



LINEAMIENTOS PARA REGLAMENTAR ÁREAS ESTRATÉGICAS CON
PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE
MEDELLÍN

PAOLA ANDREA GÓMEZ ARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES
MAESTRÍA EN DESARROLLO REGIONAL Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO
MANIZALES

2021

LINEAMIENTOS PARA REGLAMENTAR ÁREAS ESTRATÉGICAS CON
PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE
MEDELLÍN

Autora

PAOLA ANDREA GÓMEZ ARIAS

Proyecto de grado para optar al título de Magíster en Desarrollo Regional y Planificación
del Territorio

Tutor

MARIO ANDRÉS RODAS ARENAS MSc.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

FACULTAD DE ESTUDIOS SOCIALES Y EMPRESARIALES

MAESTRÍA EN DESARROLLO REGIONAL Y PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO

MANIZALES

2021

DEDICATORIA

Dedicado a Daliana, Renzo y Sebastián, porque reconozco en ellos esas ganas de poder aportar a la sociedad y hacer del mundo un lugar en mejor, a ellos que desde siempre han optado por el deporte sé que recibirán la invitación de aportar desde sus disciplinas al camino de la sostenibilidad y es que como no dedicarlo a mis sobrinos a los que amo con toda mi alma y hacen de mí, una mujer orgullosa de su familia, porque conozco el sacrificio que hay detrás de sus logros, su honestidad, su calidad humana y sus ganas de ayudar al mundo desde el conocimiento académico, poniendo un granito de arena en cada actividad que desarrollan.

AGRADECIMIENTOS

Después de Dios siempre estaré agradecida de manera especial con mis Padres porque siempre han inculcado en sus hijos y nietos, la importancia del estudio, del aprendizaje y de la academia, además de sus consejos constantes, siempre hay palabras de aliento recordándome que puedo lograr todas las metas que me propongo y que ellos estarán a mi lado para celebrar mis logros y acompañarme en aquellos fracasos que serán aprendizajes. Mis padres mi tesoro máspreciado gracias, gracias, gracias lo que soy y lo que tengo se los debo a ustedes.

Gracias también a mi esposo por su amor y respaldo a mis decisiones y a mis profesores y director también gracias por sus enseñanzas e impulso para culminar este hermoso proceso.

RESUMEN

El Material Particulado inferior a 2.5 micras (PM_{2.5}) es el contaminante que presenta condiciones más críticas para Medellín y el Valle de Aburrá, ya que supera los límites indicados por la OMS. Para el Valle de Aburrá la emisión primaria de este material proviene en un 91% de las fuentes móviles, lo cual determina la necesidad de identificar lineamientos que permitan una oportuna intervención en aras de disminuir los niveles de concentración de contaminantes en zonas estratégicas como el centro de la ciudad de Medellín, donde se ha establecido una “Zona Urbana de Aire Protegido - ZUAP”, en este sentido se realiza la evaluación de dicha área a partir de documentos como el Plan de Ordenamiento Territorial y el Inventario de Emisiones para posteriormente proponer medidas que permitan cumplir el propósito de disminuir la contaminación atmosférica en esta zona y que a su vez influya en una disminución de emisiones de GEI. Las medidas propuestas parten del análisis realizado en ciudades europeas que han implementado Zonas de Bajas Emisiones, las cuales fueron evaluadas por parte de una selección de profesionales conocedores de la problemática en Medellín, permitiendo concluir sobre la importancia de invocar cambios modales, la optimización y el cambio tecnológico y la necesidad de contar con una política pública de movilidad sostenible que supere las intervenciones físico territoriales como la construcción de vías. También se evidencian las dificultades que se tienen al plantear medidas restrictivas, las cuales a pesar de ser efectivas resultan impopulares para la población.

Palabras Clave: Contaminación atmosférica, Tráfico urbano, Zona Urbana, Planificación urbana.

ABSTRACT

The particulate matter under 2.5 microns (PM_{2.5}) is the pollutant that bear the most critical conditions for Medellín and the Aburrá Valley. This pollutant exceeds the limits indicated by the WHO. For the Aburrá Valley the 91% of the primary emission of this material comes from mobile sources. Thus, there is a necessity to identify guidelines for a timely intervention to reduce the concentration of pollutants in strategic areas such as the center of Medellín. In fact, the city has established a “Urban Protected Air Zone - ZUAP”. The evaluation of this area is carried out based on documents such as the Land Use Plan and the Emissions Inventory. Subsequently, measures to reduce air pollution and GHG emissions in the area were proposed. The proposed measures are based on analysis carried out in European cities that have developed Low Emission Zones (LEZ). These measures were evaluated by a selection of professionals with knowledge in Medellín’s issues. Hence, it ensues the importance to promote modal changes, as well as optimization and technological transformations. Also, the government shall develop a public policy in sustainable mobility that goes beyond physical-territorial interventions such as road construction. Finally, the difficulties encountered when proposing restrictive measures are also evident. Despite being effective measures, are unpopular within the community.

