementadas en el cálculo de las emisiones del área en cuestión donde se realizan actividades mineras, esta formulas se clasificaron en dos tipos. (Minambiente, 2017); La ecuación utilizada para calcular las emisiones en fuentes fijas, que vincula el factor de emisión con el factor de actividad, ha sido ajustada de la siguiente manera:

Figura 3.

Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas sin control en los procesos productivos.

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,t}$$

- **FE_{j, i}**: se refiere al factor de emisión de una sustancia específica o una mezcla de sustancias (j) asociado con una actividad particular (i).
- Por otro lado, **FA_{i,t}**: representa el factor de actividad correspondiente a la actividad (i) en un período de tiempo determinado (t).

Nota. Adaptado de Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de 2017

Además de esta ecuación, también se adaptó la ecuación en el caso de los procesos que contienen una medida de mitigación o algún tipo de control de emisiones, a continuación:

Figura 4.

Ecuación para la determinación de emisiones en las fuentes fijas con control de partículas en los procesos productivos.

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,t} * \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

- **FE_{j,i}** hace referencia al factor que indica la cantidad de emisiones liberadas por una sustancia específica o una combinación de sustancias (j) en relación con una actividad en particular (i).
- Por otro lado, **FA_{i,t}** representa el factor que cuantifica la intensidad de una actividad específica (i) durante un intervalo de tiempo dado (t).
- Finalmente, la **ER** se refiere a la eficiencia del equipo en la reducción de emisiones, expresada en porcentaje.

Nota. Adaptado de Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas de 2017.

9. CALCULOS MATEMATICOS PARA EL ORDEN LOGICO.

A continuación, los cálculos realizados durante el análisis y procesamiento de datos fueron primeramente llevados a un orden lógico matemático donde todas las unidades coincidieran en relación con la necesidad de la ecuación, en este caso, se definieron las siguientes unidades: Kg del contaminante emitido / Frecuencia de la cantidad emitida (Anual), frente a los valores de factor de actividad fueron transformados en Kg / Año, se realizó una operación mediante la conversión de unidades como se muestra a continuación:

- Descarga de camiones (roca fragmentada) en equivalencia de querer obtener resultados más acertados, para el presente año 2024 los días del año hábiles redondean los 262 días, este será el valor usado para la conversión de unidades, teniendo en cuenta que solo se trabajen días hábiles por considerarse una empresa:
 $240000 \text{ kg/día} * 262 \text{ días} = 62.880.000 \text{ Kg/Anuales.}$
- Triturados (Primarios, secundarios, terciarios y finos): 3500 kg de material triturado (arenas, gravas y recebos) cada hora, se convirtieron las unidades a Kg de material triturado por año, teniendo en cuenta parámetros como los dos turnos rotativos de 8 horas: $3500 \text{ Kg/h} * 16 \text{ h} / 1 \text{ día} = 56.000 \text{ Kg} / \text{ día} * 262 \text{ días} / 1 \text{ año} = 14.672.000 \text{ Kg} / \text{ Anuales.}$
- Cinta transportadora (Roca sin fragmentar): 240 toneladas de roca sin fragmentar por Día, entonces, $240 \frac{t}{d} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1t} * \frac{262 d}{1 \text{ año}} = 62.880.000 \text{ Kg/Anuales.}$

- Carga de camiones (Cinta transportadora, roca triturada): $120 \text{ t/d} * (1000 \text{ Kg}) / 1\text{t} * (262\text{d}) / (1 \text{ año}) = 31.440.000 \text{ Kg/Anuales}$.

Para interpretar los resultados arrojados anteriormente, se debe tener en cuenta la cantidad de maquinaria en cada proceso puntual, este inciso se estableció haciendo una relación directa con la carga máxima de material por día, de esta forma poder determinar por el rendimiento, cuantas maquinas industriales se requieren en cada proceso para suplir la demanda diaria, por lo tanto se estable que, la cinta transportadora de roca (no fragmentada), tiene una capacidad de 240 t/d y generando una conversión para establecer cuantos kilogramos por día se produce en la mina, dando como resultado 240.000 Kg/d, luego de ello se realizó la conversión anteriormente expuesta, dando un resultado anual, expresado de la siguiente forma: 62.880.000 Kg/año, por consiguiente se generó una relación directa con la cantidad de maquinaria necesaria para suplir la demanda del tratamiento del producto al año, se estableció que las trituradoras necesarias con la capacidad triturar todo el material extraído diariamente, luego de ello se establece la relación anual, dando como resultado 4 trituradoras que son las que se aproximan al tratamiento de todo el material extraído durante el año.

Además de ello, se argumentó que una mina de esa magnitud no tiene una sola trituradora de roca, debido a la cantidad de material que se extrae, por ello se calculó de igual forma la cantidad de cintas transportadoras de roca (triturada) a los camiones de carga, en este caso las cintas transportadoras que suplían la demanda de molienda y triturado de la roca siendo dos las necesarias para realizar el transporte del material extraído diariamente hacia los camiones de

carga, finalmente se establecen los cálculos nombrados anteriormente:

- 14.672.000 kg / Anuales por cada trituradora, por consiguiente, se estableció el cálculo de cuantas trituradoras son necesarias para suplir con la demanda de 62.880.000 Kg/Anuales: $62.880.000 \text{ Kg} / 14.672.000 \text{ Kg} = 4,2$ trituradoras necesarias para cumplir con la demanda.
- La cinta transportadora de roca (sin fragmentar) transporta 62.880.000 Kg/Anuales de roca sin fragmentar, con este valor se establece cuantas cintas transportadoras de roca fragmentada se requieren para una carga total, estableciendo que las características que cumplen con el transporte de la roca fragmentada y la masa total diaria, teniendo una capacidad de 31.440.000 Kg/Anuales por cinta se calcula lo siguiente: $62.880.000 \text{ Kg/Anuales} / 31.440.000 \text{ Kg/Anuales} = 1,99$ se requieren dos trituradoras para suplir la demanda diaria y anual de todo el material.

Finalmente, luego de realizar la conversión de unidades se aplica la ecuación de emisiones relacionada con el factor de actividad y el factor de emisión (EPA, 2004), para ello se tuvieron en cuenta dos diferentes formas de cada proceso unitario, dando como resultado un proceso con control de emisiones y un proceso sin control de emisiones, los porcentajes de eficiencia que se relacionan con el factor de emisión son dados por el AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry del 2004, teniendo en cuenta controles de emisión internacionales, porcentajes de eficiencia de los mismos, estos comúnmente usados en

los procesos descritos en la (Tabla 12); A continuación se exponen los cálculos realizados para que finalmente fuesen registrados en la (Tabla 13) “Resumen de Emisiones en las Fuentes Fijas en relación con el factor de emisión y factor de actividad”.

9.1 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso productivo de descarga de camiones:

Para ello se establece un modelo de camión de descarga interna que tenga la capacidad de movilizar la carga total diaria, de esta forma se estimó un cálculo sobre los camiones de descarga necesarios para suplir la demanda, se determinó según información bibliográfica de “Camiones en Minería a Cielo Abierto” de Monteza Camacho Maritere, donde se incluyen algunos modelos de camiones de descarga de material más utilizados o comúnmente utilizados en la industria minera a cielo abierto, por ello se incluyó el modelo más común y adaptado a las necesidades generales de la mina a cielo abierto objeto de investigación, el modelo se denomina EH1100-3, con una carga útil diaria de aproximadamente 64.900 Kg/día, siendo así la determinación cuantitativa del número de camiones necesarios según las necesidades de la empresa en los datos recolectados anteriormente: $64.900\text{Kg/día} / 240000 \text{ Kg/día} = 3,6$ camiones de descarga necesarios para suplir la necesidad de la mina, en este caso puntual se definió un máximo de 4 camiones de descarga y un mínimo de 3 camiones dependiendo la carga diaria, en casos hipotéticos de sobre carga, (Camacho, 2020):

- $E_{dc} = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ kg / t} * 62.880.000 \text{ kg/Anuales.} = 50,304 \text{ Kg/año de material particulado (PM10).}$

- $50,304 \text{ kg/año de material particulado (PM10)} / (4) \text{ Camiones de descarga} = 12.576$
kg/año de material particulado (PM10) por camión de descarga, se generó el mismo calculo con 3 camiones de descarga y se estableció lo siguiente, $50,304 \text{ kg/año de material particulado (PM10)} / (3) \text{ Camiones de descarga} = 16.768$ kg/año de material particulado (PM10); Los dos resultados pueden ser utilizados para el inventario o resumen final.

9.2 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso siguiente a la descarga de los camiones, específicamente las cintas transportadoras de roca (sin fragmentar) sin control de emisiones:

Este cálculo de emisiones procede de un resultado previo, por este motivo se determinó que solo se requiere una cinta transportadora de roca (sin fragmentar) para suplir la demanda de la descarga previa, teniendo una capacidad de 62.880.000 Kg/Anuales y un factor de emisión de 0,00055 kg/t, dando como resultado: $E_{ct1} = 0,00055 \text{ kg/t} * 62.880.000 \text{ Kg/Anuales} = 34.584$ kg/año de material particulado (PM10) emitido.

9.3 Cálculo de emisiones anuales de material particulado (PM10) en el proceso siguiente a la descarga de los camiones, específicamente las cintas transportadoras de roca (sin fragmentar) con control de emisiones:

En el siguiente calculo se determina primeramente la eficiencia del control de emisiones que se establece, el factor de emisión si control de emisión es de 0,00055 kg/t, por otra parte el

factor de emisión con control de partículas es de $2,3 \cdot 10^{-5}$ kg/t, resultado que se apoya en el siguiente cálculo de eficiencia: $EF_{ctc} = (2,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg/t} * 100) / (0,00055 \text{ kg/t}) = 4.18 \%$ del material particulado producido es emitido a la atmosfera, por lo tanto el sistema de control de partículas posee una eficiencia expresada de la siguiente forma: $EF_{ctc} = (100\% \text{ de material particulado producido} - 4.18 \% \text{ del material particulado producido es emitido a la atmosfera}) = 95,81\%$ hace referencia a la eficiencia de los sistemas de control en las cintas transportadoras, en la ecuación para las emisiones anuales se expresa finalmente como: $E_{ct2} = (0,00055 \text{ kg/t}) * (62.880.000 \text{ Kg/Anuales}) * (1 - (\frac{95,81}{100})) = (34584 \text{ kg/año PM10}) * (0.0419 \text{ EF}) = 1449,06 \text{ kg / año de material particulado (PM10) emitido a la atmosfera con sistemas de control de partículas.}$

9.4 Cálculo de emisiones de trituradoras primarias secundarias, terciarias sin control de emisión de material particulado:

$E_{T123} = (0,0012 \text{ kg / t}) * (14.672.000 \text{ kg / Anuales.}) = 17.606 \text{ Kg / año de PM10}$ emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el número de maquinaria en cada proceso: $= (4 \text{ trituradoras} * 17.606 \text{ Kg / año de PM10}) = 70.425,76 \text{ Kg/año}$, estos cálculos corresponden a un factor de emisión sin sistema de control de partículas.

9.5 Cálculo de emisiones de trituradoras primarias secundarias, terciarias con control de emisión de material particulado:

En el calculo $E_{T123} = (0,0012 \text{ Kg / t}) * (14.672.000 \text{ Kg / Anuales.}) * (1-77,5/100) = 3.961,44 \text{ Kg / año de PM10}$ emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el

número de maquinaria en cada proceso: = (4 trituradoras * 3.961,44 Kg/año) = 15.845,76 Kg/año
, estos cálculos corresponden a un factor de emisión con sistema de control de partículas interpretado de la siguiente forma para adaptarse a la formula, se extrajo el porcentaje de eficiencia según los valores de triturado primario sin control, siendo 0,0012Kg / t se establece que el siguiente valor es el cien por ciento de las emisiones de partículas (PM10) y por medio de trigonometría se calculó que el porcentaje de eficiencia del factor de emisión con control de emisiones de la siguiente forma: Eficiencia % = $(0,00027 \text{ Kg / t} * 100) / (0,0012) = 22,5 \%$ de material particulado emitido por el proceso con sistemas de control de emisión, por lo tanto, tiene una eficiencia de 77,5 %.

9.6 Cálculo de emisiones de trituradora para finos sin control de emisiones de material particulado (PM10):

$E_{tf} = (0,0075 \text{ kg / t}) * (14.672.000 \text{ kg / Anuales.}) = 110.040 \text{ Kg / año}$ de PM10 emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el número de maquinaria en cada proceso: = $(4 \text{ trituradoras} * 110.040 \text{ kg / año de PM10}) = 440.160 \text{ kg/año}$ de material particulado emitido por todas las trituradoras que ejercen actividad en el proceso productivo, estos cálculos corresponden a un factor de emisión sin sistema de control de partículas.

9.7 Cálculo de emisión de trituradora de finos con control de emisión de material particulado:

En el calculo $E_{tfc} = (0,0075\text{kg/t}) * (14.672.000 \text{ Kg/Anuales}) * (1 - (\frac{92}{100})) = (110.040$

kg/año PM10) * (0.08 EF) = 8803,2 kg/año de PM10 emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el número de maquinaria en el proceso: = (4 trituradoras * 8.803,2 kg/año) = 35.212,8 Kg/año, estos cálculos corresponden a un factor de emisión con sistema de control de partículas interpretado de la siguiente forma para adaptarse a la formula, el factor de emisión sin control de emisión es de 0,0075 kg/t, por otra parte el factor de emisión con control de partículas es de 0,0006 kg/t : Eficiencia % = $(0,0006 \text{ kg / t} * 100) / (0,0075) = 8 \%$ de material particulado es emitido por el proceso con sistemas de control de emisión, por consiguiente se establece que:

$EF_{tfc} = (100\% \text{ de material particulado producido} - 8 \% \text{ del material particulado producido es emitido a la atmosfera}) = 92 \%$ del material particulado no es emitido y en su caso es mitigado por los sistemas de control de emisiones, determinándose como eficiencia.

