



**PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA
MITIGACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM_{2,5} PROVENIENTE DE LAS
FUENTES MÓVILES EN BOGOTÁ.**

ANDRÉS FELIPE JAIME JAIMES

Trabajo de grado para optar al título de Diseñador Industrial

MBA - Leonel Eduardo Mendoza Gaitán

MSC - Johanna Maritza Velandía Quiroga

MSC - Sergio Andrés Ortiz Rincón

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE ARTES Y DISEÑO

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BOGOTÁ

2020

**PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA
MITIGACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO PM_{2,5} PROVENIENTE DE LAS
FUENTES MÓVILES EN BOGOTÁ.**

ANDRÉS FELIPE JAIME JAIMES

MBA Leonel Eduardo Mendoza Gaitán

MSC Johanna Maritza Velandia Quiroga

MSC Sergio Andrés Ortiz Rincón

Dedicatoria

Desde una temprana edad, siempre tuve una afinidad con los automóviles, y tenía definido que me quería dedicar a este campo desde hace mucho tiempo, si bien falta mucho camino por recorrer, este es un gran paso para lograr esa meta, yendo de lo general a lo específico y esto no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional desde las primeras instancias por parte de mi madre, Lina María Jaimes, que a pesar de tener su pensamiento cerrado de ingeniería creyó siempre en la pasión y el proceso que se estaba gestando a lo largo de los años, por ende este proyecto de grado es para ella.

Agradecimientos

Los agradecimientos son más que todo a la academia, en esencia a los profesores, en este caso a Leonel Mendoza, Sergio Ortiz, Johanna Velandía y Mauricio Gómez, que durante el proceso de este trabajo de grado fueron más que unos guías, tutores y mostraron ese apoyo incondicional para poder llevar a cabo dicha proeza, sin embargo también quisiera agradecer a profesores como Leonardo Vásquez y Jean Jacques Marie Étienne, porque ellos hicieron parte no solo del proceso del proyecto de grado, si no de mi crecimiento académico y profesional, por lo cual sin ellos no sería la persona que hoy en día escribe este documento, ni el futuro diseñador industrial que de tanto orgullo he formado a lo largo de la carrera.

A su vez, quisiera agradecer a personas que siempre mostraron su apoyo incondicional y su motivación y sus ganas de siempre ayudar para lograr un excelente resultado, mi familia, mis Tíos que siempre vieron la viabilidad del proyecto y me apoyaron desde sus áreas laborales, mi familia noruega (Marianne, Eivind, Eira, Vidar, Torbjørn, Thomas) por siempre estar pendientes y apoyarme en el ámbito académico con el fin de crecer cada día; por otro lado, cabe resaltar a mi amigo desde primer semestre Andrés Ossa, a los "ultracanutras", en especial a Juan Guillermo Cardozo que siempre estuvo pendiente y me ayudo en las varias labores de comprobación que se necesitaban realizar, Guillermo Rey por ser una guía cuando estaba bloqueado para la resolución de alternativas y a MCM por siempre estar ahí durante esta última etapa.

ÍNDICE

1. Resumen.....	7
Abstract.....	7
2. Introducción	8
3.Problemática	9
4. Contextualización	10
5. Contaminación del aire	10
6. Material particulado	10
6.1 Contenido del material particulado	11
7. Bogotá vs otras ciudades frente a la calidad del aire	13
8. Vehículos	17
10. Análisis de categorías	19
10.1 Material particulado contra la salud.....	19
10.2 Condiciones favorables para el material particulado en Bogotá.....	21
10.3 Herramientas de medición	24
10.4 Creación de microambientes.....	27
11. Definición del proyecto.....	28
12. Justificación	29
13. objetivos.....	31
13.2 Objetivos específicos	31
14. Referentes	32
14.1 Propuestas a nivel nacional e internacional	32
15. Marco metodológico	34
15.1 Metodologías.....	34
15.2 Trabajo de campo.....	36
15.2.1 Estudio de caso No.1.....	36
15.2.1 Estudio de caso No.2.....	38
15.3 Marco institucional	40
16. Marco propositivo.....	41
16.1 propuestas	41
16.2 Propuesta sobre la fuente de emisión	42

16.3 Propuesta final	44
16.3.1 Determinantes de diseño	44
16.3.2 Metodología cuasiexperimental	46
16.3.4 Desarrollo de la propuesta.....	52
16.3.5 Protocolo de la propuesta.....	58
16.4 Beneficios	60
Referentes.....	61

FIGURA 1 ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE ICA	11
FIGURA 2 NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES	12
FIGURA 3 PANORAMA DE CONCENTRACIÓN PM2.5 EN BOGOTÁ D.C.	13
FIGURA 4 PANORAMA DE CONCENTRACIÓN PM2.5 EN CIUDAD DE MÉXICO	14
FIGURA 5 PANORAMA DE CONCENTRACIÓN PM2.5 EN OSLO	14
FIGURA 6 PANORAMA DE CONCENTRACIÓN PM2.5 EN ÁMSTERDAM	15
FIGURA 7 GRÁFICOS SITUACIÓN ACTUAL DE TRASPORTE PESADO EN BOGOTÁ	18
FIGURA 8 MAPA DE NIVELES DE PM2,5 A NIVEL MUNDIAL	19
FIGURA 9 CÓMO ACTÚA EL MATERIAL PARTICULADO DENTRO DEL ORGANISMO	21
FIGURA 10 TEMPERATURA PROMEDIO EN BOGOTÁ	22
FIGURA 11 PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA EN 3 ZONAS DE BOGOTÁ	23
FIGURA 12 PROMEDIO MENSUAL DE HUMEDAD EN BOGOTÁ	23
FIGURA 13 VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL DÍA EN BOGOTÁ	24
FIGURA 14 ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE EN BOGOTÁ	25
FIGURA 15 FOTOS DE ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ	26
FIGURA 16 MONITORES DE CALIDAD DEL AIRE PERSONALES	27
FIGURA 17 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL SECTOR TRANSPORTE	34
FIGURA 18 INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN DE SUBA	36
FIGURA 19 REPORTE ESTACIÓN DE SUBA	37
FIGURA 20 VEHÍCULO KODIAK 1999 TIPO VOLQUETA	38
FIGURA 21 CAPTURA DEL MOMENTO DE MONITOREO DE CONCENTRACIÓN DE PM2,5	39
FIGURA 22 RESULTADO FINAL DE LA MUESTRA AL VEHÍCULO	39
FIGURA 23 SKETCH DE ACERCAMIENTO A LA PROPUESTA FINAL	43
FIGURA 24 DETERMINANTES DE DISEÑO PARA LA PROPUESTA DE SISTEMA OBJETUAL	44
FIGURA 25 TABLA DE INTERVENCIÓN BAJO LA METODOLOGÍA CUASIEXPERIMENTAL	46
FIGURA 26 TABLA ESTADO DEL ARTE DE FILTROS DE AIRE PARA VEHÍCULOS	47
FIGURA 27 COMPROBACIÓN EN CAMIÓN FOTÓN CON CARBÓN ACTIVADO	48
FIGURA 28 EXPERIMENTACIÓN CON BUS ESCOLAR CON CARBÓN ACTIVADO	49
FIGURA 29 EXPERIMENTACIÓN DE DISTANCIA DE SISTEMA OBJETUAL FRENTE AL SISTEMA DE ESCAPE	50
FIGURA 30 DESARROLLO SUBSISTEMA DE FLUJO DE AIRE	52
FIGURA 31 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE SUBSISTEMA DE FILTRADO	53
FIGURA 32 DESARROLLO DE PROPUESTA DE SUBSISTEMA DE FILTRADO	54
FIGURA 33 DESARROLLO DE PROPUESTA DE MODULACIÓN DE CARCASA	55
FIGURA 34 DESARROLLO DE LA CARCASA COMO CONJUNTO 3 MÓDULOS	56
FIGURA 35 DESARROLLO ESTRUCTURAL DE PROPUESTA EXTERNA	57
FIGURA 36 PROPUESTA DE PROCESO	58

1. Resumen

Bogotá es una de las capitales más contaminadas a nivel mundial, debido a sus industrias técnico-productivas, fuentes móviles y el pobre o poco manejo que se le da a los residuos creando diversas amenazas ambientales que repercuten en la vida cotidiana de las personas que habitan la ciudad, animales y recursos naturales que se encuentran en el entorno. Una de las fuentes de contaminación más relevantes y preocupantes en términos de consecuencias es la contaminación del aire, principalmente el material particulado PM2.5, siendo este el contenido de polución más recientemente estudiado y a su vez de los más peligrosos para la salud del ser humano y demás actores en el ecosistema, debido a sus componentes y a su tamaño que se reduce a 2.5 micrómetros o menos, que lo hacen 100% respirable para el ser humano. Actualmente existen protocolos de descontaminación del aire conocido como el plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá (PDAAB), pero solo se contemplan medidas que resultan poco adecuadas para la disminución del material particulado, más no de mitigación, erradicación o captura de este, y carece de la contemplación de un uso posterior a la capturar de este material particulado.

Entendiendo el impacto que, generado por el material particulado, por sus emisiones exponenciales y la alta concentración de este en el ambiente, se llevó a cabo una investigación para identificar puntos potenciales tanto de mitigación como de captura del material particulado posibles beneficios a nivel de sostenibilidad (económico, social y ambiental). Teniendo en cuenta estos aspectos, se propone como primera instancia el desarrollo de un sistema objetual para la captura y filtrado del PM2.5 y posteriores usos.

Palabras claves: Material particulado, PM2.5, Captura, Mitigación, Ambiente

Abstract

Bogota is one of the most polluted capitals worldwide, due the amount of industrial activity, transport massification, and the poor management of the wastes, creating diverse environmental threats, generating direct consequences in the city daily activity, affecting people, animals and natural resources that are present in the environment. One of the most relevant and troubling pollution sources, in terms of consequences is the air pollution, specifically the Particulate Matter PM2.5, being one of the newest terms of pollution being studied, and one of the most dangerous healthy and environmentally speaking, due to its composition and its size (2.5 micrometers or less), making the PM2.5 hundred percent breathable. Nowadays, in Bogota, there are some protocols that are called 10^{-year} plan for air decontamination (PDAAB; Spanish acronyms), but this planning just contemplates some measures to decrease a percentage of particulate matter, nonetheless covers mitigation, eradication, or capture of this matter, and it lacks of contemplation of usages the PM2.5 could have after it is captured.

In addition to, having all this aspects into account, and understanding the impact PM2.5 can generate, due to the exponential emissions, and the high concentration of it in the ecosystem, an investigation was carried out on identifying the potential features of mitigation and capture of the particulate matter in terms of sustainability (economic, social and environmental issues). Acknowledging the inputs above, a capturing and filtrating objectual system was propose to development, and possible usability for it as the first instance.

Key words: Particulate matter, PM2.5, Capture, mitigation, environment

2. Introducción

La contaminación ambiental es una problemática de gran impacto a nivel mundial, siendo uno de sus factores más relevantes y preocupantes la contaminación del aire, no solo por el hecho de contener partículas o productos dentro de su contenido sino también por el hecho de ser factor contaminante de otros recursos como el agua, alimentos, entre otros. No es una casualidad el hecho que según la organización mundial de la salud una de cada ocho muertes a nivel mundial, son ocasionadas por la contaminación del aire. Dentro de este contexto Colombia como país no se queda atrás, ya que tiene una de las capitales más contaminantes a nivel mundial, una ciudad con constante alerta naranja y dos más que están sobre los niveles recomendados por la OMS; Paralelamente a estos datos, la contaminación del aire al ser un factor constante en la vida cotidiana (puede que varíe el valor o alerta) llega a inferir en el aumento del desarrollo de enfermedades como infecciones respiratorias, cardíacas, cerebrovasculares, hasta un posible cáncer, esto generado principalmente por partículas muy finas llamadas PM_{2,5} (de menos de 10 micrómetros de tamaño) ya que estas pueden penetrar conductos y tejidos del cuerpo, y debido a sus componentes generan peligros en la salud de las personas y animales, y comprometen su bienestar (objetivo principal de la ONU).

Pero antes de seguir adelante consideremos cuales son los principales contaminantes a nivel nacional, las industrias que operan con carbón, las industrias que operan con motores diésel, y de por si la industria de transporte, masivo y pesado; ante esta problemática se generó una perspectiva política, que conlleva a la conclusión de que fomentar algo desde la fuente de emisión es complicado debido a que hay aspectos políticos y económicos que benefician a las empresas que emiten estos componentes y no los obligan a generar algún tipo de indemnización con la comunidad o con el ecosistema para contrarrestar la huella de contaminación que producen.

Por otro lado, pareciera que una ciudad como Bogotá, catalogada en 2019 como la segunda capital del mundo más contaminada, no quisiera que la población se enterara fácilmente de la calidad de aire, o solamente en emergencias cuando trascurre alertas amarillas y naranjas que pueden llegar a ser mayores, a su vez pueden haber episodios en los cuales las estaciones de aire no generan ni el 75% de certeza en la lectura, o que fallan alterando resultado o no dándolas como paso en 2018 con un 50% de anomalías en los estudios de los monitores de aire. Las fuentes de emisión más contaminantes en cuanto a PM_{2,5} son las fuentes móviles ocupando un 58%, siendo los camiones y los buses de SITP los que más influyen en las emisiones; Por lo cual siendo estos vehículos la mayor causa de emisión y concentración de PM_{2,5}, siendo los camiones de sector privado son los más afectados ante leyes ambientales impuestas en los últimos tiempos, aunque a pesar de las restricciones se sigue viendo afectada la calidad del aire, por ende hay que atacar el problema de raíz.

3.Problemática

A pesar de Colombia no está dentro de los países con mayor contaminación del aire, como China, Turquía, India, entre otros; cuenta con una de las ciudades con riesgo naranja o mayor constante de concentración de PM2.5, debido a su topografía y actividades que se realizan en esta, y una de las capitales más contaminadas a nivel global, aunque no ‘es peor’ debido a su topografía y corrientes de viento que dispersan las partículas, alterando las zonas de concentración y monitoreo, hasta tal punto que se crean espacios conocidos como microambientes, que de acuerdo con Rojas (2007)son zonas donde hay gran concentración de emisiones de diferente tipo y un porcentaje alto de población en un área en específico, generando estos microambientes que se vuelven atípicos al ambiente cotidiano de la zona. Llevando a que las personas que se encuentran expuestas dentro de estos microambientes estén expuestas a unas concentraciones más altas de PM2.5 de los emisores en la zona; dichos espacios en Bogotá, son principalmente causados por las emisiones de las fuentes móviles, específicamente un 58%, siendo de este porcentaje los camiones y los buses de servicio público los que más contaminan con un 36 % y 29% respectivamente (dentro del 58% total de las fuentes móviles) Rojas (2019). Siendo en su mayoría el factor de movilidad de carga pesada y transporte masivo los responsables de las altas emisiones de PM2.5 en Bogotá, son un riesgo crítico por el hecho de que no hay sectores en la ciudad que no dependan directamente o indirectamente de esta actividad, y que el crecimiento de esta va directamente proporcional a las necesidades de la población.

Esta alza en las necesidades de la población, no solo es en movilidad, si no a nivel industrial, para abastecer una ciudad tan poblada, resultando esto no solo en el aumento de dichas actividades, si no en el crecimiento significativo de las emisiones y concentración de material particulado, resultando en aumento de las posibilidades de contraer enfermedades por parte de los seres humanos, y afecciones de los recursos naturales que se encuentran en el contexto.

4. Contextualización

5. Contaminación del aire

Según el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales ‘‘ La contaminación atmosférica es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente.’’ IDEAM (2014) Según esto podemos deducir que la contaminación del aire o atmosférica está afectando todos los ecosistemas, no solo desde la fuente donde se produzca si no a zonas adyacentes debido al transporte de estas partículas, que bien llegan a ser una problemática si estas se mantienen en el aire, o si estas se mueven debido a corrientes de viento que las dispersa a diferentes zonas.

A su vez, para comprender la problemática se deben analizar los diferentes factores, CORREDOR (2018) afirma:

Para entender una de las problemáticas que actualmente cobra millones de vidas en el mundo, es necesario conocer que la contaminación atmosférica está relacionada con la presencia de sustancias en la atmósfera que causan daños, molestias o ponen en riesgo la salud de los seres vivos. Estas sustancias como el dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, por lo general, son producto de los procesos industriales que implican la combustión, tanto en industrias como automóviles y calefacciones residenciales. (pág. 13)

Aunque lo nombra de forma intrínseca el elemento a analizar hoy en día es el material particulado, por su multiplicación exponencial y sus consecuencias a nivel de ecosistema catastróficas.

6. Material particulado

El material particulado en el aire son las partículas suspendidas que se encuentran en el ambiente cotidiano, estas son generadas por las fábricas, vehículos de transporte pesado, y quema de combustibles en hogares principalmente; dentro de su terminología se dividen en las partículas suspendidas totales (PST), las de menos de 10 micrómetros (PM10) y las menores de 2.5 micrómetros (PM2,5), Ozono (O3) monóxido y dióxido de carbono (CO, CO2), óxidos de azufre (SOx).

