

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador

Departamento de Asuntos Públicos

Convocatoria 2021-2022 (Modalidad Virtual)

Tesina para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades

Experiencia local en la transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la
electromovilidad como alternativa de mitigación al cambio climático: el caso de
Medellín-Colombia. 2016-2020

Naira Liliana Rodríguez Cadavid

Asesora: Diana Paz

Lector: Martin Scarpacci

Quito, mayo de 2022

Tabla de contenidos

Resumen	6
Introducción	7
Capítulo 1. Crecimiento urbano, movilidad urbana sostenible y electromovilidad	14
Capítulo 2. La experiencia de la ciudad de Medellín en la transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la electromovilidad: una alternativa de mitigación al cambio climático	24
Conclusiones	52
Glosario	55
Lista de Referencias	56

Ilustraciones

Tablas

Tabla 1. 1. Barreras para la implementación de la electromovilidad en los buses del sistema del transporte público	19
Tabla 1. 2. Recomendaciones para la implementación de la electromovilidad en los buses del sistema del transporte público	20
Tabla 2. 1. Actores de la gobernanza multinivel participantes del pacto por la calidad del aire de la ciudad de Medellín -2018	27
Tabla 2. 2. Inventario de gases efecto invernadero 2016 -2019 (ton CO2eq).....	31
Tabla 2. 3. Especificaciones de los buses eléctricos de acuerdo al proceso de invitación pública.....	34

Gráficos

Gráfico 1. Tasa de motorización y parque automotor estimado del Valle de Aburrá. 2013-2020	10
Gráfico 1. 1 Metodología de la investigación	23
Gráfico 2. 1. Hitos de la experiencia de la transición de los buses del transporte público hacia la electromovilidad.....	33
Gráfico 2. 2. Impactos de la sustitución de la flota de buses del transporte público por buses eléctricos.....	46

Mapas

Mapa 1. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	8
Mapa 2.1. Mapa esquemático del Metro. Recorrido de los autobuses eléctricos de la ciudad de Medellín.....	39

Fotos

Fotografía 2. 1. Buses eléctricos de la ciudad de Medellín.....	36
---	----

Fotografía 2. 2. Estación de recarga de las baterías. Estación Universidad de Medellín.....	37
Fotografía 2. 3. Paraderos Buses eléctricos de Medellín	40
Fotografía 2. 4. Paraderos Buses eléctricos. Estación Villa de Aburrá.....	41
Fotografía 2. 5. Parte externa de los buses eléctricos.....	42
Fotografía 2. 6. Sistema de recaudo electrónico de los buses eléctricos.....	43
Fotografía 2. 7. Accesibilidad de los buses eléctricos.....	44
Fotografía 2. 8. Sistema informativo de los buses eléctricos	45

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesina

Yo Naira Liliana Rodríguez Cadavid, autora de la tesina titulada "Experiencia local en la transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la electromovilidad como alternativa de mitigación al cambio climático: el caso de Medellín-Colombia. 2016-2020" declaro, que la obra es de mi exclusiva autoría, que le he elaborado para obtener el título de especialización en Liderazgo, Cambio Climático y Ciudades concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia de *Creative Commons* 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, mayo de 2022



Naira Liliana Rodríguez Cadavid

Resumen

La investigación es una aproximación a la mitigación del cambio climático en el marco de la movilidad urbana sostenible que se ocupa de la repercusión de la electromovilidad como opción para promoción del transporte limpio desde la experiencia local. Desde este escenario, se propuso como objetivo analizar las estrategias implementadas en la ciudad de Medellín, durante el proceso de transición de los buses del sistema público masivo hacia la electromovilidad, como alternativa de mitigación al cambio climático, en el periodo 2016-2020. Para problematizar este asunto, se contempló pertinente considerar el debate teórico propuesto a la luz del metabolismo urbano, en vista que permite entender cómo el influjo del crecimiento urbano y uso intensivo de los combustibles fósiles para el transporte, han conllevado a pérdida de los ecosistemas de soporte y a la emergencia de problemáticas relacionadas con los gases efecto invernadero y las emisiones atmosféricas.

Como enfoque metodológico para la recolección y análisis de la información orientada al logro de los objetivos propuestos, se contempla una metodología cualitativa, que permitió comprender la experiencia de la ciudad de Medellín durante el proceso transición de los autobuses del sistema público masivo, así como los actores intervinientes, y factores que detonaron y facilitaron la implementación de la electromovilidad. En la parte final, se alude a los hallazgos y a las conclusiones del ejercicio investigativo, las cuales se enuncian en términos de los aspectos que conllevaron a la transición de los autobuses del sistema público masivo hacia la electromovilidad, la implementación el proceso de transición y la incidencia en la mitigación del cambio climático.

Introducción

En un escenario con preponderancia urbana y dependiente de los combustibles fósiles, las agendas climáticas proponen acciones y acuerdos globales para lograr la mitigación de los efectos del cambio climático. A estas estrategias se adhieren las ciudades a través de la incorporación de estas metas en sus políticas públicas. En términos de la movilidad urbana sostenible, una alternativa que viene tomando fuerza para lograr ciudades con bajas emisiones de carbono es la transición del transporte público hacia la electromovilidad. Este propósito se presenta como un reto para las ciudades de América Latina y el Caribe (ALC), por los desafíos que implica para su implementación aspectos como el financiamiento, la operación y la sostenibilidad.

Desde esta perspectiva, la investigación propuesta se inscribe en la línea de cambio climático en contextos urbanos, haciendo énfasis en la electromovilidad como una alternativa que están implementando las ciudades para lograr una movilidad sostenible y propiciar la disminución de los gases efecto invernadero. En este sentido, se plantea como propósito analizar la experiencia local de la ciudad de Medellín en la transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la electromovilidad durante el periodo del 2016-2020. Proceso que se enmarca en las problemáticas derivadas del crecimiento urbano, en los patrones de movilidad, el desmejoramiento de la calidad del aire y los compromisos asumidos para mitigar el cambio climático.

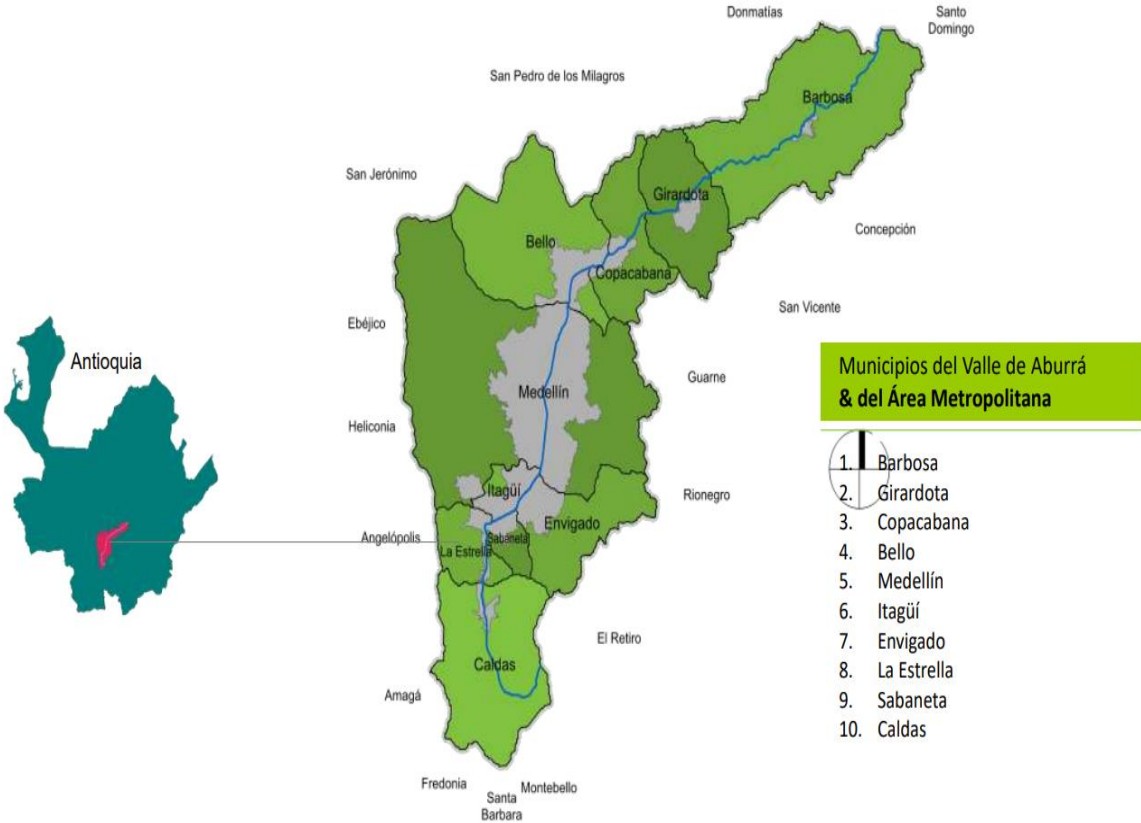
El crecimiento urbano es una tendencia global. Las tasas de urbanización de la región de América Latina y el Caribe ALC, denotan que cerca del 80% de los habitantes residen en ciudades. Se contempla que esta densificación puede alcanzar el 90% en el año 2050 (PNUMA, 2021, 16). Este crecimiento urbano tiene un efecto en cadena, incide en el aumento de la motorización y a su vez en el auge de los gases efecto invernadero GEI. Según el PMNU (2020, 12) el subsector del transporte contribuye con el 15% emisiones de CO2 en la región.

En Colombia la situación es idéntica, el 75% de la población habita en conglomerados urbanos, conllevado al crecimiento del parque automotor. Según cálculos del DNP (2021,11), proyecta que la población urbana puede alcanzar en el año 2050 un 85 %. En relación al transporte, de acuerdo con Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MASD (2019,29),

este sector es el que más participación tiene en el consumo de energía, en relación con los demás subsectores energéticos en Colombia. En el año 2018 significó el 40,06% de la energía final. La mayoría de esta energía, es decir, el 96.2% es generada por combustibles fósiles derivados del petróleo y solo el 24% se transforma en energía útil.

Ahora bien, desde el contexto de la ciudad Medellín, esta urbe es la capital del departamento de Antioquia y es el núcleo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá integrada por 10 municipios (Barbosa, Girardota, Bello, Copacabana, Itagüí, Envigado, Sabaneta, La estrella, Caldas y Medellín). De acuerdo con el DAP (2018), la ciudad cuenta con 2, 533,424 habitantes para el año 2020. Según el (PAC 2020) apoyado en las proyecciones del DANE, para el año 2035 la población Medellinense puede alcanzar 3.013.579 de habitantes. Esta dinámica de crecimiento, ha propiciado el uso intensivo del vehículo y ha acarreado que en los últimos años continuas coyunturas ambientales como resultado del desmejoramiento de la calidad del aire y el aumento de las emisiones atmosféricas, siendo las fuentes móviles las principales aportantes.

Mapa 1. Área Metropolitana del Valle de Aburrá



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Como respuesta a estas situaciones, la ciudad ha venido cualificando la red intermodal del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá –SITVA y en los últimos años, también ha concentrado sus esfuerzos hacia la electrificación del sistema de transporte masivo de los autobuses públicos. La ruta seguida en este proceso comienza a tomar fuerza con la expedición del decreto número 1221 de 2016, que reglamenta la estrategia para el fomento de la movilidad eléctrica en el Municipio de Medellín por parte del Concejo de Medellín. Así mismo, el Plan de Desarrollo Municipal Medellín cuenta con vos 2016- 2020, plantea como meta lograr la transición a la movilidad eléctrica como *“una opción amigable con el medio ambiente y específicamente con la calidad del aire que respiramos en el valle de Aburrá”* (Alcaldía de Medellín 2016, 409).

También en el año 2016, la Alcaldía de Medellín se adhirió al convenio marco de cooperación interinstitucional firmado en el 2015 entre la Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada Metro de Medellín, el Metroplús, las Empresas públicas de Medellín EPM y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA, para planificar acciones en torno a la movilidad urbana sostenible (Medellín Cómo Vamos 2020).

Sumado a lo anterior, la ciudad firmó en el año 2018 el pacto por la calidad del aire con el apoyo del grupo de liderazgo climático C40 y la participación de organizaciones del ámbito público, privado y de la academia, que asumieron compromisos para propiciar la disminución del uso de los combustibles fósiles, prácticas de movilidad urbana sostenible y la incursión de la movilidad eléctrica en el transporte público masivo de la ciudad. (Medellín Cómo Vamos 2018).

Estas acciones en conjunto, dieron como resultado el inicio del proceso de reconversión de los autobuses del transporte público a través de la prueba piloto de circulación del primer autobús eléctrico en el año 2018. Luego, en el año 2019 a través de invitación pública, se adquirieron con recursos públicos 64 buses eléctricos que se incorporaron a la línea O del SITVA. La ciudad fue en ese momento, pionera en la región en la implementación de autobuses eléctricos y la primera en el país con una flota de 64 buses con estas características.