9.8 Cálculo de emisiones para cintas transportadoras de roca (procesada o fragmentada):

$E_{ct} = (0,00055 \text{ kg / t}) * (62.880.000 \text{ Kg/Anuales.}) = 34.584 \text{ Kg / año}$ de PM10 emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el número de maquinaria en cada proceso: = (1 cinta transportadora * 34.584 kg / año de PM10) = 34.584 kg/año de material particulado emitido por la única cinta transportadora que ejercen actividad en el proceso productivo, estos cálculos corresponden a un factor de emisión sin sistema de control de partículas.

9.9 Cálculo de emisión para cintas transportadoras de roca (procesada o fragmentada) con control de material particulado:

En el calculo $E_{tfc} = (0,00055 \text{ kg/t}) * (62.880.000 \text{ Kg/Anuales.}) * (1 - (\frac{95.82}{100})) = (34.584$

kg/año PM10) * (0,95 EF) = 1.446 kg/año de PM10 emitidos al aire, estos cálculos corresponden a un factor de emisión con sistema de control de partículas interpretado de la siguiente forma para adaptarse a la formula, el factor de emisión sin control de emisión es de 0,0075 kg/t, por otra parte el factor de emisión con control de partículas es de $2,3 \cdot 10^{-5}$ kg / t kg/t : Eficiencia % = $(2,3 \cdot 10^{-5} \text{ kg / t} * 100) / (0,0075) = 4,18$ % de material particulado es emitido por el proceso con sistemas de control de emisión, por consiguiente se establece que:

$$EF_{tfc} = (100\% \text{ de material particulado producido} - 4.18 \% \text{ del material particulado producido es emitido a la atmosfera}) = 95,82 \% \text{ del material particulado no es emitido y en su caso es mitigado por los sistemas de control de emisiones, determinándose como eficiencia.}$$

9.10 Cálculo de cinta transportadora final (cinta transportadora, roca triturada):

$$E_{CtP} = (0,000050 \text{ kg / t}) * (31.440.000 \text{ kg / Anuales.}) = 1.572 \text{ Kg / año de PM10}$$

emitidos al aire, luego de ello el resultado es multiplicado por el número de maquinaria en cada proceso: = (2 cintas transportadoras * 1.572 Kg / año de PM10) = 3.144 Kg/año, estos cálculos corresponden a un factor de emisión sin sistema de control de partículas, concuerdan con los resultados previos.

Tabla 13.

Resumen de Emisiones en las Fuentes Fijas en relación con el factor de emisión y factor de actividad

Fuente (a)	Factores de emisión según el AP-42 Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry				Factor de Actividad (Kg de material procesado* Tiempo)	Resultado o de Emisiones en las Fuentes Fijas
	PST	Calidad d F.E	PM10	Calidad F.E		
Perforación húmeda (roca sin fragmentar)	ND		4,0 · 10- 5	E	ND.	ND.
Descarga de camiones (roca fragmentada)	ND		8,0 · 10 -6	E	240000 Kg/día, arenas, gravas y recibos	503,04 kg/año de material particulado o (PM10).
Tamizador	0,0125	E	0,0043	C	No se encontró información	ND.
Tamizador (Controlado)	0,0011	E	0,00037	C	No se encontró información	ND.
Triturado Primario			(b)		Granulometría inicial: < 300 x 75 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	70.425,76 kg/año

Triturador Primario (Controlado)	(b)		(b)		Granulometría inicial: < 300 x 75 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	15.845,76 kg/año
Triturador Secundario	(b)		(b)		Granulometría inicial: < 100 x 25 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	70.425,76 kg/año
Triturador Secundario (Controlado)	(b)		(b)		Granulometría inicial: < 100 x 25 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	15.845,76 kg/año
Triturador Terciario	0,0027	E	0,0012	C	Granulometría inicial: < 25 x 10 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	70.425,76 kg/año
Triturador Terciario (Controlado)	0,0006	E	0,00027	C	Granulometría inicial: < 25 x 10 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	15.845,76 kg/año
Triturador de Finos	0,0195	E	0,0075	E	Granulometría inicial: < 10 x 5 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	440.160 kg/año de material particulado
Triturador de Finos (Controlado)	0,0015	E	0,0006	E	Granulometría inicial: < 10 x 5 mm, Rendimiento: 3500 kg/h	35.212,8 kg/año

Tamizador de Finos	0,15	E	0,036	E	No se encontró información	ND.
Tamizador de Finos (Controlado)	0,0018	E	0,0011	E	No se encontró información	ND.
Cinta transportadora	0,0015	E	0,00055	D	Velocidad(m/s): 0.8, 1200(tamaño de granulo<250mm), capacidad de transporte(t/d) de 640t/d	34.584 kg/año de material particulado (PM10) emitido (Sin control)
Cinta transportadora (Controlado)	0,00007	E	$2,3 \cdot 10^{-5}$	D	Velocidad(m/s): 0.8, 1200(tamaño de granulo<250mm), capacidad de transporte(t/d) de 640t/d	1446 kg / año de material particulado (PM10) emitido a la atmosfera con sistemas

						de control de partículas.
Carga de camiones (Cinta transportadora, roca triturada)	ND		5,0 · 10 -5	E	Velocidad(m/s): 0.8, 500(tamaño de granulo<50mm), capacidad de transporte(t/d) de 120t/d	3.144 kg/año de material particulado.
TOTAL, DE EMISIONES ANUALES DE MATERIAL PARTICULADO SIN CONTROL (PM10) Kg de contaminante / año						689668,3
TOTAL, DE EMISIONES ANUALES DE MATERIAL PARTICULADO CON CONTROL (PM10) Kg de contaminante / año						87846,18

Nota. Elaboración propia, 2024.

Las siguientes gráficas están intrínsecamente vinculadas con los cálculos realizados, dado que se han identificado como los procesos más contaminantes entre los macroprocesos expuestos al inicio de los resultados. Dichas representaciones gráficas emergen como resultado del análisis exhaustivo de los macroprocesos, revelando así aquellos que ejercen un impacto ambiental más significativo. En este contexto, la trituración ha surgido como el proceso principal generador de contaminación, seguido de cerca por la trituración de finos.

Ante esta situación, la implementación de controles en estos procesos se presenta como

una estrategia esencial para mitigar su impacto ambiental. Se estima que, mediante la aplicación de controles adecuados, la reducción de la contaminación podría superar el 90%. Esta reducción sustancial no solo contribuiría a salvaguardar el medio ambiente, sino que también resguardaría la salud pública y promovería prácticas industriales más sostenibles.

Es imperativo destacar que el análisis detallado de las gráficas proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas en cuanto a la implementación de medidas de control. La identificación precisa de los procesos más contaminantes permite dirigir recursos y esfuerzos hacia áreas críticas, maximizando así el impacto positivo de las acciones correctivas. En consecuencia, la combinación de análisis cuantitativos y estrategias de mitigación resulta fundamental para alcanzar los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental en el contexto de los macroprocesos industriales.

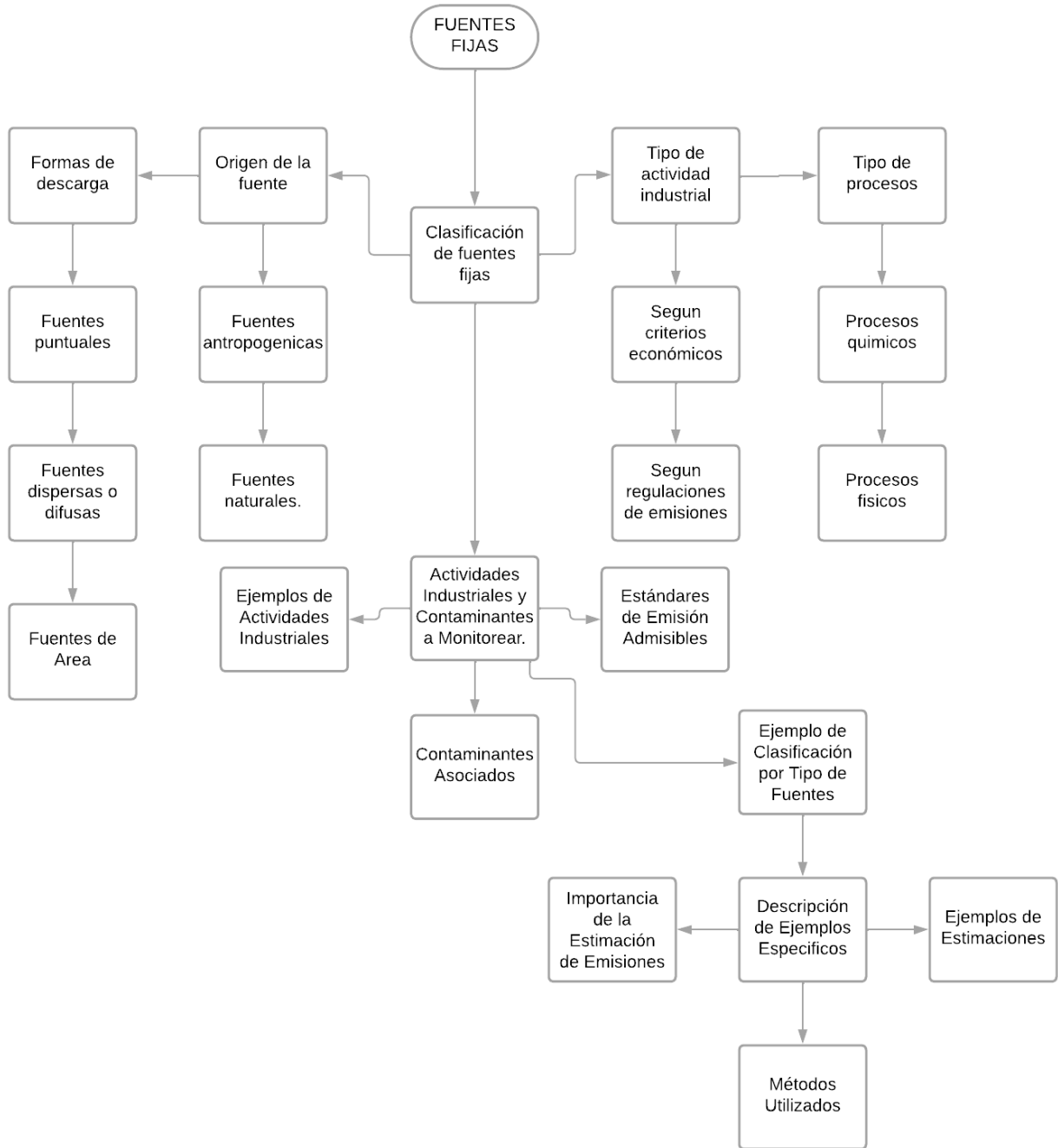
La guía de apoyo para la notificación de las emisiones en explotaciones a cielo abierto y canteras (2020) se destaca como una referencia esencial que ha orientado el desarrollo teórico de nuestros modelos de emisión y procesos emisores. Gran parte de la información que sustenta nuestra investigación ha sido extraída y adaptada de esta fuente como base teórica. Es importante destacar que esta guía constituye un recurso fundamental en la comprensión de las emisiones asociadas a los procesos industriales en nuestro contexto. Al aprovechar los principios y metodologías presentes en dicha guía, buscamos garantizar la coherencia y la alineación con las mejores prácticas y normativas vigentes en materia ambiental.

En consecuencia, la integración de los conceptos y directrices de la guía mencionada en

nuestro trabajo nos permite fortalecer el fundamento teórico de nuestros modelos, así como asegurar la rigurosidad y precisión de nuestras investigaciones en el campo de las emisiones industriales, finalmente, los cálculos, tablas, gráficos y guías de metodologías permitieron establecer resultados mucho más precisos para su interpretación y modelamiento, siendo así comparada en la cartografía técnica y analizada con mayor precisión en relación con la comunidad.

Figura 5.

Diagrama de flujo para la clasificación de las fuentes fijas emisoras de contaminantes.

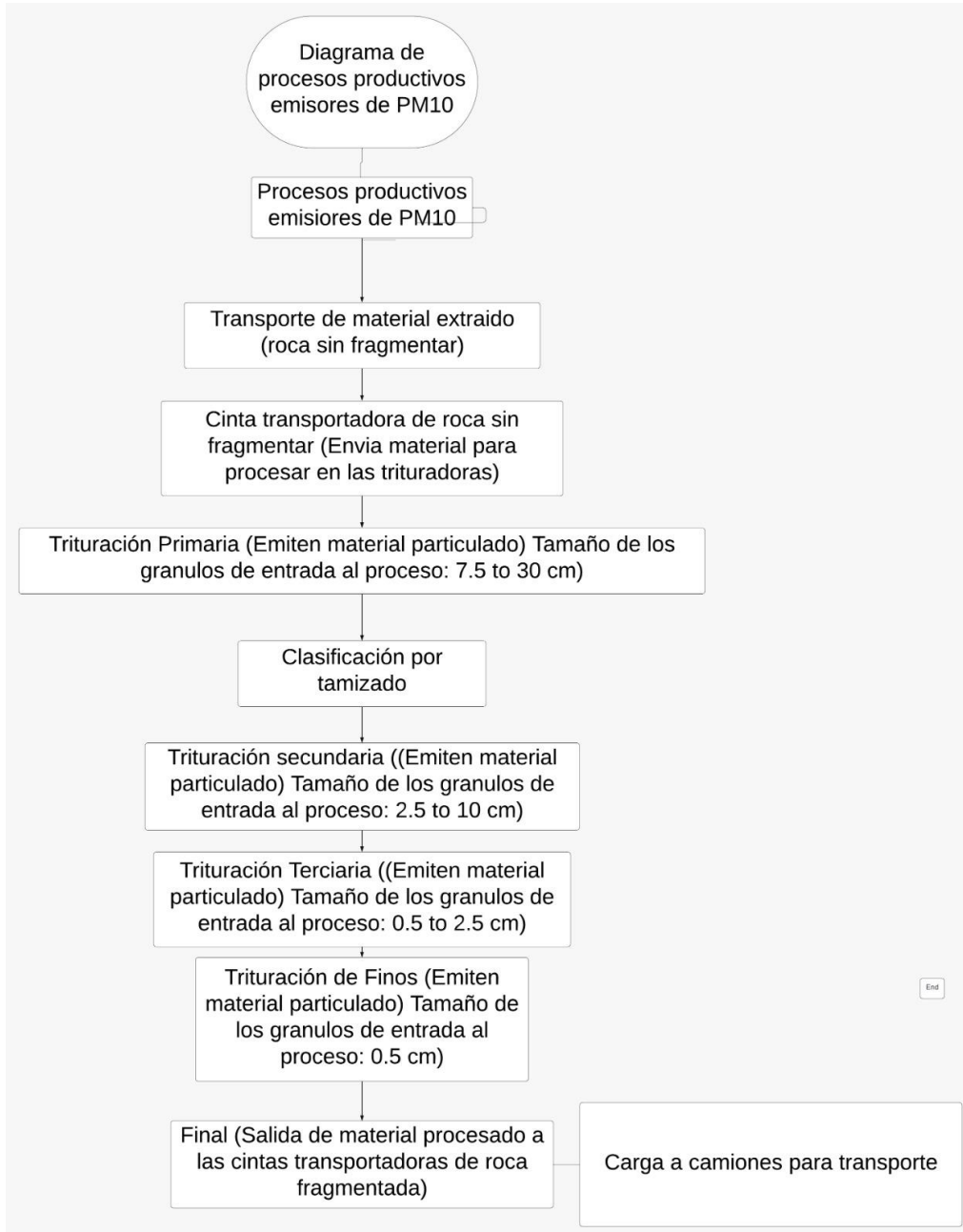


Nota. Adaptado de GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES

ATMOSFÉRICAS (2017)

Figura 6.

