

ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES PARA EL BARRIO VILLAS DE LA CAPILLA- USAQUÉN

Estefanía Araujo Rincón (41151039), Jessica Dahian Vallejo Puentes (41151366), Martha Carolina Rodríguez Moreno (41142108), Jazmín Hasbleidy Ospina Wilches (41151170)

1. RESUMEN

Las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos y las altas exposiciones generan traen graves riesgos en la salud humana generando efectos tales como enfermedades crónicas, abarcando desde afecciones del sistema respiratorio hasta la muerte prematura. Por tal razón, se realizó una estimación de las emisiones de material particulado, óxido de carbono, óxido nítrico y metano, proveniente de fuentes móviles, por medio de factores de emisión con el fin de identificar la calidad del aire en el barrio de Villas de La Capilla-Usaquén. Evidenciando que el mayor flujo vehicular proviene de la ruta del microbús que opera en el barrio, este se tomó como la fuente móvil para el cálculo de emisiones; para ello se siguió la metodología establecida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. Para el cálculo de las emisiones se utilizó el método Tier 2 y Tier 3, donde los factores de Emisión dependen del tipo de combustible y el tipo de tecnología del vehículo. De acuerdo a los resultados obtenidos, se evidencio que el material particulado es el que más influye en la calidad del aire en el barrio, sobrepasando los niveles de emisión máximos para vehículos pesados definidos en la resolución 1111 de 2013; cabe resaltar que los valores obtenidos no abarcan en su totalidad las emisiones presentes en la zona de estudio, ya que no se está considerando, por ejemplo, el material particulado resuspendido causado por la vía pública no pavimentada. Por otro lado, es importante utilizar otros métodos de estimación en el que se deba realizar trabajo en campo complementándolo con el uso de herramientas para determinar la calidad del aire, como lo son los modelos de dispersión.

Palabras claves: emisión, factor de emisión, fuente móvil.

2. INTRODUCCIÓN

Se ha comprobado, a través de diferentes estudios científicos, que el material particulado que se encuentra suspendido en el aire tiene diferentes efectos en la salud en el momento en que este ingresa al cuerpo por las vías respiratorias, afectando el sistema cardiovascular y respiratorio (Bastos, et al., 2018). La medición de dichos efectos en la salud, no solamente de material particulado, si no de los gases de efecto invernadero, es un tema que en la actualidad ha tomado más importancia, esto se evidencia en los diferentes estudios que informan una creciente en los casos en morbilidad atendida y mortalidad causado por contaminantes atmosféricos; normalmente los estudios determinan como indicador de exposición el promedio diario de material respirable en partículas (Hernández y Reyes, 2012)

De igual manera, Alfonso (2018), dice que las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos, ya sea por ozono, dióxido de nitrógeno y material particulado, traen graves riesgos en la salud humana, y que, además, las altas exposiciones generan efectos tales como enfermedades crónicas, abarcando desde afecciones del sistema respiratorio hasta la muerte prematura, lo cual se considera una problemática de amplio rango asociándolo a una población pequeña y vulnerable, como lo es el barrio de Villas de La Capilla. Por lo tanto, se tiene en cuenta los niveles de exposición según las fuentes de emisión identificadas en el barrio, para ello existen diferentes métodos para estimar las emisiones de los diferentes contaminantes y su dispersión.

De acuerdo a lo anterior, se hace necesario estudiar las distintas fuentes de emisión, las cuales pueden ser fijas y/o móviles. Según la resolución 909 de 2008, una fuente de emisión fija “es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa” y, es una fuente móvil la que “por razón de su uso o propósito, es susceptible de

desplazarse. Para efectos de la presente resolución, son fuentes móviles los vehículos automotores, las motocicletas, los motociclos y los mototriciclos” (MINAMBIENTE, 2008); para dicho caso en específico, solamente se tendrán en cuenta las fuentes móviles.