Keywords: Air pollution, Urban traffic, Urban area, Urban planning.

CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN.....	17
2	ANTECEDENTES.....	19
2.1	CARACTERIZACIÓN GENERAL E INVENTARIO DE EMISIONES EN EL VALLE DE ABURRÁ	19
2.2	ZONAS DE BAJAS EMISIONES EN CIUDADES EUROPEAS	26
3	ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
4	JUSTIFICACIÓN.....	34
5	REFERENTE TEÓRICO.....	37
5.1	REFERENTE CONCEPTUAL	37
5.1.1	Concepto De Sostenibilidad Y Sustentabilidad.....	37
5.1.2	La Contaminación Ambiental En La Historia Mundial.....	38
5.1.3	Calidad Del Aire Y Sus Impactos A La Salud Y El Ambiente	41
5.1.4	Crecimiento Y Desarrollo Económico	51
5.2	REFERENTE NORMATIVO	53
5.3	REFERENTE CONTEXTUAL.....	60
5.3.1	Plan De Ordenamiento Territorial Y Su Articulación Con El Plan De Desarrollo Para La Ciudad De Medellín	60
5.3.2	ZUAP Del Centro De Medellín En El Marco Del Plan De Desarrollo Medellín Futuro 2020 – 2023.....	62
6	OBJETIVOS.....	64
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	64

6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	64
7	METODOLOGÍA	65
7.1	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	65
7.2	DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO.....	65
7.3	MOMENTOS Y PROCESOS METODOLÓGICOS SEGÚN ALCANCE DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	65
8	RESULTADOS.....	72
8.1	ANÁLISIS DE ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE UBICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	72
8.1.1	Análisis Del Contaminante PM _{2,5}	75
8.1.2	Análisis Del Contaminante PM ₁₀	78
8.1.3	Análisis Del Contaminante NO ₂	81
8.1.4	Análisis Del Ruido	83
8.1.5	Análisis De Emisiones Vehiculares En La Zona Centro De Medellín.....	85
8.2	CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE OCUPACIÓN TERRITORIAL EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN.....	88
8.3	PARÁMETROS PARA DELIMITAR ZONAS DE BAJA EMISIÓN, ENFOCADO A LAS FUENTES MÓVILES.....	103
8.4	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA OCASIONADO ESPECIALMENTE POR LA EMISIÓN DE FUENTES MÓVILES, EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN	108
9	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	121
10	CONCLUSIONES	130

11	RECOMENDACIONES.....	134
13	REFERENCIAS.....	136
14	ANEXOS.....	141
14.1	ANEXO A. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN OTRAS CIUDADES A NIVEL MUNDIAL.....	141
14.2	ANEXO B. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	159

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las emisiones de contaminantes criterio en fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área año base 2018.....	24
Tabla 2. Países europeos que implementan LEZ entre 2011 y 2020.....	27
Tabla 3. Principales actuaciones ambientales a nivel mundial.....	39
Tabla 4. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire para Colombia	44
Tabla 5. Estándares de emisión Euro para vehículos de tránsito. (g/km).....	46
Tabla 6. Estándares de emisión EPA (g/km).....	46
Tabla 7. Directrices de la OMS sobre la calidad del aire publicadas en 2005	49
Tabla 8. Marco normativo del orden nacional.....	53
Tabla 9. Orientaciones metropolitanas en el Valle de Aburrá para el Ordenamiento Territorial, la movilidad sostenible y la Calidad del Aire	56
Tabla 10. Diseño de la investigación.....	66
Tabla 11. Indicadores, técnicas y herramientas	67
Tabla 12. Tamaños de muestra comunes en estudios cualitativos	69
Tabla 13. Perfiles para aplicación de cuestionario	70
Tabla 14. Fuentes de información	70
Tabla 15. Equipos que operaron en las estaciones de la REDMCA durante el 2020 para la ciudad de Medellín	73
Tabla 16. Estaciones de calidad del aire localizadas en el área de influencia de la ZUAP (Fuentes móviles)	74
Tabla 17. Estándares máximos de ruido ambiental para la estación CEN-TRAF.....	74
Tabla 18. Estadísticos para ruido ambiental año 2020, periodo diurno y nocturno	84
Tabla 19. Estadísticos para ruido ambiental año 2019, periodo diurno y nocturno	84
Tabla 20. Emisiones por fuentes móviles, estimadas en MODEAM para PM _{2.5} , PM ₁₀ y NO _x	88
Tabla 21. Características de las Zonas de Baja Emisión en ocho ciudades europeas	103
Tabla 22. Lugares con mayor riesgo para la población de respirar un aire contaminado ..	109

