

**Análisis Del Impacto Ambiental Generado Por El Horno Crematorio Jardín
De La Localidad De Fontibón**

Liceth C. Gonzalez y Claudia A. Urrego

Msc. Vanessa Rodríguez Rueda

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Ambiental, Ingeniería ambiental

Sede Sur

2020

**Análisis Del Impacto Ambiental Generado Por El Horno Crematorio Jardín
De La Localidad De Fontibón**

Liceth C. Gonzalez y Claudia A. Urrego

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Ambiental, Ingeniería ambiental

Sede Sur

2020

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedicamos principalmente a nuestros padres por el apoyo incondicional que nos han brindado en el trayecto de la carrera que con tanta dedicación y esfuerzo hemos sacado adelante.

A nuestras hermanas por brindarnos un soporte y una ayuda cada vez que lo necesitábamos, por valorar nuestra entrega para ser profesionales con ética e integridad.

A los docentes que nos brindaron sus conocimientos, su paciencia y su entrega, por los valores y principios que fundaron en nosotras.

A nuestros amigos y demás personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo de grado a través de sus aportes tan significativos para nosotras.

Liceth Gonzalez & Claudia Urrego

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a nuestros padres y hermanas por ser nuestro polo a tierra, nuestro motor y las ganas de seguir adelante, creciendo día a día como personas y profesionales.

En segunda instancia agradecemos a nuestras mascotas por brindarnos amor y compañía cuando lo necesitamos.

Agradecemos a los docentes que con su dedicación forman profesionales íntegros e idóneos, especialmente a la profesora Vanessa Rodríguez Rueda por el acompañamiento que nos brindó durante la realización de este proyecto de grado.

Finalmente agradecemos a todas las personas que formaron parte de la realización de este proyecto, que de una u otra forma nos apoyaron en cada una las etapas de este proceso.

Liceth Gonzalez & Claudia Urrego

Resumen

El presente trabajo de grado es una investigación que analiza el impacto ambiental ocasionado por la actividad de un horno crematorio instalado en un cementerio ubicado en la Localidad de Fontibón, se realizó a través de un diagnóstico inicial de la situación actual de la zona, por medio de una matriz de diagnóstico de causa y efecto con el fin de identificar los impactos en las etapas de estudio, construcción, operación y desmantelamiento.

Se determinan las distancias de dispersión para cada una de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos liberados mediante una modelación realizada en los softwares Screen View y Arcgis obteniendo de esta forma el área de dispersión representada en los mapas de la zona, y finalmente se realiza la formulación de alternativas de mitigación del impacto analizado, este proyecto tiene como finalidad el proponer estrategias las cuales pueden ser adoptadas por el cementerio y la comunidad.

Palabras clave

Cremación, horno crematorio, impacto ambiental, calidad del aire, formulación de alternativas y modelación.

Abstract

This degree work is an investigation that deals with the analysis of environmental impact caused by the activity of a crematorium installed in a cemetery located in the town of Fontibón, it was carried out through an initial diagnosis of the current situation in the area, by means of a cause and effect diagnosis matrix in order to identify the impacts in the study, construction, operation and dismantling stages.

The dispersion distances are determined for each of the concentrations of the atmospheric pollutants released by means of a modeling carried out in the Screen View and Arcgis software,

obtaining in this way the dispersion area represented in the maps of the area, and finally the formulation is made of alternatives to mitigate the impact analyzed, this project aims to propose strategies which can be adopted by the cemetery and the community.

Key words

Cremation, cremation oven, environmental impact, air quality, formulation of alternatives and modeling.

Tabla de contenido

1. Introducción	12
2.1 Objetivo General	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. Marco Conceptual	14
3.1 Hornos Crematorios y sus Particularidades	14
3.1.1 <i>¿Qué es un Horno Crematorio?</i>	14
3.1.2 <i>¿Qué es un impacto?</i>	18
3.1.3 <i>Aspectos Legales</i>	30
3.2 Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos	30
3.2.1 <i>¿Qué es un Modelo?</i>	30
3.2.2 <i>Modelos Matemáticos</i>	31
3.2.3 <i>Modelos para el Análisis de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos</i>	31
3.3 Formulación de Alternativas de Corrección y Mitigación	38
3.3.1 <i>Alternativas de Manejo Ambiental</i>	38
3.3.2 <i>Medidas de Corrección</i>	39
3.3.3 <i>Medidas de Mitigación</i>	39
4. Estado Del Conocimiento	41
4.1 Hornos Crematorios y sus Particularidades	41
4.1.1 <i>¿Qué es un horno?</i>	41
4.1.2 <i>Impactos Ambientales</i>	43
4.1.3 <i>Aspectos Legales</i>	46
4.2 Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos	47
4.3 Formulación de Alternativas de Corrección y Mitigación	48
5. Metodología	49
5.1 Fase de Diagnostico	50
5.2 Fase de Modelación	51
5.3 Fase de Formulación de Alternativas	51
6. Resultados y Discusión	51

6.1	Diagnóstico	51
6.1.1	<i>Descripción General de la Localidad de Fontibón</i>	52
6.1.2	<i>Descripción del Componente Socioeconómico</i>	56
6.1.3	<i>Descripción del Componente Atmosférico</i>	57
6.1.4	<i>Delimitación del Área de Estudio</i>	58
6.1.5	<i>Identificación de Impactos Ambientales</i>	59
6.1.6	<i>Identificación de Aspectos Legales</i>	62
6.2	Análisis de Dispersión de Contaminantes	63
6.2.1	<i>Resultados Escenario #1</i>	65
6.2.2	<i>Resultados Escenario #8</i>	67
6.2.3	<i>Resultados Escenario #15</i>	68
6.2.4	<i>Resultados Escenario #22</i>	69
6.3	Formulación de Alternativas	71
6.3.1	<i>Adquisición de Sistemas de Tratamiento y Depuración de Gases</i>	74
6.3.2	<i>Implementación de sensores de calidad del aire</i>	79
7.	Conclusiones	81
8.	Recomendaciones	82
9.	Referencias	83

Lista de tablas

Tabla 1. Ejemplo de matriz de causa-efecto. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001)..	23
Tabla 2. Matriz Vicente Conesa. Fuente: Modificado a partir de Fernandez 2010.	25
Tabla 3. Categoría y clasificación de impactos ambientales. Fuente: Modificado a partir de (Fernandez, 2010).	29
Tabla 4. Estabilidad atmosférica. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).....	33
Tabla 5. Clasificación de usos del suelo localidad de Fontibón. Fuente: Tomado de diagnóstico Fontibón POT 2020.....	54
Tabla 6. Concentración de los contaminantes por hora. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB.....	57
Tabla 7. Valores de variables meteorológicas. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB.	58
Tabla 8. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire en hornos crematorios. Fuente: Tomado de Resolución 909 de 2008.....	62
Tabla 9. Niveles de exposición de contaminantes atmosféricos. Fuente. Modificado a partir de MinAmbiente, 2017 y OMS, 2005.	63
Tabla 10. Parámetros iniciales para la modelación. Fuente: Elaboración propia a partir del software SCREEN VIEW	63
Tabla 11. Concentración de los contaminantes requeridos por Screen View. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de VEZZANIFORNI, 2005.....	64
Tabla 12. Parámetros técnicos de la chimenea. Fuente: Tomado de AMERICAN CREMATORY EQUIPMENT COMPANY y VEZZANIFORNI.	64
Tabla 13. Características de los escenarios de modelación. Fuente: Elaboración propia.....	65
Tabla 14. Comparación de alternativas. Fuente. Elaboración propia.	71
Tabla 15. Propuesta de sistema de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda. Fuente. Elaboración propia.....	75
Tabla 16. Cronograma de propuesta. Fuente. Elaboración propia.....	78

Tabla 17. Propuesta de Implementación de sensores de calidad del aire. Fuente. Elaboración propia.	79
Tabla 18. Cronograma de la propuesta. Fuente. Elaboración propia.....	80

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de un horno crematorio. Fuente. Tomado de Peña 2013.	14
Figura 2. Funcionamiento de un horno de parrilla. Fuente: Tomado de (Feal Veira, 2011).	15
Figura 3. Lecho fluidizado. Fuente: Tomado de (CORANTIOQUIA, 2008).	16
Figura 4. Proceso general de la evaluación de impacto ambiental. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001).	20
Figura 5. Ejemplo de superposición cartográfica. Fuente: Tomado de (Espinoza, 2001).	22
Figura 6. Lineamientos para la modelación. Fuente: Modificado a partir de EPA CARTAGENA, 2015.....	32
Figura 7. Diagrama de emisión de fuente elevada y penacho Gaussiano. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).....	34
Figura 8. Modelo de caja. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).	35
Figura 9. Modelado de trayectoria de contaminantes. Fuente: Tomado de (García, 2012).....	36
Figura 10. Comportamiento de un gas denso. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).	38
Figura 11. Medidas de mitigación. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001).	40
Figura 12. Diagrama de la metodología de estudio. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 13. Superposición de UPZ Fontibón correspondientes al área de influencia. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.	52
Figura 14. Mapa de cuerpos hídricos en Fontibón. Fuente: Elaboración propia a partir de Arcgis.	53
Figura 15. Mapa uso de suelo en Fontibón. Fuente: Elaboración propia a partir de Arcgis.....	55
Figura 16. Delimitación de área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.	59
Figura 17. Impacto de los procesos de cremación. Fuente. Elaboración propia.....	61

Figura 18. Dispersión de PM. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.....	66
Figura 19. Mapa de dispersión de PM ₁₀ . Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.	66
Figura 20. Dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.	67
Figura 21. Mapa de dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.	67
Figura 22. Dispersión de NO ₂ . Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.	68
Figura 23. Mapa de dispersión de NO ₂ . Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.....	69
Figura 24. Dispersión de SO ₂ . Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.	70
Figura 25. Mapa de dispersión de SO ₂ . Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.	70
Figura 27. Etapas del sistema de tratamiento y depuración de gases.	75
Figura 28. Sistema de tratamiento y depuración de gases. Fuente. Tomado a partir de Incol, 2016.	77
Figura 29. Sensores de calidad del aire. Fuente. Tomado a partir de PurpleAir, 2020.	80
Figura 2. Dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.	126

Lista de anexos

Anexo 1. Matriz Vicente Conesa.	90
Anexo 2. Marco normativo vigente.	96
Anexo 3. Escenarios de modelación.	106
Anexo 4. Artículo del trabajo de investigación.	118

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de importancia. Fuente: Modificado a partir de (Fernandez, 2010).....	29
Ecuación 2. Ecuación Gaussianos. Fuente: Modificado de (Villar, 2017).	34
Ecuación 3. Ecuación de modelos eulerianos. Fuente: Modificado a partir de (Villar, 2017).	37
Ecuación 4. Indicador de reducción de emisiones. Fuente. Elaboración propia.....	77
Ecuación 5. Indicador de divulgación de la propuesta. Fuente. Elaboración propia.	80
Ecuación 6. Indicador de sensores en funcionamiento. Fuente. Elaboración propia.....	80

1. Introducción

La industria fúnebre a través de sus procesos internos contribuye significativamente al impacto ambiental del entorno (Ortiz, 2019), las emisiones liberadas en el proceso de la cremación de cadáveres son en ocasiones causa principal de emergencias de calidad ambiental en las ciudades (Semana, 2020), y así mismo genera afectación a la salud pública de los habitantes que actúan como receptores directos de estas emisiones (P. Herrera, 2015).

Por otra parte, el impacto positivo con la generación de empleo y la contribución al desarrollo económico del sector es importante de resaltar (Ortiz, 2019), lo anterior se da a través del análisis de evaluación de impacto ambiental que se realiza sobre esta actividad, en la Localidad de Fontibón un horno crematorio lleva a cabo la incineración de cadáveres, los habitantes de esta zona manifiestan molestar a raíz de la acción de este horno (Semana, 2020).

En el este documento se presenta el análisis de impacto de este horno en Fontibón teniendo como enfoque la afectación a la comunidad y los procesos que generan este impacto, incorporando la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos y la formulación de alternativas de manejo ambiental como propuesta para la disminución del impacto ambiental generado por la actividad fúnebre (Garmendia, 2005).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar estrategias de manejo frente al impacto ambiental generado por las emisiones atmosféricas en la localidad de Fontibón, principalmente a causa de la presencia del horno crematorio Jardín de la Localidad de Fontibón.

2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la situación actual en torno a la calidad del aire y el uso de un horno crematorio en Fontibón, teniendo en cuenta impactos generados, aspectos técnicos y legales.
- Modelar la dispersión de contaminantes atmosféricos en la zona de estudio de acuerdo a las principales fuentes de contaminación.
- Formular alternativas de corrección y mitigación en la zona de acuerdo a los niveles de contaminación del aire en la zona.

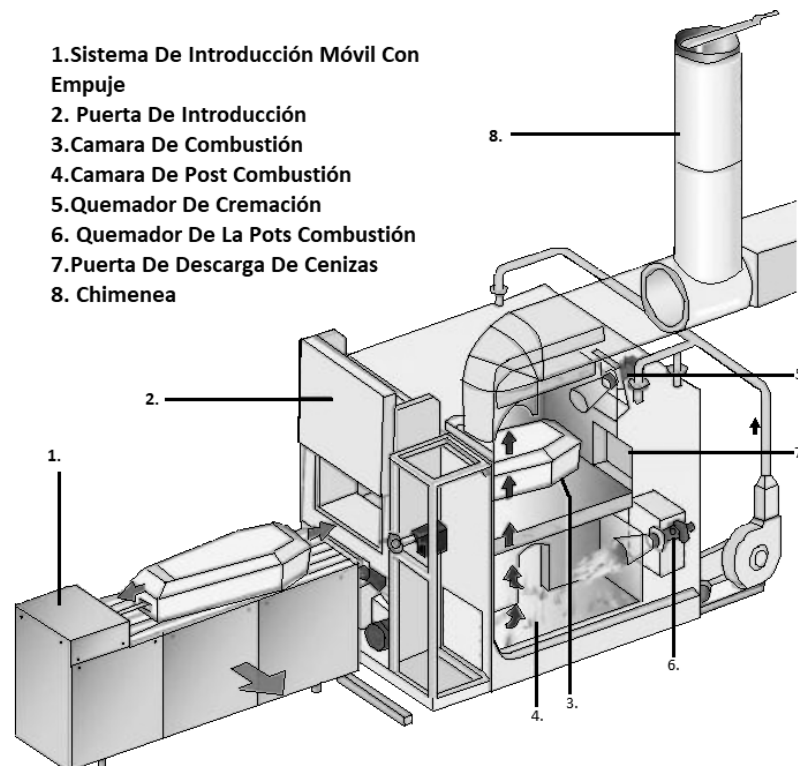
3. Marco Conceptual

3.1 Hornos Crematorios y sus Particularidades

3.1.1 ¿Qué es un Horno Crematorio?

Un horno crematorio es un equipo en el que se lleva a cabo la incineración de un residuo en específico, este proceso depende del suministro de calor, que a su vez puede transferirse de forma directa e indirecta, en la primera de ellas es necesaria la combustión interna en la cámara y en esta misma debe haber una ventilación para realizar la liberación de los gases, en cuanto a la forma indirecta se efectúa un suministro de calor por medio de sistema de transferencia de calor (Peña, 2013).

Figura 1. Diagrama de un horno crematorio. Fuente. Tomado de Peña 2013.

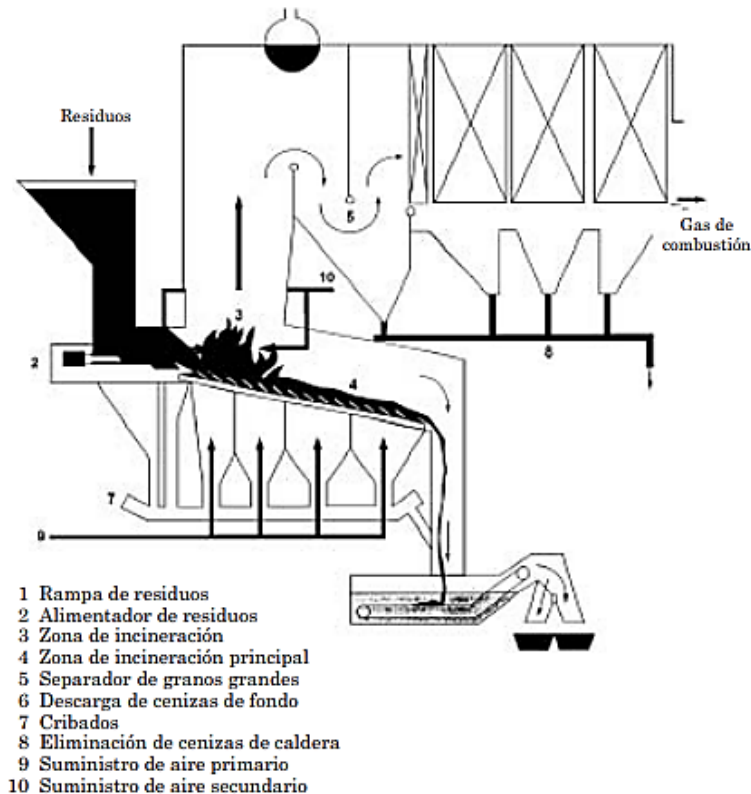


Con base en la estructura de diseño es posible identificar tres tipos de hornos; los de cámara múltiple funcionan en su gran mayoría en condiciones de exceso de aire, por otra parte se

encuentran los hornos rotatorios, su forma cilíndrica permite que el sistema gire de modo que los residuos sean mezclados y desplazados por toda la cámara de combustión hasta que llega al punto del descargue del residuo, por último, están los hornos de aire controlado, en este se maneja una gradualidad del aire para lograr una incineración más completa (CORANTIOQUIA, 2008).

Por otro lado, están los hornos de parrilla, estos son los más usados en el tratamiento de residuos sólidos por su capacidad volumétrica, su finalidad es realizar un mezclado homogéneo para que estos residuos estén expuestos al fuego, estos tienen dos tipos de mecanismos para el desplazamiento de los residuos el primero de ellos son de parrilla móvil y el segundo de parrilla con cilindro (Johnke, 2001).

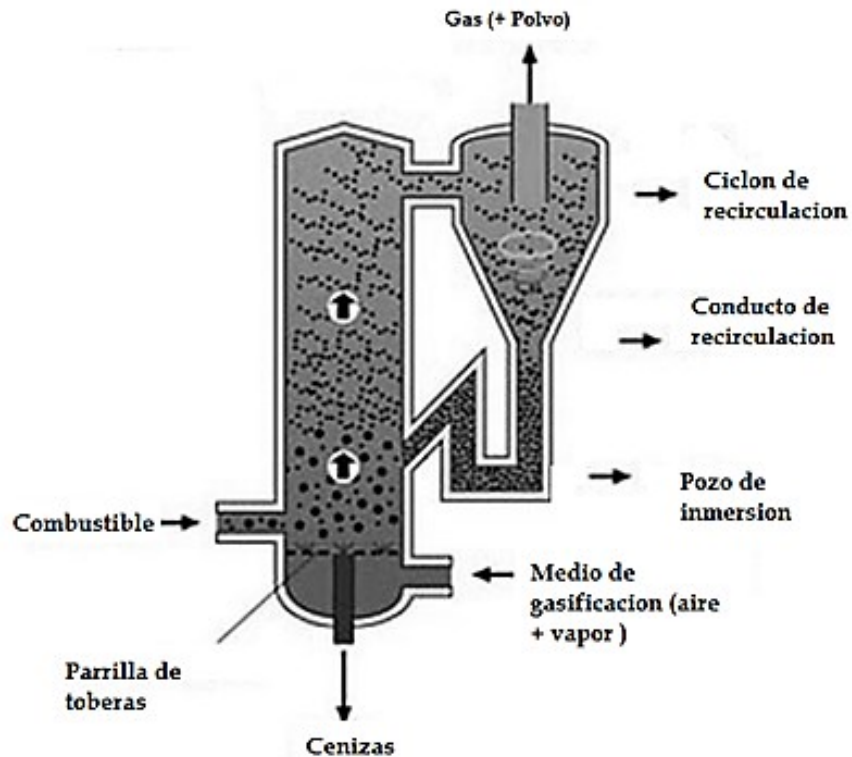
Figura 2. Funcionamiento de un horno de parrilla. Fuente: Tomado de (Feal Veira, 2011).



Otro de los tipos de hornos son los de lecho fluidizado es un equipo que se utiliza para la incineración de los RDF, RSU o para los lodos de depuradora, este horno cuenta con una cámara de combustión el cual tiene una forma cilíndrica, en la parte inferior está construida con un material

inerte ya sea de arena o ceniza, este cuenta con una parrilla en donde ingresa el aire para realizar un precalentamiento con temperaturas superiores de 900°C (Feal Veira, 2011).

Figura 3. Lecho fluidizado. Fuente: Tomado de (CORANTIOQUIA, 2008).



Los residuos se ingresan por medio de una bomba o por un alimentador rotatorio, este equipo tiene un espacio libre en la parte superior tiene como finalidad la retención de los gases generados en la primera cámara de combustión. Los gases que se genera en este horno pasan a una segunda cámara para así realizar una completa incineración, por último, están los hornos de aire controlado, en este se maneja una gradualidad del aire para lograr una incineración más completa (Feal Veira, 2011).

El horno crematorio para incineración de cadáveres se compone de una o más cámaras térmicas cubiertas por ladrillo refractario que pueden tolerar una temperatura máxima de 1100 °C, la mayoría de estos equipos se componen de una cámara de combustión primaria y una secundaria, la cremación ocurre en la primera de ellas y una poscombustión en la segunda cámara (Ministerio de Ambiente, 2002).

La combustión en el horno crematorio se da por la acción de los quemadores estos se encuentran en puntos específicos, para la cámara principal está ubicado en parte superior con una altura baja, con el propósito de que el fuego quede en una posición paralela con el ataúd. Por otro lado, el quemador de la segunda cámara se encuentra en una altura más alta ya que esto permite que los gases se calienten de manera homogénea (CORANTIOQUIA, 2008).

Las dos cámaras tienen un equipo de ventilación en donde ingresa el aire y luego este es distribuido con el combustible para cada una de ellas, así mismo es necesario que estos elementos garanticen el cumplimiento de factores técnicos como una llama constante, una mezcla homogénea, producir una combustión libre de impurezas y finalmente asegurar la correcta operación (Gomez, 2015).

La cámara primaria está construida con una lámina reforzada de acero al carbono, tiene un sistema de aislamiento que por lo general está compuesto de hormigón especial y materiales aislantes de baja masa térmica que dan este cubrimiento al interior y exterior del mismo, esta misma posee quemadores que proporcionan fuego y aire, asegurando el rango de temperatura requerida con el fin de facilitar la combustión, esta cámara permite que los gases generados por la combustión ingresen a la cámara secundaria (González et al., 2020).

La cámara secundaria o de postcombustión tiene como finalidad incinerar los gases generados en la combustión que se da en la cámara primaria, esta debe asegurar que los gases perduren por más de dos segundos y conservando una temperatura superior de los 850°C, teniendo en cuenta que este tiene quemadores incorporados, con el fin de disminuir los olores y las emisiones liberadas, esta cámara puede estar contigua o debajo de la cámara de combustión, este proceso de cremación tiene una duración de aproximadamente dos horas (Gomez, 2015).

Las emisiones resultantes del proceso de incineración son liberadas por medio del ducto de salida del sistema, está cubierto por hormigón refractario aislante con el fin de reducir las pérdidas de calor y probables resultados de la condensación, así mismo, este se encuentra ensamblado a la salida de la cámara de postcombustión y de esta forma ventilar las emisiones de forma vertical a una altura aproximada de 9 m sobre el suelo (Crematory Manufacturing and Service Inc., 2005).

3.1.2 ¿Qué es un impacto?

El concepto de impacto está relacionado a los efectos generados a la población por el desarrollo de un proyecto en el entorno, es decir que, el impacto es reflejado como una alteración que se origina por el producto que se obtiene en la ejecución de una acción determinada, este cambio resultante depende de los procedimientos empleados para el desarrollo del proyecto en cuestión (Bonilla, 2007).

3.1.2.1 Impactos sociales y económicos

Hace alusión a las variaciones que un proyecto pueda generar en una población puntal, estas pueden ser beneficiosas o perjudiciales como resultado de la ejecución del mismo y que logren transformar la forma que viven las comunidades, incluyendo la vulnerabilidad frente a sus derechos, su cultura, creencias y su entorno, por otro lado, en este ámbito también se tiene en cuenta los atributos ambientales y económicos que perturben la comunidad y sea susceptibles a sufrir cualquier cambio en la ejecución del proyecto (SENER, 2016).

Por otra parte, los impactos económicos hacen referencia al valor agregado bruto en el proyecto, como la generación de empleos, la inversión local, ya sea de forma directa o indirecta, estos efectos directos corresponden a la adquisición de compra y/o alquiler de los bienes y servicios que son adquiridos en expresión cultural, los efectos indirectos son aquellos gastos que generan personas externas al lugar durante un periodo determinado (Gobierno Vasco, 2017).

3.1.2.2 Impactos Ambientales

Es una modificación de las características del medio ambiente producida por actividades antropogénicas (Salvador et al., 2005), este puede llegar a ser negativo o positivo dependiendo la actividad que se ejecute, y es considerado como el resultado de los aspectos ambientales que a su vez son producto de dichas actividades económicas, para determinar su nivel de impacto es importante realizar la valoración del mismo (ICONTEC, 2015).

El conjunto de elementos relacionados a la generación de impactos ambientales corresponde a la afectación del entorno junto a las acciones antropológicas que dan origen a estos impactos, dicha relación determina que lo anterior debe ser comprendido como un sistema y por tal razón el impacto ambiental ha de ser interpretado como una o más modificaciones provocadas sobre determinados factores del entorno y no como cambios individuales (Cruz Minguéz et al., 2008).

Los impactos ambientales pueden ser catalogados de diferentes formas, ya que cada uno de ellos desencadena acciones específicas y genera un nivel de importancia determinado, los impactos que inciden en mayor proporción al ambiente son considerados como acumulados, por otra parte, son impactos sinérgicos aquellos que tienen la característica de aumentar exponencialmente y por último son impactos residuales los cuales persisten posterior a la implementación de las medidas de mitigación (Beatriz & Silva, 2012).

La consideración de los impactos ambientales proporciona herramientas para establecer y evaluar las posibles alternativas a implementar en las etapas de construcción, operación y abandono de un proyecto determinado, se da prioridad a las alternativas que tienen como fin el prevenir, minimizar o mitigar los impactos generados más significativos, así se logra obtener medidas que no afecten notablemente el entorno en estudio (Loustaunau, 2015).

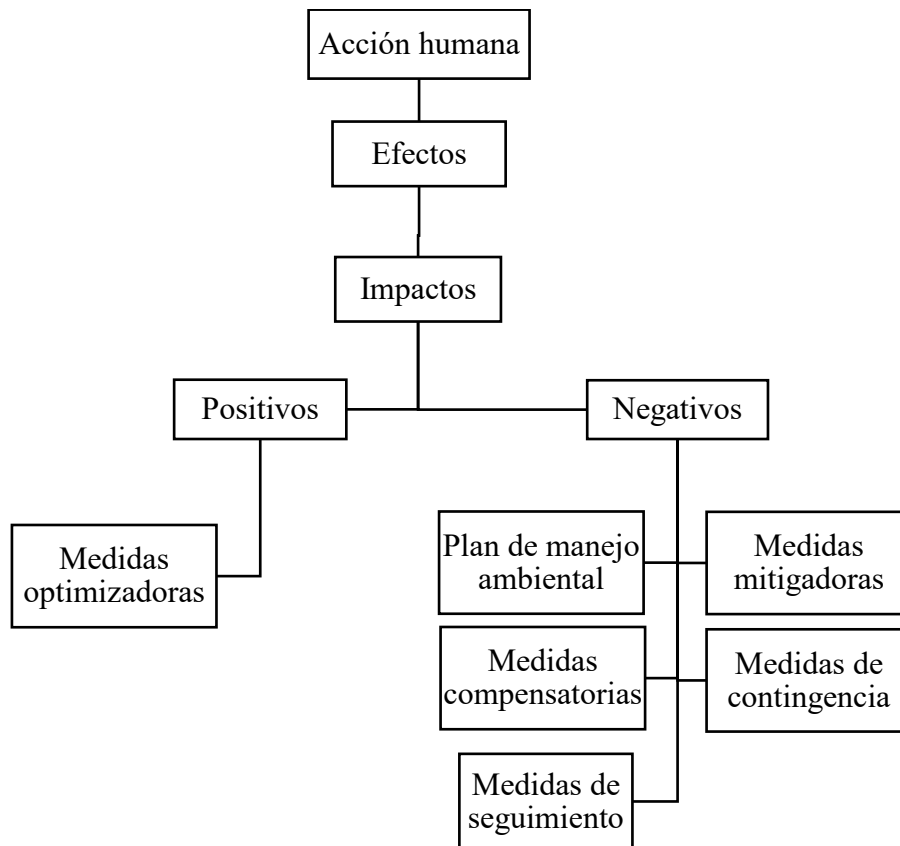
3.1.2.3 Evaluación de impactos ambientales (EIA).

Es una técnica que se utiliza para realizar la medición de la exposición frente a los impactos ambientales causados por un proyecto, obra o actividad determinada, con el fin de plantear diferentes alternativas, optar por la mejor de ellas y de esta forma minimizar los posibles impactos, así mismo, es considerado como una herramienta mediante la cual se realiza una base de datos y así poder cuantificar los daños ocasionados en la ejecución del proyecto (International Institute for Sustainable Development, 2016).

La evaluación de impacto ambiental suministra elementos necesarios a las entidades competentes para establecer criterios en la aprobación u objeción de un proyecto, obra o actividad, esta toma

de decisión se realiza con base en un análisis técnico que se lleva a cabo con relación al nivel de las repercusiones provocadas por dicho proyecto en cuestión, adicionalmente se tiene en cuenta el elemento de la participación social como se indica en la figura 4 (Canter, 1998).

Figura 4. Proceso general de la evaluación de impacto ambiental. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001).



Un proyecto, obra o actividad está conformado por varias fases para su realización, por lo tanto, el alcance y el grado de evaluación que tenga el impacto ambiental será diferente para cada uno de los proyectos en estudio, la normatividad colombiana establece que los tipos de EIA deben formularse para proyectos o actividades propuestas, proyectos en modo transicional y proyectos que a nivel de impactos ambientales significativos no tienen cabida (Arboleda González, 2008).

Los métodos para llevar a cabo una evaluación de impacto ambiental pueden ser determinados con base en el tipo de evaluación que se desea realizar, la metodología para la formulación de alternativas se divide en dos tipos, una de ellas basada en el análisis de trabajos técnicos y la otra

basada en la participación pública, por otro lado, se establece la metodología para la ponderación de factores ambientales, esta es esencial para realizar una valoración de los impactos (Garmendia, 2005).

Para la identificación de impactos se establecen métodos como las listas de revisión, los cuestionarios del Banco Mundial, los diagramas de redes y la matriz de interacción entre factores, cada una de ellas contribuye significativamente en la evaluación de impacto, por último, se determinan los métodos para la evaluación de impactos en específico, dentro de estos esta la matriz de Leopold, el método Ballete-Columnus, el método Galletta, el análisis energético Mc Allister y las guías metodológicas del MOPU (Salvador et al., 2005).

3.1.2.2 Metodologías de evaluación de impacto ambiental.

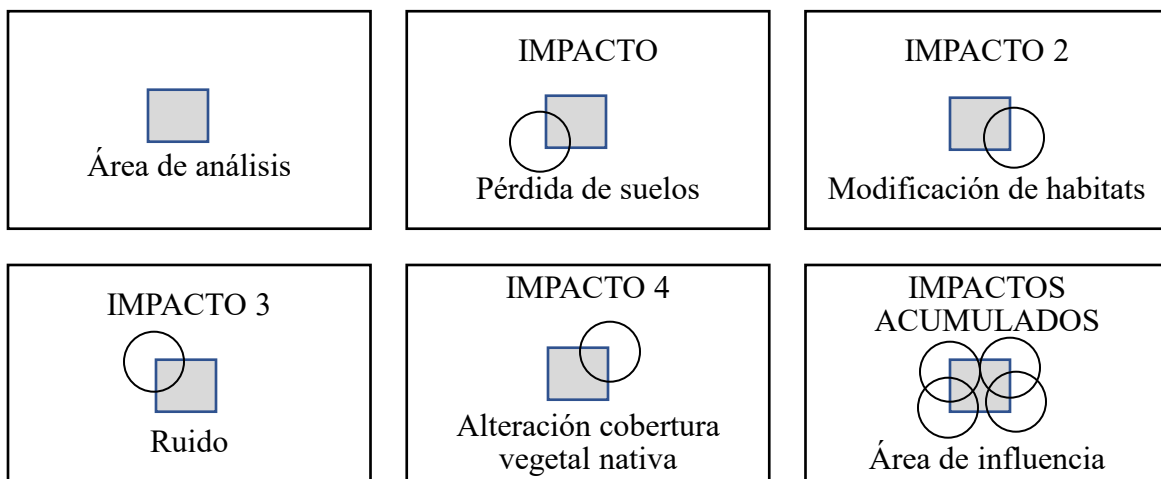
Existe varias metodologías para realizar los estudios de impacto ambiental ya sean de manera general o concreta, estos se pueden categorizar según la parte que se pretende evaluar o realizar una evaluación de forma muy completa de acuerdo a la necesidad que se requiera, así mismo, estos métodos son creados para ciertos proyectos definidos u otros son adoptados o modificados según sea el alcance que se requiera en el estudio que se va a realizar (Garmendia, 2005).

Una de las metodologías es la superposición de transparencias es un estudio que se realiza con un sistema cartográfico en el cual se proyecta en diversos mapas y se utilizan sobre transparencias, esta herramienta ayuda a visualizar el área de influencia sobre el cual se va a realizar el proyecto y así poder identificar impactos puntuales para luego realizar una superposición y visualizar un impacto más amplio, cada uno de estos mapas contiene un factor ambiental específico como por ejemplo los factores culturales, físicos, sociales (Espinoza, 2001).

Esta superposición ayuda a estimar, reconocer y determinar un valor para cada impacto establecido para así entender los impactos identificados de manera independiente y asociarlos con cada uno de los factores, para realizar estos mapas se implementan fotografías satelitales, aéreas, mapas topográficos entre otros elementos, es muy importante que estos tengan una resolución media alta,

en la actualidad una de las herramientas más usadas son los sistemas de información geográficos (Fernandez, 2010).

Figura 5. Ejemplo de superposición cartográfica. Fuente: Tomado de (Espinoza, 2001).



Los métodos para realizar la ponderación de los factores es una metodología que consiste en una valoración cuantitativa; el método más conocido es el delphin, esta es una técnica de consulta a expertos diseñado para efectuar procesos al momento de seleccionar una decisión, este método se emplea cuando no se cuenta con la información suficiente ya sea de datos históricos, científicos o no se tenga dominio del conocimiento (Garmendia, 2005).

Otros de los métodos más comunes son los de evaluación de impacto, ya que estos ayudan a brindar un valor a cada uno de los impactos identificados y al global para cada una de las alternativas que se va estudiar en el proyecto, con el fin de visualizar el contraste de las diferentes alternativas generadas del proyecto y para ello se hace uso de las matrices (Fernandez, 2010).

3.1.2.3 Matrices de evaluación de impacto ambiental.

Estas matrices es un instrumento para llevar a cabo la valorización de los impactos ambientales provocados por la realización de un proyecto, ya que relacionan los factores con las actividades, aspectos, impactos y atributos ambientales, al momento de determinar la incidencia de una

actividad sobre algún factor se realiza la valoración de su magnitud e importancia (Peláez Leon, 2011).

Una de las matrices con mayor implementación son las de causa - efecto para la realización de estas se requiere una recopilación de datos técnicos, información del área de influencia, con el fin de generar un listado de intervenciones humanas y factores de impactos ambientales, estos se ilustran en un esquema matricial con el fin de ubicar el principio de algunos impactos, sin embargo, existen ciertas restricciones para reconocer las diferentes interacciones, puntualizar los impactos secundarios (Espinoza, 2001).

Tabla 1. Ejemplo de matriz de causa-efecto. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001).