En cuanto a las metodologías para la estimación de inventarios de emisiones de fuentes móviles, estas se pueden clasificar en metodologías de estimación directa y metodologías de estimación indirecta. Las metodologías de estimación directa son aquellas que realizan mediciones de emisiones directamente en la fuente y, las metodologías de estimación indirecta no realizan mediciones de emisiones en la fuente directamente, en su lugar, utilizan correlaciones entre las emisiones y diversos parámetros que las afectan (Giraldo y Behrentz, s.f.). Por consiguiente, teniendo en cuenta las condiciones actuales del barrio, se decidió realizar una estimación indirecta de emisiones de fuentes móviles, aplicando factores de emisión para cada contaminante según será requerido.

El objetivo del presente informe consiste en Estimar las emisiones de material particulado, óxido de carbono, óxido nitroso y metano, proveniente de fuentes móviles, por medio de factores de emisión con el fin de identificar la calidad del aire en Villas de La Capilla-Usaquén. Para ello se implementará la GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS. Cabe resaltar que dicha estimación no abarcara en su totalidad todas las emisiones que afectan el barrio, ya que no se está considerando el material particulado resuspendido causado por la no pavimentación de la vía, las concentraciones en tiempo real, y las condiciones meteorológicas y topográficas del barrio, en consideración, cada uno de los factores mencionados aumentan la validez de los resultados obtenidos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Estimar las emisiones de material particulado, óxido de carbono, óxido nitroso y metano, proveniente de fuentes móviles, por medio de factores de emisión con el fin de identificar la calidad del aire en Villas de La Capilla-Usaquén

3.2. Objetivos específicos

- Establecer un diagnóstico general de la calidad de aire del barrio por medio de un análisis exploratorio, con el fin de identificar las principales fuentes de emisión.
- Definir los factores de emisión para cada uno de los contaminantes, de acuerdo al método de estimación seleccionado.
- Identificar el contaminante que influye en mayor magnitud al deterioro de la calidad del aire en Villas de la Capilla teniendo en cuenta los niveles máximos de emisión permisibles presentados en la Resolución 1111 de 2013.

4. METODOLOGIA

Para llevar a cabo la estimación, primero se permitió tener una serie de aspectos importantes a la hora de evaluar la emisión, en este caso por fuentes móviles, que altera la calidad del aire en el barrio Villas de la Capilla. La principal problemática se centra en la ausencia de un sistema integrado de transporte masivo interconectado y con tecnologías limpias (Alfonso, 2018), sumado a la falta de pavimentación de la vía.

El sistema de transporte que opera en el barrio consiste en un microbús de servicio especial que transita desde y hacia las zonas periféricas de la ciudad, las cuales son zonas en las que el sistema de transporte actual aún no llega (SITP, s.f.). Según la resolución 59 de 2014, dentro de la categoría de bus convencional de capacidad de 10 a 79 pasajeros, debe estar propulsado por motores diésel con tecnología de emisión igual o superior a la exigida por la normatividad ambiental vigente, en dicho caso la resolución 1111 del 2013; por otro lado, para el cumplimiento del desempeño ambiental de los vehículos, se estipula que todos

“deberán tener un convertidor catalítico o sistemas de control de emisiones con la capacidad y características acordes con el motor, tecnología y el combustible limpio que será usado” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

Según Espinosa, Rojas y Gómez (2011), los resultados de la red de calidad de aire de Bogotá, el material particulado (MP) constituye el contaminante más crítico en la ciudad, siendo las fuentes móviles, y en especial los buses y camiones con motor diésel, las que más aportan a su concentración. Así mismo, se asocia a las emisiones de los gases de efecto invernadero como óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y monóxido de carbono (CO). Por otro lado, la altitud en la que se encuentra el barrio influye directamente en el proceso de combustión, ya que, en zonas de mayor altitud, dichos procesos se realizan con mayor dificultad, motivo por el cual se genera mayor cantidad de emisiones al no poderse completar en su totalidad la reacción química propia del mismo (Alfonso, 2018).

