



Alcaldía de Medellín

Valoración general de los principales impactos de la implementación del proyecto, análisis de las externalidades de movilidad y calidad de vida

1.1. Estimación de los impactos por reducción de emisiones atmosféricas

Para el presente análisis se tuvieron en cuenta los siguientes periodos donde se evalúan los impactos del uso del bus eléctrico articulado:

- **Periodo 1:** se presentan las emisiones evitadas por el uso del bus eléctrico articulado desde 2018 hasta 2021
- **Periodo 2:** se proyectan las emisiones evitadas a 2033 considerando las condiciones que proporcionará la implementación del proyecto.

Para la estimación de las externalidades generadas por la emisión de contaminantes atmosféricos de acuerdo a los periodos planteados, se analizaron las emisiones de Gases de Efecto Invernadero -GEI, específicamente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y contaminantes criterio como NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, SO_x y VOC y esto teniendo presente que de acuerdo con el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburra con año base 2018, las fuentes móviles hacen el mayor aporte a la contaminación del aire en el Valle de Aburra especialmente para las especies $\text{PM}_{2.5}$, CO , NO_x y VOC , aportando entre estas el 91% de partículas de $\text{PM}_{2.5}$.

Así pues, para la estimación de estos contaminantes se usaron los factores de emisión presentados en el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburra del año 2016 entregados en el 2018 los cuales son tomados del modelo IVE (International Vehicle Emissions) ajustados con los resultados de los factores de emisión medidos en la región.

1.1.1. Emisiones de Contaminantes Criterio:

Dado el significativo aporte de los vehículos en este tipo de contaminantes tal como se mencionaba anteriormente, se evaluaron las emisiones de Partículas finas $\text{PM}_{2.5}$, óxidos de nitrógeno NO_x , compuestos orgánicos volátiles VOC , bajo dos supuestos, que el bus eléctrico articulado hubiera reemplazado a un vehículo a combustible Diésel de tecnología Euro IV o a un vehículo a Gas Natural Vehicular -GNV-, a continuación se presentan las emisiones evitadas.





Alcaldía de Medellín

Tabla 1. Emisiones evitadas por bus eléctrico articulado si reemplazara un vehículo a Diesel.

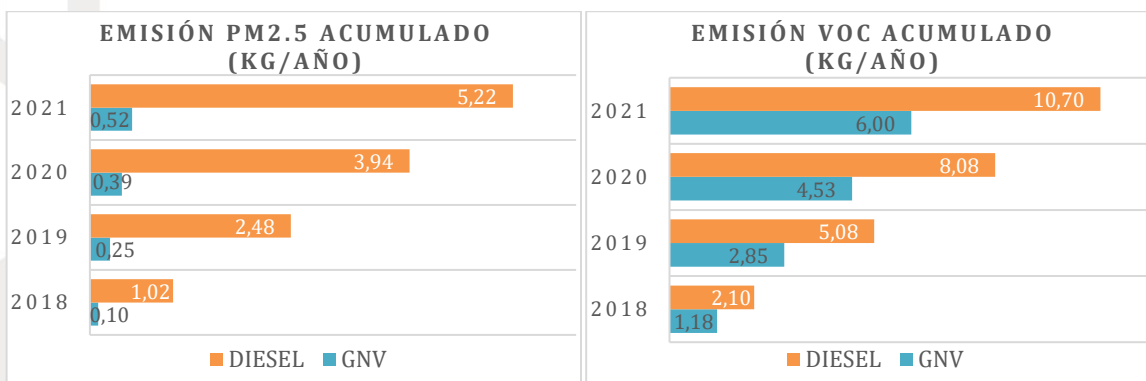
Año	Emisión PM2.5 (Kg/año)	Emisión VOC (Kg/año)	Emisión NOx (Kg/año)	Emisión NH3 (Kg/año)
2018	1,02	2,10	190,39	0,67
2019	1,45	2,98	270,19	0,95
2020	1,46	3,00	271,97	0,95
2021	1,28	2,62	237,07	0,83
Total (2018 a 2021)	5,22	10,70	969,62	3,39

Tabla 2. Emisiones evitadas por bus eléctrico articulado si reemplazara un vehículo a GNV.