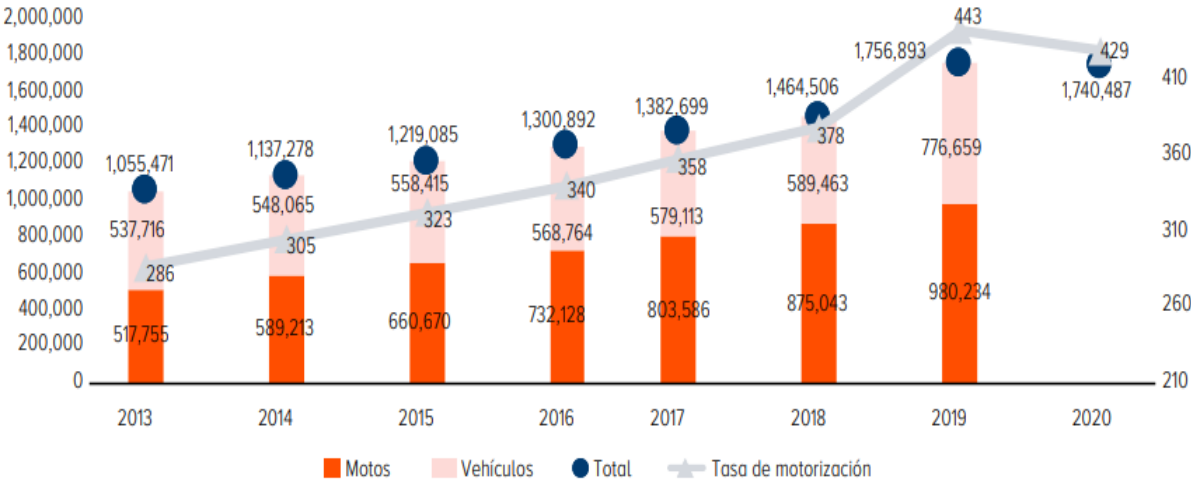
Esta experiencia en torno a la electromovilidad en el transporte público masivo de la ciudad de Medellín, se precisa con indicadores concretos que se encuentran enunciados en el Plan de Acción Climática, formulado en el año 2020 con la asesoría de la organización C40. Allí se

evidencia como estrategia para la disminución de los gases efecto invernadero, una migración paulatina de los vehículos del servicio público masivo hacia la electromovilidad (PAC 2020).

El transporte público en Medellín: Un enfoque desde la movilidad urbana sostenible

Si bien la ciudad de Medellín ha venido incentivando desde tiempo atrás la intermodalidad de los sistemas de transporte masivo, en el periodo 2016- 2020 la tasa de crecimiento de los autos y motos denotan una tendencia creciente. De acuerdo con Medellín Como Vamos (2020), entre los años 2013 y 2020 se denota un crecimiento de la tasa de motorización representada en los autos y las motos. En año 2016 se identifica una tasa motorización representada en parque automotor de 340 por cada mil habitantes, mientras que en el año 2020 se denota una tasa de 429 automotores. Es de anotar que, si bien en este año hubo una leve disminución del 3,0% respecto al 2019, la tendencia es notablemente progresiva en los últimos años, como se puede evidenciar en el gráfico 1.

Gráfico 1. Tasa de motorización y parque automotor estimado del Valle de Aburrá. 2013- 2020



Fuente: Medellín Como Vamos. 2020

Esta situación, como secuela de la densificación urbana, se conjuga con las condiciones geográficas de la ciudad, conllevando a que en los últimos años se presenten contingencias relacionadas con el aumento de material particulado en el aire (PAC 2020), por ejemplo, la medición el índice de calidad del aire ICA para PM2.5 en el periodo de febrero a marzo del año 2020, reveló emisiones contaminantes para grupos sensibles, ocasionando en el mes de marzo la alerta roja de calidad del aire perjudicial para la salud. (EAFIT y AMVA, 2020, 18).

Las emisiones atmosféricas que se presentan durante estos momentos de crisis en la ciudad tienen diferentes consecuencias. En el caso de la salud, han incidido en ocurrencia de enfermedades y la mortalidad por eventos de tipo crónico vinculados a contaminantes atmosféricos PM10, PM2.5 y O3 (UDEA y AMVA, 2018, 71). En términos de la movilidad, han conllevado a la implementación de medidas inmediatas, como las restricciones continuas para la circulación de los vehículos en ciertos días y horarios de la semana; también para grupos sensibles como niños y adultos mayores, cuando se ha evidenciado una alerta roja de las estaciones. En cuanto a las medidas contempladas a mediano y a largo plazo, para responder a esta coyuntura ambiental, la reconversión de los autobuses del sistema público a buses eléctricos, es una de las alternativas recomendadas en el Plan Integral de Calidad del Aire PIGECA (AMVA y CLEAN INSTITUT 2017).

Ahora bien, en el marco del cambio climático, otro aspecto fundamental al que busca hacerle frente la ciudad, es su contribución a los gases efecto invernadero GEI. Según WWF y MADS (2021), en el periodo de 2016- 2019 las emisiones de CO2 generadas por el transporte, presentaron un leve aumento que se expresa en 1.496.485, 1.511.331, 1.515.231 y 1.570.087 toneladas. De estas emisiones, el transporte por carretera contribuyó con el 99,1% de las emisiones, mientras que el transporte ferroviario (Metro, Tranvía y cables aéreos) aportaron el 0,9%.

Características del sistema público masivo de transporte de la ciudad de Medellín

El Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá - SITVA, está compuesto por los diferentes modos transporte de la ciudad de Medellín y su Área Metropolitana (AMVA 2022). El Metro de Medellín, que inicio sus operación en 1995, es el más importante, porque cumple una función articuladora de los otros medios de transporte con que cuenta la ciudad. Este sistema de transito férreo moviliza aproximadamente un millón quinientos mil usuarios diarios. Cuenta con 2 líneas con una longitud de 31. 3 kilómetros, consta de 27 estaciones distribuidas en el interior de la ciudad y en los municipios del norte y sur del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (Metro de Medellín 2022) También tiene a disposición 6 líneas de cable aéreo eléctrico (Metrocable), conformado por telecabinas aéreas con capacidad en promedio para 10 personas. El Metrocable tiene un total 14, 66 kilómetros (Metro de Medellín 2022), presta sus servicios con destino a la zona noroccidental, nororiental, centro oriental y al occidente de Medellín.

Los subsistemas del Tranvía y el Metroplús también operan articulados al Metro. El primero de ellos denominado Tranvía, es una flota ferroviaria de 12 tranvías eléctricos con capacidad para 310 personas y un carril exclusivo de 4,2 km. En su recorrido cuenta con 7 paradas y dos estaciones que se dirige hacia la zona centro oriental de la ciudad. (Metro de Medellín 2022). En algunos puntos o estaciones del recorrido, los usuarios pueden integrarse al Metro, al Metrocable y al Metroplús.

En cuanto al Metroplús, se trata de un sistema de buses de tránsito rápido (BTR) de capacidad mediana que atraviesa la ciudad de oriente a occidente. Tiene a disposición 27 estaciones distribuidas en las líneas 1 y 2. La flota de buses y padrones de este modo de transporte, se desplazan por carriles exclusivos. Aunque el sistema usa gas natural vehicular en sus operaciones, gradualmente está incorporando los buses eléctricos a su flota (AMVA 2022). En algunos puntos o estaciones del recorrido, los usuarios que utilizan el Metroplús pueden integrarse al Metro, al Tranvía, a las estaciones de Encicla y a la línea O de los buses eléctricos integrados al SITVA.

En cuanto a los buses del transporte masivo, el sistema de los buses alimentadores y rutas integradas al Metro complementan el sistema. Según (AMVA 2022), son alrededor de 35 rutas que se movilizan hacia diferentes destinos de la ciudad y del área metropolitana. De otro lado, están los buses del transporte público colectivo de pasajeros (TPC), conformado por las rutas operadas por diferentes empresas privadas de transporte de la ciudad. También están articuladas al Metro, las bicicletas públicas del Valle de Aburrá - Encicla, el cual cuenta con diferentes estaciones de préstamo a lo largo de la ciudad, algunas de las cuales están integradas al sistema. (AMVA 2022).

Los objetivos que orientan al SITVA, tienen como finalidad integrar los diferentes modos de transporte a partir de la articulación de la infraestructura, la integración virtual, operacional y tarifaria; garantizar la prestación de un servicio eficiente, accesible, seguro y económico y promover el uso del transporte masivo del transporte no motorizado para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire. (AMVA 2022).

En los últimos años, pese a estos avances en la movilidad urbana de la ciudad, las problemáticas descritas, la influencia de las agendas internacionales como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, han demostrado la importancia de inclinarse

hacia opciones de movilidad más sostenibles. Esta necesidad se incorpora a los instrumentos de planificación, como el Plan de Acción Climática (2020), el Plan de Desarrollo Municipal 2016- 2020, entre otros que, consideran como apuesta fundamental para la ciudad, la reconversión del transporte público masivo hacia la electromovilidad.

A partir de este contexto, esta investigación busca responder a la pregunta ¿Qué estrategias se implementaron en Medellín durante el proceso de transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la electromovilidad como alternativa de mitigación frente al cambio climático? Para ello se proponen los siguientes objetivos como guía al desarrollo de la investigación, pero también como aporte al debate de la electromovilidad, tomando como caso de estudio la ciudad de Medellín, Colombia.

- **Objetivos**

Objetivo general

Analizar las estrategias implementadas en la ciudad de Medellín durante el proceso de transición de los buses del sistema público masivo hacia la electromovilidad, como alternativa de mitigación al cambio climático, en el periodo 2016- 2020.

Objetivos específicos

- Identificar los aspectos que conllevaron a la transición de los autobuses del sistema público masivo hacia la electromovilidad, en la ciudad de Medellín, durante el periodo 2016- 2020.
- Analizar cómo se implementó el proceso de transición de los autobuses del sistema público masivo hacia electromovilidad, en el periodo 2016- 2020.
- Analizar la incidencia en la mitigación del cambio climático que han tenido los autobuses eléctricos en la ciudad de Medellín.

Capítulo 1. Crecimiento urbano, movilidad urbana sostenible y electromovilidad

Desde la perspectiva teórica de metabolismo urbano, este capítulo aborda el impacto que tiene el crecimiento de las ciudades y el uso de combustibles fósiles en los medios de transporte, como un factor detonante de las emisiones de gases el efecto invernadero GEI. En este sentido, también hace un tránsito por las estrategias de mitigación que para enfrentar estas situaciones, vienen construyendo las ciudades a mediano y a largo plazo desde la categoría de movilidad urbana sostenible, haciendo hincapié en la electromovilidad como una alternativa de transporte limpio y en las barreras y capacidades e implicaciones para las ciudades latinoamericanas para su inserción en el transporte público masivo.

1.1 Crecimiento urbano, transporte y cambio climático

En términos de Díaz (2014,1) el crecimiento urbano de las ciudades en Latinoamérica, es un determinante crítico que obstaculiza el desarrollo económico, afecta la salubridad de sus habitantes, perturba el ambiente y disminuye los servicios que prestan los ecosistemas de amortiguamiento. Las urbes son espacios de presión donde está latente el riesgo de sobrepasar la homeostasis, la capacidad de adaptabilidad y por ende, acrecentar la vulnerabilidad. Cuando los sistemas naturales de las ciudades se ven rebasados, provocan el surgimiento de numerosas problemáticas como el cambio climático, la contaminación del aire y otras situaciones que pueden ocasionar la devastación del hábitat.

Díaz (2014), explica que la ciudad puede entenderse como un organismo vivo constituido por elementos bióticos y abióticos, que requiere para su sostenimiento del intercambio de energía y materia a nivel interno y externo. A diferencia de lo que ocurre con los sistemas naturales que tienen una mejor capacidad de autorregulación de sus interacciones, los sistemas urbanos son sistemas abiertos y complejos, en vista que para su desempeño utilizan gran cantidad de energía y el intercambio continuo de flujos de materiales, que luego son desechados a través energía disipada y materiales degradados (Delgado et al, 2012).

En términos de Toledo (2013) el proceso metabólico es social y tiene dos connotaciones, una material y otra intangible. La connotación intangible está vinculada el contexto donde tiene lugar el proceso metabólico material. Este está significado por las relaciones sociales, las instituciones, las costumbres y acuerdos, estructuras de gobierno y de propiedad, que tienen una amplia incidencia en el soporte de dichos procesos.

En términos materiales el metabolismo se manifiesta en dos momentos, inicia cuando las personas toman del hábitat natural, materiales y energías para su transformación y consumo y culmina en el momento en que estos flujos de materiales y de energía son convertidos en desechos y en emisiones. Este proceso metabólico (Toledo, 2013, 47- 50) está representado por la cadena de los siguientes fenómenos:

- La apropiación: consecución y acaparamiento de los recursos naturales por parte de los seres humanos, que generalmente transforman los ecosistemas.
- La transformación: reconfiguración o transformación de los elementos extraídos de la naturaleza. A lo largo del tiempo, este proceso se ha ido volviendo una actividad más compleja empleando diferentes energías.
- La circulación: tránsito que siguen los elementos transformados o no transformados hasta su consumo.
- El consumo: fenómeno donde está involucrada toda la sociedad en mayor o en menor medida. Está atravesado por las necesidades de consumo determinadas por la sociedad.
- La excreción: una vez realizado el proceso de consumo de los recursos, es la disposición de residuos, desechos, sustancias, emisiones y calor al interior de las ciudades y en zonas adyacentes, conformando un intercambio de flujos a diferentes escalas que van de lo local hasta lo planetario.

En perspectiva de cambio climático, esta trayectoria metabólica se evidencia en la emisión de gases efecto invernadero GEI. Desde el aspecto ambiental, se traduce en la generación de emisiones atmosféricas (Delgado, 2014, 154).

El transporte es uno de los principales factores que alteran el equilibrio urbano. Es generador de emisiones de gases efecto invernadero GEI, su funcionamiento aún está sujeta a la energía suministrada por los combustibles fósiles. Esta situación que comenzó con la incorporación de los combustibles para el suministro de energía y fuente esencial del transporte, es un proceso que se ha incrementado, hasta lograr el debilitamiento de los recursos naturales y la ocurrencia de sucesivos eventos contaminantes. (Vásquez 2008).

Al respecto, Delgado et al (2012, 15) plantea que la disminución del impacto del subsector del transporte en el consumo energético y la reducción de emisiones, debe gestarse en el marco

de una transformación del paradigma de la movilidad urbana, orientada a la integración, a la eficiencia, al servicio masivo de carácter no motorizado y asociado la redensificación y al uso mixto del suelo.