Entorno a lo anterior, se decidió realizar una estimación de emisiones generadas por fuentes móviles, de acuerdo a la Guía Para La Elaboración De Inventarios De Emisiones Atmosféricas (2017), donde se involucran aspectos como la tipología vehicular, las características del combustible, el diseño, las condiciones de funcionamiento del motor y dispositivos de control utilizados, entre otros. Para ello, primero se estableció la tipología exacta del vehículo (microbús), según diseño, tipo de combustible, categoría vehicular y tecnología implementada para el control de emisiones. En segunda instancia, se prosigue a realizar el cálculo de estimación de emisiones de material particulado, óxido de carbono, óxido nítrico y metano, según la metodología establecida en la guía europea.

Para este caso, la guía de inventarios de emisiones elaborada por el Gobierno Nacional traduce lo compilado en la guía europea, la cual emplea una metodología para la estimación de emisiones por niveles de complejidad, conocidos comúnmente como “Tier”, y que se presenta en 3 niveles según la información disponible. Estos son:

- **Tier 1:** utiliza el combustible como factor de actividad, junto con factores de emisión promedio específicos del combustible.

$$E_i = FA_{jk} * FE_{ijk} \quad (1)$$

FA_{jk} : factor de actividad en términos del consumo de combustible del vehículo de categoría vehicular (j), que emplea el combustible (k).

FE_{ijk} : factor de emisión en términos del consumo de combustible contaminante (i), del vehículo de categoría vehicular (j), que emplea el combustible (k)

- **Tier 2:** considera el combustible utilizado por las diferentes categorías vehiculares, así como su estándar de emisión.

$$E_i = FA_{jm} * FE_{ijk} \quad (2)$$

FA_{jm} : factor de actividad en términos distancia recorrida del vehículo de categoría vehicular (j) y tecnología (m), [km].

FE_{ijk} : factor de emisión en función de la tecnología vehicular para el contaminante (i), del vehículo de categoría vehicular (j), con tecnología (m), [g/km]

- **Tier 3:** las emisiones son calculadas utilizando una combinación de datos técnicos confiables y el factor de actividad, involucra aspectos como la operación del motor en frío y en caliente.

$$E_{caliente} = D_{rj} * FE_{caliente} (ijr) \quad (3)$$

$$E_{total} = E_{caliente} + E_{frío} \quad (4)$$

D_{rj} : distancia del vehículo conducida en vías tipo r, por el vehículo de categoría j, [km]

$FE_{caliente (ijr)}$: factor de emisión para el contaminante i, para el vehículo de categoría j, operado en vías tipo r, [g/km]

5. RESULTADOS

5.1. Características generales de la ruta

Tabla 1. Características de la ruta de transporte público para villas de la Capilla

Número de la ruta		18-13
Nombre		Lomitas y Capilla
Horario	L-S	4:00-23:00
	D-F	5:00-22:00
Recorrido (Km)	Cada hora	9,52 km
	Por día	180,88 km

Fuente: autores, 2020.

5.2. Clasificación según tipología

El microbús de ruta Especial 18-13 Lomitas y Capilla, corresponde a vehículos de automotor diseñados para circular en vía pública, y es operado a partir de diésel. Según la tabla 2, corresponde a una subcategoría N2, considerado como vehículo pesado que tiene un diseño de peso máximo de cargado menor o igual a 12000 kg.

Tabla 2. Categoría de vehículos conforme a los ciclos de prueba de Estados Unidos

Categoría	Subcategoría	Peso bruto
		Kg
N	N2	> 3500
		≤ 12000

Fuente: MINAMBIENTE, 2013. Modificado por autores

De acuerdo al tipo de tecnología que utiliza el microbús, incluyendo la que se implementa para el control de emisiones de contaminantes atmosféricos, se realizó la selección, en la tabla 3, del reglamento para sistemas de control que se aplican para dicho caso.

Tabla 3. Sistemas de control de emisiones de acuerdo con la normativa de Estados Unidos y de Europa

Reglamento	Tecnología	Contenido azufre para combustible diésel (ppm)	Características para vehículos diésel
USA	EPA 2004	500	* Inyector unitario electrónico o common-rail P 1700-1900 bar * Inyección variable * Rediseño del pistón * EGR con enfriador * DOC
UE	Euro II (2)	500	*Turbocargador *Bomba en línea o rotativa a una presión (P) de 1200 bar *Retraso en inyección de diésel

Fuente: MINAMBIENTE, 2013. Modificado por autores

5.3. Calculo para estimación de emisiones

Las emisiones del óxido de carbono (CO), y el material particulado (PM) se calcularon por el método Tier 2, utilizando los factores de emisión presentados en el ejemplo de la guía para inventario de emisiones; por otro lado, las emisiones de óxido nitroso (N₂O) y de metano (CH₄) se llevaron a cabo por el método Tier 3.