Debido la posición demográfica hacen que las corrientes de aire en la ciudad de Bogotá y la contaminación se ve cambiante desde el indicativo ICA, que se mide de la siguiente manera:

Figura 1 Índice de calidad de aire ICA

Índice de Calidad de Aire (ICA)					
ICA	RANGO	COLOR	DESCRIPCIÓN	LA SALUD	ACCIONES PREVENTIVAS
0 - 50	0,0 - 88,94	Verde	Buena	Ninguno	Ninguna
51 - 100	91,55 - 376,68	Amarillo	Moderada	Ninguno	Ninguna
101 - 150	379,29 - 585,94	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y dificultad al respirar en personas con asma.	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire libre.
151 - 200	588,56 - 795,21	Rojo	Dañina a la salud	Incremento de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y jadeo en personas con asma. Posible recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares.	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre.
201 - 300	797,82 - 1579,95	Púrpura	Muy dañina a la salud	Aumento significativo en síntomas respiratorios, tales como jadeo y respiración corta en personas con asma. Recrudecimiento de enfermedades cardíacas y pulmonares.	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre. Todos los demás deben reducir el esfuerzo al aire libre.

Colombia utiliza la metodología de la Agencia de Protección de Estados Unidos (EPA).
Fuente: Subsistema de información sobre Calidad de Aire (Sisaire)

Fuente 1Tabla del Índice de calidad del aire en Colombia EAFIT (2017)

Esto no significa que la calidad del aire mejore, peor aún a pesar de que por la posición demográfica Bogotá pueda tener un ciclo del aire diferente al de otras ciudades, lo que genera es la dispersión de partículas a lo largo de la ciudad cuando la producción de estas es un punto específico, por lo cual las partículas más pequeñas, como la PM 10 y la PM 2,5 al tener una baja densidad, son fácilmente transportadas por las corrientes de aire, generando un esparcimiento de estas partículas alrededor del perímetro de Bogotá, que genera que no se produzcan alertas mayores sobre la calidad del aire sin embargo al dispersar estas partículas se podría estar generando un impacto en un sector mayor de la población.

6.1 Contenido del material particulado

El material particulado está compuesto de varios componentes contaminantes, aunque varía su porcentaje, estos pueden ser perjudiciales para la salud, más aun las partículas denominadas PM 2,5 (pueden ser partículas sólidas o líquidas) por su tamaño pueden atravesar tejidos y establecerse en conductos internos del cuerpo pudiendo llegar hasta el corazón; pero el problema es de que están hechas, eso es lo realmente preocupante; comenzando por el amoniaco, que a pesar de ser una sustancia química necesaria en el ecosistema para diferentes ciclos, al exponerse en el ser humano, puede llegar a causar quemaduras en diferentes órganos por su composición; por otro lado está el arsénico, elemento químico, uno de los más tóxicos en la

actualidad, puede llegar a causar problemas pulmonares y deficiencia en la producción de glóbulos rojos y blancos; a su vez, el PM 2,5 tiene dentro de su contenido sulfatos, cenizas metálicas que pueden generar pequeñas perforaciones que dependiendo del área de perforación puede causar laceraciones en cartílagos o venas; y carbón en varios estados (C y CO₂).

El daño de este material particulado no solo se queda en el aire, si no debido a las corrientes de viento y a la misma densidad de las partículas, estas viajan en cualquier dirección, generando problemas los alimentos, no solo en los cultivos, si no las comidas que se producen por el comercio informal al borde de las calles, ya que tienen contacto directo con la contaminación producida por el transporte que transita en la zona; A su vez al hacer contacto con el agua en grandes cantidades genera la eutrofización si esta no tiene corrientes, y la vuelve agua no potable debido a la producción de algas tóxicas y la baja tasa de oxígeno; ya en el agua que cuenta con corriente y tiene su propio ciclo de oxígeno, las partículas se quedan impregnadas y son casi infiltrables por lo cual animales, plantas y personas las pueden consumir y presentar aún mayores inconvenientes de los que se producen con solo la exposición del agua.

Para entender estos volúmenes en los que se generan estas problemáticas, primero hay que informarse con los parámetros de medición, como los de la siguiente figura:

Figura 2 Niveles máximos permisibles para contaminantes

Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio**				
Resolución 610 de 2010				
CONTAMINANTE		Nivel máximo permisible (µg/m ³)	Tiempo de exposición	Directrices OMS***
Partículas suspendidas totales	PST	100	Anual	Anual
		300	24 horas	24 horas
Material particulado grueso	PM ₁₀	50	Anual	20
		100	24 horas	50
Material particulado fino	PM _{2,5}	25	Anual	10
		50	24 horas	25
Dióxido de azufre	SO ₂	80	Anual	Anual
		250	24 horas	20
		750	3 horas	500
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	100	Anual	40
		150	24 horas	Anual
		200	1 hora	200
Ozono troposférico	O ₃	80	8 horas	100
		120	1 hora	1 hora
Monóxido de carbono	CO	10.000	8 horas	8 horas
		40.000	1 hora	1 hora

Contaminantes criterio son los que causan afectaciones en la salud / *Organización Mundial de la Salud (2005)

Fuentes: Laboratorio de Calidad del Aire (Calaire) - OMS.

Fuente 2 Niveles Permisibles de material particulado EAFIT (2017)

7. Bogotá vs otras ciudades frente a la calidad del aire

Para comenzar el contraste entre ciudades con respecto a Bogotá, catalogada una de las capitales más contaminadas del mundo, es necesario generar un planteamiento estadístico entre ciudades igual o más contaminadas, y otra que tienen una calidad del aire realmente limpia o buena dentro de los estándares de la OMS, para así poder empezar a analizar que se está haciendo o no al respecto alrededor del mundo y sus repercusiones.

Figura 3 Panorama de concentración PM2.5 en Bogotá D.C.



Fuente 3 Gráfica de contaminación OMS-Breathlife (2019) https://breathelife2030.org/city_data/bogota/

Figura 4 Panorama de concentración PM2.5 en Ciudad de México



Fuente 4 Gráfica de contaminación OMS-Breathlife (2019) https://breathelife2030.org/city_data/mexico-city/

Figura 5 Panorama de concentración PM2.5 en OSLO



Fuente 5 Gráfica de contaminación OMS-Breathlife (2019) https://breathelife2030.org/city_data/oslo/

Figura 6 Panorama de concentración PM2.5 en Ámsterdam



Fuente 6 Gráfica de contaminación OMS-Breathlife (2019) https://breathlife2030.org/city_data/amsterdam/

Después de registrar estos datos de las 4 ciudades analizadas por parte la OMS y el grupo *Breathlife* (2019), y la comparativa que más llama la atención es la de Bogotá con Ámsterdam ya que tienen según las estadísticas de la OMS el mismo nivel de contaminación que es un 50 por ciento por encima del nivel seguro establecido por la organización mundial de la salud, pero ya en términos de mortalidad a nivel de país, Holanda no supera el tercio de muertes causadas por la contaminación del aire que llega a tener Colombia. A su vez, Ciudad de México, catalogada como la capital con la peor calidad del aire del mundo, presenta tazas que superan a Bogotá en un 100% y como consecuencia México a nivel de país, tiene una tasa de mortalidad por la contaminación mayor al doble que tiene Colombia. Por otro lado, se encuentra Oslo, capital europea del medio ambiente en 2019, es la única en esta comparación que está por debajo del nivel seguro de la OMS frente a la contaminación del aire, y la tasa de mortalidad por la calidad del aire no se acerca en lo absoluto a ninguna de los otros países expuestos, aunque si se compara demográficamente puede ser un porcentaje considerable para el país escandinavo.

Ámsterdam a pesar de tener el mismo nivel de contaminación que Bogotá vive un momento realmente diferente, es una de las ciudades precursoras para frenar el cambio climático con medidas a gran escala frente a la sostenibilidad medioambiental urbana, principalmente frente su calidad del aire; factores como la movilidad sostenible, comenzando por restringir vehículos que tengan más de 15 años a las zonas con mayor tráfico y centro de la ciudad; actualizando su flota de transporte público a híbridos o de energías limpias, incentivar a la gente a cambiar a vehículos con energías limpias o de poco consumo energético. Por otro lado promover las energías limpias en los hogares, como eliminar el gas natural de los hogares, aspirando a generar energía, por medio

de quema de basuras y gas verde, entre otras; Desde esta perspectiva se da a entender lo que intenta generar esta ciudad para mejorar su calidad de vida frente a la contaminación ambiental partiendo desde su corazón, como lo es la movilidad y el consumo de energía, desde una perspectiva educativa, que incentiva a las personas a generar nuevos patrones de convivencia cotidianos que intrínsecamente los van educando para que se vuelva costumbre, a su vez genera oportunidades para que las personas estén seguras y tengan menos riesgo de contraer una enfermedad ocasionada por la calidad del aire.

Desde esta perspectiva, Bogotá no cuenta con la infraestructura, ni con la proyección para buscar solventar la crisis de la calidad del aire, a pesar de que tiene un tercio de la tasa de mortalidad causada por la contaminación del aire en el país, a pesar de tener estaciones de monitoreo del aire, estos son por localidades, por lo cual las estaciones tienden a dar datos errados al tener áreas tan amplias para poder monitorear y registrar datos (que por el tema de las corrientes de aire, este se dispersa, generando un falso creer de mejora en la calidad, que realmente lo que genera es malestar en otros sectores debido a que las partículas se transportan por toda la ciudad; a su vez, no generan alarmas en diferentes horas cuando el nivel aumenta de forma drástica por actividades que se inician en un tiempo del día en específico, como el flujo de transporte de carga pesada en la localidad de suba que pueden empezar a circular a las 9 am, esto genera una sobrecarga en el sector donde por lo general hay colegios, hogares y hasta centros médicos que reciben toda esa contaminación. Pero ¿Qué genera la contaminación en Bogotá?; según el profesor Néstor Yesid Rojas de la Universidad Nacional de Colombia el material particulado en Bogotá es generado en un ‘‘38% debido a las industrias, un 58% resultado de las fuentes móviles (siendo los camiones un 36%, el SITP un 29%, Transmilenio un 4% y los vehículos particulares 3,9%)’’ Rojas (2019). Al conocer estos datos es pertinente saber que cuando realmente se genera una alerta por la calidad del aire, el distrito solo contiene en su mayoría a los vehículos particulares, siendo estos los que menor porcentaje de material particulado generan. A su vez además de las alertas que se crean, no solo restringen a las personas de usar sus vehículos, tratando de estabilizar la contaminación, si no que no se generan campañas de educación o consentimiento sobre la calidad del aire, ni de brigadas de salud, o de protección al ciudadano (solo a veces cuando la alerta es drástica entregan en las localidades más afectadas tapabocas, pero del genérico que no filtra ninguna de estas partículas, creando un estado de seguridad falso en las personas ya que este no los protege), ni ningún incentivo para promover el uso de energía limpias, ni una movilidad adecuada para que las personas busquen alternativas de transporte para mitigar la sobrecarga en las calles de la ciudad; como es claro ejemplo, que Bogotá se autoproclamo la capital del ciclismo, pero este solamente por la densidad poblacional que usa el transporte, pero la infraestructura vial y de la ciudad no da para este tipo de título, mucho menos porque la mayoría de personas ven este medio de transporte como una necesidad para su movilidad, mas no como una motivación o un gusto para implementar este medio como algo cotidiano.

8. Vehículos

En estadísticas sobre las emisiones de material particulado, las fuentes móviles son las que se llevan el punto más crítico en la ciudad de Bogotá. Como lo afirma Rojas (2019)

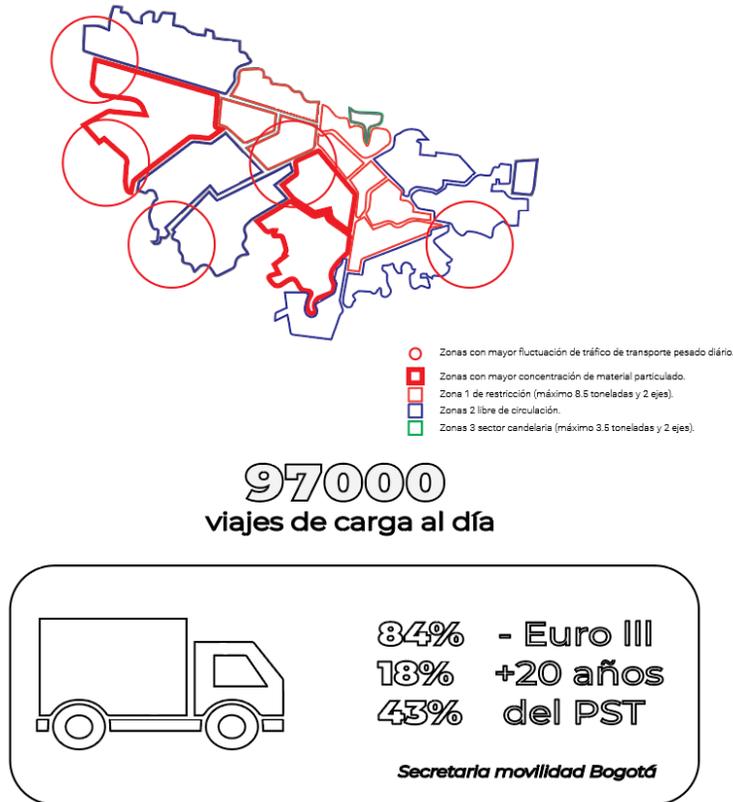
El material particulado o PM es uno de los principales contaminantes de las ciudades. En Bogotá, la industria genera el 38 % de dichas partículas; las fuentes móviles, el 58 %; y las fuentes comerciales, el 4 %. Dentro de las fuentes móviles las más importantes son los camiones con el 36 %; los buses del SITP, con el 29 %; los buses articulados de Transmilenio con el 4% y automóviles el 3.9 %.

Si bien se denota que las fuentes móviles son la principal fuente de contaminación en el ambiente, hay que resaltar los camiones de carga pesada y los buses que transitan en la capital para transporte masivo de personas son las que más perjudican el ambiente, pero estos son necesarios para el abastecimiento y productividad de la ciudad, esta debe ser una de las causas del porque no se hace un control pertinente en el plan de descontaminación del aire de Bogotá (PDDAB), siendo afectados algunos vehículos de carga pesada, y los vehículos particulares sin tener un efecto positivo alguno en la calidad del aire, como lo denota Rojas (2007)

La influencia de los vehículos particulares, que funcionan en su mayor parte con gasolina, se manifiesta en las concentraciones de CO, mientras que los vehículos de transporte público, movidos por motores diesel, influyen claramente en las concentraciones de PM (evidencias del día sin carro y días de paro de transporte público). (Pág. 4)

No solo el tipo de gasolina es un factor importante, si no la cantidad de vehículos y viajes que hacen viajes en Bogotá diariamente, el año del vehículo, tipología de motor, el peso del mismo en el momento de hacer el recorrido como características propias de cada vehículo ya que como lo denota Rodríguez (2020) en el reportaje con la secretaria de movilidad “el 84 por ciento de la flota de vehículos de carga tienen tecnología inferior a Euro III, y que el 18 por ciento tiene una edad igual o superior a los 20 años”; siendo esto cerca de 29000 vehículos de carga pesada que entran dentro de esta estadística que recorren las calles de Bogotá.

Figura 7 Gráficos situación actual de transporte pesado en Bogotá



Fuente 7 Ilustración de Andrés Jaime Jaimes

Adicionalmente a las estadísticas de la secretaria de movilidad, Rojas (2007) afirma que

Los vehículos automotores impulsados por motores diésel son la fuente de mayor impacto sobre la exposición de una fracción importante de la población a altas concentraciones de material particulado. Entre las fuentes móviles, estos vehículos son responsables del 80% de las emisiones de material particulado, 60% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, 65% de las emisiones de óxidos de azufre y, atípicamente, 50% de las emisiones de monóxido de carbono.

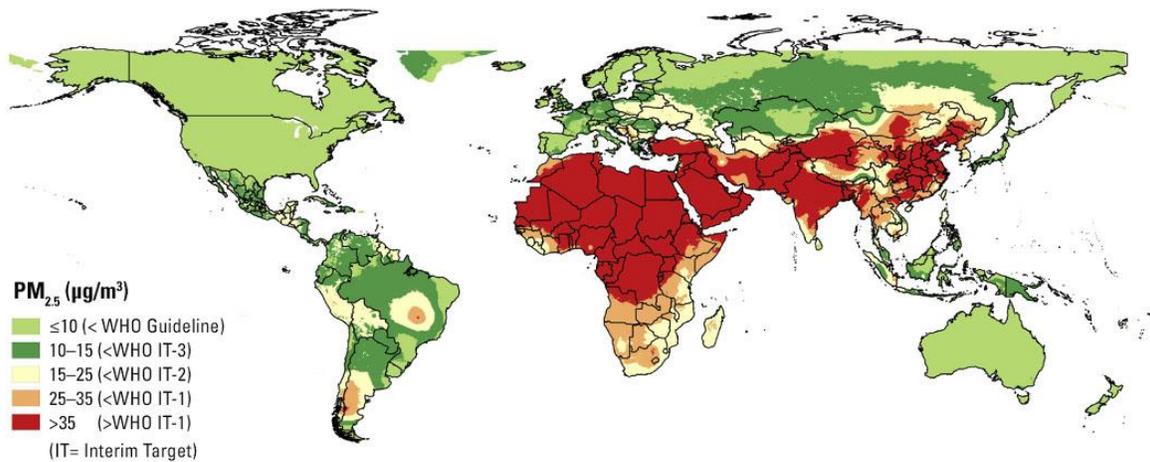
Teniendo en cuenta esto se pueden resaltar los factores más críticos que repercuten en las emisiones de material particulado, tales como el nivel de azufre en el combustible diésel, motores con tecnologías obsoletas (motores con más de 10 años de antigüedad), ausencia de tecnologías para el control de las emisiones, "la guerra del centavo" que influye en el comportamiento de la conducción, carrocerías inapropiadas y el mal mantenimiento de las mismas; y el mal mantenimiento de las vías y su problemática en el diseño de estas.