A la luz de la categoría de metabolismos urbano, (Delgado 2014, 168) argumenta que las gestiones que desarrollan las ciudades no deben ser exclusivamente de tipo tecnológico o de infraestructura. Para este autor se requiere una reestructuración de fondo, desde soluciones locales que no siempre deben estar alineadas o estandarizadas bajo criterios o lineamientos globales, en tanto que estas medidas, si bien son útiles; no resultan idóneas si no parten de la forma y la función que cumplen los espacios construidos. Desde esta lógica, apela por la ruptura de ideas dominantes y el despliegue de otras modernidades emancipadoras desprendidas del mercado, como una manera de reconfigurar el sistema de producción y de reproducción social.

1.2 Movilidad urbana sostenible como respuesta al cambio climático

La movilidad urbana sostenible MUS, es una alternativa a las problemáticas urbanas de cambio climático, con un amplio influjo en el planeamiento urbano y las políticas públicas de América Latina y el Caribe ALC. Ofrece una visión integral a las situaciones y requerimientos de movilidad de las ciudades *“sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (ONU HABITAT 2013, 5). Algunos de los retos que busca resolver la movilidad urbana sostenible, están relacionados con el fortalecimiento de la relación entre el uso del suelo y la movilidad, el acceso equitativo a los medios de transporte, el manejo de recursos para optimizar los beneficios y menguar los costos, la sostenibilidad ambiental orientada a disminuir el calentamiento global, la huella de carbono, la dependencia del petróleo y la movilidad en autos privados. Además, la implementación de políticas públicas que tengan una visión amplia de estos asuntos (ONU-HABITAT 2013).

Desde otra óptica, Van Laake y Quiñones (2019, 90) argumentan que en las políticas de movilidad sostenible de América Latina y Caribe hay una distancia entre los propósitos establecidos desde las directrices oficiales y las estrategias que realmente se alcanzan a materializar realmente. Aunque las ciudades se han comprometido con las agendas globales de sostenibilidad y eficiencia, en la práctica; las inversiones, los subsidios y los impuestos dan cuenta de lo complicado que es para las ciudades este tipo operaciones.

Para el Centro de Desarrollo Sostenible para América Latina CODS (2021), las limitaciones de las ciudades latinoamericanas para adelantar propuestas de movilidad urbana sostenible, están relacionadas con la falta de recursos para el financiamiento, dificultades en los esquemas normativos y la operación de alternativas de bajas emisiones, así como en la falta de articulación entre los actores de la gobernanza multinivel para la toma de decisiones. El CODS (2021,10) manifiesta que *“la transición hacia sistemas de movilidad sostenible y de bajo carbono debe contemplar el mejoramiento del acceso universal y equitativo a oportunidades culturales, educativas y laborales, entre otras. De esta manera la acción climática y la movilidad sostenible también significarán acción social”*.

La implementación de la electromovilidad como estrategia de movilidad urbana sostenible, debe darse de forma simultánea o incluso posterior, al logro de aspectos relacionados con la universalidad y accesibilidad a los servicios de transporte, el financiamiento y fortalecimiento del transporte público, la integración de diferentes modos de transporte, así como la promoción de otros medios no motorizados y la formulación de políticas e instrumentos públicos, tarea que no siempre resulta fácil, sobretodo para las ciudades latinoamericanas.

1.3 Algunas implicaciones de la electromovilidad en ALC como modo de transición energética

La transición energética que se está dando actualmente en América Latina tiene diversas implicaciones, además de los asuntos relacionados con los aspectos que deben anteceder o suceder simultáneamente a la implementación de la electromovilidad abordados en el acápite anterior, Fornillo (2019) plantea un debate en términos de las implicaciones que acarrea para las ciudades latinoamericanas, aspectos como la reestructuración de la infraestructura energética y la manera como se tramita la energía para lograr una innovación tecnológica local, la desconcentración de su funcionamiento de ciertos ámbitos y propiciar su democratización en el escenario de los vínculos de dependencia Norte - Sur.

Estos asuntos cobran relevancia en el horizonte próximo, si se vislumbra que el litio, como herramienta indispensable para el funcionamiento de las baterías eléctricas de los vehículos eléctricos, se concentra en grandes cantidades en el triángulo del litio situado en territorio Boliviano, Chileno y Argentino (Fornillo 2019), condición que también conlleva a plantear retos en cuanto a las repercusiones y problemáticas derivadas de su extracción en los próximos años.

De acuerdo con Fornillo (2019), algunas de las problemáticas y desafíos que implica esta transición energética para la región latinoamericana, radican en primer lugar, en el proceso extractivo que implica el litio, las consecuencias ambientales y la tendencia a ubicar los países suramericanos como simples exportadores de materias primas. En segunda instancia, el litio es un material fundamental para la generación de múltiples cadenas de valor, lo que conlleva a plantear el carácter amplio de comercialización que tendrá en los años venideros en el nuevo mercado eléctrico. En tercer lugar, esta nueva línea energética puede convertirse en una estrategia para deconstruir el consumo de energía fósil, analizar los modelos de desarrollo y explorar las políticas públicas de integración regional y la estructura asimétrica entre las relaciones norte y el sur global.

En términos generales, la transición energética como en el caso de la electromovilidad que trasciende el uso de combustibles fósiles, requiere no solo de la reestructuración de las infraestructuras energéticas, también implica una nueva forma de gestionar la energía, de interacción con el medio ambiente y de reconsiderar la idea de desarrollo (Fornillo 2019, 25).

1.4 La electromovilidad como una alternativa de movilidad urbana sostenible

El cambio climático, la mala calidad del aire y las dificultades geopolíticas en torno a la producción del petróleo, son factores que han posicionado el interés por los vehículos eléctricos (PNUMA 2020). Si bien la electromovilidad en América Latina y el Caribe no tiene la misma incidencia que tiene en otras latitudes, algunas ciudades de la región como en el caso de Santiago de Chile, presentan avances significativos.

Pese a estos avances, Fornillo (2019) argumenta que la transición energética y la modernización del mercado energético de Chile, está apoyado en un perfil conservador, en la sobreexplotación de los recursos como proyecto de país; que lo supedita a la neodependencia, agudiza las inequidades sociales y conlleva a un modo de acumulación ampliada.

En términos generales en América Latina y el Caribe, los avances son lentos. La razón de este rezago en la implementación de la electromovilidad en la región, según CAF (2020), se explica en las barreras económicas para lograr el financiamiento, la falta de conocimiento propio alrededor de esta nueva tecnología, la ausencia de políticas públicas que apoyen y acompañen estas iniciativas y las limitaciones para adecuar la infraestructura requerida para la operación (ver tabla 1.1).

Tabla 1. 1. Barreras para la implementación de la electromovilidad en los buses del sistema del transporte público

BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTROMOVILIDAD				
Barreras financieras	Barreras tecnológicas y de Conocimiento	Barreras Políticas estatales	Barreras en la adecuación de infraestructura	Barreras de funcionamiento y operación
-Los elevados costos de inversión inicial para la adquisición.	-La ausencia de información sobre la tecnología eléctrica. -Necesidad de formación de conductores y mecánicos especializados. Ausencia de información confiable.	-En algunos países hay subsidios a los combustibles fósiles, limitando la introducción de este tipo de movilidad. -Ausencia de tarifas eléctricas específicas para el transporte. -La adaptación de los vehículos, a dimensiones y pesos, a la normativa de cada país.	-Se requiere inversión en infraestructuras de recarga eléctrica	-Las baterías de los buses eléctricos tienen unos alcances limitados. -No existe un mercado de autobuses eléctricos en la región. -Hay dependencia del fabricante para los repuestos. -Poca certeza durante la fase de operación alrededor de la vida útil y sostenimiento de las unidades.

Fuente: CAF. 2020

Para superar estas barreras y darle continuidad a los primeros pasos emprendidos por las diferentes ciudades de la región para lograr la transición de los buses del sistema público masivo hacia la electromovilidad, es necesario que los países y los gobiernos locales, dispongan de una serie de planes y aprendizajes de otras experiencias para superar estas barreras. Al respecto CAF (2020), sugiere y recomienda una serie de medidas, que están orientadas a mitigar los obstáculos identificados durante el proceso de reconversión de los buses del sistema público masivo basado en diésel al sistema eléctrico (ver tabla Nro. 1.2)

Tabla 1. 2. Recomendaciones para la implementación de la electromovilidad en los buses del sistema del transporte público

RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTROMOVILIDAD EN EL TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO				
Medidas financieras	Medidas tecnológicas y de conocimiento	Medidas Políticas/ estatales	Medidas para la adecuación de la infraestructura	Medidas de funcionamiento y operación
<ul style="list-style-type: none"> -Conseguir la viabilidad financiera del operador. -Participación activa de la administración pública -Solicitud de fondos verdes. Apoyo de la banca multilateral 	<ul style="list-style-type: none"> -Formación de los operarios a través de las empresas fabricantes. -Contratación del fabricante para realizar el mantenimiento de la parte eléctrica -Diversificación del mercado de los buses para no depender de un solo fabricante. -Realización de pliegos técnicos abiertos a cualquier tecnología de recarga. 	<ul style="list-style-type: none"> -Políticas de reducción progresiva de los subsidios a los combustibles fósiles. -Adecuar el régimen tarifario a la realidad de la nueva necesidad energética. -Creación de un marco regulatorio que incluya la homologación de los buses eléctricos, en lo que respecta al motor eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> -Participación de las empresas eléctricas o fabricantes de buses que ofrezcan diseños de infraestructura de baterías recargas económicos. -Estudio de las baterías a utilizar de acuerdo a las características del trazado y la operación. -Seguir las recomendaciones del fabricante sobre ciclos de carga y descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pruebas piloto Comités técnicos y estudios especializados. -Intercambio de experiencias internacionales. -Garantías de los proveedores durante la operación. -Realización de estudios técnicos especializados e independientes.

Fuente: CAF. 2020

Los aprendizajes de los países y ciudades que tienen un acumulado en la región en este tipo procesos, como es el caso de Santiago de Chile, evidencian que es necesario romper algunos paradigmas a través de la puesta en marcha de pruebas piloto para adecuar el sistema a las necesidades locales. A la luz de esta experiencia de ciudad, recopilada por Navas et al, (2021) se evidencia que es necesario concebir proyectos que más allá de cambiar flotas de buses diésel a buses eléctricos, tengan un objetivo estructurante enfocado en la resolución de los problemas particulares del sistema de transporte público, a través de metas realizables en el corto y mediano plazo.

También consideran que el apoyo de las autoridades gubernamentales y la sinergia entre los diferentes actores de la gobernanza multinivel de la ciudad, es un factor clave. Por otro lado, resaltan como la implementación del modelo de negocio bajo un esquema de sostenibilidad financiera, permitió la masificación de la tecnología probada en las gestiones y pilotos realizados. Por último, resaltan que si bien la reducción de emisiones atmosféricas y sonoras no formaba parte de los beneficios iniciales contemplados en el proyecto, la valoración de estos aspectos cambió de forma significativa con la implementación del proyecto. (Navas et al, 2021)

1.5 Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo de la investigación, se enmarca en un enfoque de corte cualitativo que brinda herramientas para lograr analizar cómo se llevó a cabo el proceso de transición de los autobuses hacia a la electromovilidad en la ciudad de Medellín, como estrategia de mitigación del cambio climático. En este sentido, como lo expresa Sandoval (2002), esta estrategia metodológica se concentra en el proceso de descubrimiento y hallazgos a partir de la interacción y el esclarecimiento paulatino con la unidad social que se está analizando, apoyándose en la inducción analítica y sin pretender llegar a conclusiones generalizables (Hernández, et al, 2014). En el marco de este enfoque, se contempla como estrategia en sintonía con los fines de la investigación, el estudio de caso, en tanto como lo plantea Durán (2012), se constituye en una alternativa para abordar un acontecimiento en su contexto y lograr su comprensión desde la descripción detallada y a profundidad del hecho. La razón por la cual se optó desarrollar el estudio de caso en la ciudad de Medellín, obedece al potencial de aprendizaje que ofrece esta urbe, en vista que fue la primera ciudad en Colombia en implementar la transición hacia la electromovilidad y es considerada pionera en el ámbito de América Latina y el Caribe en este tipo de procesos.

Técnicas para la recolección, procesamiento y análisis de información

En la trayectoria trazada para el alcance del objetivo principal, se contemplaron como instrumentos propicios para la investigación, el análisis documental de textos, estudios, investigaciones, planes de acción, documentos normativos y periodísticos, así como datos de estadísticos descriptivos que contengan información relacionada con las estrategias que se propuso implementar la ciudad durante la transición de los buses del sistema público masivo hacia electromovilidad. Esta técnica, simultáneamente permitió el reconocimiento de los actores intervinientes, así como de los roles que asumieron en este proceso. Como criterio

fundamental para la recopilación de esta información, se contempla que dichos documentos se hayan producido en los últimos 5 años, en tanto responden al periodo propuesto para el análisis; es decir 2016 - 2020.

Ahora bien, en cuanto a las técnicas utilizadas para desarrollar el primer objetivo específico, se considera el análisis documental como un aliado fundamental, dado que brinda luces acerca de datos estadísticos relacionados con las emisiones atmosféricas, los gases efecto invernadero, así como la comprensión de la información relacionada con las decisiones tomadas por los diferentes actores de la gobernanza multinivel, entre otros asuntos, que permitan un entendimiento de las problemáticas que afrontó la ciudad durante el periodo 2016- 2020 y que fueron detonantes para propiciar la transición de los autobuses del sistema público masivo hacia la electromovilidad.