5.3.1. Emisiones de CO Y PM por el método Tier 2.

Se utilizó la ecuación (2), y los factores de emisión utilizados en el ejemplo de la guía de inventarios y que son proporcionados por la guía europea. Durante un día de ruta común, el microbús recorre aproximadamente 180.88 km y, para vehículos de tecnología Euro II, el factor de emisión para CO y PM es:

$$FE_{CO} = 0,296 \text{ g CO/km}$$

$$FE_{PM} = 0,0548 \text{ g PM/km}$$

- **Emisión CO durante un día**

$$E_{CO} = 0,296 \text{ g CO/km} * 180.88 \text{ km} = 53,54 \text{ g CO}$$

- **Emisión PM durante un día**

$$E_{PM} = 0,0548 \text{ g PM/km} * 180.88 \text{ km} = 9.912 \text{ g PM}$$

5.3.2. Emisiones de N₂O y CH₄ por el método Tier 3.

Se utilizó la ecuación (3) y (4), y los factores de emisión proporcionados por la revista del IPPC (en español: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), mostrados en la tabla 4. La distancia (D_{ij}), sigue siendo 180.88 km.

Tabla 4. Factores de emisión para los vehículos diésel

Tipo de vehículo	combustible	tecnología de vehículo/clase	Factores de emisión de N ₂ O (mg/km)		Factores de emisión de CH ₄ (mg/km)	
			Urbano		Urbano	
			Frio	Caliente	Frio	Caliente
Camión pesado y autobús	Diesel	GVW<16t	30		85	
		GVW>16t	30		175	
		Autobuses urbanos y autocares	30		175	

Fuente: IPCC, 2006. Modificado por autores

- **Emisión N₂O durante un día**

$$FE_{frio (ijr)} = FE_{caliente (ijr)} = 30 \text{ (mg/km)} * (1 \text{ g} / 1000 \text{ mg}) = 0,03 \text{ g N}_2\text{O} / \text{km}$$

$$E_{caliente} \text{ N}_2\text{O} = 180,88 \text{ km} * 0,03 \text{ g N}_2\text{O} / \text{km} = 5,43 \text{ g N}_2\text{O}$$

$$E_{total} = 5,43 \text{ g N}_2\text{O} * 2 = 10,86 \text{ g N}_2\text{O}$$

- **Emisión CH₄ durante un día**

$$FE_{frio (ijr)} = FE_{caliente (ijr)} = 175 \text{ (mg/km)} * (1 \text{ g} / 1000 \text{ mg}) = 0,175 \text{ g CH}_4 / \text{km}$$

$$E_{caliente} \text{ CH}_4 = 180,88 \text{ km} * 0,175 \text{ g CH}_4 / \text{km} = 31,654 \text{ g CH}_4$$

$$E_{total} = 31.654 \text{ g CH}_4 * 2 = 63,308 \text{ g CH}_4$$

6. ANALISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos de emisiones de óxido de carbono, material particulado, óxido nitroso y metano, principalmente se debe tener en cuenta que el cálculo se realizó para las emisiones totales en un día de recorrido del microbús, esto según el horario para la prestación del servicio. Por otro lado, según la antigüedad del vehículo, se estipuló que este carece de tecnologías actuales para el control de emisiones, sin embargo, siguiendo la resolución 59 del 2014, el microbús debe contar mínimo con convertidor catalítico, por lo tanto, de acuerdo a la clasificación presentada en la guía, se definió que el sistema vehicular cuenta con tecnología EPA 2004 según Estados Unidos, y Euro II según Europa, tal como se evidencia en la tabla 3.