		Acciones del proyecto			
		Diseño	Construcción	Operación	Abandono
Impacto ambiental					
Aire	Calidad	A	A	I	A
	Ruido	A	A	A	A
Agua	Calidad	A	A	A	I
	Cantidad	A	I	A	A
Suelo	Erosión	A	I	C	A
	Productividad	A	I	C	A
Flora	Abundancia	A	I	C	A
	Representatividad	A	I	C	C
Fauna	Abundancia	A	I	I	A
	Representatividad	A	I	I	A
Paisaje	Belleza	A	I	A	I
	Visual	A	I	A	A
Población	Relocalización	A	C	C	C
	Costumbres	A	C	C	C
Otros	Ecosistemas	A	A	A	C

Nota: Calificación del impacto: INACEPTABLE: I, CRÍTICO: C, ACEPTABLE: A

Una de las matrices de mayor complejidad y unas de las primeras implementadas para la evaluación de impacto ambiental es la matriz Leopold, esta consiste en la validación de las

acciones y componentes del entorno afectado que se realiza en el proyecto; se realiza una evaluación de la magnitud cuyos valores están en un rango de 1 a 10 y se le asigna un signo ya sea positivo para un impacto beneficioso o negativo para un impacto perjudicial (De la Maza, 2007).

En esta matriz se debe tener en cuenta una valoración de la importancia en un rango de 1 a 10, así mismo se realiza una lista de 100 acciones que pueda generar una afectación ambiental y se relaciona con 88 elementos ambientales con el fin de definir el grado de la magnitud esta hace alusión a la extensión, la importancia recibe solo valores positivos este se fundamenta a un juicio subjetivo (Espinoza, 2001).

3.1.2.4 Matriz Vicente Conesa Fernández.

Esta es una matriz de tipo cualitativa, la cual relaciona las acciones impactantes y los factores impactados, los efectos ocasionados por cada una de estas acciones impactan sobre cada factor ambiental afectado, estableciendo el grado de importancia para cada elemento y así se estará elaborando una matriz de importancia, estos factores determinan el impacto ambiental realizado por una simple acción de un proyecto con relación a un factor ambiental (Conesa, 1997).

Esta matriz expone que el cruce de un elemento tipo el cual refleja una consecuencia para cada uno de los factores ambientales impactados al que se realiza una valorización respectiva a cada una de las 11 características del impacto provocado por una actividad en el factor analizado, estas particularidades hacen parte del elemento tipo para la matriz cualitativa o de importancia y corresponde a (Fernandez, 2010):

Tabla 2. Matriz Vicente Conesa. Fuente: Modificado a partir de Fernandez 2010.

LOGO DE LA EMPRESA	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL														Modelo de Mejora Continua	
	MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN, CALIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES															
				CALIFICACIÓN												
PROCESO	ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad	IMPORTANCIA	CLASIFICACIÓN
															0	Irrelevante
															26	Moderado
															50	Severo
															75	Crítico

3.1.2.3.1 Signo.

Este es asignado al impacto y se refiere a un efecto ya sea positivo (beneficioso) o negativo (perjudicial) de las diferentes medidas que interactúan con los factores considerados, el efecto beneficioso es aquel que es aceptado ya sea por la parte de técnica, científica o social; considerando un análisis exhaustivo en los costos, de los beneficios en general y de las eventualidades que puedan darse en una obra (Conesa, 1997).

El efecto perjudicial representa algún tipo de pérdida ya sea de mayor cuantía, de carácter natural, atractivo-social, paisajístico, de utilidad ecológica, extensión de los daños derivados de la contaminación causando modificación en la estructura del suelo, acumulación de sedimentos, entre otros efectos adversos para el entorno en discrepancia con la composición ecológica y geográfica de la ubicación en donde se va realizar el proyecto (Garmendia, 2005).

Se realiza una cuantificación a un valor por lo cual debe ser absoluto con respecto a la importancia con el fin de proceder a realizar los respectivos cálculos e insertar el signo correspondiente al final ya sea el signo (+) o (-) (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.2 Intensidad (In).

Hace alusión al grado de influencia de “la acción sobre el factor” (Conesa, 1997), así mismo se categorizan en impactos ya sea totales el cual comprende una destrucción excesiva, el cálculo para la valoración corresponde al rango entre 1 y 12, donde 12 es el de mayor incidencia y se clasifica como daño total del factor, el 1 indica una alteración mínima y poco relevante, lo que significa “intensidad baja o mínima”, para los valores intermedios de 8, 4 y 2, reflejara intensidad notable (muy alta), alta y media, respectivamente (Salvador et al., 2005).

3.1.2.3.3 Extensión (Ex).

Está asociado con el área de incidencia del impacto de la actividad, en caso de que la acción genere un efecto preciso en un punto específico se tiene en cuenta que este es de naturaleza puntual y

corresponde al valor de 1, en el caso contrario, si el efecto no está vinculado a una localización precisa en el proyecto el impacto será total con un valor de 8, para las situaciones medias se tienen presente los valores de 2 y 4 para las categorías de parcial y extenso correspondientemente (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.4 Momento (Mo).

Este hace referencia al tiempo que ocurre en el principio de la acción y el principio del impacto en el factor del medio estudiado, por consecuencia, si el tiempo es cero es considerado como inmediato, cuando el tiempo es menor a un ciclo anual se clasifica a corto plazo y las dos opciones tendrán un valor de (4), si está en el rango de 1 a 5 años se define como mediano plazo con un valor de (2) y por ultimo si su manifestación es superior a los cinco años se considera que es de largo plazo donde su valor es (1) (Garmendia, 2005).

3.1.2.3.5 Persistencia (P).

Está relacionado al tiempo de permanencia del efecto desde su origen, para una duración menor a un año se estima que la acción ocasiona un efecto pasajero correspondiendo a un valor de 1, si tiene una duración de 1 a 3 años el impacto será temporal con un valor de 2, para el caso de 4 y 10 años será persistente con un valor de 4 y si el efecto presenta una durabilidad mayor a los 10 años se considera que el efecto es permanente con un valor correspondiente a 8 (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.6 Reversibilidad (Rv).

Indica la posible restauración del factor implicado como resultado de la acción en estudio, para el caso de corto plazo se destina un valor de 1, si se determina un plazo medio el valor establecido es 4, para un largo plazo se asigna un valor de 3 y finalmente si el impacto es irreversible se estima un valor de 8, en caso de que este impacto sea irrecuperable, es decir, que la afectación sea imposible de enmendar ya sea por hechos naturales o antrópicos se determina un valor de 20 (Conesa, 1997).

3.1.2.3.7 Recuperabilidad (Rc).

Este hace alusión a una restauración completa o parcial del factor impactado como resultado de llevar a cabo un proyecto, con el fin de volver a la condición inicial antes de la intervención, implementando acciones correctivas o de restauración, se considera recuperable cuando se puede eliminar las afectaciones ya sea naturalmente o por remplazo tiene un valor de 1 (corto), 2 (mediano) y 4 (largo plazo), es irrecuperable cuando es inviable de recuperar por medios naturales o por acción humana el medio afectado y tiene un valor de 8 (Salvador et al., 2005).

3.1.2.3.8 Sinergia (Si).

Este mismo establece la unión de dos o más efectos, es comprendido como el atributo total de la ocurrencia de dichos efectos, este componente es mayor a la evaluación individual de los efectos, por otra parte, en caso de que la acción implicada no sea sinérgica con otras que actúan respecto al mismo factor se determina que la componente toma un valor de 1, para una característica de sinergismo moderado será 2 el valor y alto sinergismo será de 4 (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.9 Acumulación (Ac).

Hace alusión al incremento sucesivo de la ocurrencia de los efectos en análisis, siempre y cuando la acción que provoca el efecto persista reiteradamente, para este atributo el valor será de 1 cuando la acción no genere efectos que sean considerados como acumulativos y el valor será de 4 en el momento en que la acción conlleve a efectos de carácter acumulativo (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.10 Efecto (Ef).

Esta particularidad hace referencia a la interacción de causa y efecto, este se puede presentar de forma directa o indirecta, el primero de ellos tiene un valor de (4) como resultado de la acción directa ejercida en el medio, para el efecto indirecto es aquel que no tenga una relación directa en la ejecución del proyecto y se clasifica como un efecto secundario con un valor de (1) (Garmendia, 2005).

3.1.2.3.11 Periodicidad (Pe).

Mediante este atributo se manifiesta la regularidad de ocurrencia del efecto, la cual puede ser recurrente o con efecto periódico, impredecible o irregular donde se evalúa en términos de una posible ocurrencia, o constante con efecto continuo, para cada uno de estas categorías se asignan valores de 4, 2 y 1 respectivamente (Fernandez, 2010).

3.1.2.3.12 Ecuación de Importancia y Valorización.

Mediante la ecuación 1 se obtiene el nivel de importancia de un determinado efecto al entorno con relación a la acción asociada a este mismo, el resultado de este cálculo está dentro del rango 13-100, es esta expresión se relacionan los siguientes atributos: intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación, efecto y periodicidad (Salvador et al., 2005).

Ecuación 1. Ecuación de importancia. Fuente: Modificado a partir de (Fernandez, 2010).

$$Im = \pm 3 * In + 2 * Ex + Mo + P + Rv + Rc + Si + Ac + Ef + Pe$$

Con base en los resultados obtenidos de la expresión anterior se realiza la valoración final de los impactos donde los valores menores a 25 corresponden a impactos irrelevantes, los moderados se encuentran en el rango de 25-50, para los valores de 50-75 su impacto es severo y finalmente los impactos críticos mayores a 75 como se indica en la tabla 3 (Fernandez, 2010).

Tabla 3. Categoría y clasificación de impactos ambientales. Fuente: Modificado a partir de (Fernandez, 2010).

CATEGORÍA	CALIFICACIÓN
Inferiores a 25; Impactos irrelevantes	
25 ≥ 50; Impactos moderados	
50 ≥ 70; Impactos severos	



3.1.3 Aspectos Legales

“Dentro del sistema jurídico las normas son reglas de conducta que imponen un comportamiento determinado” (Frías Armenta et al., 2009), se establece que las normas jurídicas no tienen validez al aplicarlas de forma individual, es decir, es necesario relacionarlas entre si dando paso a la formación de un sistema jurídico, García Maynez citado en (Frías Armenta et al., 2009).

Estas normas jurídicas o leyes son emitidas por el estado a nivel nacional, regional y local, y por tal razón el mismo estado debe hacer cumplir estas mismas bajo la aplicación de una sanción, adicionalmente, es importante tener en cuenta que no debe existir la contraposición entre estas normas (Castillo Calle, 2012).

Con relación al contexto ambiental las normas jurídicas reglamentan lo relacionado a comportamientos grupales e individuales con repercusión en el ambiente, estas leyes presentan tendencia hacia la preservación del entorno, alternativas de mejora cuando se presenta algún tipo de alteración en el mismo (Alfonso Avila, 2014).

3.2 Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

3.2.1 ¿Qué es un Modelo?

“Un modelo es un bosquejo que representa un conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad” (Wadsworth, 1997, p.1), estos son muy importantes para representar, exponer o entender la realidad ya que facilita un análisis completo que permite tener resultados confiables y poder generar una predicción cuando no es viable trabajar in situ (Wadsworth, 1997, p.1).

Los modelos son considerados como sistemas conceptuales que son elaborados mediante el uso de métodos de representación que a su vez pueden incorporar gráficos, diagramas, lenguajes

determinados, procedimientos, símbolos o información producto de experiencias de la realidad, lo anterior con el propósito de dar explicación a problemas matemáticos, patrones, acciones y demás relacionadas a la solución de problemas (Ferrando et al., 2017).

Los modelos se pueden dividir en físicos y matemáticos, los físicos pretender obtener resultados de fenómenos con base en experimentos realizados en laboratorio y los matemáticos explican los factores fisicoquímicos de los fenómenos en estudio a través del uso de ecuaciones algebraicas y diferenciales (Hernández, 2015).

3.2.2 Modelos Matemáticos

Para los modelos de tipo matemático, es importante resaltar que a nivel general existen de tipo determinísticos y estadísticos, los primeros buscan establecer una correlación entre las emisiones liberadas y los efectos que causa dicha emisión, los modelos de tipo estadístico se fundamentan en relacionar estadísticamente valores de emisión, concentración de contaminantes y valores meteorológicos (Torres Jerez, 2013).

Dentro de los factores relacionados a la implementación de modelos matemáticos se atribuye la formulación mediante representaciones asociadas a la realidad, esquemas, conceptos, procedimientos matemáticos que interactúan entre sí, cada uno de estos atributos brinda una condición específica a la forma final tomada por los modelos desarrollados cuyo fin comprende la representación de manera indeterminada un fenómeno de la realidad (Ferrando et al., 2017).

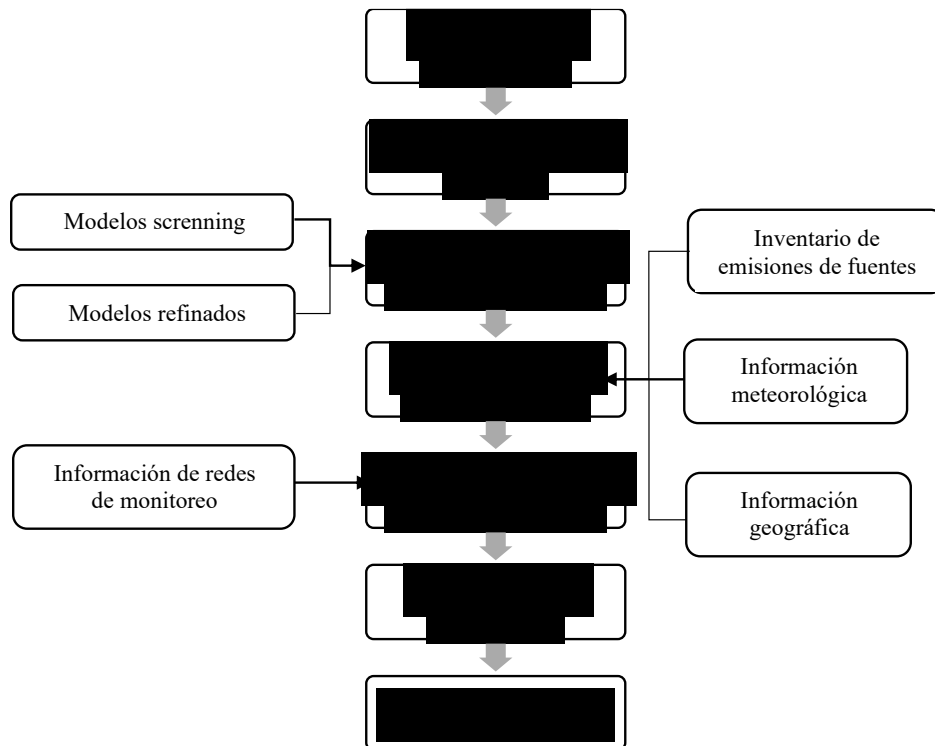
El grado importancia o valor determinado que obtiene un modelo matemático va a depender de la probabilidad de que dicho sistema estudie de forma teórica algún fenómeno ocasionado por cualquier situación que pueda ser representado en un laboratorio o fuera de este, gracias a esta particularidad, los modelos permiten una mayor acogida del conocimiento en estudio por parte de disciplinas como la ingeniería, física, ecología, entre otras (Maldonado, 2013).

3.2.3 Modelos para el Análisis de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

Los modelos diseñados para el análisis de la dispersión de los contaminantes atmosféricos son de tipo matemático, estos son una herramienta clave que permite realizar una estimación del nivel de las concentraciones de determinados contaminantes con base en variables meteorológicas, características del área de influencia y de las emisiones, entre estos modelos se encuentran los de tipo gaussianos, de caja, lagrangianos, eulerianos y de gas denso (Villar, 2017).

A través de este tipo de modelación se mide la dilución de las emisiones liberadas a la atmosfera, y por tanto actúa como un mecanismo clave para determinar una decisión para los diferentes ámbitos de estudio como se indica en la figura 6, los modelos con mayor valor agregado son optimizados a través de su aplicación para el pronóstico de parámetros determinados, adicional a los parámetros base de esta modelación antes mencionados, se encuentran las características de la fuente (Caputo, 2004).

Figura 6. Lineamientos para la modelación. Fuente: Modificado a partir de EPA CARTAGENA, 2015.



Con relación a la dispersión de contaminantes atmosféricos se establece que esta misma es dependiente directa de las condiciones de la atmosfera y de su grado de estabilidad, es necesario considerar el análisis de variables meteorológicas como: viento, precipitación, temperatura, humedad, radiación solar, nubosidad, entre otras, la estabilidad de la atmosfera está asociada al

comportamiento de la troposfera y esta categorizada de A-F como se muestra en la tabla 4 (Villar, 2017).

Tabla 4. Estabilidad atmosférica. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).

Día	<ul style="list-style-type: none"> - Clase A: Condiciones extremadamente inestables. - Clase B: Condiciones moderadamente inestables. - Clase C: Condicione ligeramente inestables.
Día y Noche	<ul style="list-style-type: none"> - Clase D: Condiciones neutras de estabilidad. - Clase E: Condiciones ligeramente estables.
Noche	<ul style="list-style-type: none"> - Clase F: Condiciones estables.

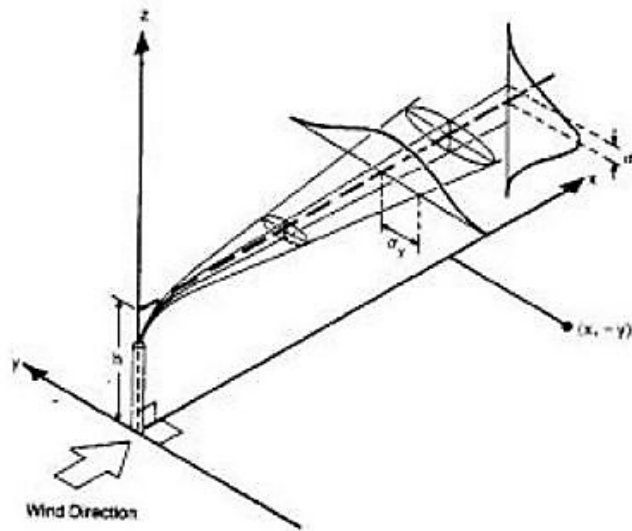
El comportamiento de la columna de humo se analiza con base en la altura de la emisión o fuente, es decir la altura de la chimenea y su diámetro, adicional a las de la zona de estudio, los elementos contiguos a esta fuente de emisión y la actividad que se encuentre generando la emisión a la atmosfera, cada una de estas características influye significativamente en la forma, perfil de temperatura y momento del día que caracterizan el penacho en análisis (Fernández, 2012).

3.2.3.1 Modelos Gaussianos.

Los modelos gaussianos son los más usados para realizar la simulación de la dispersión de contaminantes en donde se evalúa la dirección de difusión menos predominante, se tiene en cuenta que la columna de emisión liberada presenta un modo de dispersión perpendicular al fenómeno convectivo (Hernández, 2015).

Estos modelos permiten pronosticar el desplazamiento de fuentes constantes, columnas de humo de contaminantes ligeras liberadas a elevación del suelo o elevación de la fuente de emisión, estos modelos toman como base la propiedad estocástica del desplazamiento y la turbulencia del contaminante, gracias a esto se logra programar con facilidad en un software (Villar, 2017).

Figura 7. Diagrama de emisión de fuente elevada y penacho Gaussiano. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).



Ecuación 2. Ecuación Gaussianos. Fuente: Modificado de (Villar, 2017).

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} * \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) * \left\{ \exp\left[\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

Donde según (Villar, 2017, p.48-49)

$c(x, y, z)$ = Concentración del gas [M/L³],

x = Distancia en la dirección del viento [L],

y = Distancia con el viento lateral [L],

z = Distancia vertical desde el suelo [L],

Q = Caudal del contaminante [M/T],

σ_y = Coeficiente de dispersión horizontal [L],

σ_z = Coeficiente de dispersión vertical [L],

u = Velocidad del viento [L/T],

H = Altura de la chimenea [L].

Estos modelos de tipo matemático se dividen en estacionarios y no estacionarios, los primeros consideran que la columna de humo tiene una tendencia a representarse como una distribución donde los niveles de concentración se presentan en torno al eje determinado por la dirección de

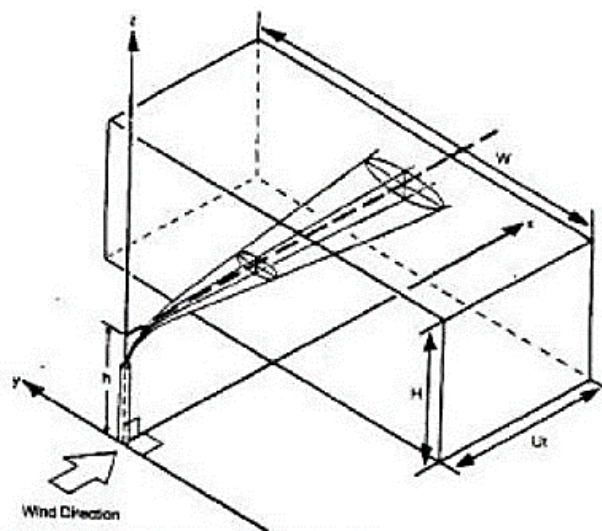
viento, por otro lado, los no estacionarios separan la emisión que proviene del penacho en factores de emisión tipo “puff” donde cada uno es dispersado de forma separada (Gallardo, 1997).

3.2.3.2 Modelos de Caja.

“Los modelos de caja se basan en la emisión difusa de contaminantes desde un área determinada en un volumen, contemplando también la entrada y la salida de contaminantes por arrastre de viento” (Villar, 2017, p.46-47), en este modelo se toma como base que los contaminantes se dispersan de forma homogénea al interior de la que se considera como caja y de esta forma se cuantifica la concentración de estos contaminantes en diferentes puntos del área de análisis (Villar, 2017).

El modelo de caja fija supone que los contaminantes liberados a la atmosfera se mezclan a una altura específica de la zona de estudio, esto quiere decir que la concentración de estos contaminantes es la misma en todos los puntos del volumen que se encuentra sobre la caja rectangular contemplada como se muestra en la figura 8, de igual forma se aplica este concepto para los puntos que se sitúan en la dirección del viento y en contra del mismo (Buitrago, 2003).

Figura 8. Modelo de caja. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).

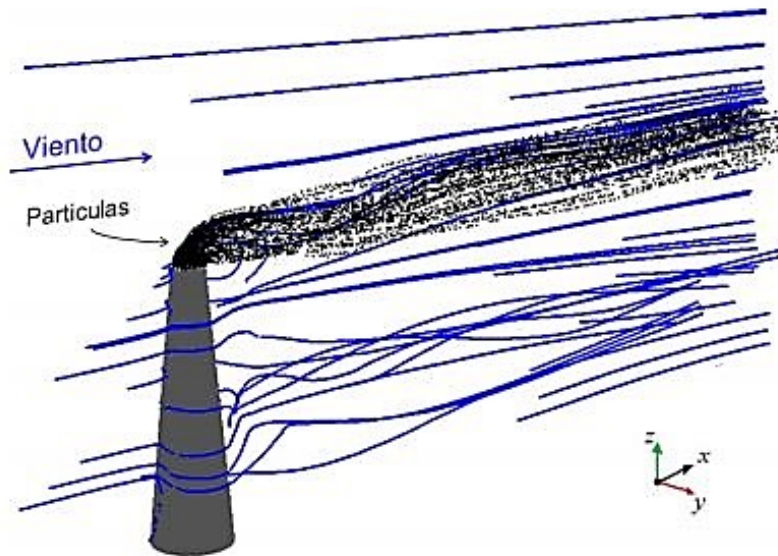


3.2.3.3 Modelos Lagrangianos.

Los modelos lagrangianos realizan el seguimiento de la contaminación presente en dicha columna de humo en análisis, en este modelo se evalúa la acción de estos contaminantes tomándolos como partículas que se desplazan a lo largo y ancho de la atmosfera, se toma el concepto de trayectoria aleatoria definiendo el movimiento de estas “partículas”, se lleva a cabo un cálculo de tipo estadístico de las trayectorias de las que son susceptibles las partículas (Villar, 2017).

Así mismo es posible modelar las trayectorias que recorren dichas partículas debido a las fluctuaciones que se presentan en el flujo como se muestra en la figura 9, gracias a la observación de estas trayectorias se puede estimar la concentración y de igual forma la interacción de los contaminantes en la zona de estudio, este modelo usa un marco de referencia móvil con relación al movimiento de las sustancias a partir de su punto inicial de salida (García, 2012).

Figura 9. Modelado de trayectoria de contaminantes. Fuente: Tomado de (García, 2012).



3.2.3.4 Modelos Eulerianos.

A diferencia de los modelos gaussianos y lagrangianos, los eulerianos es más exacto para modelar los fenómenos de desplazamiento, se basan en el cálculo de cada una de las relaciones del espacio-

tiempo, concentraciones de contaminantes y la estimación de las características en caso de que estas ocupen un lugar en momento específico; lo anterior se demuestra por medio de la ecuación de difusión-reacción representada en la ecuación 3 (García, 2012).

Ecuación 3. Ecuación de modelos eulerianos. Fuente: Modificado a partir de (Villar, 2017).

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} [u_j C_i] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(K_i \frac{\partial C_i}{\partial x_j} \right) + f_i \quad i = 1, \dots, Nc \text{ en } \Omega$$

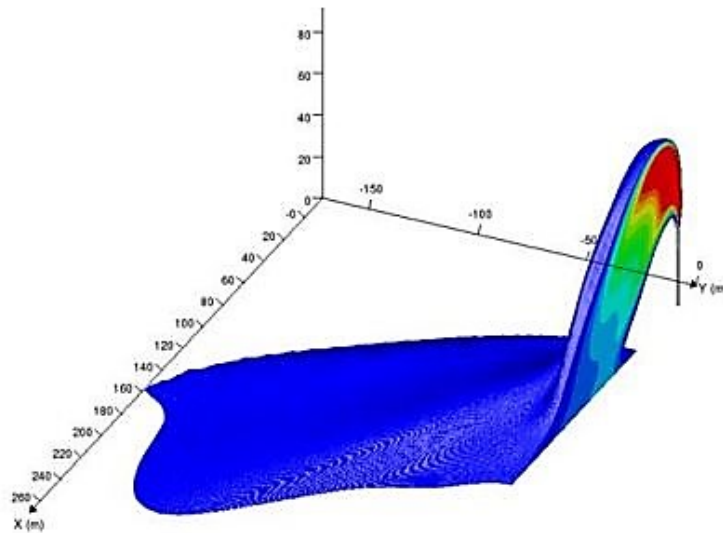
Este modelo genera información que relaciona el espacio en forma de malla tridimensional especificada por puntos con un espaciamiento específico de modo vertical y horizontal que es conocido como resolución espacial de la malla, este modelo es integrado por ecuaciones matemáticas, por lo cual se genera información con relación a las tres dimensiones de la malla en estudio (Muñoz et al., 2012).

3.2.3.5 Modelos de Gas Denso.

Los modelos denominados de gas denso o gas pesado realizan la simulación del desplazamiento de columnas de humo de contaminantes que presentan características de mayor densidad en comparación con el aire del ambiente, en estos modelos se considera una transición suave del modelo de gas denso donde se indica que la fuga es continua en la mayoría de las situaciones (Villar, 2017).

Estos modelos toman como base la tendencia que presentan los gases a descender y así mismo dispersarse a nivel del suelo gracias a que su densidad es mayor que la del aire como se representa en la figura 10, estos gases pueden llegar a aglomerarse en zonas como valles y drenajes provocando accidentes considerables, para determinar si la sustancia en estudio se comporta como un gas pesado se analizar parámetros como masa molecular, temperatura y reacciones químicas (Villafañe, 2013).

Figura 10. Comportamiento de un gas denso. Fuente: Tomado de (Villar, 2017).



3.3 Formulación de Alternativas de Corrección y Mitigación

3.3.1 *Alternativas de Manejo Ambiental*

Están definidas como las opciones que se formulan en el transcurso de un proyecto, obra o actividad teniendo en cuenta criterios legales, técnicos, económicos, sociales y ambientales, partiendo de un análisis preliminar donde se identifiquen los impactos de mayor trascendencia y de esta forma poder plantear medidas de mitigación, prevención y de corrección y así poder seleccionar la alternativa más acertada (Garmendia, 2005).

Las alternativas de manejo ambiental se deben valorar según los objetivos proyectados en el estudio de viabilidad de un determinado proyecto, por lo tanto, las alternativas formuladas que no generen un impacto significativo sobre la actividad requerida inmediatamente deben ser descartadas para su aplicación, así que es importante realizar el análisis a detalle de las alternativas de manejo ambiental (EPMMQ, 2012).

La formulación de alternativas depende del proyecto a ejecutar, por consiguiente, existe cuatro tipos de alternativas, cuando se analiza el comportamiento del entorno sin el proyecto la alternativa

será de tipo cero, en situaciones donde el proyecto en estudio ocupe un área determinada la alternativa será de localización, para proyectos de tipo lineal la alternativa será de trazado y finalmente las alternativas de proceso para proyectos de tipo industrial (Cotán-Pinto, 2007).

Para llevar a cabo un análisis enriquecido de las posibles alternativas a implementar en un proyecto es necesario tener en cuenta cierta trazabilidad de acciones, inicialmente se realiza la identificación de los distintos tipos de objetivos que pueden ser tomados como estrategias a utilizar, se considera la factibilidad política e institucional y las fuentes de financiamiento, escoger la estrategia de mayor impacto y realizar los estudios de validación necesarios (EPMMQ, 2012).

3.3.2 Medidas de Corrección

Hace alusión a las actividades encaminadas a rehabilitar, indemnizar o subsanar las condiciones del entorno alterado por la realización de una obra, un proyecto o una acción (Ministerio de Ambiente, 2013), estas medidas deben ser aplicadas sobre el factor ambiental más impactado negativamente, así mismo, es importante minimizar al máximo los impactos que no se han logrado prevenir (Aizpurúa, 2010).

Estas medidas de corrección no eliminan el impacto, sin embargo, disminuyen su grado de trascendencia, estas mismas son implementadas cuando el grado de afectación es inevitable pero de igual forma existen procesos y tecnologías que pueden lograr la minimización del impacto, las medidas correctoras se determinan de forma específica con base en la etapa del proyecto, obra o actividad (Ramos, 2014).

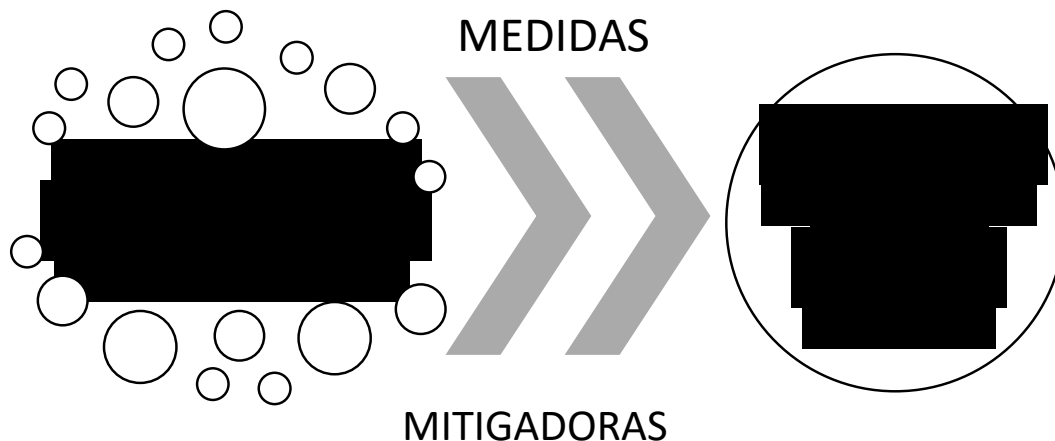
Con base en el nivel de importancia que se atañe a los impactos ambientales evaluados, son orientadas las medidas de manejo ambiental que se van a implementar para actuar frente al impacto, en el caso de las medidas de corrección se establece que los impactos con una condición intermedia son los correspondientes para tomar medidas de este tipo (MINAMBIENTE, 2018).

3.3.3 Medidas de Mitigación

Estas medidas generalmente están contenidas en un programa en donde se considera los diseños, las políticas, técnicas y el tiempo de ejecución de proyecto junto con sus respectivas actividades encaminadas a restringir, moderar, suavizar o disminuir los impactos desfavorables que se puedan ocasionar por la ejecución de un proyecto u obra, con el fin de mejorar el factor ambiental afectado o adoptando medidas de protección (MINAMBIENTE, 2020).

Por otro lado, con este programa de mitigación se puede alcanzar a restaurar más de un componente o factores del medio ambiente a una calidad parecida a la inicial, es decir antes de realizar la afectación al medio, para el caso contrario se hace una restauración al menos con las propiedades básicas antes de la intervención humana, estos programas contienen componentes y acciones los cuales pretenden reducir los impactos desfavorables y así incrementar los favorables a lo largo de la intervención y la cesión del proyecto (Espinoza, 2001).

Figura 11. Medidas de mitigación. Fuente: Modificado a partir de (Espinoza, 2001).



Así mismo, unas de las actividades que se relaciona a este programa para disminuir los impactos desfavorables es la eliminación de una acción al no ejecutarla, limitar al máximo una magnitud de la acción, en estos programas de mitigación adiciona la dirección para las medidas de prevención y control de alguna contingencia que se pueda presentar, con el fin de identificar el alcance de la mitigación y se debe tener presente la legislación ambiental aplicable a la zona de estudio (Espinoza, 2001).

Estas medidas de mitigación se deben implementar para cada una de las etapas del proyecto, en los impactos más significativos, si estas medidas adoptadas no alcanzan ser capaz de minimizar los impactos, se debe incorporar los mecanismos de compensación los cuales están dirigidos a la implementación o creación de ambientes parecidos al afectado entre otros (Martinez, 2009).

4. Estado Del Conocimiento

4.1 Hornos Crematorios y sus Particularidades

4.1.1 *¿Qué es un horno?*

Con relación al proceso de la cremación existe un amplio intercambio cultural, étnico y religioso, a consecuencia de esto existe una gran variedad de heterogeneidad de cremación, a mediados del siglo XX se ha realizado varios cambios en las costumbres en donde se ha reflejado un aumento de tolerancia y ha generado un cambio de la inhumación a la cremación (Ian et al., 2014).

Hacia el año 1873 el profesor Brunetti presentó la primera cámara de cremación en la ciudad de Viena, para dicho proyecto se contó con el apoyo de Henry Thompson, estos dos personajes en el año 1874 en Inglaterra fundaron la sociedad de cremación; para este mismo año en los Estados Unidos el señor Julius LeLoyne creó la primera de cámara de cremación, tres años después se crea la segunda cámara en el mismo país por el señor Charles f. Winslow (Ferro, 2015).

En 1878 se crean los crematorios en las ciudades de Gotha en Alemania y en Woking En Inglaterra en esta misma ciudad se llevó acabo la primera cremación en el año 1886, por otro lado, esta práctica fue legalizada en los países de gales e Inglaterra en el año 1902 en donde se interpuso requerimientos para realizar la cremación y se regulo los lugares autorizados para llevar dicha práctica, El Papa Pablo VI en el año 1963 autorizo la posibilidad de realizar las cremaciones, hacia el año 1966 el vaticano autoriza a los sacerdotes católicos la oportunidad de llevar a cabo las ceremonias de cremación (Ferro, 2015).

Hacia 1970 la implementación de las cremaciones en Canadá era de un 6 % y en estados unidos su uso solo alcanzaba a un 5 % a lo largo del tiempo esta técnica se ha ido incrementando poco a poco y teniendo en cuenta que para el año 2011 el porcentaje de su uso en los estados unidos ya se es estimaba alrededor del 42 %, así mismo, se proyectó que para el 2025 esta tasa de uso de hornos crematorio iba a incrementar a un 50 % (Ian et al., 2014).

En la Ciudad de México se realizó la caracterización de los contaminantes atmosféricos emitidos por tres hornos crematorios durante los meses de agosto hasta diciembre del 2017, se tuvo en cuenta el numero cremaciones realizadas por día el cual corresponde de 2 a 4, se evidencia que de las 3 instalaciones en estudio solo uno de ellos cuenta con un sistema de control que lleva a cabo la medición de los contaminantes emitidos por estos mismo, sin embargo, los tres hornos cuentan con la maquinaria adecuada para la ventilación que se requiere (González et al., 2020).