10. Análisis de categorías

10.1 Material particulado contra la salud

El verdadero problema con la contaminación del aire es factor que no se puede evadir cotidianamente, y que se encuentra en nuestro entorno todo el tiempo, más aun, el material particulado, el enemigo invivible (ya que son partículas tan pequeñas que pueden ser vistas con un microscopio) que es de los factores que más pueden afectar la salud de las personas. Según estadísticas del instituto de efectos de salud (IHME) y la organización mundial de la salud (OMS) más del 90% de las personas a nivel mundial estamos viviendo en áreas donde el nivel de la calidad del aire excede los parámetros limitantes. (92% de la población vive en áreas que exceden los 10 microgramos sobre metro cubico) dejando al descubierto que solo el 5% de la población mundial respira aire limpio.

Figura 8 Mapa de niveles de PM_{2,5} a nivel mundial



Fuente 8 Mapa de niveles de PM_{2,5} a nivel mundial (IHE) (2019) STATE OF GLOBAL AIR/2019

Estos niveles si no están debajo de los 10 microgramos sobre metro cubico aumentan las probabilidades de desarrollar o muertes prematuras de enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias crónicas, infecciones de pulmón, cáncer de pulmón, diabetes entre otras; así sea por una exposición corta en una zona con la calidad del aire baja, ya que el riesgo es constante porque se mantiene en el ambiente, así el aumento de asma en los niños, y problemas cardiovasculares y respiratorios en adultos mayores ya que estos no cuentan con las mismas

defensas para contrarrestar los problemas generados por el material particulado en el aire, conllevando así a un problema mayor, que es la disminución de la expectativa de vida de la población por la exposición constante a la calidad del aire. Según la OMS una de cada 10 muertes en 2017 fue causada por la polución del aire a nivel mundial.

Podríamos hacer un cálculo básico frente a cuanto material particulado puede una persona ingerir al día en las condiciones límites de la OMS, 10 microgramos/metro cubico.

5 litros de aire por minuto una persona promedio.

300 litros de aire por minuto.

7200 litros de aire al día

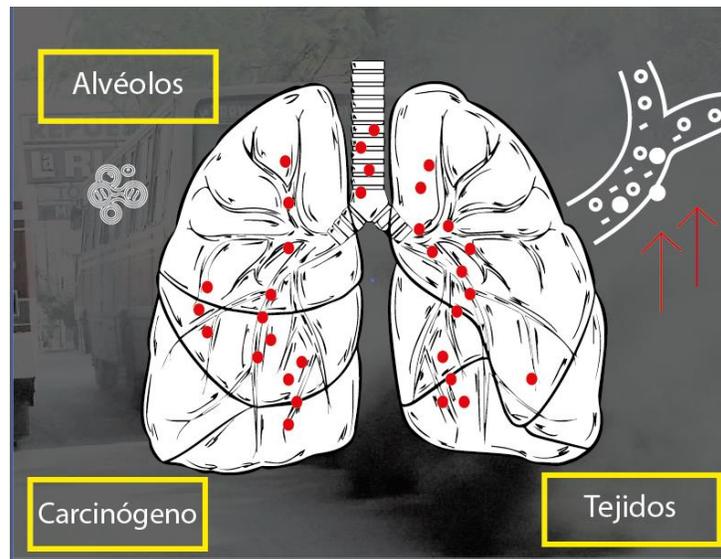
7200 litros = 7.2 metros cúbicos al día

$7.2 \text{ metros cúbicos} \times 10 \text{ microgramos/metros cúbicos} = 72 \text{ microgramos al día}$

72 microgramos de material particulado que su tamaño hace que sean 100% respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo; siendo esto diario en un nivel límite que solo presenta el 8% de la población a nivel global, y quedando en su mayoría dentro de los pulmones o en tejidos que pueden llegar a ser perjudiciales a media y largo plazo hasta causar la muerte, a su vez el cuerpo no tiene la capacidad de evacuarlas en gran cantidad ni rápidamente.

Desde estadísticas de la OMS de años del 2017 podemos ver como enfermedades que se consideraban genéticas en cierto porcentaje se pueden inducir por culpa del material particulado como el caso de la diabetes que tuvo en ese año un 20% de las muertes por esta causa relacionadas con la calidad del aire; otro caso son los infartos con un 11% de relación con la calidad del aire y problemas cardiovasculares con un porcentaje de 16% de las muertes relacionadas a nivel global. (Health Effects Institute, 2019) (ver más en el anexo 1)

Figura 9 Cómo actúa el material particulado dentro del organismo



Fuente 9 Ilustración de Andrés F. Jaime Jaimes

Realmente el problema del material particulado 2.5 es lo que puede generar dentro del cuerpo, al traspasar las barreras de nariz, faringe y tranquea, hasta los bronquios y alvéolos que son los que generan el intercambio de gases en la sangre por lo cual al entrar en estos subsistemas pueden llegar al torrente sanguíneo y ya dependiendo de la concentración de sus componentes pueden llegar a ser carcinógeno es decir puede llegar a inducir algún tipo de cáncer y estresar las células hasta tal punto de generar malformaciones genéticas.

10.2 Condiciones favorables para el material particulado en Bogotá

Hay ciertas características que el ambiente le puede entregar al material particulado para que este dependiendo de las variables se esparza o se concentre en un ambiente determinado, ciertas variables que Bogotá contiene de forma variada en algunas de sus localidades, esto explicaría porque localidades como Kennedy y puente Aranda se genere la las condiciones ideales para su emisión no solo por parte de la industria y transporte si no a su vez las aglomeraciones de personas que generan fuentes de emisión comerciales y de hogar en las zonas; por otro lado está la localidad de suba que a pesar de no tener los mismo indicios de emisiones como las otras dos localidades si presenta una gran preocupación frente a la concentración del material particulado PM2.5.

VARIABLES COMO LA TEMPERATURA, VELOCIDAD DE LAS CORRIENTES DEL AIRE, LA HUMEDAD SON FACTORES A TENER EN CUENTA PARA SABER QUÉ ES LO QUE PASA CON EL MATERIAL PARTICULADO EN EL AMBIENTE.

Por lo general hay conceptos que van ligados a la emisión, pero su concentración en el ambiente depende de estos aspectos en generales, como cuando ocurre con temperaturas mayores a los 19 grados Celsius, y hay sol radiante las partículas tienden a subir ya que una de sus características es que son fotófilas, es decir son atraídas por componentes lumínicos y por ciertas temperaturas, por lo cual en estas condiciones las partículas tienden a subir a la atmosfera o a alturas las cuales ya no estarían afectado de igual manera a las personas que habitan o que circulan en estas localidades; Ahora bien, pasa lo contrario en situaciones en las cuales el clima es menor que los 18 grados Celsius, en una humedad relativa mayor a 70% (la mínima humedad relativa en Bogotá anualmente es de 72,4%), y con situaciones climáticas nubladas o con precipitaciones, lo que logra con el material particulado es que se mantenga a relativamente en su altura sobre el suelo, y que a través de las precipitaciones y humedad se concentre aún más el material particulado en vez de expandirse o desplazarse a otras regiones, generando una mayor concentración de partículas en un área determinada. Ahora bien, según el plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá muestra ciertas tablas de las variables que pueden determinar el flujo o la dinámica que el material particulado tiene en ciertas partes de Bogotá.

Figura 10 Temperatura promedio en Bogotá

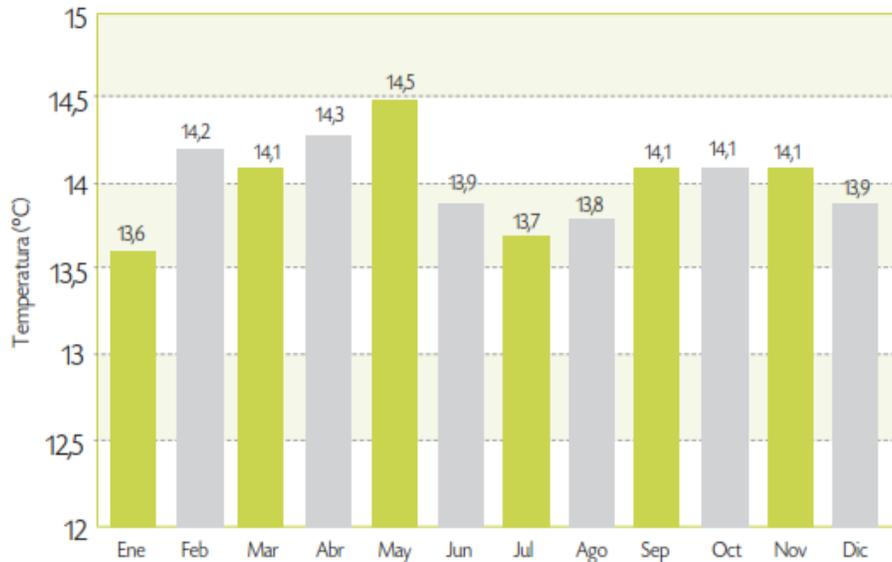


Figura 1. Temperatura mensual promedio.

Fuente 10 Temperatura mensual Promedio Bogotá PDAAB (2018) Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá

Figura 11 Promedio mensual de Temperatura en 3 zonas de Bogotá

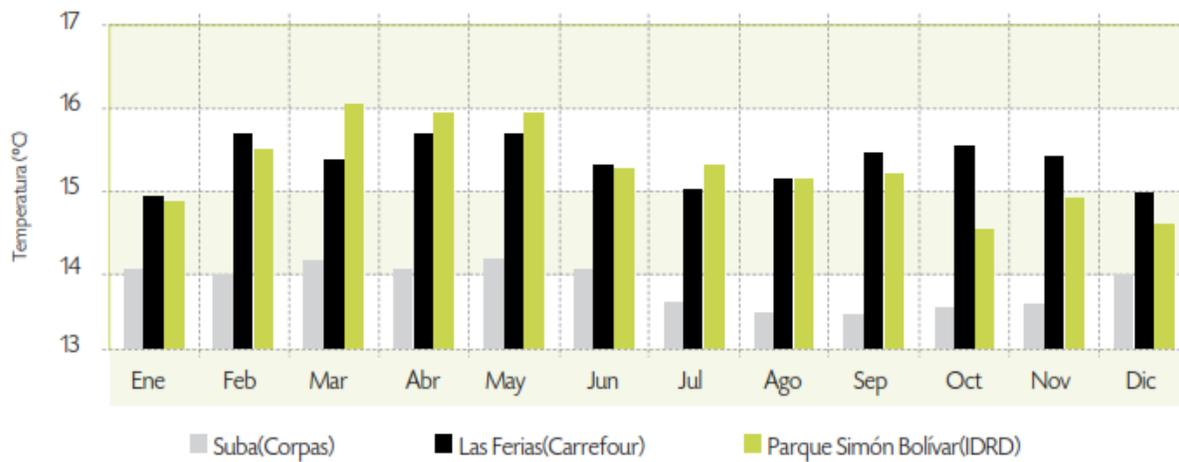


Figura 2. Promedio mensual multianual de temperaturas en tres zonas de la ciudad .

Fuente 11 Promedio mensual de temperatura en 3 zonas de Bogotá PDAAB (2018) Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá

Figura 12 Promedio mensual de Humedad en Bogotá

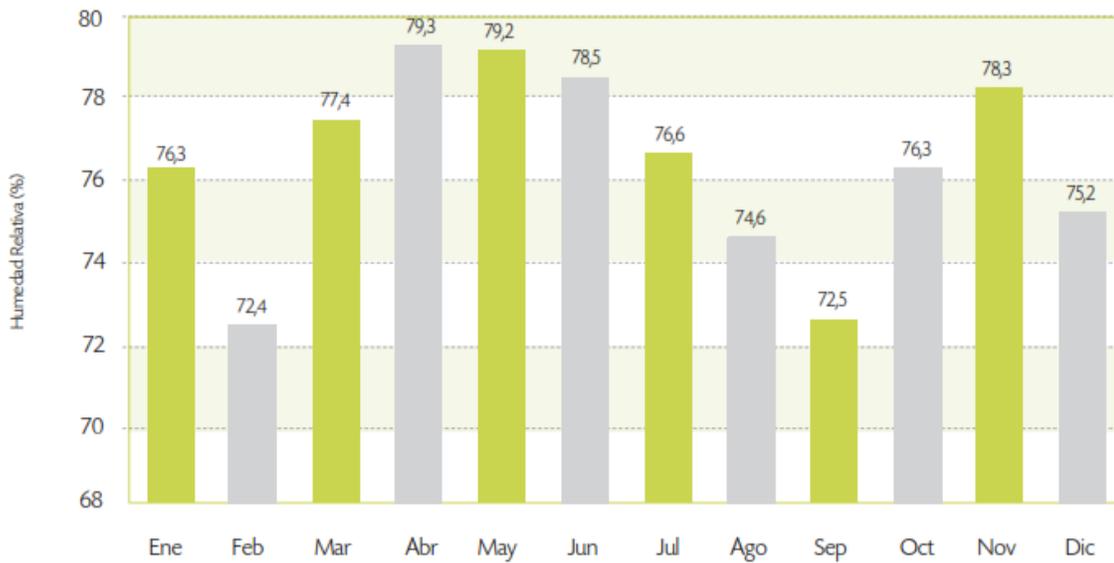


Figura 10. Promedios multianuales de humedad.

Fuente 12 Promedio mensual de humedad en Bogotá PDAAB (2018) Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá

Figura 13 Velocidad del viento en el día en Bogotá

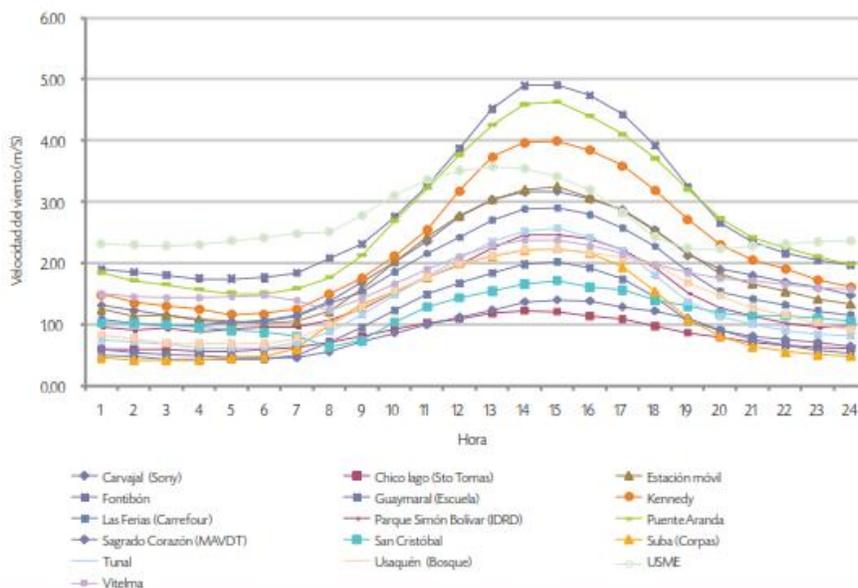


Figura 5. Comportamiento de la velocidad del viento durante el día.

Fuente 13 Velocidad del viento en el día en Bogotá PDAAB (2018) Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá

Bajo estas graficas del comportamiento del aire y de humedad en la ciudad se puede solventar paradigmas frente al porque en Bogotá a pesar de ser tan contaminante tiene parámetros que no son tan altos frente los adscritos por la organización mundial de la salud, debido a las corrientes de aire que llegan hacia los cerros orientales y golpean para desplazar las partículas debido a su baja densidad, a su vez la humedad relativa juega un papel importante en la concentración del material particulado en las zonas, debido a que las partículas son hidrófilas por lo que a mayor humedad, esto siendo un factor clave en el monitoreo de estas Bogotá.

10.3 Herramientas de medición

Colombia solo cuenta con 163 estaciones de monitoreo. Más de la mitad de ellas son de operación manual y con tecnología de hace varias décadas, lo cual dificulta la obtención de datos y hace aún más imprecisa la medición, en Bogotá solo hay 13 de estas. A su vez Rojas (2019) Afirme que

Aunque las 13 estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá, tienen buen equipamiento -avalados internacionalmente-, fallan en la operación, pues la tasa de recuperación de datos es apenas del 75 %, cuando debería ser del 95 %. Esto significa que hay horas y días en los que algunas estaciones no registran información.

Figura 14 Estaciones de monitoreo de la calidad de aire en Bogotá



Fuente 14 Mapa de estaciones de la calidad del aire en Bogotá, Andrés Jaime Jaimes

Adicionalmente a la falta de fiabilidad de las estaciones del aire en Bogotá, el fallo de las estaciones es constante, que podría deberse a su antigüedad y falta de mantenimiento, cómo afirma Gómez (2019) “ En casi 50 ocasiones se dejó de transmitir la información de las estaciones en 2018.” Como prueba de esto resalta que

El sensor del Tunal por ejemplo de PM 2.5 marcó un valor de 985 microgramos por metro cúbico, que eso rompe todos los límites y se puso en alerta marrón, pero seguro fue un error del sensor porque no se tomó ninguna medida, pero eso no puede pasar en una red.

