



**Inventario de emisiones atmosféricas para el programa de manejo y control de emisiones de fuente fija y móvil de la universidad EAFIT**

Julián Andrés Rueda Velásquez

Informe de semestre de industria como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Asesora

Yarin Tatiana Puerta Quintana, MSc. Biología de ambientes acuáticos continentales

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería ambiental

Medellín

2022

<b>Cita</b>	(Rueda Velásquez, 2022)
<b>Referencia</b>	Rueda Velásquez, J. A. (2022). <i>Inventario de emisiones atmosféricas para el programa de manejo y control de emisiones de fuente fija y móvil de la universidad EAFIT</i> [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Créditos a la universidad EAFIT, al profesor David Aguiar Gil (U. de A.), a Lina Marcela Rozo (asesora externa), a Yarin Tatiana Puerta (asesora interna), a Daniela Muñoz (traductora) y a todas las personas implicadas en mi proceso de formación y también a toda el área ambiental de la universidad EAFIT.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mi madre y a mi hermana quienes fueron los principales pilares en mi vida y en toda mi carrera universitaria, también dedico este trabajo a todas las personas que tuvieron una relación o cercanía conmigo en la Universidad de Antioquia: amigos, amigas, profesores y profesoras, entrenador, a todo mi semillero de investigación Aliados con el planeta y a cada una de las personas que me permitieron llegar hasta el final de mi carrera universitaria.

## **Agradecimientos**

Profundo agradecimiento a mi asesora interna y a todas las personas que componen a la facultad de ingeniería de la universidad de Antioquia quienes me brindaron su apoyo durante todo este tiempo de formación académica, también agradezco a la universidad EAFIT por darme la oportunidad de desarrollar mis practicas académicas en sus instalaciones y apoyarme en mi formación profesional.

## Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 Marco teórico	13
3 Metodología	18
3.1 Formulación	18
3.2 Planeación	18
3.3 Ejecución	20
4 Resultados	29
4.1 Calculo de los consumos de combustible anual de los equipos	29
4.2 Calculo de la demanda energética anual de los equipos	30
4.3 Calculo de las emisiones de los GEI emitidos por las fuentes	30
4.4 Calculo de las emisiones de contaminantes criterio emitidos por las fuentes	31
4.5 Cumplimiento de la normatividad	37
5 Conclusiones	39
6 Recomendaciones	41
Referencias	43
Anexos	45

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Recursos humanos necesarios para el desarrollo del inventario	19
<b>Tabla 2</b>	Datos sobre los equipos incluidos en el inventario	22
<b>Tabla 3</b>	Otros datos sobre los equipos incluidos en el inventario	22
<b>Tabla 4</b>	Tipo de combustible, potencia, tiempo de operación y gasto de combustible de los equipos inventariados	23
<b>Tabla 5</b>	Densidades y poderes caloríficos de los equipos inventariados	24
<b>Tabla 6</b>	Factores de emisión para GEI	25
<b>Tabla 7</b>	Factores de emisión para contaminantes criterio	27
<b>Tabla 8</b>	Unidades y equivalencias	28
<b>Tabla 9</b>	Consumos de combustible anual de los equipos	29
<b>Tabla 10</b>	Demanda energética anual de los equipos	30
<b>Tabla 11</b>	Emisiones de GEI de los equipos inventariados	31
<b>Tabla 12</b>	Emisiones de contaminantes criterio de los equipos inventariados	32
<b>Tabla 13</b>	Cumplimiento de la normatividad vigente de las fuentes inventariadas	37
<b>Tabla 14</b>	Comparación de valores entre la medición y la norma	38

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Cronograma de actividades para el desarrollo del inventario	20
<b>Figura 2</b> Emisión de CO <sub>2</sub> anual por equipo	33
<b>Figura 3</b> Porcentaje de CO <sub>2</sub> aportado por fuente	33
<b>Figura 4</b> Emisión de CH <sub>4</sub> anual por equipo	34
<b>Figura 5</b> Porcentaje de CH <sub>4</sub> aportado por fuente	34
<b>Figura 6</b> Emisión de NO <sub>2</sub> anual por equipo	35
<b>Figura 7</b> Porcentaje de NO <sub>2</sub> aportado por fuente	35
<b>Figura 8</b> Emisión de CO anual por equipo	36
<b>Figura 9</b> Emisión de NO <sub>x</sub> anual por equipo	36

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>OMS</b>	Organización mundial de la salud
<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>DNP</b>	Departamento nacional de planeación
<b>EEA</b>	European Environment Agency
<b>US-EPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>AMVA</b>	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
<b>UPME</b>	Unidad de Planeación Minero Energética
<b>EAFIT</b>	Escuela de Administración, Finanzas y Tecnologías
<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>MADS</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>ACPM</b>	Aceite Combustible Para Motores
<b>GLP</b>	Gas Licuado de Petróleo
<b>HP</b>	Horse Power
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro Cubico
<b>l</b>	Litro
<b>MJ</b>	Megajoules
<b>TJ</b>	Terajoules
<b>kWh</b>	Kilowatt-Hora
<b>g</b>	Gramos
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido Nitroso
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de Nitrógeno
<b>BHP</b>	Boiler Horse Power

## Resumen

La universidad EAFIT deseaba desarrollar un programa de emisiones de fuente fija y móvil en donde se creó un inventario de emisiones atmosféricas como línea base del programa. El inventario fue realizado a partir de factores de emisión y factores de actividad que permitieron calcular las emisiones de gases de efecto invernadero y algunos contaminantes criterio que generan los diferentes equipos de laboratorio y de mantenimiento de la institución para el año 2021. Se encontró que en total se generaron 53553,4 kg/año de CO<sub>2</sub>, 6,2 kg/año de CH<sub>4</sub>, 0,247 kg/año de N<sub>2</sub>O, 3037,33 kg de CO y 151,14 kg de NO<sub>x</sub>. Los equipos que más aportaron emisiones de gases de efecto invernadero fueron la caldera y el quemador de gas propano, mientras que los que más generaron emisiones de contaminantes criterio fueron los equipos de mantenimiento del campus que funcionan a gasolina. Ninguno de estos equipos incumple ninguna de las normas vigentes sobre emisiones atmosféricas de Colombia; sin embargo, se hicieron algunas recomendaciones para tener datos más precisos en el cálculo de las emisiones de los equipos cuando se requiera hacer una actualización del inventario. También se hicieron recomendaciones para los equipos que, por falta de datos sobre sus tiempos de operación, por un bajo uso o por desconocimiento sobre el tipo de contaminante que pueden emitir, pudieran mejorar en cuanto a la ventilación del lugar que ocupan y sus sistemas de extracción y filtrado.

*Palabras clave:* emisiones atmosféricas, factores de emisión, contaminantes, fuentes fijas, fuentes móviles.

### **Abstract**

EAFIT University wanted to develop a program of stationary and mobile sources emissions where an atmospheric emissions inventory was created as a base line of the program. The inventory was made from emission factors and activity factors that allowed to calculate greenhouse gas emissions and some criteria pollutants generated by the different laboratory and maintenance equipment of the institution for the year 2021. It was found that a total of 53553.4 kg/year of CO<sub>2</sub>, 6.2 kg/year of CH<sub>4</sub>, 0.247 kg/year of N<sub>2</sub>O, 3037.33 kg of CO and 151.14 kg of NO<sub>x</sub> were generated. The boiler and the propane burner were the equipment that contributed the most greenhouse gas emissions, while the gasoline-powered maintenance equipment of the campus generated the most criteria pollutant emissions. None of this equipment fails to comply with any of the existing atmospheric emissions standards in Colombia, however, some recommendations were made to have more accurate data when calculating equipment emissions at the time an inventory update is required. Recommendations were also made for the equipment that, due to lack of data on their operating times, low use or lack of knowledge about the type of pollutant they can emit, could improve in terms of ventilation of the place they are located and their extraction and filtering systems.

*Keywords:* atmospheric emissions, emission factors, pollutants, stationary sources, mobile sources.

---

## Introducción

La contaminación atmosférica ha sido un problema que no solo afecta la salud de las personas, sino que también afecta de manera negativa al medio ambiente en todo el planeta. Este tema ha estado en la mira de toda la comunidad científica de diferentes ramas del conocimiento debido a su gran preocupación por la evolución que ha tenido esta problemática en toda la documentación existente e investigaciones que se han realizado en este tema. A pesar de que se han hecho grandes esfuerzos para poder controlar las emisiones y evitar que se deteriore la atmosfera, este tipo de contaminación hasta el día de hoy sigue siendo un gran motivo de preocupación a nivel mundial.

En Colombia existe un interés creciente y una mayor conciencia sobre la problemática ambiental, particularmente sobre el fenómeno de la contaminación atmosférica, ya que es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales (Gaitán & Cárdenas, 2017).

Con base en las declaraciones estratégicas de la institución, y de acuerdo con los compromisos de mejoramiento continuo, de sostenibilidad y protección del medio ambiente y la salud, se desea conocer y cuantificar las fuentes de emisiones atmosféricas para formular diferentes acciones que ayuden a disminuir los impactos ambientales asociados a la generación de emisiones atmosféricas derivadas a los procesos y actividades en la Universidad EAFIT. Para lograr esto, la universidad se acoge a la normatividad ambiental vigente del país en cuestiones de calidad del aire y desea desarrollar un inventario de emisiones atmosféricas que permita apoyar el programa de manejo y control de emisiones de fuentes fijas y móviles el cual se soporta en el proceso de gestión ambiental de la institución, normas de carácter superior, vinculantes y comprende los protocolos tanto para controlar, como para gestionar los contaminantes atmosféricos provenientes de las actividades diarias dentro del campus universitario.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó el inventario de emisiones atmosféricas en la universidad EAFIT basados en la *Guía Para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas* suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, allí se expone como debe ser el desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas el cual consta de 4 etapas: Formulación, planificación, Ejecución, Evaluación y actualización. Esta última etapa no se realizó en este trabajo ya que, por cuestiones de tiempo, no fue posible abordarla. Para estimar las

emisiones del inventario, se desarrolló el enfoque más común el cual consiste en usar factores de emisión para los diferentes procesos, ya que es muy difícil contar con la información de las emisiones medidas de forma directa durante el periodo de tiempo de evaluación de cada una de las fuentes que se deseen inventariar, además, estas mediciones directas son muy costosas en su implementación. Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmosfera con una actividad específica.