Se determina que el consumo de gas varía de acuerdo al tamaño de los quemadores y a su antigüedad, esto influye en el tiempo de cremación de los cadáveres, así mismo, con base en los resultados obtenidos por medio del muestreo isocinético y los parámetros técnicos de la chimenea se establece que la concentración de CO emitida fue mayor en el horno numero dos teniendo en cuenta que este consta de aire insuficiente para el proceso de combustión (González et al., 2020).

En Colombia la industria fúnebre es una de las actividades con mayores ingresos con un incremento del 20 % en los últimos años, estos servicios se encuentran a lo largo del país con el fin de cubrir la demanda, en la ciudad de Bogotá las personas optan por adquirir el servicio de la cremación con un 31 %, frente a un 61 % de la ciudad de Medellín (Hernández & Rueda, 2013).

Por lo anterior, se ha ratificado una regulación por separado para cada uno de los servicios fúnebres, ya que cada uno genera un impacto diferente, en cuanto al procedimiento de la cremación este utiliza un horno incinerador en donde ocurre el proceso de la incineración del cadáver, en cual se genera gases que son liberados a la atmosfera para controlar las emisiones máximas permisibles se adopta la resolución 909 del 2008 en donde se regula estas emisiones liberadas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

Las emisiones generadas en este proceso corresponden a gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos gaseosos de cloro orgánicos (HCl), óxidos de azufre (SO₂), dioxinas, furanos, hidrocarburos totales (CH₄), algunos metales como mercurio (Hg), y material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}), los cuales causan efectos nocivos a la salud pública (Mari & Domingo, 2010).

4.1.2 Impactos Ambientales

Con la instauración del PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente) se forman los convenios internacionales de diferentes países de las Naciones Unidas, países de desarrollados y en vía de desarrollo buscando formar acuerdos y plantear metas para preservar el medio ambiente y la salud humana, los principales convenios son los siguientes: Ginebra 1979, Protocolo de Kioto 1998, Basilea 1989, Viena 1985, Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015, entre otros (MITECO, 2020).

La cremación de cadáveres genera diversos impactos a comunidades urbanas y ecosistemas aledaños que se encuentran expuestos a estas sustancias toxicas emitidas a la atmosfera, por tal motivo es necesario llevar a cabo recientes estudios de impacto ambiental para realizar el control de proyectos relacionados con esta actividad industrial y de esta forma garantizar un ambiente sano para estas comunidades en general (Ortiz, 2019).

El estudio de impacto ambiental de un parque Cementerio ubicado en la ciudad de Bogotá D.C evalúa el nivel de impacto generado por estos procesos de cremación, determinando por cada una de las actividades conjuntas de este mismo, las salidas y aspectos ambientales resultantes, se establece la contaminación de componentes bióticos y abióticos principalmente por la generación de emisiones atmosféricas, residuos peligrosos, residuos sólidos, entre otros (Chipatecua, 2017).

Las afectaciones a la salud como las enfermedades cardiovasculares y respiratorias, se sugiere que están asociadas a la exposición de material particulado y según sea su tamaño pueden llegar a introducirse en los pulmones y en los torrentes sanguíneos lo que a su vez conlleva a una muerte prematura (EPA, 2018).

Con relación al impacto ambiental, estas partículas ocasionan deterioro en la visibilidad ya que quedan suspendidas en el aire disminuyendo el grado de visión, el viento es uno de los factores clave en la dispersión de estos contaminantes provocando acidificación de las fuentes hídricas, pérdida de nutrientes del suelo, y uno de los causantes del fenómeno de lluvia ácida (EPA, 2020).

Dentro de los gases generados por los hornos crematorios se encuentra el monóxido de carbono (CO), este es un gas inodoro, incoloro y tóxico, es producto de los procesos de combustión, y de acuerdo a la exposición cambia las afectaciones a la salud de la población, cabe resaltar que este gas es susceptible de oxidarse a dióxido de carbono (CO₂) (UICN, 2019); este contaminante es considerado como uno de los gases responsables del efecto invernadero y a su vez del calentamiento global (Valencia Botero & Cardona Alzate, 2013).

En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), tiene la propiedad de ser susceptible de oxidación del NO a NO₂ siendo este último el más nocivo para la salud, causando problemas pulmonares, afectaciones en órganos como hígado y bazo, además de provocar alteración en el sistema inmunitario y circulatorio, generan un gran impacto a los ecosistemas ya que son responsables de fenómenos como la acidificación y eutrofización impidiendo el crecimiento de la flora (MITECO, 2019)

Con relación a las emisiones de PM_{2.5} se obtiene que los hornos crematorios que no cuenta con suministro de aire controlado libera concentraciones mayores a 2.5 veces en comparación a los hornos que cuentan con este equipo, por otra parte, se concluye que las tres instalaciones funerarias deben contar con estos equipos de suministro de aire ya que las emisiones superan los estándares admisibles permitidos por la legislación mexicana. (González et al., 2020)

4.1.1.1 Evaluación de impactos ambientales (EIA).

El uso de la evaluación de impacto ambiental como herramienta en el análisis de los proyectos obras o actividades en materia ambiental empezó a utilizarse a finales de la década de los años 60 en los Estados Unidos inicialmente, con el tiempo se ha expandido el uso de este instrumento a

territorios aledaños que a su vez han complementado la evaluación de impacto ambiental con la revisión de aspectos legales y la variedad de proyectos, obras y actividades (Gómez, 2003).

La incorporación de aspectos ambientales en la planeación institucional se empezó a tomar en cuenta por países desarrollados con la publicación realizada en 1970 por The National Environmental Policy Act (NEPA) donde indica que “todas las instancias de gobierno identificarán y desarrollarán métodos y procedimiento que contribuyan a que en el menor tiempo posible los factores ambientales sean tomados en cuenta en la toma de decisiones técnicas y económicas” (Bas and Herson, 1993), como se cita en (García, 2004, p.13).

Hacia los años 70 se establece en el Primer Programa Comunitario de Acción con relación al Medio Ambiente más exactamente entre los años 1973-1976 donde se habla del marco que debe desarrollar la normatividad ambiental en Europa, así mismo se da el Convenio que regula las especies protegidas en Washington 1973, el Convenio de Bruselas y Oslo en 1969 y 1972 respectivamente donde se habla en relación a la contaminación del agua de mar (Salvador et al., 2005).

Países como Canadá, Nueva Zelanda, Australia, Alemania, Francia, Filipinas, entre otros, entre los años 1973-1984 se sumaron a la preocupación por los problemas ambientales, siendo Canadá el país más destacado por la implementación del procedimiento de evaluación de impacto ambiental, en América Latina países como Colombia, México, Brasil, Venezuela, Bolivia, Paraguay y demás se adentraron entre los años 1973-1994 en la evaluación de impactos ambientales, Colombia actúa como pionero (García, 2004).

En el continente Europeo se elaboró en el año 1980 una Directiva acerca de la Evaluación de Impacto Ambiental, sin embargo, se dio su aplicación hasta el 1985, la Directiva (85/337/CEE) sobre la Evaluación de las Incidencias de los Proyectos sobre el Medio Ambiente establece la obligación que tienen todos los países que sean miembros en el desarrollo de legislaciones nacionales de evaluación de impacto ambiental (Salvador et al., 2005).

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo llevada a cabo en el año 1992 se permite y se divulga a nivel mundial el instrumento de la evaluación de impacto ambiental y de igual forma se ordena la incorporación de esta herramienta en las agendas políticas de los países, es así como 191 países de las Naciones Unidas incluyen como parte esencial el proceso de evaluación de impacto en su política pública ambiental (Perevochtchikova, 2013).

4.1.1.2 Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En el año 1971 se dio el uso en primera instancia de la matriz de Leopold siendo este el primer método utilizado en la evaluación de impacto ambiental, fue desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos y es aún el más usado, ese mismo año se desarrolló uno de los primeros métodos que incluyó un valor adicional del impacto para cada alternativa en los Laboratorios de Battelle en Columbus, Ohio en los Estados Unidos (Salvador et al., 2005).

En España para el año de 1996 Vicente Conesa propone una metodología de evaluación de impacto la cual se basa en la valoración de 11 atributos los cuales pretenden describir a detalle los impactos ambientales en análisis, en el año 2013 se desarrolla la metodología de redes complejas propuesta por Martínez Bernal la cual se basa en el estudio de las relaciones de causalidad que están asociadas a las actividades e impactos del proyecto (Toro et al., 2015).

4.1.3 Aspectos Legales

Dentro de la evaluación de impacto ambiental es importante tener en cuenta la identificación y análisis de los requisitos ambientales y otros requisitos ya que estos permiten la delimitación de las estrategias de acción para actuar frente a los impactos identificados, para la aprobación de un proyecto de agricultura en el Salvador se realiza la revisión de normas y requerimientos legales a cumplir durante la ejecución y funcionamiento de este proyecto (Calle et al., 2015).

Wolfman lleva a cabo la evaluación de impacto ambiental para la instalación y operación de un horno Crematorio en el Cementerio del Salvador, plantea que los objetivos del análisis del marco legal aplicable al proyecto en análisis están relacionados al cumplimiento de los requisitos en

materia ambiental exigidos por las leyes Provinciales que regulan y contribuyen a la protección del medio ambiente (Wolfman, 2013).

La calificación de los impactos ambientales se realiza en la actualización del plan de manejo ambiental de un parque cementerio de la ciudad de Bogotá, para dicho procedimiento se tienen en cuenta criterios de legalidad donde se evalúa la existencia y cumplimiento de las normas, las partes interesadas y los impactos ambientales asociados a la operación del parque cementerio (Chipatecua, 2017).

4.2 Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

Los modelos atmosféricos tienen origen con la predicción del tiempo estudiada en el año 1992 por Richardson, así como con Charney en el 1950 donde estudió la predicción numérica del tiempo a través de un modelo tipo barotrópico con característica de un solo nivel, gracias a esto se logró llevar a cabo en la superficie de 500 hPa el pronóstico de la altura del potencial del campo de gravedad de la Tierra (Montoya, 2008).

Partiendo de la medición de variables meteorológicas como viento, temperatura de una altura específica y la nubosidad de la zona se realizó la estimación de flujos superficiales, estos modelos fueron estudiados por Holtslag y Van Ulden en el año 1983 (Galindo García, 1999), y así en el año 1991 se incorporaron los avances científicos en materia de modelación con la mejora del modelo regulatorio AERMOD de AMS y EPA (Cimorelli et al., 2005).

Por medio de la modelación de dispersión de los contaminantes SO₂, NO₂ y PST mediante el uso del software AERMOD Zuluaga & Parra analizan los posibles impactos sobre poblaciones aledañas a una industria Papelera en el departamento de Valle del Cauca, se determinaron las concentraciones por cada uno de los contaminantes evaluados y se obtiene que dicha concentración disminuye con el aumento del área de estudio, sin embargo, se establece que la dirección del viento causa aglomeración de las emisiones de estudio (Zuluaga & Parra, 2010).

Con el fin de determinar la dispersión de contaminantes y los niveles de exposición a los habitantes de las emisiones liberadas por las fuentes fijas, se han aplicado diferentes modelos matemáticos dentro de los cuales se puede encontrar: el método gaussiano, lagrangiano, euleriano, entre otros, así mismo se busca establecer la relación entre la cantidad de contaminantes emitidos con la actividad de generación en este caso la cremación, esto es conocido como factor de emisión (EPA Cartagena, 2020)

Se ha realizado la comparación de modelos como Berlyand, SCREEN3 y Web Gauss, para cada uno de ellos se reportan valores de concentración y distancia máxima, en este estudio se establece que el modelo SCREEN3 proporciona mayores distancias de análisis en comparación con otros modelos, adicionalmente menciona que el uso de estos modelos puede brindar una solución a problemáticas como la determinación de la altura mínima admisible de emisión, evaluación del cambio de un combustible, entre otros (Ordoñez-Sánchez et al., 2018).

Gonzalez realizó el análisis de dispersión de contaminantes atmosféricos por medio del modelo Hysplit v.4, en este estudio se tuvo en cuenta la actividad de tres servicios funerarios que operaban frecuentemente y por tal motivo aumentan las emisiones liberadas por dicho proceso de cremación, se obtuvo diferentes mapas en los que se puede observar la dispersión de PM 2.5 y Hg siendo los contaminantes más significativos, gracias a esto se verifica el impacto negativo causado en 20 municipios aledaños a los puntos de generación (González et al., 2020).

4.3 Formulación de Alternativas de Corrección y Mitigación

Como una de las alternativas de mitigación es la utilización de técnicas para la pre combustión con el fin de generar una menor contribución de los gases generados en el proceso de la combustión, unas de estas técnicas y la más utilizada son las aleaciones de combustibles fósiles con combustibles limpios, para la realización de esta técnica es importante que se adapten quemadores apropiados que permita un control de emisiones (Villarejo, 1991).

El control de emisiones liberadas por hornos crematorios se lleva a cabo con el fin de dar cumplimiento a la normativa ambiental, de ahí que, el monitoreo de la concentración y tipo de

contaminantes en estos procesos de incineración de residuos humanos conlleva a la formulación de alternativas de manejo ambiental como la manipulación de factores en la operación de estos sistemas de incineración, limpieza de gases, sistemas de enfriamiento, entre otros (Pérez et al., 2001).

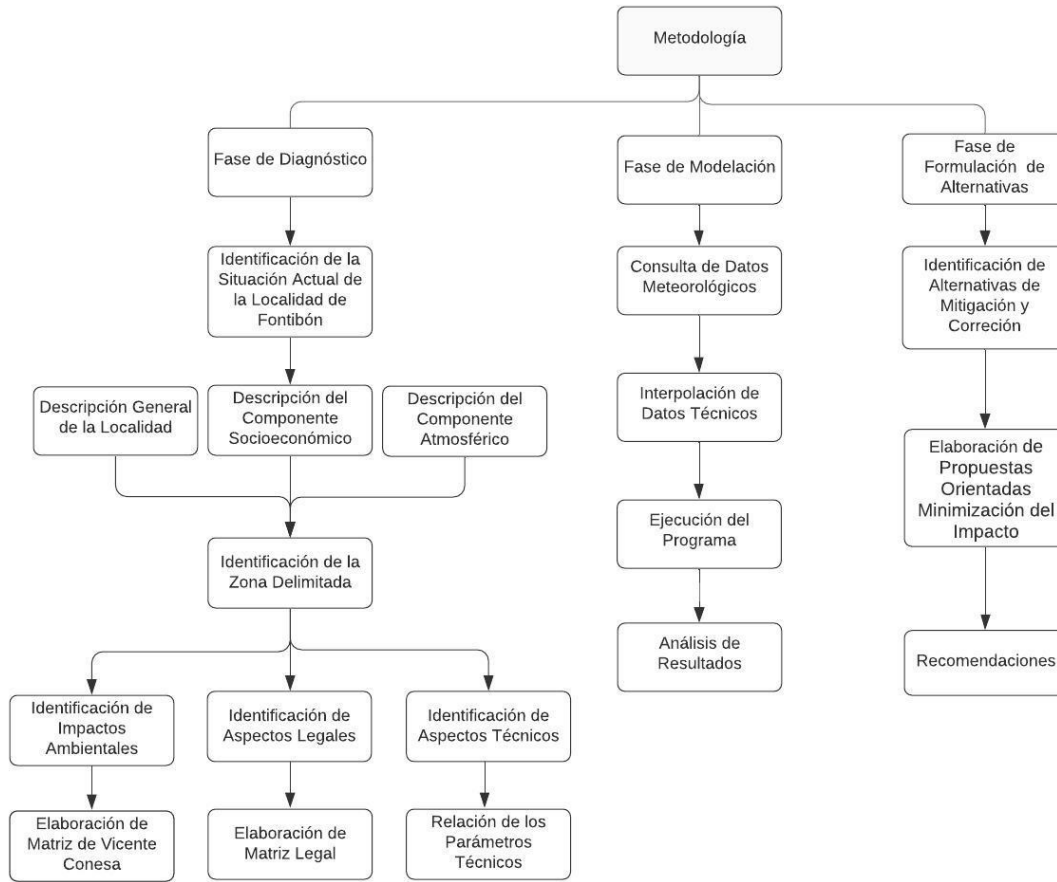
En la evaluación de los impactos ambientales ocasionados por un incinerados de residuos se implementa como alternativa de mitigación la instalación de sistema reductores de contaminantes NO_x , estos contienen compresores de aire, tanques de almacenamiento de aire comprimido, bombas de inyección de urea y tanques de almacenamiento de urea, sin embargo, la instalación de estos sistemas genera un impacto ambiental adicional que debe ser considerado para su implementación (Mohamed, 2015).

En la identificación de posibles impactos generados por los procesos realizados en el Crematorio del Cementerio Parque Futuro SA ubicado en la ciudad de Luque, Paraguay se formulan alternativas de mitigación para la contaminación del aire como impacto significativo, dentro de estas se encuentra la realización de monitoreos periódicos en las instalaciones, aumento en las temperaturas de emisión, implementación de cercas vivas y secuestradores de olores (Luque et al., 2018).

5. Metodología

La metodología implementada para analizar el impacto ambiental generado por un horno crematorio en Fontibón se establece en la figura 12, las actividades descritas en el diagrama correspondiente se proponen con el fin de dar resultados para cada uno de los objetivos formulados en el presente trabajo, las fases de diagnóstico, modelación y formulación de alternativas se desglosan en diferentes actividades.

Figura 12. Diagrama de la metodología de estudio. Fuente: Elaboración propia.



5.1 Fase de Diagnóstico

Esta primera parte inició con la revisión de bibliografía disponible con información pertinente a la localidad de Fontibón, como el uso de suelo, la demografía, datos meteorológicos, aspectos técnicos del horno crematorio, datos de concentración de contaminantes atmosféricos y cartografía local para elaborar el diagnóstico, identificando de esta forma la situación actual de la zona.

Posteriormente se realizó la delimitación de la zona de estudio teniendo en cuenta la ubicación actual del horno crematorio, ligado a este diagnóstico se identificaron los impactos ambientales producidos por este proyecto a través de la elaboración de la Matriz Vicente Conesa, mediante este método se logra realizar una interpretación amplia y ágil de los impactos ambientales en estudio disminuyendo de esta forma el nivel de subjetividad en la evaluación de impacto (Chacón, 2018),

simultáneamente se estudió la normatividad vigente mediante la elaboración del respectivo marco legal según dicha actividad económica.

5.2 Fase de Modelación

El software Screen View desarrollado en Estados Unidos por la EPA realiza la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos mediante un modelo de tipo Gaussiano, permite identificar las concentraciones máximas de contaminantes que se desplazan al nivel del suelo con respecto a la distancia desde el punto de emisión, es fundamental ingresar la información de entrada correspondiente a los datos meteorológicos y los factores de la fuente de emisión (Bustillos, 2011 citado por (Avilés, 2018)).

La simulación de dispersión de los contaminantes liberados por la actividad de un horno crematorio en Fontibón se lleva a cabo a través del uso del software Screen View, se realiza la recopilación de datos meteorológicos, factores de la fuente de emisión tomados de los catálogos de los fabricantes de hornos crematorios y las características generales del área donde se encuentra ubicado dicho horno crematorio, una vez se obtiene dicha información se realizan diversas pruebas variando el tipo de estabilidad atmosférica presente en la zona de estudio.

5.3 Fase de Formulación de Alternativas.

Con base en la información bibliográfica brindada por los fabricantes y artículos de investigación se formularon distintas alternativas de minimización y corrección conforme a la actividad que se lleva a cabo en el cementerio de Fontibón, priorizando la calidad de vida de la comunidad aledaña y el libre desarrollo de la actividad del crematorio, una vez formuladas las alternativas se profundizaron con respecto a las dos opciones más viables enfocadas en los principales actores que interactúan en este proyecto.

6. Resultados y Discusión

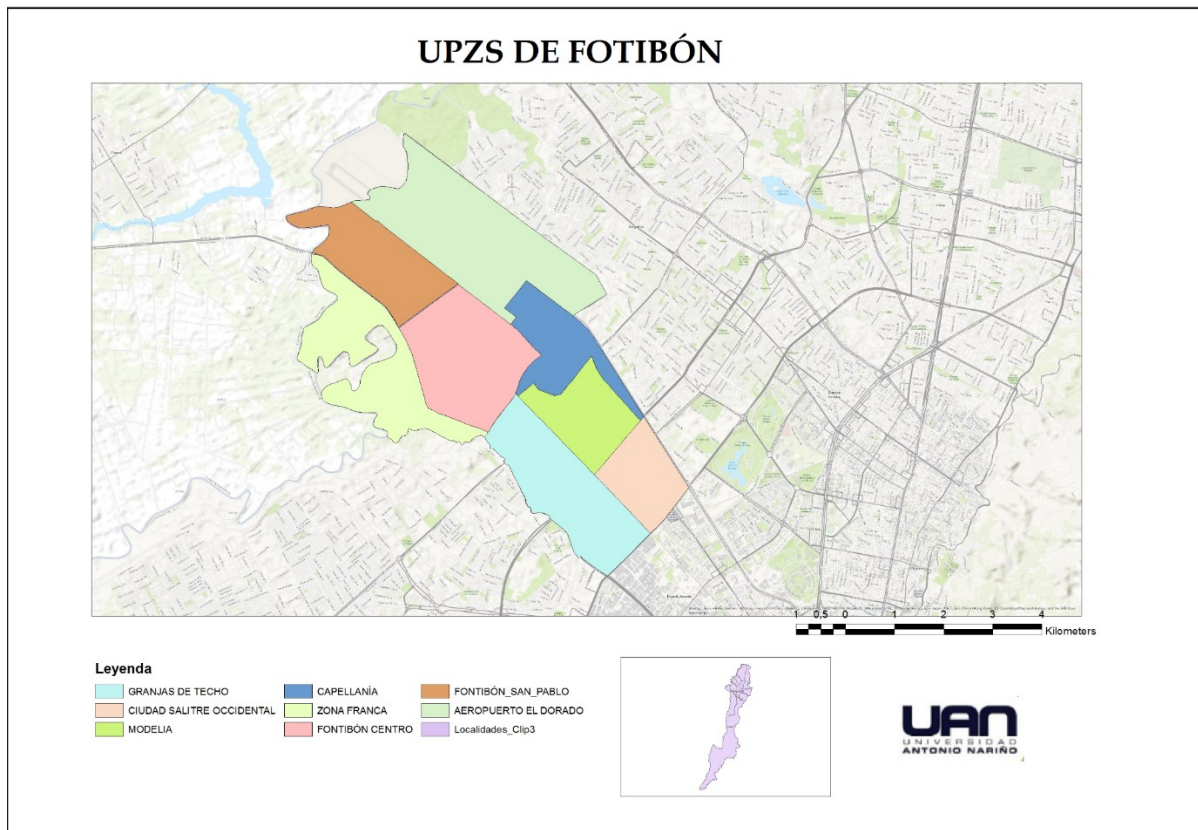
6.1 Diagnóstico

6.1.1 Descripción General de la Localidad de Fontibón

Fontibón es la novena localidad de Bogotá, se ubica en la zona noroccidental, limita con las localidades de: al norte con Engativá, al sur con Kennedy, al oriente con Teusaquillo y Puente Aranda y al occidente con los municipios de Mosquera y Funza, Fontibón cuenta con una extensión total de 3.325.88 hectáreas (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Ahora bien, esta localidad se divide en 8 zonas que se denominan UPZ como se puede observar en la figura 13, estas zonas son conformadas por los barrios o sectores que coinciden con varias particularidades urbanas por ejemplo el uso de suelo, la ocupación y las características sociales y económicas, en donde estas se adaptan a las instrucciones del plan de ordenamiento territorial de Bogotá (Secretaría Distrital de Salud, 2018).

Figura 13. Superposición de UPZ Fontibón correspondientes al área de influencia. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



La localidad de Fontibón se caracteriza por tener un clima frío, con un promedio anual de temperatura de 14° Celsius, una humedad relativa del 75%, y sus precipitaciones anuales son de 724 mm, sus temporadas lluvias son entre los meses de abril a junio y de octubre - noviembre, para las temporadas secas son los meses de diciembre a enero y de julio – agosto (Secretaría Distrital de Salud, 2018).

Dada su ubicación esta localidad pertenece a la zona baja de la cuenca del río Bogotá, por lo tanto, comparte un pequeño tramo de este mismo río, así mismo, cuenta con otras fuentes hídricas como el río Fucha, al interior alberga dos humedales el primero de ellos es el humedal de Capellanía cuya extensión es de 58.9 ha, el segundo es el Mehandro del Say con una extensión de 13.6 ha, ver figura 14, sin embargo, en los últimos años se ha perdido presencia de estos humedales gracias a la expiación urbanística (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Figura 14. Mapa de cuerpos hídricos en Fontibón. Fuente: Elaboración propia a partir de Arcgis.



6.1.1.1 Uso de Suelo de la Localidad de Fontibón.

El desarrollo urbanístico de la localidad de Fontibón está regido por las leyes y decretos reglamentarios del ordenamiento territorial, así mismo, las localidades deben regirse a las pautas del plan de ordenamiento territorial (POT) de la ciudad de Bogotá, en donde se determina los lineamientos, metas, estrategias y las pautas con respecto al uso del suelo en cuanto al incremento urbano, remodelación mantenimiento hacia las estructuras, control del espacio público (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 2009).

El diagnóstico local de Fontibón establece que el uso del suelo en la localidad se divide en 8 clases de actividades económicas, está presente el uso de suelo de tipo residencial, industrial, dotacional, comercio y servicios, área de actividad central, área urbana integral, suelo protegido y finalmente el tipo de suelo del cual no se tiene información. (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

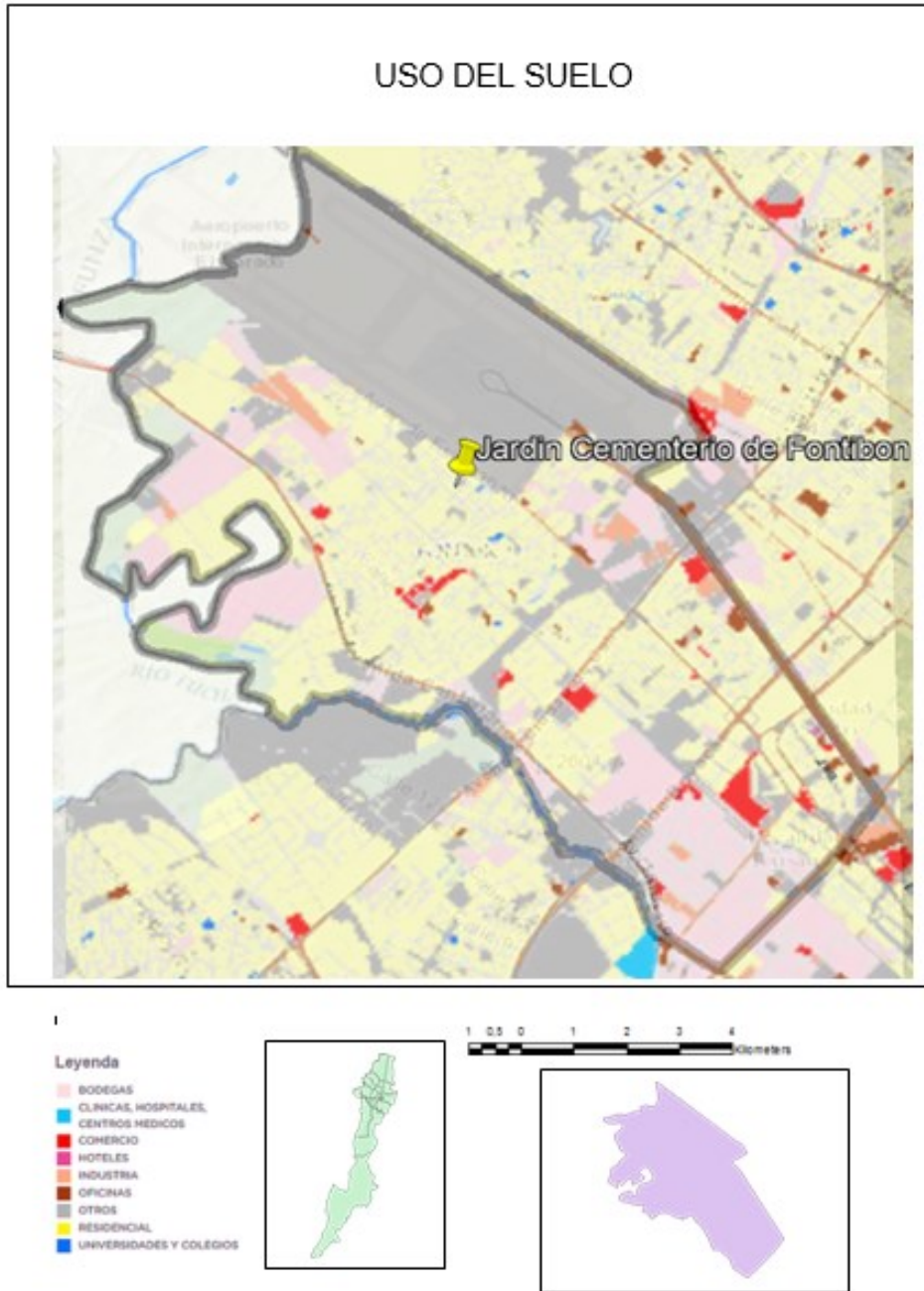
La mayor parte del área de la localidad de Fontibón es destinada a las actividades de tipo industrial, área urbana integral y residencial, con un porcentaje correspondiente al 18,2 %, 17,3% y 17% respectivamente, otra de las actividades productivas de esta localidad toma un área correspondiente al 9,5 %, esta actividad corresponde a la actividad de comercio y servicios de la zona como se indica en la tabla 5 (Secretaría de Planeación, 2020).

Tabla 5. Clasificación de usos del suelo localidad de Fontibón. Fuente: Tomado de diagnóstico Fontibón POT 2020.

	Actividad	Área (m ²)	% Población	% Área
	1.Residencial	4'891.866	54,3 %	17,0 %
	2.Industrial	5'254.339	10,3 %	18,2 %
	3.Dotacional	9'427.116	0,4 %	32,7 %
FONTIBÓN	4.Comercio y servicios	2'734.258	11,5 %	9,5 %
	5.Área de actividad central	69.298	0,1 %	0,2 %
	6.Área urbana integral	4'985.069	23,4 %	17,3 %
	7.Suelo protegido	898.892	0,1 %	3,1 %
	(Sin información)	531.298	0,0 %	1,8 %

De acuerdo a la identificación que se realizó sobre el uso del suelo mediante la plataforma disponible por la Alcaldía Mayor de Bogotá se logra visualizar que la zona aledaña al cementerio de la localidad de Fontibón corresponde a un uso del suelo de tipo residencial como lo indica la figura 15 (Mapas de Bogotá, 2020).

Figura 15. Mapa uso de suelo en Fontibón. Fuente: Elaboración propia a partir de Arcgis.



6.1.2 Descripción del Componente Socioeconómico

En esta localidad se desenvuelven diversas actividades económicas con respecto a la oferta servicios y bienes; Fontibón posee varias zonas francas dedicadas a producción industrial y así mismo, esta es una de las actividades que más promueve al desarrollo de la economía local; según el censo del 2006 realizado por la cámara de comercio de Bogotá en donde se refleja que la gran parte de su economía local es influenciada por el sector de servicios (76 %), industrial (18%) y construcción (4%), (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007).

En las actividades de la prestación de servicios se contemplan 5 clases de actividades más repetitivas las cuales contribuyen a un aumento de los ingresos y tasa de ocupación de la localidad y se discriminan así: el comercio con un 38 % de participación, transporte, logística, y telecomunicaciones con 11%, seguido por el sector de inmobiliarios con el 10%, un 8% es representado por las actividades gastronómicas y de turismo y por último con un 4% actividades comunitarias (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 2009).

Es de resaltar que la empresa dedicada a las producciones industriales representa una alta tasa de empleo y desarrollo a nivel local, cuyas actividades son de transformación de materias primas, fabricación de alimentos perecederos y no perecederos, de sustancias químicas, elementos plásticos y conservación de suministros alimenticios, estas empresas se ubican particularmente en las UPZ'S de Fontibón centro, Granjas de Techo, Fontibón San Pablo (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007).

Por otro lado, según la Secretaría Distrital de Planeación esta localidad cuenta con 6 niveles de estratificación socioeconómica en donde su concentración más alta es del estrato 3 con una 47.7%, seguido por un 36.8 % siendo el estrato 4, con un 12,4% correspondiente al estrato 2 y por último los predios sin estratificación los cuales son zonas no residenciales con un 3.1% (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 2009).

En cuanto a la prestación de servicios públicos esta localidad tiene una cobertura al 100% de alcantarillado y acueducto, al 99 % de energía y al 90.4% de gas natural, por otra parte, con

respecto al a la tasa de pobreza es necesario medirlo con base a tres conceptos primordiales, los cuales corresponden a: el índice de pobreza estructural con 1.7%, necesidades fundamentales insatisfechas con un 2.2% y su calidad de vida con un 92.69%, los dos primeros se encuentran por debajo de los índices promedio de la ciudad y el ultimo por encima de los mismos (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Es esencial mencionar que los componentes que cuantifican la tasa de calidad de vida de la población se segmentan en 4 secciones en donde el primero de ellos es la educación y capital humano con 35.5 %, en segundo lugar, la accesibilidad y calidad de los servicios con 27.4 %, en tercer lugar, el dimensión y estructura del hogar con un 18.3% y por último la calidad de la vivienda con 12.7%, por consiguiente la localidad se posiciona en el cuarto lugar con un con el mayor índice de calidad de vida (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 2009).

6.1.3 Descripción del Componente Atmosférico

La Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB) permite realizar la consulta específica de los datos históricos con respecto a las variables meteorológicas y concentraciones de contaminantes de las localidades de la ciudad; la red permite la descarga de esta información y por consiguiente el análisis de las situaciones declaradas como emergencia con relación a la calidad del aire (El Tiempo , 2020).

En la localidad de Fontibón se ha evidenciado la afectación de la calidad del aire por el funcionamiento de un horno crematorio, la comunidad aledaña a este horno ha manifestado que a partir del mes de julio del año 2020 se ha dado un incremento en la liberación de los gases generados por la actividad de este horno (Semana, 2020) , teniendo en cuenta lo manifestado por los habitantes y los datos históricos de la RMCAB se estudiaron las concentraciones correspondientes al 29 de julio del 2020, en este día se presentaron unas de las más altas concentraciones registradas como se puede observar en la tabla 6 (SDA, 2020).

Tabla 6. Concentración de los contaminantes por hora. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB

Contaminante	Unidad	Valor
PM ₁₀	µg/m ³	118,8

PM _{2.5}	µg/m³	43,2
CO	Sin reporte	Sin reporte
NO _x	ppb	119,2
SO ₂	ppb	1,5

Así mismo, en la tabla 7 se relacionan los valores correspondientes a las variables meteorológicas que se presentaron este día de análisis, es importante tener en cuenta estos valores ya que la dispersión de contaminantes depende de estas condiciones meteorológicas, la dirección y distancia recorrida por los gases liberados se estudia con base en la velocidad y dirección del viento, precipitación, temperatura del ambiente, entre otras (Ortiz, 2019).

Tabla 7. Valores de variables meteorológicas. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB.