Tanto la clasificación obtenida en la tabla 2 como en la tabla 3, se utilizaron para la elección del método de estimación, sin embargo, según una priorización de aspectos a consideración para cada método, es recomendable utilizar el Tier 2 o Tier 3, en cuestión, según la información definida para el tipo de vehículo se utilizaron dichos métodos para los contaminantes ya definidos; entorno a lo anterior, para llevar a cabo el cálculo de emisiones, se realizó una división de acuerdo a las metodologías definidas por la guía europea, para este caso en concreto, se cuenta con la distancia del recorrido del microbús, tipo de tecnología, características de la vía transitada, y el tipo de combustible. En cuanto a la clasificación presentada en la tabla 2, requiere de un análisis más general respecto al vehículo, por lo tanto, en dado caso, este se podría implementar para la elección del factor de emisión para el cálculo en el método Tier 1.

Para realizar una comparación de los resultados de las emisiones con la normativa, de acuerdo al potencial energético establecido para el microbús que opera en Villas de La Capilla, se estiman las emisiones en g/KWh, que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de emisiones en g y g/KWh

Contaminante	Emisión (g)	Emisión (g/KWh)
CO	53,54	0,178
PM	9.912	0.033
N ₂ O	10,86	0,0362
CH₄	63,308	0,211

Fuente: autores, 2020.

Así mismo, se tuvo en cuenta el recorrido total de la ruta y demás tipologías establecidas en la resolución 1111 de 2013. Cabe resaltar, que, en dicha normativa los niveles de emisión máximos se establecen para vehículos pesados y ligeros, en dicho caso se decidió comparar con los definidos para categorías N3 y N4, siendo el microbús un vehículo pesado que funciona con diésel.

Tabla 6. Límites máximos permisibles para vehículos pesados con motor ciclo Diesel, evaluados mediante los ciclos ESC, ETC, ELR.

Subcategoría	CO		HC		HCNM		NOx		PM		Opacidad
	(g/KW-h)										
	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ESC	ETC	ELR
N2, N3, M2, M3	1,5	4,0	0,46	-	-	0,55	3,5	3,5	0,02	0,03	0,5

Fuente: MINAMBIENTE, 2013.

Comparando la tabla 5 y 6, se observa que los niveles de CO y CH₄ están por debajo de la norma, con 0,178 g CO/KWh y 0,211 g CH₄/KW-h correspondientemente, por otro lado, los valores de emisión de N₂O, es el que menos influencia tiene sobre la calidad de aire en Villas de la Capilla. Entrando en detalle, el

material particulado es el único contaminante que sobrepasa la norma, y el que mayor incurre en la generación de efectos negativos en la salud.

Además de la emisión establecida para el microbús, la procedencia del material particulado puede ser diversa, pero algunos estudios han determinado que los mayores aportes son los realizados por el paso de vehículos sobre vías pavimentadas y, especialmente sin pavimentar (I.G. Kavouras et al., 2017). El levantamiento de partículas se da por el paso de las llantas de los vehículos que, por su movimiento rotatorio, las arroja al aire (Dyck and Stukel, 1976). Es por esto que es importante la determinación de las concentraciones que se encuentran en el ambiente, especialmente en campo y, como estas se desplazan en el aire.

7. CONCLUSIONES

En este caso, la conclusión principal es el hecho de que el conjunto de métodos y modelos empleados en este estudio resulta ser aceptablemente adecuado para la evaluación de las emisiones procedentes del tráfico vehicular y de su dispersión. De esta forma podría aplicarse en muchos otros casos de una manera sencilla y puede ser una herramienta de planificación y evaluación de los efectos del tráfico en la calidad del aire en el barrio de Villas de la Capilla. Teniendo en cuenta que las emisiones de material particulado es el contaminante más importante en términos de salud pública y estas provienen fundamentalmente de la flota vehicular de carga pesada más específicamente de buses. Por esta razón se recomienda principalmente elaborar medidas de protección ambiental y estas deben estar enfocadas hacia estos vehículos y hacia las vías sin pavimentar.