Para el segundo objetivo, referido a la implementación del proceso de transición de los autobuses del sistema público masivo hacia electromovilidad, la recolección de fuentes documentales académicas, institucionales y periodísticas es fundamental para entender todo el proceso. Además, se acude a la observación no participante dado que es una técnica que permite realizar un registro de elementos del contexto físico espacial, para relatar de forma escrita y a través del lenguaje de la fotografía como se materializó en la ciudad la reconversión de los buses hacia el sistema eléctrico y cómo opera y funciona actualmente. Finalmente, para el último objetivo que consolida aspectos relacionados con los impactos de esta transición de los autobuses en la mitigación del cambio climático, la indagación de fuentes documentales, es una técnica imprescindible para el análisis, junto con la recopilación de algunos datos estadísticos descriptivos que dan cuenta de los hallazgos y resultados de la experiencia concreta de la ciudad de Medellín.

Fases o momentos claves de la investigación

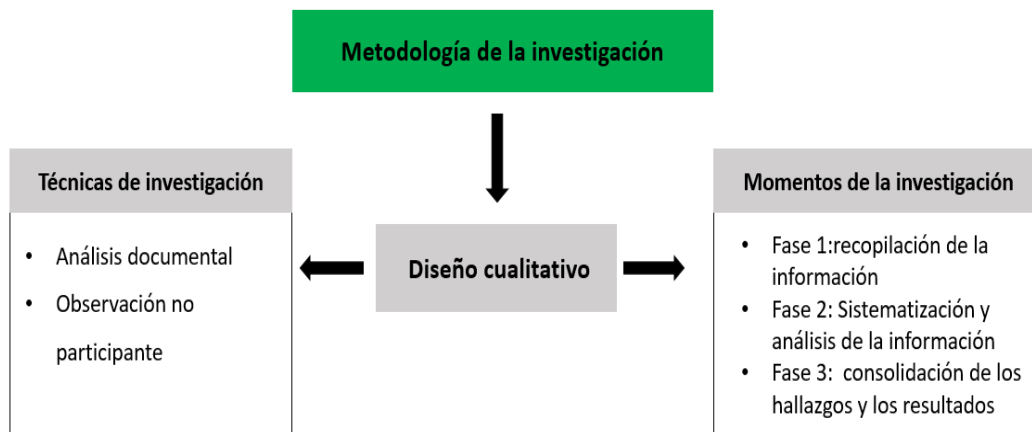
Fase 1 recopilación de la información: este primer momento partió del rastreo e inventario de los documentos disponibles que cumplieran con el periodo contemplado en la investigación y que permitieron esclarecer los objetivos propuestos. Una vez identificados, se clasificaron por categorías y se seleccionaron a través de una lectura profunda. Luego a través del cruce de la información resultante, se consolidó una síntesis, que logró identificar aspectos claves de la ruta emprendida por la ciudad de Medellín en el proceso de transición de los autobuses. Este acercamiento documental, permitió luego llevar a cabo el trabajo de campo, consistente en la

observación no participante, donde se registraron situaciones y aspectos relacionados con la implementación de la electromovilidad en la ciudad. Esta estrategia facilitó corroborar y contrastar en el entorno mismo de la ciudad, la información recopilada durante el proceso de rastreo documental.

Fase 2 Sistematización y análisis de la información: la siguiente fase estuvo orientada a la organización y sistematización de los datos recopilados. A través de categorías de análisis resultantes de los objetivos propuestos, se logró la sistematización cronológica de la información recopilada a partir del reconocimiento de hitos y actores claves en el proceso de transición hacia la electromovilidad. Una vez ordenada la información, se procedió a la triangulación y al análisis de los datos a la luz de los propósitos propuestos.

Fase 3 consolidación de los hallazgos y los resultados: una vez analizada la información recopilada durante todo el proceso investigativo, se realizó una síntesis de los principales hallazgos y conclusiones identificadas, que se consolidaron desde aspectos relacionados con el marco teórico propuesto, las categorías de electromovilidad, mitigación del cambio climático y movilidad urbana sostenible.

Gráfico 1. 1. Metodología de la investigación



Fuente: Trabajo investigativo

Capítulo 2. La experiencia de la ciudad de Medellín en la transición de los autobuses de transporte público masivo hacia la electromovilidad: una alternativa de mitigación al cambio climático

En este capítulo se abordarán los factores que conllevaron a la ciudad de Medellín a implementar la transición de los autobuses del transporte público masivo hacia la electromovilidad, durante el periodo de 2016 - 2020. En un primer momento se hace referencia al desmejoramiento de la calidad del aire como un asunto coyuntural que ha generado crisis paulatinas en los últimos años en la ciudad y posteriormente, se hará hincapié en la incidencia de las agendas globales de cambio climático en términos del propósito de la ciudad de lograr una movilidad urbana baja en carbono y contribuir a la mitigación del cambio climático. Ambos aspectos están relacionados con el uso de combustibles fósiles y se consideran determinantes en el camino emprendido por la ciudad de Medellín para la electrificación de los autobuses del sistema público masivo de transporte.

2.1. El desmejoramiento de la calidad del aire en la ciudad de Medellín

La contaminación del aire es una problemática mundial asociada a un estilo de vida urbano, a los comportamientos de movilidad y a las prácticas de consumo que deterioran la atmósfera. La Organización Mundial de la Salud (OMS) pone de manifiesto cómo la contaminación del aire es un riesgo medioambiental para la salud, provocando cada año alrededor 4,2 millones de defunciones prematuras, siendo los países de bajos ingresos los más proclives a las altas tasas de mortalidad. En vista de este panorama, recomienda la adopción de políticas que promuevan el uso de medios de transporte menos contaminantes (OMS 2021). En esta misma línea, los objetivos de desarrollo sostenible Nro.3 Salud y Bienestar, Nro.7 energía asequible, Nro. 9 industria innovación e infraestructura, Nro.11 ciudades y comunidades sostenibles y Nro.12 producción y consumos responsables; promueven desde distintas perspectivas la disminución de la contaminación del aire en las ciudades y la mitigación de sus efectos negativos en la población (ONU 2021).

La ciudad de Medellín al ser el eje central de una aglomeración metropolitana no está exenta de estos contratiempos. La ciudad se encuentra ubicada en un valle rodeado de montañas, que dificultan la dispersión de agentes contaminantes. Esta característica geográfica, es determinante para entender cómo la contaminación del aire es una situación recurrente.

Durante el paso del periodo seco al lluvioso, se presenta en la ciudad una capa límite atmosférica de poca altura que está influenciada por la alta dinámica de nubosidad, limitando la entrada de radiación solar y generando el enfriamiento del aire. Esta situación sumada a los vientos débiles, dificulta la dispersión de material particulado y de otras emisiones (AMVA, Clean Air Institute, 2017 citado en PAC 2020, 50).

La investigación realizada por la Universidad de Antioquia y el AMVA (2018) acerca de la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud de los habitantes de la ciudad, permitió concluir que en la corta duración el aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 y PM2.5 también puede incrementar el riesgo de los niños menores de 5 años a sufrir una enfermedad respiratoria. En cuanto a los efectos a largo plazo, los resultados evidencian que en la población con una edad superior a los 65 años, la exposición a PM10 aumenta entre un 14% y un 21% la ocurrencia de padecimientos respiratorios de tipo crónico y entre un 2% y un 8% la incidencia de tumores.

Las emisiones derivadas de los diferentes medios de transporte que se utilizan en la ciudad, tienen una amplia responsabilidad en la calidad del aire que se respira. Así lo demuestra la Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas para Fuentes Móviles del Valle de Aburrá, realizado en el año 2018. Esta investigación demuestra que del total de emisiones de PM2.5, el 91% corresponde a fuentes móviles, mientras que el 9% restante proviene de fuentes fijas (AMVA y Pontificia Universidad Bolivariana 2020).

En relación al impacto de los combustibles usados, el inventario destaca que la gasolina es el principal subsidiario de la emisión de gases como el monóxido de carbono CO, dióxido de azufre SOX y los compuestos orgánicos volátiles VOC, con el 94%, 93% y 94%, respectivamente. Mientras que el diésel es el principal aportante de los óxidos de nitrógeno NOX y material particulado PM2.5 con el 63% y el 90% de las emisiones (AMVA y Pontificia Universidad Bolivariana 2020).

A raíz de estas situaciones, el Plan de Desarrollo 2016- 2020 Medellín cuenta con vos, plantea en lo concerniente a la gestión de los sistemas de movilidad, incentivar la transición a la movilidad eléctrica como una medida para aportar al mejoramiento de la calidad de la ciudad. Complementario a lo anterior, en el año 2017 se formuló el Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire PIGECA. Este documento determinó que a pesar de los esfuerzos

realizados por la ciudad para cualificar el transporte, hay una serie de factores que en conjunto se constituyen en fuerzas motrices que propician el aumento de las emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá (AMVA y Clean Air Institute 2017). De acuerdo con el documento, estas serían las más determinantes:

- El crecimiento demográfico hacia las laderas, que ha conllevado a demanda de recursos, entre ellos el transporte, ocasionando mayores distancias en los desplazamientos de personas y servicios.
- El mejoramiento de los índices de calidad de vida de los habitantes de la ciudad, propicia el incremento de los ingresos, así como la capacidad adquisitiva de bienes y servicios, lo que se traduce en consumo de energía y presión sobre los recursos naturales.
- Los comportamientos de movilidad orientados al uso del vehículo privado
- La pérdida progresiva de la participación modal del transporte público.
- Poca renovación de vehículos y retraso en relación a la incorporación de nuevas tecnologías.
- Transporte de carga con alta incidencia de vehículos contaminantes
- La intensidad en el uso de combustibles fósiles.

A la luz de estos aspectos, el Plan Integral de Gestión de Calidad del Aire PIGECA (2017), recomendó una serie de medidas para hacer frente a la problemática de la calidad del aire de la ciudad. Es así como se plantea un modelo de movilidad eficiente a través de la incorporación de vehículos con bajas emisiones y emisiones cero (AMVA y Clean Air Institute 2017). Como medidas de gobernanza multinivel, para hacer frente a las problemáticas del desmejoramiento de la calidad del Aire de la ciudad, en el año 2018 se desarrolló la estrategia del pacto por la calidad del Aire que tuvo como propósito aportar al mejoramiento de la calidad del aire de la ciudad, a través de la vinculación de diferentes actores del ámbito Nacional y local y el acompañamiento de C40. Según la ACI (2021) se vincularon 83 actores incluida la Red C40 y se identificaron 446 compromisos con metas a 2030.

En la tabla 2.1 se evidencian las principales organizaciones que desde los diferentes niveles participaron del acuerdo a través de compromisos que aplican tanto el mejoramiento de la calidad del aire como para la disminución de emisiones de gases efecto invernadero. Es

importante anotar que, para los fines de la investigación solo se tomaron compromisos relacionados con movilidad urbana sostenible y la electromovilidad.

Tabla 2. 1. Actores de la gobernanza multinivel participantes del pacto por la calidad del aire de la ciudad de Medellín -2018

NIVEL	TIPO DE ACTOR	COMPROMISOS ASUMIDOS
Supranacional	Internacional/ C 40	En el marco del programa Deadline 2020, se propone el acompañamiento de asistencia técnica en la formulación del Plan de Acción climática de la ciudad
Supranacional	Comunidad ciclo 7	Convocar a la implementación de prácticas sostenibles y visibilizar a las organizaciones que se vinculen con estos compromisos
Nacional	ONG /Centro Nacional de Producción más limpia	El acompañamiento para la prevención y reducción de emisiones contaminantes.
Nacional	Público / Procuraduría Nacional de la Nación	Estimular en las entidades públicas acciones para mejorar la calidad del aire.
Nacional	Público/ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Políticas para la prevención y control de la contaminación atmosférica. La promoción de pilotos e iniciativas de electromovilidad
Regional	Público/ Gobernación de Antioquia	Coordinar la mesa regional de calidad del aire a través de acciones que permitan disminuir las emisiones a nivel departamental

Local	Público/ Alcaldía de Medellín	<p>La modernización del transporte público masivo de la ciudad.</p> <p>Promover la reconversión hacia la electromovilidad con iniciativas como los autobuses eléctricos, los taxis eléctricos, entre otras.</p>
Local	Público/ Área Metropolitana del valle de Aburrá	<p>Formular e implementar estrategias para reducir las emisiones contaminantes y promover una movilidad más limpia.</p>
Regional	Público/ Corporaciones autónomas regionales	<p>Poner en funcionamiento el plan institucional de movilidad sostenible.</p> <p>Garantizar el cumplimiento de la normativa actual y realizar la actualización de los inventarios de emisiones para anteponer acciones</p>
Local	Público/ Concejo de Medellín	<p>Efectuar control político y seguimiento a actores del orden municipal alrededor de las acciones contempladas y ejecutadas para el mejoramiento de la calidad del aire.</p>
Local	Sociedad civil / Mesas ambientales	<p>Participación propositiva en los espacios de formación y reflexión propuestos por los actores institucionales</p> <p>La promoción de escenarios locales espacios para gestión del conocimiento, prácticas en armonía con el ambiente.</p>
Local	Público/ Empresas públicas de Medellín	<p>Acciones orientadas a la movilidad sostenible. En calidad de empresa proveedora de servicios públicos, apoyar las iniciativas de energías limpias, alrededor del gas natural y la energía eléctrica</p> <p>Erigir infraestructura para proveer el suministro de gas natural y la energía eléctrica para vehículos.</p> <p>Darle continuidad a las acciones de reconversión de la flota de la empresa con la incorporación de vehículos eléctricos y a gas natural.</p>

Local	Público/ Metro de Medellín	Disminución de la huella de carbono corporativa. Implementación del Plan de Movilidad Empresarial Sostenible. Impulsar ejercicios que reduzcan las emisiones atmosféricas y los gases efecto invernadero. Amplificar la red de transporte con la inserción de tecnologías limpias.
Local	Público /Contraloría general de Medellín	Regulación y seguimiento en términos ambientales fiscales, y técnicos a asuntos relacionados con la problemática de la calidad del aire.
Local	Público/ alcaldías de los 10 municipios que componen el valle de Aburrá	Implementar desde sus dependencias acciones que contribuyan a mejorar la calidad del aire y la mitigación de GEI en la ciudad.
Local	Privado/ diferentes gremios de comerciantes, de transporte y empresas prestadoras de diferentes servicios	Respaldo a las iniciativas de movilidad sostenible, a las energías renovables que conserven el ambiente y a la promoción de la electromovilidad.