Variable meteorológica	Unidad	Valor promedio
Velocidad del viento	m/s	1,8
Dirección del viento	Grados	304
Temperatura	°C	15
Humedad relativa	%	78
Precipitación	mm	0,1

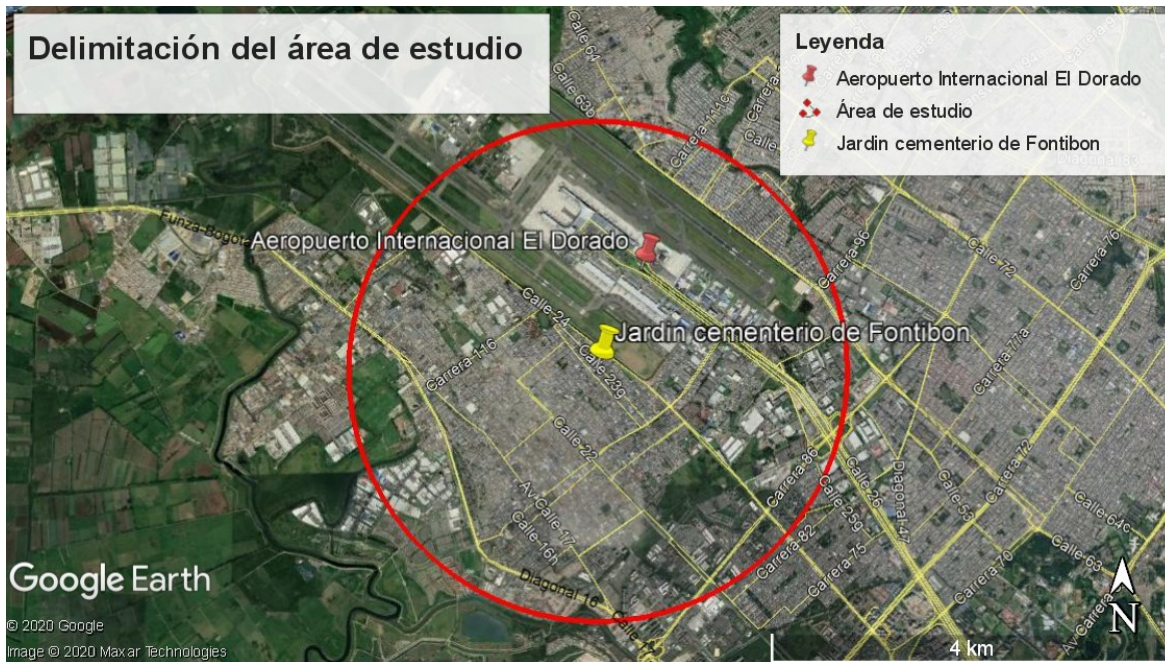
6.1.4 Delimitación del Área de Estudio

Para el desarrollo del estudio de impacto generado por un horno crematorio de la localidad de Fontibón se tomó un área de estudio correspondiente a 2,5 km de radio tomando como punto central de dicha circunferencia el cementerio de Fontibón donde se encuentra instalado el horno crematorio, este horno se encuentra ubicado en las coordenadas 4.6840511 latitud norte, -74.1457962 longitud este, la ubicación fue delimitada a partir de Google Earth.

La delimitación de esta área se realizó teniendo en cuenta que dentro de esta circunferencia se encuentran componentes bióticos y abióticos afectados indirectamente por la cercanía a la fuente de emisión, adicionalmente, se realizó un ensayo en el software Screen View tomando como base las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes establecidos por la legislación colombiana, teniendo como resultado que a distancias mayores a los 3 km las concentraciones de los contaminantes no son significativas para chimeneas con alturas ≥ 10 m (Tricio, 2008).

En la figura 16 se observa la delimitación de la zona de estudio, se toma como referencia el Aeropuerto Internacional El Dorado.

Figura 16. Delimitación de área de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.



6.1.5 Identificación de Impactos Ambientales

Para la elaboración de la Matriz de evaluación de impacto ambiental Vicente Conesa se determinaron los procesos y actividades por cada una de las etapas de construcción, operación y desmantelamiento del proyecto, los procesos correspondientes a la etapa de operación son: la conservación de cadáveres, tanatopraxia, cremación y por último limpieza y desinfección del horno (Chipatecua, 2017).

Para cada uno de estos procesos anteriormente mencionados se determinan las respectivas actividades que se desglosan de los mismos, los aspectos e impactos ambientales resultantes de dichas actividades se determinaron con relación al estudio de impacto ambiental de un crematorio (P. Herrera, 2015), estos impactos se evalúan mediante la calificación de los atributos relacionados en el apartado 3.1.2.4 del presente documento.

En el anexo 1 se indican los resultados de la evaluación de impacto del horno crematorio en la localidad de Fontibón, con base en el proyecto de construcción de un edificio (Lopez Hermanos LTDA, 2016) y el plan de manejo ambiental de un cementerio de Bogotá (Chipatecua, 2017), se establecen las diferentes etapas junto con sus procesos y actividades del proyecto en estudio, en la etapa de estudio de suelo se obtiene principalmente el impacto positivo de la generación de empleo con una clasificación moderada.

Con respecto a la etapa de construcción se tiene como resultado un impacto severo correspondiente a la modificación de las características del suelo por el proceso de cimentación, adicionalmente se evidenció que la gran parte de los impactos generados en esta etapa son clasificados como moderados resaltando aspectos como el consumo de energía y la generación de residuos (Peláez Leon, 2011).

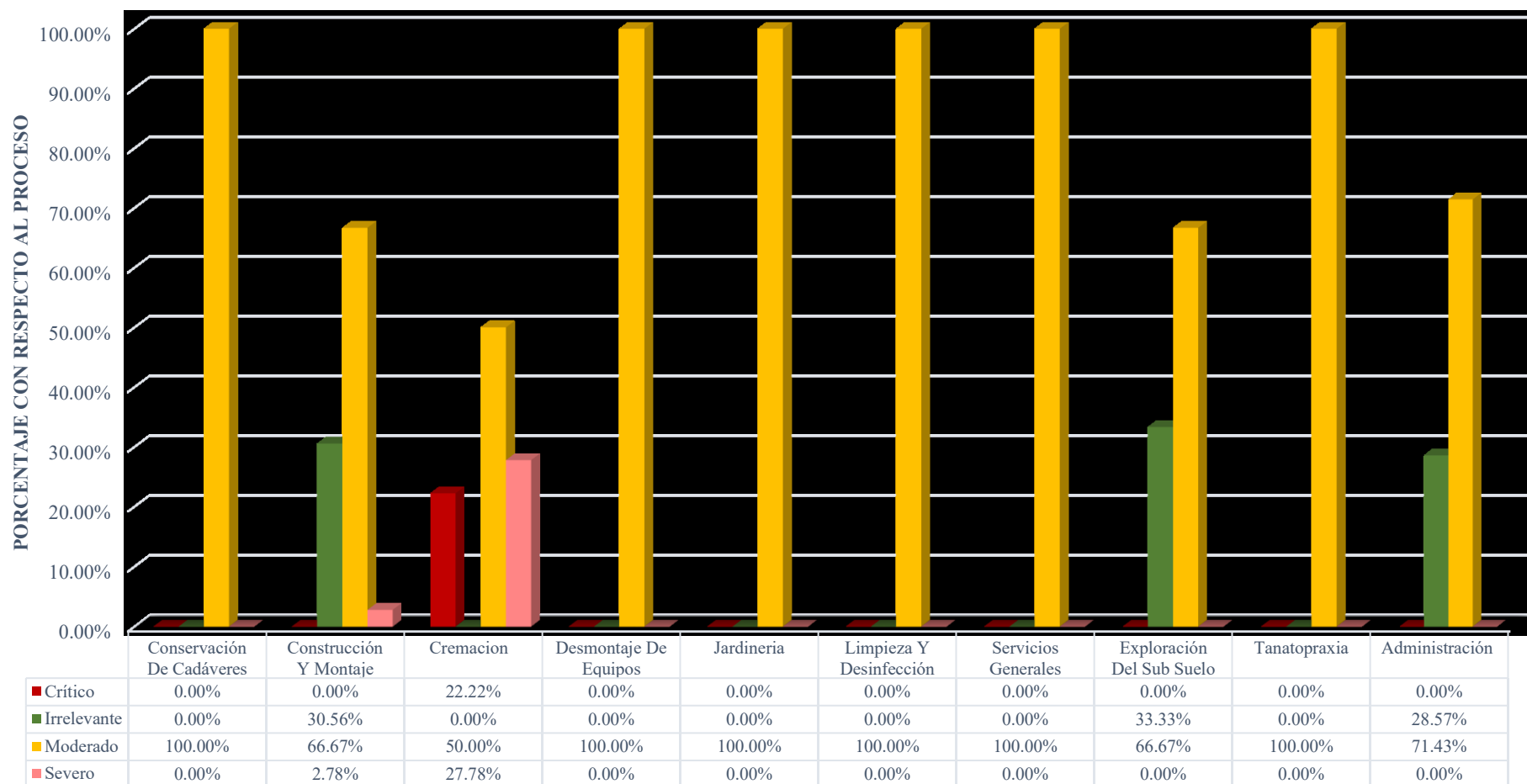
El análisis del impacto generado por la etapa de operación de este proyecto indica un grado de importancia mayor ya que los procesos y actividades realizados en esta etapa arrojaron resultados significativos en la generación de impactos al entorno, de acuerdo a la matriz de Vicente Conesa se refleja que el proceso con mayor impacto es el relacionado a la cremación ya que involucra un proceso de combustión y de postcombustión (González et al., 2020), en este se asocia la contaminación del aire, suelo, y efectos a la salud como los impactos críticos cita.

Por otro lado, la actividad de incineración de cadáveres genera un impacto hacia la contaminación visual y olores ofensivos por la liberación de compuestos como NO₂ y SO₂ (Ortiz, 2019) cuya clasificación fue severa, los impactos de carácter moderado en esta etapa son concernientes a la contaminación por sustancias químicas y agotamiento de recursos por consumo de energía y agua; en esta etapa de operación se obtienen impactos positivos como la generación de empleo, aprovechamiento de residuos orgánicos y la alteración paisajística por procesos de jardinería.

En la figura 17 se representa gráficamente el impacto y nivel del mismo generado por cada uno de los procesos en el proyecto de análisis, obteniendo la cremación como el proceso que más impacto genera a nivel crítico y severo.

Figura 17. Impacto de los procesos de cremación. Fuente. Elaboración propia.

PROCESO DE MAYOR IMPACTO



6.1.6 Identificación de Aspectos Legales

Con respecto a los aspectos legales, la resolución 909 de 2008 establece que los hornos crematorios deben cumplir con un valor de temperatura $\geq 750^{\circ}\text{C}$ para la cámara primaria y $\geq 900^{\circ}\text{C}$ con respecto a la cámara de postcombustión, los valores de emisión permisibles de contaminantes a la atmósfera están asociados al tipo de instalación o fuente que en este caso corresponde a hornos crematorios, el promedio diario y horario del contaminante y los tipos de gases liberados (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

Tabla 8. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire en hornos crematorios. Fuente: Tomado de Resolución 909 de 2008.

Instalación	Promedio	Estándares de Emisión Admisibles (mg/m^3)		
		MP	CO	HCT
Hornos crematorios	Promedio diario	No aplica	75	15
	Promedio horario	50	150	30

Por otro lado, la resolución 5194 de 2010 indica que los hornos crematorios deben estar ubicados en los sitios destinados por el POT, EOT, o PBOT, del municipio o distrito, alejados de actividades industriales y de comercio las cuales generen malos olores u otro tipo de polución, apartados de viviendas, edificios residenciales, sitios de recreación, colegios y demás, así mismo, la resolución 1447 de 2009 señala los requisitos para realizar la cremación de cadáveres a nivel nacional (Ministerio de la Protección Social, 2010).

En el anexo 2 se identificó la normativa vigente y aplicable a la actividad económica de Pompas fúnebres y actividades relacionadas correspondiente al código CIIU 9603 (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007), en este marco normativo se relacionan las leyes, decretos y resoluciones asociadas a los diferentes componentes ambientales afectados por los procesos ejecutados en dicha actividad.

Es esencial analizar la norma establecida para la calidad del aire donde se relaciona directamente la afectación a la salud pública, en Colombia la resolución 2254 de 2017 establece los niveles

máximos permisibles a los cuales debe estar expuesto un individuo, y así mismo a nivel internacional la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece estos niveles de exposición, se observa que la OMS determina valores más estrictos, esta comparación se muestra en la tabla 9 (OMS, 2005).

Tabla 9. Niveles de exposición de contaminantes atmosféricos. Fuente. Modificado a partir de MinAmbiente, 2017 y OMS, 2005.

Contaminante	Unidad	Valor MinAmbiente	Valor OMS	Tiempo de exposición
PM ₁₀	μg/m ³	75	25	24 horas
SO ₂	μg/m ³	50	20	24 horas
NO ₂	μg/m ³	200	200	1 hora

6.2 Análisis de Dispersión de Contaminantes

Para llevar a cabo la modelación mediante el software SCREEN VIEW fue necesario ingresar datos relacionados a tipo de fuente de emisión, tipo de terreno y área, concentración del gas de salida, altura y diámetro de la chimenea, caudal y temperatura del gas de salida y finalmente la temperatura ambiente, en la tabla 10 se relacionan dichos parámetros y sus respectivas unidades.

Tabla 10. Parámetros iniciales para la modelación. Fuente: Elaboración propia a partir del software SCREEN VIEW

Parámetro	Unidad
Tipo de fuente	N/A
Tipo de área	N/A
Tipo de terreno	N/A
Concentración del gas de salida	g/s
Altura de la chimenea	m
Diámetro de la chimenea	m
Caudal del gas de salida	m ³ /s
Temperatura del gas de salida	K
Temperatura ambiente	K

Las emisiones de contaminantes atmosféricos liberados por hornos crematorios han sido estandarizadas por los fabricantes de estos equipos usados en el proceso de cremación de cadáveres, para el caso de esta modelación de dispersión se utilizaron las concentraciones de

contaminantes establecidas por la industria europea VEZZANIFORNI precursores en la fabricación de hornos crematorios, en la tabla 11 se relacionan dichos valores.

Tabla 11. Concentración de los contaminantes requeridos por Screen View. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de VEZZANIFORNI, 2005.

Contaminante	Unidad	Valor
PM ₁₀	g/s	2,7x10⁻⁶
CO	g/s	1,3x10⁻⁵
NO ₂	g/s	8,3x10⁻⁵
SO ₂	g/s	1,3x10⁻⁵

Para definir el valor de altura de la chimenea se tomó como referencia la altura de un individuo correspondiente a 1.53 m, el individuo se ubicó junto a al ducto de la chimenea logrando determinar una altura aproximada de 7.6, para el diámetro de la chimenea, caudal y temperatura del gas se tomó como referencia los valores establecidos en el diseño de hornos crematorios realizado por las empresas AMERICAN CREMATORY EQUIPMENT COMPANY y VEZZANIFORNI, estos valores se relacionan en la tabla 12 (VEZZANIFORNI, 2020).

Tabla 12. Parámetros técnicos de la chimenea. Fuente: Tomado de AMERICAN CREMATORY EQUIPMENT COMPANY y VEZZANIFORNI, 2020.

Parámetro	Unidad	Valor
Altura de la chimenea	m	7,6
Diámetro de la chimenea	m	0,2
Caudal del gas de salida	m ³ /s	0,16
Temperatura del gas de salida	K	453
Temperatura ambiente	K	298

Se realizaron 28 escenarios de modelación, cada uno de ellos se basó en una parametrización diferente de acuerdo al tipo de estabilidad atmosférica de la zona y la concentración de los contaminantes descritos anteriormente. En la tabla 13 se relacionan los parámetros establecidos para cada uno de los escenarios, se realizaron 7 escenarios de modelación para cada uno de los cuatro contaminantes analizados.

Tabla 13. Características de los escenarios de modelación. Fuente: Elaboración propia.

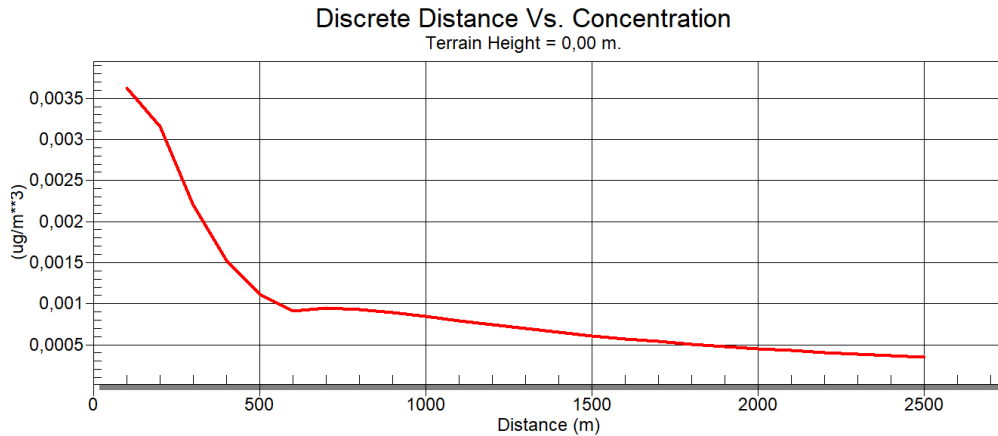
Escenario	Contaminante	Tipo de estabilidad	Escenario	Contaminante	Tipo de estabilidad
1	PM ₁₀	Completa	15	NO ₂	Completa
2	PM ₁₀	A	16	NO ₂	A
3	PM ₁₀	B	17	NO ₂	B
4	PM ₁₀	C	18	NO ₂	C
5	PM ₁₀	D	19	NO ₂	D
6	PM ₁₀	E	20	NO ₂	E
7	PM ₁₀	F	21	NO ₂	F
8	CO	Completa	22	SO ₂	Completa
9	CO	A	23	SO ₂	A
10	CO	B	24	SO ₂	B
11	CO	C	25	SO ₂	C
12	CO	D	26	SO ₂	D
13	CO	E	27	SO ₂	E
14	CO	F	28	SO ₂	F

Por cada uno de los escenarios de modelación se obtuvo una gráfica donde se evidencia la relación entre la concentración vs la distancia de dispersión de cada contaminante con respecto al punto de emisión, los resultados más significativos se presentan en las figuras 18, 20, 22 y 24, cada una de estas gráficas representa los resultados obtenidos del análisis de cada uno de los contaminantes (PM₁₀, CO, NO₂, SO₂) respectivamente. En el anexo 3 se observan los resultados de la modelación de los 24 escenarios restantes.

6.2.1 Resultados Escenario #1

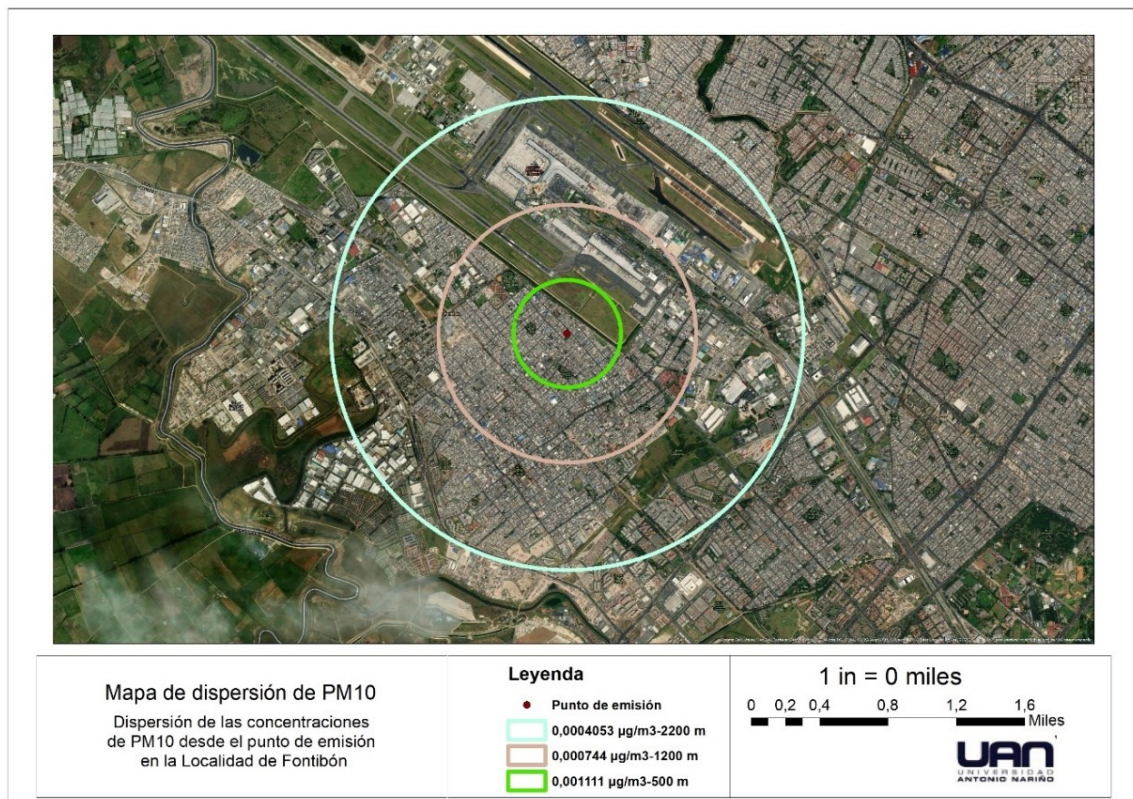
Las concentraciones de PM₁₀ corresponden a valores relativamente bajos, partiendo del hecho que la concentración promedio de salida de la chimenea de este contaminante corresponde a un valor mucho menor al valor máximo admisible establecido por la resolución 909 de 2008, esto se debe a la disminución de temperatura que se da en el ducto y chimenea del horno por el contacto directo que tienen los gases con el agua y la temperatura del ambiente, disminuyendo de esta forma la concentración de material particulado liberado (ANLA, 2018).

Figura 18. Dispersión de PM. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.



Las concentraciones de PM₁₀ y sus respectivas distancias de dispersión fueron interpoladas a través del software Arcgis, mediante el uso de la herramienta buffer se logra observar en el mapa las áreas de dispersión correspondientes para los valores de concentración más significativos liberados por el punto de emisión, en un radio de 500 m se presenta la concentración más alta posterior a la salida del gas, en la figura 19 está representado lo anterior.

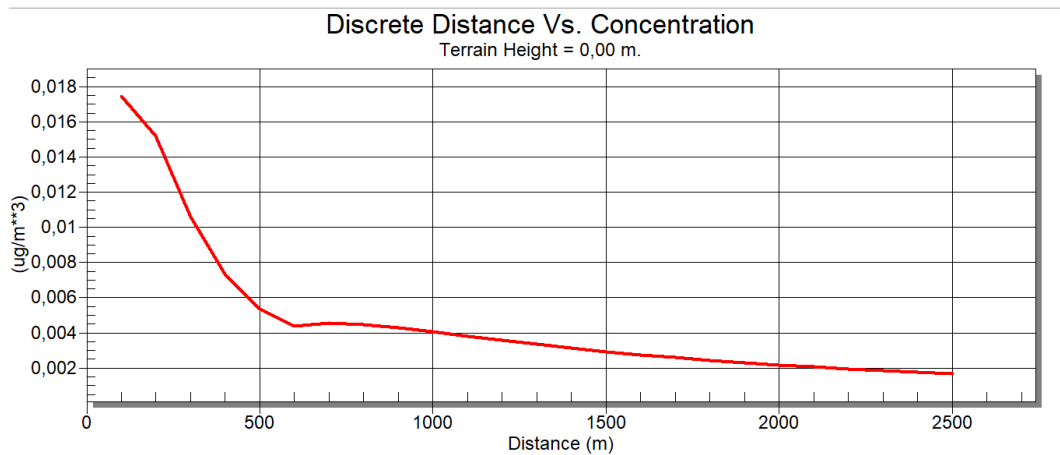
Figura 19. Mapa de dispersión de PM₁₀. Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.



6.2.2 Resultados Escenario #8

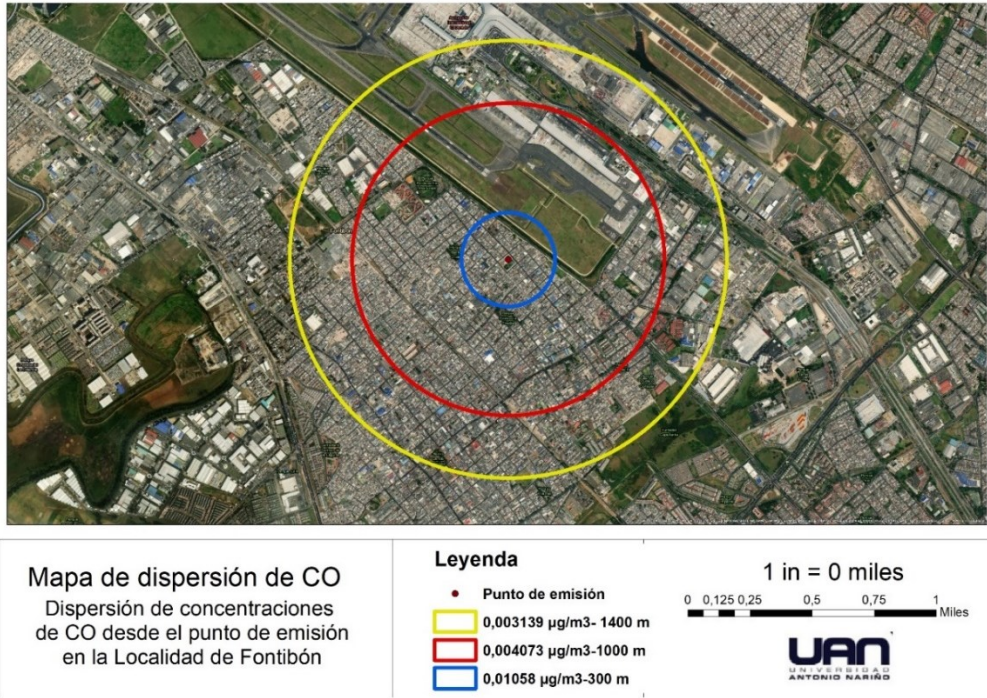
La dispersión de CO es significativa en este proceso ya que es uno de los principales gases emitidos en el proceso de combustión, sin embargo, las concentraciones se encuentran por debajo de los índices máximos permisibles determinados por la legislación colombiana teniendo en cuenta que el equipo utilizado corresponde a las versiones más recientes los cuales cumplen los parámetros técnicos de la normatividad europea (VEZZANIFORNI, 2020).

Figura 20. Dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.



En la figura 21 se representan las concentraciones de CO y sus respectivas distancias de dispersión, la velocidad del viento y demás condiciones climáticas son causantes de la permanencia de estas concentraciones significativas en áreas con radios correspondientes entre los 300-1000 m.

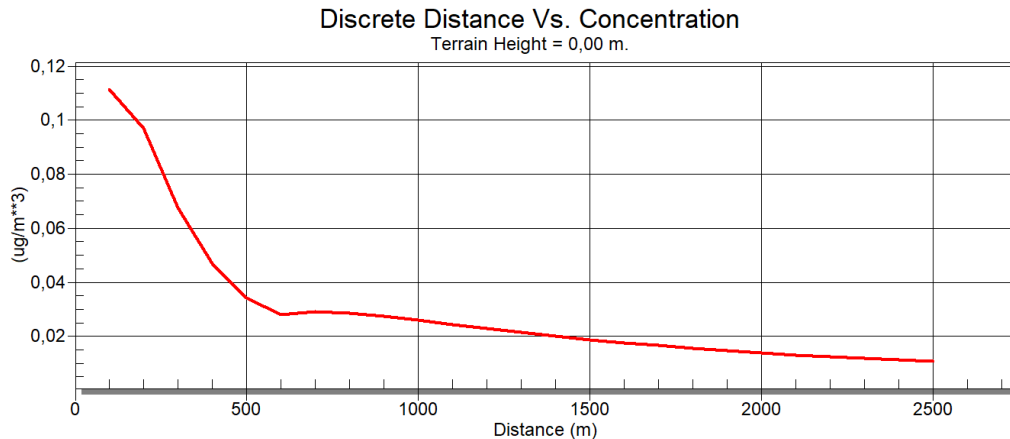
Figura 21. Mapa de dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.



6.2.3 Resultados Escenario #15

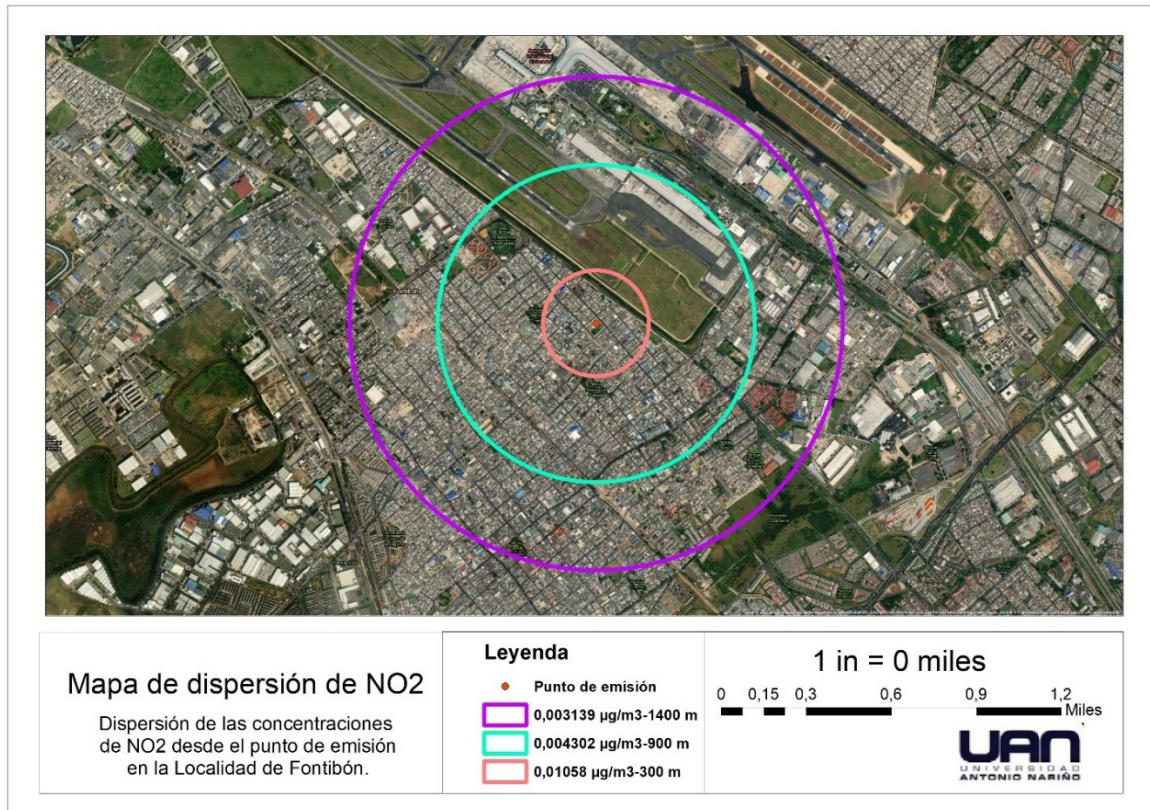
Para el NO₂ las concentraciones de dispersión son más elevadas en comparación con los valores obtenidos para los demás contaminantes analizados, sin embargo, dichas concentraciones se encuentran por debajo de los niveles de exposición establecidos por la OMS y el Ministerio de Medio Ambiente en la norma correspondiente a calidad del aire, estas altas concentraciones se atribuyen a la presencia de nitrógeno que se encuentra en el aire y en composición del cuerpo humano (Gregg, 2008).

Figura 22. Dispersión de NO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.



Las concentraciones de NO₂ y sus respectivas distancias de dispersión, los datos arrojados por la modelación se interpolaron, en la figura 23 se representan las áreas de dispersión de concentraciones entre los 0,01058- 0,003139 µg/m³, estos valores corresponden a los más altos en comparación con los demás contaminantes en análisis.

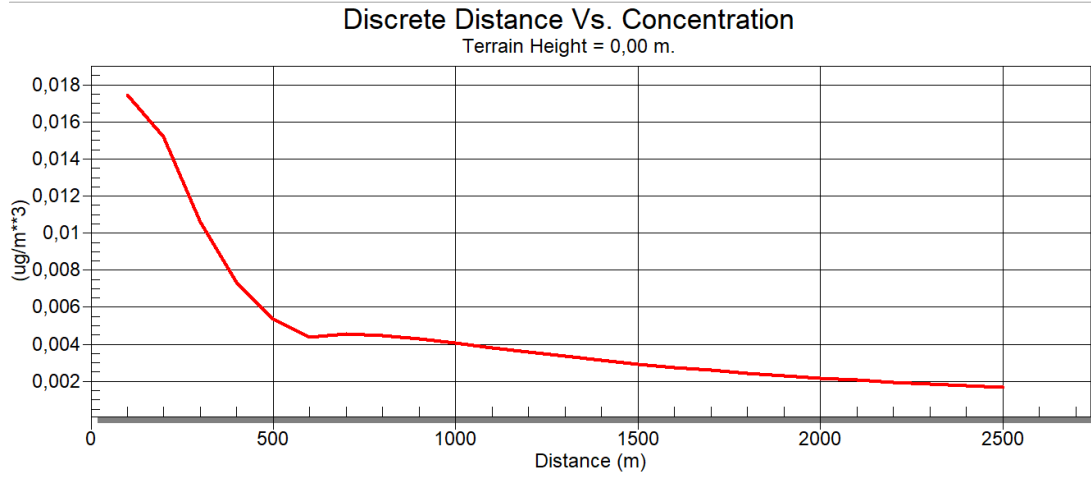
Figura 23. Mapa de dispersión de NO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.



6.2.4 Resultados Escenario #22

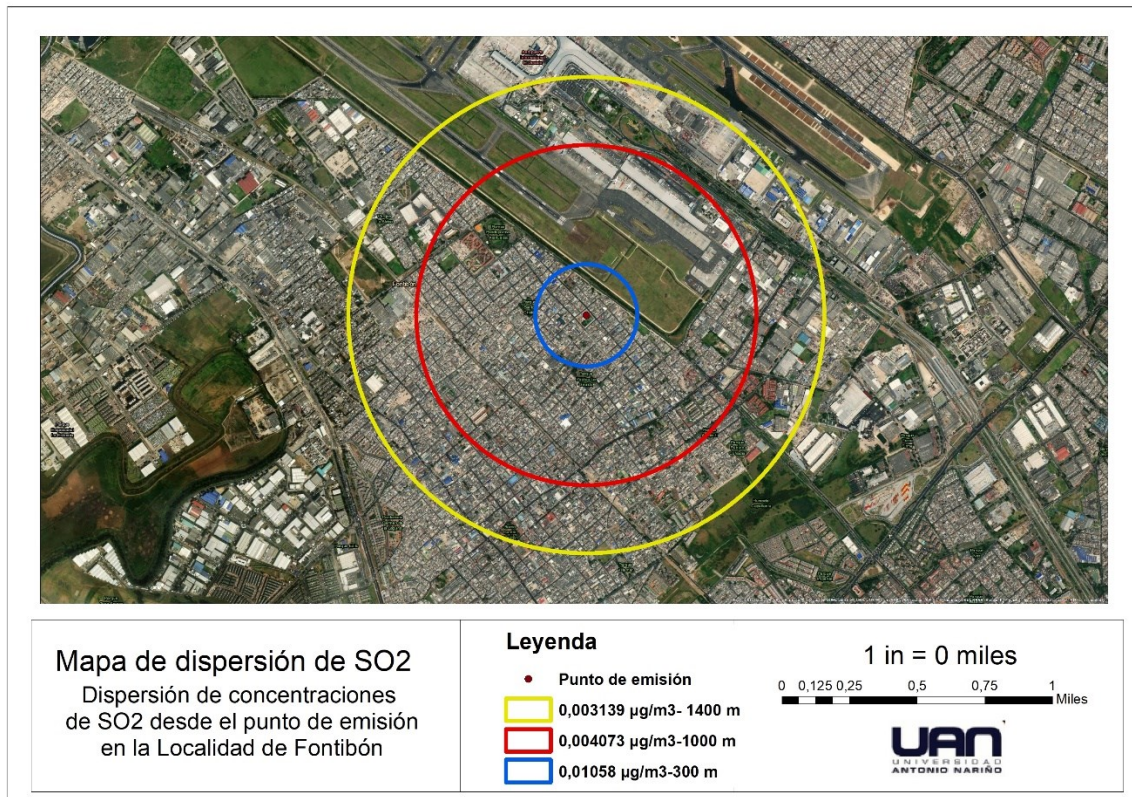
Las concentraciones de SO₂ corresponden a las mismas resultantes en el escenario #8 con respecto a las emisiones por CO, es de resaltar que los habitantes aledaños al horno crematorio en Fontibón mencionan la presencia de malos olores por la actividad de este horno (Semana, 2020), el SO₂ es el principal causante de este impacto ya que es un gas que presenta un olor particular, adicionalmente su densidad es mayor a la del aire y por lo tanto es susceptible de precipitación, es por esto que entra en contacto directo con los habitantes (IVHHN, 2020).

Figura 24. Dispersión de SO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.