La aplicación de este inventario de emisiones tuvo como alcance todas las actividades desarrolladas en el campus principal de la Universidad EAFIT que implicaron la generación de emisiones a la atmósfera. Es importante mencionar que para la realización de este inventario de emisiones se exceptuaron todas las fuentes móviles correspondientes a los vehículos que ingresan al campus principal de la universidad EAFIT, ya que estas emisiones están inventariadas en el programa del cálculo de la huella de carbono de la institución.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Establecer un inventario de emisiones de contaminantes como base para proponer acciones y estrategias pertinentes para la protección del recurso aire, cuya afectación o impacto ambiental puedan ser generados por la operación de equipos en procesos educativos y mantenimiento de la Universidad EAFIT.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Garantizar el cumplimiento a la normativa colombiana por parte de la Universidad EAFIT en materia de contaminación atmosférica.
- Evaluar el desempeño ambiental en materia de emisiones atmosféricas de las actividades en la Universidad EAFIT.
- Informar y orientar a los Sistemas Integrados de Gestión y Control, en la toma de decisiones relacionadas con la protección del ambiente y promoción de la salud en la Universidad EAFIT.

## 2. Marco teórico

Según la actualización de un estudio realizado en el año 2015 por el DNP en donde se presentan los costos asociados a las muertes y enfermedades generadas por el deterioro del medio ambiente en Colombia, la contaminación del aire urbano aportó un total de 10.527 muertes en el país y 67,8 millones de síntomas y enfermedades, también generó un gasto total de \$15,4 millones de pesos (los cuales equivalen a un 1,93% del PIB) relacionado a las muertes y enfermedades producidas por la mala calidad del aire en el año 2015 (*Los Costos En La Salud Asociados a La Degradación Ambiental En Colombia Ascenden a \$20,7 Billones*, n.d.). La OMS presentó en el año 2005 la actualización de una guía de calidad del aire referentes a cuatro de los contaminantes atmosféricos más comunes: material particulado, ozono, dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. En esta guía se recomiendan los valores para la concentración de contaminantes en el aire como orientación para que los gobiernos fijen metas considerando sus condiciones locales en pro de la protección de la salud (WHO, 2005).

En la década de 1980 en Colombia, se adopta el Decreto 002 de 1982 el cual fue el primer instrumento en el país que establecía las bases para gestionar y proteger el recurso aire (Colombia. Presidencia de la República, 1982). Este decreto fue derogado por el Decreto 948 de 1995 el cual define que se debía desarrollar una política y norma de calidad del aire, así como definir los estándares de emisión de contaminantes, establecer niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire, restringir el uso de combustibles contaminantes, clasificar las áreas contaminadas y limitar la circulación de vehículos por razones de antigüedad (Colombia. Ministerio del medio ambiente, 1995). Dos años más tarde, en el año de 1997, expide la resolución 619 donde se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales las Industrias, obras, actividades o servicios requieren permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas (Colombia. Ministerio del medio ambiente, 1997).

Para el año 2008, se expiden dos resoluciones: la resolución 909 y la resolución 910, en las cuales se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes fijas (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008a) y las fuentes móviles terrestres respectivamente (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2008b). Posteriormente, se expide la resolución 1111 de 2013 por la cual se modifica la resolución 910 de 2008 en cuanto a algunas excepciones y también añade algunas

clasificaciones de vehículos automotores y habla sobre el certificado de emisión por prueba dinámica y visto bueno por protocolo de Montreal (Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2013).

En el año 2017, se publicó la Resolución 2254 de 2017, la cual hace referencia a la nueva norma de calidad del aire como parte de la estrategia del gobierno nacional para proteger la salud de los colombianos. Esta norma incluye aspectos como la gestión preventiva, mediciones en tiempo real, comunicaciones permanentes con la población del área de influencia y niveles para declarar estados de prevención, alerta y emergencia (Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017). El AMVA, en este mismo año, dio a conocer la Resolución 912 en la cual se adoptan algunas medidas que permiten gestionar de manera adecuada el recurso aire y reducir y controlar la emisión de contaminantes liberados a la atmósfera provenientes de diversas industrias o instalaciones (Colombia. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2017).

En base a lo anterior, se debe procurar el cumplimiento de las diferentes normativas vigentes en la actualidad por parte de los diferentes actores como las autoridades ambientales, los municipios, las entidades territoriales, las instituciones académicas, los generadores de emisiones y el público en general para poder proteger el recurso aire y evitar impactos graves al ambiente, a la salud humana y a la economía en general. Para poder dar cumplimiento a estas normativas de emisiones atmosféricas, se debe conocer la información de las emisiones que se generan y es por esto que un inventario de emisiones es necesario.

Un inventario de emisiones atmosféricas es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (Gaitán & Cárdenas, 2017, p. 8). Un inventario de emisiones atmosféricas es una fuerte e indispensable herramienta que permite gestionar y tomar decisiones de manera correcta en los temas relacionados con la calidad del aire, también permite que se conozca el estado actual de las fuentes que emiten contaminantes en cierto lugar y además se puede evaluar y actualizar con cierta periodicidad para poder desarrollar algunas medidas de control en los procesos que aportan contaminantes atmosféricos. Según la *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*, un inventario de emisiones atmosféricas puede ser expresado de la siguiente manera:

$$IEA = \sum_{I=1}^n E_{j,t} \text{ (Ecuación 1: sumatoria inventario de emisiones atmosféricas)}$$

Donde:

- **IEA:** inventario de emisiones atmosféricas para la sustancia o mezcla de sustancias (j) en el periodo de tiempo (t).
- $E_{j,t}$ : emisión atmosférica de la sustancia o mezcla de sustancias (j), generada por la actividad (i) en el periodo de tiempo (t).
- **n:** número total de actividades a inventariar.

Para poder estimar las emisiones de las diferentes fuentes inventariadas, se pueden emplear algunos de los siguientes métodos:

- **Medición directa.**
- **Balance de masas.**
- **Factores de emisión y factores de actividad.**

El método más preciso para la estimación de contaminantes atmosféricos es la medición directa, ya que se hace por medio de una medición continua en un periodo de tiempo determinado para cada una de las fuentes involucradas en el inventario.

Por otro lado, se cuenta con el método de balance de masas el cual requiere información bastante detallada tanto de las entradas como las salidas en las diferentes fuentes que se deseen inventariar y también se debe conocer esta información para un periodo de tiempo determinado.

Estos dos métodos mencionados requieren un alto costo económico y requieren equipos de medición o información muy precisa y detallada. Es por esto que el enfoque más común para estimar las emisiones de un inventario consiste en combinar información de los procesos de cada actividad (factor de actividad), con información de las emisiones asociadas a los procesos de dicha actividad (factor de emisión) (Gaitán & Cárdenas, 2017). Teniendo en cuenta este último enfoque, se puede expresar la ecuación 1 de la siguiente manera:

$$IEA = \sum_{i=1}^n (FE_{j,t} \times FA_{i,t}) \text{ (Ecuación 2: sumatoria inventario de emisiones atmosféricas)}$$

Donde:

- $FE_{j,i}$ : factor de emisión de la sustancia o mezcla de sustancias (j) para la actividad (i).
- $FA_{i,t}$ : factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t).

La ecuación puede variar dependiendo si las fuentes inventariadas cuentan con un sistema de control de emisiones que permita reducir los contaminantes generados y que no sean liberados en el aire.

Para poder desarrollar y elaborar este inventario de emisiones atmosféricas, se deben tener en cuenta una serie de etapas secuenciales que permitan una ejecución efectiva del inventario (Gaitán & Cárdenas, 2017):

- **Formulación:** esta es la etapa base de todo el inventario, allí se deben expresar el objetivo, el propósito y el alcance que se desea lograr con el desarrollo de este. En esta etapa no se requiere de avances de detalle importantes, ya que esto se define en las siguientes etapas.
- **Planificación:** se establecen los recursos necesarios para realizar el inventario (recursos humanos, recursos técnicos, presupuesto) y también se plasma la metodología y el cronograma de actividades a realizar.

- **Ejecución:** esta es la parte más importante del inventario, ya que aquí se desarrolla todo lo estipulado en el plan de trabajo. En esta etapa se recolecta la información, caracterización, cuantificación y clasificación de las fuentes a inventariar, también se estiman las emisiones por alguno de los métodos establecidos y se almacena y se reporta toda la información obtenida.
- **Evaluación y actualización:** en esta etapa se puede ampliar y cambiar la información contenida en el inventario de emisiones, por ejemplo, si se adquieren más equipos emisores o si se desea tener datos más detallados aplicando un método más preciso como es balance de masas o medición directa. También se puede evaluar que tan efectivas han sido las medidas tomadas para reducir las emisiones en caso de ser necesario.

### 3. Metodología

Para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la universidad EAFIT, se tuvieron en cuenta los pasos a seguir de la *Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*:

#### 3.1. Formulación

En esta parte se definió el objetivo del inventario de emisiones y su propósito según la necesidad que se tuvo desde la Universidad EAFIT, también se determinó el alcance tanto espacial como temporal del inventario:

- **Objetivo:** Cuantificar las emisiones atmosféricas generadas por las fuentes de los procesos de los laboratorios y de mantenimiento de la universidad EAFIT en el año 2021.
- **Propósito:** Generar información de emisiones y evaluar estrategias enfocadas a la prevención y control de la contaminación del aire.
- **Alcance:** Emisiones de gases de efecto invernadero y algunos contaminantes criterio generados en el campus sede Medellín de la universidad EAFIT entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2021.

#### 3.2. Planeación

En esta etapa se elaboró el plan de trabajo para desarrollar de manera eficiente y progresiva el inventario de emisiones. Se mencionaron tanto los recursos humanos como los recursos técnicos necesarios para elaborar el inventario, así como la metodología y el cronograma de actividades a realizar.