Esta medida claramente imprecisa ya que se salta de todas las medidas de la organización mundial de la salud que en su dato mayor son los 100 microgramos por metro cúbico.

Actualmente en Bogotá hay 3 organizaciones que realizan el monitoreo del aire, Pronostico de la calidad del aire, red de monitoreo de la calidad del aire en Bogotá y el IBOCA; aunque cuando se

entra a mirar las estaciones del aire unas de estas muestran datos de material particulado 2.5 pero cuando se miran las características de las estaciones algunas dicen que no cuentan con la tecnología para monitorear este tipo de partículas, creando una paradoja de si los datos que se dan en todas las estaciones son ciertos.

Figura 15 Fotos de estaciones de calidad del aire en Bogotá



Fuente 15 Fotos de las estaciones de calidad del aire en Bogotá, IBOCA (2019)

Una de las incertidumbres que se denotan es el área total que una estación de monitoreo cubre, debido a la extensión de la ciudad, y hay una sola estación por localidad, esto lleva a la duda de si no es ambiguo el monitoreo de la calidad del aire en Bogotá.

Por otro lado debido a que la calidad el aire en Bogotá no se considera tan crítica como la situación en Medellín por compararlo con una ciudad a nivel nacional, no se tienen disponibles herramientas de la calidad del aire a nivel personal, tanto a nivel interno como externo de los ambientes, lo cual deja a las personas a merced de los datos que dan los monitores de aire que tiene la ciudad.

Figura 16 Monitores de calidad del aire personales



Fuente 16 Monitores de la calidad del aire personales, AMAZON (2019)

10.4 Creación de microambientes

Uno de los puntos críticos a analizar es la creación de microambientes, la cual según Rojas (2007) son espacios generados específicamente por un gran número de fuentes de emisión (llegando a considerarse fuentes industriales y fuentes móviles dentro del grupo, se resalta que las fuentes móviles tienen un impacto más significativo debido a la cercanía a la superficie y a la población) y un gran porcentaje de personas o población concentradas en una zona en específico, dando como resultado la creación de pequeñas áreas donde la exposición a material particulado es mayor, y las personas dentro de ese microambiente se ven más expuestas a las consecuencias que puede generar el material particulado.

Por otro lado, se puede generar un efecto realmente ambiguo en las concentraciones de material particulado que se pueden emitir y concentran en estos microambientes con respecto a las lecturas y concentraciones de contaminantes que transmite la red de monitoreo de calidad del aire en Bogotá, debido a que estas miden en general por localidad y las localidades son realmente extensas, dejando expuestas a las personas dentro de estos microambientes donde las personas quedan aún más expuestas a la contaminación y es difícil analizar estas zonas desde la RMCAB.

11. Definición del proyecto

Análogamente, cabe preguntarse al analizar todas las categorías anteriores, ¿Cuál es el punto crítico que se debería tener en cuenta para el planteamiento de proyecto?

Frente al análisis de categorías, el punto crítico que más abarcaba la problemática es el de la creación de microambientes debido a la acumulación de fuentes de emisiones y un gran número de población en un sector en específico de la ciudad, debido a la ambigüedad del monitoreo del aire, que, a pesar de hacer un pandeo de la situación actual de ciudad, su extendida zona de control entre puntos de monitoreo la hace casi inservible para la detección de este tipo de situaciones. Adicionalmente, la creación de dichos microambientes genera en grupo específico de la población mayores adversidades y exposición a las consecuencias que puede generar el material particulado debido a que se considera un "enemigo invisible" porque no es visible para el ojo humano, por ende la gente no lo asocia a la contaminación del ambiente, ni el posible peligro que representa en el contexto en el que se encuentra; claro está, que se debe que esto no culpa como tal de la población que transita por las zonas si no por el uso de las fuentes móviles que generan este tipo de contaminación y que las emisiones de esto solo va en aumento, debido a la demanda de productos, de movilidad, de abastecimiento entre otros aspectos a considerar.

Como ya lo hice notar, la creación de microambientes, es el punto de partida para la pregunta problema

¿Son los elementos de mitigación de material particulado suficientes para combatir las emisiones de las fuentes móviles que siguen en aumento?

Para el empezar el planteamiento de proyecto se debió generar las expectativas que se tienen frente a la resolución de la problemática, por lo cual se planteó como: Evaluación y formulación de alternativas para la mitigación del material particulado PM_{2,5} proveniente de las fuentes móviles en Bogotá.

12. Justificación

El material particulado PM_{2,5}, es considerado uno de los componentes de la contaminación del aire más críticos a nivel mundial, no solo por su aumento de concentración a nivel exponencial a en los últimos años si no adicionalmente, por su impacto a nivel ambiental, económicas, y las consecuencias a nivel de salud en los seres humanos (generando un porcentaje alto en la formación de enfermedades de carácter cardiovascular, cerebral, respiratorio, y en algunos casos generar enfermedades que se consideraban en un gran porcentaje hereditarias como la diabetes); siendo este el componente de la contaminación del aire el más reciente estudiado, a nivel mundial desde finales de la época de los 90, pero en Bogotá solo se empezó a estudiar y monitorear desde 2013, según el plan decenal de descontaminación del aire en Bogotá (PDDAB) (mostrando una gran brecha frente a la reacción mundial y la nacional en temas de impacto mundial).

Actualmente, en Colombia el material particulado se concentra en las ciudades principales del país, como Medellín, Bogotá (siendo una de las capitales más contaminadas del mundo en 2019), Santa Marta, Cali, entre otras; debido a aspectos como las grandes industrias productivas, la densidad poblacional en estas ciudades y la cantidad de fuentes móviles en estas urbes, por otro lado el PM_{2,5} se concentra en estas ciudades porque estas cuentan con las pocas herramientas (y obsoletas) de monitoreo del aire a nivel nacional (solo hay 163, siendo Bogotá la que más tiene con 13, y solo 8 de estas miden la concentración de material particulado).

Debemos comprender que en el país y a nivel de Bogotá hay diferentes estrategias para el manejo y control de la calidad del aire, representado principalmente, por el PDDAB, sin embargo, las medidas que se han establecido, no han sido efectivas para mitigar o controlar la concentración de material particulado PM_{2,5} como son los días sin carro y pico y placa ambiental (debido a que esto reduce en su mayoría la concentración de CO₂ pero no de PM_{2,5} que es el mayor componente de la contaminación del aire actualmente en Bogotá, por lo que cuando se hacen estas campañas no baja la alerta naranja, amarilla en la ciudad); el programa de filtros de partículas diésel para Bogotá (Medida 5B del PDDAB) ya que se ha comprobado que estos filtros que están diseñados para los vehículos más recientes (catalogados en categorías EURO V y EURO VI) que en su mayoría están puestos en el sistema de escape, no son obligatorios, en algunos casos alteran el sistema de escape de los vehículos por falta de espacio y en su mayoría estos filtros lo que hacen es reducir el tamaño de las partículas (principalmente PM₁₀), por lo cual esta medida sigue en un proceso de investigación para posterior implementación desde hace 6 años.

Debido a estos antecedentes de estrategias, este proyecto está dirigido a aportar alternativas a la solución de la problemática que genera el material particulado PM2,5 en Bogotá sobre la creación de microambientes. El objetivo principal es mitigar el impacto ambiental causado por las emisiones de PM2,5 por las fuentes móviles en la ciudad.

Con el fin de alcanzar dicho objetivo es necesario el análisis de los diferentes sectores de la ciudad (como suba, Kennedy y puente Aranda, debido a que son zonas donde hay gran actividad de fuentes móviles pesadas y masivas, y son 3 localidades con mayor concentración de materia particulado); adicionalmente es necesaria la investigación a nivel nacional e internacional de medidas y elementos utilizados para la captura o mitigación de dichas partículas en el aire para encaminarse sobre posibles avances sobre a la problemática, con la finalidad de conseguir un panorama completo sobre la captura de un gran porcentaje de PM2,5 y estudiar posibles usos de este componente para así poder generar alcances sobre ciclos cerrados para evitar acumular mayor contaminación.

Para conseguir llegar a esas metas establecidas es necesario crear protocolos o herramientas que permitan el desarrollo y producción de propuestas para la captura del PM2,5, debido a la gran diferencia que existe entre vehículos, agentes externos, que pueden ser claves en la toma de decisiones, a su vez, la experimentación de materiales los cuales permitan generar el mayor filtrado de estas partículas, y diferentes determinantes para la creación de la propuesta.

Esta línea de argumentación se podría reflejar en el diseño industrial, se busca generar un plan de acción o propuesta para la prevención de que el material particulado llegue en gran proporción al ambiente y genere sus consecuencias (visto el diseño industrial como elemento para modificar actividades cotidianas para el beneficio del ser humano y del ecosistema); con el objetivo de reforzar las medidas creadas frente al PDDAB (que se podría utilizar como herramienta para fomentar la propuesta, debido a que cambiará el próximo año ya que el actual esta desde el 2010 al 2020); para poder mitigar la emisión y de por si la concentración de PM2,5 en Bogotá principalmente y después poder escalarlo a nivel nacional; adicionalmente, generar los alcances para posibles usos posteriores del material particulado capturado con el fin de fomentar un ciclo cerrado en una industria tan contaminante como la de filtrado y repuestos de vehículos.

13. objetivos

13.1 Objetivo general

Reducir el material particulado proveniente de los vehículos de carga pesada y masiva antes de que se extienda en el aire con el fin de evitar la creación de microambientes en Bogotá.

13.2 Objetivos específicos

La intervención que se haga del vehículo debe corresponder al lenguaje del mismo.

Generar testigos de cambio para que el usuario sepa cuando hacer el respectivo remplazo del sistema de filtrado.

Se debe tener en cuenta el costo/beneficio en la intervención.

14. Referentes

14.1 Propuestas a nivel nacional e internacional

Tabla 1 Antecedentes internacional sobre emisiones de fuentes móviles

Caso Bélgica	Operador de transporte público De Lijn, en Bélgica, ha implementado sistemas de Reducción Catalítica Selectiva –SCR- y Filtro de Partículas Diésel y en 247 autobuses, incluyendo autobuses regionales e interurbanos de la ciudad de Amberes, Gante y Brujas. Los sistemas eliminan más del 70% de los óxidos de nitrógeno -NOx y eliminan todo el Material Particulado –PM-, para alcanzar los estándares de emisiones equivalentes a la norma Euro V en vehículos tan antiguos como Euro II. Los ensayos comenzaron en De Lijn en noviembre de 2006.
Caso Francia	Un camión Renault MIDR 62045, con un motor de 6 cilindros 9,84 litros Euro II y 20 toneladas de capacidad, fue adaptado con 6 unidades de filtro de carburo de silicio (20m ² de área de filtración) colocados en el espacio del silenciador existente. El camión se evaluó con el combustible diésel estándar, 350 ppm de azufre, en un programa nacional de 12 meses. Se emplearon Sistemas de DPF activos con uso de Catalizador para la quema de combustible.
Caso Londres	De acuerdo con la Oficina Europea de Londres en el evento en el Parlamento Europeo el 20 de junio de 2013 “Clean Solutions – Clean Emissions – Clean Cities”, los Filtros de Partículas Diésel han sido instalados en todos los autobuses anteriores a Euro IV. Esto ha ayudado a reducir las emisiones de PM10 de la flota de autobuses de TfL, de 200 toneladas en 1997 a 17 toneladas en 2013.
Caso Madrid	La empresa de transporte público de Madrid, EMT, ya ha modernizado 209 autobuses Euro III con sistemas combinados de DPF y SCR (118 Scania OmniCity, 33 MAN NL 263 F, 29 Mercedes Citaro, y 29 Iveco CityClass). El sistema SCRT® seleccionado reduce las emisiones de NOx en más de un 75%, por debajo de la norma Euro V.
Caso Santiago	En Chile, la Subsecretaría de Transporte del Gobierno de Chile reglamento el uso de Filtros de Partículas con el objeto de obtener una reducción del 24% de las emisiones directas de MP-10, generar las condiciones para que los vehículos en uso reduzcan sus niveles de emisiones en tanto cumplan su vida útil y la aplicación de límites de emisión de MP más exigentes para vehículos nuevos.
Caso China	China está endureciendo gradualmente su regulación de emisiones. Como se establece en el Plan Nacional de Aire Limpio, las concentraciones de PM2.5 se deben reducir en un 10% para el año 2017. A partir de enero de 2015, los vehículos pesados nuevos en China tendrán que tener un DPF.

Fuente 17 BDPF 2014 Secretaría distrital de ambiente

En muchos casos a nivel internacional la aplicación de una sola técnica o método para la mitigación de las emisiones de las fuentes móviles no es suficiente, mucho menos en cuestión de material particulado 2,5 siendo esta la partícula más pequeña a tratar controlar o erradicar antes de que llegue al ambiente.

A nivel nacional y local de la ciudad de Bogotá, hay una serie de decretos establecidos desde 1973 y 1974 que establecen

La calidad que debe tener el aire como elemento indispensable para la salud humana, animal o vegetal; el grado permisible de concentración de sustancias capaces de causar perjuicios o deterioro en los bienes, en la salud humana, animal o vegetal; Establecimiento de estaciones o redes de muestreo para localizar las fuentes de contaminación atmosférica y detectar su peligro actual o potencial. (PDAAB 2010)

Acuerdo 19 de 1996, por el cual se adoptó el Estatuto General de Protección Ambiental del Distrito Capital. En el numeral 2° del artículo 10 de este Acuerdo se asignaron competencias al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) como Autoridad Ambiental dentro del perímetro urbano, para establecer niveles permisibles de calidad ambiental y normas técnicas para la fijación de estándares, factores, descargas o niveles permisibles de emisión de contaminantes al aire.

Sin embargo, estos estatutos no se empezaron a tener en cuenta hasta la estructuración de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) desde 1997, generando una red de estaciones de monitoreo alrededor de la ciudad para estudiar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes en el aire en Bogotá y diferentes factores externos que hacen fluctuar la aglomeración en el ambiente. Debido al crecimiento de contaminantes y la falta de control de estos desde el comienzo del monitoreo se creó el PDAAB, un plan decenal (2010-2020) el cual por medio de decretos busca bajar las alertas de contaminación ambiental en el aire, con planes como Programa De Filtros De Partículas Diésel Para Bogotá (BDPF), el pico y placa ambiental (enmarcado en los Decretos 174 de 2006 y 325 de 2006), pico y placa de movilidad (enmarcada en los Decretos 626/1998, 1098/2000, 07/2002, 212/2003, 180/2004, 198/2004, 033/2009), Mejoramiento de ACPM (Ley 1205 de 2008), Operativos en la vía (Resolución 910 de 2008 y Resolución 556 de 2003; SDA, 2008); Siendo estas medidas intentos de controlar la contaminación de las fuentes móviles, siendo insuficientes e ineficaces a la hora de ponerse en acción, y más a la hora de combatir el PM_{2,5}.

Medidas como pico y placa, ambiental, de movilidad y general pero cuando se dan, no genera cambios positivos frente a la calidad del aire en Bogotá, muchos menos hacia disminuir el porcentaje de material particulado en el ambiente; a su vez, la actualización de la flota (que no es realmente posible para traer vehículos al país que estén categorizados por encima de EURO IV debido a los problemas que puede generar en las tecnologías nuevas el diésel tan contaminado que hay en el país, y el alto costo de estos nuevos vehículos); por otro lado las medidas como el BDPF que vienen en su mayoría probadas en vehículos nuevos (2015 en adelante probablemente), como la implementación del Filtro de partículas diésel (DPF), filtros que por lo general ya están implementados en vehículos de categorías EURO V y EURO VI, pero que 80% de la flota de vehículos pesados en Bogotá no entrarían en estas categorías y son obsoletos a la hora de implementar estas tecnologías, por lo cual, para poder implementar estos sistemas internos, sería necesario intervenir los camiones de manera mecánica, tecnológica, e implementar elementos los cuales el vehículo no podría soportar, generando ‘un filtro individual para cada vehículo’ si se

tuvieran en cuenta todas las variables que rojas (2007) describió y resaltamos previamente en el documento. Adicionalmente, estos filtros por lo general combaten en un 90% partículas PM10 filtrándolas y disminuyendo su tamaño antes de salir al ambiente generando un porcentaje de PM2,5 en el proceso.

Bajo ese esquema es por eso que el BDPF establecido desde 2014, que buscaba la aprobación de esquemas de la implementación de estos tipos de filtros internos en los vehículos, sigue en proceso a pesar de que ya está por renovarse el PDAAB (desde 2017 está en esquema un decreto para crear el nuevo plan decenal, generando un espacio para poder implementar la propuesta dentro del nuevo PDAAB que empieza a regir desde 2021).