En la figura 25 se representan las concentraciones de SO₂ y sus respectivas distancias de dispersión, las concentraciones comprenden valores entre los 0,01058- 0,003139 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con áreas correspondientes entre los 300-1400 m, los malos olores de este gas contaminantes se logran percibir hasta el área con radio de 300 m dada la velocidad del viento.

Figura 25. Mapa de dispersión de SO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de Arcgis.



Las gráficas representadas en los escenarios 1, 8, 15 y 22 presentan una dispersión más significativa de los contaminantes en comparación con los demás escenarios de modelación, esta tendencia se da por el criterio de estabilidad atmosférica de tipo completa utilizada en estos 4 escenarios, este criterio contempla los 6 tipos de estabilidad atmosférica (A, B, C, D, E, F) en una sola, así como un amplio rango de velocidad del viento entre 1-20 m/s, gracias a esto es posible considerar diferentes comportamientos de dispersión que pueden tener estos contaminantes.

Por otro lado, en los 4 escenarios seleccionados se evidencia una variación con respecto a las concentraciones de dispersión de estos contaminantes ya que los valores de concentración iniciales son diferentes para cada tipo de contaminante, sin embargo, la tendencia de dispersión es la misma en los 4 casos debido al tipo de estabilidad atmosférica en la modelación mencionada anteriormente.

6.3 Formulación de Alternativas.

Mediante la revisión bibliográfica, se analizan las alternativas de manejo de impacto de la contaminación del aire mediante la comparación de sus ventajas y desventajas, en la tabla 14 se presentan cada una de las alternativas estudiadas, estas son la implementación de sistemas de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda, sistemas de adsorción de contaminantes, mecanismos de participación ciudadana, responsabilidad social empresarial y la implementación de sensores de calidad del aire.

De acuerdo con lo anterior se profundizo en dos estrategias teniendo en cuenta el nivel efectividad en cuanto al monitoreo y la reducción de los gases contaminantes de una forma inmediata, así mismo, se tuvo en cuenta el costo de la inversión inicial, el tiempo de funcionamiento, la asequibilidad y algunos beneficios tributarios y comunitarios.

Tabla 14. Comparación de alternativas. Fuente. Elaboración propia.

Alternativa	Descripción	Ventajas	Desventajas
--------------------	--------------------	-----------------	--------------------

<p>Sistemas de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda</p>	<p>Estos equipos tienen como propósito la remoción de gases ácidos y material particulado que se encuentran en la composición de las emisiones liberadas por procesos de combustión, este sistema reduce la temperatura de estos gases a valores entre los 120-150 °C (ANLA, 2018).</p>	<p>Alta eficiencia en la minimización de emisiones atmosféricas (ANLA, 2014). Cuenta con periodo de operación continua prolongado mayor a 15 años (ANLA, 2014). Es un sistema integrado y optimizado (incol, 2017).</p>	<p>Compleja instalación y alto costo de operación (Sanetti, 2016). Alto consumo de agua y generación de agua residual (MARM, 2009).</p>
<p>Sistemas de Adsorción de contaminantes</p>	<p>Estos sistemas se basan en el proceso de intercambio iónico que ocurre entre la superficie de la estructura y las partículas de los contaminantes que entren contacto con esta misma, teniendo como resultado el proceso de adsorción (Dannemann, 2016).</p>	<p>La adsorción de contaminantes por la capacidad fotocatalítica del material, dióxido de titanio (Nevárez, 2017). Tiene diversas aplicaciones con respecto a otras fuentes de emisión. Tiene la capacidad de reducir contaminantes tipo COV.</p>	<p>Adecuación de la infraestructura donde se hará la instalación del sistema (Gutierrez, 2018). Tiene una inversión de instalación elevada ya que se requiere de una tecnología avanzada (Dannemann, 2016).</p>

Responsabilidad social empresarial	Se establece como un enfoque de gestión empresarial, mediante el cual se da el compromiso jurídico y ético respecto a los impactos que se generan en la implementación de su actividad con el fin de aportar a un desarrollo económico sostenible (Errol & Flores, 2009).	Las empresas se ven beneficiadas a través del reconocimiento por su desempeño ambiental, la reputación positiva, la reducción de impuestos tributarios, entre otras (Isaac & Cervantes, 2016).	Incremento en el presupuesto de actividades a implementar por la organización (Rodríguez, 2019).
Biocombustibles	Son biocarburantes como alcoholes, éteres, ésteres entre otros compuestos químicos los cuales se derivan de una fuente renovable de los diferentes procesos de producción en la agroindustriales o residuos orgánicos, la biomasa (Dolores Cortés-Sánchez et al., 2017).	Son una alternativa de combustible en remplazo del Diesel con el fin de minimizar las emisiones de gases contaminantes. Tiene costos de producción bajos (J. Herrera, 2008).	Bajo rendimiento en el proceso de combustión. Uso de recursos alimenticios (Dolores Cortés-Sánchez et al., 2017). Bajo poder calorífico (Pardal, 2012).
Mecanismos de participación ciudadana	“El Estado contribuirá a la organización, promoción y capacitación de las asociaciones profesionales, cívicas, sindicales, comunitarias, juveniles, benéficas o de utilidad común no	Posibilidad de intervenir en pro de tomar decisiones más favorables para los convocados a participar (Ortiz, 2006).	Menor eficiencia con respecto a la toma de decisiones. Cumplimiento de responsabilidades por parte de los convocados a

	gubernamentales, sin detrimento de su autonomía con el objeto de que constituyan mecanismos democráticos”, (El pueblo de Colombia, 1991).		participar (Ortiz, 2006).
Sensores de calidad del aire	Los sensores de calidad del aire miden las concentraciones de material particulado PM _{2.5} en áreas de tipo residencial, comercial e industrial, estos sistemas cuentan con WIFI integrado lo que permite visualizar en tiempo real la información arrojada a una base de datos (Martins, 2019).	Medición de PM (0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10 µm) en tiempo real (Martins, 2019).	No se realiza la medición de otros contaminantes atmosféricos importantes como NO _x , SO ₂ , CO, entre otros.

6.3.1 Adquisición de Sistemas de Tratamiento y Depuración de Gases

Con base en la revisión anteriormente descrita se plantean los parámetros esenciales para la implementación de un sistema de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda, el alto porcentaje en la remoción de contaminantes, su optimización y el poco espacio que ocupa el sistema son unas de las ventajas del uso de estos equipos (ANLA, 2018).

Adicionalmente, la instalación de estos sistemas está ligada a beneficios para la industria fúnebre ya que puede contar con la “exclusión de impuestos sobre las ventas de IVA conforme al art. 424 numeral 7 del estatuto tributario” (ANLA, 2014), y de igual forma beneficios para la comunidad con la minimización de los contaminantes atmosféricos liberados, en la tabla 14 se observa la propuesta.

Propuesta de Sistema de Tratamiento y Depuración de Gases por Vía Húmeda en 9 etapas

Objetivo:

Minimizar las cargas contaminantes liberadas a la atmosfera por la actividad de un horno crematorio en Fontibón, teniendo en cuenta su nivel de eficiencia y viabilidad económica.

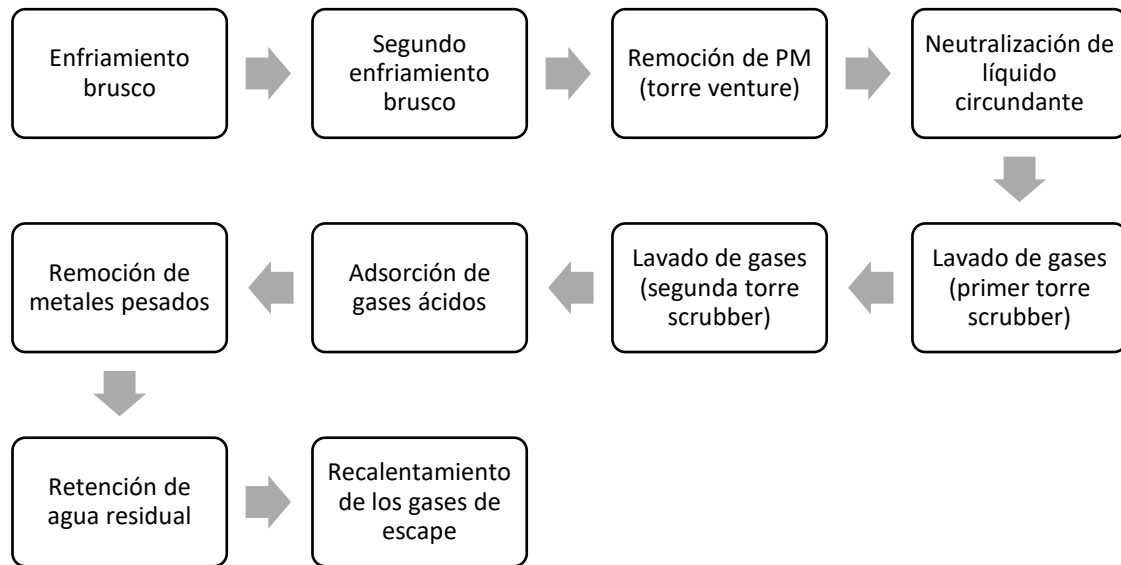
Metas:

Reducir el 95% de las emisiones en un lapso de tiempo de 1 año en la etapa de operación del proyecto.

Disminuir en un 25% la temperatura de los gases de salida en el periodo de tiempo de cremación.

Descripción de la propuesta:

Figura 26. Etapas del sistema de tratamiento y depuración de gases.



La primer y segunda etapa impide la formación de furanos y dioxinas debido al cambio brusco de la temperatura pasando de los 1200°C a los 120°C por medio de rociadores los cuales provocan este enfriamiento; la tercera etapa tiene como finalidad la remoción de material particulado mediante el uso de materiales a los cuales se adhiere el material particulado suspendido, estas partículas son sometidas a ruptura a través de rociadores de agua (incol, 2017).

La neutralización de líquido circundante o cuarta etapa consta de un agente neutralizador introducido a los tanques de agua, dicha agua debe cumplir con un rango de pH 7,8-8,5, este líquido pasa por un sistema de circulación; en el lavado de los gases se eleva la humedad con el fin de obtener los resultados siguientes a esta etapa, para obtener este resultado es esencial que el pH del agua sea mayor al mencionado anteriormente (incol, 2017).

En la adsorción de gases ácidos se retienen estas sustancias por el intercambio iónico que ocurre en el proceso de adsorción para esto se aumenta la superficie de la interfaz, en el cual ocurre un contacto directo entre el agua neutralizada y los gases ácidos; la remoción de metales pesados se da a través de la oxidación de estos gases ya que de esta forma se facilita su remoción por precipitación generando lodos compuestos por material particulado y metales pesados (incol, 2017).

En esta penúltima etapa se da la retención de agua residual en los gases de escape donde se condensa el agua de arrastre resultante de la etapa 5, posteriormente esta agua en estado gaseoso cambia a estado líquido donde decanta y pasa al segundo tanque; la última etapa consiste en someter los gases y agua residual de la etapa 5 a temperaturas elevadas a la temperatura del ambiente con el fin de reducir la visibilidad del penacho blanco (incol, 2017).

Figura 27. Sistema de tratamiento y depuración de gases. Fuente. Tomado a partir de Incol, 2016.



Indicador:

Ecuación 4. Indicador de reducción de emisiones. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Reducción\ de\ emisiones = \frac{Emisión\ inicial/año - emisión\ actual/año}{Emisión\ inicial/año} * 100$$

Nota. Las emisiones se relacionan en unidades de volumen (m³).

Alcance:

La implementación de este sistema de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda aplica para hornos crematorios de diferentes características, los cuales generen contaminantes como PM, NO_x, SO₂, entre otros.

Cronograma de ejecución:

Las etapas relacionadas con la implementación de este sistema se relacionan en el siguiente cronograma, se toma como referencia periodos de tiempo en meses.

Tabla 16. Cronograma de propuesta. Fuente. Elaboración propia.

ETAPA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
COTIZACIÓN																			
ADQUISICIÓN																			
TRANSPORTE																			
ADECUACIÓN E INSTALACIÓN																			
OPERACIÓN																			

Presupuesto:

Valor neto aproximado del sistema en pesos colombianos \$ 76.000.000

Valor de fletes, seguros y gastos aproximado en pesos colombianos \$ 6.000.000

Valor de IVA 19% año 2020 \$ 15.580.000

Valor total aproximado en pesos colombianos \$ 97.580.000

Seguimiento y monitoreo:

Este sistema de tratamiento cuenta con un equipo de monitoreo de los gases generados posterior a la implementación del sistema de control de emisiones atmosféricas, se registran los datos tomados cada 5 minutos para el análisis realizado por este equipo.

Realizar la revisión periódica mensual de los datos almacenados por el sistema de monitoreo, verificando el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

Así mismo se realizará el mantenimiento preventivo trimestral del sistema de tratamiento para garantizar su correcto funcionamiento.

Frecuencia:

El seguimiento general de la propuesta planteada se va a llevar a cabo con una frecuencia anual mediante la revisión de los indicadores planteados, el cumplimiento de las metas y actividades establecidas en el cronograma relacionado anteriormente.

6.3.2 Implementación de sensores de calidad del aire

Se genera una propuesta dirigida hacia la comunidad en específico con el fin de incentivar la participación ciudadana en donde ellos puedan involucrarse en la toma de decisiones con respecto a temas de interés que pudiesen causar algún efecto adverso hacia su bienestar, en la tabla 16 se describe la propuesta de implementación de sensores de calidad del aire, estos sensores son asequibles y los datos de medición son de libre acceso.

Tabla 17. Propuesta de Implementación de sensores de calidad del aire. Fuente. Elaboración propia.

Propuesta de Implementación de sensores ciudadanos
Objetivo: Medir y visualizar en tiempo real las concentraciones de material particulado PM (0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10 μm) en zonas residenciales, comerciales o industriales.
Meta: Informar a un 50% de los ciudadanos del barrio Versalles en Fontibón con relación al uso y funcionamiento de sensores de calidad del aire en un lapso de tiempo de 6 meses.
Descripción de la propuesta: Es un equipo diseñado para medir las concentraciones de material particulado (0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10 μm), de humedad y temperatura, estos sensores están conectados vinculados por medio de una red WIFI en donde se puede observar en tiempo real los datos recopilados por la red de sensores, esta información es registrada en diferentes plataformas para su posterior análisis. Mediante reuniones con la comunidad se realizarán diferentes capacitaciones, intercambio de información con el fin de generar un espacio abierto a la generación de nuevas ideas, metas y estrategias en pro del bienestar comunitario. Por otro lado, se brindará la información recopilada por estos sensores con su respectiva explicación y las acciones que conllevan estos resultados.

Figura 28. Sensores de calidad del aire. Fuente. Tomado a partir de PurpleAir, 2020.



Indicadores:

Ecuación 5. Indicador de divulgación de la propuesta. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Divulgación\ de\ la\ propuesta = \frac{Habitantes\ informados}{Total\ de\ habitantes} * 100$$

Ecuación 6. Indicador de sensores en funcionamiento. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Sensores\ en\ funcionamiento = \frac{Sensores\ en\ funcionamiento}{Total\ de\ sensores\ instalados} * 100$$

Alcance:

Esta red de sensores tiene como propósito la medición de material particulado PM (0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10 μm) en barrios comunales que presenten afectaciones por la actividad de industrias aledañas.

Cronograma de ejecución:

Las etapas relacionadas con la implementación de los sensores de calidad de aire se relacionan en el siguiente cronograma, se toma como referencia periodos de tiempo en meses.

Tabla 18. Cronograma de la propuesta. Fuente. Elaboración propia.

ETAPA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ENE
COTIZACION													

ADQUISICIÓN					
TRANSPORTE					
ADECUACIÓN E INSTALACION					
OPERACIÓN					

Presupuesto:

TRM 31 de octubre de 2020 en pesos colombianos \$ 3858,56

Valor aproximado de cada sensor en pesos colombianos \$ 960.781

Seguimiento y monitoreo:

Por medio de juntas de acción comunal se informará a los ciudadanos el estado y funcionamiento de cada uno de los sensores junto con un informe mensual de los resultados obtenidos en la medición de las concentraciones del material particulado.

A través de visitas periódicas a los puntos donde se encuentran instalados los sensores se realizará la verificación del estado físico de estos dispositivos, de igual forma los ciudadanos que conozcan los sistemas informaran al encargado de esta iniciativa en caso de que se presente alguna falla, de esta forma se tendrá un control sobre el mantenimiento preventivo que requieran los dispositivos.

Frecuencia:

Cada tres meses se verificará el estado y correcto funcionamiento de los sensores, así mismo se revisará la veracidad de los datos arrojados por los dispositivos.

7. Conclusiones

- De acuerdo a la revisión bibliográfica se evaluó la situación actual de la zona de estudio, se concluye que en el proceso de cremación se genera un impacto severo con respecto a la contaminación atmosférica, sin embargo, los valores de concentración liberados por el

horno no son superiores a las concentraciones máximas permisibles establecidas por la resolución 909 de 2008.

Por otro lado, los aspectos técnicos de este horno están diseñados para el cumplimiento de la legislación europea cuyos indicadores son menores a lo exigido por la normatividad colombiana, adicionalmente se evidenció que en cuanto a la ubicación de este horno existe un conflicto por el uso de suelo en el cual se debe desarrollar este tipo actividad, la resolución 5194 de 2010, título 4, artículo 35, numeral 4 establece la ubicación de estas actividades.

- Con base en las modelaciones realizadas en los softwares Screen View y Arcgis se logró observar que la dispersión de estos contaminantes es superior a los 2500 metros, adicionalmente, a medida que aumenta la distancia de dispersión, simultáneamente disminuyen las concentraciones de estos contaminantes influenciado por las condiciones meteorológicas del lugar.
- Conforme a los resultados y discusión presentada anteriormente se realizó la formulación de dos alternativas de manejo, una de ellas enfocada hacia la corrección y mitigación del impacto de la contaminación del aire generado por la industria de la cremación, y la otra enfocada hacia comunidad con el fin de incentivar de incentivar la participación ciudadana en temas relacionados a la calidad del aire.

8. Recomendaciones

- Se recomienda la incorporación de distintas variables para el análisis del diagnóstico inicial de la zona de estudio y proporcionar de esta forma mayor información para realizar un estudio más detallado.
- Se sugiere la mejora continua de las prácticas en el proceso de la operación del horno crematorio con el fin de reducir los impactos generados.
- Se recomienda la implementación de diferentes softwares especializados en otras variables de la dispersión de contaminantes atmosféricos, así mismo la modificación de los datos de entrada para estos softwares.

- Se sugiere incorporar sistemas integrados de información por medio de aplicaciones móviles, paginas web, entre otras, para mantener informada a la comunidad con respecto a la calidad del aire de la zona afectada.

9. Referencias

- Aizpurúa, N. (2010). Medidas preventivas, correctoras y compensatorias del impacto ecológico de carreteras. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Alcaldía Local de Fontibón. (2018). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá DC. (2009). *Diagnostico Local con Participacion Social 2009-2010*.
- Alfonso Avila, N. Z. H. (2014). Principales normas ambientales colombianas. In *Principales normas ambientales colombianas*. <https://doi.org/10.21158/9789587562798>
- ANLA. (2014). *Certificación N°4271 de 2014*. 1–17.
- ANLA. (2018). *Resolución 01362 de 2018*.
- Arboleda González, J. A. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. In *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Avilés, D. (2018). *DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2*.
- Beatriz, & Silva. (2012). Evaluación ambiental : impacto y daño . Un análisis jurídico desde la perspectiva científica. *Departamento de Estudios Jurídicos Del Estado EVALUACIÓN, Universida*(tesis Doctoral), 538.
- Bonilla, B. E. L. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. In *ACIMED*.
- Buitrago, J. H. (2003). Aplicacion del modelo Gaussiano para determinar la calidad de aire de Manizales. *Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Calle, D. I. R., Faique, D. E. L., & Francisco, T. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental AGROSAD*.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2007). *Perfil económico y empresarial Localidad de Fontibón*.

- Canter, L. W. (1998). *Manual De Evaluacion De Impacto Ambiental*. 841.
- Caputo, M. (2004). *Dispersión de contaminantes en la atmósfera: análisis de modelos*. XXIII(November), 55. <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>
- Castillo Calle, M. A. (2012). La Norma Jurídica en el Sistema Legislativo Peruano. *Derecho y Cambio Social*, 0, 1–18.
- Chacón, B. (2018). *Propuesta de una guía metodológica para la realización de la evaluación de impacto ambiental aplicable en ecoparque sabana (Jaime Duque)*.
- Chipatecua, R. (2017). ACTUALIZACION PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARQUE CEMENTERIO SERAFIN. *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D., & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Conesa, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. *NA*.
- CORANTIOQUIA. (2008). *Requerimientos Técnicos y Normativos para Hornos Incineradores*.
- Cotán-Pinto, S. (2007). *Los estudios de Impacto Ambiental: Tipos, Métodos y Tendencias*.
- Crematory Manufacturing and Service Inc. (2005). *Manual de operacion CMS Millennium III Cremator*.
- Cruz Minguez, V., Gallego Martin, E., & Gonzales de Paula, L. (2008). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*. 146. <https://eprints.ucm.es/9445/1/MemoriaEIA09.pdf>
- De la Maza, C. (2007). *Evaluación de Impactos Ambientales*. 579–607.
- Dolores Cortés-Sánchez, M., Macarena Gata-Montero, E., Pipió-Ternero, A., & Rodríguez-Rivas Juan Manuel Sánchez-Santos, Á. (2017). *Biocombustibles: tipos y estrategias de producción*.
- El pueblo de Colombia. (1991). *Constitucion politica de colombia 1991 preambulo el pueblo de colombia*.
- EPMMQ. (2012). *Estudio de impacto ambiental de la primera línea del metro de Quito*. <https://www.metrodequito.gob.ec/el-proyecto/licitaciones/>
- Errol, A., & Flores, R. (2009). *La responsabilidad social de las empresas The social responsibility of the companies*. 16, 123–136.

- Espinoza, G. (2001). Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. *Control*.
<https://doi.org/10.1109/ICCV.2003.1238654>
- Feal Veira, A. (2011). Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. In *Ingenieria Quimica*.
- Fernandez, C. (2010). *Guia metodologica para la evaluacion del impacto ambiental* (p. 177).
- Fernández, J. A. C. (2012). *APLICACIÓN DE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA*.
- Ferrando, I., Albarracín, L., Gallart, C., García-Raffi, L. M., & Gorgorió, N. (2017). Análisis de los modelos matemáticos producidos durante la resolución de problemas de fermi. *Bolema - Mathematics Education Bulletin*. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v31n57a11>
- Frías Armenta, M., Martín Rodríguez, A. M., & Corral Verdugo, V. (2009). Análisis de factores que influyen en el desarrollo de normas ambientales y en la conducta anti-ecológica. *Interamerican Journal of Psychology*, 43(2), 309–322.
- Galindo García, I. F. (1999). *Librería de software de procedimientos meteorológicos para modelos de dispersión de contaminates*. 133.
- Gallardo, L. (1997). *Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos*.
- García. (2004). *Evolución histórica y legal de la Evaluación del Impacto Ambiental*. 13–37.
- García, D. A. (2012). Modelado numérico de la dispersión de contaminantes asociada al flujo atmosférico dentro de un entorno urbano específico de la Ciudad de Bogotá. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Garmendia, A. (2005). *Evaluacion de impacto ambiental*. www.FreeLibros.me
- Gobierno Vasco. (2017). *Análisis de estudios de impacto*. 1–42.
- Gomez, A. (2015). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CREMATORIO EN UNA NAVE INDUSTRIAL*.
- González, G., Hernández Contreras, J. M., Valle-Hernández, B. L., Hernández Moreno, A., Santiago-De la Rosa, N., García-Martínez, R., & Mugica, V. (2020). Toxic atmospheric pollutants from crematoria ovens: characterization, emission factors and modelling. *Environmental Science and Pollution Research*, Villegas 2019.
- Gregg, T. (2008). *Incineración, cremación de cadáveres*. 10–11.
- Gutierrez, M. (2018). *PLAN PARCIAL PARQUE DE DESARROLLO SOCIAL EJE INTEGRADOR REGIONAL SUR (SOACHA – GIRARDOT)*.

Hernández. (2015). Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones.

UCE Ciencia. Revista de Postgrado.

Hernández, G., & Rueda, Á. (2013). *La muerte es el final: La industria de la muerte S.A.*

Herrera, J. (2008). *CARACTERIZACION Y APROVECHAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS PARA LA OBTENCION DE UN COMBUSTIBLE (BIODIESEL).*

Herrera, P. (2015). *Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental crematorio funeraria Melendez.*

Ian, K., Quinn, C. P., & Cooney, G. (2014). Transformation by fire: The archaeology of cremation in cultural context. In *Transformation by Fire: The Archaeology of Cremation in Cultural Context.*

ICONTEC. (2015). NTC - ISO 14001. *SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL. Requisitos Con Orientación Para Su Uso.*

incol. (2017). *Sistema de tratamiento y depuración de gases húmeda. 4540(1650).*

International Institute for Sustainable Development. (2016). *Manual de Capacitación sobre la Evaluación del Impacto Ambiental.* 154.

Isaac, D., & Cervantes, S. (2016). *LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL COMO VENTAJA.* 236–256.

Johnke, M. G. (2001). *Draft of a German Report with basic informations for a BREF-Dokument "Waste Incineration". December.*

Loustaunau, M. (2015). Aspectos e Impactos ambientales. *Sgs Academy.*

Luque, R., Bernardino, S., & Ita, C. (2018). “ *Crematorio del Cementerio Parque Futuro .*”

Maldonado, L. F. (2013). El modelamiento matemático en la formación del ingeniero. In *In Business.*

Mari, M., & Domingo, J. L. (2010). Toxic emissions from crematories: A review. *Environment International*, 36(1), 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.09.006>

MARM. (2009). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico.*

Martinez, D. (2009). *Guía Técnica Para La Elaboracion De Planes De Manejo Ambiental. Alcaldía Mayor de Bogotá.*

MINAMBIENTE. (2018). *METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES.*

- Ministerio de Ambiente. (2002). *Resolución 058 de 2002*.
- Ministerio de Ambiente, V. y D. I. (2013). Decreto 1220 de 2005. *Decreto 1220 de 2005*.
- Mohamed, F. M. (2015). *EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UNA INCINERADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA*.
http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11922/TD_MIMUN_MOHAMED_Fauzi.pdf?sequence=1
- Montoya, G. de J. (2008). *Lecciones de meteorología dinámica y modelamiento atmosférico*.
- Muñoz, J. F., Ortiz, C., Abujatum, E., & Gonthier, C. (2012). Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA. In *SEIA*.
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- Ordoñez-Sánchez, Y. C., Reinos-Valladares, M., Hernández-Garces, A., & Canciano-Fernández, J. (2018). Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio. *Revista Cubana de Química*.
- Ortiz, J. M. (2019). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS ACTIVIDADES DE UN HORNO DE CREMACIÓN DE UN CAMPOSANTO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI*.
- Pardal, A. C. D. V. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. *IPBeja Repositorio Científico*.
- Peláez Leon, J. D. (2011). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO*.
- Peña, J. P. V. (2013). *Diseño de horno de cremación*. 85-87.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*.
- Pérez, J., Espinel, J., Ocampo, A., & Londoño, C. (2001). Dioxinas en procesos de incineración de desechos. *Dyna (Medellin, Colombia)*.
- Ramos, D. (2014). *Medidas Preventivas, Correctoras y Compensatorias*. 15.
http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/9_MedidasPyC_resumen.pdf
- Rodríguez, P. (2019). *LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL, ACTUALIDAD E INCLUSIÓN EN EL MERCADO COLOMBIANO*.

- Salvador, A. G., Alcaide, A. S., & Salvador, L. G. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*.
- Sanetti, A. (2016). *ANÁLISIS Y FORMULACIÓN DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA HORNOS DE ALTA TEMPERATURA E INSTALACIONES DE COINCINERACIÓN*.
- Secretaría de Planeación. (2020). *PROCESO DE REVISIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BOGOTÁ DC*. 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.5771/9783845289892-15>
- Secretaría Distrital de Salud. (2018). *Análisis de condiciones, calidad de vida, salud y enfermedad*.
- SENER. (2016). *Metodología para la Evaluación de Impacto Social*. 18.
- Toro, J., Martelo, C., & Martínez, N. (2015). Metodología Para La Evaluación De Aspectos Ambientales. *Universidad Nacional de Colombia*, 130.
- Torres Jerez, A. (2013). Aplicación Práctica Del Modelo De Dispersión De Contaminantes Atmosféricos – Iscst3. *Escuela de Negocios*.
- Tricio, V. (2008). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire y estudios de impacto ambiental : estudio de caso*.
- UICN. (2019). *La desoxigenación de los océanos : un problema de todos*.
www.iucn.org/deoxygenation
- Valencia Botero, M. J., & Cardona Alzate, C. A. (2013). Aproximación conceptual a la separación del dióxido de carbono en corrientes de combustión TT - Carbon Dioxide Separation from Combustion Stream: A Conceptual Approach. *Facultad de Ingeniería*.
- Villafañe, D. (2013). *Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP)*. 232.
- Villar, G. (2017). Estudio de modelos de dispersion y su aplicación al control industrial. *Universidad de Alcalá Escuela*.
- Villarejo, J. T. (1991). *RETENCIÓN DE CONTAMINANTES. PREVENCIÓN DE SUPERACIÓN DE LÍMITES*. 125–175.
- Wolfman, L. S. B. A. (2013). Estudio de Impacto Ambiental-Crematorio. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Zuluaga, C., & Parra, J. (2010). Estudio De La Dispersión De Contaminantes Atmosféricos En

La Jurisdicción De Cornare: Informe General. *Universidad Pontificia Bolivariana, 173, 1–19.*

http://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_1.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Matriz Vicente Conesa.

LOGO DE LA EMPRESA		PLAN DE MANEJO AMBIENTAL														Modelo de Mejora Continua	
		MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN, CALIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES															
ETAPA	PROCESO	ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	CALIFICACIÓN											IMPORTANCIA	CLASIFICACIÓN
					Naturaleza	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad		
ESTUDIO DEL SUELO	Exploración Del Sub Suelo	Perforación	Uso De Equipos Especializado	Cambios En La Estabilidad Del Terreno	-	2	2	2	4	1	2	1	1	1	1	23	Irrelevante
		Ensayos De Laboratorio Y Análisis De Resultado	Investigación Científica	Generación De Empleo	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
		Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	1	18	Irrelevante
CONSTRUCCIÓN	Construcción Y Montaje	Excavaciones	Generación De Ruido	Ruido	-	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22	Irrelevante
			Generación Partículas Suspendida	Efectos Sobre La Salud	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado
		Excavaciones	Generación Partículas Suspendida	Contaminación Del Aire	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado
			Uso Equipos Y Maquinaria En Despoblado	Cambios En La Estabilidad Del Terreno	-	2	2	2	4	1	2	1	1	1	1	23	Irrelevante
			Cargue Y Descargue De Material	Reutilización De Material	Reciclado De Residuos	+	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22

CONSTRUCCIÓN	Construcción Y Montaje	Generación De Residuos Solidos	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado	
		Generación De Ruido	Ruido	-	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22	Irrelevante	
		Generación De Emisiones Atmosféricas	Contaminación Del Aire	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado	
			Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado	
		Generación De Residuos Aprovechables	Reciclado De Residuos	+	1	1	2	4	1	2	4	1	4	1	26	Moderado	
		Usos De Materiales Para Impermeabilización	Modificación De Las Características Del Suelo	-	2	4	2	4	8	8	4	4	1	1	56	Severo	
		Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado	
		Estructura En Concreto Y Placa Contrapiso	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
			Generación De Residuos Especiales	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado
				Contaminación Del Aire	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado
			Generación De Ruido	Efectos Sobre La Salud	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado
				Ruido	-	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22	Irrelevante
	Generación De Residuos Aprovechables		Reciclado De Residuos	+	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22	Irrelevante	
	Mampostería y Revoques	Generación De Residuos Especiales	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado	
			Contaminación Del Aire	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado	
		Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado	
	Instalación De Redes De Acueducto Y Alcantarillado	Generación De Residuos Especiales	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado	
			Disminución De Calidad Del Agua	-	1	1	2	4	1	1	4	1	1	1	20	Irrelevante	
		Uso De Productos Químicos	Contaminación Por Sustancias Químicas	-	2	2	2	4	1	2	4	1	4	1	29	Moderado	

CONSTRUCCIÓN	Construcción Y Montaje	Instalación De Redes De Gas Y Eléctricas	Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado		
			Generación De Residuos Solidos	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado		
			Generación De Residuos RAEEs	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado		
		Estructura Metálica De Cubiertas	Generación De Residuos Aprovechables	Reciclado De Residuos	+	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	22	Irrelevante		
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado		
			Generación De Residuos Especiales	Alteración Paisajística	-	4	2	2	1	1	1	4	1	1	1	24	Irrelevante		
			Generación De Gases Tóxicos	Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado		
				Disminución De La Calidad Del Aire	-	1	1	2	4	1	1	4	1	1	1	20	Irrelevante		
		Acabados	Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado		
			Generación De Residuos Especiales	Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	4	2	2	4	2	4	1	1	1	1	34	Moderado		
				Disminución De La Calidad Del Aire	-	1	1	2	4	1	1	4	1	1	1	20	Irrelevante		
			Uso De Productos Químicos	Contaminación Por Sustancias Químicas	-	2	2	2	4	1	2	4	1	4	1	29	Moderado		
		OPERACIÓN	Conservación De Cadáveres	Conservación De Cadáveres	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
					Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
Generación De Hidroclorofluorocarburos	Contaminación Del Aire				-	2	2	4	1	4	2	1	2	4	4	32	Moderado		
	Contribución Con El Cambio Climático				-	2	2	4	1	4	2	1	2	4	4	32	Moderado		

OPERACIÓN	Tanatopraxia	Preparación Del Cadáver	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
			Uso De Sustancias Tóxicas	Contaminación Del Agua	-	2	2	4	4	4	4	1	2	4	4	41	Moderado
				Contaminación Del Suelo	-	2	2	4	4	4	4	1	2	4	4	41	Moderado
				Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	1	2	4	4	2	4	1	2	4	4	37	Moderado
			Generación De Residuos Hospitalarios	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	4	2	2	4	2	38	Moderado
				Quemas	-	4	2	4	4	2	4	1	2	4	2	41	Moderado
	Cremación	Precalentamiento Del Horno	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
			Uso De Combustibles Fósiles	Contaminación De Fuentes Hídricas	-	4	2	4	1	2	2	1	2	4	4	34	Moderado
				Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
				Contaminación Del Aire	-	8	4	4	4	4	#	4	2	4	4	82	Crítico
				Contaminación Del Suelo	-	8	4	4	4	4	#	4	2	4	4	82	Crítico
			Efectos Sobre La Salud	-	8	4	4	4	4	#	4	2	4	4	82	Crítico	
		Incineración Del Cadáver	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
			Generación De Emisiones Atmosféricas	Contaminación De Fuentes Hídricas	-	4	2	4	1	4	8	2	2	4	4	55	Severo
				Contaminación Del Aire	-	8	4	4	4	4	#	2	2	4	4	80	Crítico

OPERACIÓN				Contaminación Del Suelo	-	4	2	4	1	4	8	2	2	4	4	55	Severo			
				Afectación De Fauna Y Flora	-	4	2	4	4	2	4	2	2	4	4	44	Moderado			
				Contaminación Visual	-	8	4	4	4	4	8	4	1	4	4	69	Severo			
				Efectos Sobre La Salud	-	8	2	4	4	2	8	2	2	4	2	62	Severo			
				Generación De Malos Olores	-	8	2	4	4	4	4	4	1	4	2	53	Severo			
				Generación De Ceniza	Contaminación Del Suelo	-	1	4	2	4	2	2	2	2	4	4	32	Moderado		
					Contaminación Del Agua	-	1	4	2	4	2	2	2	2	4	4	32	Moderado		
				Limpieza Y Desinfección	Limpieza Y Desinfección	Usos De Sustancias Químicas	Contaminación Del Agua	-	2	2	4	4	4	4	1	2	4	4	41	Moderado
							Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
							Contaminación Del Suelo	-	2	2	4	4	4	4	1	2	4	4	41	Moderado
	Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	1				2	4	4	2	4	1	2	4	4	37	Moderado			
	Generación De Vertimientos	Contaminación Del Agua	-			2	2	2	4	2	4	2	2	4	2	36	Moderado			
		Contaminación Del Suelo	-			2	2	2	4	2	4	2	2	4	2	36	Moderado			
	Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+			2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado			
	Consumo De Agua	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-			4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado			
	Administración	Administración	Consumo De Agua	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado			
			Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado			
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado			

OPERACIÓN			Generación De Residuos Sólidos	Contaminación Del Suelo	-	1	1	2	4	1	1	4	1	1	2	21	Irrelevante
			Uso De Papel	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	2	2	2	4	1	2	4	1	1	4	29	Moderado
			Uso De Tóner	Contaminación Por Sustancias Químicas	-	2	2	2	4	1	2	4	1	1	4	29	Moderado
			Generación De Residuos RAEES	Contaminación Del Suelo	-	1	1	2	4	1	1	1	1	1	2	18	Irrelevante
	Jardinería	Control De Vectores	Uso De Plaguicidas	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	4	1	2	4	4	39	Moderado
				Efectos Sobre La Salud	-	4	2	2	4	2	2	1	1	1	2	29	Moderado
		Poda Y Corte De Césped	Modificación Paisajística	Alteración Paisajística	+	1	2	2	4	2	4	4	2	1	4	35	Moderado
			Generación De Residuos Orgánicos	Aprovechamiento De Residuos	+	1	2	2	4	2	4	4	2	1	4	35	Moderado
	Servicios Generales	Limpieza	Consumo De Agua	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
			Consumo De Energía	Agotamiento De Los Recursos Naturales	-	4	4	4	4	4	4	1	2	4	4	47	Moderado
			Usos De Sustancias Químicas	Efectos Sobre La Salud Del Trabajador	-	1	2	4	4	2	4	1	2	4	4	37	Moderado
				Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	2	4	2	2	4	2	36	Moderado
DESMANTELAMIENTO	Desmontaje De Equipos	Desmontaje De Equipos	Generación De Residuos Aprovechables	Reciclado De Residuos	+	1	1	2	4	1	2	4	1	4	1	26	Moderado
			Generación De Empleo	Desarrollo Local Económico	+	2	4	2	4	1	4	1	1	4	4	37	Moderado
			Generación De Residuos Sólidos	Contaminación Del Suelo	-	2	2	2	4	4	2	1	2	1	1	27	Moderado
			Recuperación De Espacio	Ocupación Del Suelo	+	1	4	2	4	2	4	2	1	1	1	31	Moderado

Anexo 2. Marco normativo vigente.