- **Metodologías usadas:** las emisiones se calcularon a través de factores de emisiones y factores de actividad. Los factores de emisiones fueron obtenidos de las *Directrices del IPCC de 2006 Sobre Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, de la *Guía de Inventario de Emisiones de la EEA* y la *Compilación de Factores de Emisión de la EPA*. Los factores de actividad fueron obtenidos a través de consultas con los diferentes coordinadores y técnicos de los equipos de los laboratorios de la universidad y también de los encargados del área de mantenimiento del campus los cuales operan equipos móviles que usan combustible.
- **Recursos humanos:**

**Tabla 1**

*Recursos humanos necesarios para el desarrollo del inventario*

<b>Recurso humano</b>	<b>Aporte en el inventario</b>
Practicante sistema de gestión ambiental EAFIT	Encargado del desarrollo del inventario de emisiones
Coordinadora sistema de gestión ambiental EAFIT	Evaluó y brindó asesoría en el proceso del inventario
Analista sistema de gestión ambiental EAFIT	Apoyó en el desarrollo del inventario en cuando a la manera de obtener la información requerida para elaborar el inventario y brindó asesoría
Coordinadores y técnicos de los laboratorios EAFIT	Brindaron los datos relaciones con los equipos de los laboratorios que operan en sus actividades académicas (tiempos de operación, combustible usado, fichas técnicas, observaciones de los equipos, entre otros)
Encargados del area de mantenimiento EAFIT	Brindaron los datos relaciones con los equipos de mantenimiento usados en el campus (tiempos de operación, combustible usado, fichas técnicas, observaciones de los equipos, entre otros)

- **Recursos técnicos:** para el desarrollo del inventario se contó con un equipo de cómputo y un programa que permitió registrar los datos obtenidos, en este caso se usó Microsoft Excel (herramienta de gestión de datos). No se utilizaron softwares sofisticados o costosos ya que la realización del inventario no lo requería debido al método utilizado para calcular las emisiones de las fuentes.
- **Cronograma de actividades:**

**Figura 1**

*Cronograma de actividades para el desarrollo del inventario*

Cronograma	Mes 1 (agosto)				Mes 2 (septiembre)				Mes 3 (octubre)				Mes 4 (noviembre)				Mes 5 (diciembre)				Mes 6 (enero)			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Actividad/semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Revisión de literatura	█	█	█	█																				
Análisis de la normatividad vigente					█	█	█																	
Etapas de formulación del inventario						█	█	█	█															
Etapas de planificación del inventario									█	█	█	█												
Etapas de ejecución del inventario													█	█	█	█								
Interpretación de los resultados																	█	█	█	█				
Elaboración del informe o documento	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Socialización																								█

### 3.3. Ejecución

En esta etapa del inventario se desarrollaron las actividades propuestas en el plan de trabajo. Esta es la etapa más importante ya que permitió obtener la información de las fuentes para así poder cuantificarlas y clasificarlas con el fin de estimar las emisiones de cada uno de los equipos que se establecieron dentro del inventario.

- **Recopilación de la información y cuantificación de las fuentes:** los datos que se recopilaron provienen de fuentes de información secundaria, es decir, fueron obtenidos mediante documentación y las operaciones anuales de los equipos inventariados brindadas por las personas encargadas del manejo y el mantenimiento de estos. Primero se hizo una solicitud mediante correo electrónico a todos los profesores, coordinadores y técnicos de los laboratorios de la universidad sobre cuales equipos consideraban que emitían algún tipo de contaminante atmosférico según su proceso (polvo, humo, gases, entre otros), así mismo, se consultó con el equipo de mantenimiento de la institución para conocer si dentro de sus actividades hacían uso de equipos que generaran algún tipo emisión o tuviesen un proceso de combustión. En el Anexo 1 se pueden observar todos los equipos mencionados por los coordinadores de los laboratorios. Luego esta información se filtró con el fin de poder determinar de una manera más precisa cuales equipos realmente entrarían en el inventario de emisiones. Las principales características analizadas para tener en cuenta un equipo en el inventario es si al ser operado se necesita de algún tipo de combustible en cualquiera de sus estados (sólido, líquidos o gaseoso) y también si se conoce la suficiente información relacionada con el tiempo de operación y el tipo de material usado dentro del proceso, por ejemplo, al cortar madera, al fundir algún elemento o compuesto. La gran mayoría de estos equipos funcionan con energía eléctrica, se utilizan para evaporar el agua contenida en ciertas sustancias o materiales, cuentan con un sistema de extracción y retención de partículas y gases que evitan que los contaminantes escapen al aire o algunos cuentan con un sistema de lavado de gases tipo Scrubber que permite que los gases contaminantes sean retenidos en un recipiente mediante el uso de agua, es por esto que algunos de los equipos que cumplen con algunas de estas características mencionadas no fueron tomados como parte del inventario de emisiones. Es importante resaltar que algunos equipos no se pudieron inventariar debido a la falta de información con respecto a los tiempos de uso diarios y al tipo de emisión que pueden generar como en el caso de las cortadoras laser, los soldadores y las pulidoras para metales, sin embargo, se hicieron hallazgos de algunas acciones de mejoras para estos equipos no inventariados que se pueden implementar a través de ciertas recomendaciones plasmadas en el trabajo desarrollado.

En total, se cuantificaron 6 fuentes de emisiones tanto fijas como móviles. En las tablas 2 y 3, se pueden apreciar los equipos incluidos en el inventario en donde se brinda una información básica de estos, como el tipo de fuentes, el año de fabricación, si cuentan con un control de emisiones, entre otros:

**Tabla 2***Datos sobre los equipos incluidos en el inventario*

Número	Equipo	Tipo de fuente	Año de fabricación o instalación	Tipo de motor	Tipo de proceso
1	Moto guadaña	Móvil	desconocido	2 tiempos	Químico
2	Sopladora	Móvil	2016	4 tiempos	Químico
3	Hidrolavadora	Móvil	desconocido	4 tiempos	Químico
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	Fija	2007	desconocido	Químico
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Fija	desconocido	desconocido	Químico
6	Caldera	Fija	1998	desconocido	Químico

**Tabla 3***Otros datos sobre los equipos incluidos en el inventario*

Número	Equipo	Control de emisiones (si/no)	Cuenta con ducto o chimenea	Cuenta con ficha técnica
1	Moto guadaña	no	no	si
2	Sopladora	no	no	si
3	Hidrolavadora	no	no	si
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	no	no	si
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	no	no	si
6	Caldera	no	si	si

- **Estimación de emisiones:** Para poder estimar las emisiones, se necesita información más precisa con respecto a las fuentes, es por esto que luego de definir las fuentes incluidas en el

inventario se realizó una consulta más detallada con los coordinadores, técnicos u operarios de los equipos elegidos con el fin de obtener sus tiempos de operación promedio y el tipo de combustible que usan, adicionalmente, se les solicitó la ficha técnica de los equipos (ver Anexos 2,3,4,5,6 y 7) para consultar información que pudiese ser relevante a la hora de calcular las emisiones, por ejemplo, la potencia de los motores de algunos equipos, las fichas técnicas están disponibles en los anexos 2,3 y 4. En la siguiente tabla se observan los datos mencionados anteriormente para cada uno de los equipos:

**Tabla 4**

*Tipo de combustible, potencia, tiempo de operación y gasto de combustible de los equipos inventariados*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Potencia (HP)	Tiempo de operación estimado y gasto de combustible
1	Moto guadaña	Gasolina	2,60	6 horas por semana durante todo el año y tiene un gasto de 6 l/mes.
2	Sopladora	Gasolina	3,70	2 horas diarias durante todo el año y tiene un gasto de 16.3 l/mes.
3	Hidrolavadora	Gasolina	13,00	8 horas por semana durante todo el año y tiene un gasto de 8.7 l/mes.
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM (Diésel)	317,00	1 hora a la semana durante los periodos de semestre académico de un año y tiene un gasto de 13.2 galones/mes.
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano (GLP)	desconocida	1 hora a la semana durante los periodos de semestre académico de un año y tiene un gasto de 1.2 m <sup>3</sup> /mes. *
6	Caldera	ACPM (Diésel)	desconocida	4 horas diarias de lunes a viernes (se usó durante el semestre 2021-1). Tiene un gasto de 480 galones/mes. *
		Gas natural		4 horas diarias de lunes a viernes (se usó durante el semestre 2021-2). Tiene un gasto de 1784 m <sup>3</sup> /mes. *

\* La duración de un semestre académico es de 4 meses. Se dieron 2 semestres académicos durante el 2021.

Para poder calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de los equipos, se requirió consultar la densidad de cada uno de los combustibles y los poderes caloríficos respectivos con el fin de calcular la demanda energética anual de los equipos y hacer el relacionamiento de los factores de emisión correspondientes a cada proceso o tipo de combustible. Tanto la densidad de los combustibles como su poder calorífico, fueron obtenidos de la calculadora de emisiones que ofrece la UPME la cual tiene un manual y una página web para obtener estos datos (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2015):

**Tabla 5**

*Densidades y poderes caloríficos de los equipos inventariados*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Densidad del combustible (Kg/m <sup>3</sup> ) *	Poder calorífico del combustible
1	Moto guadaña	Gasolina	741,20	43,254 MJ/Kg
2	Sopladora	Gasolina	741,20	43,254 MJ/Kg
3	Hidrolavadora	Gasolina	741,20	43,254 MJ/Kg
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM (Diésel)	851,90	45,275 MJ/Kg
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano (GLP)	559,90	49,0653 MJ/Kg
6	Caldera	ACPM (Diésel)	851,90	45,275 MJ/Kg
		Gas natural	desconocida **	35,6522 MJ/m <sup>3</sup>

\* Las densidades obtenidas de la UPME estaban expresadas en Kg/l, fueron convertidas a unidades de Kg/m<sup>3</sup> para facilitar el cálculo de las emisiones con los factores de emisión.

\*\* Para el gas natural no era necesario obtener un valor de densidad debido a que su poder calorífico ya tenía las unidades adecuadas para hacer los cálculos de las emisiones.

Los factores de emisión para calcular las emisiones de GEI fueron obtenidos de las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de efecto invernadero*. En el capítulo 3 de estas directrices se contemplan los equipos que hacen combustión móvil, allí se incluyen la maquinaria móvil usada en diferentes procesos como la agricultura, la silvicultura, el sector industrial (el cual incluye el mantenimiento y la construcción, entre otros (Davies et al., 2006).

Se escogieron los factores de emisión del sector industrial ya que las fuentes móviles inventariadas son usadas como equipos de mantenimiento dentro del campus universitario y se tuvo en cuenta el tipo de motor que usaba cada equipo.