Fuente: Pacto por la calidad del aire. Medellín Cómo Vamos. 2018

2.2. La incidencia de las agendas globales de cambio climático en la ciudad de Medellín

El Acuerdo de París firmado en diciembre de 2015, sentó los parámetros para que los países firmantes como Colombia, asumieran el compromiso de promover actuaciones en torno a la mitigación del cambio climático en sus respectivas ciudades y localidades. El eco de estas acciones se pueden observar en ciudades como Medellín, que incluyó en sus apuestas de desarrollo local estrategias para contribuir a la disminución de los gases efecto invernadero. Es así como concibiendo la importancia del cambio climático, Colombia aprobó en 2017 la Política Nacional de Cambio Climático, documento donde se establecen las directrices para la gestión del cambio climático en el territorio nacional. En 2018 se creó la Ley 1931 de Cambio Climático, que tiene como objetivo establecer los lineamientos para la gestión del cambio climático a través de medidas de adaptación y de mitigación de gases efecto invernadero, para

reducir la vulnerabilidad y promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y un desarrollo bajo en carbono (Ley 1931 de cambio climático 2018). Por último, se destaca la Estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica, cuya intención es *“acelerar la transición hacia la movilidad eléctrica, teniendo como meta la incorporación de 600.000 vehículos eléctricos a 2030”* (MADS 2019, 39).

Respecto a la ciudad de Medellín, como se mencionó en el acápite anterior, durante este periodo la ciudad tuvo como prioridad gestionar y atender las crisis ambientales ocasionadas por la contaminación del aire, planteando acciones en torno a una movilidad más sostenible. Este aspecto, sumado a los acuerdos supranacionales y nacionales alrededor del cambio climático, comenzó a tener incidencia en las políticas públicas de la ciudad. Es así como desde el Concejo Municipal, se emite el Decreto 1221 de 2016 que reglamenta el Acuerdo Nro. 44 de 2015, por medio del cual se reglamenta la electromovilidad como una estrategia de mitigación. Complementario a esto, en el año 2017 se emite el Decreto 58 de 2017 a través del cual se promueve y se estimula el transporte público eléctrico en la ciudad de Medellín. Ahora bien, para ahondar en el tópico de cambio climático, es importante evidenciar que durante el periodo 2016- 2019, el inventario de gases efecto invernadero de las emisiones CO₂eq generadas por el sector transporte en la ciudad de Medellín, denotan un crecimiento. Los cálculos del subsector de transporte por carretera (II.1) tuvieron en cuenta las emisiones derivadas del uso de combustibles como la gasolina y su combinación con alcohol carburante, el gas natural, el diésel y su combinación con biodiesel y la energía eléctrica. Estas medidas permiten concluir que este subsector contribuye con la mayoría de las emisiones, es decir el 99,1% de las emisiones de CO₂eq, mientras que el subsector del transporte ferroviario (II.2) donde se tuvo en cuenta la energía eléctrica del sistema Metro (línea férrea, Tranvía y cables) aportó el 0,9%. (MADS Y WWF 2021).

Tabla 2. 2. Inventario de gases efecto invernadero 2016 -2019 (ton CO2eq)

Año	Código	II.1	II.2	II.3	II.4	II
	Subsector/ Alcance	Transporte por carretera	Ferrovial	Fluvial	Aéreo	Total Transporte
2016	Alcance 1	1.478.392	0	NO	NE	1.478.392
	Alcance 2	1	18.092	NO	NE	18.092
	Total	1.478.393	18.092	NO	NE	1.496.485
2017	Alcance 1	1.501.392	0	NO	NE	1.501.392
	Alcance 2	2	9.937	NO	NE	9.939
	Total	1.501.394	9.937	NO	NE	1.511.331
2018	Alcance 1	1.503.741	0	NO	NE	1.503.741
	Alcance 2	4	11.486	NO	NE	11.490
	Total	1.503.745	11.486	NO	NE	1.515.231
2019	Alcance 1	1.555.113	0	NO	NE	1.555.113
	Alcance 2	5	14.969	NO	NE	14.974
	Total	1.555.118	14.969	NO	NE	1.570.087

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y WWF. 2021

Es de anotar que en la ciudad de Medellín el subsector fluvial (II.3) no tiene esta actividad. En relación al subsector aéreo (II.4), no se logró calcular sus emisiones (NE) de combustible en aeronaves, debido a la dificultad de estimar el origen y destino de los viajes de los dos aeropuertos con que cuenta la ciudad.

Para finalizar, se destaca que con el ingreso de la ciudad a la Red de Liderazgo Climático de Ciudades C40 en el 2016, la Alcaldía de Medellín trazó una ruta para lograr la neutralidad del carbono a 2050. Estos aspectos se encuentran detallados en el Plan de Acción Climática 2020-2050, principal instrumento con que cuenta actualmente la ciudad para implementar y hacer seguimiento a las iniciativas de mitigación del cambio climático. De acuerdo a los compromisos nacionales y locales, se estipula como meta inmediata a 2023 la reducción de emisiones en 5 %. A mediano plazo, es decir a 2030, la disminución del 20% de las emisiones y como objetivo a largo plazo a 2050, se espera un carbono neutro (PAC 2050, 20). En el marco de estos escenarios, como se verá más adelante, la electromovilidad del transporte público masivo se presenta como acción estratégica del sector de transporte.

2.3. Proceso de transición de los autobuses del sistema público masivo hacia electromovilidad, en el periodo 2016- 2020

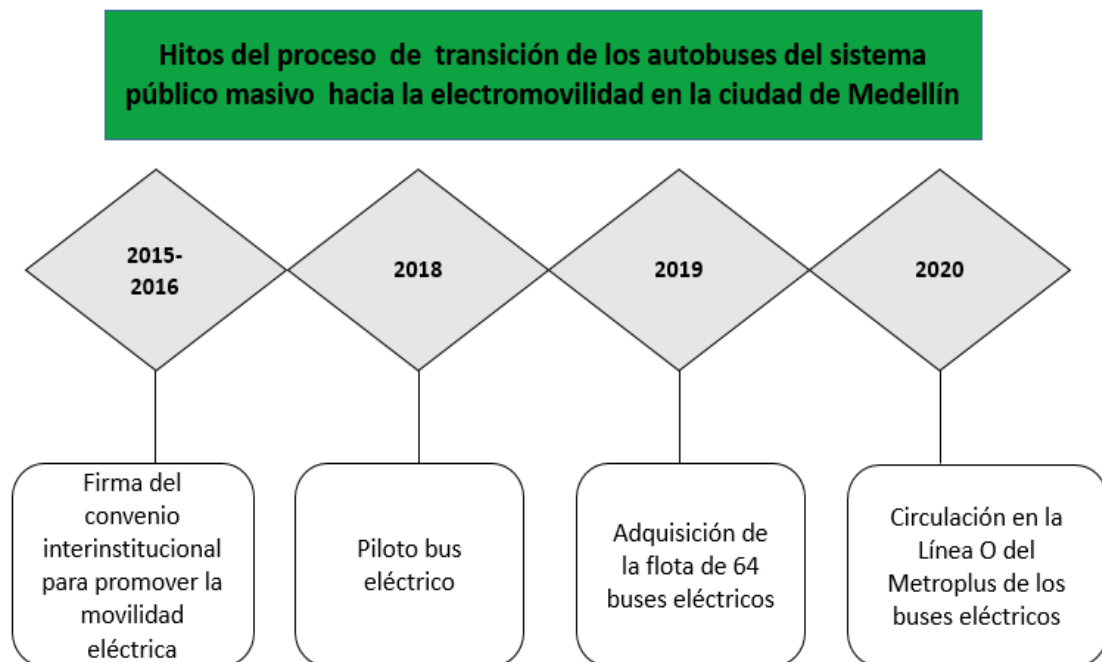
En los apartados anteriores se pudo evidenciar cómo la incidencia de la contaminación atmosférica, las agendas globales y políticas nacionales en torno al cambio climático fueron

factores determinantes para que la ciudad de Medellín diera inicio al proceso de transición de los buses del sistema público masivo hacia la electromovilidad. De manera que en este acápite se hará referencia al desarrollo y materialización de este proceso.

En el 2015 se firmó un convenio marco de cooperación entre el Área Metropolitana de Valle de Aburrá, las Empresas Públicas de Medellín como proveedores de energía y servicios, el Metroplús y el Metro de Medellín. En el 2016 la Alcaldía de Medellín se adhiere a este convenio que tiene como propósito la cooperación interinstitucional para intercambiar información, implementar programas y proyectos orientados a la gestión ambiental, la movilidad, y al saneamiento ambiental en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medellín cómo Vamos 2020).

En este convenio se establece analizar, estructurar y promover proyectos de movilidad eléctrica, que impactan la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida en la región. Este convenio trabajó en torno al análisis del mercado y posibles proveedores, para definir las características técnicas y especificaciones que debían cumplir los buses eléctricos. Luego, en marzo de 2018 se inició con la prueba piloto que consistió en la circulación del primer bus eléctrico, con características como una longitud de 18 metros, 20 toneladas de peso y con capacidad para transportar 160 usuarios. El costo fue de 1.900 millones de pesos aportados por el Metro y EPM (Alcaldía de Medellín 2018).

Gráfico 2. 1. Hitos de la experiencia de la transición de los buses del transporte público hacia la electromovilidad



Fuente: Trabajo investigativo

La compra se realizó a la multinacional china de BYD. Como características del bus, se resalta que es 100% eléctrico, con una velocidad máxima de 70 km/h y una potencia máxima de 360 - 492 caballos de fuerza. Con 450 kWh / 600 amperios/hora de capacidad energética de batería, las cuales son de hierro fosfato y son capaces de reducir la emisión de 135 toneladas de CO₂ al año (Revista carga pesada 2018). El bus se recarga de energía durante tres horas y puede recorrer alrededor 280 kilómetros con una única carga (Alcaldía de Medellín 2018).

Posteriormente, las entidades señaladas de liderar el proceso, diseñaron en noviembre de 2018 la licitación para la adquisición de una flota de 64 buses padrones nuevos y 100% eléctricos. La licitación estuvo a cargo de Metroplús. A continuación en la tabla 2.4 se da cuenta de algunas de las especificaciones exigidas a los proponentes.

Tabla 2. 3. Especificaciones de los buses eléctricos de acuerdo al proceso de invitación pública

Características	Buses tipo padrón, cero kilómetros. Cien por ciento eléctricos y propulsados a batería. Con una longitud máxima de 13.50 cm Con capacidad de 80 pasajeros. Con todas sus partes nuevas y originales. Se exige al proveedor incluir suministro, funcionamiento y garantía de los cargadores que alimentarán las baterías. El año de fabricación no puede ser menor de 2019.
Esquema de diseño	Se contempló la presentación de un esquema de diseño con dos vistas laterales, una frontal, una aérea y una trasera, los cuales durante el proceso de construcción deben ajustarse a los requerimientos de la ciudad.
Pruebas de fábrica	Se exige al proveedor la realización de pruebas pilotos forma previa para verificar que los buses, baterías y cargadores cumplieran con las exigencias y ajustan a la normativa nacional
Homologación	Se determina la homologación de la flota de buses ante el ministerio de Colombia
Pruebas serie de flota	Para garantizar que los buses se ajusten a las especificaciones, se exige al proveedor hacer pruebas de todos los sistemas que componen el autobús, cargadores y baterías conforme a la normatividad colombiana.
Pruebas y puesta a punto en la ciudad de Medellín	Se exige al proveedor que el autobús se ajuste a las condiciones geográficas de la ciudad, reajustando los parámetros necesarios para su operación y realizando diferentes pruebas en vías y rutas.
Servicio post venta	Se exige al proveedor contar un centro de servicio en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para el mantenimiento, así como disponibilidad de repuestos.
Capacitación a personal técnico y de conducción	Se exige al proveedor capacitación práctica y teórica de transferencia de conocimiento y presentar un programa de capacitación.

Licencias	<p>En el valor del contrato están incluidos los derechos por pago de licencias o trámites de software, partes, piezas y suministros que configuran la flota.</p> <p>Se exige al contratista ceder el uso de licencias software y garantizar el uso ilimitado.</p>
Cargadores	<p>Se plantea que los cargadores que alimentarán las baterías de los buses deben ser ofertados con una garantía igual o superior a la de la flota de buses. El año de fabricación no puede ser menor el año 2019.</p> <p>Se especifica en la propuesta técnica, que los cargadores serán estancos que deben cumplir con las normas técnicas colombianas. Se solicita al proveedor presentar validación del cargador de la batería por parte de la empresa proveedora de energía y garantizar su funcionamiento en la ciudad.</p> <p>El proveedor debe suministrar todos los repuestos de los cargadores y de la flota eléctrica durante el tiempo que dure la garantía.</p>
Proveedor de energía eléctrica	<p>La empresa Metroplús se encarga de seleccionar el proveedor para el suministro de la energía eléctrica.</p>
Garantías	<p>En la invitación pública se exige un paquete de garantías que incluye el alcance de la garantía en términos de diferentes eventos, el cubrimiento y suministro y cambio de repuestos y todos los sistemas que conforman el bus.</p> <p>También, el suministros de repuestos nuevos y originales durante el periodo de 10 años.</p> <p>La disponibilidad de mano de obra en la ciudad sin costo para las reparaciones relacionadas con temas de garantía.</p>

Fuente: Términos de invitación pública de ofertas Nro. 5. Metroplús. 2018

Una vez superado el proceso de invitación pública y de revisar diferentes propuestas económicas, técnicas y financieras. Metroplús adjudicó el contrato al consorcio Green Medellín, conformado por BYD Auto Industry Co Ltd. Company Limited y BYD Colombia SAS, para la adquisición de los 64 buses eléctricos. En esta operación la ciudad realizó una inversión de recursos públicos cercana a los \$75.000 millones. Posteriormente, en el mes de noviembre de 2019, la Alcaldía de Medellín anunció la incorporación de 17 buses con

capacidad para 80 pasajeros a la línea O del Metro que circula sobre la Avenida 80 (Revista VED 2019).