Normativa	Año	Contenido	Artículos Aplicables	Descripción
LEY 23	1973	“Por la cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la república para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones” (El Congreso de Colombia, 1973).	15	“Toda persona natural o jurídica que utilice elementos susceptibles de producir contaminación, está en la obligación de informar al gobierno nacional y a los consumidores acerca de los peligros que el uso de dichos elementos pueda ocasionar a la salud humana o al ambiente” (El Congreso de Colombia, 1973).
			13	“Cuando técnicamente se establezca que han sobrepasado los niveles mínimos de contaminación o que hay una nueva contaminación no revista de manera especial, el gobierno nacional podrá inspeccionar los procesos industriales, comerciales o de cualquier otra índole, en orden a reducir o eliminar la contaminación y controlar la fuente de la misma” (El Congreso de Colombia, 1973).
			17	“Sancionable conforme a la presente ley, toda acción que conlleve contaminación del medio ambiente, en los términos y condiciones señaladas en el artículo cuarto de este mismo estatuto” (El Congreso de Colombia, 1973).
			18	“Cuando llegue a demostrarse técnicamente que se están produciendo acciones que generen contaminación, podrá imponerse las siguientes sanciones según la gravedad de cada infracción; , multas sucesivas en cuantía que determinara el gobierno nacional, las cuales no podrían sobrepasar la suma de quinientos mil pesos, suspensión de patentes de fabricación, clausura temporal de los establecimientos o factorías que están produciendo contaminación y cierre de los mismos, cuando las sanciones anteriores no hayan surtido efecto” (El Congreso de Colombia, 1973).
LEY 373	1997	“Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua” (El Congreso de Colombia, 1997).	11	“A partir de la vigencia de la presente ley, todas las entidades usuarias del recurso hídrico dispondrán de un término no mayor de seis meses para enviar la información contenida en el presente” (El Congreso de Colombia, 1997).

LEY 84	1989	“Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Protección de los Animales y se crean unas contravenciones y se regula lo referente a su procedimiento y competencia” (El Congreso de Colombia, 1989).	2	<p>“Tienen por objeto:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Prevenir y tratar el dolor y el sufrimiento de los animales; b. Promover la salud y el bienestar de los animales, asegurándoles higiene, sanidad y condiciones apropiadas de existencia; c. Erradicar y sancionar el maltrato y los actos de crueldad para con los animales; d. Desarrollar programas educativos a través de medios de comunicación del Estado y de los establecimientos de educación oficiales y privados, que promuevan el respeto y el cuidado de los animales; e. Desarrollar medidas efectivas para la preservación de la fauna silvestre” (El Congreso de Colombia, 1989).
LEY 1259	2008	“Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones” (El Congreso de la República, 2008).	4	“Sujetos pasivos del comparendo ambiental” (El Congreso de la República, 2008).
LEY 1801	2016	“Por la cual se expide el Código Nacional de Policía y Convivencia Ciudadana” (El Congreso de la República, 2016).	100	“Comportamientos contrarios a la preservación del agua” (El Congreso de la República, 2016).
LEY 388	1997	“Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones” (El Congreso de Colombia, 1997).	8	“Definición concerniente a las acciones urbanísticas” (El Congreso de Colombia, 1997).
LEY 9	1979	“Por la cual se dictan medidas sanitarias” (El Congreso de Colombia, 1979).	44	“Se prohíbe descargar en el aire contaminantes en concentraciones y cantidades superiores a las establecidas en las normas que se establezcan al respecto” (El Congreso de Colombia, 1979).
			45	“Cuando las emisiones a la atmósfera de una fuente sobrepasen o puedan sobrepasar los límites establecidos en las normas, se procederá a aplicar los sistemas de tratamiento que le permitan cumplirlos” (El Congreso de Colombia, 1979).
			46	“Para el funcionamiento, ampliación o modificación de toda instalación, que por sus características constituya o pueda constituir una fuente de emisión fija, se deberá solicitar la autorización del Ministerio de Salud o de la entidad en que éste delegue. Dicha autorización no exime de responsabilidad por los efectos de contaminación producidos con la operación del sistema” (El Congreso de Colombia, 1979).

			47	“En el caso de incumplimiento de los requisitos establecidos en la autorización, el Ministerio de Salud aplicará las sanciones previstas en este Código y en la Ley 23 de 1973” (El Congreso de Colombia, 1979).
			515	“En las disposiciones de este título se establecen las normas tendientes de la a hasta la g” (El Congreso de Colombia, 1979).
			516	“Que, en la inhumación y exhumación de cadáveres o restos de ellos, se elimine o controle cualquier hecho que pueda constituir riesgo para la salud o el bienestar de la comunidad; Controlar en los cementerios cualquier riesgo de carácter sanitario para la salud o el bienestar de la comunidad” (El Congreso de Colombia, 1979).
			530	“Ninguna inhumación podrá realizarse sin la correspondiente licencia expedida por la autoridad competente” (El Congreso de Colombia, 1979).
			531	“La licencia para la inhumación será expedida exclusivamente en un cementerio autorizado” (El Congreso de Colombia, 1979).
			535	“No se permitirá ninguna exhumación sin la Licencia Sanitaria respectiva expedida por la autoridad competente” (El Congreso de Colombia, 1979).
			537	“Todos los cementerios requerirán licencia para su funcionamiento” (El Congreso de Colombia, 1979).
			538	“Para la aprobación mencionada en el artículo anterior se deberán contemplar los siguientes aspectos de la a hasta la h” (El Congreso de Colombia, 1979).
			567 - 571	“Todo lo relacionado con las licencias sanitarias expedido por el Ministerio de Salud” (El Congreso de Colombia, 1979).
			576	“Podrán aplicarse como medidas de seguridad encaminadas a proteger la salud pública, de la a hasta la e” (El Congreso de Colombia, 1979).
LEY 99	1993	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones” (El Congreso de Colombia, 1993).	49	“De la Obligatoriedad de la Licencia Ambiental. La ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad, que, de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje requerirán de una licencia ambiental” (El Congreso de Colombia, 1993).
DECRETO 3102	1997	“Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la	2	“Obligaciones de los usuarios. Hacer buen uso del servicio de agua potable y reemplazar aquellos equipos y sistemas que causen fugas en las instalaciones internas” (Presidencia de la República de Colombia, 1997).

		instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua” (Presidencia de la República de Colombia, 1997).	4	“Para la aprobación de las licencias de remodelación o adecuación que se expidan a partir del 1 de julio de 1998, se deberá verificar que los proyectos cumplen con la obligación de instalar equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua” (Presidencia de la República de Colombia, 1997).
DECRETO 313	2006	“Por el cual se adopta el Plan Maestro de Cementerios y Servicios Funerarios para el Distrito Capital -PMCSF- y se dictan otras disposiciones” (El Alcalde Mayor de Bogotá DC, 2006).	6	“El Plan Maestro de que trata el presente Decreto tendrá un plazo de ejecución que se extenderá hasta el 31 de diciembre de 2019” (El Alcalde Mayor de Bogotá DC, 2006).
			9	“Mecanismos de gestión de suelo para la ubicación de los equipamientos del servicio funerario” (El Alcalde Mayor de Bogotá DC, 2006).
DECRETO 391	1991	“Por el cual se reglamenta el trámite para la inscripción y obtención de la Licencia Sanitaria de Funcionamiento para las Funerarias o Agencias Mortuorias” (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 1991).	Aplica en su totalidad	“Para su funcionamiento en el Distrito Especial de Bogotá las Funerarias o Agencias Mortuorias deberán solicitar y obtener Licencia Sanitaria de Funcionamiento expedida, mediante Resolución motivada, por la Secretaría Distrital de Salud o por su repartición delegada, con sujeción al procedimiento señalado en el presente Decreto y se entiende que está subsume cualquier otra que pudiere estar expidiendo dicha Entidad” (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 1991).
DECRETO 655	1977	“Por medio del cual se dictan las normas reglamentarias del Acuerdo 16 de 1976, relacionadas con la ubicación y funcionamiento de los Hornos Crematorios de cadáveres humanos en el Distrito Especial de Bogotá” (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 1977).	Aplica en su totalidad	“El servicio de hornos Crematorios de Cadáveres humanos solo podrá prestarse en el interior de Cementerios o en terrenos que el Distrito Especial adquiera para tal fin, siempre que estos últimos estén localizados en zonas industriales compatibles y rodeados de zonas verdes con un radio mínimos de 60 metros” (Alcaldía Mayor de Bogotá DC, 1977).
DECRETO 948	1995	“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”	13	“Toda descarga o emisión de contaminantes a la atmósfera sólo podrá efectuarse dentro de los límites permisibles y en las condiciones señaladas por la ley y los reglamentos” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			16	“Normas de evaluación y emisión de olores ofensivos” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			20	“Establecimientos generadores de olores ofensivos” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			27	“Incineración de residuos patológicos e industriales” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			33	“Prohibición de emisiones riesgosas para la salud humana” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).

		(Ministerio del Medio Ambiente, 1995).	72	“El permiso de emisión atmosférica es el que concede la autoridad ambiental competente, mediante acto administrativo, para que una persona natural o jurídica, pública o privada, dentro de los límites permisibles establecidos en las normas ambientales respectivas, pueda realizar emisiones al aire” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			73	“Requerirá permiso previo de emisión atmosférica la realización de las descargas de humos, gases, vapores, polvos o partículas por ductos o chimeneas de establecimientos industriales, comerciales o de servicio” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			75	“Solicitud del permiso” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			76	“Trámite del permiso de emisión atmosférica” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			80	“Del permiso de emisión atmosférica para obras, industrias o actividades” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			85	Modificación del permiso (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			86	“Vigencia, alcance y renovación del permiso de emisión atmosférica. El permiso de emisión atmosférica tendrá una vigencia máxima de cinco (5) años, siendo renovable indefinidamente por períodos iguales” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			93	“Medidas para atención de episodios” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			95	“Obligación de planes de contingencia” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
DECRETO 2107	1995	“Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).	1	“Se modifica el artículo 25 del Decreto 948 de 1995: Artículo 25. Prohibición del uso de crudos pesados” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			4	“Se modifica el literal h) del artículo 75 del Decreto 948 de 1995: Artículo 75: Solicitud de permiso” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			5	“Se modifica el numeral 5 del artículo 76 del Decreto 948 de 1995: Artículo 76: Trámite del permiso de emisión atmosférica. 5” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			6	“Adicionase el artículo 86 del Decreto 948 de 1995: Parágrafo: La renovación de que trata este artículo se entiende únicamente para los permisos de emisión atmosférica expedidos por las autoridades ambientales competentes con base en el presente Decreto” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			8	“Se modifica el inciso primero del artículo 97 del Decreto 948 de 1995: Artículo 97. Rendición del Informe de Estado de Emisiones. Oportunidad y requisitos” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
			9	“Se modifica el inciso 1 del artículo 98 del Decreto 948 de 1995: Artículo 98. Aplicación de normas y estándares para fuentes fijas” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).

			10	“Se modifica el inciso 1 del artículo 99 del Decreto 948 de 1995: Artículo 99. Extensión de plazos para adopción de tecnologías limpia”s (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
DECRETO 1697	1997	“Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995, que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire” (Ministerio del Medio Ambiente, 1997).	2	“Se modifica el artículo 40 del Decreto 948 de 1995: "Artículo 40. Contenido de Plomo, Azufre y otros contaminantes en los combustibles” (Ministerio del Medio Ambiente, 1997).
			3	“Se adiciona al artículo 73 del Decreto 948 de 1995: "Parágrafo 5o. Las calderas u hornos que utilicen como combustible gas natural o gas licuado del petróleo, en un establecimiento industrial o comercial o para la operación de plantas termoeléctricas con calderas, turbinas y motores, no requerirán permiso de emisión atmosférica” (Ministerio del Medio Ambiente, 1997).
DECRETO 979	2006	“Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995” (La Presidencia de la República de Colombia, 2006).	1	“Modificase el artículo 7 del Decreto 948 del 5 de junio de 1995” (La Presidencia de la República de Colombia, 2006).
			3	“Modificase el artículo 93 del Decreto 948 del 5 de junio de 1995” (La Presidencia de la República de Colombia, 2006).
			4	“Modificase el artículo 94 del Decreto 948 del 5 de junio de 1995” (La Presidencia de la República de Colombia, 2006).
DECRETO 3683	2003	“Por el Cual se reglamenta la Ley 697/01 y se crea una comisión intersectorial” (Uso Racional de Energía) (La Presidencia de la República de Colombia, 2003).	11	“Lineamientos generales del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE” (La Presidencia de la República de Colombia, 2003).
DECRETO 2676	2000	“Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares” (La Presidencia de la República de Colombia, 2000).	8	“Obligaciones del generador. Garantizar ambiental y sanitariamente un adecuado tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios y similares conforme a los procedimientos exigidos por los Ministerios del Medio Ambiente y Salud” (La Presidencia de la República de Colombia, 2000).
RESOLUCIÓN 5194	2010	“Por la cual se reglamenta la prestación de los servicios de cementerios, inhumación, exhumación y cremación de cadáveres” (Ministerio de la Protección Social, 2010).	Todos	“La presente resolución tiene por objeto regular los servicios de inhumación, exhumación y cremación de cadáveres prestados por los cementerios” (Ministerio de la Protección Social, 2010).

RESOLUCIÓN 631	2015	“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).	16	“Vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas (ARND) al alcantarillado público” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).
RESOLUCIÓN 898	1995	“Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).	Artículos 9	“Registro de consumo de combustibles” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).
RESOLUCIÓN 1446	2005	“Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998, que establece los casos en los cuales se permite la combustión de aceites de desecho o usados y las condiciones técnicas para realizar la misma” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).	2	“Modificase el artículo 2 de la Resolución 415 del 13 de marzo de 1998”(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).
RESOLUCIÓN 909	2008	“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” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).	4	“Estándares de emisión admisibles para actividades industriales. Se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales definidas en el Artículo 6” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).
			8	“Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos. Se establecen los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos a condiciones de referencia, de acuerdo al tipo de combustible y con oxígeno de referencia del 11%” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

			Capitulo XIV	“Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para hornos crematorios, aplica en su totalidad” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).
			Capitulo XVII	“Determinación del punto de descarga de la emisión por fuentes fijas” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).
			Capitulo XVIII	“Medición de emisiones para fuentes fijas” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).
			Capitulo XIX	“Sistemas de control de emisiones” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).
RESOLUCIÓN 1309	2010	“Por la cual se modifica la Resolución 909 del 5 de junio de 2008” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).	1	“Modifíquese el artículo 3 de la Resolución 909 de 2008” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
			2	“Modifíquese el parágrafo quinto del artículo 4 de la Resolución 909 de 2008” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
RESOLUCIÓN 760	2010	“Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).	1	“Adoptar a nivel nacional el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
RESOLUCIÓN 2153	2010	“Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).	1	“Modifíquese el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).
RESOLUCIÓN 627	2006	“Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental”(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).	9	“Estándares Máximos Permisibles de Emisión de Ruido” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
			17	“Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiental” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

RESOLUCIÓN 180919	2010	“Por el cual se adopta el Plan para desarrollar el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Energía” (Ministerio de Minas y Energía, 2010).	5	“Definir los Subprogramas prioritarios del sector industrial de consumo del Plan de Acción Indicativo 2010-2015 del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE” (Ministerio de Minas y Energía, 2010).
RESOLUCIÓN 2400	1979	“Por la cual se establecen condiciones de vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).	10	“En las cercanías de hornos, hogares, y en general en todas las operaciones en donde exista el fuego, el pavimento en las inmediaciones de éstas será de material incombustible, en un radio de un (1) metro” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
			63 y párrafo	“Cuando existan en los lugares de trabajo fuentes de calor, como cuerpos incandescentes, hornos de altas temperaturas, deberán adaptarse dispositivos adecuados para la reflexión y aislamiento del calor” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
			71	“En los lugares de trabajo en donde se efectúen procesos u operaciones que produzcan contaminación ambiental por gases, vapores, humos, neblinas, etc., y que pongan en peligro no solo la salud del trabajador, sino que causen daños y molestias al vecindario, debe establecerse dispositivos especiales y apropiados para su eliminación por medio de métodos naturales o artificiales de movimiento del aire en los sitios de trabajo para diluir o evacuar los agentes contaminadores” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
			72 y párrafo	“Al usarse cualquier sistema de ventilación, deberá proporcionarse una o varias salidas del aire colocadas de preferencia en la parte superior de la edificación; el aire suministrado no deberá contener sustancias nocivas” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
			157 y párrafo	“Los humos, gases y otros productos nocivos que se escapan por las chimeneas en los establecimientos industriales, se deberán purificar previamente por extracción o neutralización de los compuestos nocivos por métodos de adsorción o absorción, para evitar los efectos perjudiciales de la contaminación o polución atmosférica” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
			161	“En los establecimientos de trabajo en donde se produzcan contaminantes ambientales como polvos, humos, gases, neblinas y vapores tóxicos y nocivos, se emplearán los siguientes métodos para su control” (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).
RESOLUCIÓN 1362	2007	“Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hace referencia los artículos 27 y 28 del Decreto	2	“Solicitud de Inscripción en el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

		4741 del 30 de diciembre de 2005” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).		
RESOLUCIÓN 1447	2009	“Por la cual se reglamenta la prestación de los servicios de cementerios, inhumación, exhumación y cremación de cadáveres” (Ministerio de la Protección Social, 2009).	Aplica en su totalidad	“La presente resolución tiene por objeto regular la prestación de servicios en los cementerios de inhumación, exhumación y cremación de cadáveres por parte de las empresas públicas, privadas o mixtas dedicadas a este servicio” (Ministerio de la Protección Social, 2009).

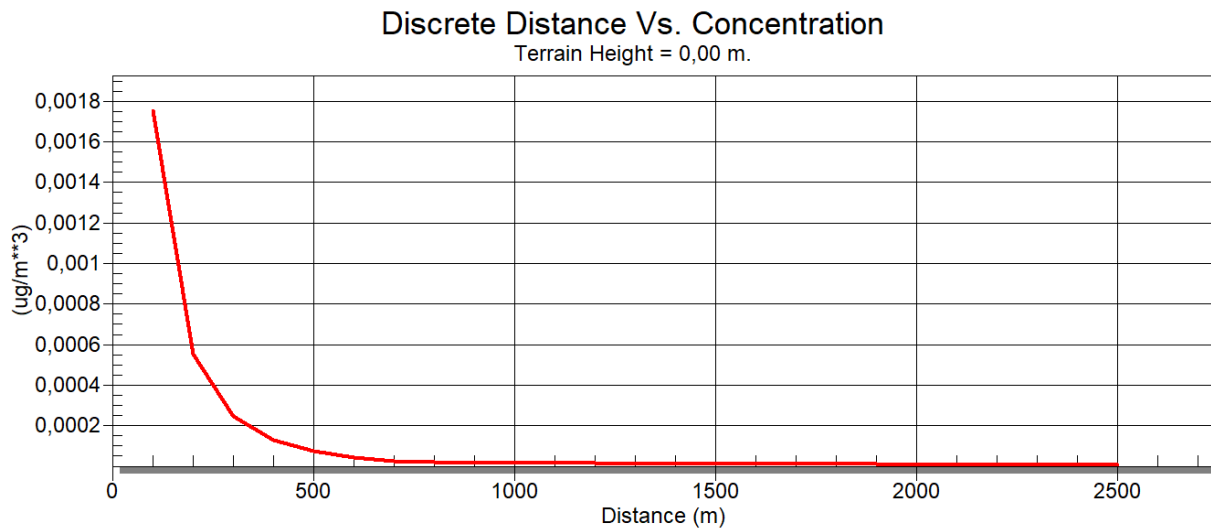
Anexo 3. Escenarios de modelación.

En el siguiente anexo se presentan los resultados correspondientes a la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos donde se realiza la variación de la estabilidad atmosférica de la zona, para cada uno de los contaminantes se presentan las gráficas obtenidas por estabildades tipo A, B, C, D, E y F.