Por otra parte, en el capítulo 2 se establecen los factores de emisión para calcular las emisiones de GEI de las fuentes de combustión estacionaria o fija, allí se dividen los factores de emisión por actividad industrial o comercial (industrias manufactureras, de construcción, energéticas, comerciales e institucionales, entre otras) y por tipo de combustible usado por la fuente o proceso a inventariar (Gómez et al., 2006). Las fuentes fijas de EAFIT fueron clasificadas dentro de la categoría comercial/institucional del capítulo 2 ya que estos equipos se usan para labores institucionales como el desarrollo de proyectos de investigación y para la enseñanza en diversos pregrados de la universidad. En la siguiente tabla se observan los valores de los factores de emisión por defecto elegidos para el tipo de combustible que maneja cada equipo:

**Tabla 6**  
*Factores de emisión para GEI*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Tipo de motor	Factor de emisión (Kg/TJ)		
				CO2	CH4	N2O
1	Moto guadaña	Gasolina	2 tiempos	69300	130	0,4
2	Sopladora	Gasolina	4 tiempos	69300	50	2
3	Hidrolavadora	Gasolina	4 tiempos	69300	50	2
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM (Diésel)	desconocido	74100	10	0,6
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano (GLP)	desconocido	63100	5	0,1
6	Caldera	ACPM (Diésel)	desconocido	74100	10	0,6
		Gas natural		56100	5	0,1

Para calcular las emisiones de contaminantes criterio de las fuentes inventariadas, se tuvieron en cuenta los factores de emisión presentados en la *Guía de Inventario de Emisiones de la EEA* y los factores de emisión de la *Compilación de Factores de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de la US-EPA*. Los factores de emisión de las fuentes móviles se obtuvieron de la guía de la EEA, en este documento se exponen estos factores para las fuentes móviles no viales específicamente en el capítulo 1.A.4 en donde se clasifican estos factores por sectores

---

productivos y tipos de fuentes (Rypdal et al., 2010). Para el caso de la motoguadaña, la hidrolavadora y la sopladora se tuvieron en cuenta los tipos de motor con el que operan los equipos (2 tiempos o 4 tiempos) y la potencia de esto para así poder elegir los factores de emisión con más precisión. En cuanto a la mesa sísmica con motor de combustión ACPM, sus factores de emisión fueron extraídos de la documentación de la EPA en el capítulo 3.3 el cual abarca la categoría de motores de combustión interna de gasolina y diésel usados en diferentes aplicaciones industriales como generadores, bombas, barredoras/fregadoras industriales, entre otros (*AP-42: Compilation of Air Emissions Factors / US EPA*, n.d.). La caldera funciona tanto con ACPM como con gas natural, sin embargo, solo fue posible clasificar la caldera con el uso del gas natural debido a que no se encontraron valores de factores de emisión de calderas que operen con ACPM. En la documentación de la EPA se encuentran los factores de emisiones del CO y NO<sub>x</sub> para las calderas que tienen un tipo de combustor pequeño de menos de 100 MMBtu el cual corresponde al caso de la caldera incluida en el inventario según la ficha técnica recibida por los técnicos del laboratorio de operaciones unitarias. Finalmente, para el quemador de gas propano (mezclador), no se pudieron obtener los factores de emisión de contaminantes criterio debido a la falta de información del equipo como la potencia o el tipo de clasificación que se le pueda dar en alguno de los modelos de emisiones. En la siguiente tabla se observan los factores de emisiones necesarios para el cálculo de los contaminantes criterio estudiados en este trabajo:

**Tabla 7***Factores de emisión para contaminantes criterio*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Tipo de motor	Potencia (Kw) *	Factor de emisión		Obtenido de
					CO	NOx	
1	Moto guadaña	Gasolina	2 tiempos	1,94	1500 g/kWh	1,00 g/kWh	EEA
2	Sopladora	Gasolina	4 tiempos	2,76	871 g/kWh	4,00 g/kWh	EEA
3	Hidrolavadora	Gasolina	4 tiempos	9,69	871 g/kWh	4,00 g/kWh	EEA
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM (Diésel)	desconocido	236,39	4,06e-3 Kg/kWh	0,031 Kg/kWh	EPA
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano (GLP)	desconocido	desconocida	desconocido	desconocido	N/A
6	Caldera	ACPM (Diésel)	desconocido	desconocida	desconocido	desconocido	EPA
		Gas natural			1344 Kg/10e+6 m <sup>3</sup>	1600 Kg/10e+6 m <sup>3</sup>	EPA

\* La potencia de los motores fue convertida a Kilowatts para facilitar la caracterización y obtención de los factores de emisión de las fuentes con los modelos de emisión.

- **Almacenamiento de la información:** toda la información recopilada en el desarrollo del inventario se almacenó en la plataforma de colaboración empresarial conocida como SharePoint de Microsoft en la cual la universidad EAFIT dispone todos sus documentos y archivos, en este caso, el inventario de emisiones atmosféricas el cual podrá ser revisado, evaluado y actualizado posteriormente, también se hizo uso de Excel de Microsoft la cual es una herramienta para la gestión de los datos y también para plasmar los datos en gráficas y tablas.
- **Reporte del inventario:** Uno de los objetivos del desarrollo del inventario es poder informar a los diferentes actores y responsables de preservar y cuidar el medio ambiente más específicamente la calidad del aire y la salud de las personas dentro del campus, es por esto que se citó a una reunión informativa en donde se presentaran los hallazgos de este trabajo y se dieran a conocer las recomendaciones que se pueden implementar para mejorar aún más los procesos que generan emisiones en EAFIT. Es posible la reunión se realice luego de la entrega de este trabajo por motivos administrativos y de disponibilidad de tiempo de las personas implicadas en el inventario.

Es importante aclarar que para la estimación de emisiones de las fuentes fijas no se contempló la variable de eficiencia de sistemas de control, teniendo en consideración que ninguna de las fuentes cuenta con dichos sistemas y a que, aunque se tienen datos teóricos de eficiencia, no es posible determinar la eficiencia efectiva de los mismos por razones de mantenimiento de los equipos y condiciones de instalación.

Las unidades y sus correspondientes equivalencias usadas en el trabajo se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 8***Unidades y equivalencias*

<b>Unidad</b>	<b>Equivalencia</b>
1 Kilogramo (Kg)	1000 gramos (g)
1 Horse Power (HP)	0,7457 Kilowatts (kW)
1 Litro (l)	0,001 Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
1 Galón	0,00378541 Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
1 Megajoules (MJ)	0,000001 Terajoules (TJ)
1 Kilowatt-hora	3,6 Megajoules (MJ)

## 4 Resultados

Se calcularon las emisiones de gases de efecto invernadero y algunos contaminantes criterio emitidos por las fuentes fijas y móviles incluidas en el inventario mediante la Ecuación 2.

### 4.1 Calculo de los consumos de combustible anual de los equipos

Con los datos presentados en la Tabla 4 sobre los tiempos de operación y el gasto mensual de los equipos, se calcularon todos los consumos anuales de las fuentes inventariadas. En la siguiente tabla se muestran los consumos expresados en m<sup>3</sup>/año:

**Tabla 9**

*Consumos de combustible anual de los equipos*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Tiempo de operación estimado y gasto de combustible	Consumo de combustible anual (m <sup>3</sup> /año)
1	Moto guadaña	Gasolina	6 horas por semana durante todo el año y tiene un gasto de 6 L/mes	0,072
2	Sopladora	Gasolina	2 horas diarias durante todo el año y tiene un gasto de 16.3 L/mes	0,196
3	Hidrolavadora	Gasolina	8 horas por semana durante todo el año y tiene un gasto de 8.7 L/mes	0,104
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM	1 hora a la semana durante los periodos de semestre académico de un año y tiene un gasto de 13.2 galones/mes	0,399
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano	1 hora a la semana durante los periodos de semestre académico de un año y tiene un gasto de 1.2 m <sup>3</sup> /mes	9,60
6	Caldera	ACPM	4 horas diarias de lunes a viernes (se usó durante el semestre 2021-1). Tiene un gasto de 480 galones/mes	7,268
		Gas natural	4 horas diarias de lunes a viernes (se usó durante el semestre 2021-2). Tiene un gasto de 1784 m <sup>3</sup> /mes	7136,00

## 4.2 Calculo de la demanda energética anual de los equipos

Para calcular la demanda anual de los equipos, los consumos fueron llevados a unidades de Kg con el uso de la densidad de cada tipo de combustible, esto con el fin de multiplicar el resultado con los poderes caloríficos correspondientes a cada combustible usado por los equipos del inventario, a excepción de la demanda energética del gas natural usado en la caldera ya que solo fue necesario multiplicar el consumo por su poder calorífico debido a las unidades en las que se halló este último. La demanda energética anual se muestra en la Tabla 10 y fue expresada en unidades de TJ/año para facilitar los cálculos de las emisiones de contaminantes generadas por las fuentes:

**Tabla 10**  
*Demanda energética anual de los equipos*

Número	Equipo	Tipo de combustible	Consumo de combustible anual (m3/año)	Densidad del combustible (Kg/m3)	Poder calorífico del combustible (MJ/Kg)	Demanda energética anual (TJ/año)
1	Moto guadaña	Gasolina	0,072	741,20	43,254 MJ/Kg	0,002
2	Sopladora	Gasolina	0,196	741,20	43,254 MJ/Kg	0,006
3	Hidrolavadora	Gasolina	0,104	741,20	43,254 MJ/Kg	0,003
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	ACPM (Diesel)	0,399	851,90	45,275 MJ/Kg	0,015
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	Gas propano (GLP)	9,60	559,90	49,0653 MJ/Kg	0,264
6	Caldera	ACPM (Diesel)	7,268	851,90	45,275 MJ/Kg	0,28032125
		Gas natural	7136,00	desconocida	35,6522 MJ/m3	0,254

## 4.3 Calculo de las emisiones de los GEI emitidos por las fuentes

Luego se calcularon las emisiones de los GEI que generan los equipos inventariados. Fue un cálculo sencillo en donde se utilizó la demanda energética anual como factores de actividad de la Tabla 10 y los factores de emisión de la Tabla 6, a continuación se muestran los resultados:

**Tabla 11***Emisiones de GEI de los equipos inventariados*

Número	Equipo	Demanda energética anual (TJ/año)	Factor de emisión (Kg/TJ)			Emisión de GEI (Kg/año)		
			CO2	CH4	N2O	CO2	CH4	N2O
1	Moto guadaña	0,002	69300	130	0,4	138,6	0,26	0,0008
2	Sopladora	0,006	69300	50	2	415,8	0,3	0,012
3	Hidrolavadora	0,003	69300	50	2	207,9	0,15	0,006
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	0,015	74100	10	0,6	1111,5	0,15	0,009
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	0,264	63100	5	0,1	16658,4	1,32	0,0264
6	Caldera (ACPM)	0,280	74100	10	0,6	20771,804	2,803	0,168
	Caldera (Gas natural)	0,254	56100	5	0,1	14249,4	1,27	0,0254
<b>Total</b>						<b>53553,404</b>	<b>6,253</b>	<b>0,247</b>

#### 4.4 Calculo de las emisiones de los contaminantes criterio emitidos por las fuentes

Al igual que para el cálculo de las emisiones de los GEI, se tomaron en cuenta las demandas energéticas de la Tabla 10 como factores de actividad y los factores de emisiones de los contaminantes criterio de la Tabla 7 de cada una de las fuentes inventariadas. Los valores de los factores de emisión presentados en la Tabla 7 fueron convertidos a unidades de Kg/TJ para facilitar la estimación de las emisiones de los contaminantes criterio. En la siguiente tabla se muestran los cálculos correspondientes a cada equipo:

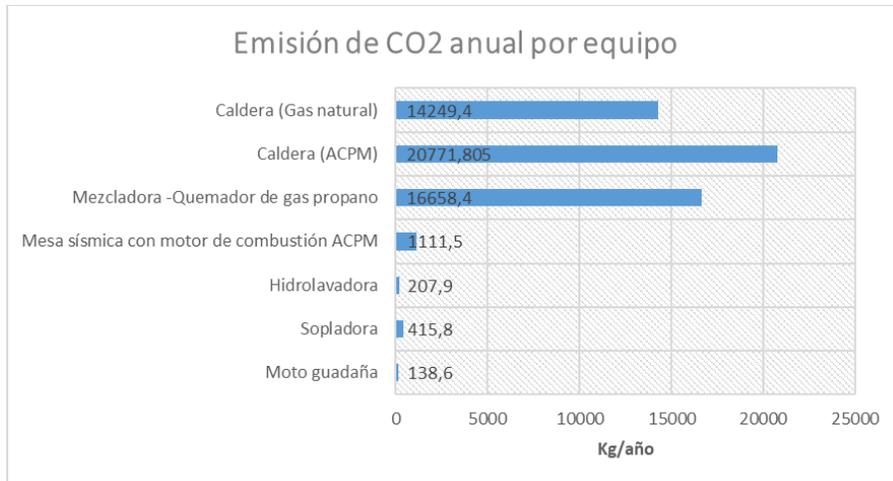
**Tabla 12***Emisiones de contaminantes criterio de los equipos inventariados*

Número	Equipo	Demanda energética anual (TJ/año)	Factor de emisión (Kg/TJ)		Emisión de contaminantes criterio (Kg/año)	
			CO	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
1	Moto guadaña	0,002	416666,67	277,78	833,33	0,56
2	Sopladora	0,006	241944,44	1111,11	1451,66	6,67
3	Hidrolavadora	0,003	241944,44	1111,11	725,83	3,33
4	Mesa sísmica con motor de combustión ACPM	0,015	1127,78	8611,11	16,92	129,16
5	Mezcladora - Quemador de gas propano	0,264	N/A	N/A	N/A	N/A
6	Caldera (ACPM)	0,28	N/A	N/A	N/A	N/A
	Caldera (Gas natural)	N/A *	0,001344 Kg/m <sup>3</sup>	0,0016 Kg/m <sup>3</sup>	9,59	11,42
<b>Total</b>					3037,33	151,14

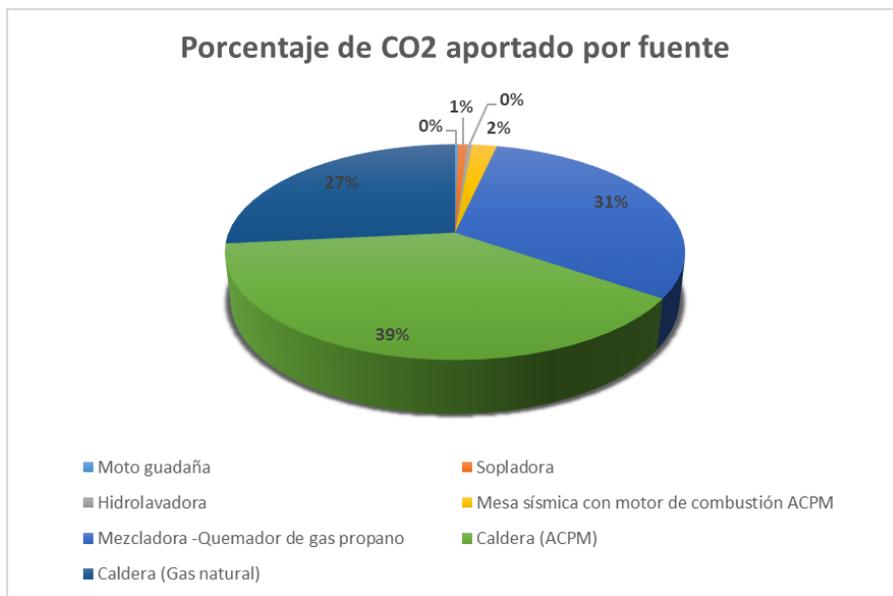
\* Para calcular las emisiones de contaminantes criterio de la caldera con gas natural, no fue necesaria la demanda energética ya que se calculó directamente multiplicando el consumo en m<sup>3</sup>/año por el factor de emisiones en Kg/m<sup>3</sup>.

Desde la Figura 2 hasta la Figura 7, en donde se expresan las emisiones anuales de GEI por cada fuente y sus respectivos porcentajes de aporte con respecto al total de emisiones por contaminante, se observa que tanto la caldera como el quemador de gas propano son los equipos que más emiten dióxido de carbono, metano y óxido nitroso.

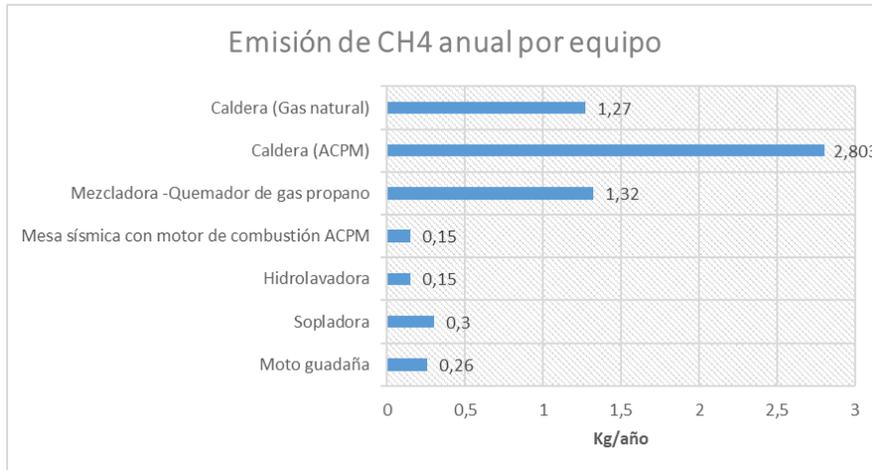
**Figura 2**  
*Emisión de CO2 anual por equipo*



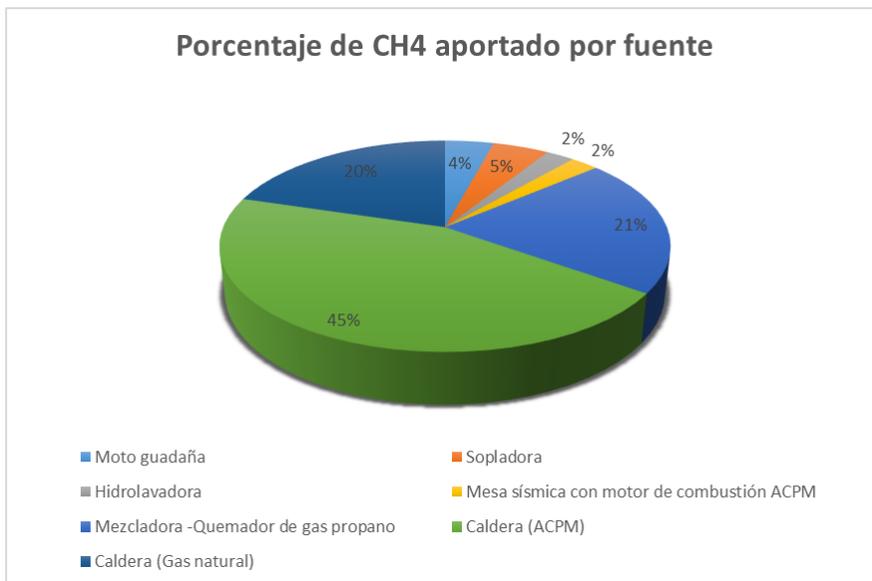
**Figura 3**  
*Porcentaje de CO2 aportado por fuente*



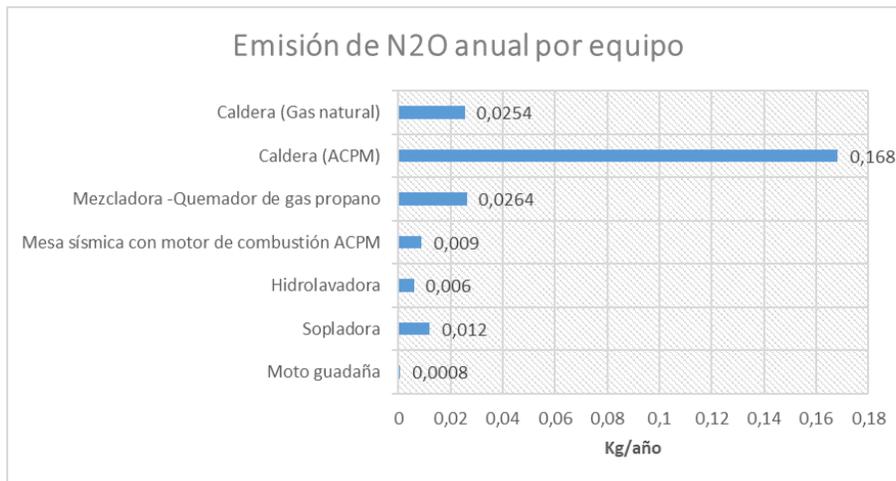
**Figura 4**  
*Emisión de CH4 anual por equipo*



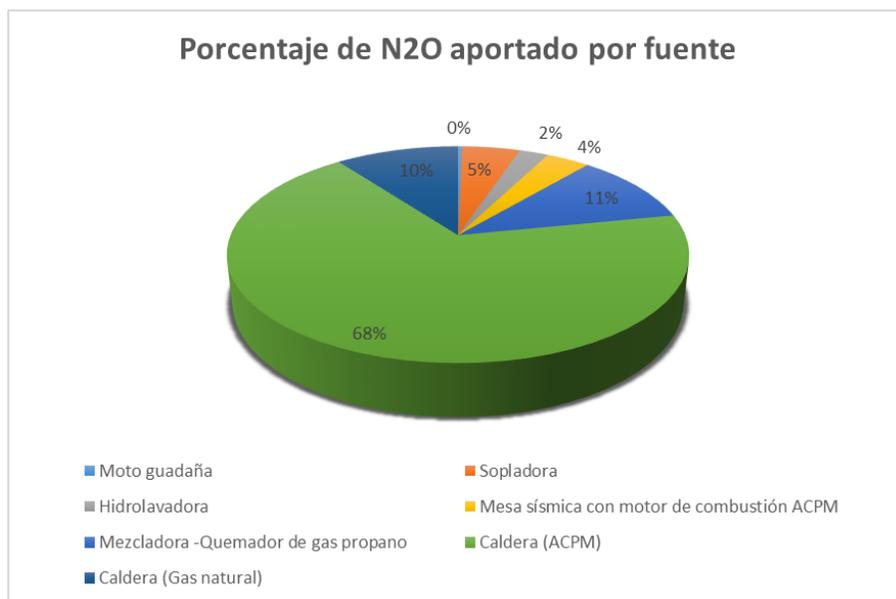
**Figura 5**  
*Porcentaje de CH4 aportado por fuente*