Diagrama de procesos productivos con emisión significativa de material particulado (PM10), procesos calculados por emisión.



Nota. Adaptación de Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en explotaciones a cielo abierto y canteras (2020).

10. FUENTES MÓVILES

Para abordar las emisiones provenientes de fuentes móviles, se adoptó un enfoque basado en la guía metodológica para la elaboración de un inventario de emisiones. En particular, se enfocaron los cálculos y las revisiones bibliográficas en modelos específicos, factores de actividad y factores de emisión, con énfasis en la dinámica económica y logística asociada a la extracción y transporte de materiales de construcción en relación con sus respectivas ubicaciones de explotación de recursos.

Este enfoque permitió estimar valores relevantes y recopilar fichas técnicas de modelos de camiones de carga utilizados en la movilización de materiales. Además, se clasificaron estos modelos en función de su capacidad y características operativas. Posteriormente, se llevaron a cabo los cálculos de emisiones mediante el uso de factores de emisión específicos para el tipo de vehículo y actividad.

Como resultado, se establecieron una serie de pasos específicos que guiaron la realización de los análisis y la obtención de los resultados pertinentes. Estos pasos incluyeron la recopilación y revisión de datos, la selección y aplicación de modelos adecuados, así como la evaluación y validación de los cálculos realizados.

10.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES MÓVILES VEHICULARES

Estas clasificaciones de fuentes móviles se establecen por razón de su uso o propósito, en esta clasificación se incluyen automotores o vehículos de transporte de cualquier naturaleza, las fuentes móviles se pudieron clasificar de varias maneras: diseño para circulación, tipo de combustible, categoría vehicular, tipo de servicio, entre otras.

De esta forma la primera clasificación se determina según el diseño para circulación; los vehículos fuera de la vía (non-road) son aquellos que no han sido diseñados para el transporte de pasajeros o carga en carretera, pero que tienen instalada una máquina de combustión interna. Esta categoría incluye una amplia gama de equipos industriales y vehículos utilizados en distintos sectores, como la minería. En el contexto actual, el vehículo que se necesitó clasificar sería considerado como un vehículo fuera de la vía (non-road), dado que está destinado para el transporte de material extraído en entornos mineros y no está diseñado específicamente para circular por carreteras públicas. Por lo tanto, aunque el vehículo tiene una función de transporte, no se clasificaría como un vehículo en la vía (on-road), según la definición proporcionada en la guía. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2013). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. Bogotá, Colombia.

Es importante tener en cuenta esta distinción, ya que los vehículos fuera de la vía pueden tener características y emisiones diferentes en comparación con los vehículos en la vía. Esto puede afectar la evaluación y gestión de las emisiones atmosféricas asociadas a estos equipos, así como la aplicación de regulaciones y medidas de control específicas.

Luego de ello, se procedió a identificar un modelo de carga o vehículo de carga que supliera con las necesidades diarias de producción y transporte por este motivo antes de realizar la clasificación según el tipo de combustible se optó por elegir el modelo estándar de vehículo que se encarga de las labores de transporte y distribución, debido a esto, se indago sobre las características más comunes requeridas en un vehículo de este calibre para transportar material extraído de la minas a cielo abierto y se objetó que el modelo base sería el VOLVO FMX, se tuvo en cuenta un estudio comparativo para determinar qué modelo tenía mayor rendimiento y tenía características que se adaptaran a las necesidades de la mina, (Briceño, 2019).

10.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE COMBUSTIBLE:

El modelo Volvo FMX generalmente se encuentra equipado con motores de combustión interna de encendido por compresión (motores ciclo diésel). Estos motores son diseñados para funcionar con combustible diésel o ACPM (Aceite Combustible Para Motores Diesel), el cual es comúnmente utilizado en vehículos de transporte pesado y maquinaria industrial debido a su eficiencia y alta densidad energética. Además, el Volvo FMX también puede estar disponible en versiones adaptadas para operar con otros tipos de combustibles, como gas natural comprimido (GNC) o gas licuado de petróleo (GLP), aunque estas configuraciones pueden ser menos comunes en comparación con las versiones diésel estándar.

El Volvo FMX es ampliamente utilizado en la industria colombiana para el transporte de material extraído de canteras a otras vías debido a su robustez, versatilidad y confiabilidad en

terrenos difíciles y condiciones exigentes. Su motor diésel ofrece una combinación óptima de potencia y eficiencia para enfrentar los desafíos de la operación en entornos mineros y de construcción.

Al considerar el impacto ambiental de las emisiones de los vehículos diésel, es importante tener en cuenta las regulaciones y normativas vigentes en Colombia para controlar y mitigar las emisiones contaminantes. El Volvo FMX, al ser un vehículo diésel, está sujeto a estas regulaciones y puede beneficiarse de tecnologías de reducción de emisiones, como sistemas de tratamiento de gases de escape y mejoras en la eficiencia del motor, para cumplir con los estándares ambientales establecidos. (VOLVO, 2023).

Además de las clasificaciones anteriormente presentadas, finalmente se clasifica de igual forma con la clase de vehículo según la legislación colombiana, para ello fue revisada y examinada la Ley 769 de 2002 y la resolución 4100 del 2004, en los que se disponen límites de peso y dimensiones. En el marco de la legislación colombiana, el Volvo FMX se clasifica dentro de la categoría de "Camión", según la Ley 769 de 2002 y la Resolución 4100 de 2004. Esta clasificación se basa en la destinación y el tamaño del vehículo, ya que el Volvo FMX está diseñado específicamente para el transporte de carga en aplicaciones de trabajo pesado, como la industria minera y de construcción.

El Volvo FMX representa una parte integral de la infraestructura de transporte en Colombia, siendo un vehículo ampliamente utilizado para el traslado de materiales extraídos de canteras hacia distintas ubicaciones. Su robustez, versatilidad y capacidad de adaptación a

terrenos difíciles lo convierten en una opción confiable y eficiente para enfrentar los desafíos logísticos y operativos asociados a este tipo de operaciones. Al ser clasificado como un "Camión", el Volvo FMX está sujeto a las regulaciones y normativas establecidas para este tipo de vehículos en Colombia. Esto incluye aspectos relacionados con la seguridad vial, emisiones contaminantes, carga y dimensiones permitidas, entre otros. Es importante tener en cuenta estas regulaciones al momento de operar el Volvo FMX para garantizar el cumplimiento de la normativa vigente y promover la seguridad y la sostenibilidad en el transporte de carga en el país.

En resumen, el Volvo FMX desempeña un papel crucial en la logística y el transporte de materiales de construcción en Colombia, siendo reconocido como un vehículo confiable y eficiente dentro de la clasificación de "Camiones" según la legislación colombiana. Su contribución a la industria minera y de construcción refleja su importancia en el contexto económico y logístico del país.

Ilustración 1.

Clasificación por clase de vehículo según la legislación colombiana, Ley 769/2002 y Resolución 4100/2004.

	CLASE DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
Pasajeros	Motocicleta	Vehículo automotor de dos ruedas en línea, con capacidad para conductor y un acompañante.
	Mototriciclo	Vehículo automotor de tres ruedas con estabilidad propia y capacidad para el conductor y un acompañante del tipo SideCar y recreativo
	Antiguo	Automotor que haya cumplido 35 años y que conserve sus especificaciones y características originales de fábrica, presentación y funcionamiento.
	Clásico	Automotor que haya cumplido 50 años y que además de conservar sus especificaciones y características originales de fábrica, presentación y funcionamiento, corresponda a marcas, series y modelos catalogados internacionalmente como tales.
	Taxis	Vehículo automotor destinado al servicio público individual de pasajeros.
	Buseta	Vehículo destinado al transporte de personas con capacidad de 20 a 30 pasajeros y distancia entre ejes inferiores a 4 metros.
	Microbús	Vehículo destinado al transporte de personas con capacidad de 10 a 19 pasajeros.
	Bus	Vehículo automotor destinado al transporte colectivo de personas y sus equipajes, debidamente registrado conforme a las normas y características especiales vigentes.
	Vehículo de transporte masivo	Vehículo automotor para transporte público masivo de pasajeros, cuya circulación se hace por carriles exclusivos e infraestructura especial para acceso de pasajeros.
	Cuatrimoto	Vehículo automotor de cuatro ruedas con componentes mecánicos de motocicleta, para transporte de personas o mercancías con capacidad de carga de hasta 770 kilogramos.
	Motocarro	Vehículo automotor de tres ruedas con estabilidad propia con componentes mecánicos de motocicleta, para el transporte de personas o mercancías con capacidad útil hasta 770 kilogramos.
Carga	Camión	Vehículo automotor que por su tamaño y destinación se usa para transportar carga.
	Camión tractor	Vehículo automotor destinado a arrastrar uno o varios semirremolques o remolques, equipado con acople adecuado para tal fin.
	Camión C2-P	Camión rígido de dos ejes pequeño.
	C2-G	Camión rígido de dos ejes grande.
	Configuración C3	Camión rígido de tres ejes.
	Configuración C4	Camión rígido de cuatro ejes.
	C3	Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje.
	C4	Tractocamión de dos ejes con semirremolque de dos ejes.
	C4	Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de un eje.
	Configuración C5	Camión rígido de cuatro ejes.
	C5	Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de dos ejes.
	>	Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de tres ejes.
	C5	Tractocamión de tres ejes, con semirremolque de tres ejes.

Nota. Adaptado de extraída de Guía metodológica para el inventario de emisiones en Colombia, 2017.

Según los parámetros de clasificación del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), el Volvo FMX se clasificaría de la siguiente manera:

- Tipo de servicio: Dependiendo del uso específico del Volvo FMX, podría clasificarse como vehículo de servicio público (si se utiliza para transporte de carga comercial).
- Clase de vehículo: El Volvo FMX se clasificaría como un "camión", ya que está diseñado para el transporte de carga pesada en aplicaciones de trabajo duro, como la industria minera y de construcción.
- Línea: Esta clasificación se refiere al modelo o marca específica del vehículo, por lo que el Volvo FMX tendría una línea designada por el fabricante.
- Tipo de carrocería: En el caso del Volvo FMX, la carrocería típicamente sería de tipo "camión", diseñada para el transporte de carga pesada.
- Modalidad de servicio: Probablemente se clasificaría como vehículo de carga, ya que está destinado al transporte de material en aplicaciones comerciales o industriales.
- Cilindraje: Esta clasificación dependerá del motor específico instalado en el Volvo FMX y puede variar según el modelo y la configuración. Por lo general, los camiones de esta clase tienen cilindrajes considerables (330–540 CV), debido a la potencia requerida para su operación.

- Tipo de combustible: El Volvo FMX comúnmente funcionaría con combustible diésel o ACPM (Aceite Combustible Para Motores Diesel), dada su aplicación en transporte de carga pesada. En resumen, el Volvo FMX se clasificaría como un camión de servicio particular, destinado al transporte de carga, con una carrocería de camión y motorización diésel, (Instituto Nacional de Vías, 2017).

10.3 FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES PARA FUENTES MÓVILES EMISORAS DE CONTAMINANTES.

Los recursos para identificar, caracterizar y cuantificar fuentes móviles incluyen:

Tabla 14.

Recursos utilizados para la extracción de información válida en fuentes móviles

Recurso	Descripción
Registros existentes en entidades	Proporcionan información sobre la distribución de la flota vehicular en categorías vehiculares y edades.
(importadores, ensambladores, concesionarios, etc.)	
RUNT	Sistema que cuenta con información actualizada y centralizada sobre automotores y registros relacionados directamente con el transporte en Colombia.

Aforos vehiculares desarrollados	Estudios que permiten medir el flujo de vehículos en carreteras y vías urbanas, proporcionando datos sobre la cantidad y tipo de vehículos que circulan.
Autoridades de tránsito y transporte	Incluye el Ministerio de Transporte, las alcaldías, las secretarías de tránsito y movilidad, así como los agentes de tránsito, que son fuentes de información sobre regulación y gestión del transporte.
Instituciones y empresas que manejan flota vehicular	Entidades como Transmilenio, operadores de carga y transporte intermunicipal pueden proporcionar información detallada sobre los vehículos que operan en sus respectivos sistemas.
Censos de empresas comercializadoras de combustibles	Ofrecen datos sobre el consumo de combustible por parte de los vehículos en circulación, útil para estimar las emisiones asociadas al transporte.
Operativos en vía	Incluye controles de emisiones, revisiones técnicas y operativos de control de tránsito, proporcionando información sobre el estado y cumplimiento de los vehículos en circulación.

Nota. Adaptado de (Minambiente, 2017)

10.4 NIVEL DE DETALLE

La identificación y caracterización de las emisiones provenientes de fuentes móviles constituye un paso fundamental en la evaluación de la calidad del aire y en la formulación de estrategias para su control y mitigación. En este sentido, el análisis de las emisiones del tubo de escape, las emisiones evaporativas del combustible y otras emisiones asociadas al desgaste de neumáticos y frenos, así como al levantamiento de polvo de los caminos, proporciona una visión integral de los impactos ambientales derivados del transporte vehicular.