PM₁₀

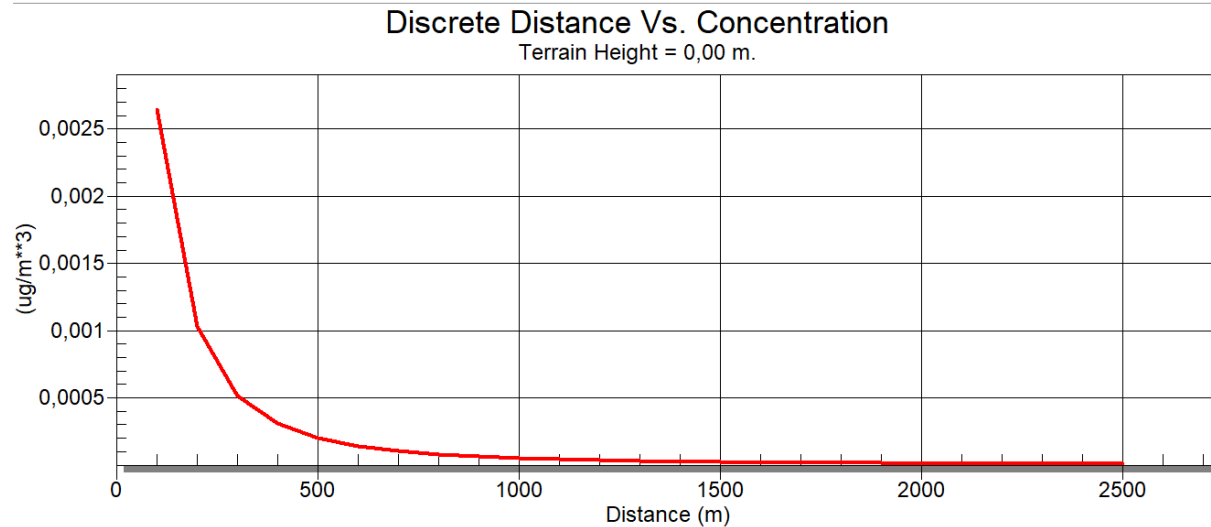
Escenario #2

Estabilidad clase A

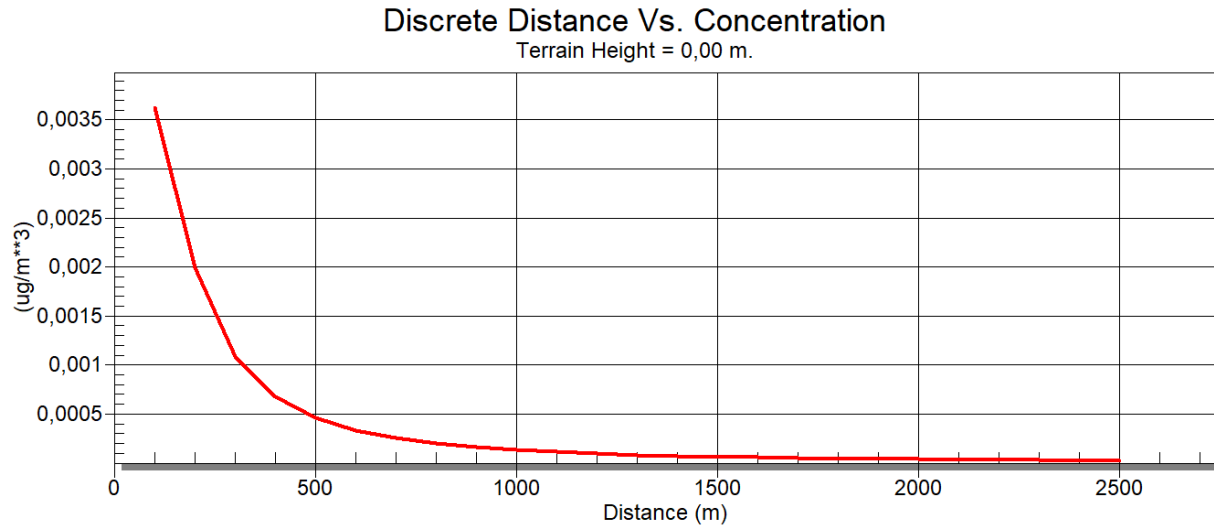


Escenario #3

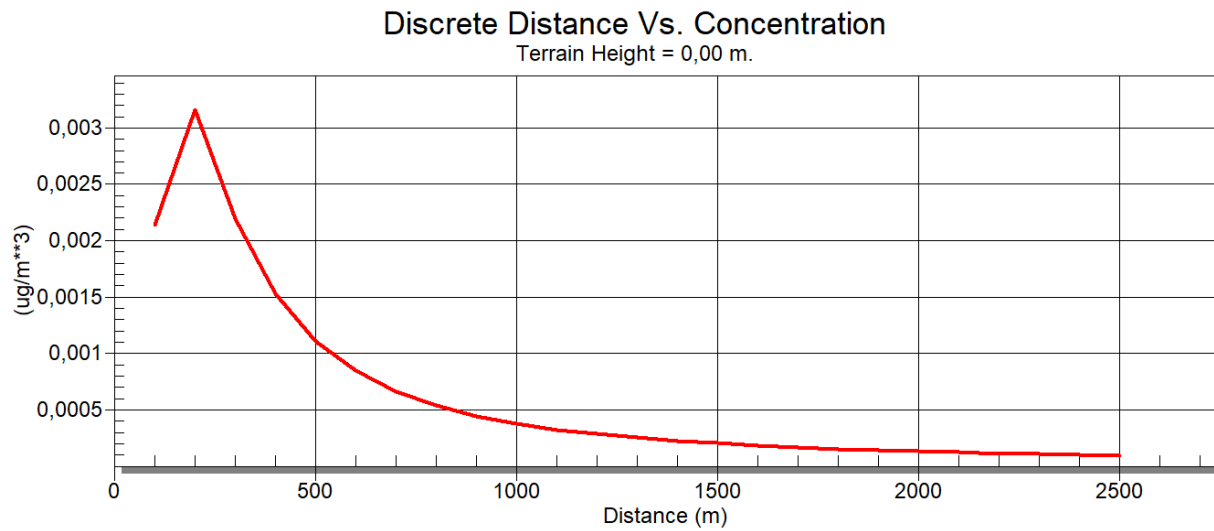
Estabilidad clase B



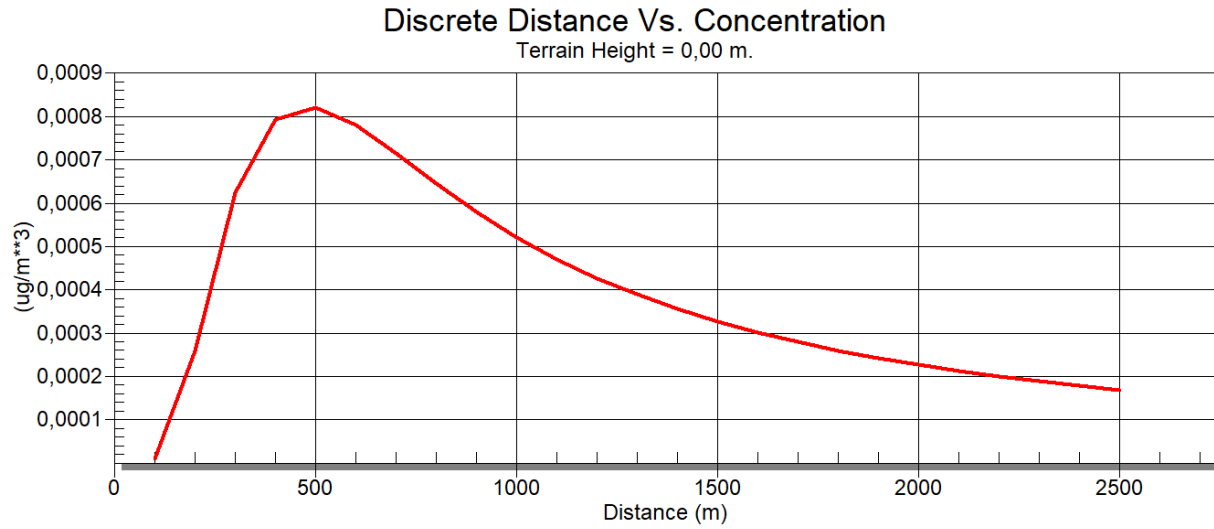
Escenario #4
Estabilidad clase C



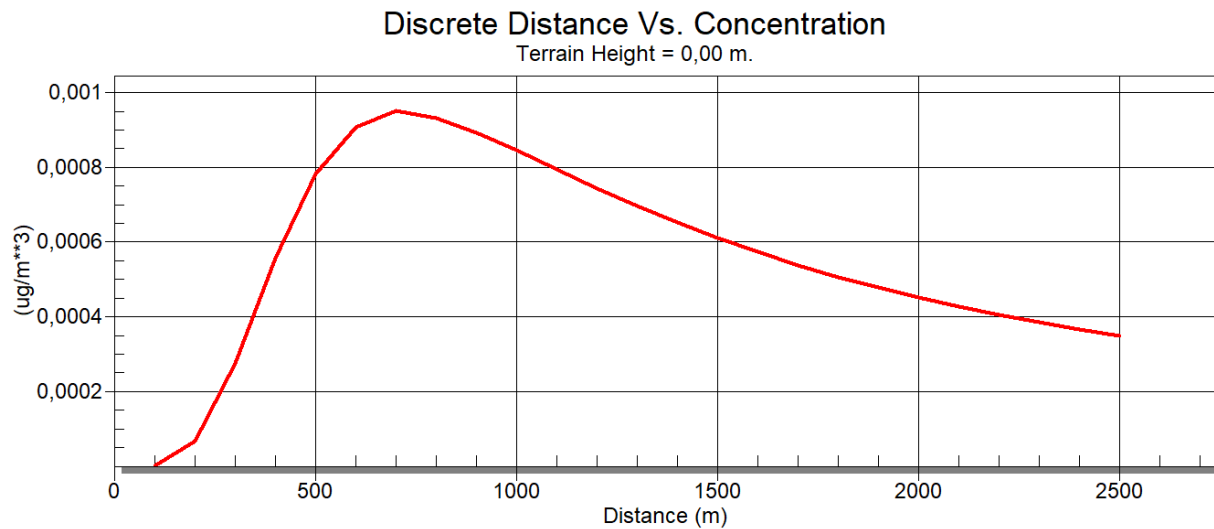
Escenario #5
Estabilidad clase D



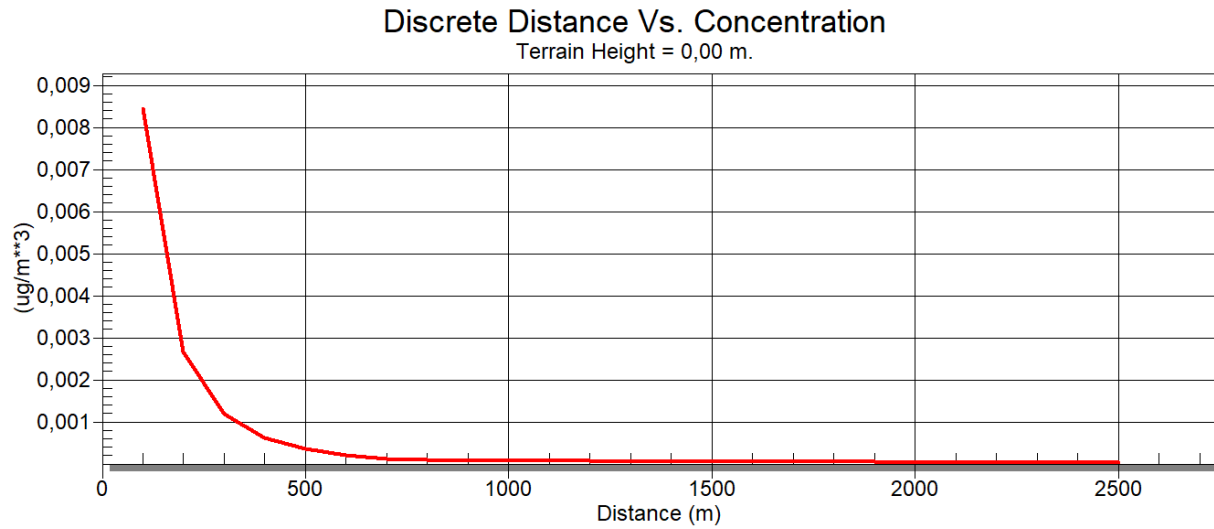
Escenario #6
Estabilidad clase E



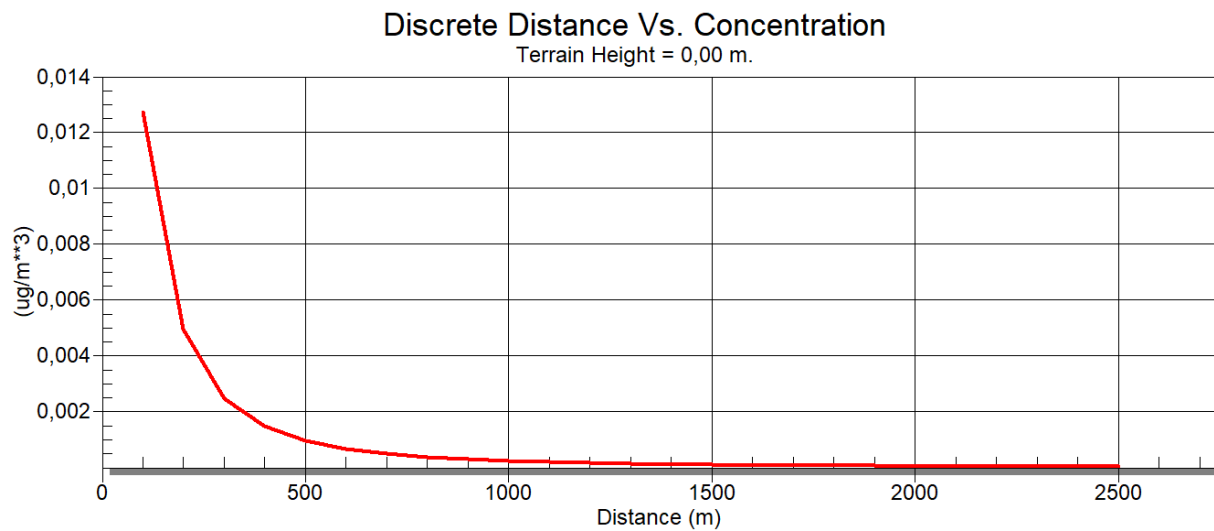
Escenario #7
Estabilidad clase F



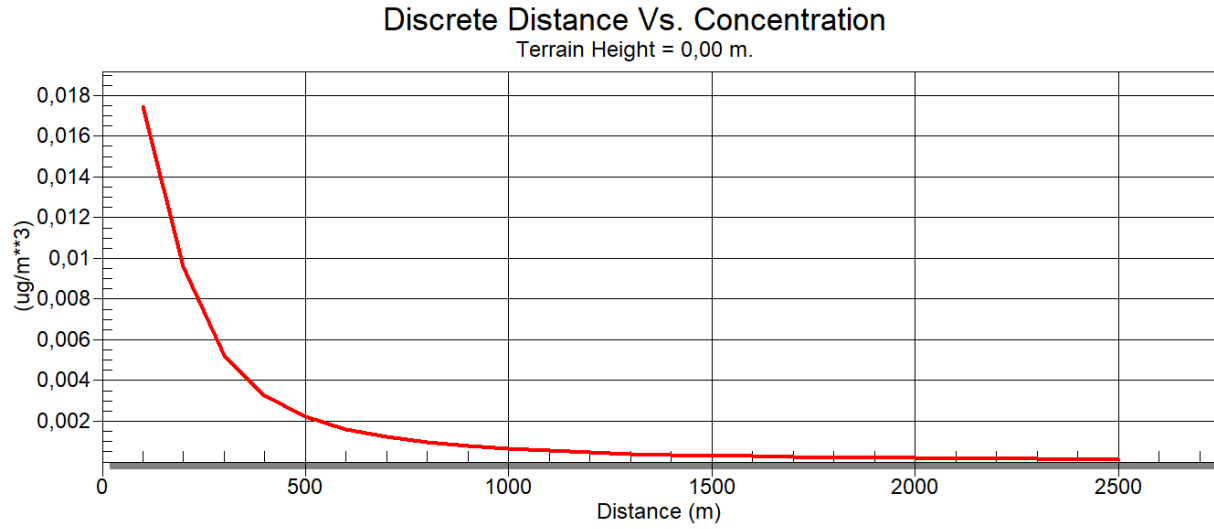
CO
Escenario #9
Estabilidad clase A



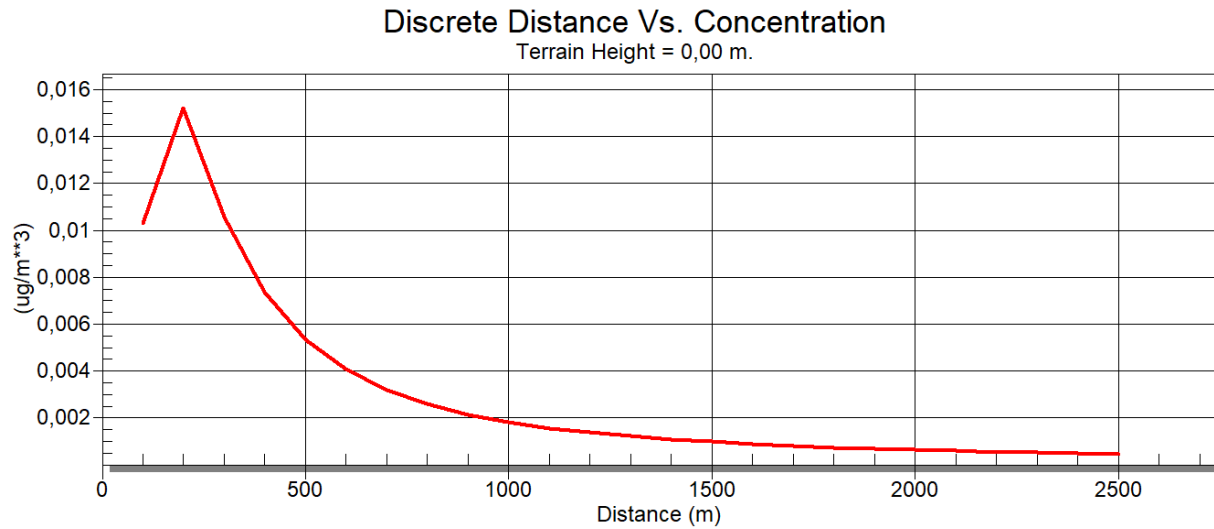
Escenario #10
Estabilidad clase B



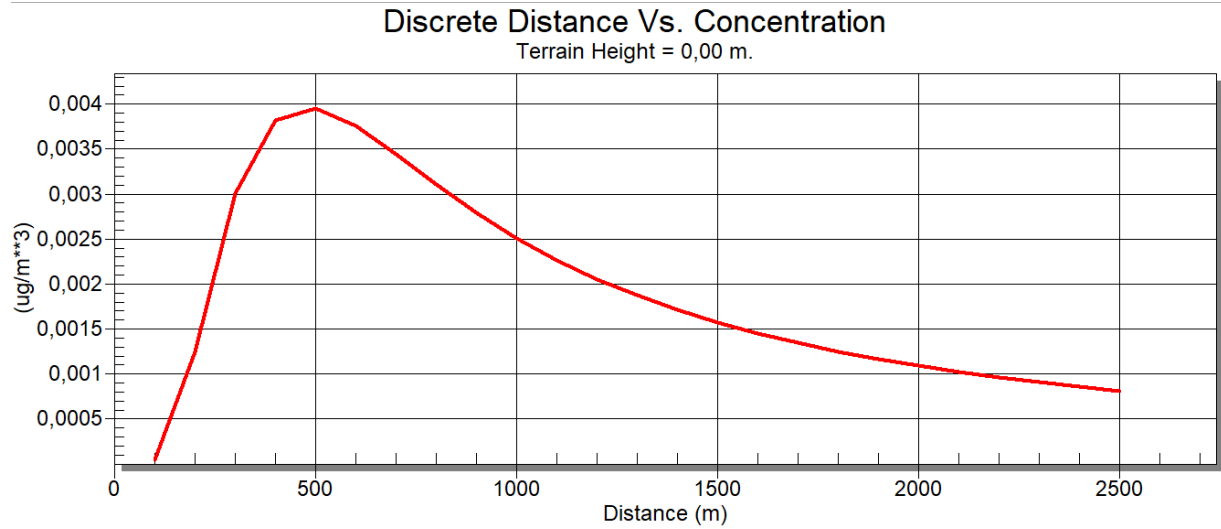
Escenario #11
Estabilidad clase C



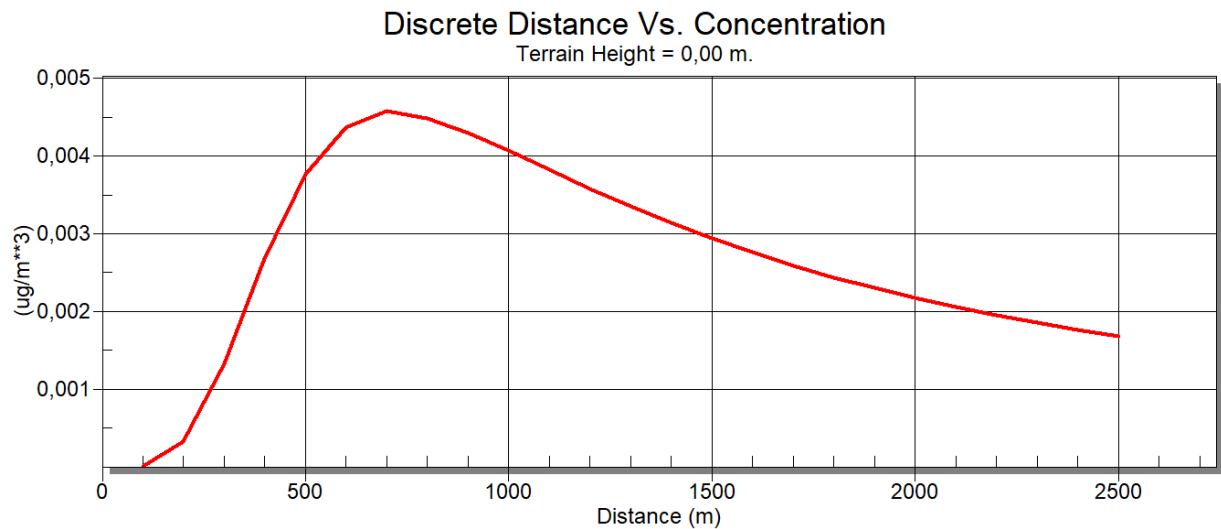
Escenario #12
Estabilidad clase D



Escenario #13
Estabilidad clase E

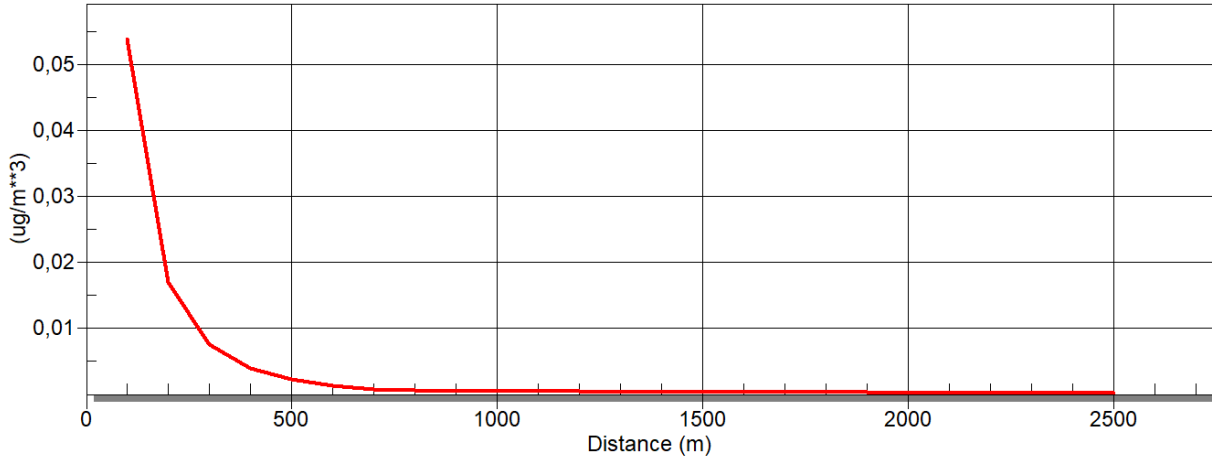


Escenario #14
Estabilidad clase F



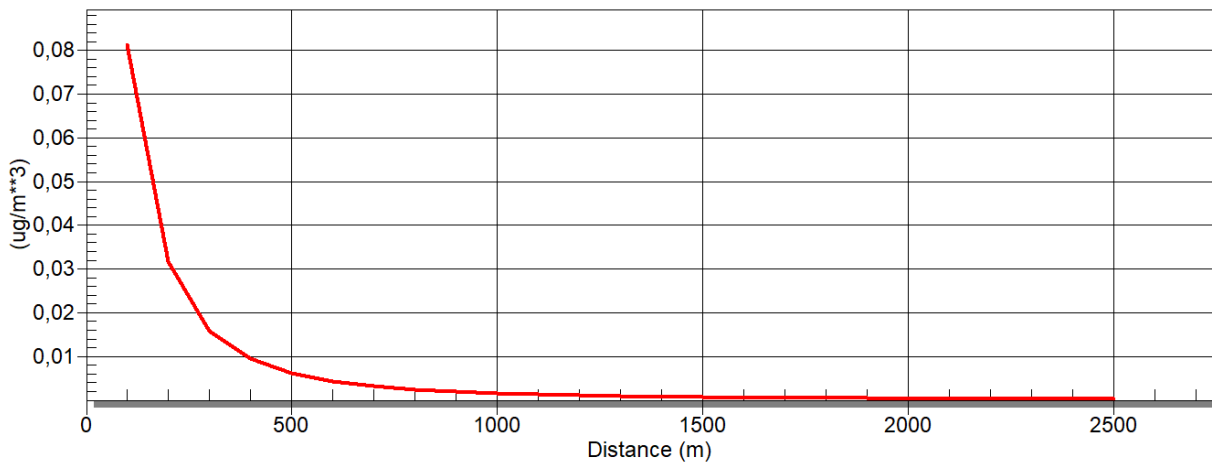
NO2
Escenario #16
Estabilidad clase A

Discrete Distance Vs. Concentration
Terrain Height = 0,00 m.

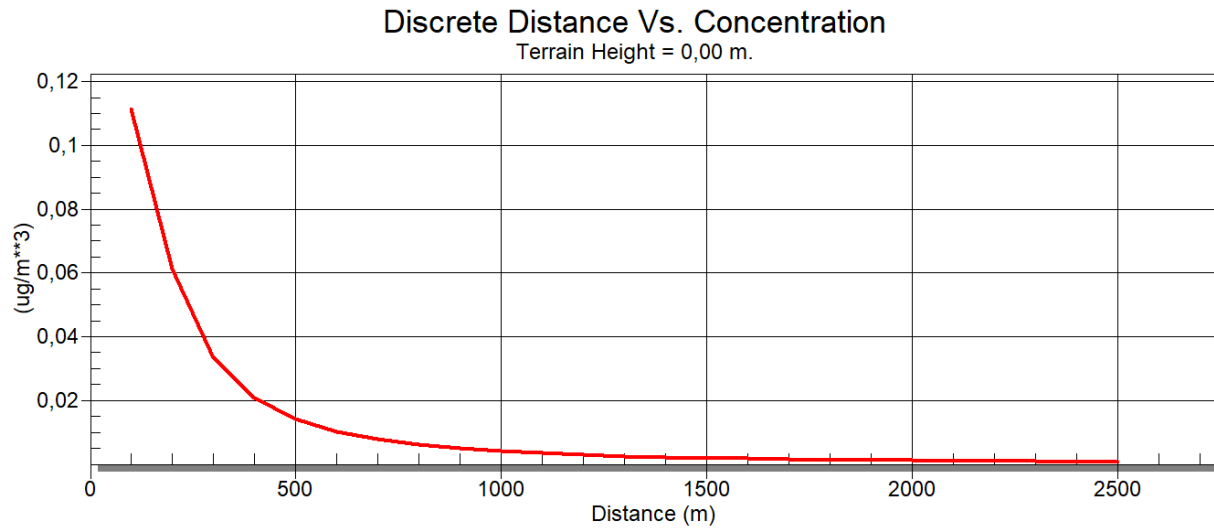


Escenario #17
Estabilidad clase B

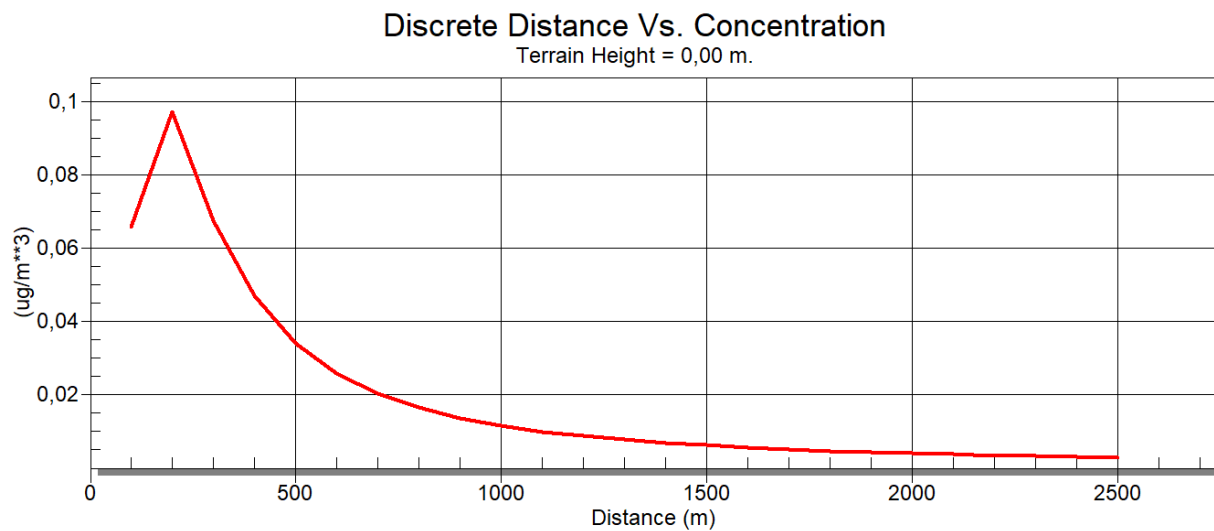
Discrete Distance Vs. Concentration
Terrain Height = 0,00 m.



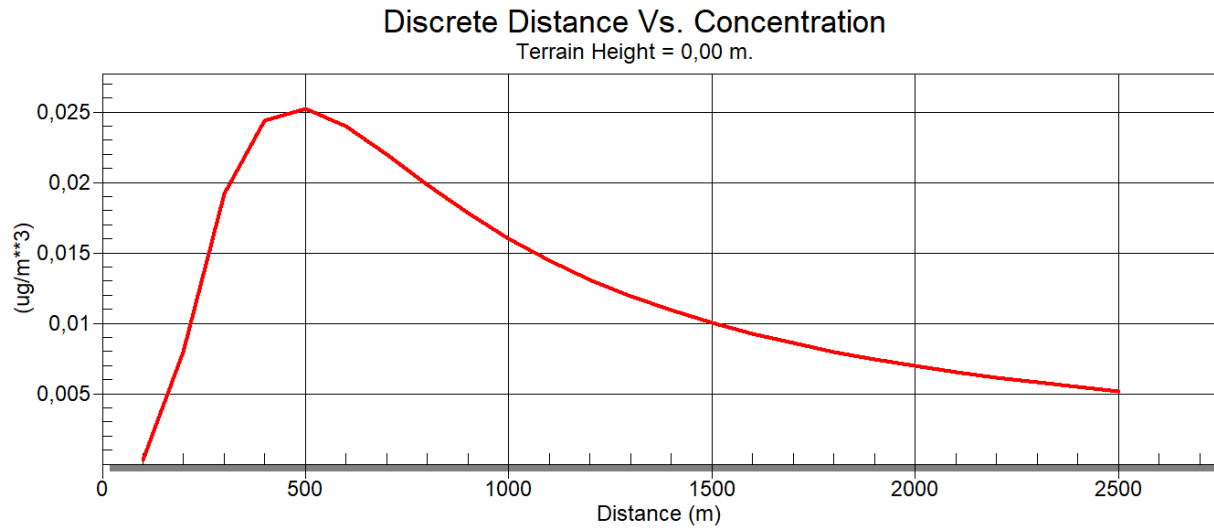
Escenario #18
Estabilidad clase C



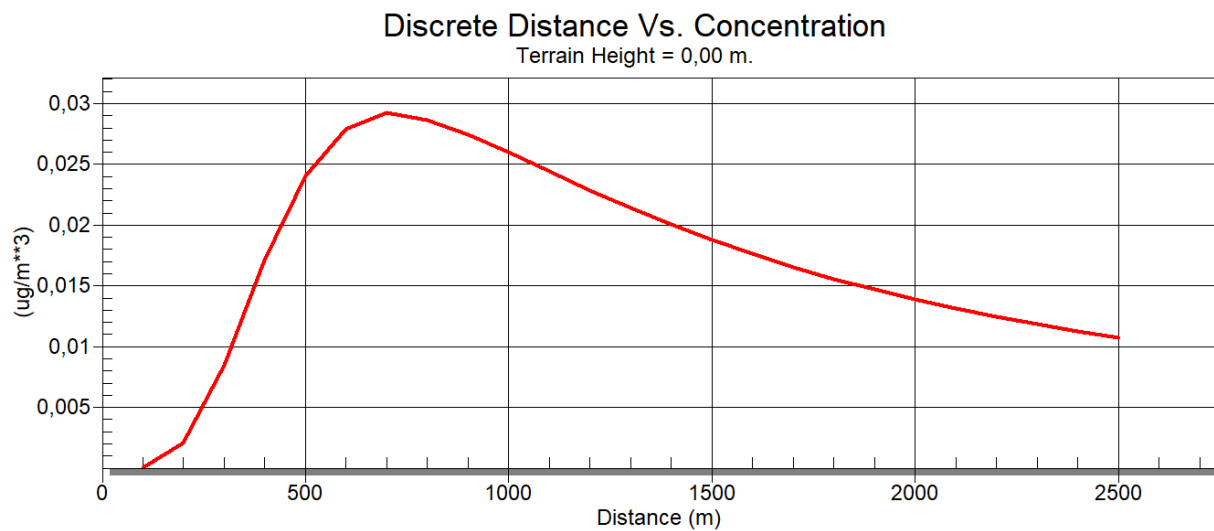
Escenario #19
Estabilidad clase D



Escenario #20
Estabilidad clase E



Escenario #21
Estabilidad clase F



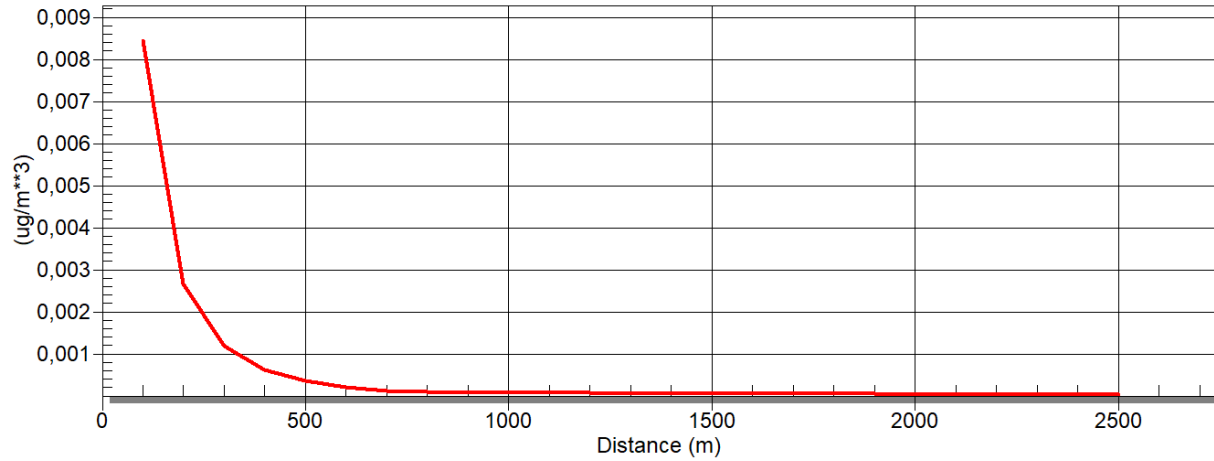
SO₂

Escenario #23

Estabilidad clase A

Discrete Distance Vs. Concentration

Terrain Height = 0,00 m.

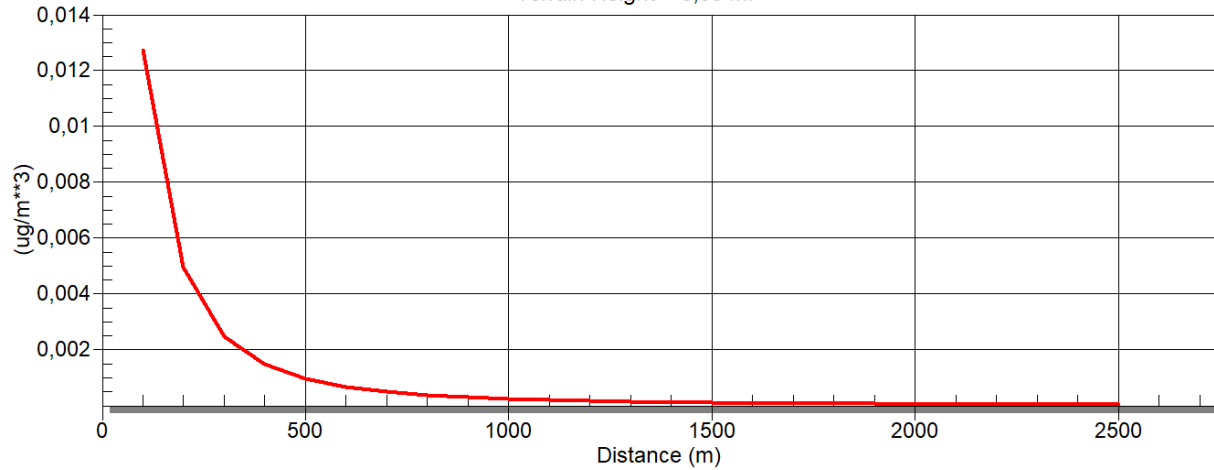


Escenario #24

Estabilidad clase B

Discrete Distance Vs. Concentration

Terrain Height = 0,00 m.

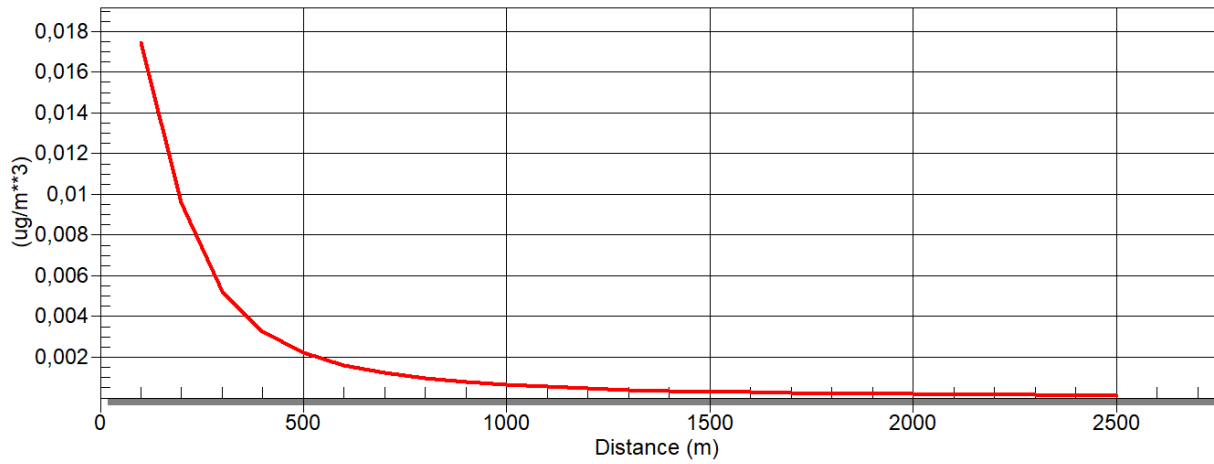


Escenario #25

Estabilidad clase C

Discrete Distance Vs. Concentration

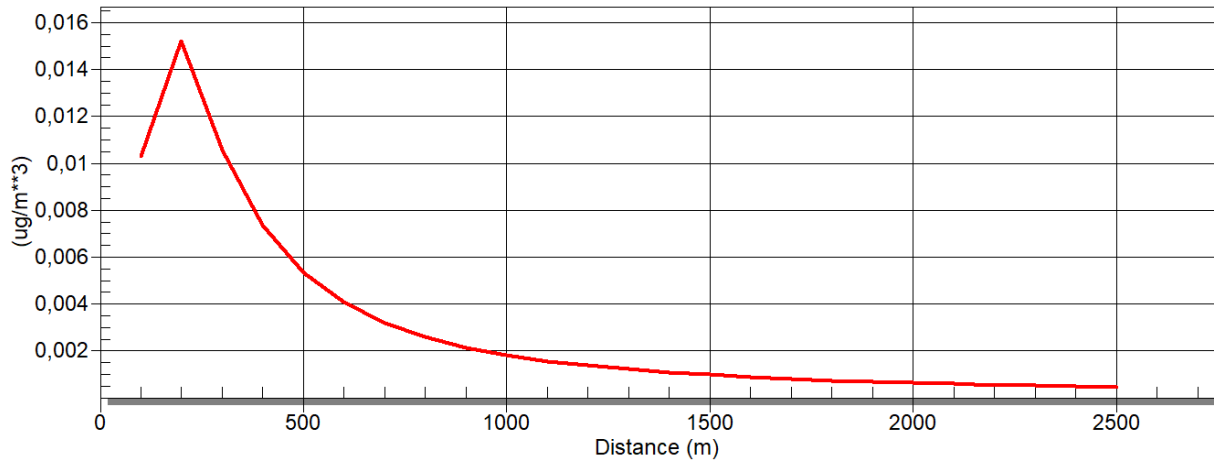
Terrain Height = 0,00 m.



Escenario #26
Estabilidad clase D

Discrete Distance Vs. Concentration

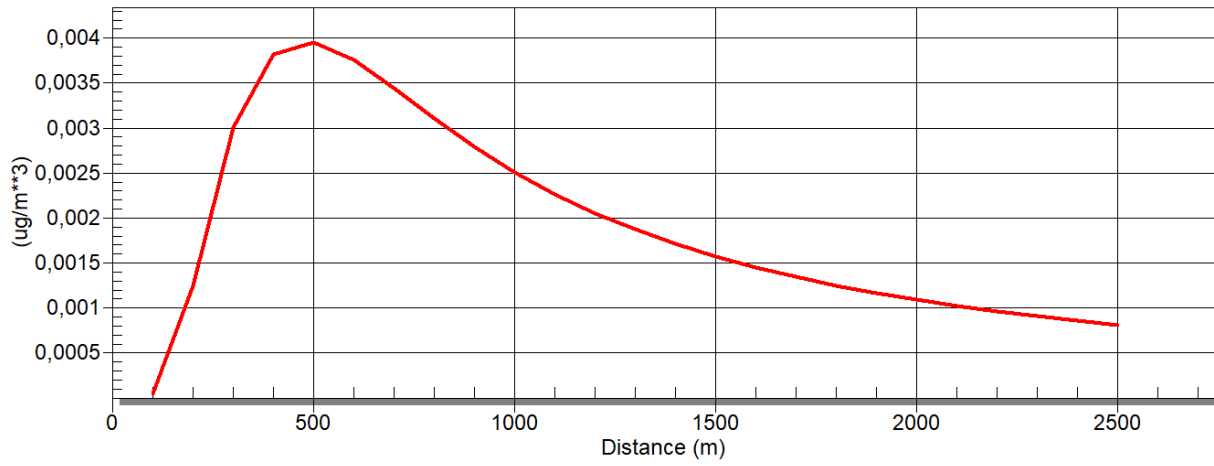
Terrain Height = 0,00 m.



Escenario #27
Estabilidad clase E

Discrete Distance Vs. Concentration

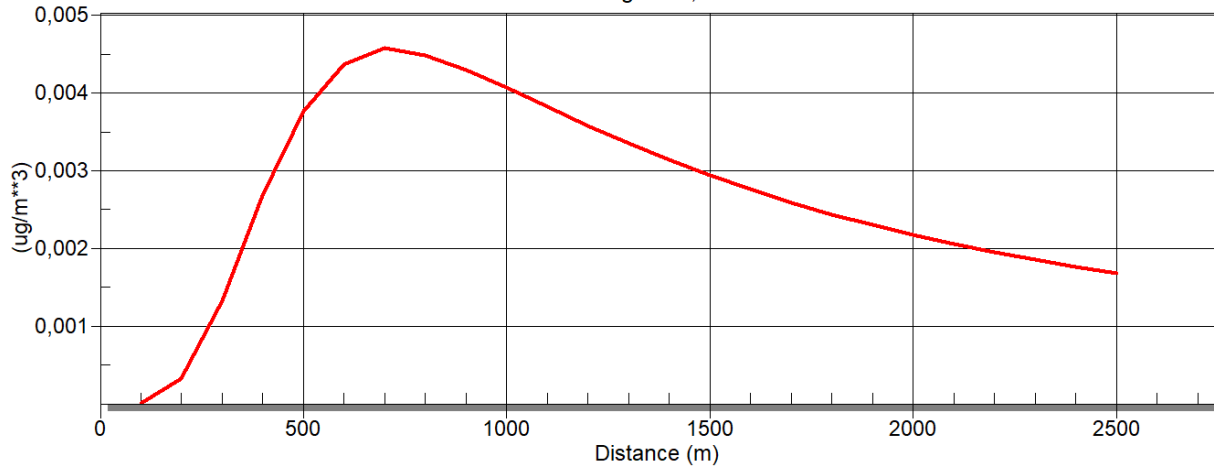
Terrain Height = 0,00 m.



Escenario #28
Estabilidad clase F

Discrete Distance Vs. Concentration

Terrain Height = 0,00 m.



Análisis Del Impacto Ambiental Generado Por Un Horno Crematorio En La Localidad De Fontibón

Liceth C. Gonzalez y Claudia A. Urrego
Facultad *De Ingeniería Ambiental*
Universidad Antonio Nariño,
Bogotá Sede Sur
lgonzalez30@uan.edu.co
currego11@uan.edu.co
Director Vanessa Rodriguez Rueda

Resumen:

El presente trabajo de grado es una investigación que analiza el impacto ambiental ocasionado por la actividad de un horno crematorio instalado en un cementerio ubicado en la Localidad de Fontibón, se realizó a través de un diagnóstico inicial de la situación actual de la zona, por medio de una matriz de diagnóstico de causa y efecto con el fin de identificar los impactos en las etapas de estudio, construcción, operación y desmantelamiento.

Se determinan las distancias de dispersión para cada una de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos liberados mediante una modelación realizada en los softwares Screen View y Arcgis obteniendo de esta forma el área de dispersión representada en los mapas de la zona, y finalmente se realiza la formulación de alternativas de mitigación del impacto analizado, este proyecto tiene como finalidad el proponer estrategias las cuales pueden ser adoptadas por el cementerio y la comunidad.

Palabras clave: Cremación, horno crematorio, impacto ambiental, calidad del aire, formulación de alternativas y modelación.

Abstrac:

This degree work is an investigation that deals with the analysis of environmental impact caused by the activity of a crematorium installed in a cemetery located in the town of Fontibón, it was carried out through an initial diagnosis of the current situation in the area, by means of a cause and effect diagnosis matrix in order to identify the impacts in the study, construction, operation and dismantling stages.

The dispersion distances are determined for each of the concentrations of the atmospheric pollutants released by means of a modeling carried out in the Screen View and Arcgis software, obtaining in this way the dispersion area represented in the maps of the area, and finally the formulation is made of alternatives to mitigate the impact analyzed, this project aims to propose strategies which can be adopted by the cemetery and the community.

Key words:

Cremation, cremation oven, environmental impact, air quality, formulation of alternatives and modeling.

1. Introducción.

La industria fúnebre a través de sus procesos internos contribuye significativamente al impacto ambiental del entorno (Ortiz, 2019), las emisiones liberadas en el proceso de la cremación de cadáveres son en ocasiones causa principal de emergencias de calidad ambiental en las ciudades (Semana, 2020), y así mismo genera afectación a la salud pública de los habitantes que actúan como receptores directos de estas emisiones (P. Herrera, 2015).

Por otra parte, el impacto positivo con la generación de empleo y la contribución al desarrollo económico del sector es importante de resaltar (Ortiz, 2019), lo anterior se da a través del análisis de evaluación de impacto ambiental que se realiza sobre esta actividad, en la Localidad de Fontibón un horno crematorio lleva a cabo la incineración de cadáveres, los habitantes de esta zona manifiestan molestias a raíz de la acción de este horno (Semana, 2020).

En el este documento se presenta el análisis de impacto de este horno en Fontibón teniendo como enfoque la afectación a la comunidad y los procesos que generan este impacto, incorporando la modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos y la formulación de alternativas de manejo ambiental como propuesta para la disminución del impacto ambiental generado por la actividad fúnebre.

2. Estado Del Conocimiento

Con relación al proceso de la cremación existe un amplio intercambio cultural, étnico y religioso, a consecuencia de esto existe una gran variedad de heterogeneidad de cremación, a mediados del siglo XX se ha realizado varios cambios en las costumbres en donde se ha reflejado un aumento de tolerancia y ha generado un cambio de la inhumación a la cremación (Ian et al., 2014).

Hacia el año 1873 el profesor Brunetti presentó la primera cámara de cremación en la ciudad de Viena, para dicho proyecto se contó con el apoyo de Henry Thompson, estos dos personajes en el año 1874 en Inglaterra fundaron la sociedad de cremación; para este mismo año en los Estados Unidos el señor Julius LeLoyne creó la primera de cámara de cremación, tres años después se crea la segunda cámara en el mismo país por el señor Charles f. Winslow (Ferro, 2015).