Año	Emisión PM2.5 (Kg/año)	Emisión VOC (Kg/año)	Emisión NOx (Kg/año)	Emisión NH3 (Kg/año)
2018	0,10	1,18	10,45	1,43
2019	0,15	1,67	14,83	2,04
2020	0,15	1,68	14,93	2,05
2021	0,13	1,47	13,01	1,79
Total (2018 a 2021)	0,52	6,00	53,23	7,31

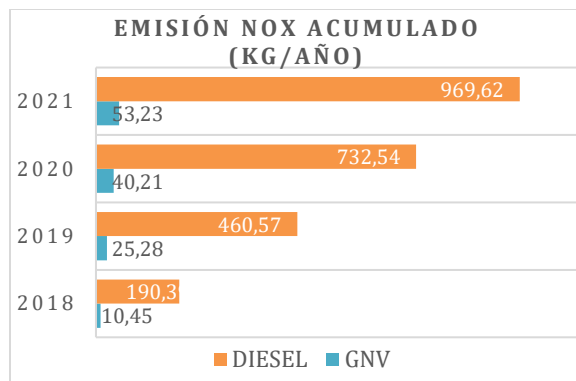
De acuerdo con la estimación de emisiones, con la operación del bus eléctrico articulado desde el 2018 hasta el 2021 se logró evitar un mínimo de 0,52 kg/año de PM2,5 y un máximo de 5,22 kg/año, así mismo, las emisiones evitadas para VOC varían entre 6 y 10,7 kg/año, entre 53,23 y 969,62 kg/año para el contaminante NOx y 3,39 y 7,31 kg/año para NH₃.

Gráfica 1. Emisiones evitadas, periodo 2018-2021.





Alcaldía de Medellín



Para el periodo 2 se estimaron las emisiones evitadas de diferentes contaminantes por el uso del bus eléctrico articulado partiendo de la proyección de kilómetros recorridos estimados para los años de 2022 hasta los dos primeros meses del 2033 bajo los dos supuestos mencionados anteriormente.

Tabla 3. Proyección emisiones evitadas hasta 2033 si reemplazara un vehículo a Diesel.

Año	Emisión PM2.5 (Kg/año)	Emisión VOC (Kg/año)	Emisión NOx (Kg/año)	Emisión NH3 (Kg/año)
2022	1,45	2,98	270,19	0,95
2023	1,45	2,98	270,19	0,95
2024	1,45	2,98	270,19	0,95
2025	1,45	2,98	270,19	0,95
2026	1,45	2,98	270,19	0,95
2027	1,45	2,98	270,19	0,95
2028	1,45	2,98	270,19	0,95
2029	1,45	2,98	270,19	0,95
2030	1,45	2,98	270,19	0,95
2031	1,45	2,98	270,19	0,95
2032	1,45	2,98	270,19	0,95
Dos meses de 2033	0,16	0,34	30,65	0,11
Total (2022 a 2033)	16,16	33,13	3002,71	10,50

Tabla 4. Proyección emisiones evitadas hasta 2033 si reemplazara un vehículo a GNV.

Año	Emisión CO2 (Kg/año)	Emisión PM2.5 (Kg/año)	Emisión VOC (Kg/año)	Emisión NOx (Kg/año)
2022	0,15	1,67	14,83	2,04
2023	0,15	1,67	14,83	2,04
2024	0,15	1,67	14,83	2,04
2025	0,15	1,67	14,83	2,04
2026	0,15	1,67	14,83	2,04
2027	0,15	1,67	14,83	2,04