El siguiente paso en el proceso de determinar las emisiones de las fuentes móviles implica avanzar hacia un nivel de detalle que permita una caracterización más precisa y completa de las emisiones generadas. Se ha optado por una aproximación argumentada que sugiere la adopción de un nivel de detalle bajo en esta etapa inicial de la investigación. Esto se debe a que la información disponible consiste principalmente en teoría y fuentes bibliográficas, lo que limita la disponibilidad de datos específicos y detallados sobre las emisiones vehiculares en el contexto local. (Camacho, 2020).

Grafica 1.

Niveles de complejidad para un inventario de fuentes móviles



Nota. Adaptado de SEMARNAT, 2005

Dada esta limitación, se ha decidido iniciar con un nivel de detalle más bajo, que se centra en comprender los procesos generales de emisión y en identificar los factores clave que influyen en las emisiones vehiculares. Este enfoque permitirá establecer una base sólida de conocimientos teóricos y conceptuales, así como identificar las áreas donde se requiere una mayor investigación y recolección de datos en campo para alcanzar un nivel de detalle más alto en etapas posteriores del estudio. En resumen, el siguiente paso en el proceso implica avanzar hacia una caracterización más detallada de las emisiones de fuentes móviles, comenzando con un nivel de detalle bajo debido a la limitada disponibilidad de datos específicos. Este enfoque proporcionará una base sólida para la investigación futura y permitirá una comprensión más completa de los impactos ambientales del transporte vehicular. (Minambiente, 2017).

10.5 OTRAS EMISIONES.

Las emisiones de material particulado, incluyendo carbono negro, asociadas al desgaste de neumáticos, frenos y la superficie de la carretera, así como el levantamiento de polvo generado por los vehículos, son una preocupación significativa en términos de calidad del aire y salud pública. Estas emisiones contribuyen a la contaminación atmosférica y pueden tener impactos negativos en la calidad del aire, la salud respiratoria y el medio ambiente en general, (EEA, 2016f).

Para abordar estas emisiones en la fuente móvil, se pueden considerar varias estrategias de mitigación, como:

- **Mantenimiento adecuado del vehículo:** Realizar un mantenimiento regular de los neumáticos y frenos, así como mantener la superficie de la carretera en buen estado, puede reducir el desgaste y, por lo tanto, las emisiones de material particulado.
- **Uso de tecnologías de control de emisiones:** Se pueden implementar tecnologías avanzadas de frenos y neumáticos que reduzcan la generación de partículas durante el funcionamiento del vehículo.
- **Prácticas de conducción ecoeficientes:** Adoptar técnicas de conducción más suaves y eficientes puede reducir el desgaste de los neumáticos y frenos, así como minimizar el levantamiento de polvo de los caminos.

- Gestión de polvo en la infraestructura vial: Implementar medidas para controlar el polvo en las carreteras, como riego de las vías o aplicación de productos para suprimir el polvo, puede ayudar a reducir las emisiones de partículas suspendidas.
- Al abordar estas emisiones en tu fuente móvil, puedes contribuir a mejorar la calidad del aire y reducir los impactos negativos en la salud y el medio ambiente.

11. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES.

En el contexto de fuentes móviles, el cálculo de emisiones se basa en una relación entre el factor de emisión y el factor de actividad. De esta manera, la ecuación empleada para prever las emisiones en fuentes móviles se establece como:

$$E = FE_{i,j} * FA_{j,t}$$

- El factor de actividad se define en relación con el consumo de combustible del vehículo de una categoría vehicular específica (j) que utiliza el combustible (k).
- Por otro lado, el factor de emisión se refiere al consumo de combustible contaminante (i) del vehículo de una categoría vehicular determinada (j) que emplea el combustible (k).

Nota. Adaptado de Guía Metodológica para el Inventario de Emisiones, 2017.

Las emisiones totales en fuentes móviles se pueden calcular considerando varios componentes, que incluyen las emisiones en caliente (durante el funcionamiento normal del motor) y las emisiones durante el arranque en frío del motor térmico. Este último ocurre cuando la temperatura del motor del vehículo está por debajo de las normas de diseño. Además, se tienen en cuenta las emisiones evaporativas, las emisiones de polvo re-suspendido y aquellas generadas por el desgaste de frenos y llantas (EEA, 2016d; CONAMA 2009).

Por otra parte, en el presente documento se examinó el modelo de emisiones desde factores de actividad y factores de emisión que entreguen resultados relacionados con las emisiones de contaminantes, además de relacionarlos directamente con el tramo recorrido por el vehículo de carga.

12. FACTOR DE ACTIVIDAD

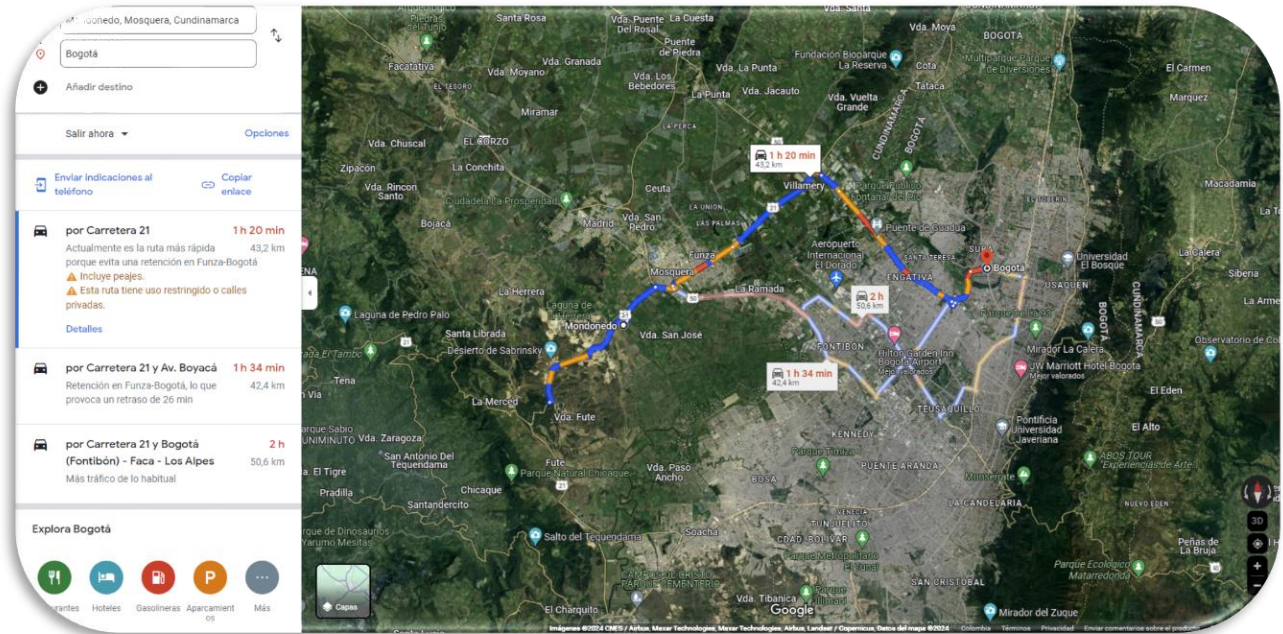
El factor de actividad desempeña un papel crucial en la estimación de las emisiones atmosféricas provenientes de fuentes móviles. En un inventario de emisiones, este factor refleja la distancia total recorrida por una población de vehículos en un período de tiempo específico o puede estar relacionado con el consumo de combustible de dichos vehículos. Por otra parte, La obtención de información sobre el factor de actividad puede realizarse mediante modelos de transporte aplicables al área de estudio o mediante conteos de vehículos en circulación, también conocidos como tráfico promedio diario. En ausencia de esta información, se recurre a estimaciones basadas en otros parámetros, como el consumo de combustible a nivel regional, la caracterización detallada del parque automotor o encuestas directas a los usuarios.

Es importante destacar que el valor del factor de actividad se determina considerando las categorías vehiculares establecidas para el inventario en cuestión. Este valor totalizado proporciona una comprensión precisa de la actividad de los vehículos y permite calcular con mayor precisión las emisiones atmosféricas asociadas. En resumen, el factor de actividad es un elemento fundamental en la evaluación de las emisiones de fuentes móviles, y su correcta determinación contribuye significativamente a la precisión de los inventarios de emisiones atmosféricas.

En este caso el factor de actividad puntual es el recorrido total hacia dónde va dirigida todo el producto extraído, desde este enfoque se va a basar el factor de actividad, debido a que se fundamenta un recorrido preciso hacia la ciudad de Bogotá, desde donde se supone que se encuentra en funcionamiento la mina a cielo abierto en el sector de Mondoñedo, los puentes, debido a esto se fundamentó este recorrido, imponiendo que la actividad de construcción en el área metropolitana de Bogotá está siendo fuertemente influenciado por la nueva construcción del metro de Bogotá, el recorrido tiene un kilometraje total de 43,5 Km por día en un solo tramo, por cada camión necesario para suplir la demanda diaria, por lo tanto se ejecutaron cálculos en fin de determinar cuantos kilómetros al año recorren todas las flotas de transporte de material de construcción hacia Bogotá, además de ello, la velocidad promedio de los vehículos de carga en Colombia en el año 2021 y 2022 fue de 31,5 Km/h en las ciudades principales, de igual forma en el área de Bogotá.

Ilustración 2.

Recorrido del transporte de material explotado hacia la ciudad de Bogotá



Nota. Google Maps, 2024.

12.1 CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CAMIONES DE CARGA REQUERIDOS PARA SUPLIR LA DEMANDA DIARIA DE PRODUCCIÓN:

Los vehículos de carga establecidos son un modelo en específico con las siguientes características:

- Capacidad de Carga Máxima: (38) Toneladas de carga para la mayor efectividad, se realizó la siguiente conversión, $C_m = 38 \text{ Ton} \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ Ton}} = 38000 \text{ kg}$.

Luego de ello, se calcularon los vehículos de carga necesarios para suplir la producción diaria de la mina en cuestión, $240000 \text{ kg diarios explotados} / 38000 \text{ kg masa máxima transportada de vehículo de carga} = 6,3$ Vehículos necesarios para transportar diariamente la producción total de la mina, se determina un número exacto, en este caso (entre 6 y 7), (VOLVO, 2023).

- Tramo del Recorrido: El análisis completo realizado en el siguiente inciso, se estableció debido al factor de actividad, este se enfoca en la distancia recorrida por cada vehículo de carga, para ello, anteriormente se estimó la cantidad de vehículos necesarios (entre 6 y 7), posteriormente se procedió a calcular cuantos kilómetros diarios se recorrían entre todos los vehículos, finalmente se obtiene el resultado anual, (Google Maps, 2024).
- $T_t = (43,5) \text{ Km} * (6) \text{ Vehiculos de carga} = 261 \text{ Km diarios por cada } (6) \text{ vehiculos}$.
- $T_t = (43,5) \text{ Km} * (7) \text{ Vehiculos de carga} = 304,5 \text{ Km diarios por cada } (7) \text{ vehiculos}$.

- **$T_{t.annual} = (261)Km * (262) \text{ Dias de transporte al año} = 68.382 \text{ Km Anuales}$**

por cada tramo, se plantearon dos tramos, un tramo con carga de material extraído, a diferencia del segundo tramo que se relaciona en volver al punto de inicio, de igual forma, fue tomado en cuenta este detalle para aumentar la precisión de los cálculos sobre las estimaciones de emisiones, por consiguiente, el resultado debe ser multiplicado por el número de tramos realizados al año (2); **$T_2 = 68.382 \text{ Km} * (2) \text{ tramos} = 136.764 \text{ Km}$** recorridos al año para el transporte de material de construcción extraído de la mina en cuestión, teniendo en cuenta (6) Vehículos
- **$T_{t.annual} = (304,5)Km * (262) \text{ Dias de transporte al año} = 79.779 \text{ km}$**

Anuales por cada tramo, se plantearon dos tramos, un tramo con carga de material extraído, a diferencia del segundo tramo que se relaciona en volver al punto de inicio, de igual forma, fue tomado en cuenta este detalle para aumentar la precisión de los cálculos sobre las estimaciones de emisiones, por consiguiente, el resultado debe ser multiplicado por el número de tramos realizados al año (2); **$T_2 = 79.779 \text{ km} * (2) \text{ Tramos} = 159.558 \text{ km}$** recorridos al año para el transporte de material de construcción extraído de la mina en cuestión, teniendo en cuenta (7) Vehículos.

13. FACTOR DE EMISIÓN

El factor de emisión en el contexto de fuentes móviles se refiere a la cantidad de

sustancia o contaminante liberado a la atmósfera en relación con la cantidad de combustible consumido o la distancia recorrida por el vehículo. Este factor puede obtenerse mediante diferentes métodos, como mediciones directas utilizando analizadores de emisiones de gases en pruebas de dinamómetro de chasis para vehículos a gasolina y motocicletas, o en bancos de pruebas para motores pesados en el caso de vehículos a diésel.

Asimismo, el factor de emisión puede ser estimado utilizando técnicas de balance de masa, como la aplicación inversa de modelos de dispersión en condiciones controladas, como túneles vehiculares y cañones urbanos. También se pueden emplear estudios e investigaciones a nivel nacional e internacional, considerando la categoría vehicular específica. (Minambiente, 2017).

Otra forma de obtener el factor de emisión es mediante la recopilación de resultados de concentración de contaminantes obtenidos en estaciones de medición o ambientes urbanos, como calles cerradas, túneles, cañones urbanos o calles abiertas y autopistas, y luego realizar el cálculo correspondiente. Los factores de emisión para fuentes móviles pueden ser obtenidos directamente de modelos de emisión o de documentos compilatorios, como la Guía de inventarios de emisiones contaminantes al aire de la Agencia Ambiental Europea (EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2016). Adicionalmente, la guía europea para la estimación de emisiones utiliza una metodología que clasifica los niveles de complejidad, comúnmente conocidos como "Tier". Estos niveles están relacionados principalmente con la cantidad y calidad de la información disponible, así como con el enfoque o alcance adoptado para la estimación.