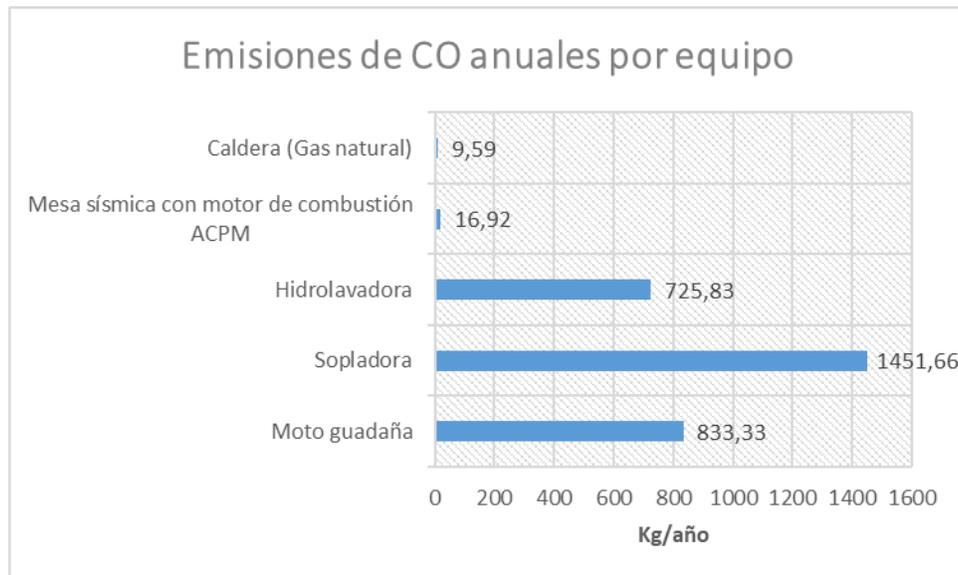
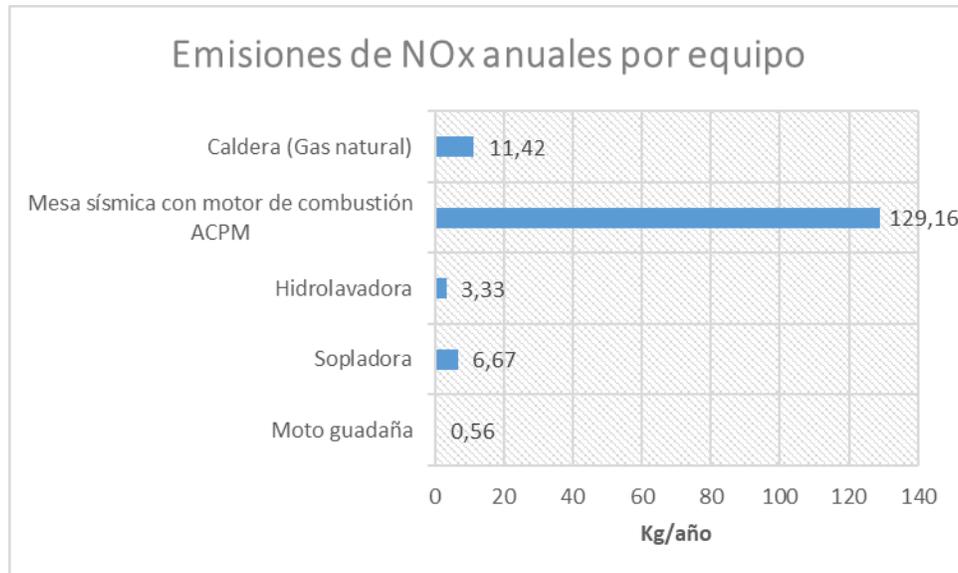
**Figura 6**  
*Emisión de NO<sub>2</sub> anual por equipo*



**Figura 7**  
*Emisión de NO<sub>2</sub> anual por equipo*



En las Figuras 8 y 9, se muestran los datos correspondientes a las emisiones de contaminantes criterio por cada una de las fuentes inventariadas. Se observa que los equipos que funcionan con gasolina (sopladora, hidrolavadora y moto guadaña) son los que más aportes brindan en cuanto a emisiones de monóxido de carbono, siendo la sopladora la que más emite. Por otro lado, vemos que la mayor cantidad de emisiones de óxidos de nitrógeno se dan por parte de la mesa sísmica con motor ACPM seguida de la caldera.

**Figura 8***Emisión de CO anual por equipo***Figura 9***Emisión de NOx anual por equipo*

#### 4.5 Cumplimiento de la normatividad

Al analizar y verificar si efectivamente la universidad EAFIT está cumpliendo con la normatividad vigente en lo relacionado con las emisiones de contaminantes por parte de las fuentes fijas y las fuentes móviles, se encontró que la Resolución 910 de 2008 que regula las emisiones de fuentes móviles no aplica para ninguno de los equipos de mantenimiento móviles (hidrolavadora, sopladora y moto guadaña), ya que los equipos no están acogidos dentro de la clasificación de fuentes móviles que se expone en la resolución a pesar de que estas fuentes de emisión tienen motores de 2 y 4 tiempos. Estos equipos móviles son utilizados para actividades de mantenimiento que son totalmente diferentes a la movilidad vehicular que regula la resolución.

**Tabla 13**

*Cumplimiento de la normatividad vigente de las fuentes inventariadas*

Normativa	Equipo o fuente de emisión					
	Caldera	Quemador de gas propano	Motor ACPM	sopladora	Hidrolavadora	Moto guadaña
Resolución 909 de 2008	Cumple	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Resolución 910 de 2008	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Resolución 912 AMVA de 2017	Cumple	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

Lo mismo ocurre en el caso del quemador de gas propano y la mesa sísmica que funciona con un motor ACPM. Este tipo de equipos no están acogidos o clasificados como tal dentro de la Resolución 909 de 2008 que regula las emisiones de fuentes fijas ya que estos equipos no son de uso industrial, solo se usan con fines académicos y su tiempo de operación es poco. En el caso particular de la caldera, se tiene un cumplimiento de la Resolución 909 de 2008, específicamente en el capítulo III, en donde se indican los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para equipos de combustión externa. A esta caldera se le hace mantenimiento y revisión de gases de combustión de manera anual, esta revisión se hace mediante medición directa y nos brinda información muy precisa sobre las concentraciones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>. Si comparamos los valores de

la medición realizada a la caldera en el 2021, podemos observar en la siguiente tabla que los datos están dentro de los límites que se exigen dentro de la Resolución 909:

**Tabla 14**

*Comparación de valores entre la medición y la norma*

	<b>Caldera gas natural (mg/m3)</b>	<b>Norma (mg/m3)</b>	<b>Caldera ACPM (mg/m3)</b>	<b>Norma (mg/m3)</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	0	No aplica	0	500
<b>NO<sub>x</sub></b>	74	350	81	350

*Nota:* Los valores de la medición de la caldera del año 2021 están expuestos en el Anexo 8.

Por otra parte, la Resolución 912 de 2017 expedida por el AMVA indica en el Artículo 9 la frecuencia de monitoreo de parámetros de gases y combustión de equipos de combustión igual o superior a 100 BHP, sin embargo, la caldera de EAFIT es un equipo de combustión de 20 BHP como se indica en la ficha técnica anexada (Anexo 2), esto quiere decir que la caldera está muy por debajo de los BHP que exige la normatividad. La universidad hace estas mediciones con el fin de hacer un seguimiento de este equipo, aunque la norma no lo exija como tal. Las mediciones de los parámetros de la caldera se muestran en el Anexo 8.

## 5 Conclusiones

- La universidad EAFIT cumple con la normatividad vigente sobre las emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles, a pesar de esto, la institución hace seguimiento a sus fuentes de emisión principales para poder establecer y desarrollar mejoras en sus procesos académicos y de mantenimiento.
- Se evaluó el desempeño ambiental de EAFIT en lo que respecta a emisiones atmosféricas a través de la implementación del inventario de emisiones. Las emisiones totales por cada tipo de contaminante que generaron los equipos en el año 2021 fue muy mínima, ya que la institución usa sus equipos de laboratorio y de mantenimiento en labores muy específicas y con baja actividad durante todo el año.
- El equipo que más emisiones de GEI aportó durante el 2021 fue la caldera. Se debe continuar haciendo seguimiento a este equipo con las mediciones directas anuales y también seguir usando gas natural como combustible principal para este.
- El contaminante que más se emitió durante el 2021, según los cálculos (53553,404 Kg/año), fue el CO<sub>2</sub>. A pesar de que esta cantidad es mínima en comparación con algún tipo de industria en donde sus procesos son continuos y demandas grandes cantidades de combustibles, se debe procurar disminuir estas emisiones constantemente a través de acciones y propuestas que se elaboren en conjunto con los sistemas de gestión de la universidad.
- Este inventario se realizó con datos estimados de operación de los diferentes equipos inventariados, por esto se debe intentar tener información más controlada y precisa sobre estos tiempos de operación para que, una vez se desee actualizar el inventario, se pueda contar con cálculos más exactos de las cantidades de contaminantes emitidos por las fuentes.
- Se debe analizar si los datos sobre el consumo de combustible del quemador de gas propano son correctos o no, ya que, según los cálculos del inventario, esta es la segunda fuente que más GEI emitió en el 2021. Este equipo particularmente es de pequeño tamaño y tiene un funcionamiento similar a la de una estufa de cocina, es por esto que las emisiones que generó no debieron ser tan altas.
- Se brindará toda la información hallada en este inventario a los diferentes coordinadores y técnicos que operan las fuentes inventariadas y no inventariadas con el fin de que se puedan

proponer acciones de mejora tanto para reducir las emisiones de contaminantes como para tener información más detallada de los equipos, las materias primas que usan, el tipo de contaminante que emiten y los tiempos de operación anuales. Esta reunión informativa tendrá lugar en el mes de febrero antes de terminar el periodo de la práctica académica.

- Los equipos usados para las labores de mantenimiento de la universidad (hidrolavadora, sopladora y moto guadaña) fueron los que más emisiones de CO aportaron en el año, sin embargo, estos datos pueden ser menores si se precisan mucho mejor los factores de actividad. Estos equipos también se les debe hacer mantenimiento periódico o una actualización de los mismos para así tener a la mano motores que generen menos contaminantes o que usen un combustible más eficiente y amigable con el medio ambiente.