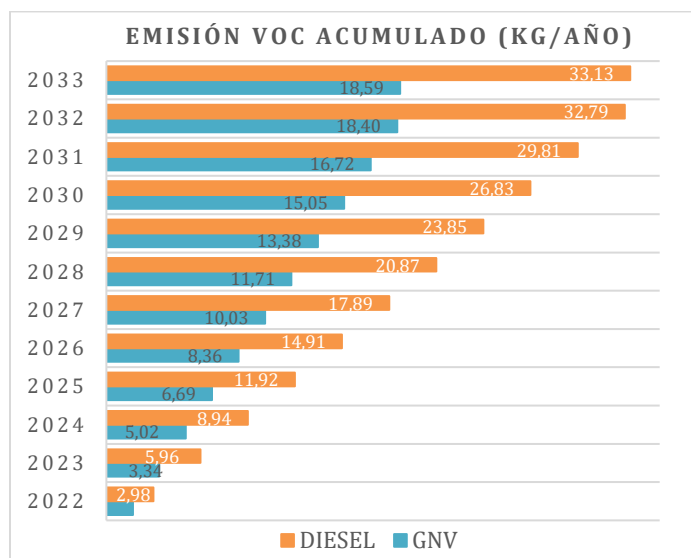
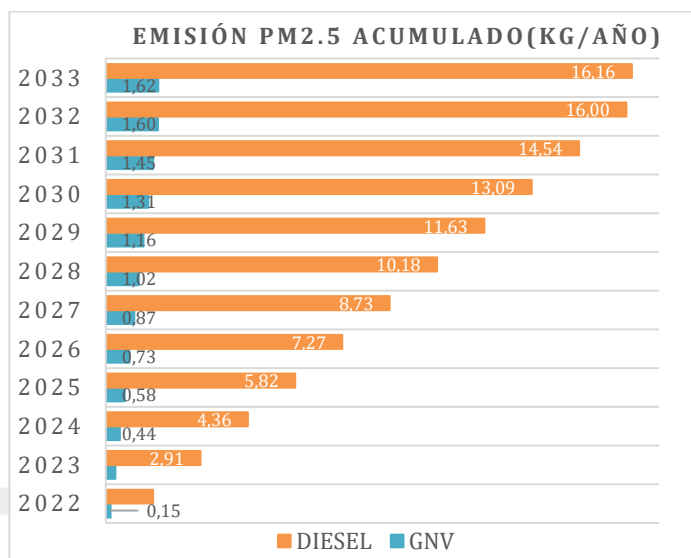


Alcaldía de Medellín

Año	Emisión CO2 (Kg/año)	Emisión PM2.5 (Kg/año)	Emisión VOC (Kg/año)	Emisión NOx (Kg/año)
2028	0,15	1,67	14,83	2,04
2029	0,15	1,67	14,83	2,04
2030	0,15	1,67	14,83	2,04
2031	0,15	1,67	14,83	2,04
2032	0,15	1,67	14,83	2,04
Dos meses de 2033	0,02	0,19	1,68	0,23
Total (2022 a 2033)	1,62	18,59	164,84	22,63

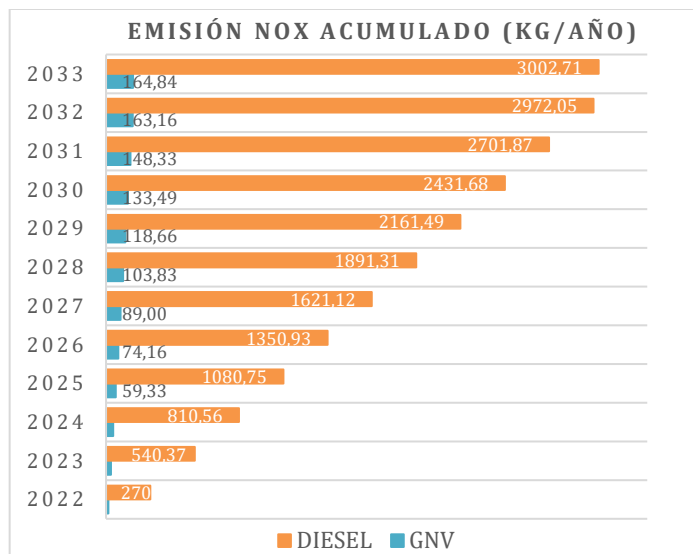
A continuación se puede observar gráficamente la proyección de emisiones evitadas acumuladas año a año resultantes del comparativo del bus eléctrico si operara a GNV o Diesel.

Gráfica 2. Emisiones evitadas, periodo 2022-2033.