En 1878 se crean los crematorios en las ciudades de Gotha en Alemania y en Woking En Inglaterra en esta misma ciudad se llevó acabo la primera cremación en el año 1886, por otro lado, esta práctica fue legalizada en los países de gales e Inglaterra en el año 1902 en donde se interpuso requerimientos para realizar la cremación y se regulo los lugares autorizados para llevar dicha práctica (Ferro, 2015).

2.1 Impactos Ambientales

Con la instauración del PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente) se forman los convenios internacionales de diferentes países de las Naciones Unidas, países de desarrollados y en vía de desarrollo buscando formar acuerdos y plantear metas para preservar el medio ambiente y la salud humana, los principales convenios son los siguientes: Ginebra 1979, Protocolo de Kioto 1998, Basilea 1989, Viena 1985, Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015, entre otros (MITECO, 2020).

Dentro de los gases generados por los hornos crematorios se encuentra el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), emisiones de PM2.5 entre otros, el primero de ellos es un gas inodoro, incoloro y toxico,

así mismo, es considerado como uno de los gases responsables del efecto invernadero, en cuanto a los óxidos de nitrógeno (NOx), tienden a ser susceptible de oxidación del NO a NO₂ siendo este último el más nocivo para la salud, causando problemas pulmonares, afectaciones en órganos como hígado y bazo entre otros. (MITECO, 2019).

Para las emisiones de PM_{2.5} se obtiene que los hornos crematorios que no cuenta con suministro de aire controlado libera concentraciones mayores a 2.5 veces en comparación a los hornos que cuentan con este equipo, por otra parte, se concluye que las tres instalaciones funerarias deben contar con estos equipos de suministro de aire ya que las emisiones superan los estándares admisibles permitidos por la legislación mexicana. (González et al., 2020).

2.2 Evaluación de impactos ambientales (EIA).

El uso de la evaluación de impacto ambiental como herramienta en el análisis de los proyectos obras o actividades en materia ambiental empezó a utilizarse a finales de la década de los años 60 en los Estados Unidos inicialmente, con el tiempo se ha expandido el uso de este instrumento a territorios aledaños que a su vez han complementado la evaluación de impacto ambiental con la revisión de aspectos legales y la variedad de proyectos, obras y actividades (Gómez, 2003).

Países como Canadá, Nueva Zelanda, Australia, Alemania, Francia, Filipinas, entre otros, entre los años 1973-1984 se sumaron a la preocupación por los problemas ambientales, siendo Canadá el país más destacado por la implementación del procedimiento de evaluación de impacto ambiental, en América Latina países como

Colombia, México, Brasil, Venezuela, Bolivia, Paraguay y demás se adentraron entre los años 1973-1994 en la evaluación de impactos ambientales, Colombia actúa como pionero (García, 2004).

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo llevada a cabo en el año 1992 se permite y se divulga a nivel mundial el instrumento de la evaluación de impacto ambiental y de igual forma se ordena la incorporación de esta herramienta en las agendas políticas de los países, es así como 191 países de las Naciones Unidas incluyen como parte esencial el proceso de evaluación de impacto en su política pública ambiental (Perevochtchikova, 2013).

2.3 Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En España para el año de 1996 Vicente Conesa propone una metodología de evaluación de impacto la cual se basa en la valoración de 11 atributos los cuales pretenden describir a detalle los impactos ambientales en análisis, en el año 2013 se desarrolla la metodología de redes complejas propuesta por Martínez Bernal la cual se basa en el estudio de las relaciones de causalidad que están asociadas a las actividades e impactos del proyecto (Toro et al., 2015).

2.4 Aspectos Legales

Dentro de la evaluación de impacto ambiental es importante tener en cuenta la identificación y análisis de los requisitos ambientales y otros requisitos ya que estos permiten la delimitación de las estrategias de acción para actuar frente a los impactos identificados, para la aprobación de un

proyecto de agricultura en el Salvador se realiza la revisión de normas y requerimientos legales a cumplir durante la ejecución y funcionamiento de este proyecto (Calle et al., 2015).

2.5 Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

Los modelos atmosféricos tienen origen con la predicción del tiempo estudiada en el año 1992 por Richardson, así como con Charney en el 1950 donde estudió la predicción numérica del tiempo a través de un modelo tipo barotrópico con característica de un solo nivel, gracias a esto se logró llevar a cabo en la superficie de 500 hPa el pronóstico de la altura del potencial del campo de gravedad de la Tierra (Montoya, 2008).

Partiendo de la medición de variables meteorológicas como viento, temperatura de una altura específica y la nubosidad de la zona se realizó la estimación de flujos superficiales, estos modelos fueron estudiados por Holtslag y Van Ulden en el año 1983 (Galindo García, 1999), y así en el año 1991 se incorporaron los avances científicos en materia de modelación con la mejora del modelo regulatorio AERMOD de AMS y EPA (Cimorelli et al., 2005).

Por medio de la modelación de dispersión de los contaminantes SO₂, NO₂ y PST mediante el uso del software AERMOD Zuluaga & Parra analizan los posibles impactos sobre poblaciones aledañas a una industria Papelera en el departamento de Valle del Cauca, se determinaron las concentraciones por cada uno de los contaminantes evaluados y se obtiene que dicha concentración disminuye con el aumento del área de estudio, sin embargo, se establece que la dirección del

viento causa aglomeración de las emisiones de estudio (Zuluaga & Parra, 2010).

Se ha realizado la comparación de modelos como Berlyand, SCREEN3 y Web Gauss, para cada uno de ellos se reportan valores de concentración y distancia máxima, en este estudio se establece que el modelo SCREEN3 proporciona mayores distancias de análisis en comparación con otros modelos, adicionalmente menciona que el uso de estos modelos puede brindar una solución a problemáticas como la determinación de la altura mínima admisible de emisión, evaluación del cambio de un combustible, entre otros (Ordoñez-Sánchez et al., 2018).

Gonzalez realizó el análisis de dispersión de contaminantes atmosféricos por medio del modelo Hysplit v.4, en este estudio se tuvo en cuenta la actividad de tres servicios funerarios que operaban frecuentemente y por tal motivo aumentan las emisiones liberadas por dicho proceso de cremación, se obtuvo diferentes mapas en los que se puede observar la dispersión de PM 2.5 y Hg siendo los contaminantes más significativos, gracias a esto se verifica el impacto negativo causado en 20 municipios aledaños a los puntos de generación (González et al., 2020).

2.6 Formulación de Alternativas de Corrección y Mitigación

Como una de las alternativas de mitigación es la utilización de técnicas para la pre combustión con el fin de generar una menor contribución de los gases generados en el proceso de la combustión, unas de estas técnicas y la más utilizada son las aleaciones de combustibles fósiles con combustibles limpios, para la realización de esta técnica es importante que se adapten quemadores

apropiados que permita un control de emisiones (Villarejo, 1991).

En la evaluación de los impactos ambientales ocasionados por un incinerados de residuos se implementa como alternativa de mitigación la instalación de sistema reductores de contaminantes NO_x, estos contienen compresores de aire, tanques de almacenamiento de aire comprimido, bombas de inyección de urea y tanques de almacenamiento de urea, sin embargo, la instalación de estos sistemas genera un impacto ambiental adicional que debe ser considerado para su implementación (Mohamed, 2015).

En la identificación de posibles impactos generados por los procesos realizados en el Crematorio del Cementerio Parque Futuro SA ubicado en la ciudad de Luque, Paraguay se formulan alternativas de mitigación para la contaminación del aire como impacto significativo, dentro de estas se encuentra la realización de monitoreos periódicos en las instalaciones, aumento en las temperaturas de emisión, implementación de cercas vivas y secuestradores de olores (Luque et al., 2018).

3. Metodología.

La metodología implementada para llevar a cabo el análisis de impacto ambiental generado por un horno crematorio en Fontibón se realizó en tres fases la primera de ellas fue la fase de diagnóstico en se llevó a cabo una revisión bibliográfica disponible con información pertinente a la localidad de Fontibón, como el uso de suelo, datos meteorológicos, aspectos técnicos del horno crematorio, datos de concentración de contaminantes atmosféricos y cartografía local.

Posteriormente se delimito el área de estudio teniendo en cuenta la ubicación actual del horno crematorio, se identificó los impactos

ambientales por medio de la Matriz Vicente Conesa, con el fin de logra realizar una interpretación amplia y ágil de los impactos ambientales en estudio disminuyendo de esta forma el nivel de subjetividad de impacto (Chacón, 2018), simultáneamente se estudió la normatividad vigente mediante la elaboración del respectivo marco legal según dicha actividad económica.

La fase de modelación se lleva a cabo a través del uso del software Screen View, se hace una recopilación de datos meteorológicos, factores de la fuente de emisión y características generales del área donde se encuentra ubicado dicho horno crematorio, con dicha información se realizan 28 escenarios de modelación variando el tipo de estabilidad atmosférica presente en la zona de estudio.

Con respecto a la fase de formulación se hace la revisión bibliográfica en donde se formularán distintas alternativas de minimización y corrección conforme a la actividad que se lleva a cabo en el cementerio de Fontibón, priorizando la calidad de vida de la comunidad aledaña y el libre desarrollo de la actividad del crematorio.

4. Resultados

4.1 Diagnóstico

Fontibón es la novena localidad de Bogotá, se ubica en la zona noroccidental, limita con las localidades de: al norte con Engativá, al sur con Kennedy, al oriente con Teusaquillo y Puente Aranda y al occidente con los municipios de Mosquera y Funza, (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Esta se caracteriza por tener un clima frío, con un promedio anual de temperatura de 14° Celsius, una humedad relativa del 75%, y sus precipitaciones anuales son de 724 mm (Secretaría Distrital de Salud, 2018). Así

mismo, pertenece a la zona baja de la cuenca del río Bogotá, por lo tanto, comparte un pequeño tramo de este mismo río, cuenta con otras fuentes hídricas como el río Fucha, al interior alberga dos humedales Capellanía y Mehandro del Say (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Por otro lado, en la localidad se establece que el uso del suelo se divide según las actividades económicas, correspondientes a tipo residencial, industrial, dotacional, comercio y servicios, área de actividad central, área urbana integral, suelo protegido, como se ilustra en la tabla 1. (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

Tabla 1. Clasificación de usos del suelo localidad de Fontibón. Fuente: Tomado de diagnóstico Fontibón POT 2020.

Actividad	Área (m ²)	% Población	% Área
Residencial	4'891.866	54,3	17,0
Industrial	5'254.339	10,3	18,2
Dotacional	9'427.116	0,4	32,7
Comercio y servicios	2'734.258	11,5	9,5
Área de actividad central	69.298	0,1	0,2
Área urbana integral	4'985.069	23,4	17,3
Suelo protegido	898.892	0,1	3,1

FONTIBÓN

(Sin información) 531.298 0,0 1,8

4.1.1 Componente socioeconómico

En esta localidad se desenvuelven diversas actividades económicas con respecto a la oferta servicios, bienes y producción industrial, estas son las principales promotoras de la economía local; según el censo del 2006, se refleja que la gran parte de la economía local es influenciada por el sector de servicios (76%), industrial (18%) y construcción (4%), (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007).

En cuanto a la prestación de servicios públicos esta localidad tiene una cobertura al 100% de alcantarillado y acueducto, al 99% de energía y al 90.4% de gas natural, por otra parte, con respecto a la tasa de pobreza es necesario medirlo con base a tres conceptos primordiales, los cuales corresponden a: el índice de pobreza estructural con 1.7%, necesidades fundamentales insatisfechas con un 2.2% y su calidad de vida con un 92.69%, (Alcaldía Local de Fontibón, 2018).

4.1.2 Componente Atmosférico

En Fontibón se ha presentado la afectación de la calidad del aire por el funcionamiento del horno crematorio, la comunidad aledaña se ha manifestado (Semana, 2020), según los datos históricos de la RMCAB se estudiaron las concentraciones correspondientes al 29 de julio del 2020, en donde se observa un incremento según tabla 2, así mismo, se tiene en cuenta los datos meteorológicos como se ilustra en la tabla 3 (SDA, 2020).

Tabla 2. Concentración de los contaminantes por hora.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB

Contaminante	Unidad	Valor
PM ₁₀	µg/m ³	118,8
PM _{2.5}	µg/m ³	43,2
CO	Sin reporte	Sin reporte
NO _x	ppb	119,2
SO ₂	ppb	1,5

Tabla 3. Valores de variables meteorológicas. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCAB.

Variable meteorológica	Unidad	Valor promedio
Velocidad del viento	m/s	1,8
Dirección del viento	Grados	304
Temperatura	°C	15
Humedad relativa	%	78
Precipitación	mm	0,1

4.1.3 Delimitación del Área de Estudio

Para el desarrollo del estudio de impacto generado por un horno crematorio de la localidad de Fontibón se tomó un área de estudio correspondiente a 2,5 km de radio tomando como punto central de dicha circunferencia el cementerio de Fontibón donde se encuentra instalado el horno crematorio y está ubicado en las coordenadas 4.6840511 latitud norte, -74.1457962 longitud este, esta ubicación fue delimitada a partir de Google Earth.

4.1.4 Identificación de Impactos Ambientales

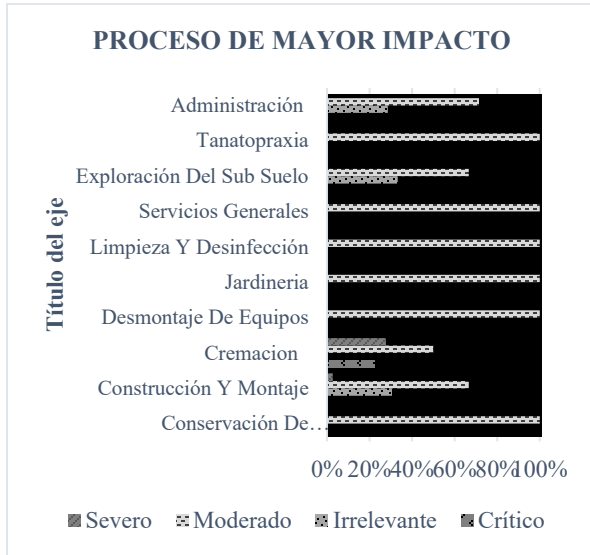
Se elabora la Matriz de evaluación de impacto ambiental Vicente Conesa, se determinaron los procesos y actividades por cada una de las etapas de construcción, operación y desmantelamiento, (Chipatecua, 2017);

El análisis del impacto generado por la etapa de operación de este proyecto indica un grado de importancia mayor ya que los procesos y actividades realizados en esta etapa arrojaron resultados significativos en la generación de impactos al entorno, de acuerdo a la matriz de Vicente Conesa se refleja que el proceso con mayor impacto es el relacionado a la cremación ya que involucra un proceso de combustión y de postcombustión (González et al., 2020), en este se asocia la contaminación del aire, suelo, y efectos a la salud como los impactos críticos cita.

Por otro lado, la actividad de incineración de cadáveres genera un impacto hacia la contaminación visual y olores ofensivos por la liberación de compuestos como NO₂ y SO₂ (Ortiz, 2019) cuya clasificación fue severa, los impactos de carácter moderado en esta etapa son concernientes a la contaminación por sustancias químicas y agotamiento de recursos por consumo de energía y agua; en esta etapa de operación se obtienen impactos positivos como la generación de empleo, aprovechamiento de residuos orgánicos y la alteración paisajística por procesos de jardinería.

En la figura 1. se representa gráficamente el impacto y su nivel generado por cada uno de los procesos, obteniendo la cremación como el de mayor impacto a nivel crítico y severo.

Figura 1. Impacto de los procesos de cremación. Fuente: Elaboración propia.



4.1.5 Identificación de Aspectos Legales

La resolución 909 de 2008 establece que unos hornos crematorios deben cumplir con un valor de temperatura $\geq 750^{\circ}\text{C}$ para la cámara primaria y $\geq 900^{\circ}\text{C}$ para la cámara de postcombustión, los valores de emisión permisibles de contaminantes atmosféricos se relacionan en la tabla 4 (Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial, 2008)

Tabla 4. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire en hornos crematorios. Fuente: Tomado de Resolución 909 de 2008.

Instalación	Promedio	Estándares de Emisión Admisibles (mg/m^3)		
		MP	CO	HC _T
Hornos crematorios	Promedio diario	No aplica	75	15
	Promedio horario	50	150	30

4.2 Análisis de Dispersión de Contaminantes

La modelación a través el software SCREEN VIEW con tipo de fuente, terreno y área, concentración del gas de salida, altura y diámetro de la chimenea, caudal y temperatura del gas de salida y ambiente, estos valores de diseño se tomaron a partir de lo establecido por AMERICAN CREMATORY EQUIPMENT COMPANY Y VEZZANIFORNI, en la tabla 5 se relacionan dichos parámetros.

Tabla 5. Parámetros técnicos de la chimenea. Fuente: Tomado de AMERICAN CREMATORY EQUIPMENT COMPANY y VEZZANIFORNI, 2020.

Parámetro	Unidad	Valor
Altura de la chimenea	m	7,6
Diámetro de la chimenea	m	0,2
Caudal del gas de salida	m^3/s	0,16
T° del gas de salida	K	453
T° ambiente	K	298

Las emisiones de contaminantes atmosféricos liberados por hornos crematorios han sido estandarizadas por los fabricantes de estos equipos usados en el proceso de cremación de cadáveres, como se ilustra en la tabla 6.

Tabla 6. Concentración de los contaminantes requeridos por Screen View. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de VEZZANIFORNI, 2005

Contaminante	Unidad	Valor
PM ₁₀	g/s	$2,7 \times 10^{-6}$

CO	g/s	$1,3 \times 10^{-5}$
NO ₂	g/s	$8,3 \times 10^{-5}$
SO ₂	g/s	$1,3 \times 10^{-5}$

Se realizaron 7 escenarios de modelación para cada uno de los 4 contaminantes con base en el tipo de estabilidad atmosférica de la zona, 4 de estos escenarios fueron analizados a detalle ya que presentaban variaciones significativas con respecto a la dispersión de los contaminantes, según tabla 7.

Tabla 7. Características de los escenarios de modelación.
Fuente: Elaboración propia.

Escenario	Contaminante	Tipo de estabilidad
1	PM ₁₀	Completa
8	CO	Completa
15	NO ₂	Completa
22	SO ₂	Completa

De estos 4 escenarios de modelación se obtuvo la representación gráfica de la concentración vs la distancia de dispersión de cada contaminante, en las gráficas tal se presentan estos resultados.

Figura 29. Dispersión de CO. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.

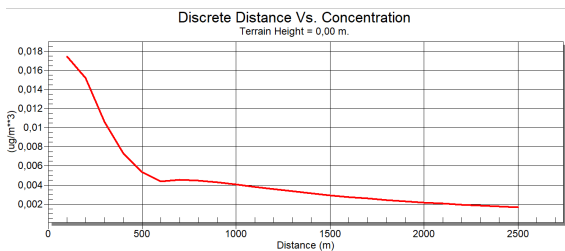


Figura 3. Dispersión de NO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.

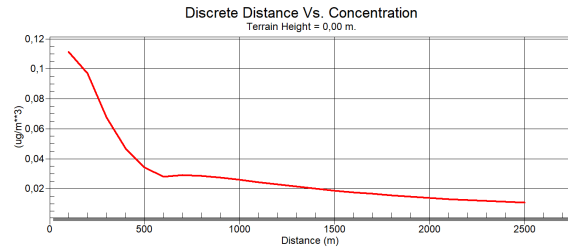
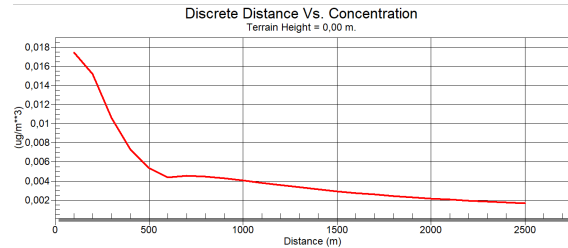


Figura 4. Dispersión de SO₂. Fuente. Elaboración propia a partir de SCREEN VIEW.



Las concentraciones de dispersión varían con relación a la concentración inicial liberal por el horno a pesar de esto las concentraciones es similar debido a que la estabilidad atmosférica es igual para todas.

4.3 Formulación de Alternativas.

Se analizaron las alternativas de manejo de impacto de la contaminación del aire mediante la comparación de sus ventajas y desventajas, estas son la implementación de sistemas de tratamiento y depuración de gases por vía húmeda, sistemas de adsorción de contaminantes, mecanismos de participación ciudadana, responsabilidad social empresarial y la implementación de sensores de calidad del aire.

De estas alternativas se seleccionaron dos las cuales se tuvieron en cuenta su viabilidad, sus costos y beneficios, la primera de ellas fue un Sistema de Tratamiento y Depuración de Gases el cual consiste en depurar contaminantes como PM, CO y HCL de los

gases generados del horno, así mismo, baja la temperatura de estos gases entre 120 -150C°.

Se planteó como meta minimizar el 95% de las concentraciones en un lapso de tiempo de 1 año en la etapa de operación del proyecto, esta meta se mide a través de la ecuación.

Ecuación 1. Indicador de reducción de emisiones. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Reducción\ de\ emisiones = \frac{Emisión\ inicial/año - emisión\ actual/año}{Emisión\ inicial/año} * 100$$

Nota. Las emisiones se relacionan en unidades de volumen (m3).

El presupuesto aproximado para la implementación de esta propuesta se cuenta alrededor de 97.580.000, en donde se desglosa de la siguiente manera:

- Valor neto aproximado del sistema en pesos colombianos \$ 76.000.000
- Valor de fletes, seguros y gastos aproximado en pesos colombianos \$ 6.000.000
- Valor de IVA 19% año 2020 \$ 15.580.000.

Por otro lado, se realiza la formulación de una segunda propuesta enfocada a la participación de la comunidad mediante el uso de sensores de calidad del aire los cuales miden la concentración de material particulado teniendo en cuenta variables como la temperatura y humedad, así mismo, se entran enlazados a una red de wifi con el fin de obtener los datos de concentración en tiempo real por medio de una aplicación.

Se proyectó que en un periodo de 6 meses que la comunidad implemente y se realice la respectiva divulgación en cuanto al uso y

funcionamiento de estos sensores involucrando un 50% de la comunidad.

El indicador de medición para esta propuesta corresponde con la ecuación 2 y 3, el presupuesto que se contempló fue la adquisición de estos sensores por un valor de 249 dólares en donde se realizó el cambio a pesos colombianos con una tasa representativa del mercado del día 31 de octubre del 2020 (\$ 3.858,56) obteniendo un valor aproximado de cop \$960.781.

Ecuación 2. Indicador de divulgación de la propuesta. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Divulgación\ de\ la\ propuesta = \frac{Habitantes\ informados}{Total\ de\ interesados} * 100$$

Ecuación 3. Indicador de sensores en funcionamiento. Fuente. Elaboración propia.

$$\%Sensores\ en\ funcionamiento = \frac{Sensores\ en\ funcionamiento}{Total\ de\ sensores\ instalados} * 100$$

5. Conclusiones

De acuerdo a la revisión bibliográfica se evaluó la situación actual de la zona de estudio, se concluye que en el proceso de cremación se genera un impacto severo con respecto a la contaminación atmosférica, sin embargo, los valores de concentración liberados por el horno no son superiores a las concentraciones máximas permisibles establecidas por la resolución 909 de 2008.

Por otro lado, los aspectos técnicos de este horno están diseñados para el cumplimiento de la legislación europea cuyos indicadores son menores a lo exigido por la normatividad colombiana, adicionalmente se evidenció que en cuanto a la ubicación de este horno existe un conflicto por el uso de suelo en el cual se debe desarrollar este tipo actividad, la

resolución 5194 de 2010, título 4, artículo 35, numeral 4 establece la ubicación de estas actividades.

Con base en las modelaciones realizadas en los softwares Screen View y Arcgis se logró observar que la dispersión de estos contaminantes es superior a los 2500 metros, adicionalmente, a medida que aumenta la distancia de dispersión, simultáneamente disminuyen las concentraciones de estos contaminantes influenciado por las condiciones meteorológicas del lugar.

Conforme a los resultados y discusión presentada anteriormente se realizó la formulación de dos alternativas de manejo, una de ellas enfocada hacia la corrección y mitigación del impacto de la contaminación del aire generado por la industria de la cremación, y la otra enfocada hacia la comunidad con el fin de incentivar de incentivar la participación ciudadana en temas relacionados a la calidad del aire.

6. Bibliografía

- Aizpurúa, N. (2010). Medidas preventivas, correctoras y compensatorias del impacto ecológico de carreteras. *Universidad Politécnica de Madrid*.
- Alcaldía Local de Fontibón. (2018). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá DC. (2009). *Diagnostico Local con Participacion Social 2009-2010*.
- Alfonso Avila, N. Z. H. (2014). Principales normas ambientales colombianas. In *Principales normas ambientales colombianas*.
<https://doi.org/10.21158/9789587562798>
- ANLA. (2014). *Certificación N°4271 de* 2014. 1–17.
- ANLA. (2018). *Resolución 01362 de 2018*.
- Arboleda González, J. A. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. In *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Avilés, D. (2018). *DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN DEL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE LOS SOFTWARE SCREEN VIEW 3 Y DISPER 5.2*.
- Beatriz, & Silva. (2012). Evaluación ambiental : impacto y daño . Un análisis jurídico desde la perspectiva científica. *Departamento de Estudios Jurídicos Del Estado EVALUACIÓN, Universida*(tesis Doctoral), 538.
- Bonilla, B. E. L. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. In *ACIMED*.
- Buitrago, J. H. (2003). Aplicacion del modelo Gaussiano para determinar la calidad de aire de Manizales. *Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales*.
<https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- Calle, D. I. R., Faique, D. E. L., & Francisco, T. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental AGROSAD*.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2007). *Perfil económico y empresarial Localidad de Fontibón*.
- Canter, L. W. (1998). *Manual De*

- Evaluacion De Impacto Ambiental.*
841.
- Caputo, M. (2004). *Dispersión de contaminantes en la atmósfera: análisis de modelos.* XXIII(November), 55.
<http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>
- Castillo Calle, M. A. (2012). La Norma Jurídica en el Sistema Legislativo Peruano. *Derecho y Cambio Social*, 0, 1–18.
- Chacón, B. (2018). *Propuesta de una guía metodológica para la realización de la evaluación de impacto ambiental aplicable en ecoparque sabana (Jaime Duque).*
- Chipatecua, R. (2017). ACTUALIZACION PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARQUE CEMENTERIO SERAFIN. *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D., & Brode, R. W. (2005). AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization. *Journal of Applied Meteorology*.
<https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Conesa, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. *NA*.
- CORANTIOQUIA. (2008). *Requerimientos Técnicos y Normativos para Hornos Incineradores.*
- Cotán-Pinto, S. (2007). *Los estudios de Impacto Ambiental: Tipos, Métodos y Tendencias.*
- Crematory Manufacturing and Service Inc. (2005). *Manual de operacion CMS Millennium III Cremator.*
- Cruz Minguez, V., Gallego Martin, E., & Gonzales de Paula, L. (2008). *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.* 146.
<https://eprints.ucm.es/9445/1/MemoriaEIA09.pdf>
- De la Maza, C. (2007). *Evaluación de Impactos Ambientales.* 579–607.
- Dolores Cortés-Sánchez, M., Macarena Gata-Montero, E., Pipió-Ternero, A., & Rodríguez-Rivas Juan Manuel Sánchez-Santos, Á. (2017). *Biocombustibles: tipos y estrategias de producción.*
- El pueblo de Colombia. (1991). *Constitucion politica de colombia 1991 preambulo el pueblo de colombia.*
- EPMMQ. (2012). *Estudio de impacto ambiental de la primera línea del metro de Quito.*
<https://www.metrodequito.gob.ec/el-proyecto/licitaciones/>
- Errol, A., & Flores, R. (2009). *La responsabilidad social de las empresas The social responsibility of the companies.* 16, 123–136.
- Espinoza, G. (2001). *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Control.*
<https://doi.org/10.1109/ICCV.2003.1238654>
- Feal Veira, A. (2011). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos.* In *Ingeniería Química.*

- Fernandez, C. (2010). *Guia metodologica para la evaluacion del impacto ambiental* (p. 177).
- Fernández, J. A. C. (2012). *APLICACIÓN DE UN MODELO DE DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA*.
- Ferrando, I., Albarracín, L., Gallart, C., García-Raffi, L. M., & Gorgorió, N. (2017). Análisis de los modelos matemáticos producidos durante la resolución de problemas de fermi. *Bolema - Mathematics Education Bulletin*. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v31n57a11>
- Frías Armenta, M., Martín Rodríguez, A. M., & Corral Verdugo, V. (2009). Análisis de factores que influyen en el desarrollo de normas ambientales y en la conducta anti-ecológica. *Interamerican Journal of Psychology*, 43(2), 309–322.
- Galindo García, I. F. (1999). *Librería de software de procedimientos meteorológicos para modelos de dispersión de contaminates*. 133.
- Gallardo, L. (1997). *Modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos*.
- García. (2004). *Evolución histórica y legal de la Evaluación del Impacto Ambiental*. 13–37.
- García, D. A. (2012). Modelado numérico de la dispersión de contaminantes asociada al flujo atmosférico dentro de un entorno urbano específico de la Ciudad de Bogotá. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Garmendia, A. (2005). *Evaluacion de impacto ambiental*. www.FreeLibros.me
- Gobierno Vasco. (2017). *Análisis de estudios de impacto*. 1–42.
- Gomez, A. (2015). *DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CREMATORIO EN UNA NAVE INDUSTRIAL*.
- González, G., Hernández Contreras, J. M., Valle-Hernández, B. L., Hernández Moreno, A., Santiago-De la Rosa, N., García-Martínez, R., & Mugica, V. (2020). Toxic atmospheric pollutants from crematoria ovens: characterization, emission factors and modelling. *Environmental Science and Pollution Research, Villegas 2019*.
- Gregg, T. (2008). *Incineración, cremación de cadáveres*. 10–11.
- Gutierrez, M. (2018). *PLAN PARCIAL PARQUE DE DESARROLLO SOCIAL EJE INTEGRADOR REGIONAL SUR (SOACHA – GIRARDOT)*.
- Hernández. (2015). Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones. *UCE Ciencia. Revista de Postgrado*.
- Hernández, G., & Rueda, Á. (2013). *La muerte es el final: La industria de la muerte S.A.*
- Herrera, J. (2008). *CARACTERIZACION Y APROVECHAMIENTO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS PARA LA OBTENCION DE UN COMBUSTIBLE (BIODIESEL)*.
- Herrera, P. (2015). *Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental crematorio funeraria Melendez*.
- Ian, K., Quinn, C. P., & Cooney, G. (2014). Transformation by fire: The archaeology of cremation in cultural context. In *Transformation by Fire: The Archaeology of Cremation in Cultural Context*.
- ICONTEC. (2015). NTC - ISO 14001.

- SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL. Requisitos Con Orientación Para Su Uso.*
- incol. (2017). *Sistema de tratamiento y depuración de gases húmeda. 4540(1650).*
- International Institute for Sustainable Development. (2016). *Manual de Capacitación sobre la Evaluación del Impacto Ambiental.* 154.
- Isaac, D., & Cervantes, S. (2016). *LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL COMO VENTAJA.* 236–256.
- Johnke, M. G. (2001). *Draft of a German Report with basic informations for a BREF-Documen “Waste Incineration”. December.*
- Loustaunau, M. (2015). Aspectos e Impactos ambientales. *Sgs Academy.*
- Luque, R., Bernardino, S., & Ita, C. (2018). “*Crematorio del Cementerio Parque Futuro .*”
- Maldonado, L. F. (2013). El modelamiento matemático en la formación del ingeniero. In *In Business.*
- Mari, M., & Domingo, J. L. (2010). Toxic emissions from crematories: A review. *Environment International, 36(1), 131–137.*
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.09.006>
- MARM. (2009). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea Sistemas de Gestión y Tratamiento de Aguas y Gases Residuales en el Sector Químico.*
- Martinez, D. (2009). Guía Técnica Para La Elaboracion De Planes De Manejo Ambiental. *Alcaldía Mayor de Bogotá.*
- MINAMBIENTE. (2018). *METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES.*
- Ministerio de Ambiente. (2002). *Resolución 058 de 2002.*
- Ministerio de Ambiente, V. y D. I. (2013). Decreto 1220 de 2005. *Decreto 1220 de 2005.*
- Mohamed, F. M. (2015). *EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UNA INCINERADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*
http://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/11922/TD_MIMUN_MOHAMED_Fauzi.pdf?sequence=1
- Montoya, G. de J. (2008). *Lecciones de meteorología dinámica y modelamiento atmosférico.*
- Muñoz, J. F., Ortiz, C., Abujatum, E., & Gonthier, C. (2012). Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA. In *SEIA.*
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.*
- Ordoñez-Sánchez, Y. C., Reinos-Valladares, M., Hernández-Garces, A., & Canciano-Fernández, J. (2018). Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio. *Revista Cubana de Química.*
- Ortiz, J. M. (2019). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LAS ACTIVIDADES DE UN HORNO DE CREMACIÓN DE UN*

*CAMPOSANTO EN LA ZONA
URBANA DEL MUNICIPIO DE
SANTIAGO DE CALI.*

- Pardal, A. C. D. V. (2012). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis. *IPBeja Repositorio Científico*.
- Peláez Leon, J. D. (2011). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE PROYECTOS DE DESARROLLO*.
- Peña, J. P. V. (2013). *Diseño de horno de cremación*. 85-87.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública*.
- Pérez, J., Espinel, J., Ocampo, A., & Londoño, C. (2001). Dioxinas en procesos de incineración de desechos. *Dyna (Medellin, Colombia)*.
- Ramos, D. (2014). *Medidas Preventivas, Correctoras y Compensatorias*. 15. http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2013/12/9_MedidasPyC_resumen.pdf
- Rodríguez, P. (2019). *LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL, ACTUALIDAD E INCLUSIÓN EN EL MERCADO COLOMBIANO*.
- Salvador, A. G., Alcaide, A. S., & Salvador, L. G. (2005). *Evaluación de impacto ambiental*.
- Sanetti, A. (2016). *ANÁLISIS Y FORMULACIÓN DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE GASES PARA HORNOS DE ALTA TEMPERATURA E INSTALACIONES DE COINCINERACIÓN*.
- Secretaría de Planeación. (2020). *PROCESO DE REVISIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BOGOTÁ DC*. 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.5771/9783845289892-15>
- Secretaría Distrital de Salud. (2018). *Análisis de condiciones, calidad de vida, salud y enfermedad*.
- SENER. (2016). *Metodología para la Evaluación de Impacto Social*. 18.
- Toro, J., Martelo, C., & Martínez, N. (2015). Metodología Para La Evaluación De Aspectos Ambientales. *Universidad Nacional de Colombia*, 130.
- Torres Jerez, A. (2013). Aplicación Práctica Del Modelo De Dispersión De Contaminantes Atmosféricos – Iscst3. *Escuela de Negocios*.
- Tricio, V. (2008). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la elaboración de planes de acción locales para mejorar la calidad del aire y estudios de impacto ambiental : estudio de caso*.
- UICN. (2019). *La desoxigenación de los océanos : un problema de todos*. www.iucn.org/deoxygenation
- Valencia Botero, M. J., & Cardona Alzate, C. A. (2013). Aproximación conceptual a la separación del dióxido de carbono en corrientes de combustión TT - Carbon Dioxide Separation from Combustion Stream: A Conceptual Approach. *Facultad de Ingeniería*.
- Villafañe, D. (2013). *Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP)*. 232.
- Villar, G. (2017). Estudio de modelos de dispersion y su aplicación al control industrial. *Universidad de Alcalá Escuela*.

Villarejo, J. T. (1991). *RETENCIÓN DE CONTAMINANTES. PREVENCIÓN DE SUPERACIÓN DE LÍMITES*. 125–175.

Wolfman, L. S. B. A. (2013). Estudio de Impacto Ambiental-Crematorio. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Zuluaga, C., & Parra, J. (2010). Estudio De La Dispersión De Contaminantes Atmosféricos En La Jurisdicción De Cornare: Informe General. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 173, 1–19.
http://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/INFORME-GENERAL_1.pdf