En el contexto de fuentes móviles, la metodología Tier 1 emplea el combustible como factor de actividad, junto con factores de emisión promedio específicos del combustible. Esta metodología es similar a la Tier 1 descrita en la Guía del IPCC de 2006 y se utiliza cuando solo se dispone de información limitada, como estadísticas de combustible. Por otro lado, la metodología Tier 2 considera el tipo de combustible utilizado por las diferentes categorías vehiculares, así como sus estándares de emisión.

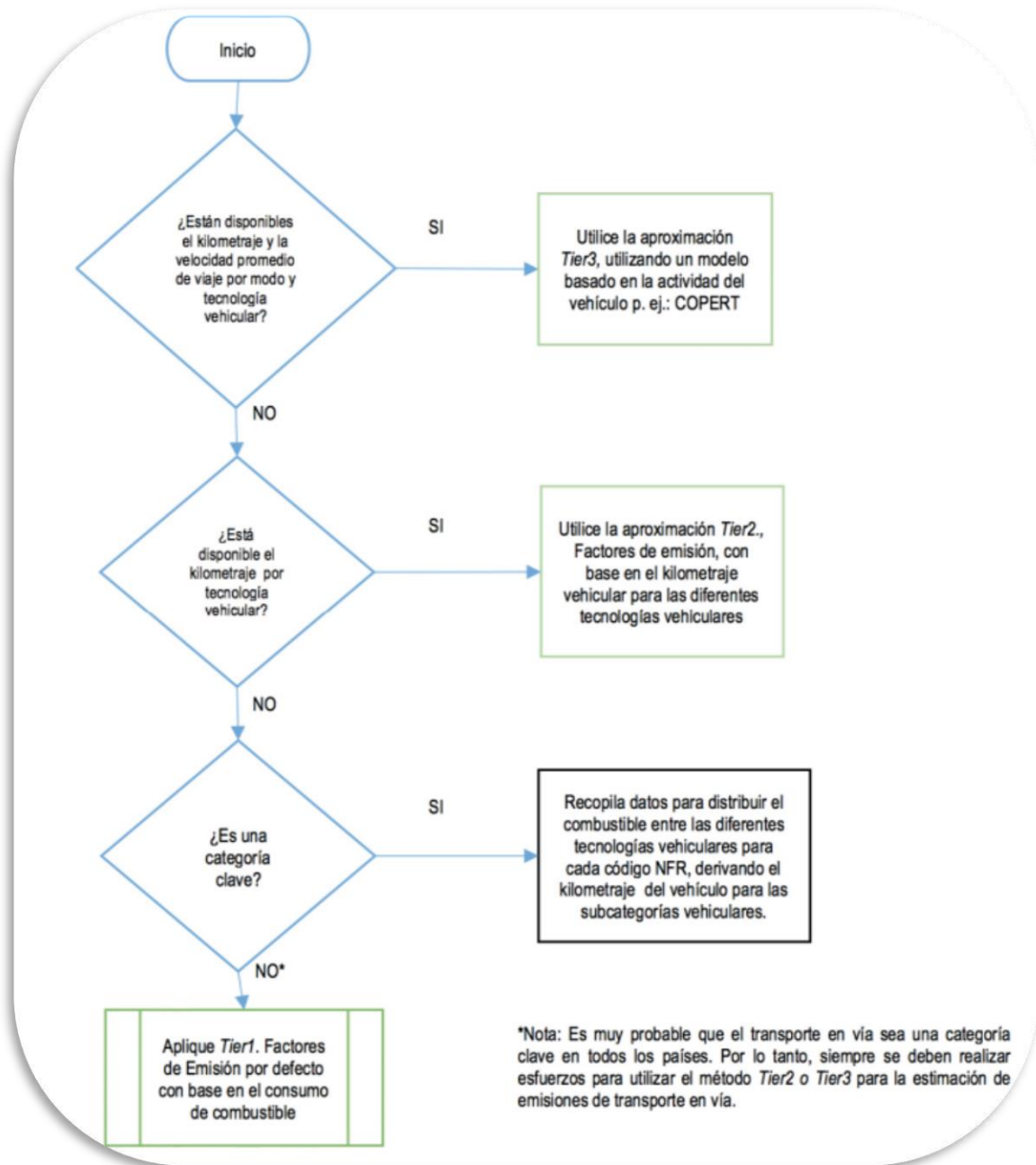
Finalmente, la metodología Tier 3, también conocida como "Metodología detallada", implica el cálculo de las emisiones utilizando una combinación de datos técnicos confiables y el factor de actividad. Esta metodología aborda aspectos más específicos, como el funcionamiento del motor en condiciones de arranque en frío y en caliente, el ciclo de conducción, entre otros, estas metodologías varían en su nivel de detalle y complejidad, adaptándose a la disponibilidad de datos y al grado de precisión requerido en la estimación de emisiones de fuentes móviles (EEA, 2016d).

En consecuencia, la metodología que se utilizará es el Tier 2, según lo descrito en la guía europea para la estimación de emisiones. Este enfoque considera el tipo de combustible utilizado por las diferentes categorías vehiculares, así como sus estándares de emisión. En comparación con el Tier 1, que se basa principalmente en estadísticas de combustible, el Tier 2 ofrece un nivel de detalle adicional al considerar tanto el combustible como los estándares de emisión específicos.

La selección de la Tier se determinó con un árbol de decisiones que se presenta de la siguiente forma:

Ilustración 3.

Árbol de decisiones para la estimación de fuentes móviles.



Nota. Adaptado de Traducción de EEA, 2016d, [12-12-2017], página 22.

13.1 CÁLCULO EMPLEANDO EL FACTOR DE EMISIÓN

Se realizó una estimación de las emisiones de monóxido de carbono (CO) y material particulado (MP), SO_x, NO_x, para un vehículo de carga que operaba con combustible diésel, con una cilindrada superior de 7 litros y que cumplía con la clasificación de Camión de carga según la Ley 769/2002 y Resolución 4100/2004. Durante un año los vehículos de carga recorren una distancia de 136.764 Km/año en el caso de 6 vehículos y para 7 vehículos el recorrido es de 159.558 km/año, este vehículo recorrió 136.764 o 159.558 Km en un entorno vial, a una velocidad promedio de 31,5 Km/h.

Para llevar a cabo esta estimación, se emplearon los factores de emisión proporcionados en la Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles y Fuentes Fijas Industriales del año 2018, Secretaría Distrital de Ambiente – SDA, responsables del artículo presentado.

Tabla 15.

Factor de emisión para fuentes móviles en Bogotá.

Tipología	Categoría	Descripción	Combustible	PM10 (g/km)	PM2,5 (g/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	SO ₂ (g/km)
Camión	C1	<1997; <6000 CC	Diésel	1,028	0,946	5,372	21,672	0,035

Nota. Adaptado de Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles y Fuentes Fijas Industriales,

2018.

Este análisis permitió determinar la cantidad de CO, PM10, SOx, NOx, emitidos por estos vehículos en un día de operación dentro de un entorno vial, proporcionando así información valiosa para analizar el impacto ambiental de su actividad.

13.2 MÉTODO TIER2:

Las emisiones de contaminación estiman mediante la ecuación:

$$E_i = FA_{jm} * FE_{ijk}$$

En este caso se tiene:

- En este escenario, el factor de actividad se relaciona con la distancia recorrida por el vehículo de una categoría vehicular específica (j) y una tecnología determinada (m), medida en kilómetros (km).
- Por otro lado, el factor de emisión está vinculado a la tecnología vehicular para un contaminante particular (i), del vehículo de una categoría vehicular específica (j), con una tecnología definida (m), expresada en gramos por kilómetro (g/km).

Para este vehículo que pertenece a la categoría “Camión de Carga”, utiliza combustible Diésel, el factor de emisión para CO, material particulado, NOx y finalmente SO2, corresponde

a:

$$FE_{PM10} = 1,028 \frac{gPM10}{km}$$

$$FE_{PM2,5} = 0,946 \frac{gPM2,5}{km}$$

$$FE_{CO} = 5,372 \frac{gCO}{km}$$

$$FE_{NOx} = 21,672 \frac{gNOx}{km}$$

$$FE_{SO2} = 0,035 \frac{gSO2}{km}$$

Las emisiones estimadas para una distancia recorrida de 136.764 km en un año corresponden a:

$$E_{PM10} = 136.764 \text{ km/año} * \frac{1,028 \text{ gPM10}}{km} = 140.593 \text{ gPM10} \frac{1kg}{1000g} = 140,59 \text{ kg/año PM10}$$

$$E_{PM2,5} = 136.764 \text{ km} * \frac{0,946 \text{ gPM}_{2,5}}{km} = 129.378,74 \text{ gPM}_{2,5} \frac{1kg}{1000g} = 129,37 \text{ kg/año PM}_{2,5}$$

$$E_{CO} = 136.764 \text{ km} * \frac{5,372 \text{ gCO}}{km} = 734.696,20 \text{ gCO} \frac{1kg}{1000g} = 734,69 \text{ kg/año CO}$$

$$E_{NOx} = 136.764 \text{ km} * \frac{21,672 \text{ gNOx}}{km} = 2.963.949,4 \text{ gNOx} \frac{1kg}{1000g} = 2.963,94 \text{ kg/año NOx}$$

$$E_{SO_2} = 136.764 \text{ km} * \frac{0,035 \text{ gSO}_2}{\text{km}} = 4.786,74 \text{ gSO}_2 \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 4,78 \text{ kg/año SO}_2$$

Por otra parte, las emisiones estimadas para una distancia recorrida de 159.558 km corresponden a:

$$E_{PM_{10}} = 159.558 \text{ km/año} * \frac{1,028 \text{ gPM}_{10}}{\text{km}} = 164.025,6 \text{ gPM}_{10} \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 164,02 \text{ kg/año PM}_{10}$$

$$E_{PM_{2.5}} = 159.558 \text{ km} * \frac{0,946 \text{ gPM}_{2.5}}{\text{km}} = 150.941,8 \text{ gPM}_{2.5} \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 150,94 \text{ kg/año PM}_{2.5}$$

$$E_{CO} = 159.558 \text{ km} * \frac{5,372 \text{ gCO}}{\text{km}} = 857.145,57 \text{ gCO} \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 857,14 \text{ kg/año CO}$$

$$E_{NO_x} = 159.558 \text{ km} * \frac{21,672 \text{ gNO}_x}{\text{km}} = 3.457.940,9 \text{ gNO}_x \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 3.457,94 \text{ kg/año NO}_x$$

$$E_{SO_2} = 159.558 \text{ km} * \frac{0,035 \text{ gSO}_2}{\text{km}} = 5.584,53 \text{ gSO}_2 \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} = 5,584 \text{ kg/año SO}_2$$

Tabla 16.

Resultados de los cálculos sobre contaminantes relacionados con el factor de emisión.

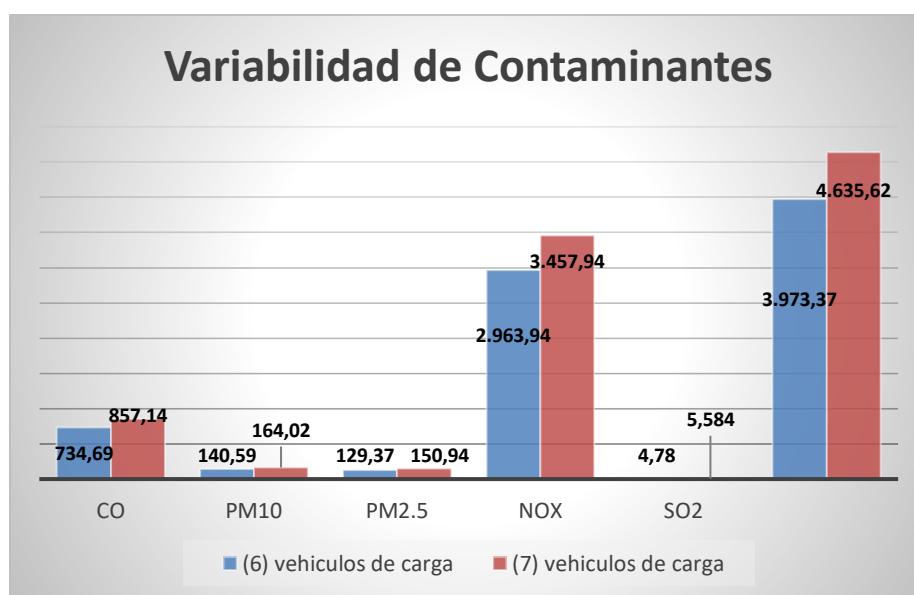
Fuente (a)	Número de Vehículos	CONTAMINANTES CALCULADOS (kg/año)	TOTAL, DE CONTAMINANTES (kg/año)
------------	---------------------	-----------------------------------	----------------------------------

		CO	PM10	PM2.5	NOx	SO2	
Fuentes móviles	(6) vehículos de carga	734,69	140,59	129,37	2.963,94	4,78	3.973,37
	(7) vehículos de carga	857,14	164,02	150,94	3.457,94	5,584	4.635,62

Nota. Elaboración propia, 2024.

Grafica 2.

Variabilidad de Contaminantes según la cantidad de vehículos usados en el transporte.



Nota. Elaboración propia, 2024.

Finalmente, los resultados son expuestos en tablas dinámicas, además de graficas que muestran la variabilidad de los diferentes contaminantes y su carga anual, gracias a la información anteriormente expuesta se puede determinar que los modelos de emisiones, sus factores, tanto de actividades como de emisiones, lograron ser beneficiosos para la investigación

presentada, por este motivo, se usaron modelos estándar a través de artículos, revistas, páginas web y repositorios universitarios, los presentes resultados exponen la contaminación de la mina a cielo abierto en cuestión, donde se fijaron dos fuentes, fuente fija y fuente móvil, así mismo se establecieron modelos de procesos para ambos casos, ecuaciones formuladas por artículos científicos, cabe aclarar que varias de las afirmaciones se pueden ver truncadas por resultados mucho más exactos, aun así los resultados mostrados tienen una validez científica e investigativa, en caso de querer resultados mucho más acertados y exactos, deberemos tomar como área de interés zonas con menos impedimentos, políticos, económicos y ambientales, sitios de interés que propongan e incentiven compartir información, resultados y datos reales, finalmente los resultados fueron los esperados en relación con los datos disponibles sobre la zona de interés y la minería a cielo abierto para extracción de materiales de construcción.