15. Marco metodológico

15.1 Metodologías

Una de las metodologías adoptadas o empleadas (bajo modificación) fue la utilizada frente al análisis del sector de transporte en el PDAAB:

Figura 17 Metodología de análisis del sector transporte

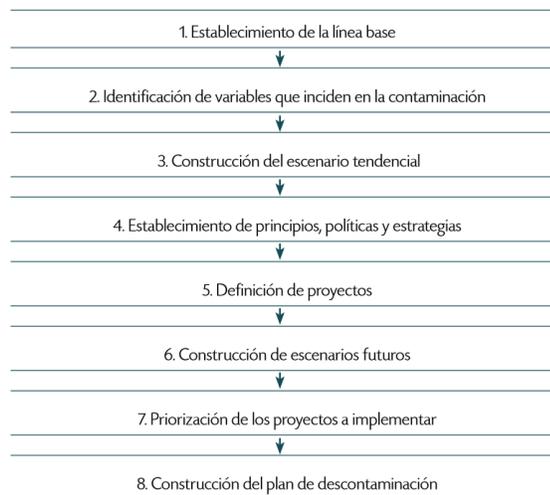
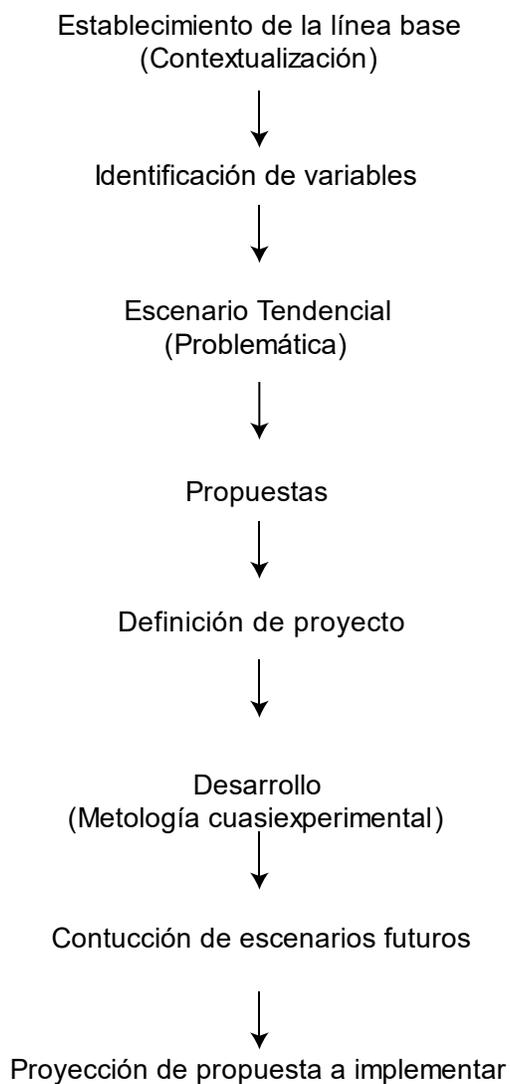


Figura 35. Metodología de análisis del sector transporte.

Fuente 18 Metodología de análisis del sector de transporte PDAAB (2010)

De esta metodología se pudo rescatar los puntos como establecimiento de la línea base, identificación de variables que inciden en la contaminación, construcción del escenario tendencial (problemática), hasta este punto ya descritos previamente en el documento, definición de proyecto, construcción de escenarios futuros, proyección de la propuesta a implementar, con el fin de que se pueda incluir en la construcción del plan de descontaminación.



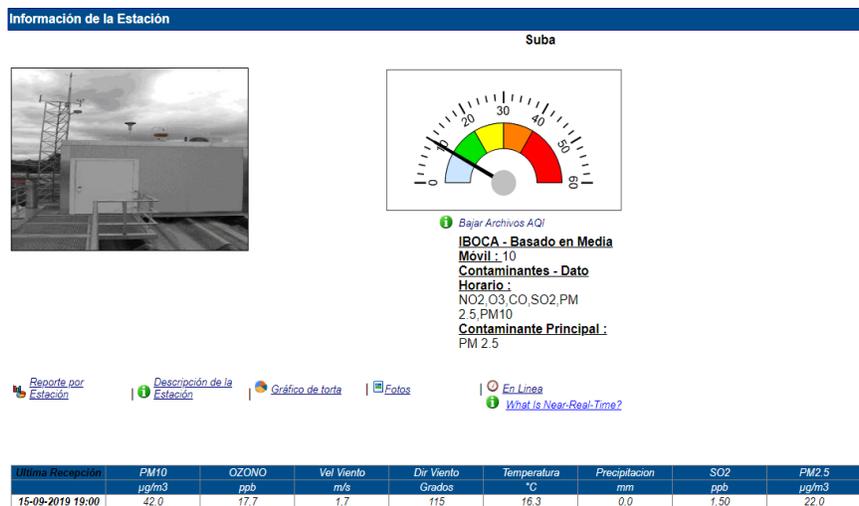
15.2 Trabajo de campo

Bajo las metodologías presentadas nace el hecho de generar trabajos de campo e investigaciones donde se resalte, compruebe observaciones de carácter no estructuradas, con el fin de resaltar la ambigüedad del monitoreo de la calidad del air en Bogotá, con respecto a la concentración de material particulado frente a cuando sale de la fuente móvil, demostrando los posibles momentos o panoramas desde donde se podría tratar el problema. Para los dos casos se utilizaron observaciones de tipo no participativas con el fin de no alterar la actividad cotidiana realizada en el momento de las muestras.

15.2.1 Estudio de caso No.1

El estudio presentado a continuación fue realizado durante y para el desarrollo del proyecto de grado, identificando en este la ubicación geográfica (Localidad de suba en Bogotá, siendo una de las 3 con mayor concentración de material particulado en la actualidad en la ciudad); Se realizó una indagación de tipo estadística de la contaminación de la zona, a partir de las lecturas del RMCAB a diferentes horas del día, generando resultados de puntos específicos en el día de picos de concentración, por ende se decidió ir a indagar de forma no participativa, el lugar, la actividad en la zona, ubicación del monitor de calidad de aire.

Figura 18 Información de la estación de suba



Fuente 19 RMCAB 2019

Figura 19 Reporte estación de Suba

Reporte por Estación							
Gráfico		Vista Preliminar		Reporte			
Seleccionar		16-09-2019 1:00		Estación Suba		T	
Fecha		16-09-2019 1:00		Estación Suba		R	
Fecha y Hora	PM10 µg/m3	OZONO ppb	Vel Viento m/s	Dir Viento Grados	Precipitacion mm	SO2 ppb	PM2.5 µg/m3
16-09-2019 1:00	23,0	12,0	0,1	283	0,0	1,49	9,0
16-09-2019 2:00	28,0	12,2	0,4	24	0,0	1,60	9,0
16-09-2019 3:00	24,0	11,5	0,3	353	0,0	1,80	5,0
16-09-2019 4:00	4,0	6,4	0,4	30	0,0	2,27	4,0
16-09-2019 5:00	58,0	2,0	0,4	339	0,0	2,52	8,0
16-09-2019 6:00	59,0	1,1	0,4	30	0,0	3,00	16,0
16-09-2019 7:00	108,0	2,0	0,3	13	0,0	5,58	36,0
16-09-2019 8:00	112,0	6,9	0,3	328	0,0	7,89	30,0
16-09-2019 9:00	85,0	15,1	0,5	343	0,0	5,20	22,0
16-09-2019 10:00	62,0	24,7	0,3	308	0,0	3,14	15,0
16-09-2019 11:00	38,0	27,5	1,7	31	0,0	1,24	8,0
16-09-2019 12:00	32,0	25,9	2,8	29	0,0	1,36	6,0
16-09-2019 13:00	36,0	26,0	2,5	41	0,0	1,31	3,0
16-09-2019 14:00							
16-09-2019 15:00							
16-09-2019 16:00							

Fuente 20 RM CAB 2019

A partir de estos datos obtenidos, bajo esta observación estadística, se concluyó que el estudio se debía dirigir hacia la observación del lugar del monitoreo del aire, para analizar las actividades y ver porque se genera esta alteración de los datos a horas específicas del día.

La visita al lugar se tuvo al día siguiente de la toma de datos estadística, el 17 de septiembre de 2019, en donde se abordaron varios puntos, como actividades en la zona, puntos de concentración de la población, de fuentes móviles, la ubicación del punto de monitoreo del aire.

La estación de monitoreo de la localidad de suba se encuentra a una altura de 9 metros sobre la vía, por lo cual se denota desde un principio que la lectura del monitoreo al momento de la captura de datos es ambigua debido a que ya han pasado factores como las corrientes de viento para dispersar el material particulado, por lo cual no se denota la concentración real en el ambiente o nivel de superficie que es donde es más crítico para la población.

Al reconocer las actividades del sector, hay una que genera la mayor incertidumbre como fuente de emisión, los camiones y buses que recorren el sector, debido a la entrada y salida de vehículos de la carretera Cota-Suba y al denotar las horas donde se concentraba aún más el material particulado en la localidad, se denoto que era directamente proporcional a la restricción que dichos vehículos de transporte de carga tienen para la entrada a la ciudad, ya que a las 8:30 am pueden empezar a circular, y debido a esto y la sobrecarga de buses por la zona escolar que hay por esa área, se aumenta la concentración de material particulado en la zona, generando micro ambientes,

en zonas críticas debido al flujo de personas, en especial niños que estudian alrededor y personas que trabajan al aire libre.

15.2.1 Estudio de caso No.2

El segundo caso de investigación se desarrolló cerca al sector donde se encuentra la estación de monitoreo del aire de la localidad de suba, esta vez sobre la glorieta en la variante de la vía Cota-Suba en el cual se buscó hacer una observación participativa para poder buscar la verdadera contaminación se puede generar una fuente móvil de carga pesada en el sector por segundo. La observación para este caso es de tipo controlado, pues ya se tiene un conocimiento previo a partir del estudio de caso No. 1, incluyendo también toda la investigación previa que se ha desarrollado.

Se desarrolló bajo la indagación sobre vehículos que se encontraban estacionados en la zona, debido a que era más viable poder tomar la medición de concentración del material particulado proveniente de un vehículo si este no estaba en movimiento. Es prudente advertir que no se pudieron hacer pruebas cuantitativas en cuanto vehículos debido a la negativa respuesta por parte de los conductores o dueños de los vehículos, debido a que se sentían atacados, como resultado a las restricciones a nivel de Bogotá para los vehículos de carga pesada que había puesto la alcaldesa esa semana por el aumento de la contaminación del aire en la ciudad. Mirándolo así, la observación a pensar de no dejar números cuantitativos en términos de cantidades de muestra, si dejo elementos cualitativos para tomar decisiones sobre el proyecto.

Figura 20 Vehículo Kodiak 1999 tipo Volqueta



Fuente 21 Foto tomada por Andrés Jaime

Figura 21 Captura del momento de monitoreo de concentración de PM_{2,5}



Fuente 22 Foto tomada por Andrés Jaime

Figura 22 Resultado final de la muestra al vehículo



Fuente 23 Foto tomada por Andrés Jaime

Para la recolección de los datos se utilizó una herramienta de medición de concentración de material particulado a nivel exterior. En la observación de tipo participativa se pidió al conductor del vehículo si podía prenderlo, sin acelerar con el fin de ver como el motor sin ser exigido o revolucionado, podía concentrar material particulado en cierta cantidad de tiempo.

En la observación se denoto que el vehículo llevo a generar 1660% más material particulado que el permitido por la OMS a nivel diario (10 micrómetros en un metro cubico) sin este llegar a acelerarse o crear mayor combustión en el motor, lo cual hizo percatarse de ciertos aspectos a tener en cuenta en el proyecto, los 3 momentos los cuales hay que tener en cuenta al momento de tratar el material particulado, el primero, cuando este sale del vehículo, ya que es cuando se genera la mayor concentración, por lo cual sería clave empezar a tratar el problema desde ahí, desde la raíz; el segundo, cuando apenas está en el ambiente, ya que a pesar de que se dispersa un poco, está a nivel de superficie y crear zonas con mayor concentración siendo esto crítico para lo población o las personas que se encuentran alrededor (creación de microambientes), y el ultimo que es el que se puede estudiar a partir del monitoreo del aire en Bogotá y es cuando ya está a la altura de los monitores, por lo cual no genera una lectura exacta de lo que pasa a nivel de superficie.

15.3 Marco institucional

Tabla 2 Marco institucional Internacional y nacional

Organización mundial de la salud – Suiza
Breathlife 2030 – EEUU
LUFTKVALITET – Noruega
IHME – EEUU
Observatorio nacional de salud
Ministerio del medio ambiente
Secretaria distrital de ambiente
Red de monitoreo de la calidad el aire en Bogotá
IBOCA
Pronóstico de la calidad del aire en Bogotá
Universidad Nacional
IDEAM

16. Marco propositivo

16.1 propuestas

Llegando a este punto, lo que nos interesa ahora es como poder mitigar el material particulado proveniente de las fuentes móviles, mirándolo desde aspectos en cuestión de la contaminación, siendo estos la fuente de emisión, el contexto y el receptor. Dando prioridad a generar alternativas sobre la fuente de emisión, para evitar que este se propague sobre el contexto y que llegue al receptor, con el fin de crear hábitos preventivos al esparcimiento y concentración del material particulado. Si bien a nivel de contexto se podrían tener alternativas frente a testigos o un sistema de aviso sobre la identificación de zonas con posibles microambientes, para generar un impacto sobre las personas que transitaran por esas áreas con el fin de que se protejan o tomen medidas preventivas frente a la alta exposición y concentración que puede haber en esas zonas; A su vez, un sistema de filtrado o de descontaminación de estas zonas para prevenir la creación de microambientes, aunque en este caso, tendrían que ser elementos adaptados en el contexto y que funcionarían bajo los momentos 2-3 expuestos anteriormente frente a la emisión y concentración de PM_{2,5}.

Por otro lado, a nivel de receptor se generan métodos de concientización o de información real para las personas en un área en específica, como los posibles lugares donde se crean microambientes para que la gente pueda tomar acciones preventivas para que se genere el menor impacto a la exposición en altas concentraciones que se presenta en estas áreas determinadas, o frente a aspectos que ellos podrían hacer para disminuir las emisiones altas de PM_{2,5}, como podría ser a conductores y actores de los vehículos emisores.

Pero antes de seguir adelante consideremos que las alternativas de propuestas o de posibles perspectivas o panoramas en los cuales se podría resolver parte de la problemática a partir del contexto y el receptor, pero resultan contraproducentes frente al aspecto principal propuesto a resolver, que es la emisión y concentración del material particulado, ya que se podrían generar alternativas de cómo preparar a la gente frente a la contaminación del aire, pero debido a que las fuentes de emisión son necesarias y claves para ciertas actividades en el contexto, la emisión y concentración solo seguirán en aumento, por lo cual se determinó que la alternativa de diseño debe ser desde la fuente de emisión, debido que sería la única que responde al problema de raíz, atacando el momento 1 de la propagación del material particulado, cuando la produce el vehículo como resultado del proceso de combustión.

16.2 Propuesta sobre la fuente de emisión

Ya habiendo caracterizado nuestros objetivos, en este caso los vehículos de carga pesada y masiva (Camiones, volquetas, microbuses, buses, Tractomulas), podemos dirigirnos a analizar cómo sería la ideación de alternativas a utilizar para poder resolver la problemática desde las fuentes de emisiones, para la cual se analizaron cuatro aspectos o puntos clave de los vehículos con el fin de poder tener un panorama completo de la actividad que se genera con estos elementos de movilidad y desde donde se podría tratar la problemática desde la raíz.

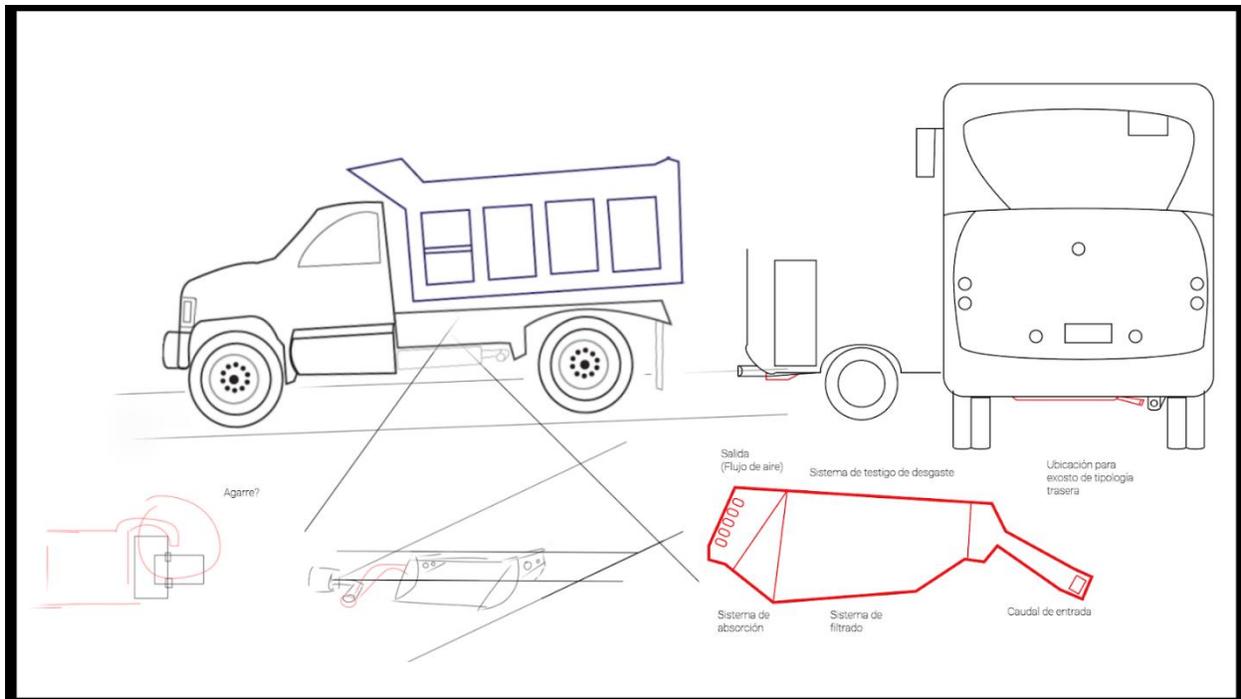
La primera alternativa al analizar es la de crear un sistema interno en el vehículo, sobre el área del motor, para que apenas se hiciera el proceso de combustión se lograría capturar el mayor material particulado antes de comenzar su proceso de salida, el problema con esta alternativa es las altas temperaturas a las que sale los residuos o el resultado de la combustión ya que puede alcanzar más de 700 grados Celsius o incluso más por tratarse de motores turbo o biturbo que son elementos cruciales para la combustión en motores diésel, más aun para topografías tan variables como las de Colombia donde dependiendo de la altura y por ende oxigenación en el aire, puede tener una combustión más controlada.