## 6 Recomendaciones

Las recomendaciones que se brindan en este trabajo abordan tanto las fuentes que fueron incluidas en el inventario como las fuentes que no lo fueron. En el Anexo 1 se pueden observar todos los equipos de laboratorio mencionados por parte de los coordinadores y técnicos de los laboratorios de la universidad EAFIT:

- Llevar un control más riguroso de los materiales usados para cada uno de los procesos de los equipos de laboratorio, esto con el fin de poder recopilar información sobre las posibles emisiones que pueden emitir los equipos que no fueron inventariados y así poder incluirlos en el inventario una vez se decida hacer su actualización.
- Llevar un control de los tiempos de operación de manera más precisa, tanto de los equipos incluidos en el inventario como los que no fueron incluidos. Esta información es importante para tener datos más exactos sobre los factores de actividad de las fuentes y así poder calcular de manera más precisa sus emisiones de contaminantes.
- En el caso específico de las cortadoras laser, se recomienda poner filtros en sus respectivos tubos de escape para poder retener los humos y partículas generadas por estos equipos. Se deben conocer los materiales que se usan en estos equipos para poder determinar qué tipo de filtro es el más conveniente a la hora de retener las emisiones.
- Definir un tiempo en el cambio de los filtros de los equipos que ayudan a la extracción de contaminantes de los laboratorios, de esta manera se tendrá un control más efectivo de las emisiones mediante una mejor retención por los filtros con menor uso.
- Se recomienda que los equipos correspondientes al laboratorio de investigación en termocronología estén ubicados en un área en donde las emisiones de material particulado de las rocas no estén circulando por el ambiente de forma libre, también es recomendable que en este espacio se disponga de un equipo extractor con filtros circular el aire del lugar y retenga las emisiones.
- Hacer mantenimiento de los equipos extractores cada determinado tiempo para evitar que las emisiones no estén siendo evacuadas de buena manera en los diferentes espacios en los que se ubican las fuentes o procesos emisores.

- Ser muy responsables con el uso de equipos personales de protección al usar los equipos de laboratorio con el fin de evitar que las personas que utilizan los equipos se vean afectados por la inhalación de humos, partículas o vapores generados.

También se tienen algunas recomendaciones del libro *Ventilación Industrial* donde se menciona que las construcciones y edificios en general son muy diferentes el uno del otro, esto hace que se sea complicado fijar algunas normas en cuanto a la ubicación de los sistemas de ventilación, sin embargo, se recomienda aplicar las siguientes directrices generales (Alberto & Londoño, 2010):

- Los ventiladores deben situarse totalmente opuestos a las entradas de aire, de modo que el caudal de ventilación atraviese toda la zona contaminada.
- Colocar los extractores cerca de las fuentes de contaminación para captar el aire contaminado antes de que se difunda por el local.
- Alejar el extractor de una ventana abierta o entrada de aire exterior, para evitar que entre de nuevo el aire expulsado.

## Referencias

- Alberto, C., & Londoño, E. (2010). *VENTILACIÓN INDUSTRIAL*.
- AP-42: *Compilation of Air Emissions Factors / US EPA*. (n.d.). Retrieved January 23, 2022, from <https://bit.ly/3rPpUJQ>
- Colombia. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). *Resolución 912 de 2017 (mayo 19): Por medio de la cual se adoptan medidas en el sector industrial que contribuyan al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Área metropolitana del Valle de Aburrá.
- Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2013). *Resolución 1111 de 2013 (septiembre 2): Por la cual se modifica la resolución 910 de 2008*. Diario oficial.
- Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 2017 (noviembre 1): Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones*. Diario oficial.
- Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2008a). *Resolución 909 de 2008 (junio 5): Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones*. Diario oficial.
- Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2008b). *Resolución 910 de 2008 (junio 5): Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones*. Diario oficial.
- Colombia. Ministerio del medio ambiente. (1995). *Decreto 948 de 1995 (junio 5): Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire*. Diario oficial.
- Colombia. Ministerio del medio ambiente. (1997). *Resolución 619 de 1997 (julio 7): Por el cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas*. Ministerio del medio ambiente.
- Colombia. Presidencia de la República. (1982). *Decreto 02 de 1982 (enero 11): Por el cual se reglamentan parcialmente el título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas*. Diario oficial.
- Davies, Waldron.; Harnisch, Jochen.; Lucon, Oswaldo.; Mckibbon, Scott.; Saile, Sharon.; Wagner, Fabian y Walsh, M. (2006). CAPÍTULO 3. Combustión Móvil. *Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 78.
- Gaitán, M., & Cárdenas, P. A. (2017). *Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*. <https://bit.ly/33RWcM7>
- Gómez, D. R., Watterson, J. D., Americano, B. B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., Namayanga,

- 
- L. N., Osman-Elasha, B., Kalenga Saka, J. D., & Treanton, K. (2006). Combustión estacionaria. *Directrices Del IPCC de 2006 Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 1–47. <https://bit.ly/34b2u9p>
- Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones.* (n.d.). Retrieved January 22, 2022, from <https://bit.ly/3ICQOeJ>
- Rypdal, K., Webster, A., Fridell, E., Reynolds, G., Fontelle, J., Kilde, N., Hill, N., Thomas, R., & Winther, M. (2010). EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009, updated June 2010 1. *Structure, June*, 1–129.
- Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. (2015). *Manual Calculadora Fecoc 2015. 1*, 9. <https://bit.ly/3HePkXy>
- WHO, W. H. O. (2005). Actualización mundial 2005. *Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre Actualización*, 5(1), 1–21.

## Anexos

### Anexo 1. Equipos de laboratorio involucrados y no involucrados en procesos de generación de gases y vapores de la Universidad EAFIT.

Laboratorio	Equipo	Tipo de emisión / Información técnica
<b>Fenómenos químicos</b>	Bomba de vacío	Retiene vapores emitidos por otros procesos mediante filtros. Los filtros se cambian cada vez que se termina su vida útil. Funciona con energía eléctrica.
	Rotavaporador	Retiene vapores emitidos por otros procesos mediante un filtro y también cuenta sistema de lavado de gases que permite que sean retenidos en un recipiente. Funciona con energía eléctrica. Los filtros se cambian cada vez que se termina su vida útil.
	Cabina de extracción	La cabina cuenta con un sistema scrubber para el lavado de gases emitidos por otros procesos. Funciona con energía eléctrica. Los filtros se cambian cada vez que se termina su vida útil.
<b>Biología animal y vegetal</b>	Vacum	Retiene vapores emitidos por otros procesos mediante un filtro y también cuenta sistema de lavado de gases que permite que sean retenidos en un recipiente. Funciona con energía eléctrica. Los filtros se cambian cada vez que se termina su vida útil.
<b>Biología molecular</b>	Cabina de extracción	La cabina tiene extracción por filtro el cual retiene los gases de otros procesos. Funciona con energía eléctrica. Los filtros se cambian cada vez que se termina su vida útil.
<b>Control digital</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Electrónica</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Mecatrónica y mecánica experimental</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
	Máquina de corte por laser	Genera humo al cortar algunos materiales. Generalmente se usa acrílico. Cuenta con un sistema de extracción con filtros, los cuales son cambiados cada año. Funciona con energía eléctrica.
<b>Modelos</b>	Purificadores	Retienen las emisiones de los procesos desarrollados en el taller por medio de filtros. Los filtros se cambian cada vez que sea necesario, no hay un tiempo establecido para el cambio. Funcionan con energía eléctrica.

<b>Taller de madera</b>	Cortadora laser	Genera humo por corte de maderas, acrílicos, cartones. Solo se tiene un tiempo aproximado de uso del 80% de un semestre académico de la institución. Las emisiones son expulsadas directamente al aire por medio de un tubo de escape el cual no cuenta con filtros. Se desconocen los materiales exactos que se usan en la operación del equipo.
<b>Acabados</b>	Cabina de pintura	Genera vapores de solventes de pinturas (thinner, catalizadores). Cuenta con extractores y filtros que retienen los vapores generados. Estos filtros se cambian cada 3 meses.
<b>Taller de madera</b>	Cortadora laser	Genera humo por corte de maderas, acrílicos, cartones. Solo se tiene un tiempo aproximado de uso del 80% de un semestre académico de la institución. Las emisiones son expulsadas directamente al aire por medio de un tubo de escape el cual no cuenta con filtros. Se desconocen los materiales exactos que se usan en la operación del equipo.
<b>Procesamiento de materiales compuestos</b>	Cabina de pintura	Vapores de solventes de resinas (estireno, catalizadores). Cuenta con extractores y filtros que retienen los vapores generados. Estos filtros se cambian cada 3 meses.
<b>Laboratorio micro ingeniería</b>	Bombas de vacío	Retienen los vapores generados por otros procesos. El filtro se cambia cada 2 o 3 años dependiendo de su uso. Funciona con energía eléctrica.
	Chiller magnetrón	Solo genera vapor de agua. Funciona con energía eléctrica.
<b>Cuántica computacional</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Proyectos en física y electrónica</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Proyectos avanzados en física</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Coordinación y taller de mantenimiento</b>	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Física aplicada</b>	Cabina extractora	No está en uso.
	Bombas de vacío	Los vapores generados por otros procesos son contenidos con un filtro. El filtro se cambia cada 2 o 3 años. Funcionan con energía eléctrica
	Chiller	Solo genera vapor de agua y se usa muy poco. Funciona con energía eléctrica.
<b>Instrumentación y espectroscopia</b>	Mufla	Solo genera vapor de agua. Funciona con energía eléctrica.

	Bombas de vacío	Los vapores generados por otros procesos son contenidos con un filtro. El filtro se cambia cada 2 o 3 años. Funcionan con energía eléctrica
	Cautines para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
	Horno	Solo genera calor y vapor de agua. Se usa para el secado de vidriería de laboratorio. Funciona con energía eléctrica
<b>Investigación en termocronología</b>	Trituradoras de quijada	Generación de material particulado de rocas que circula en el medio ambiente. Ningún equipo cuenta con sistema de retención de partículas. No cuentan con un tiempo estimado de uso ya que su operación depende de la cantidad de investigaciones que se deban hacer.
	Trituradora cónica	
	Molino bolas	
	Sistema de tamizado	
<b>Investigación en fotoluminiscencia, laboratorio interno</b>	Cabina de Extracción	Retiene vapores de sustancias químicas como: Ácido Clorhídrico, Ácido acético. El equipo cuenta con sistema lavador de gases. Funciona con energía eléctrica. Se le hace mantenimiento anualmente.
<b>Hidráulica</b>	Planchas de calentamiento	Las sustancias que se usan en las planchas tienen puntos de ebullición mayores a los 200°C, por lo tanto nunca se emiten gases debido a que el calentamiento de la plancha no supera los 90°C. Funciona con energía eléctrica.
<b>Materiales</b>	Muflas	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
	Bombas de vacío	Los vapores generados por otros procesos son contenidos con un filtro. El filtro se cambia cada 2 o 3 años. Funcionan con energía eléctrica
<b>Maquinas instron sótano</b>	Cautín para soldar con estaño	Vapores por soldadura de estaño. Las emisiones muy mínimas. Se desconoce su tiempo de operación. Funcionan con energía eléctrica.
<b>Procesamiento de plásticos y cerámicos</b>	Chiller	Solo se evapora agua y funciona con energía eléctrica
	Impresora 3D	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
	Molino granulador	Vapores emitidos por el molido de piezas plásticas. No cuenta con sistema de extracción y se desconoce el tiempo de operación de la maquina ya que depende de los proyectos realizados en el año. Funciona con energía eléctrica
	Inyectora de plástico	Se inyecta plástico en moldes para hacer objetos. Los vapores generados por la evaporación del agua son principalmente debidos al funcionamiento del chiller que está ligado a la