Con la metodología presentada, se lograron establecer las emisiones para el microbús que opera en la zona de material particulado, óxido nitroso, óxido de carbono y metano, siendo el material particulado el único contaminante que se encuentra con niveles de emisión por encima a los establecidos en la norma. Esto quiere decir, que el nivel de exposición de los habitantes del barrio es mayor con respecto a este contaminante, y que podría encontrarse una afectación mayor a mediano plazo para la población de niños y adultos mayores, que, de acuerdo a su estancia en el barrio, son lo que mayor tiempo permanecen en la zona en estado vulnerable. Además de ello, los valores de emisión calculados en el presente documento pueden contener una incertidumbre alta, ya que no se están considerando otros vehículos como lo son los ligeros o las motocicletas, sin embargo, es necesario aclarar que el flujo vehicular en el barrio se limita al realizado por el microbús, y en contadas ocasiones a carros pertenecientes a algunos habitantes de la comunidad.

De igual manera, la cantidad de emisión se obtuvo de acuerdo a la información disponible de la fuente de emisión, si bien no se realizó un aduro trabajo en campo para dicho tema, si se realizó un extenso diagnostico que permitió la identificación de dichos aspectos, de la misma manera la elección de los factores de emisión se hizo en base a ello. De esta forma, también se pudo mostrar que uno de los principales problemas es la carencia de implementación en tecnologías nuevas en cuanto al sistema de transporte, ya que se evidencia que estos vehículos son modelos antiguos usados, que no comparten el mismo diseño de los modelos implementados en la zona urbana de Bogotá.

En cuanto a la metodología implementada, se denota que, aunque la guía esta publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en su mayoría se basa en la Guía Europea, incluyendo metodología, caminos de selección y factores de emisión, aunque, la información allí presentada está limitada a un solo volumen del cual solo se considera información general. Sin embargo, esto evidencia la confiabilidad de los métodos “Tier”, ya que se avala de manera internacional.

8. RECOMENDACIONES

Para estimar la calidad del aire, se puede hacer uso de indicadores como lo es IBOCA, para el caso de Bogotá, que se calcula a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en un momento y lugar de la ciudad y comunica simultáneamente el riesgo ambiental por contaminación atmosférica y el

estado de la calidad del aire de Bogotá (Secretaría Distrital de ambiente, s.f.); allí se pueden encontrar las estaciones de monitoreo de aire por localidad. En cuanto a Usaquén, el monitoreo se realiza a aproximadamente 6 km de Villas de La Capilla, en el centro de la localidad, no mide PM_{10} y, el barrio no se encuentra dentro de la delimitación establecida por el distrito (ver anexo1). Sin embargo, a pequeña escala, por las condiciones y las dimensiones del barrio, se posibilita la opción de realizar un monitoreo y confirmar los niveles de emisión de los contaminantes atmosféricos, especialmente el material particulado.

Con la información adquirida de las emisiones, de manera más completa y teniendo en consideración aspectos ya mencionados, se podría realizar un inventario, que, según la guía de elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas, podría implementarse para: evaluar posibles efectos de contaminación transfronteriza, reportar avances en el cumplimiento de los acuerdos internacionales, definir objetivos y prioridades en la gestión de la calidad del aire, diseñar sistemas de monitoreo y control de emisiones, generar información para evaluar los impactos ambientales, elaborar estudios epidemiológicos y de riesgos para la salud humana, diseñar planes de contingencia por contaminación atmosférica y programas de reducción de la contaminación del aire, modelar la calidad del aire, entre otros. (MINAMBIENTE, 2017)

Es importantes resaltar que el trabajo en campo influye en el porcentaje de incertidumbre de los datos obtenidos, ya que se están teniendo en cuenta condiciones tan importantes como lo son las meteorológicas y topográficas, estos factores también están presentes a la hora de calcular la dispersión del contaminante y, por consiguiente, la afectación de la población aledaña. Por tal razón, los monitoreos y la aplicación de modelos de dispersión como lo son Aermol y Aermet, son de vital importancia.