Alcaldía de Medellín



1.1.2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero -GEI:

Para este análisis, la estimación de las emisiones de GEI se expresa como dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq) equivalente, los cuales tuvieron un aporte para cada periodo como se muestra a continuación:

Tabla 5. Emisión evitada de gases de efecto invernadero (Kg), desde 2018 hasta 2021.

Periodo 1	OPCIÓN 1 (Combustible DIESEL)			OPCIÓN 2 (Combustible GNV)		
	Emisión N ₂ O (Kg/año)	Emisión CO ₂ (Kg/año)	Emisión CH ₄ (Kg/año)	Emisión N ₂ O (Kg/año)	Emisión CO ₂ (Kg/año)	Emisión CH ₄ (Kg/año)
Total	20,09	215.209,85	-	20,09	139.947,20	249,45
CO ₂ equivalente	221.438,24			151.414,03		

Tabla 6. Proyección de emisión evitada de gases de efecto invernadero (Kg), desde 2022 hasta 2026.

Periodo 2	OPCIÓN 1 (Combustible DIESEL)			OPCIÓN 2 (Combustible GNV)		
	Emisión N ₂ O (Kg/año)	Emisión CO ₂ (Kg/año)	Emisión CH ₄ (Kg/año)	Emisión N ₂ O (Kg/año)	Emisión CO ₂ (Kg/año)	Emisión CH ₄ (Kg/año)
Total	62,22	666.461,83	-	62,22	433.388,46	772,49
CO ₂ equivalente	685.749,94			468.898,94		



Alcaldía de Medellín

En total, se ha evitado entre 151.414 y 221.438 Kilogramos de CO₂ equivalente por el uso del bus eléctrico articulado dentro del sistema BRT de la ciudad de Medellín, y se estima que con su uso desde el 2022 hasta los dos primeros meses del 2033 se evitarán entre 468.899 y 685.750 Kilogramos.

En ese sentido, estas emisiones evitadas son de gran importancia ya que los contaminantes atmosféricos tienen impactos en el cambio climático, gases de efecto invernadero como el CO₂ tienen una duración en la atmósfera de 200 años según el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire -PIGECA- de 2017, por lo que se hace imprescindible implementar estrategias dirigidas a la reducción de emisiones de estos gases, enfocadas en generar un menor impacto en el clima y en el calentamiento global.

1.2. Efectos económicos por contaminantes atmosféricos

La contaminación del aire tiene efectos negativos en la salud, generando costos sociales y económicos representados en enfermedades, restricción en el desarrollo de actividades, atenciones por el sistema de salud y muertes.

De acuerdo con el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire -PIGECA- de 2017 los efectos a la salud representan el principal impacto económico de la contaminación del aire. El costo de los impactos en salud de la contaminación del aire alcanzó en el año 2013, los 5.5 trillones de dólares y se estima que estos impactos podrían alcanzar los 25 trillones de dólares en el año 2060 según informe de la OCDE del 2016.

Para calcular los impactos económicos producidos por emisiones de contaminantes atmosféricos se tomó como base el documento *Asistencia técnica para el diseño de tasas por contaminación atmosférica y cobros por emisiones de gases de efecto invernadero a nivel subnacional* elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y The World Bank - Econometría S.A. en 2018, donde se contempla que por cada tonelada anual que se reduzca de emisiones de material particulado (PM_{2.5} y asociados) en el Valle de Aburrá, se podrán evitar entre 5 y 10 muertes prematuras, así mismo, se estableció un precio entre \$60/g PM_{2.5} y \$120/g PM_{2.5} (moneda legal colombiana -MLC) el cual resulta socialmente costo efectivo, valorando las muertes evitadas en función de las pérdidas de productividad económica, lo cual resulta en un estimativo conservador de la valoración de la vida humana.