Es importante anotar que, desde la Alcaldía de Medellín (2019) se proyectó que la primera fase de circulación con los 17 buses públicos eléctricos, movilizaran alrededor de 19.000 personas diarias, mientras que para la segunda fase se contempló un total de 41 buses circulando que transportarán 47.000 usuarios.



Fotografía 2. 1. Buses eléctricos de la ciudad de Medellín. Fuente: Trabajo de campo

Luego, en el mes de marzo de 2020 cinco buses más entraron a reforzar las líneas 1 y 2 de Metroplús. No obstante, surgieron inquietudes ciudadanas respecto a la operación de los otros 42 buses restantes. Según lo documenta el Periódico el Colombiano (2020), la Administración Municipal informó que en ese momento la operación de los buses se estaba implementando a través de dos etapas. Para el año 2020 ya se había implementado la etapa 1 y 2 referida a la circulación de los buses a través de un proceso de rotación consistente en que unos días circulan por la línea O un grupo de buses y en los próximos días circulaba el otro grupo. Esta estrategia, se estableció en vista que la ciudad no contaba aún con toda infraestructura para propiciar la recarga de las baterías de los vehículos. Aspecto que como se mencionó en el

acápite anterior, claramente denota una de las dificultades o barreras importantes a las que se enfrentan las ciudades para la operación de los buses eléctricos.

En cuanto a las estaciones de carga necesarias que dispuso la ciudad para la recarga de las baterías de los 64 buses eléctricos, se evidencian un total de siete cargadores. Tres instalados en los patios de la Terminal del Sur y cuatro en la estación Universidad de Medellín. Cada vehículo tarda alrededor de dos horas en llevar sus baterías al cien por ciento (El Colombiano 2020).



Fotografía 2. 2. Estación de recarga de las baterías. Estación Universidad de Medellín. Fuente: Trabajo de campo

En relación a las características de las baterías, son de hierro fosfato y tienen una autonomía para circular hasta 300 kilómetros; es decir, alrededor de un día con una sola carga (Radio Santa fe 2019). De acuerdo con el Metro de Medellín, citado en CALAC (2021), como aspectos que merecen ser resaltados en el proceso de reconversión los autobuses públicos de la ciudad hacia la movilidad eléctrica se enuncian:

- La integración tarifaria física y la operacional
- La y gestión y articulación interinstitucional
- La gestión de activos y previsión de los costos del ciclo de vida de buses.

- La implementación de ejercicios pilotos
- La búsqueda de referentes internacionales
- La cercanía con el fabricante para temas de soporte y post venta.
- El proceso de formación de capacidades
- Las especificaciones técnicas y dimensionamiento de las baterías; los procedimientos de recarga y descarga y dimensionar la infraestructura de recarga.

2.3.1. Experiencia de campo alrededor de los buses eléctricos de la ciudad de Medellín

En su recorrido por la línea O del Metro, en sentido oriente - occidente, los buses eléctricos se integran a la Línea A del Metro en la estación Caribe, en inmediaciones de la Terminal de Transporte del Norte, donde los pasajeros tienen la oportunidad de acceder a este sistema, igual sucede en otros puntos del recorrido en línea B en la estación Floresta y con el Metroplús en la estación la Palma.

En el siguiente mapa esquemático que corresponde al sistema del Metro de Medellín y su integración con diferentes modos de transporte, se puede observar en la línea de color rosado, las estaciones y el recorrido que para el periodo investigado se implementó para la operación de línea O de los autobuses eléctricos. Los puntos rojos marcados sobre esta línea corresponden a las estaciones donde los usuarios durante el recorrido tienen la posibilidad de integrarse con las estaciones del Metro y el Metroplús.

Mapa 2.1. Mapa esquemático del Metro de Medellín. Recorrido de los autobuses eléctricos de la ciudad



Fuente: Metro de Medellín. <https://www.metrodemedellin.gov.co/viaje-con-nosotros/mapas>

A lo largo del desplazamiento de los autobuses se identifican diferentes paraderos a cada costado o sentido del recorrido. Los paraderos están señalizados tanto en la infraestructura de

metal donde se ubica y se sientan los pasajeros a esperar el bus, como en la bahía donde se ubica el bus para recoger a los pasajeros. El tiempo de frecuencia que se demora cada bus en pasar por cada uno de estos paraderos oscila entre los 8 y 12 minutos. En cada estación el bus se demora entre 30 segundos y un minuto en recoger a los pasajeros.



Fotografía 2. 3. Paraderos Buses eléctricos de Medellín. Fuente: Trabajo de campo

El nombre de las estaciones donde los autobuses recogen a los usuarios, están asociados a referentes urbanos, tales como barrios y equipamientos de la ciudad por donde los buses hacen el recorrido. A continuación se mencionan todas las estaciones y/o paraderos del autobús:

- Estación la Palma (con posibilidad de integración al Metroplús)
- Estación Villa de la Aburrá
- Estación Santa Gema
- Estación Laureles
- Estación los Pinos
- Estación floresta (con posibilidad de integración al Metro)
- Estación Calasanz
- Estación los colores
- Estación Facultad de minas

- Estación Ciudadela Universitaria
- Estación Pilarica
- Estación Córdoba
- Estación Universal (con posibilidad de integración al Metro).



Fotografía 2. 4. Paraderos Buses eléctricos. Estación Villa de Aburrá. Fuente: Trabajo de campo

En la parte externa del buses de color azul y verde, están plasmados los nombres de los actores que han estado involucrados en este primer proyecto de reconversión de los buses eléctricos de la ciudad, tales como la Alcaldía de Medellín, El Metro de Medellín, el Sistema de Buses Público del Valle de Aburra SIVTA y C 40, así mismo tiene plasmada publicidad donde se alude a que el bus es 100% eléctrico.



Fotografía 2. 5. Parte externa de los buses eléctricos. Fuente: Trabajo de campo

El autobús cuenta con un sistema de recaudo electrónico a través de la tarjeta Cívica, que también se utiliza para otros medios del sistema masivo de transporte de la ciudad y con los mismos costos que ofrece la integración tarifaria del sistema. Los buses no tienen torniquete, de manera que cada usuario realiza el pago de manera electrónica sin necesidad de que el conductor haga el recaudo directamente.



Fotografía 2. 6. Sistema de recaudo electrónico de los buses eléctricos. Fuente: Trabajo de campo

Para descender del bus, los pasajeros utilizan dos puertas intermedias que están a cada lado del bus. Ambas tienen un sistema elevador que permite el ingreso y la salida de las personas con movilidad reducida.



Fotografía 2. 7. Accesibilidad de los buses eléctricos. Fuente: Trabajo de campo

En el interior del bus, se pueden encontrar unidades habilitadas para cargadores USB, cámaras de vigilancia y un sistema de ventilación. Los asientos están distribuidos en cada lateral del bus y en la parte trasera del bus, sumando un total de 27. Según se encuentra plasmado en el bus, también pueden ir 53 personas de pie, para un total de 80 pasajeros.

Durante el recorrido, se van anunciando las diferentes paradas antes de llegar a cada estación a través de anuncios por altavoces e información escrita en los tableros electrónicos que están en la parte delantera del bus.



Fotografía 2. 8. Sistema informativo de los buses eléctricos. Fuente: Trabajo de campo

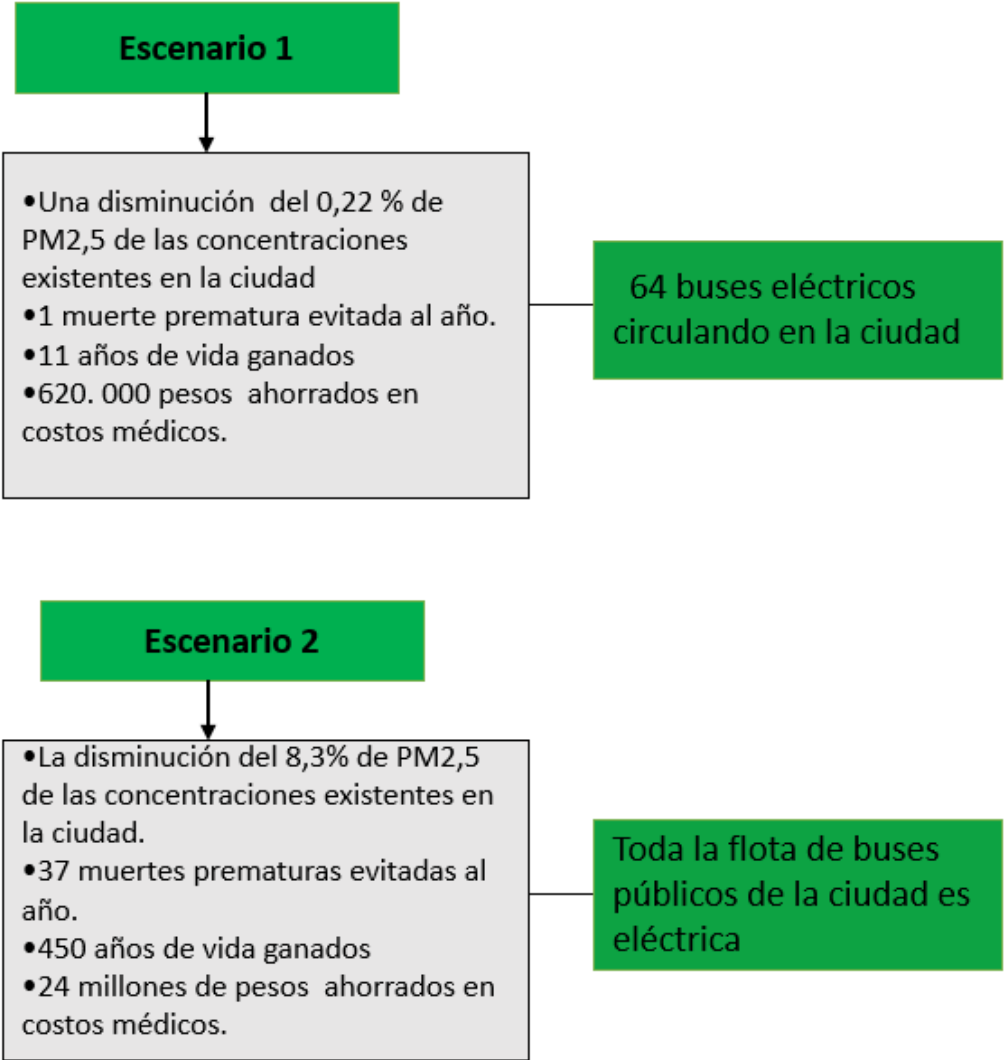
2.4. La incidencia en la mitigación del cambio climático del proceso de transición de los autobuses hacia electromovilidad en la ciudad de Medellín

En términos de los impactos que se denotan en la ciudad en relación a la mitigación del cambio climático, es importante mencionar que en tanto se trata de un proyecto joven, los resultados apenas se están evaluando desde algunos datos iniciales que aún no están soportados en estudios o investigaciones concretas. No obstante, de acuerdo con la Alcaldía de Medellín (2021), con la entrada en circulación de los buses eléctricos, se evitaron partículas de CO₂ equivalentes a 1.317 toneladas por año.

De otro lado, es pertinente hacer referencia al informe de asistencia técnica, realizado por C40 Cities, donde se hace hincapié en el análisis de los efectos sociales y económicos de sustituir flota de autobuses por vehículos eléctricos y evaluar el escenario actual con los 64 buses eléctricos circulando en la ciudad y un segundo escenario con todos los autobuses del sistema público masivo de la ciudad eléctricos para el año 2025 (C40 Cities 2020). En ambos casos se refleja la disminución de las emisiones atmosféricas y un impacto significativo en la

salud de los habitantes en términos de años de vida ganados, muertes evitadas y disminución de costos.

Gráfico 2. 2. Impactos de la sustitución de la flota de buses del transporte público por buses eléctricos



Fuente: C40. 2020

Ahora bien, los impactos no deben medirse sólo en términos de cifras. También es importante destacar lo que esta primera acción de reconversión de los buses del sistema de transporte público masivo al sistema eléctrico, implica para la ciudad en términos de los retos venideros en el marco de la promoción de la movilidad eléctrica como estrategia de mitigación del cambio climático. En este sentido el Sistema Integrado de Transporte de la ciudad, tiene el

desafío de continuar fortaleciendo el objetivo que se ha trazado para lograr que el uso del transporte público masivo garantice un servicio eficiente, económico y sostenible que facilite el acceso a la ciudadanía, disminuya la incidencia del transporte privado y continúe ampliando y haciendo extensivo la estrategia de electrificación hacia otras zonas y sectores de la ciudad, como medida para la reducción de las emisiones atmosféricas y concretamente de mitigación del cambio climático.