Sin embargo, de acuerdo a los limitantes que se puedan presentar, otras de los métodos que se pueden utilizar para estimar la calidad del aire en forma indirecta, es la implementación de sensores remotos y sistemas de información geográfica. Para facilitar el procedimiento, se pueden adquirir imágenes satelitales gratuitas de satélites como LANDSAT y SENTINEL y, utilizar programas como SIG y QGIS para su debido procesamiento; de acuerdo a estudios ya realizados, las curvas de reflectancia se pueden asociar con las curvas de concentración de material particulado obtenidas de alguna red de monitoreo cercana. Pero, la mayor limitante de dicha metodología es el porcentaje de nubosidad que dificultaría en gran medida la visibilidad del contaminante disperso a la hora de tomar la imagen. Para el caso de Villas de La capilla, las imágenes disponibles, contaban con un porcentaje de nubosidad mayor al 70% (ver anexo 2). Por otro lado, se podría contar con otro tipo de imagen con mayor resolución, sin embargo, esto implicaría costos altos por la adquisición de la imagen.

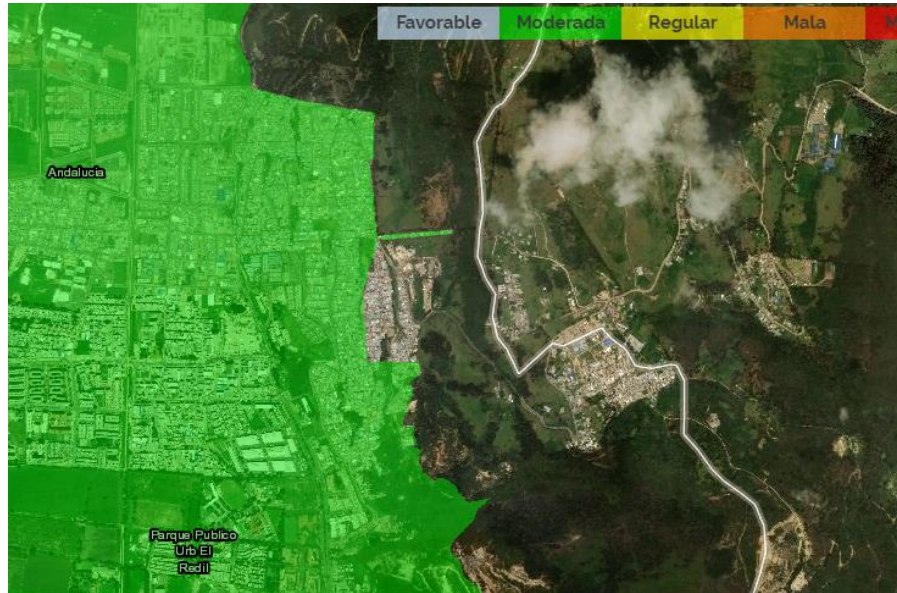
9. REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (28 de Febrero de 2014). *Resolución 59 de 2014. MANUAL DE OPERACIONES DEL COMPONENTE ZONAL DEL SITP TRANSMILENIO S.A.:* https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=4741&_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME
- Alfonso, D. (Septiembre de 2018). *EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO DE LOS VEHÍCULOS EN BOGOTÁ. ESTRATEGIAS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA SU MITIGACIÓN.* Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38114/DOCUMENTO%20DIANA%20MELISA%20ALFONSO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Bastos, J., Milandob, C., Freire, F., & Batterman, S. (2018). Intake fraction estimates for on-road fine particulate matter ($PM_{2.5}$) emissions: Exploring spatial variation of emissions and population distribution in Lisbon, Portugal. *Atmospheric Environment*, 190, 284–293.
- Dyck, R.J., Stukel, J.J., (1976). Fugitive dust emissions from trucks on unpaved roads. *Environ. Sci. Technol.* 10 (10), 1046e1048.