14. METODOLOGÍA USADA MATRIZ DE IMPORTANCIA, CONESA

FERNANDEZ

Para evaluar el impacto ambiental del macroproyecto, se utilizó la Matriz Conesa-Fernández, una herramienta reconocida en estudios de impacto ambiental que permite identificar, evaluar y jerarquizar los impactos ambientales de diversas actividades del proyecto (Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, s. f.). Esta matriz considera múltiples criterios de valoración, tales como la magnitud, duración, extensión, reversibilidad y probabilidad del impacto.

14.1 CRITERIOS DE VALORACIÓN

La evaluación de los impactos se realizó utilizando los siguientes criterios de valoración:

Naturaleza del Impacto (N):

Descripción: Este criterio determina la calidad del impacto, es decir, si es beneficioso o perjudicial para el medio ambiente y las condiciones socioeconómicas. Un impacto beneficioso mejora la calidad ambiental y social, mientras que uno perjudicial la degrada.

Beneficioso (+): El impacto genera mejoras o beneficios ambientales y sociales, como la restauración de ecosistemas, la reducción de contaminación, o el incremento de oportunidades económicas.

Perjudicial (-): El impacto causa daños o efectos adversos, como la contaminación del agua o aire, la pérdida de biodiversidad, o el deterioro de la salud pública.

Intensidad (IN):

Descripción: Mide la magnitud o fuerza con la que el impacto afecta a los distintos componentes del medio ambiente. La intensidad se valora de acuerdo con el grado de alteración o cambio que produce el impacto.

Valoración:

1: Baja (El impacto es apenas perceptible y no causa cambios significativos)

2: Moderada (El impacto es perceptible y causa algunos cambios leves)

4: Alta (El impacto es significativo y causa cambios evidentes)

8: Muy alta (El impacto es muy significativo y causa cambios graves)

12: Total (El impacto es extremadamente significativo y severo)

Extensión (EX):

Descripción: Determina la superficie o el área geográfica afectada por el impacto. Considera si el impacto es localizado o abarca una zona más amplia.

Valoración:

1: Puntual (El impacto se limita a un área específica muy pequeña)

2: Parcial (El impacto afecta a una parte del área de estudio)

4: Extenso (El impacto cubre una gran parte del área de estudio)

8: Total (El impacto abarca la totalidad del área de estudio)

12: Crítica (El impacto se extiende más allá del área de estudio, con implicaciones significativas)

Momento (MO):

Descripción: Se refiere al tiempo en que el impacto se manifiesta después de la acción que lo causa. Esto incluye tanto el periodo de aparición como la urgencia del impacto.

Valoración:

- 1: Largo plazo (El impacto se manifiesta después de un periodo largo de tiempo)
- 2: Medio plazo (El impacto se manifiesta después de un periodo intermedio)
- 3: Corto plazo (El impacto logra manifestarse en un periodo breve luego de realizada la actividad)
- 4: Inmediato (El impacto se manifiesta rápidamente tras la acción)
- 8: Crítico (El impacto se manifiesta de manera urgente y con alta intensidad)

Persistencia (PE):

Descripción: Indica la duración del impacto en el tiempo, es decir, cuánto tiempo persiste el impacto una vez manifestado.

Valoración:

- 1: Fugaz o efímero (El impacto es de muy corta duración)
- 1: Momentáneo (El impacto puede tener un periodo breve de duración)
- 2: Temporal (El impacto dura un periodo limitado de tiempo)
- 3: Pertinaz o Persistente (El impacto suele ocurrir de forma constante)

4: Permanente (El impacto persiste indefinidamente)

Reversibilidad (RV):

Descripción: Evalúa la posibilidad de revertir o mitigar el impacto una vez que ha ocurrido. Este criterio considera el tiempo y los esfuerzos necesarios para contrarrestar el impacto.

Valoración:

1: Corto plazo (El impacto puede ser completamente revertido en poco tiempo)

2: Medio plazo (El impacto puede ser mitigado en un tiempo intermedio)

3: Largo plazo (El impacto difícilmente será mitigado en un periodo extenso de tiempo)

4: Irreversible (El impacto no puede ser revertido)

Sinergia (SI):

Descripción: Considera la interacción del impacto con otros impactos, es decir, cómo se combina o interactúa con otros efectos, potenciándolos o agravándolos.

Valoración:

1: Sin sinergismo (El impacto es independiente de otros)

2: Sinérgico (El impacto se potencia o agrava por la presencia de otros impactos)

4: Muy sinérgico (El impacto se ve significativamente potenciado por otros impactos)

Acumulación (AC):

Descripción: Capacidad del impacto de acumularse en el tiempo, incrementando sus efectos de manera gradual.

Valoración:

1: Simple (El impacto no se acumula con el tiempo)

4: Acumulativo (El impacto se agrava con el tiempo, incrementando su severidad)

Efecto (EF):

Descripción: Diferencia si el impacto afecta directa o indirectamente al medio ambiente y a los componentes socioeconómicos.

Valoración:

1: Indirecto (El impacto afecta de manera indirecta, a través de otros factores intermedios)

4: Directo (El impacto afecta directamente al medio ambiente y a los componentes socioeconómicos)

Periodicidad (PR):

Descripción: Frecuencia con la que ocurre el impacto, considerando si es un evento único, recurrente o continuo.

Valoración:

- 1: Irregular (El impacto ocurre esporádicamente)
- 2: Periódico (El impacto ocurre con regularidad en intervalos específicos)
- 4: Continuo (El impacto ocurre de manera constante sin interrupciones)

Recuperabilidad (MC):

Descripción: Indica la capacidad del medio ambiente para recuperarse del impacto y el tiempo necesario para ello.

Valoración:

- 1: Recuperación inmediata (El medio ambiente se recupera rápidamente del impacto)
- 2: Recuperable (El medio ambiente puede recuperarse del impacto con el tiempo)
- 4: Mitigable (El impacto puede ser mitigado con acciones específicas, aunque no completamente revertido)
- 8: Irrecuperable (El impacto es tal que el medio ambiente no puede recuperarse)

Los valores y criterios expuestos anteriormente son expresamente calificados por (Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, s. f.) que brinda información clara sobre la metodología a utilizar y los criterios a calificar.

Los valores de los impactos se clasificaron de la siguiente manera de acuerdo con su significancia:

Tabla 17.

Valores de importancia para la clasificación de la matriz de importancia

Positivo	> 0
Crítico	80 - 100
Alto	60 - 79
Medio	40 - 59
Bajo	< 40

Nota. Adaptado de (Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, s. f.)

La Tabla 17 (Valores de importancia para la clasificación de la matriz de importancia) se utilizó para clasificar la importancia de distintos factores o elementos en una evaluación de impacto ambiental. La clasificación se realizó en función de valores numéricos que representan

la magnitud o relevancia de cada factor. Los valores se agruparon en diferentes categorías que se distinguen por colores, facilitando la interpretación visual de los resultados.

VALORES Y CATEGORÍAS

1. Positivo:

- **Valor:** Mayor que 0.
- **Descripción:** Indicó una contribución positiva al entorno o al sistema evaluado. Estos valores no tienen un rango definido en la tabla y se interpretaron como cualquier valor superior a cero.

2. Crítico:

- **Valor:** Entre 80 y 100.
- **Descripción:** Representó factores de máxima importancia. Estos elementos requirieron atención prioritaria debido a su alto impacto potencial.
- **Color Asociado:** Generalmente rojo o un color que denota urgencia y máxima prioridad.

3. Alto:

- **Valor:** Entre 60 y 79.
- **Descripción:** Indicó una alta importancia o impacto. Aunque no fueron tan urgentes como los valores críticos, estos factores aún demandaron una consideración significativa en el análisis.
- **Color Asociado:** Naranja o un color que denota alta prioridad.

4. Medio:

- **Valor:** Entre 40 y 59.
- **Descripción:** Señaló una importancia moderada. Estos factores tuvieron un impacto notable, pero no fueron tan cruciales como los de las categorías superiores.
- **Color Asociado:** Amarillo o un color que denota importancia moderada.

5. **Bajo:**

- **Valor:** Menor que 40.
- **Descripción:** Representó factores de baja importancia. Estos elementos tuvieron un impacto mínimo y fueron considerados menos prioritarios en el análisis.
- **Color Asociado:** Verde o un color que denota baja prioridad.

14.2 JUSTIFICACIÓN DEL ENFOQUE EN EL COMPONENTE ATMOSFÉRICO

La evaluación se centró exclusivamente en el componente atmosférico, específicamente en los factores de calidad del aire, debido a que el objetivo del macroproyecto era analizar la percepción de contaminación minera en el aire sobre las actividades realizadas. Este enfoque se justifica debido a la relevancia crítica de la calidad del aire para la salud humana y el medio ambiente. La contaminación atmosférica derivada de actividades mineras puede tener impactos severos en la calidad de vida de las comunidades circundantes, afectando la salud respiratoria, aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares y comprometiendo la biodiversidad local. Además, las emisiones de contaminantes atmosféricos pueden tener efectos a largo plazo en la calidad del aire, exacerbando los problemas ambientales en la región.

Este enfoque también responde de forma consistente la investigación al evaluar únicamente el componente atmosférico, se busca proporcionar una comprensión detallada y específica de cómo las operaciones mineras pueden influir directamente en la calidad del aire local, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones informadas y para implementar medidas de mitigación efectivas.

14.3 ANÁLISIS DE ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTO AMBIENTAL

Las actividades mineras se jerarquizaron según su impacto ambiental, tanto positivos como negativos. A continuación, se presentan las actividades ordenadas de las más impactantes a las menos impactantes, junto con un análisis basado en factores de emisión y factores ambientales.

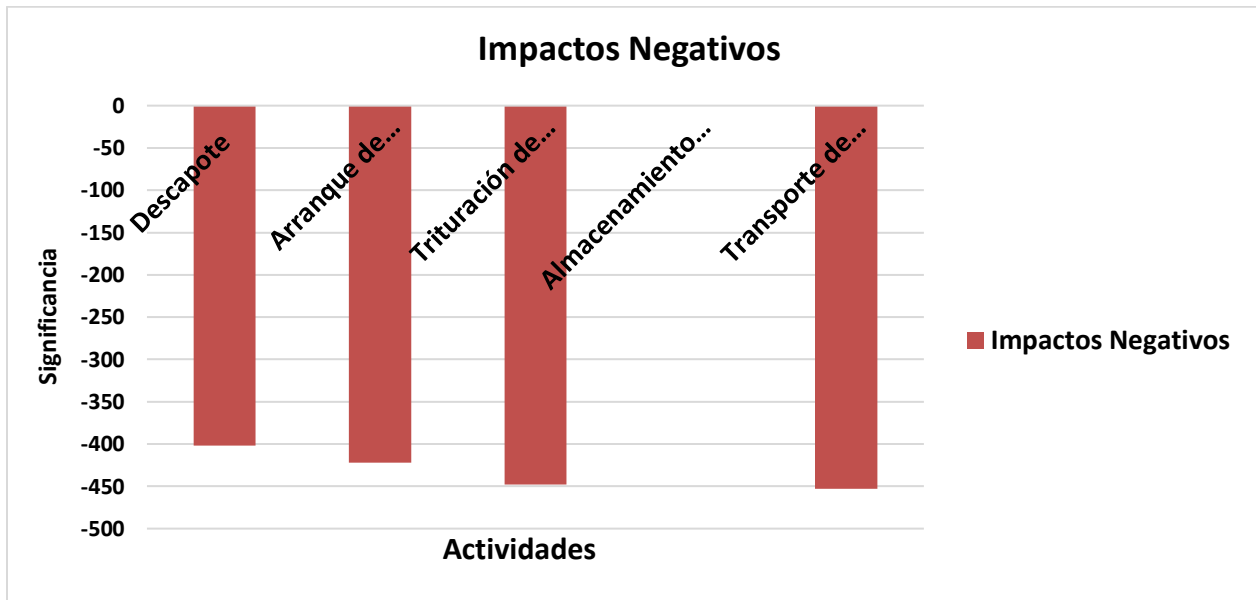
14.4 GRÁFICAS DE IMPACTOS AMBIENTALES

Las siguientes gráficas presentan un análisis detallado de los impactos ambientales derivados de diversas actividades industriales, utilizando la matriz de Conesa. Esta matriz evalúa la importancia del impacto en la calidad del aire para diferentes contaminantes, como PM10, CO, CO2, SO2, NOx, O3, VOC y ruido, en relación con cinco actividades específicas: descapote, arranque de material, trituración de material, almacenamiento de material y transporte de

material. Las dos primeras gráficas ilustran los resultados negativos, mostrando el grado de impacto adverso por contaminante y actividad. Las dos gráficas subsiguientes reflejan los resultados positivos, destacando las actividades que presentan menores impactos negativos o incluso efectos beneficiosos en la calidad del aire. Este análisis visual proporciona una comprensión clara y concisa de cómo cada actividad contribuye al impacto ambiental global, permitiendo identificar áreas críticas para la mitigación de efectos adversos.

Gráfica 3.