En términos de electromovilidad, desde el Plan de Acción Climática se evidencian apuestas ambiciosas. Una primera acción para propiciar la transición de los vehículos del servicio público, contempla una serie de metas a corto, mediano y largo plazo. Para el año 2023 se busca que el 5% de los buses BTR sean eléctricos, para el año 2030 el 24% y para el año 2050 se propone que el 100 % de los vehículos de transporte público; es decir, busetas y buses-BRT. Para lograr este propósito se busca que a partir del año 2025, los nuevos buses que se sumen al sistema de transporte público masivo de Medellín y su área metropolitana, sean eléctricos (Plan de Acción Climática 2020).

Esta descarbonización de la matriz de la movilidad, también conlleva a ampliar estas medidas a otros segmentos de la movilidad. Al respecto el PAC (2020), tiene proyectado promover la renovación de vehículos privados y renovación de vehículos particulares del servicio público, hacia vehículos impulsados por energía eléctrica, teniendo como meta que al año 2050 el 80 % de los taxis de la ciudad sean eléctricos.

Conexo a lo anterior, también está el reto de dar respuesta a la estrategia de operación y la infraestructura requerida para que los buses eléctricos y los demás segmentos de la movilidad; en términos del suministro de energía, la adecuación de estaciones de carga y el manejo y disposición que se dará a los cargadores de baterías eléctricas, después de culminar su vida útil.

Alrededor de este asunto, conviene citar a Díaz (2012), que manifiesta que toda técnica o tecnología que se destina para mejorar el desempeño ambiental de las ciudades, puede ser analizada desde la ley de la entropía, en relación a que por cada estructura generada, existe la posibilidad de ocasionar desorden; que en este caso se traduce en un impacto ambiental, si no se tienen las medidas adecuadas de reutilización y reciclaje, máxime si se tiene en cuenta que la demanda de baterías aumentará significativamente en los próximos años.

A la luz de las implicaciones a las que conlleva la incorporación de esta nueva tecnología, desde el concepto de metabolismo urbano se plantea que más allá de incentivar la electromovilidad como medida de mitigación desde las directrices que proponen las agendas globales, la ciudad simultáneamente está llamada a una planificación integral y al fortalecimiento de otras estrategias resultantes de la lectura de la dinámica metabólica, social y territorial de la ciudad. Una aproximación que puede estar asociada a la búsqueda de alternativas para garantizar la accesibilidad al transporte público y a la calidad de vida de hábitats históricamente segregados de la ciudad, donde las personas tienen que realizar amplios recorridos para acceder a determinados servicios. Además, incentivar a través de diferentes ejes temáticos la movilidad activa, el transporte no motorizado, el transporte público y la incorporación de iniciativas ciudadanas, entre otras apuestas.

Además de las metas contempladas en el Plan de Acción Climática en términos de movilidad eléctrica, es necesario que esta iniciativa este formulada a modo de estrategia de electromovilidad local, en sintonía con la Estrategia Nacional Movilidad Eléctrica Nacional, formulada en el 2020, medida que permitirá trazar la arquitectura, las líneas de acción y las objetivos que se propone alcanzar la ciudad en el corto, mediano y largo plazo.

Lo anterior, tiene asidero en las metas ambiciosas que se plantean alcanzar la ciudad, en la transición de los buses eléctricos del sistema masivo de transporte y en términos de posicionar la ciudad como capital latinoamericana de la electromovilidad. En armonía con lo anterior, es fundamental la articulación con otros actores del ámbito nacional e incorporarse a redes de interlocución con otras experiencias supranacionales para propiciar espacios de cooperación internacional.

Por otro lado, estas iniciativas tienen también la tarea de vincular a los diferentes actores de la gobernanza climática multinivel tales como la sociedad civil, los actores privados y la academia, como una estrategia que trascienda el carácter informativo y coadyuve a la gestión del conocimiento local, la investigación y la retroalimentación permanente, así como el robustecimiento de los convenios interadministrativos y la incidencia de las alianzas público-privadas y la cooperación internacional.

2.5. A modo de cierre. Síntesis de la experiencia de la ciudad de Medellín en el proceso de transición de los autobuses eléctricos

Quizá la incidencia más notoria, en lo concerniente a la experiencia seguida por la ciudad de Medellín, a lo largo del proceso de incorporación de los buses eléctricos a la flota del servicio público de transporte, se vincula a la reflexión colectiva que desde diferentes ámbitos de la gobernanza multinivel se lideró en la ciudad, en torno a las problemáticas relacionadas con el crecimiento urbano y prácticas asociadas al uso de los combustibles fósiles, siendo la crisis de la calidad del aire el factor detonante que encendió las alarmas ciudadanas. Es así como se evidenció el desequilibrio y la degradación del proceso metabólico de la ciudad, con repercusiones en la salud de los habitantes, restricciones en la movilidad y deterioro de la calidad del ambiente urbano.

En sintonía con lo anterior, los compromisos direccionados desde las agendas de cambio climático para la reducción de los gases de efecto invernadero GEI, que emergen en un momento de coyuntura de la ciudad, refuerzan la necesidad de generar una reconfiguración de las prácticas urbanas vinculadas a la movilidad. De manera que se ve propicio pasar de la reflexión colectiva a la materialización de acciones, que además se alinean con las apuestas subnacionales y globales que estaban en plena efervescencia en ese momento.

En una ciudad como Medellín, que desde tiempo atrás le ha apostado al fortalecimiento de la movilidad urbana sostenible, la estrategia de iniciar con el proceso de electrificación de los buses del sistema público masivo como respuesta a estos asuntos, no fue algo sorprendente. En este sentido, fueron determinantes las gestiones y las sinergias interinstitucionales de los actores gubernamentales locales, las diferentes empresas de orden municipal y la asesoría y acompañamiento de actores supranacionales. Esto permitió trazar una ruta o plan de acción para lograr que la ciudad se posicionara en ese momento como pionera en la adquisición de buses eléctricos con recursos públicos y se propusiera a futuro metas a corto, mediano y largo plazo, para continuar ampliando la flota de buses eléctricos, reducir el uso de los combustibles fósiles y contribuir con la mitigación del cambio climático.

Si bien hay asuntos por mejorar de esta experiencia, en relación a la adecuación de la infraestructura de recarga eléctrica requerida para garantizar el pleno funcionamiento de los buses eléctricos; se resalta la iniciativa en términos de asumir el reto de hacer frente a las diferentes barreras económicas, de operación y de conocimiento, que acarrea la

implementación de una transición de esta magnitud para las ciudades latinoamericanas. Además, la intención de buscar soluciones para el mejoramiento de la calidad del aire y contribuir a la reducción de la huella de carbono, como asuntos trascendentales que se derivan de una estrategia alrededor del fortalecimiento de la movilidad urbana sostenible.

A estas acciones, se han sumado de forma paulatina iniciativas colectivas y privadas, comenzado a implementar estrategias en torno a la movilidad eléctrica y a la calidad del aire en sus entornos inmediatos y haciendo control social a las directrices y decisiones de los actores gubernamentales locales. Estos asuntos van configurando una gobernanza más amplia y sólida en torno a la mitigación del cambio climático en la ciudad.

Como recomendaciones evidenciadas en el ejercicio investigativo, se denota la necesidad de continuar fortaleciendo esta primera experiencia de ciudad a través del cumplimiento de los objetivos propuestos en el Plan de Acción Climática, en lo concerniente a la continuidad y ampliación a otros segmentos y sectores de la ciudad del proceso de transición de los autobuses eléctricos en los siguientes años. Desde esta línea, es recomendable mantener e incluso ampliar los convenios interinstitucionales, publico privados y de cooperación internacional, con la inserción de otros actores de la academia, privados y supranacionales, que puedan retroalimentar el proceso a través de investigaciones, la gestión del conocimiento y el financiamiento.

Precisamente en lo relacionado con los procesos investigativos, este primer ejercicio de movilidad eléctrica, debe convocar a la academia, a los actores gubernamentales, entre otros, a realizar un estudio riguroso y desde varias posiciones y criterios de análisis, acerca de los beneficios, los aprendizajes, los impactos en las emisiones atmosféricas y gases efecto invernadero, así como las perspectivas de mejoramiento a futuro en función del fortalecimiento e implementación de nuevos modelos de financiamiento. Además indagar acerca de la inserción de medidas tecnológicas que promuevan el conocimiento local y disminuyan los obstáculos que implica depender de terceros en términos de la fabricación, funcionamiento y repuestos de los buses; entre otros aspectos. Es clave contemplar en términos de planificación, las políticas estatales e instrumentos que faciliten la transición, la adecuación de infraestructura para el suministro y recarga de energía eléctrica, las baterías a utilizar en función de su operación; teniendo en cuenta su vida útil y el proceso de disposición final una vez dejan de ser productivas para el sistema.

Como aspecto transversal, es menester continuar afianzando la interlocución pedagógica y la rendición de cuentas a la ciudadanía acerca del cambio climático, de las metas que se propone alcanzar la ciudad en términos de movilidad eléctrica en el sistema público de transporte para la mitigación de los gases efecto invernadero, haciendo énfasis en los beneficios de migrar a hacia prácticas alternativas de movilidad más limpias. De esta manera la sociedad civil, puede involucrarse de forma más propositiva en la planificación de la ciudad, hacer seguimiento y control social a estas intervenciones y transformar simultáneamente sus hábitos cotidianos. Por último, es necesario que la flota de buses que se adquirió con recursos públicos cumpla con las fases contempladas para su plena operación, para no incurrir en detrimento patrimonial o en el mal funcionamiento de los buses por inactividad y lograr así el cumplimiento de compromisos adquiridos con la ciudadanía. Con ello no solo se garantiza el buen funcionamiento del sistema, sino que también hace parte de los incentivos para este gobierno y otros a nivel nacional o regional, para la implementación de sistemas de transporte con energías limpias. Aunque con un costo de inversión alto, sus impactos sobre el ambiente resultan positivos al momento de integrar su uso con otros medios de transporte con cero emisiones o baja emisión.

Conclusiones

Esta tesina tuvo como objetivo explorar la transición hacia autobuses eléctricos como medida de mitigación al cambio climático, tomando como estudio de caso la experiencia de la ciudad de Medellín. Si bien esta investigación está basada en información secundaria, la observación no participante, permitió complementar la información recopilada y consolidar aspectos que resultan claves en la comprensión de la iniciativa local y los desafíos que implica la electromovilidad.

La intención de la tesina si bien buscó evidenciar los aspectos que han llevado a la ciudad a consolidarse como pionera en el uso de energías limpias en el tema de transporte, también busca dejar la reflexión tanto a los gobiernos locales, nacionales, académicos, expertos y todos aquellos interesados en el cambio climático, sobre los retos que implica esta transición y la responsabilidad de promover desde una gobernanza climática estas iniciativas.

A través del análisis de la experiencia de la ciudad de Medellín, se logró hacer una aproximación a las problemáticas derivadas del crecimiento urbano, que a la luz del debate teórico propuesto, evidencian los desafíos urbanos a los que enfrentan hoy las grandes ciudades y las ciudades intermedias, desde una perspectiva de movilidad urbana y de cambio climático. En este sentido, se denota como la densificación poblacional es un factor que propicia hábitos y prácticas de movilidad basadas en el uso de combustibles fósiles, aspecto que en cualquier momento de la trayectoria urbana, ocasiona un sobregiro de los ecosistemas de amortiguamiento y soporte, deviniendo problemáticas de emisiones atmosféricas y GEI, que a su vez conllevan a dificultades de orden ambiental, de salud, económicos, entre otros que afectan la calidad de vida de los habitantes.

Ante este panorama que tiene una connotación global, los gobiernos locales están llamados y comprometidos a liderar de forma conjunta con otros actores multinivel, procesos de gobernanza climática a través de la puesta en marcha de planes de movilidad urbana sostenibles, dentro de los cuales la electromovilidad del sistema público masivo, se presenta actualmente como una opción ampliamente difundida desde las diferentes agendas. No obstante, esta alternativa es un reto para las ciudades Latinoamericanas y del Caribe, cuya complejidad, permite entender que se trata de un proceso paulatino, que en el mejor de los casos se implementa por etapas y que debe combinarse de forma integral con otras estrategias

de orden local o incluso darse una vez están resueltas otras necesidades más apremiantes del transporte urbano de las ciudades, dadas las implicaciones a las que conlleva su implementación. Por ejemplo, en el tránsito hacia la electromovilidad, las ciudades tienen que sortear la dificultad para hacer una inversión financiera sostenible, que implica realizar alianzas público privadas, empréstitos, es decir, desarrollar un esquema de financiamiento, que para los países en vía de desarrollo, que están intentando fortalecer su economía, significa un gran esfuerzo.

Los gobiernos locales, enfrentan además el reto de estructurar un modelo de negocio que logre reducir los riesgos, se acople a las condiciones locales y contemple la participación de diferentes actores del ámbito público y privado, entre otros aspectos, que permitan llevar a cabo un trabajo planificado. Vinculado a este reto, se identifican los desafíos de estructurar instrumentos y políticas públicas que faciliten la inserción de estas estrategias, en ciudades donde los incentivos a los combustibles tienen la prelación y donde las sinergias de gobernanza apenas se están fortaleciendo, así como la estructuración de un esquema de operación de la flota de buses que a la luz de estudios técnicos sea óptimo, viable y sostenible.

Un aspecto crucial que se presenta como desafío para las municipalidades es la incorporación de la infraestructura requerida para la recarga de las baterías de los buses eléctricos, en tanto se deben tener en cuenta aspectos relacionados con la eficiencia energética, que se adecuen a las características geográficas del territorio, así como el trazado, la operación contemplada, los costos y la sostenibilidad. Todo esto teniendo en cuenta que no se requieran de grandes cambios a futuro y la gestión de los riesgos a los que conlleva degradación de las baterías una vez pierden su vida útil.