- Espinosa, Rojas, Gómez. (2011). Caracterización del material particulado en dos vías de transporte público colectivo y masivo en Bogotá. ACTA NOVA; Vol. 3, Nº 2, 323–335
- Giraldo y Behrentz. (s.f.). *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes*. Universidad de los Andes: https://bogota.gov.co/sites/default/files/inline-files/inventario_de_emisiones_fuentes_moviles.pdf
- Hernández y Reyes. (2012). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. *Pediatría*, volumen 45, Issue 2, 124-138
- I.G. Kavouras, D.W. DuBois, G. Nikolich, A.Y. Corral Avittia, V. Etyemezian. (2017), Particulate dust emission factors from unpaved roads in the u.s -Mexico border semi-arid region.
- IPCC. (2006). Capítulo 3: Combustión móvil. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Vol. 2: Energía, 3.1–3.78
- MINAMBIENTE. (05 de Junio de 2008). *Resolución 909/2008*. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcd0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>
- MINAMBIENTE. (2008). *Resolución 910 de 2008*. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones: bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/RESOLUCIÓN%20910%20DE%202008.pdf
- MINAMBIENTE. (02 de Septiembre de 2013). *Resolución 1111 de 2013*. Por la cual se modifica la Resolución 910 de 2008: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527825/Resoluci%C3%B3n+1111+de+2013+Modificaci%C3%B3n+parcialmente+Resoluci%C3%B3n+910+de+2008.pdf/17e33a3b-fbdb-4e99-a7aa-6c6930dd139f>
- MINAMBIENTE. (2017). *GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS*. Obtenido de DIRECCIÓN DE ASUNTOS AMBIENTALES, SECTORIAL Y URBANA: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf
- Secretaría distrital de ambiente. (s.f.). CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/calidad-del-aire>
- SITP. (s.f.). *Servicio Especial*. Obtenido de <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40087/especial/>

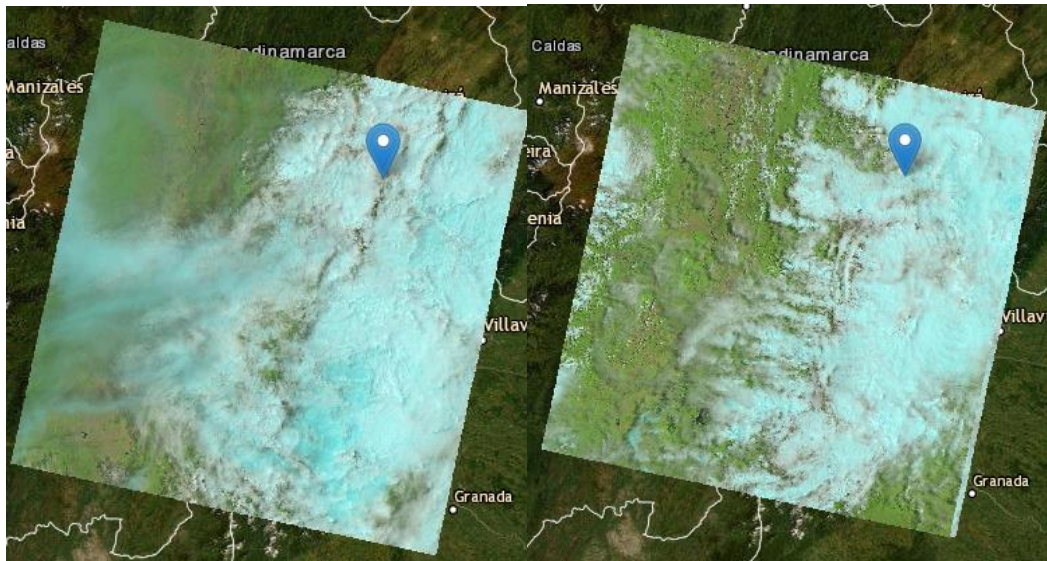
10. ANEXOS

Anexo 1: área delimitada por las redes de monitoreo en Bogotá



Fuente: IBOCA, 2020. (<http://iboca.ambientebogota.gov.co/mapa/>)

Anexo 2: imágenes tomadas por el satélite LANDSAT 8, para los días 19 de febrero de 2020 y 23 de abril de 2020, correspondientemente. Dentro de la imagen se encuentra señalada la ubicación del barrio Villas De la Capilla.



Fuente: EarthExplorer