Prosiguiendo con las alternativas se buscó la manera de poderlo implementar interna para generar cambios desde antes de que saliera del vehículo, como podría ser en el sistema de escape pero como se mencionó antes ya existe un sistema para vehículos nuevos o desde tecnologías EURO V en adelante (sistema DPF) que van internas en el sistema de escape, pero estas depende de unos factores de intervención en el vehículo de carácter mecánico y tecnológico, y podría traer complicaciones sobre el 80% de los vehículos de carga pesada en Bogotá que son tecnología EURO III y no cuentan con la tecnología electrónica para recibir el sistema de alerta; a su vez este que lleva desde el 2014 intentando implementarse no es posible, porque su durabilidad se vería disminuida a la mitad por la impureza del combustible, y las diferentes tipologías o intervenciones que tienen los vehículos en la ciudad y en el país.

Supongamos ahora que se debió buscar una alternativa en el exterior del vehículo, por lo cual se propuso al principio generar alguna especie de sistema el cual pudiera capturar el material particulado del vehículo que se encontrara al frente de este en el cual se encontrara integrado el sistema, pero se encontraron una infinidad de variables que hicieron descartar las propuestas como las corrientes de aire, tipología de los exostos, distancia entre vehículos, entre otros y que a su vez cuando se fuera a capturar este material ya sería en la momento 2 de la emisión, y la idea es que no pase del momento 1 que es cuando sale del vehículo.

Tenemos en consecuencia, la última propuesta que es desarrollar un sistema objetual que se pueda colocar en el exterior del vehículo, con el fin de capturar el material particulado en el momento 1, en el instante en que va salir de la fuente móvil con el fin de poder capturar y filtrar el mayor porcentaje de PM2,5 posible para que este no salga al ambiente, y se pueda disminuir la creación de micro ambientes.

Figura 23 Sketch de acercamiento a la propuesta final



Fuente 24 Realizado por Andrés Jaime

Frente a estos aspectos que se tenían que tener en cuenta se realizó la primera ideación de lo que debería tener el sistema objetual, en conjunto con los subsistemas como el de entrada del aire, subsistema de filtrado o captura del material, subsistema de diagnóstico o de testigo de cambio o desgaste, subsistema de flujo de aire, y se tenía contemplado un sistema de absorción, que a través del desarrollo de la propuesta cambio con el fin de que el mismo sistema pudiera generar la absorción del mismo material particulado saliente de la fuente móvil, y utilizar la fuerza con la que sale el humo o residuo del vehículo para generar su propio movimiento y el flujo de aire necesario para este aspecto.

Ante la visualización de la posible propuesta en términos de los requerimientos a tener en cuenta para solventar la problemática frente a los aspectos exteriores y característicos de los vehículos, también se pudo denotar las variables a las cuales se debía exponer el sistema objetual como el clima, las tipologías de los exostos a los que se debía adaptar el sistema como son el

modelo combinado de dispersión que se puede encontrar cuando el sistema de escape es lateral o trasero en la parte inferior del vehículo, o el modelo gaussiano de dispersión, que se encuentra en vehículos con sistema de escape tipo chimenea vertical como en tractomulas y en ciertos buses; las temperaturas a los que podría estar expuesto el sistema, agentes externos corrosivos, factores externos a los cuales podría estar expuesto el sistema como Factores externos como la del trayecto, la congestión, el tipo de pavimento de la vía.

16.3 Propuesta final

16.3.1 Determinantes de diseño

Frente a las variables encontradas hacia el sistema objetual como desarrollo de propuesta se pudieron diagnosticar las determinantes pertinentes para tener en cuenta al momento de diseñar el sistema objetual, las cuales se representan en la siguiente figura.

Figura 24 Determinantes de diseño para la propuesta de sistema objetual



Fuente 25 Realizado por Andrés Jaime

Las determinantes son claves para plantear la concepción de la propuesta, en este caso se tuvieron en cuenta elementos pertinentes como la superficie sobre la cual debe ir colocado el sistema objetual, debe ser rígido para poder soportar el sistema y que este tenga el menor movimiento externo posible ante factores como las condiciones de la vía, y agentes externos que puedan colisionar con este, a su vez, las limitantes de espacio que puede haber al poder colocar este sobre un vehículo en la posición óptima para recibir y capturar el material particulado saliente de estas fuentes móviles, la entrada de aire al sistema objetual, o la entrada del residuo generado por la fuente móvil, el peso de este debe ser lo menor posible para no generar una carga adicional al vehículo, se debe generar movimiento propio con el fin de que este elemento externo no genere mayor gasto energético al vehículo, y a su vez no deba a ver una intervención mayor en este de tipo electrónica, eléctrica o mecánica; adicionalmente se debe generar que el sistema de filtrado además de capturar el material particulado, garantice el flujo del aire hasta el final de sistema para que no se devuelva al vehículo o haya un atascamiento; las articulaciones y anclajes para la conexión con el vehículo, la posibilidad de modulación del sistema por si se requiere aumentar o disminuir la cantidad de sistemas de filtrado dependiendo del vehículo y del espacio libre que haya para contener el sistema y por ultimo garantizar el sistema de testigo para el cambio de este repuesto del sistema de filtrado o captura.

También cabe recalcar los requerimientos encontrados frente a la propuesta de sistema objetual con el fin de que este se adapte correctamente a los contextos a los que va a estar expuesto y adaptado para generar armonía.

- El sistema objetual se debe corresponde al lenguaje de los vehículos para su implementación.
- El sistema de filtrado debe durar un mínimo de 16 mil kilómetros para que se produzca el cambio cuando el conductor o usuario deba ir a hacer un cambio de aceite, con el fin de no crear más actividades, sino que se adapte a la rutina de este usuario. (16 mil kilómetros corresponden a 2 cambios de aceite de los vehículos (cada 8 mil km).
- El lenguaje del sistema debe ser ameno y similar al que manejan los mecánicos con el fin de que la secuencia de cambio de los repuestos sea intuitiva.
- El sistema estructural que ira sujeta al vehículo se debe adaptar a las diferentes tipologías de exostos que tienen las fuentes móviles.
- Todo el sistema objetual debe resistir temperaturas de aproximadamente 80 grados centígrados para el funcionamiento directo con el sistema de escape.
- El sistema de filtrado no se deforma ni se rompe a 80 grados centígrados.

16.3.2 Metodología cuasiexperimental

Referida a este contexto, las relaciones entre determinantes y requerimientos nos dejaron ciertas inquietudes y preguntas de termino cuantitativo y cualitativo frente a aspectos que debían tenerse en cuenta la hora de desarrollar la propuesta en términos de materiales, distancias, modulaciones, entre otras, para esto se realizaron pruebas de carácter cuasiexperimental.

Basado en el modelo de la UNICEF de diseño y métodos cuasiexperimentales, pudimos destacar que “ Tanto en los diseños experimentales (ensayos controlados aleatorios) como en los cuasiexperimentales, el programa o política se considera como una intervención en la que se comprueba”. UNICEF (2014), que así mismo constata que

Los diseños cuasiexperimentales identifican un grupo de comparación lo más parecido posible al grupo de tratamiento en cuanto a las características del estudio de base (previas a la intervención). El grupo de comparación capta los resultados que se habrían obtenido si el programa o la política no se hubieran aplicado (es decir, el contra fáctico). Por consiguiente, se puede establecer si el programa o la política han causado alguna diferencia entre los resultados del grupo de tratamiento y los del grupo de comparación. UNICEF (2014)

Esta metodología se implementó a la hora de crear experimentos en los cuales se pudiera denotar cambios de un grupo de estudio en el cual se introduce una variable, es decir se hacia la toma de datos antes y después para generar los resultados pertinentes para la toma de decisiones.

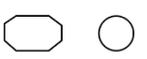
Figura 25 Tabla de intervención bajo la metodología cuasiexperimental

Anterior a la intervención	Intervención	Posterior a la intervención
t -1	t	t +1
Datos de referencia	(Encuesta de término medio)	Datos finales

Fuente 26 UNICEF 2014

Bajo estos parámetros, la primera prueba que se realizo fue de posibles materiales, en los cuales buscamos se buscaba implementar materiales orgánicos capaces de capturar el material particulado en este caso, el carbón activado que se conoce como una fuente de purificación de aire y agua en determinados contextos y dependiendo de su estado y composición; esto se basó a partir de un análisis del estado del aire de filtros de aire para vehículos.

Figura 26 Tabla estado del arte de filtros de aire para vehículos

TIPO FILTRO	MATERIALES	PROS	CONTRAS	Geometría	Estado del arte
Filtros celulosa	PAPEL POLIMEROS SILICONA/METAL	Precio bajo Fabricación Pliegues	Restringe rendimiento Bajo Flujo de aire No reciclable		
Filtros habitáculo	PAPEL PLISADO (muy pocos CA) HSE	Filtra olores, vapores, partículas	Cambio frecuente No esta equipado en todos los vehiculos acomulación de humedad		
Filtros ALG	ALGODÓN MALLA METÁLICA POLIMEROS ACEITES	reutilizable lavable mayor vida útil no disminuye flujo	Costo alto mantenimiento especial alto rendimiento		
Filtros FOAM	Espuma de poliuretano ACEITES	Gran capacidad de filtrado Gran vida útil No disminuye flujo	Costo alto monitoreo constante tiene que permanecer seco Lavable		
Filtros Textil	Tejido entramado de alta porosidad	Lavable mejora flujo de aire Gran capacidad de filtrado	Costo alto Monitoreo constante		
Filtros malla metálica	Malla metálica (tipo extractor)	poco espacio para la instalación mejor vida útil malla extrafina	Deformidad por altos esfuerzos		
Filtro en baño de aceite	SUMIDERO MALLA FIBRA/ESPUMA	Sistema tipo laberinto cambios de sentido y velocidad del flujo del aire que garantiza atrapar partículas.	Complejidad en instalación y mantenimiento Costo alto		

Fuente 27 Tabla realizada por Andrés F. Jaime

Al encontrar en el análisis del estado del arte que uno de los filtros que más podían filtrar partículas y a su vez fueran de elementos orgánicos, se determinó el uso de carbón activado como elemento clave para la comprobación; para realizar esta comparación se utilizaron dos tipos de vehículos, un camión de carga mediana, y un bus escolar, estos con motores diésel, utilizaban urea para limpiar un poco el combustible.



Adicionalmente, estos vehículos contaban con dos tipologías de exostos diferentes, trasera y lateral, en las cuales se realizó 2 pruebas, una de control para ver que tanto material particulado estaban emitiendo, a revoluciones estándar 800- 1000 rpm sin aceleración y la segunda ya con las bolsas tipo filtro que en su contenido se encontraba carbón activado, para esto se creó el primero objeto de comprobación.



Materiales

- Medidor de material particulado
- bolsas hechas de tela quirúrgica (60% respirable).
- Objeto mediado hermético.
- carbón activado en pepa.
- carbón activado en polvo.

Figura 27 Comprobación en camión Fotón con carbón activado



Prueba sin filtro PM_{2,5}: 350mg/m³

Prueba con filtro PM_{2,5}: 216mg/m³

Dismusión del 38,28%

Fuente 28 Fotos tomadas por Andrés F. Jaime

Figura 28 Experimentación con bus escolar con carbón activado



Prueba sin filtro PM2,5: 291.6mg/m3

Prueba con filtro PM2,5: 136.5mg/m3

Dismución del 53.3%

Fuente 29 Fotos tomadas por Andrés F. Jaime

Esta hipótesis cuasiexperimental dio como resultado positivo una de los posibles materiales para el sistema de filtrado para la captura del material particulado.

Por otro lado, se llevaron a cabo dos experimentaciones más de ese tipo, la prima frente a que distancia debía ir ubicado el sistema objetual con respecto al vehículo o si debía ir contado con una especie de caudal para garantizar la entrada de las emisiones al sistema objetual, o si era necesario que este fuera conectado en el sistema de escape; esta se hizo, a través de una experimentación casera (por tema del COVID19) en la cual se hacía una toma de datos de la distancia que se ponía el tubo "subsistema de entrada de aire" y se comprobaba si se generaban cambios frente a la dispersión de las emisiones a medida de que se alejaba este del sistema de escape.

Figura 29 experimentación de distancia de sistema objetual frente al sistema de escape



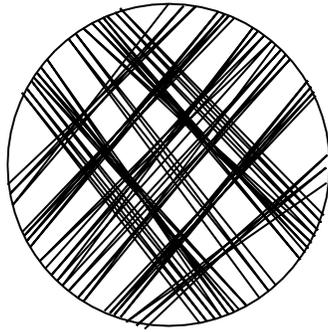
Fuente 30 Fotos tomadas por Andrés F. Jaime

Se sacaron los siguientes datos al respecto:

Distancia mm	Material particulado ug/m3
0	5.0
5 mm	5.2
10 mm	7.3
15 mm	7.8
20 mm	8.6
25 mm	7.6
30 mm	11

Ante esta comprobación se pudo denotar la diferencia cuantitativa del material particulado que se espacio en el ambiente cada vez que se alejaba el objeto de comprobación del sistema de escape, por lo cual se tomó la decisión de generar un caudal o mecanismo para que se conectara al sistema de escape con el fin de que no se escape material particulado de la fuente móvil sin antes pasar por el sistema objetual.

Hay otro aspecto entre tantos de los que se pudieron hacer experimentación, como el de la modulación o cuantos sistemas de filtros se necesitaban mínimo por vehículo, para esto se hizo una prueba casera (por tema del COVID19) con fibra de coco, (elemento principal de filtrado fibroso en el carbón activado) para la cual se hizo una modulación de como ubicar la fibra de como para intentar hacer la repetición de la forma lo más homogénea posible con el fin de quitar una variable sobre el experimento, causando igualdad en los módulos creados.



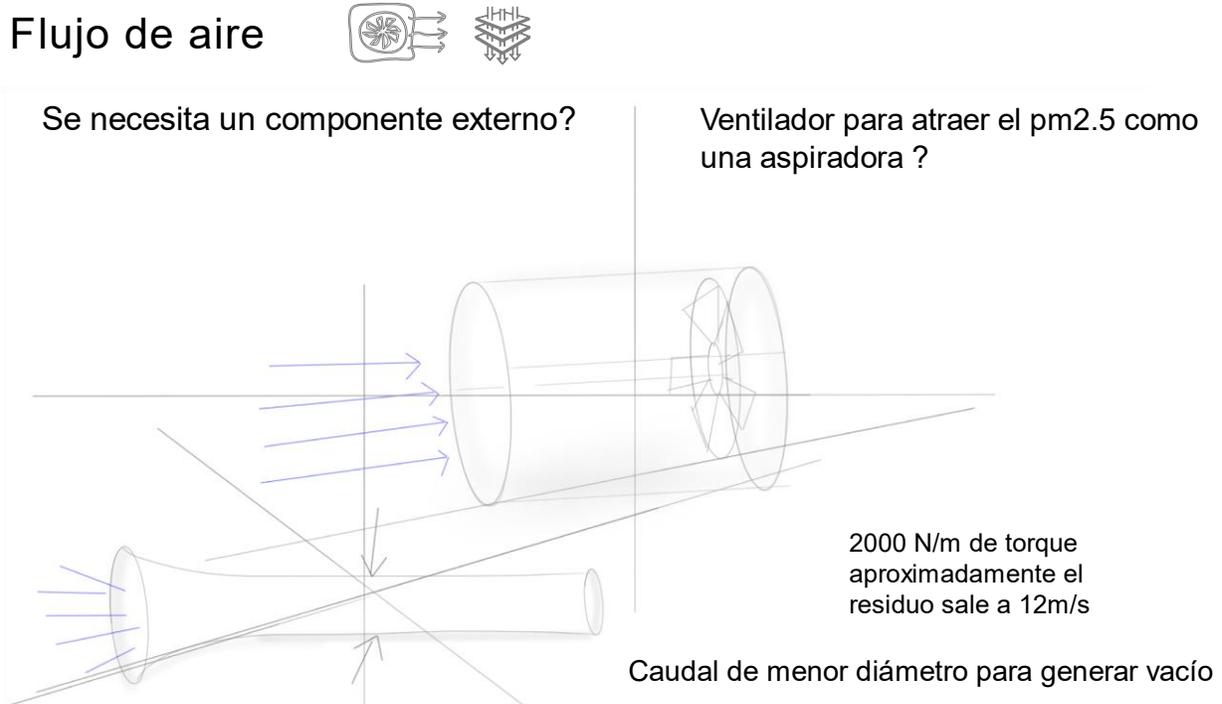
Al terminar este experimento en el cual se utilizaron de 5 micro filtros con fibra de cascara de coco, se determinó, que para tener una filtración del material particulado significativo (por encima del 25%) se requieren un mínimo de 2 filtros (sistemas de filtrado) en adelante, pero esto ya depende del espacio con el que cuente el vehículo y otras determinantes.