En el caso concreto de la ciudad de Medellín, el recorrido investigativo a través del análisis documental y el trabajo de campo, permitieron concluir que este primer proyecto de transición de los buses eléctricos del sistema público masivo, obedece a la confluencia de varios factores. Estos se traducen en los avances que la ciudad ya venía experimentado en los últimos años en la cualificación de la movilidad urbana sostenible, propiciando un acumulado fundamental, que se evidencian a su vez en la capacidad de maniobra, de visión a corto plazo y de articulación de sinergias interinstitucionales para la materialización de acciones, que permitieron que ante las sucesivas crisis ambientales del aire y las exigencias y compromisos

globales alrededor del cambio climático, se lograra consolidar como respuesta, la estrategia piloto de reconversión de los autobuses públicos hacia electromovilidad.

En términos del propósito de dar cuenta de la incidencia que esta estrategia de electromovilidad de los buses del sistema público, tiene en la mitigación del cambio climático; por tratarse de un proyecto reciente no se lograron reconocer datos o estudios exhaustivos que puedan dar cuenta de manera amplia y documentada del impacto. Sin embargo, se identificaron algunos análisis previos y sucintos realizados por la Alcaldía de Medellín y la organización C40, como asistente técnico de este proceso. El impacto más sólido en este sentido, se encuentra en los propósitos que desde el Plan de Acción Climática se plantea alcanzar la ciudad durante los próximos 30 años, donde la electromovilidad del transporte público se concibe como una acción estratégica para lograr la mitigación progresiva de los gases efecto invernadero, así como el fortalecimiento de la gobernanza multinivel alrededor de estos asuntos.

Glosario

ACI: Agencia de Cooperación e Inversión de Medellín, que se ocupa del proceso de internacionalización de la ciudad y de la construcción de relaciones estratégicas.

AMVA: El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es un ente administrativo asociado a los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá, que contempla acciones territoriales ambientales y sustentables.

DAP: Departamento Administrativo de Planeación.

EPM: Empresas Públicas de Medellín. Es una empresa industrial y comercial propiedad del municipio de Medellín prestadora de servicios públicos.

ENCICLA: Sistema de bicicletas públicas del Valle de Aburrá.

METRO DE MEDELLIN: Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada

METROPLÚS: es un autobús de transporte público masivo, rápido y de mediana capacidad, que presta servicios en la ciudad de Medellín y en el Valle de Aburrá.

METROCABLE: es un modo de transporte teleférico de tránsito rápido articulado al Metro que moviliza pasajeros en la ciudad de Medellín.

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

PIGECA: Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá.

SITVA: Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá.

TARJETA CÍVICA: tarjeta personal recargable que se utiliza para hacer el pago y acceder a los diferentes medios de transporte del Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá de Medellín y su Área Metropolitana.

TRAVÍA: modo de transporte ferroviario articulado al Metro, al Metroplús y al Metrocable de la ciudad de Medellín.

VALLE DE ABURRÁ: subregión del Departamento de Antioquia conformada por 10 municipios y cuyo eje central es la ciudad de Medellín.

Lista de referencias

- Acuerdo 058 de 2017 10 de noviembre de 2017. Gaceta Oficial N°4483
https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/astrea/docs/a_conmed_0058_2017.htm
- Alcaldía de Medellín. 2020. *Plan de Acción climática 2020- 2050*.
<https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=contenido/8891-Plan-de-Accion-Climatica>
- Alcaldía de Medellín. 2016. *Plan de Desarrollo Municipal. Medellín cuenta con vos. 2016-2019*
“https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlanDeDesarrollo_0_17/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/Proyecto%20de%20Acuerdo%20Plan%20de%20Desarrollo.pdf”
- Alcaldía de Medellín. 2018. “La Línea 1 de buses del Metro cuenta con primer bus eléctrico articulado”<https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/la-linea-1-de-buses-del-metro-cuenta-con-primer-bus-electrico-articulado>
- Alcaldía de Medellín. 2022. “Medellín ha dejado de emitir más de 6.500 toneladas por año de CO2 como parte de la estrategia frente al cambio climático”.
<https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=contenido/11825-Medellin-ha-dejado-de-emitir-mas-de-6500-toneladas-por-ano-de-CO2-como-parte-de-la-estrategia-frente-al-cambio-climatico>
- Alcaldía de Medellín. 2019. “Medellín se conecta con la movilidad eléctrica: primeros 17 buses entran en operación”.
<https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/medellin-se-conecta-con-la-movilidad-electrica-primeros-17-buses-entran-en-operacion>
- Área metropolitana del Valle de Aburrá AMVA y Universidad EAFIT. 2020. “Informe anual de calidad del aire”. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/informes_red_calidaddeaire/Informe-Anual-Aire-2020.pdf
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA y Universidad de Antioquia UDEA 2018. *Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá. 2008- 2015*. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Re-analisis/ContaminacionAtmosferica_y_sus_Efectos_en_la_Salud-AMVA_2019.pdf

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA, Clean Air Institute.2017. *Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire PIGECA 2017-2030*.
<https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2fambiental%2fcalidad%2ddel%2daire%2fDocuments%2fPIGECA&FolderCTID=0x0120008162DB5A0DE33D4FBDC4412520B8FAF8>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá AMVA.2022. “Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá”. <https://www.metropol.gov.co/movilidad/Paginas/transporte-publico/sitva.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Aburra y Universidad Pontificia Bolivariana. 2020. *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas*.
<https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Inventario-de-emisiones/Inventario-de-Emisiones-2018.pdf>
- CALAC. Programa Aire limpio en ciudades de América Latina. 2021. “*Seminario internacional de electromovilidad*”. Evento realizado en noviembre 2020.
<https://programacalac.com/wp-content/uploads/2021/03/Sistematizaci%C3%B3n-Seminario-Electromovilidad-2020.pdf>
- C40 CITIES. 2020. “Beneficios de la acción climática urbana. Informe de Asistencia Técnica de C40 Cities”. <https://www.c40.org/wp-content/uploads/2022/02/Medellin-%E2%80%93Electrification-of-the-Bus-Fleet-Spanish.pdf>
- Decreto 1221/ 2016, de agosto 16. Gaceta Oficial N°4403
https://normograma.info/medellin/normas/tabla_Decretos_2016.html
- Duran, Martha. 2019. “El estudio de caso en la investigación cualitativa. *Revista Nacional de administración*. Volumen 3 (1):121-134, enero - Junio, 2012”. Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica.
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/rna/article/view/477/372>
- Agencia de Cooperación e Inversión de Medellín. ACI. 2021.”Alcalde de Medellín expuso los avances frente a la Acción Climática”. <https://www.acimedellin.org/alcalde-de-medellin-expuso-los-avances-de-la-ciudad-frente-a-la-accion-climatica/>
- Banco Interamericano de Desarrollo CAF. 2020. *Electromovilidad en el transporte público de América Latina y el Caribe*
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1466/La%20electromovilidad%20en%20el%20transporte%20publico%20de%20America%20Latina.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

- Bruno, Fornillo, Ed. 2019. *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios Ciudad*. CLACSO, El Colectivo; Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe IEALC. http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/libro_litio_en_sudamerica.pdf
- Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina CODS. 2021. “Movilidad baja en Carbono para el desarrollo sostenible y equitativo de las ciudades. Desafíos y oportunidades para el transporte de pasajeros en América latina y el Caribe”. https://cods.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2021/03/CODS_DOCS_09-1.pdf
- Departamento Administrativo de Planeación del Departamento de Antioquia. 2018. *Anuario estadístico*. <https://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/poblacion-322>
- Departamento de Planeación Nacional DNP. 2021. *Sistema de ciudades*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/Sistema%20de%20Ciudades-1%20Introducci%C3%B3n.pdf>
- Díaz Álvarez, Cristian. 2014. “El Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades”. *Inter disciplina*. Vol 2, No 2 (2014) . Universidad Nacional Autónoma de México <http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/46524>
- Díaz Álvarez, Cristian. 2018. “Complejidad gestión y disipación en la ciudad. Aproximación desde la entropía”. *Questionar Investigación Específica*. Vol. 6 n° 1: 25-36, enero-diciembre. Fundación universidad de América <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rques/article/view/246/213>
- Delgado Ramos, Gian Carlo. 2014. “Ecología política del metabolismo urbano y los retos para la conformación de ciudades de bajo carbono: una lectura desde América Latina. Crítica y Emancipación”. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales IV* (12): 149-174. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ojs/index.php/critica/article/view/90>
- Delgado Ramos Jean Carlos, Campos Cristina, Rentería Patricia. 2012. “Cambio Climático y el Metabolismo Urbano de las Megaurbes Latinoamericanas” *Revista Hábitat Sustentable*. Vol. 2, No 1. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/409>
- Navas Duk Cristian, Bueno Carlos, Mix Richard. 2021. “La electromovilidad como estrategia para una nueva estrategia del transporte público. El caso de Santiago de Chile”. Banco Interamericano de Desarrollo <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-electromovilidad-como-estrategia-para-una-nueva-politica-de-transporte-publico-el-caso-de-Santiago-de-Chile.pdf>

- El Colombiano. 2020. “¿Por qué no rueda la flota entera de buses eléctricos de Medellín en plena crisis ambiental?” 12 de marzo. [¿Por qué no rueda la flota entera de buses eléctricos de Medellín en plena crisis ambiental?](#)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México D.F. McGraw-Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Medellín Cómo Vamos. 2018. “Pacto por la calidad del aire”. <https://www.medellincomovamos.org/sites/default/files/2020-01/documentos/Pacto%20por%20el%20Aire%20Medellin%202018.pdf>
- Medellín Cómo Vamos. 2020. “Preguntas para la profundización a la Alcaldía de Medellín”. <https://www.medellincomovamos.org/sites/default/files/2020-01/documentos/Preguntas%20de%20profundizaci%C3%B3n%20a%20la%20administraci%C3%B3n%20municipal%20sobre%20el%20Informe%20de%20Calidad%20de%20Vida%20de%20Medell%C3%ADn%2C%202017.pdf>
- Medellín Cómo Vamos. 2020. “Informe de calidad de vida. Movilidad y espacio público”. <https://www.medellincomovamos.org/system/files/2021-09/docuprivados/Movilidad%20y%20espacio%20p%C3%ABlico%20Informe%20de%20Calidad%20de%20Vida%20de%20Medell%C3%ADn%2C%202020.pdf>
- Metro de Medellín. “Sistema integrado” 2022. <https://www.metrodemedellin.gov.co/viaje-con-nosotros/sistema-integrado>
- Metro de Medellín Metro de Medellín. 2021. “La Línea 1 de buses del Metro cuenta con el primer bus eléctrico articulado”. <https://www.metrodemedellin.gov.co/alamys-2019/noticias/artmid/8805/articleid/462/la-1237nea-1-de-buses-del-metro-cuenta-con-primer-bus-el233ctrico-articulado>
- Metroplús. 2019. “Términos de invitación pública de ofertas Nro. 5. Adquisición de una flota de buses padrones nuevos 100% eléctricos”. <https://metroplus.gov.co/wp-content/uploads/2018/11/Invitaci%C3%B3n-Definitiva.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS. 2019. *Estrategia nacional de movilidad eléctrica*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/estrategia-nacional-de-movilidad-electrica-enme>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS y WWF. 2021. *Inventario de emisiones gases efecto invernadero*. Valle de Aburrá. <https://www.metroplu.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Inventario-GEI-2016-2019-WWF.pdf>

- ONU, Hábitat. 2013. *Planificación y diseño de una movilidad urbana sostenible. Orientaciones para políticas. Informe mundial sobre los asentamientos humanos.* <http://onu.org.ni/planificacion-y-diseno-de-una-movilidad-urbana-sostenible-orientaciones-para-politicas>
- Organización Mundial de Naciones Unidas ONU. 2021. *Objetivos de desarrollo sostenible.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización mundial de la Salud, 2021. “Contaminación del aire (ambiente exterior)” [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- PNUMA. 2021 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). *Movilidad eléctrica. Avances en América Latina el Caribe.* <https://movelatam.org/4ta-edicion/>
 __ 2020b. *Movilidad eléctrica. Avances en América Latina y el Caribe.* <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32830>
 __ 2019c. Estado de la *Movilidad eléctrica. Avances en América Latina el Caribe.* <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32830>
- Radio Santa Fe. 2019 “Medellín contará con la flota de buses eléctricos más grande de Colombia”. <https://www.radiosantafe.com/2019/01/31/medellin-contara-con-la-flota-de-buses-electricos-mas-grande-de-colombia/>
- Revista Carga Pesada. 2018. “Primer eléctrico articulado de Línea 1 de buses del Metro de Medellín”. <http://revistacargapesada.com/primer-electrico-articulado-de-linea-1-de-buses-del-metro-de-medellin/>
- Revista VED. 2019. “Los primeros 17 buses eléctricos de Medellín entraron en funcionamiento.” <https://www.vehiculoselectricos.co/los-primeros-17-buses-electricos-entraron-en-funcionamiento-en-medellin/>
- Sandoval Casilimas, Carlos. 2002. *Investigación cualitativa.* <https://panel.inkuba.com/sites/2/archivos/manual%20colombia%20cualitativo.pdf>
- Soto Ramírez Enrique y Escribano Hervís. 2019. “El método estudio de caso y su significado en la investigación educativa”. En D.M. Arzola Franco (coord.). Procesos formativos en la investigación educativa. Diálogos, reflexiones, convergencias y divergencias (pp. 203-221). *Red de Investigadores Educativos Chihuahua A C.* Chihuahua. México <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7042305>

Toledo, Víctor. 2013 “El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica” *Relaciones: Estudios de historia y sociedad*. Vol. 34, Nº. 136. 41-71.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5333665>

Van Laake Thomas y Quiñones Lina. 2019. “Transporte urbano sostenible en América Latina. Evaluaciones y recomendaciones para políticas de movilidad”. Despacio: Bogotá, Colombia”. <https://www.despacio.org/wp-content/uploads/2020/02/SUTLac-ESP-05022020-web.pdf>