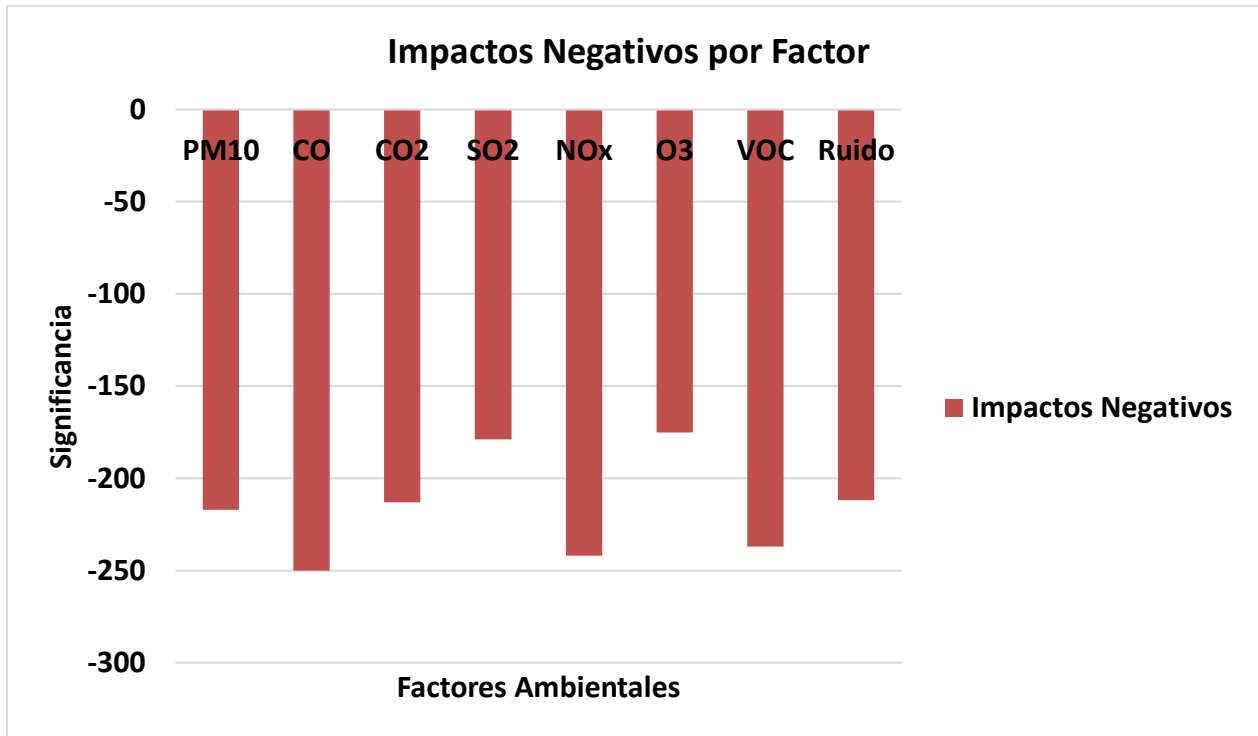
Impactos Negativos por Actividad ejecutada



Nota. Elaboración propia, 2024.

Grafica 4.

Impactos Negativos por Factor



Nota. Elaboración propia, 2024.

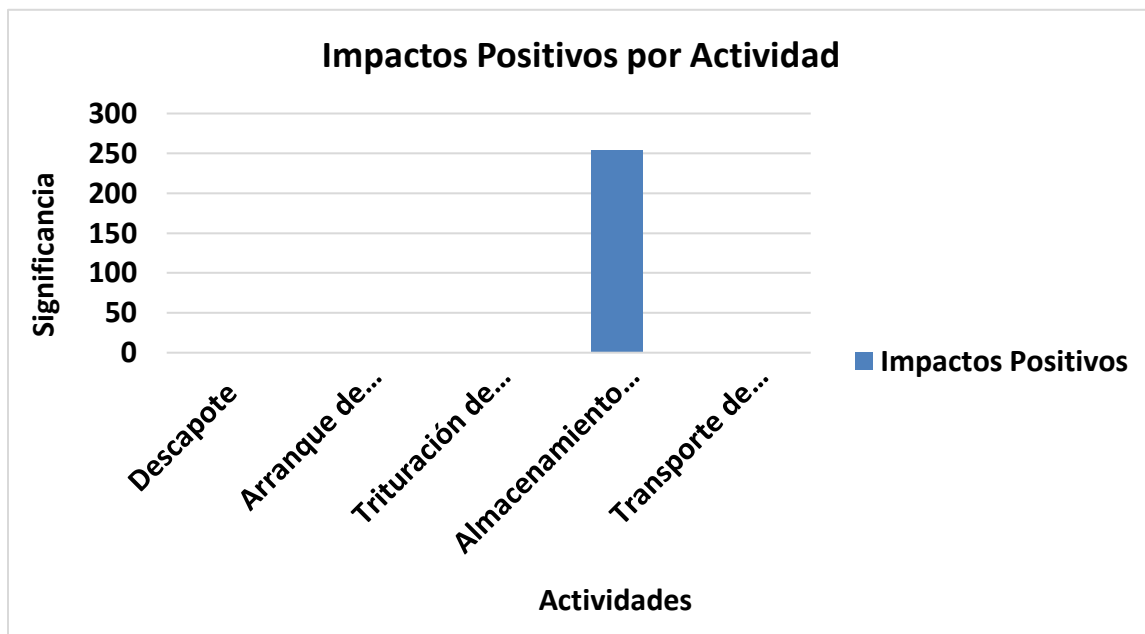
Las dos primeras gráficas ilustran los resultados negativos, mostrando el grado de impacto adverso por contaminante y actividad. La categorización de los impactos negativos se ha realizado considerando la magnitud, frecuencia y persistencia del efecto de cada contaminante en la calidad del aire. Los valores negativos asignados en la matriz indican una disminución en la calidad del aire, con mayor significancia para aquellos contaminantes que tienen efectos más graves y prolongados. Por ejemplo, los NOx y SO2 se destacan debido a su capacidad para

formar ácido sulfúrico y nítrico, contribuyendo significativamente a la lluvia ácida y a problemas respiratorios en la población. Según (Ricardo, D. R. J. (2021.)), Asimismo, el CO₂ y los VOC son destacados por su papel en el cambio climático y en la formación de ozono troposférico, respectivamente.

La valoración negativa también considera la capacidad de dispersión y acumulación de estos contaminantes en el ambiente, así como su potencial para causar daños a largo plazo. Según (Luz, H. y. D. (2017.)). Este enfoque permite identificar las actividades más críticas en términos de impacto ambiental negativo, facilitando la priorización de medidas de mitigación.

Grafica 5.

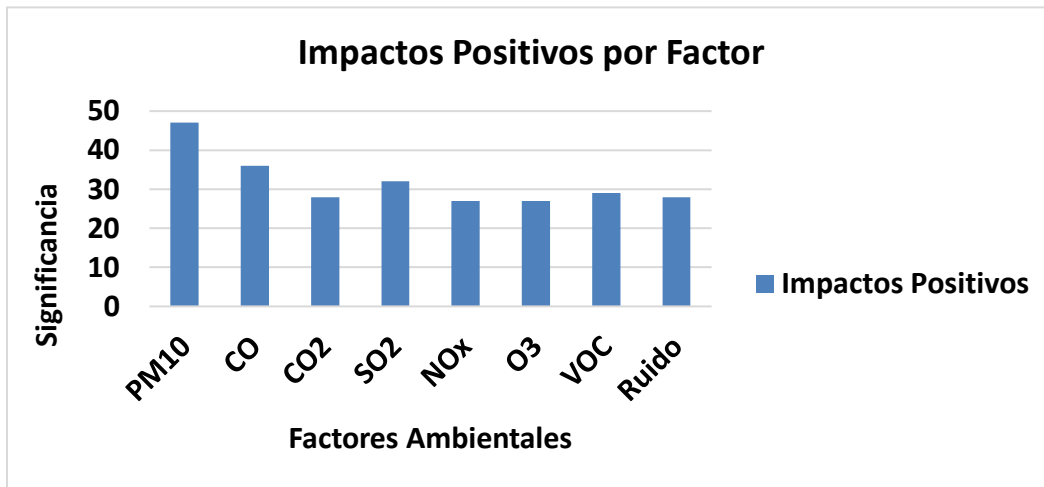
Impactos Positivos por Actividad



Nota. Elaboración propia, 2024.

Grafica 6.

Impactos Positivos por Factor



Nota. Elaboración Propia, 2024.

La categorización de los impactos positivos se ha basado en la capacidad de ciertas actividades para mitigar o reducir la concentración de contaminantes en el aire. Por ejemplo, en el almacenamiento y transporte de materiales, se han implementado prácticas que minimizan la emisión de partículas y gases nocivos. Estos valores positivos pueden deberse a la implementación de tecnologías de control de emisiones, procesos optimizados para reducir la generación de contaminantes y la adopción de buenas prácticas ambientales.

Además, algunas actividades pueden contribuir indirectamente a la mejora de la calidad del aire al fomentar un manejo más eficiente y sostenible de los recursos. La valoración positiva destaca la importancia de continuar mejorando y adoptando medidas que no solo eviten el deterioro ambiental, sino que también promuevan una recuperación y mejora en la calidad del aire. Según (Giannouli et al. (2011)) el uso de tecnologías de mitigación de gases es primordial en la actividad de almacenamiento y transporte porque permiten la disminución de grandes cargas de contaminantes.

14.4.1 ACTIVIDADES NEGATIVAS MÁS IMPACTANTES

1. Arranque de Material:

- **PM10 (-61):** Alta emisión de partículas y gases contaminantes.
- **CO (-63):** Emisión significativa de monóxido de carbono.
- **NOx (-62):** Emisión de óxidos de nitrógeno.

2. Trituración de Material:

- **PM10 (-63):** Alta liberación de polvo.
- **CO (-65):** Emisión considerable de monóxido de carbono.
- **VOC (-62):** Emisión de compuestos orgánicos volátiles.

3. Transporte de Material:

- **NOx (-64):** Emisiones de óxidos de nitrógeno.
- **PM10 (-63):** Liberación de partículas durante el transporte.
- **CO (-63):** Emisión de monóxido de carbono.

ACTIVIDADES POSITIVAS

1. Almacenamiento de Material:

- **PM10 (47):** Menor liberación de partículas si se implementan buenas prácticas.
- **Ruido (28):** Menor impacto en términos de ruido ambiental.
-

La evaluación detallada de los contaminantes en las actividades de minería a cielo abierto se fundamenta en múltiples atributos ambientales que reflejan el potencial impacto sobre el entorno natural. Cada fase del proceso minero presenta riesgos específicos para la calidad del aire y el ambiente acústico, los cuales han sido evaluados meticulosamente utilizando criterios estandarizados.

En relación con las partículas PM10, se determinó que durante el descapote y el transporte de material, existe un "momento de impacto inmediato y una intensidad alta debido a la liberación de partículas en suspensión", lo cual se alinea con la severidad del impacto observado en áreas similares de explotación minera (Coral Flórez, J. (2021.)). Esta evaluación considera tanto la magnitud como la duración del efecto, proporcionando una base sólida para la gestión ambiental proactiva.

El monóxido de carbono (CO), presente en todas las etapas del proceso minero, se destacó por su "acumulación persistente en el ambiente y efectos adversos en la salud humana",

justificando su calificación alta en términos de intensidad y persistencia (Cadavid, C. F. (2018)). Esta caracterización se apoya en estudios recientes que han demostrado el impacto significativo del CO en la salud respiratoria y el bienestar general de las comunidades circundantes.

El dióxido de carbono (CO₂), emitido principalmente durante el transporte y almacenamiento de materiales, fue evaluado como "irreversible a corto plazo debido a su larga persistencia en la atmósfera", una conclusión respaldada por investigaciones sobre el impacto del CO₂ en el cambio climático global (Alejandra, L. G. (2016)). Este enfoque en la persistencia y la reversibilidad del CO₂ subraya la importancia de estrategias de mitigación efectivas para reducir las emisiones en la minería a cielo abierto.

En el caso del dióxido de azufre (SO₂), generado principalmente durante la trituración y almacenamiento de materiales, se encontró que su "impacto inmediato y persistencia en condiciones favorables" justifica su clasificación en términos de intensidad y reversibilidad (Ricardo, D. R. J. (2021)). Esta evaluación considera las implicaciones tanto para la calidad del aire como para los ecosistemas locales, resaltando la necesidad de medidas de control efectivas.

Por otra parte, los óxidos de nitrógeno (NO_x), significativamente emitidos durante el arranque y trituración del material, se caracterizaron por su "sinergia alta con otros contaminantes y efectos acumulativos en el tiempo", reflejando su complejidad en términos de

interacción ambiental (Ricardo, D. R. J. (2021.)). Esta evaluación proporciona una perspectiva integral del impacto de los NOx en la calidad del aire y destaca la importancia de estrategias integradas de gestión ambiental.

También, el ozono troposférico (O3), generado durante actividades como el descapote y la trituración, se evaluó por su "persistencia variable y efectos indirectos en la salud humana y la vegetación", lo cual fundamenta su clasificación en términos de intensidad y reversibilidad (Patricio, S. L. G. (2021.)). Esta perspectiva considera tanto los riesgos inmediatos como los efectos a largo plazo del O3 en el medio ambiente circundante.

De igual forma, los compuestos orgánicos volátiles (VOC), emitidos en todas las etapas del proceso minero, se caracterizaron por su "alta intensidad y sinergia significativa con otros contaminantes", destacando su complejidad en términos de impacto ambiental (Luz, H. y. D. (2017.)). Esta evaluación subraya la necesidad de estrategias específicas de mitigación para reducir la liberación de VOC y sus efectos adversos en la salud y el medio ambiente.

Finalmente, el ruido generado durante actividades como el descapote y la trituración, se identificó como un "impacto inmediato y persistente que afecta la fauna silvestre y la calidad de vida de las comunidades locales", respaldando su clasificación en términos de intensidad y recuperabilidad (Ricardo, D. R. J. (2021.)). Esta evaluación resalta la importancia de tecnologías

de control de ruido para mitigar los efectos negativos en los ecosistemas y la comunidad circundante.

Por lo tanto, estas calificaciones se basan en un análisis exhaustivo de múltiples atributos como momento de impacto, intensidad, extensión, persistencia, reversibilidad, sinergia, recuperabilidad y acumulación. Cada uno de estos criterios proporciona una comprensión holística de los impactos ambientales derivados de la minería a cielo abierto, informando la implementación de estrategias de gestión ambiental efectivas para promover un desarrollo minero sostenible y responsable.

14.5 CONCLUSIONES GENERALES DE LA EVALUACIÓN

La evaluación del impacto ambiental del proyecto minero, centrada en el componente atmosférico, reveló que las actividades de arranque, trituración y transporte de materiales son las principales fuentes de contaminación del aire. Las medidas de mitigación, como la implementación de tecnologías de reducción de emisiones y buenas prácticas de almacenamiento, muestran un impacto positivo significativo, aunque requieren tiempo y recursos para su implementación efectiva.

Además, las actividades de arranque de material, trituración y transporte fueron

identificadas como las más perjudiciales, generando altos niveles de PM10, CO y NOx. Estos contaminantes tienen efectos significativos y persistentes en la calidad del aire, contribuyendo a problemas de salud respiratoria y ambiental.