		inyectora para poder regular su temperatura. Funciona con energía eléctrica.
	Medidor de índice de fluidez para termo plásticos	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
	Prensa hidráulica	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
<b>Investigación en materiales</b>	Vulcanizadora hidráulica	Pocos vapores generados por el uso de plástico y caucho en el equipo. Esta ubicada en un espacio cerrado que cuenta con cabina extractora que retiene los gases emitidos en un filtro. Funciona con energía eléctrica.
	Reómetro	Pocos vapores generados por el uso de plástico y caucho en el equipo. Está ubicada en un espacio cerrado que cuenta con cabina extractora que retiene los gases emitidos en un filtro. Funciona con energía eléctrica.
	Cabina extractora	Retiene en los filtros los gases de solventes orgánicos emitidos por otros procesos. Funciona con energía eléctrica.
<b>Operaciones unitarias</b>	Caldera	Emisiones provenientes del proceso de combustión de la caldera. Su uso promedio es de 4 horas diarias de lunes a viernes en un semestre académico de la institución. No se usa en temporada de vacaciones. En el semestre 2021-1 se usaba con ACPM pero luego en el 2021-2 se comenzó a usar con gas natural.
<b>Desarrollo de productos</b>	Cabina de Extracción	Extrae los vapores químicos generados por otros procesos. Cuenta con un sistema de lavado de gases. Funciona con energía eléctrica
<b>Bioprocesos</b>	Autoclaves	Solo genera vapor de agua que es dirigido a aguas negras
<b>Proyectos metalmecánicos y Soldadura</b>	Soldador tig	Estos equipos generan calor, proyecciones de chispas y partículas de metal con alto grado de calor. No cuentan con un sistema de extracción y tampoco se cuenta con información sobre el tiempo de uso estimado ni los materiales que se usan en su operación. Funcionan con energía eléctrica
	Soldador mig	
	Soldador de punto	

	Mesa de corte por plasma	No cuentan con un sistema de extracción y tampoco se cuenta con información sobre el tiempo de uso estimado. Generalmente se usan láminas de acero en el proceso de uso. Funciona con energía eléctrica.
	Pulidoras para metales	Generan calor, gases y humos metálicos contaminantes, proyecciones de chispas y partículas de metal con alto grado de calor. No cuentan con un sistema de extracción y tampoco se cuenta con información sobre el tiempo de uso estimado ni los materiales que se usan en su operación. Funcionan con energía eléctrica
<b>Laboratorios de suelos y pavimentos - cuarto húmedo</b>	Horno	Solo genera vapor de agua. Funciona con energía eléctrica
	Placa de calentamiento	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
	Estufa	Solo genera calor y funciona con energía eléctrica
	Autoclave	Solo se evapora agua y funciona con energía eléctrica
	Baños de agua caliente	Solo se evapora agua.
	Bombas de vacío	Extrae los gases generados por otros procesos. La bomba no cuenta con filtros.
	Cabina de extracción de gases	Tiene filtro que retiene vapores de disolventes aromáticos generados por otros procesos. El filtro se cambia cada 2 o 3 años. Funciona con energía eléctrica
<b>Laboratorios de construcción</b>	Horno	Solo se evapora agua y funciona con energía eléctrica
	Mufla	Solo genera calor, funciona con energía eléctrica
	Estufa	Solo genera calor, funciona con energía eléctrica
	Cabina de extracción de gases	Tiene sistema scrubber para lavado de vapores de disolventes aromáticos y azufre generados por otros procesos. Funciona con energía eléctrica.
	Quemador de gas propano	Se quema gas propano en su operación. Se usa una hora a la semana aproximadamente excepto en temporada de vacaciones en la institución.
<b>Laboratorios de ensayo productos y mesa vibratoria</b>	Motor de combustión ACPM	Se usa ACPM para su operación. Se usa una hora a la semana aproximadamente excepto en temporada de vacaciones en la institución. Se hace mantenimiento anual al equipo y cuenta con filtros que retienen los contaminantes.

**Anexo 2. Ficha técnica de la caldera.**

1. DATOS GENERALES			
Marca:	JCT	No. Inventario:	7600100
Modelo:	20 HP ACPM/GAS	Ubicación:	13-104
Tipo:	Mecánico	Precio Compra:	\$ 34'500.000
Serie	1543	Fecha Fabricación	1998/03/06

2. DATOS TÉCNICOS			
Rango de trabajo	0 a 100 psi 0 – 280 °C	Espesor de lámina	0.95 pulgadas
Consumo de Combustible	6 galones/hora 22.3 mt <sup>3</sup> /hora (Gas Natural)	Tubería	ASTM 192

Página 1 de 2

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD</b>  <b>ASEGURAMIENTO DE EQUIPOS</b>	Código: FR-CLAB-RGI-SGC-02
		Versión: 04 Aprobado: 2019-07-15

Superficie de Calefacción	130 pie <sup>2</sup>	Presión de trabajo máx.	150 psi
Vapor	690 lb/hora	Presión de Diseño	160psi
Espesor Cuerpo	5/8 ASTM 515 GR 70	Capacidad	20 BHP ( Caballos de Fuerza)
Espesor Espejos	5/8 ASTM 285 GRC	Poder Calorífico (ACPM)	138500 BTU/ Galón
Paso	3		

**Anexo 3. Ficha técnica de la hidrolavadora.**

Características	Beneficios
Descripción	Hidrolavadora Enermax Gasolina 13hp 3600psi 18,2lpm
Potenciado con	Motor Gasolina OHV Honda 13hp @3600rpm
Motor	GX390H1 QH1
Tipo	Monocilíndrico 4 Tiempos
Modo Refrigeración	Por aire, cilindro inclinado 25°
Tipo de Camisa de Cilindro	Camisa de acero
Diámetro x Carrera (mm)	88 X 64
Cilindrada (cc)	389
Relación de compresión	8.5:1
Potencia neta (hp)	13
Tipo de arranque	Manual (retráctil)
Consumo a potencia nominal (l/h)	3,5

**Anexo 4. Ficha técnica de la mesa sísmica con motor ACPM.**

1. IDENTIFICACIÓN			
Marca:	Autoconstrucción	No. Inventario:	28074
Modelo:	N.A	Ubicación:	Bloque 21
Serie:	N.A	Precio Compra:	275.126.365
Software:	Siemens	Fecha ingreso:	Mayos de 2007
2 DATOS TÉCNICOS			
Rango:	100 mm de desplazamiento	Resolución:	0.1 gravedad
Voltaje:	110 V		
Potencia:	1.5 gravedad		
Peso:	N.A		
3. DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS ESPECIALES			
Denominación		Características generales	
Motor Cummins No. Inventario: 53188		Potencia: 317 HP -1800 RPM	
		Precio Compra: 62.220.000	
4. INSUMOS REQUERIDOS			
Descripción	Referencia comercial	Cantidad	
ACPM	Diesel	3,3 galones/hora	

**Anexo 5. Ficha técnica del quemador de gas propano.**

1. IDENTIFICACIÓN			
Marca:	Controls	N° Inventario:	8130600
Modelo:	B75/Z	Ubicación:	Bloque 19 Sótano
Serie:	No Aplica	Precio Compra:	-
Software:	No Aplica	Fecha ingreso:	-
2. DATOS TÉCNICOS			
Rango:	No aplica	Resolución:	No Aplica
Voltaje:	120 V	Potencia:	No Aplica
Peso:	No Aplica		
3. REQUISITOS DE ALMACENAMIENTO Y/O TRANSPORTE			
Temperatura:		Medio de transporte:	
Humedad:		Posición:	
Lubricación:		Embalaje:	
Aislamiento:			
Lugar:			

Página 1 de 2

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD</b>	Código: FR-CLAB-SGC-07 Versión: 03 Aprobado: 2018-10-16
	<b>ASEGURAMIENTO DE EQUIPOS</b>	

4. DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS ESPECIALES		
Denominación	Características generales	
Recipiente para mezclado	-	
Paleta para mezclar	-	
Quemador a gas	Gas propano, 0,3 m3/hora	
5. INSUMOS REQUERIDOS		
Descripción	Referencia comercial	Cantidad
Grasa para lubricación del engranaje	-	-

**Anexo 6. Ficha técnica de la moto guadaña.**

DATOS TÉCNICOS	CARACTERÍSTICAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>› <b>Peso:</b> 7,9 kg</li> <li>› <b>Cilindrada:</b> 38,9 cc</li> <li>› <b>Potencia:</b> 2,6 HP</li> <li>› <b>Cap. tanque combustible:</b> 0,53 l</li> <li>› <b>Tamaño de cuchilla:</b> 12"</li> <li>› <b>Herramienta corte:</b> Nylon y cuchilla</li> </ul>	<p><b>STIHL ElastoStart:</b> El sistema ElastoStart absorbe los puntos de esfuerzo creados en el proceso de arranque por la presión de compresión. Con este sistema se reducen considerablemente las fuerzas transmitidas al usuario en el momento de arrancar la máquina, por lo que no daña ni músculos ni articulaciones.</p> <p><b>Sistema de encendido electrónico:</b> Garantiza un arranque fiable y un funcionamiento del motor sin problemas. Está totalmente encapsulado y por tanto es inmune a la humedad y la suciedad.</p>
	

**Anexo 7. Ficha técnica de la sopladora.****Datos técnicos**

Cilindrada cm <sup>3</sup>	64,8
Potencia_ CV	3,8
Peso kg <sup>1)</sup>	10,2
Caudal máximo de aire m <sup>3</sup> /h <sup>2)</sup>	1.720

## Anexo 8. Concentraciones promedio de los gases de combustión de la caldera en el año 2021.

**Tabla 1. Concentraciones promedio de los gases de combustión en el proceso producción de vapor de la caldera de 20 BHP durante el día 12 de Noviembre de 2021.**

COMB	% O <sub>2</sub>	% de Exceso de Aire	mg/m <sup>3</sup> N CO corregido (11%)	mg/m <sup>3</sup> N NOx corregido (11%)	mg/m <sup>3</sup> N SO <sub>2</sub> corregido (11%)	Temperatura de Gases de Combustión (°C)	Temperatura de Ambiente (°C)	% CO <sub>2</sub>	% Eficiencia de Combustión
GAS	8,7	67	0	57	0	116	26	7,0	90,0
GAS	9,4	88	3	53	0	114	26	6,6	87,7
ACPM	10,1	98	0	74	0	110	27	8,2	94,2
ACPM	9,3	86	0	81	0	128	27	8,8	93,5

**Nota 1:** Las concentraciones son reportadas a condiciones de referencia (corregido al 11 % de oxígeno, 25 °C y 760 mmHg).