16.3.4 Desarrollo de la propuesta

Al comenzar el desarrollo de la propuesta final se tuvieron todos los aspectos de la toma de decisiones frente a los resultados de las pruebas cuasiexperimentales y de las determinantes que tenían que ir inherentes en la propuesta de sistema objetual.

El primer punto en el que nos enfocamos fue el de la fuente de entrada de aire, debido a que dividimos todo en subsistemas, en esta se substrajo varias variables del sistema de escape para desarrollar una forma que se pagara a la salida del exosto, y así poder generar la forma en la cual se siguiera el movimiento rectilíneo en su mayoría que tiene el flujo saliente del motor.

Figura 30 desarrollo subsistema de flujo de aire

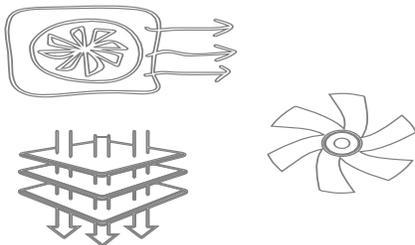
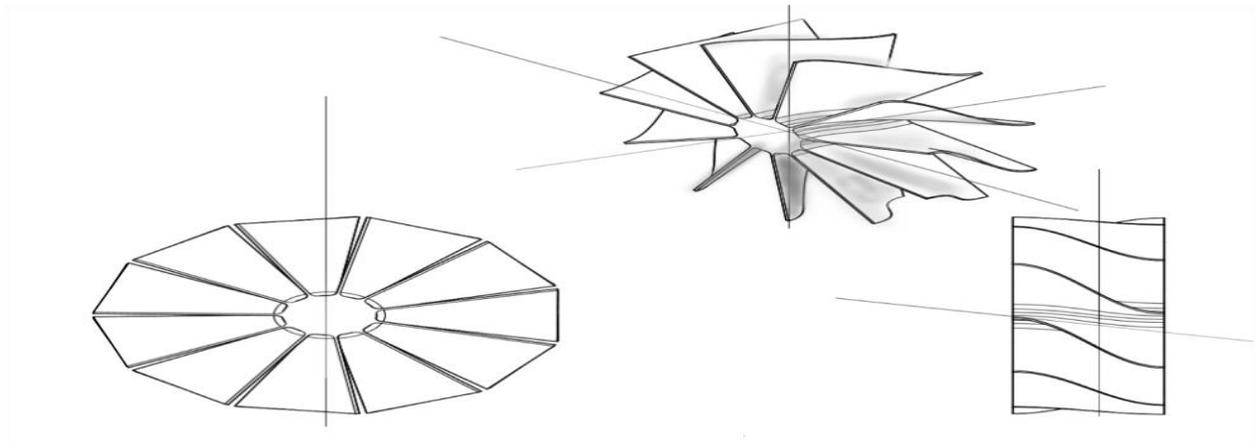


Fuente 31 Realizado por Andrés F. Jaime

Ante esto salió 2 preguntas como si se debían utilizar componentes externos o si a partir de ese caudal se puede capturar toda la fuerza que sale del sistema de escape para generar toda actividad de filtrado y material particulado.

En consecuencia a esto, se planteo varias propuestas, frente a como poder generar el movimiento propio con la fuerza con la que sale el residuo del sistema de escape, pero se termino planteando frente a una analogía en el sistema de hélices o de ventiladores que hay corriente en la actualidad, que en algunos casos solo necesitan de una fuerza externa para moverse y depende de cómo reciba esta fuerza externa, para eso se creó el primer módulo de la hélice, a partir de parámetros decididos con el Ingeniero químico y ambiental de la universidad de los Andes Francisco Gómez, como que no debería tener mas de 1 centímetro de espesor de las aspas, para que la densidad de este permita el movimiento que se busca; posteriormente se creó una repetición de tipo radial de 10 elementos adicionales al original para generar la hélice completa, pero que se dejara un espacio de 2 milímetros en la parte mas amplia entre aspas con el fin de capturar la fuerza suficiente para el movimiento, y adicionalmente, permitir el flujo del aire en el sistema.

Figura 31 Desarrollo de la propuesta de subsistema de filtrado

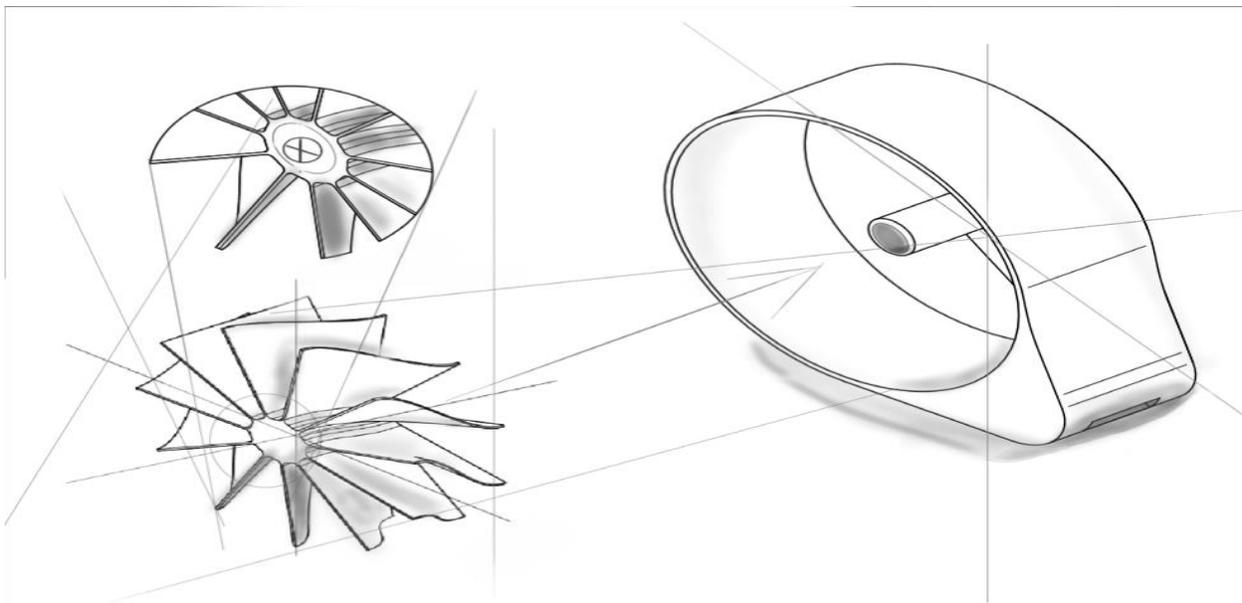


Fuente 32 Realizado por Andrés F. Jaime

Al generar ya la propuesta con el espesor entre aspas, se determino con el ingeniero Francisco Gómez que en general el filtro podría tener un espesor de entre 4 a 10 centímetros con el fin de poder generar una mayor durabilidad del filtro para generar el requerimiento de que los repuestos de generen a los 16mil kilómetros.

Posteriormente al tener lista la ideación del filtro como tal, se llevó a cabo la ideación y desarrollo del sistema como tal de filtrado el cual compone del filtro basado en la analogía de la hélice, que sería la parte movable, y su determinada base que iba a ir conectada con el resto del sistema, esta iría estática, para esto se generó una extracción del diámetro de la forma de la hélice para generar un desfase para que el filtro pueda generar su movimiento de forma autónoma y sin comprometer su actividad por el posible rozamiento con las otras estructuras, posteriormente, de genero una disposición triangular para generar la posible forma de el objeto con el fin de darle estructura, para finalmente extraer de este el círculo principal y parte de la disposición circular generar la forma final.

Figura 32 Desarrollo de propuesta de subsistema de filtrado

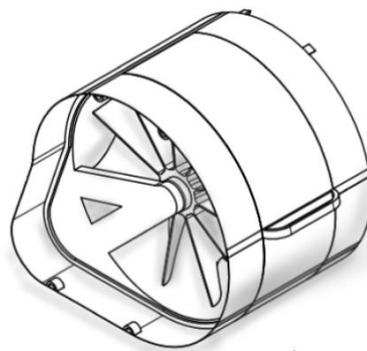
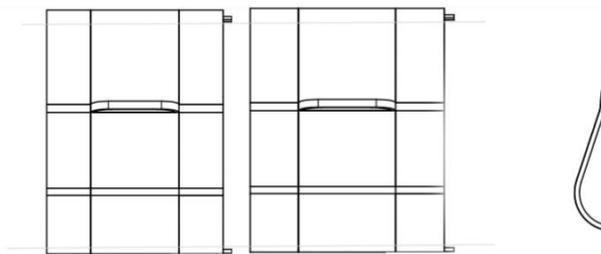


Fuente 33 Realizado por Andrés F. Jaime

Al ya tener la forma, se dispuso a realizar la forma de anclaje del filtro a esta base, la cual también se tomó de la analogía, de funcionamiento de un ventilador, que está lo suficientemente seguro pero a la vez suelto para poder generar su movimiento, otros aspectos que se tuvieron en cuenta fue la sustracción de una parte inferior de la propuesta de base, para generar el anclaje tipo macho hembra con la demás estructura, decidiendo así que este subsistema seria removible a la hora de que este necesitara ser cambiado por un repuesto, aunque solo cambiaria el filtro tipo hélice.

Llegando es te punto, se busco desarrollar la parte estructural de la propuesta, o la carcasa que recubriría todos los elementos, esta se hizo a partir partiendo la esta en 3 partes, la que iba a contener el subsistema de filtrado como un elemento modular, debido a la toma de decisión que se hizo frente a que se iban a necesitar de 2 filtros mínimo bajo el resultado arrojado por la observación cuasiexperimental. Esta se realizó bajo la repetición de la forma de la base del sistema de filtrado, pero generando un desfase para que este subsistema se pueda retirar para el remplazo del mismo, al convertirse en modular tendría que generar las uniones, en este caso tipo macho hembra para la conexión entre módulos, a su vez, un bajo relieve en el cual se generaría una unión tipo riel para la estructura externa para su posterior anclaje con otras herramientas. Adicionalmente, se generaron elementos de lenguaje tipo manijas para que el usuario las denote al momento de hacer el cambio de los elementos. A su vez, al tener un mayor tamaño frente la pieza del subsistema de filtrado, se decidió generar unos elementos que vayan paralelos al subsistema nombrado para que no pase el fujo del aire por ningún lado que no sea el conducto del filtro previamente diseñado.

Figura 33 Desarrollo de propuesta de modulación de carcasa

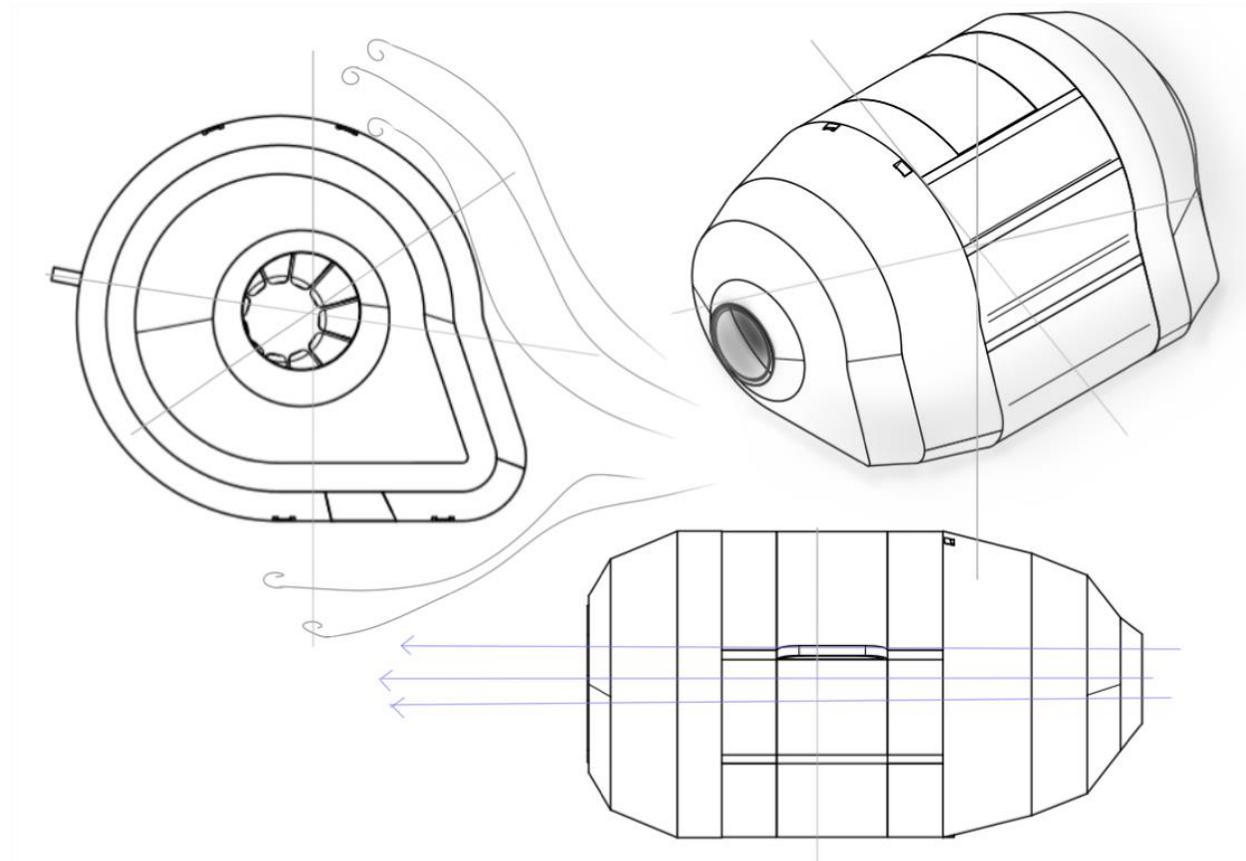


Encaje tipo macho-hembra

Fuente 34 Realizado por Andrés F. Jaime

Posteriormente del desarrollo de la modulación la cual muestra una repetición en la forma de carácter regular cuando estos están unidos, se empezó a idear la forma de los otros dos módulos, el inicial que es que estaría unido al caudal por el que llega los residuos generados por la fuente móvil, y el final que es el que acaba con el sistema y es el encargado de que el flujo de aire después de todo el proceso salga del sistema. Para estos se generó una repetición de la forma de la carcasa modular, y con este se fue generando gradación de la forma en cuanto a tamaño, para que se adaptara a la forma del caudal y de la forma de las rejillas para generar el flujo del aire respectivamente.

Figura 34 Desarrollo de la carcasa como conjunto 3 módulos

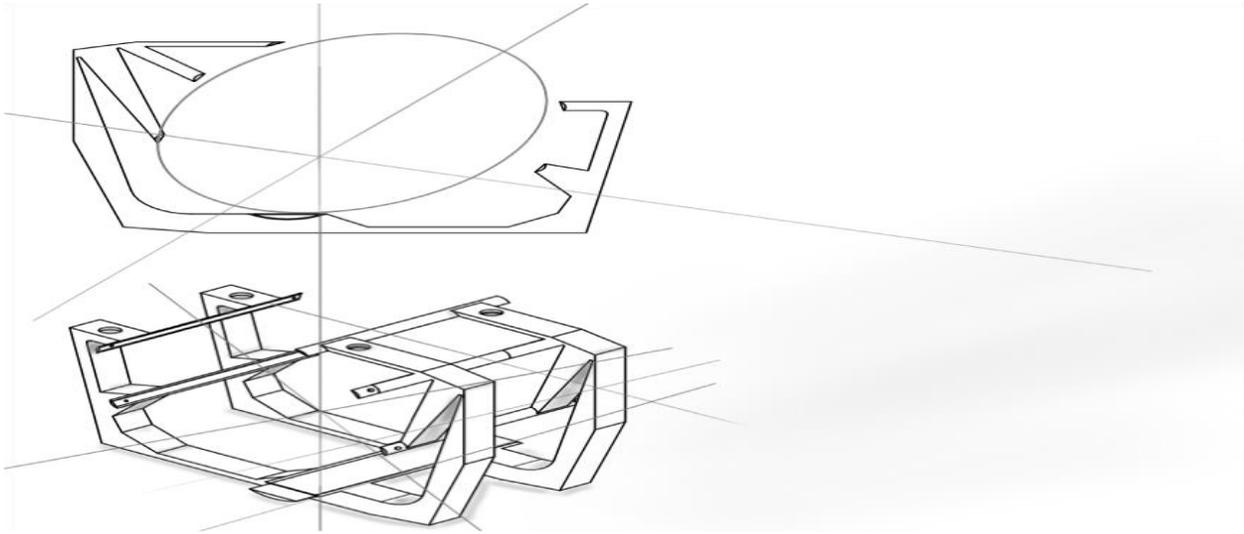


Fuente 35 Realizado por Andrés F. Jaime

Ante el desarrollo de esta parte de la propuesta, se pudieron denotar elementos, de cómo debería ir pegado al vehículo, que iba a necesitar una estructura adicional y de cómo este este había tomado un aspecto de la actividad aspirar intrínsecamente.