Por otra parte, se denota la efectividad de buenas prácticas, las prácticas ambientales optimizadas en el almacenamiento y transporte de materiales mostraron resultados positivos, reduciendo significativamente las emisiones de contaminantes. Esto demuestra que la implementación de tecnologías de control de emisiones es crucial para mitigar los impactos negativos y mejorar la calidad del aire.

Finalmente, se prioriza la necesidad de una gestión integral, debido a la evaluación exhaustiva utilizando la Matriz Conesa-Fernández, se subraya la importancia de una gestión ambiental integral. Por lo tanto, identificar y priorizar las actividades con mayores impactos negativos permite diseñar estrategias de mitigación efectivas, promoviendo un desarrollo minero sostenible y minimizando los efectos adversos en el medio ambiente y la salud pública.

15. DIFICULTADES Y POSIBILIDADES DE MEJORA

Dificultades:

- Falta de datos precisos y actualizados sobre las emisiones específicas.

- Variabilidad de las condiciones atmosféricas locales.

Posibilidades de Mejora:

1. Implementar sistemas de monitoreo continuo de la calidad del aire.
2. Realizar estudios más detallados sobre las fuentes de emisiones.
3. Fomentar la participación de la comunidad en el monitoreo y evaluación de los impactos.

Estas medidas no solo mejorarán la precisión de las evaluaciones futuras, sino que también aumentarán la transparencia y la confianza de la comunidad en los procesos de mitigación ambiental del proyecto.

CONCLUSIONES

Impacto combinado de fuentes móviles y fijas: Los resultados revelan el significativo impacto ambiental de las emisiones tanto de fuentes móviles (como los vehículos de carga utilizados en la actividad minera) como de fuentes fijas (relacionadas con la operación de la mina y sus instalaciones). Este enfoque integral permite una comprensión más completa del impacto ambiental total de la actividad minera en términos de emisiones contaminantes.

Necesidad de estrategias integradas de control: Las conclusiones resaltan la importancia de implementar estrategias integradas de control de emisiones que aborden tanto las fuentes móviles como fijas en el contexto de la actividad minera. Estas estrategias deben incluir medidas específicas dirigidas a la reducción de emisiones de vehículos de carga, así como

tecnologías y prácticas de mitigación de emisiones en las operaciones mineras.

Regulación ambiental integral: Es crucial establecer regulaciones ambientales integrales que aborden tanto las emisiones de fuentes móviles como fijas en la industria minera. Estas regulaciones deben ser diseñadas de manera coherente y aplicadas de manera efectiva para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública frente a los impactos negativos de las emisiones contaminantes.

Monitoreo y seguimiento continuo: Se requiere la implementación de programas de monitoreo y seguimiento continuo de las emisiones de fuentes móviles y fijas en la actividad minera para evaluar su impacto ambiental y garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Este monitoreo regular permitirá identificar áreas de mejora y tomar medidas correctivas adecuadas para reducir las emisiones contaminantes.

Compromiso con la sostenibilidad: La reducción efectiva de las emisiones de fuentes móviles y fijas en la minería es esencial para avanzar hacia una industria minera más sostenible y responsable. Se necesita un compromiso continuo de todas las partes interesadas, incluidas las empresas mineras, los reguladores gubernamentales y las comunidades locales, para adoptar prácticas más limpias y mitigar el impacto ambiental de la actividad minera en su conjunto.

RECOMENDACIONES

Implementación de tecnologías limpias en vehículos de carga: Se recomienda explorar y adoptar tecnologías más limpias y eficientes en los vehículos de carga utilizados en la actividad minera, como la electrificación o el uso de combustibles alternativos. Esto puede incluir la actualización de flotas de vehículos con modelos más modernos y menos contaminantes, así como la inversión en infraestructura de carga eléctrica o estaciones de suministro de combustibles alternativos.

Optimización de rutas y logística de transporte: Es importante optimizar las rutas y la logística de transporte de materiales para reducir las distancias recorridas por los vehículos de carga y minimizar así las emisiones asociadas. Esto puede lograrse mediante la planificación eficiente de las operaciones mineras, la coordinación de horarios de transporte y la selección de rutas más cortas y menos congestionadas.

Adopción de prácticas de gestión ambiental: Se recomienda implementar prácticas de gestión ambiental efectivas en las operaciones mineras, incluida la gestión adecuada de residuos y la prevención de la contaminación. Esto puede implicar la implementación de sistemas de gestión ambiental certificados, el monitoreo regular de la calidad del aire y el agua, y la adopción de medidas de rehabilitación de áreas afectadas por la minería.

Capacitación y sensibilización del personal: Es fundamental proporcionar capacitación y sensibilización ambiental al personal involucrado en las operaciones mineras, incluidos los

conductores de vehículos de carga. Esto puede incluir la formación en prácticas de conducción eficientes, el manejo adecuado de los equipos y materiales, y la identificación y respuesta ante incidentes ambientales.

Colaboración y diálogo con las comunidades locales: Se recomienda establecer un diálogo abierto y transparente con las comunidades locales afectadas por las operaciones mineras para identificar preocupaciones ambientales y sociales y buscar soluciones conjuntas. Esto puede incluir la participación activa de las comunidades en la planificación y monitoreo de las operaciones mineras, así como el establecimiento de programas de compensación y desarrollo comunitario.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE MINERIA. (2022). *TÍTULOS MINEROS VIGENTES QUE SUPERPONEN EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA*. Obtenido de https://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/4a189b61-4fac-430e-9f5b-ebe5191809f6/RT-0344-21+-+LISTA+TITULOS+Y+SOLICITUDES+MINERAS+VIGENTES+-+CUNDINAMARCA+-+07-05-2021+%281%29.xlsx?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-4a189b61-4fac-430e-9f5b-eb

Agencia Nacional de Minería. (2023). Obtenido de Anm.gov.co.

Alva Huamán, Daniel Alejandro. (2018). *Concentración de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en la planta de producción de óxido de calcio Puylucana, Cajamarca*.

Alejandra, L. G. (2016). Cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono en el Valle de Aburrá. Repositorio Institucional Universidad Eia. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/1952>

ANDERSON CARRILLO MONTERO, D. G. (2008). *UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA*. Obtenido de INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA MINERA DEL CESAR: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/221/digital_16431.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bárcena, A. (2018). *Estado de situación de la minería en América latina*. LIMA: ECLAC.

Briceño, H. V. (2019). *Evaluación de rendimiento de volquetes para equipo de acarreo mineral*. Obtenido de Universidad Continental:

http://repositoriodemo.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6085/1/IV_FIN_110_T E_Vilcapoma_Briceno_2019.pdf

Camacho, M. M. (2020). *CAMIONES EN MINERIA SUPERFICIAL*. Obtenido de SCRIBD: file:///C:/Users/JZeus/Downloads/camiones-en-mineria-superficial_compress.pdf

CÓDIGO DE MINAS. (2001). *Ley 685 de 2001*. Ministerio de Minas y Energías.

CONESA FERNANDEZ-VITORIA, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Cuarta ed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Presa.

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2020). *junta de andalucia*. Obtenido de Guía de apoyo para la notificación de las emisiones en explotaciones a cielo abierto y canteras: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/administracion_electronica/Tramites/Vigilancia_Preencion/Modelos/EPTRTR/Modelos/Guias_apoyo/Guia_%20Ep3b_Explotaciones_cieloabierto_canteras.pdf

Coral Florez, J. (2021). Modelación de dispersión de material particulado menor a 10 micras (pm10), para la evaluación de la calidad del aire en una mina de carbón a cielo abierto: caso de estudio mina caypa (guajira).

Cadauid, C. F. (2018). Análisis comparativo de la huella de carbono necesaria para la asimilación de las emisiones generadas por la producción del agregado pétreo arena gruesa, utilizando residuos de construcción y demolición (RCD) y de extracción a cielo abierto. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/4995>

Damonte, Gerardo. (2014). El modelo extractivo peruano: discursos, políticas y la reproducción de desigualdades sociales. En B. y. En GOBEL, *Extractivismo minero en Colombia y América Latina* (págs. 37-73). Bogotá.

- DANE. (2019). *Economía Circular*. Obtenido de Cuenta ambiental y económica de flujos de agua: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/presentacion-economia-circular-4-reporte.pdf>
- DANE. (2020). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de EXPLORACIÓN DE MINAS Y CANTERAS: <https://clasificaciones.dane.gov.co/ciiu4-0/clasificacion/954/>
- EPA. (2004). *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 11: Mineral Products Industry*. Obtenido de 11.19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c11s1902.pdf>
- EPA CARTAGENA. (2020). *Observatorio ambiental cartagena de indias*. Obtenido de FACTORES DE EMISIÓN: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/seguimiento-y-monitoreo/protocolo-monitoreo-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-cartagena/factores-de-emision/>
- Fernandez, Marlon De Jesus Correa. (2018). Impacto socio-económico de la minería en el Cesar, Guajira y Magdalena. *Revista Jurídica Mario Alario D'Filippo*, págs. 132-153.
- Goodland, Robert. (2012). *Minería Responsable ¿Qué se entiende por “minería responsable?”* Bogotá D. C., Colombia.
- Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. (s. f.). Google Books. <https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=true>
- Giannouli, M., Kalognomou, E., Mellios, G., Moussiopoulos, N., Samaras, Z., & Fiala, J. (2011). Impact of European emission control strategies on urban and local air quality. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4753-4762. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.016>

HOLCIM . (2023). *HOLCIM* . Obtenido de HOLCIM (COLOMBIA) SE EXPANDE CON NUEVA PLANTA DE AGREGADOS: <https://www.holcim.com.co/holcim-colombia-se-expande-con-nueva-planta-de-agregados>

Lizarazo, Valentina Espinosa. (2017). *Minería en Mosquera "Mondoñedo"*. Funza, Cundinamarca: Corporacion Universitaria Minuto de Dios .

Martinez, Alexander Jhonatan Hermitaño. (2017). *EVALUACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO Y SU RELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN EL PROCESO DE CHANCADO Y MOLIENDA EN LA COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A, PROVINCIA DE HUAROCHIRI, LIMA*. Huánuco - Perú: Universidad de Huanuco.

Mauricio Cárdenas, M. R. (2008). *LA MINERÍA EN COLOMBIA*:. FEDESARROLLO.

Minambiente. (2017). *MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Minambiente. (2019). *Fuentes de emisiones atmosféricas contaminantes*. Obtenido de Asuntos ambientales, sectoriales y urbanos: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/emisiones-atmosfericas-contaminantes/>

Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente. (16 de 05 de 2016). Obtenido de Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/#:~:text=El%20método%20de%20minería%20a,desecho%2C%20alterando%20la%20morfología%20local.>

MINISTERIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2017). *RESOLUCIÓN 2254 DEL 2017*. COLOMBIA.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y
MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL. (2006). *RESOLUCION 0627 DE 2006*.
COLOMBIA.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y
MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL. (2007). *RESOLUCIÓN 2115 DEL 2007*.
COLOMBIA.

Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Explotación de materiales de construcción: canteras y material de arrastre*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.

Ortiz, A. M. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería en Colombia*. BOGOTÁ D.C:
FEDESARROLLO.

Ortiz, Astrid Martínez. (2012). *Impacto socioeconómico de la minería*. Bogotá D.C.

Ortiz, José Arturo Martínez. (2017). *IMPACTOS AMBIENTALES POR EXTRACCIÓN DE MATERIAL DE ARRASTRE*. Manizales – Caldas: Universidad Católica de Manizales.

Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2012). *Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio de Madre de Dios: Un problema de salud pública*. Acta médica peruana, 29(1).

Patricio, S. L. G. (2021, 23 noviembre). Determinación de la concentración de material

particulado sedimentable en la mina de cerro negro cantón Riobamba provincia de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8295>

P., B. D. (2014). *ESTUDIO DE LAS CONDICIONES OPERATIVAS Y DE MANTENIMIENTO DE LA MAQUINARIA MINERA DE LA CANTERA*. CARACAS: FACULTAD DE INGENIERÍA.

Radian International LLC. (12 de 2006). *EPA.GOV*. Obtenido de MANUALES DEL PROGRAMA DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE MEXICO: <https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/fundinv.pdf>

Retsch MILLING SIEVING ASSISTING. (2023). *RETSCH*. Obtenido de MOLINOS Y TRITURADORAS - TAMIZADORAS Y TAMICES: <https://www.retsch.es/es/productos/tamizado/tamizadoras/>

Rojas Montero, Diego Andrés. (2016). *Análisis multitemporal de imágenes landsat para la identificación de áreas de canteras por índices ubicadas en el sector Mondoñedo delmunicipio de Mosquera - Cundinamarca años 2003-2015*.

Ricardo, D. R. J. (2021, 8 septiembre). Análisis de las concentraciones de PM2.5, PM10, CO, SO2, NO2 y ruido comparándolo con los límites máximos permisibles, en calera juan de Dios I. <https://hdl.handle.net/11537/28998>

Luz, H. y. D. (2017). Los materiales de construcción y sus efectos en el medio ambiente de la ciudad de Ica. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/8382>

Salamanca, Luis Jorge Garay. (2013). *Minería en Colombia, Fundamentos para superar el modelo extractivista*.

Suárez Perilla, Laura Vanessa. (2021). *Las consecuencias de la minería ilegal en Colombia a través del análisis de datos: caso departamento de Chocó*.

UNIDAS NACIONES. (2023). *LA MINERÍA ILEGAL Y EL TRÁFICO DE METALES Y MINERALES*. Viena.

UNIQUE GRUPO YUXIN TRANSPORTADOR . (2023). *UNIQUE*. Obtenido de Transportador de cinta recta estándar: <https://es.uniqueconveyor.com/Standard-Straight-Belt-Conveyors.html>

VOLVO. (2023). *VOLVO*. Obtenido de VOLVO FMX: <https://www.volvotrucks.es/es-es/trucks/models/volvo-fmx.html#:~:text=EI%20Volvo%20FMX%20es%20un,ejes%20para%20transportar%20cargas%20pesadas>.

Zarsky, L. a. (2013). *Can Extractive Industries Promote Sustainable Development? A Net Benefits Framework and a Case Study of the Marlin Mine in Guatemala* (Vol. 22). *Journal of Environment and Development*.