Alcaldía de Medellín

Así pues, aplicando estas tasas relacionadas anteriormente a los diferentes periodos respecto a las emisiones evitadas por uso del bus eléctrico articulado se tiene que:

Tabla 7. Costos evitados por reducciones de PM2.5

Periodo	OPCIÓN 1 (Combustible DIESEL)			OPCIÓN 2 (Combustible GNV)		
	Emisiones PM 2,5 Kg	Tasa \$60/gr (MLC)	Tasa \$120/gr (MLC)	Emisiones PM 2,5 Kg	Tasa \$60/gr (MLC)	Tasa \$120/gr (MLC)
1	5,22	\$ 313.116,00	\$ 626.232,00	0,52	\$ 31.311,60	\$ 62.623,20
2	16,16	\$ 969.657,60	\$ 1.939.315,20	1,62	\$ 96.965,76	\$ 193.931,52
Total	21,38	\$ 1.282.773,60	\$ 2.565.547,20	2,14	\$ 128.277,36	\$ 256.554,72

En total, el costo ahorrado que se genera por las emisiones evitadas de PM_{2.5}, por el uso del bus eléctrico articulado y la proyección de su uso hasta 2033 se encuentra entre 1.282.772 y 2.565.547 pesos si hubiera sido operado a Diesel y entre 128.277 y 256.554 pesos si se hubiera operado con un vehículo a GNV.

De igual forma, para la estimación de las externalidades generadas por los GEI, de acuerdo con la valoración de emisiones de GEI llamado costo social global del carbono en los proyectos, mencionado en el informe GUIDELINES For the ECONOMIC ANALYSIS OF PROJECTS de Asian Development Bank, se sugiere un valor unitario de \$36.30 (USD) por tonelada de CO₂ en 2016 que se incrementarán en un 2% anual, a continuación se presenta la valoración para el proyecto del bus eléctrico articulado:

Tabla 8. Costos evitados por toneladas de CO2 reducida (USD).

Año	Precio por Tonelada(USD)	Emisiones CO2 Ton	Costo (USD)
2018	\$ 37,77	42,27	\$ 1.596,22
2019	\$ 38,52	59,98	\$ 2.310,59
2020	\$ 39,29	60,38	\$ 2.372,36
2021	\$ 40,08	52,63	\$ 2.109,32
2022	\$ 40,88	59,97	\$ 2.451,51
2023	\$ 41,70	59,97	\$ 2.500,54
2024	\$ 42,53	59,97	\$ 2.550,55
2025	\$ 43,38	59,97	\$ 2.601,56
2026	\$ 44,25	59,97	\$ 2.653,59
2027	\$ 45,13	59,97	\$ 2.706,67
2028	\$ 46,04	59,97	\$ 2.760,80
2029	\$ 46,96	59,97	\$ 2.816,02



Alcaldía de Medellín

Año	Precio por Tonelada(USD)	Emisiones CO2 Ton	Costo (USD)
2030	\$ 47,90	59,97	\$ 2.872,34
2031	\$ 48,86	59,97	\$ 2.929,78
2032	\$ 49,83	59,97	\$ 2.988,38
2033	\$ 50,83	6,80	\$ 345,82
TOTAL		881,67	\$ 38.564,33

De este análisis se obtiene en total un costo social global por valor de \$38.564 (USD) lo que representa un ahorro económico y de impacto atmosférico con la implementación del proyecto.

ME DE LLÍN



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia





Alcaldía de Medellín

BIBLIOGRAFÍA

AMVA - UPB. (2019). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2018*. Contrato de Ciencia y Tecnología No. 1179 de 2018. Medellín.

AMVA - UPB. (2018). *Actualización Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2016*. Convenio de Asociación No. CA 583 de 2017. Medellín.

AMVA - Clean Air Institute. (2017). *Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (PIGECA 2017-2030)*. CA 529 de 2011 - Acta 5. Washington D.C.

AMVA - The World Bank - Econometría S.A. (2018). *Asistencia técnica para el diseño de tasas por contaminación atmosférica y cobros por emisiones de gases de efecto invernadero a nivel subnacional*. Contrato No. 7183732.

Asian Development Bank. (2017) *Guidelines For The Economic Analysis Of Projects*.



www.medellin.gov.co

Centro Administrativo Municipal CAM
Calle 44 N° 52-165. Código Postal 50015
Línea de Atención a la Ciudadanía: (57) 44 44 144
Conmutador: 385 5555 Medellín - Colombia