Al denotar que la carcasa debía tener un elemento estructural el cual era el sistema de anclaje con el vehículo y de protección de los demás sistemas, este debía de ser rígido pero liviano a la vez, siendo modular debido a que tiene que ir conectado a los diferentes módulos que compone la carcasa, este desarrollo de propuesta se genero a partir de el estudio de varias estructuras a-estéticas y frente a la funcionalidad de generar la unión con el vehículo, a su vez estructuras huecas para generar el menos uso de material posible pero cumpliendo con las determinantes.

Figura 35 Desarrollo estructural de propuesta externa



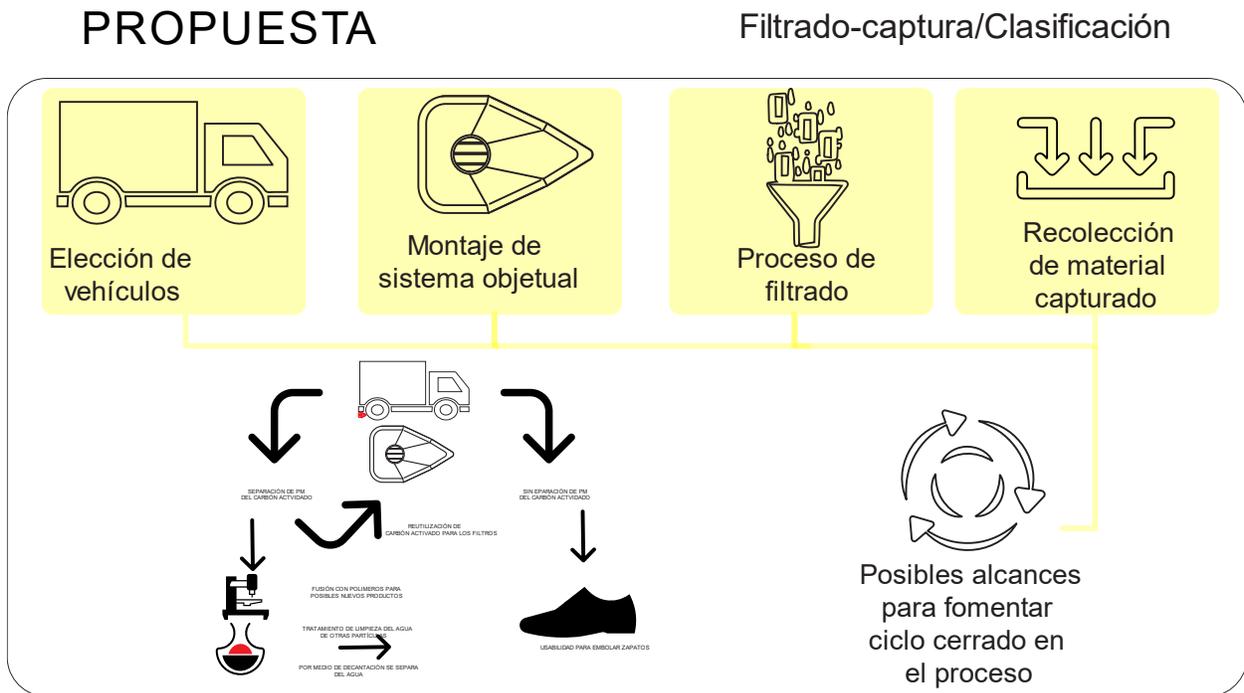
Fuente 36 Realizado por Andrés F. Jaime

Al generar esta parte de la propuesta se tuvieron en cuenta puntos de anclaje con respecto a la carcasa, generando los rieles que se deslizan por el bajo relieve que se genero en la carcasa, y posteriores puntos de aseguramiento.

16.3.5 Protocolo de la propuesta

Paralelamente al desarrollo de la propuesta del sistema objetual se decidió crear una especie de protocolo o de proceso que debe haber para la implementación de esta en los vehículos, en donde se hará énfasis en los diferentes factores del vehículo que influyen en la modulación del sistema objetual, y donde debe ir ubicado, a su vez, la instalación del sistema, el sistema de cambio de los repuestos de los filtros, y finalmente posibles alcances que le podría dar al material particulado capturado con el fin de generar un ciclo cerrado en el proceso y no llenar de mas residuos la ciudad y el planeta en términos de repuestos de vehículos.

Figura 36 Propuesta de proceso



Fuente 37 Realizado por Andrés F. Jaime

16.3.5.1 Posibles alcances del ciclo cerrado

Al tener ya capturado el material particulado frente al filtro de carbón activado, se buscó la forma de poder implementar los residuos en otros procesos en los cuales se pudiera aprovechar su estado sólido para la creación de nuevos objetos o elementos, o de por si ser utilizado en actividades de uso casual.

Para esto se debió definir aspectos de en qué forma se podría entregar el material particulado debido a su composición y el estado en el que se encuentra en el momento de sacar el filtro del vehículo; Frente a este panorama se plantearon dos alternativas las cuales mostraban posibles alcances que podría tener esta iniciativa de ciclo cerrado debido a los escasos estudios y de procesos para el procesamiento o el ¿Qué hacer con el material particulado? Sigue siendo incierto, solo hay una iniciativa en Chile, frente a como se podría utilizar para embolar zapatos, pero este siendo todavía incierto por temas de experimentación y patentes; por ende, se llevo a tener esta como alternativa, pero se siguió un proceso de posibles respuestas para el uso de este material que termina siendo residual.

Esta propuesta recursiva frente a usos de material particulado es la más avanzada en términos de alcances o de avances de estudios sobre posibles usos frente al material particulado, al ser en otro país cabe la posibilidad de generar una nueva industria en el país, además de fomentar experimentación hacia nuevos objetos o elementos controlados orgánicos, como una especie de tintura o carboncillo para siempre buscar generar siempre elementos de ámbito natural u orgánico con el fin no crear nuevos elementos contaminantes.

16.4 Beneficios

Lo que se busca con este proyecto, en conclusión, es disminuir el impacto ambiental de las fuentes móviles en Bogotá a través del sistema objetual y el protocolo o proceso que se debe seguir para esto, para evitar que siga creciendo la concentración del material particulado en la ciudad, y disminuir factores de riesgo y el desarrollo de enfermedades para las personas que se encuentran en la ciudad expuestas a estos contaminantes; Conviene, sin embargo, advertir que, no es simplemente el filtrado de material particulado, si no como se podría reutilizar estos residuos que se capturan al salir de las fuentes móviles, para el desarrollo de posibles productos, en su mayoría de origen orgánico para no perder el concepto de descontaminación y a su vez, poder ofrecer un ciclo cerrado frente al filtrado de dichos contaminantes, promoviendo o pasando de industrias normativas que obligan a recoger cierto porcentaje de los residuos de la materia prima que se crea o vende. Siendo esto un reflejo claro argumentativo para demostrar que el proyecto va más allá del carácter comercial, sino que se compromete con impulsar normativas y tendencias a nivel local y nacional frente a la conciencia ambiental y sus derivados.

Bajo esta línea de argumentación se generaron una lista de beneficios que tiene el proyecto el contexto en general afectado por la contaminación del aire por parte del material particulado PM_{2,5}:

- Con la captura del porcentaje de material particulado se disminuye la concentración en el ambiente, siendo este menos nocivo para las personas que habitan la zona, generando espacios más ‘humanos’.
- Con el uso del sistema objetual por parte de los vehículos, conlleva a estos a contaminar menos, por lo cual se podrían implementar medidas a mediano plazo para quitar restricciones a los vehículos de carga pesada que cumplan con estos parámetros.
- Al capturar el material particulado en un porcentaje significativo se puede disminuir la probabilidad de que estos lleguen a las personas y a la creación de microambientes.
- Al capturar el material particulado, se evita que este llegue a recursos como el agua y el suelo para, por lo cual no se contaminan los suelos y los alimentos.
- Con el protocolo o proceso del ciclo cerrado de filtrado, se busca generar una tendencia nivel de empresas de hacerse cargo de sus residuos con el fin de generar menos contaminación por las industrias técnico productiva.
- Existen leyes y protocolos suscritos por la legislación colombiana y a nivel de Bogotá, para la implementación de elementos para el filtrado de partículas, que buscan adaptar herramientas a nuestra condición, pero un alto porcentaje de los vehículos no cuentan con la capacidad eléctrica y electrónica para recibir dichas herramientas, por lo cual bajo esta figura, con el sistema objetual que es de forma análoga, se puede poner rápidamente en circulación sin tener que intervenir los vehículos

Referentes

- BANCO MUNDIAL. (n.d.). *La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial*. Retrieved from BANCO MUNDIAL: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion>
- CORREDOR, D. M. (2018). *EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO DE LOS VEHÍCULOS EN BOGOTÁ*. BOGOTÁ DC: PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Department of environmental protection . (n.d.). *Health & Environmental Effects of Air Pollution*. Massachusets.
- Gómez, J. D. (2019, marzo 16). *¿Qué está pasando con las estaciones que miden la calidad del aire en Bogotá?* Retrieved from RCN radio: <https://www.rcnradio.com/estilo-de-vida/medio-ambiente/que-esta-pasando-con-las-estaciones-que-miden-la-calidad-del-aire-en>
- Health Effects Institute . (2019). *HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTION*. British Columbia: HEI .
- IDEAM . (2014). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA*. Retrieved from IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
- Løseth, Å. (2019). *Luftkvalitet i Oslo*. Retrieved from OSLO KOMUNE: <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/miljo-og-klima/slik-jobber-vi-med-miljo-og-klima/luftkvalitet/>
- Mackenzie, J. (2016). *Air Pollution: Everything You Need to Know*. Retrieved from NRDC: <https://www.nrdc.org/stories/air-pollution-everything-you-need-know>
- Néstor Y. Rojas, P. P. (n.d.). *Aire y problemas ambientales de Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia .
- OSMAN. (n.d.). *Urbamismo, medio ambiente y salud* . Observatorio de salud y medio ambiente de andalucía.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (n.d.). *MEDIO AMBIENTE Y POBREZA*. Retrieved from PNUD: http://www.teamstoendpoverty.org/wq_pages/es/visages/environnement_detail.php
- Rodríguez, G. R. (2020, Febrero 18). *El tiempo*. Retrieved from *¿Cuál es el lío que tienen los camioneros en Bogotá?*: <https://www.eltiempo.com/bogota/cual-es-el-lio-que-tienen-los-camioneros-en-bogota-461296>
- Rojas, N. Y. (2007). *Aire y problemas ambientales de Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, N. Y. (2019, Febrero 19). *Datos de las estaciones de calidad del aire en Bogotá no son fiables*. Retrieved from Universidad Nacional periódico digital: unperiodico.unal.edu.co
- UNICEF. (2014). *Diseño y métodos cuasiexperimentales* . Florencia : Centro de Investigaciones Innocenti de UNICEF.
- WangPeiAn. (2017). *La contaminación ambiental como tema de*. Valencia: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTION

Exposure to air pollution is linked to mortality and shortening of life expectancy. In the short-term (i.e., a few days to weeks), exposure to air pollution (represented in the daily [air pollution concentrations](#) or [air quality index](#) values) can impact an individual's health. During certain high-pollution days (i.e., *episodes*), the effects can be more severe. However, the biggest impact comes from long-term exposure (i.e., weeks to months) to air pollutants, which increases a person's chances of dying from heart disease, chronic respiratory diseases, lung infections, lung cancer, diabetes, and other health problems. Not surprisingly, exposure to air pollution also reduces the numbers of years that a person is expected to live. Among the air pollutants, fine particulate matter (PM_{2.5}) is the most consistent and robust predictor of mortality in studies of long-term exposure.

Some groups of people, including children, pregnant women, the elderly, and people with heart and lung diseases, are more affected by exposure to air pollution.

Short-Term Health Effects

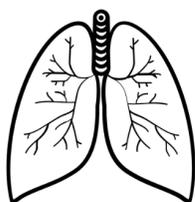
Exposures over a few hours to a few days can contribute to ear, nose, and throat irritation. The irritation usually disappears with the removal of the pollutant(s).

Short-term exposure may also cause and aggravate lower-respiratory and chronic conditions such as allergies, asthma, and bronchitis. In people with heart disease, short-term exposure to PM_{2.5} can lead to heart attacks, arrhythmias, and even death.

Long-Term Health Effects

The Global Burden of Disease ([GBD](#)) analysis estimates the impacts on health from long-term exposure to air pollution, which includes five noncommunicable diseases — diabetes, stroke, COPD, lung cancer, and ischemic heart disease — and one communicable disease — lower-respiratory infection (see table next page). There is broad scientific agreement that exposure to PM_{2.5} increases the risk of dying from these diseases. Exposure to air pollution is also associated with other conditions and diseases including metabolic dysfunction, disorders of the central nervous system (including neurological and psychiatric diseases), and adverse pregnancy and developmental outcomes (e.g., preterm birth, low birth weight, or growth restriction). Globally, air pollution is linked to the following noncommunicable diseases:

Percentage of deaths by cause attributed to air pollution in 2017.



41 percent
of COPD deaths



20 percent
of diabetes
deaths



16 percent
of ischemic heart
disease deaths



19 percent
of lung cancer
deaths



11 percent
of stroke deaths

(Continued on page 2)



IHME



The State of Global Air website is a collaboration between the Health Effects Institute and the Institute for Health Metrics and Evaluation, with expert input from the University of British Columbia



TEXAS
The University of Texas at Austin

HEALTH EFFECTS OF AIR POLLUTION *(Continued from page 1)*

Description of Diseases Included in the Global Burden of Disease Analysis Linked to Air Pollution



ISCHEMIC HEART DISEASE: Ischemic heart diseases refer to heart problems caused by narrowed heart arteries. When arteries are narrowed, less blood and oxygen reaches the heart muscle. Also called coronary artery disease and coronary heart disease, ischemic heart diseases can ultimately lead to heart attack. [MORE](#)

In 2017, 8.93 million global deaths were attributed to ischemic heart diseases, 16% of which were linked to air pollution.



STROKE: A stroke occurs when the blood supply to part of the brain is suddenly interrupted or when a blood vessel in the brain bursts, spilling blood into the spaces surrounding brain cells. Brain cells die when they no longer receive oxygen and nutrients from the blood or there is sudden bleeding into or around the brain. [MORE](#)

In 2017, 6.17 million global deaths were attributed to stroke, 11% of which were linked to air pollution.



DIABETES: Diabetes is a chronic disease caused by the inherited and/or acquired deficiency in production of insulin by the pancreas or by the ineffectiveness of the insulin produced. Such a deficiency results in increased concentrations of glucose in the blood, which in turn damage many of the body's systems, in particular the blood vessels and nerves. The most common types of diabetes are type 1, type 2, and gestational diabetes. Air pollution burden is estimated for type 2 diabetes. [MORE](#)

In 2017, 1.37 million global deaths were attributed to diabetes, 20% of which were linked to air pollution.



COPD: Chronic obstructive pulmonary disease (COPD), including chronic bronchitis and emphysema, is a lung disease characterized by chronic obstruction of lung airflow that interferes with normal breathing and is not fully reversible. [MORE](#)

In 2017, 3.2 million global deaths were attributed to COPD, 41% of which were linked to air pollution.



LUNG CANCER: Cancer is a disease in which cells in the body grow out of control. When cancer starts in the lungs, it is called lung cancer. Unlike normal cells, cancer cells grow without order or control, destroying the healthy lung tissue around them. [MORE](#)

In 2017, 1.88 million global deaths were attributed to lung cancer, 19% of which were linked to air pollution.



ACUTE RESPIRATORY LUNG INFECTIONS: Acute lower-respiratory infections include pneumonia (infection of the lung alveoli), as well as infections affecting the airways such as acute bronchitis and bronchiolitis, influenza, and whooping cough. Such infections are a leading cause of illness and death in children and adults across the world. [MORE](#)

In 2017, 2.56 million global deaths were attributed to lower-respiratory infections, 35% of which were linked to air pollution.

FOR MORE INFORMATION:

To learn more about the local air quality in your neighborhood or city on a daily basis, please visit www.aqicn.org.

To access data on real-time air quality from around the world, please visit www.openaq.org.

To learn more about long-term trends in air pollution and the associated health burden, please visit www.stateofglobalair.org.

ADDITIONAL RESOURCE:

Thurston GD, Kipen H, Annesi-Maesano I, Balmes J, Brook RD, Cromar K, et al. 2017. A joint ERS/ATS policy statement: What constitutes an adverse health effect of air pollution? An analytical framework. *Eur Respir J* 49:1600419; <https://doi.org/10.1183/13993003.00419-2016>.

[American Heart Association](#) | [National Institute of Neurological Disorders and Stroke](#) | [World Health Organization](#) | [American Lung Association](#) | [Centers for Disease Control and Prevention](#) | [European Lung Foundation](#)



IHME



The State of Global Air website is a collaboration between the Health Effects Institute and the Institute for Health Metrics and Evaluation, with expert input from the University of British Columbia



TEXAS
The University of Texas at Austin