Tabla 23. Medidas complementarias en zonas con problemas de contaminación atmosférica	113
Tabla 24. Normas urbanísticas aplicadas en la zona centro de Medellín, que podrían minimizar el efecto de la contaminación atmosférica	117
Tabla 25. Normas urbanísticas que han sido aplicadas en otras zonas con contaminación	117
Tabla 26. Casos de éxito frente al manejo de la contaminación atmosférica en otras ciudades a nivel internacional.....	119
Tabla 27. Medidas apropiadas, viables y equitativas	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Material particulado menor a 2.5 micras, total nacional 2018.....	21
Figura 2. Medio de transporte principalmente usado, encuesta MCV 2020	22
Figura 3. Distribución de las emisiones de contaminantes criterio en fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área año base 2018.....	24
Figura 4. Emisiones netas para el Valle de Aburrá (izquierda) y Emisiones Netas para la ciudad de Medellín (derecha) para los años 2016, 2017, 2018 y 2019	25
Figura 5. Zona Urbana de Aire Protegido en el Centro de Medellín	31
Figura 6. Valoración económica de las muertes asociadas con la contaminación del aire urbano	50
Figura 7. Instrumentos normativos para la gestión de la calidad del aire a nivel nacional y local	59
Figura 8. Esquema relacional de la implementación del POT	62
Figura 9. Momentos y procesos metodológicos según alcance de los objetivos específicos	66
Figura 10. Concentración de PM _{2.5} reportada en la estación MED – AGUI, años 2008 al 2012	76
Figura 11. Concentración de PM _{2.5} reportada en la estación CEN – TRAF, años 2013 al 2020	76
Figura 12. Promedios anuales de concentración PM _{2.5} por estación, años 2014 al 2020.....	77
Figura 13. Valor diario máximo de PM _{2.5} alcanzado en un día, años 2014 al 2020.....	78
Figura 14. Excedencias de PM _{2.5} , años 2018 al 2020	78
Figura 15. Concentración de PM ₁₀ reportada en la estación MED –EXSA, años 2008 al 2012	79
Figura 16. Concentración de PM ₁₀ reportada en la estación MED – EXA, años 2013 al 2020	80
Figura 17. Promedios anuales de concentración PM ₁₀ por estación, años 2015 al 2020	80
Figura 18. Valor diario máximo de PM ₁₀ alcanzado en un día, años 2014 al 2020	81
Figura 19. Excedencias de PM ₁₀ , años 2018 al 2020	81

Figura 20. Concentración de NO ₂ reportada en la estación CEN – TRAF, años 2012 al 2020	82
Figura 21. Promedios anuales de concentración NO ₂ por estación, años 2015 al 2020.....	83
Figura 22. Ciclo diurno de la mediana del nivel de presión equivalente corregido diurno año 2019 para todas las estaciones pertenecientes a la REDMCA del Valle de Aburrá.....	85
Figura 23. Herramienta MODEAM para la estimación de emisiones fuentes móviles para PM _{2.5}	87
Figura 24. Sistema de Movilidad Metropolitana.....	91
Figura 25. Modelo de ocupación para la ciudad de Medellín 2014- 2027	93
Figura 26. Polígonos de tratamiento MEDRío	94
Figura 27. Zona Macroproyecto Río Centro	95
Figura 28. Identificación y análisis de problemas PGIIC 2015.....	96
Figura 29. Estrategias del Plan de Gestión de la Intervención Integral del Centro	96
Figura 30. Planes, proyectos y acciones de las Estrategias del PGIIC	97
Figura 31. Mapa del Índice de Capacidad funcional (izquierda) y Mapa del Índice de Mixtura (derecha) año 2018	98
Figura 32. Instalaciones residenciales año 1999 (izquierda) y año 2019 (derecha)	99
Figura 33. Coeficiente de localización uso predominante año 2018.....	100
Figura 34. Usos generales suelo urbano, Comuna 10, Medellín	101
Figura 35. Espacio público existente y proyectado en la ZUAP.	102
Figura 36. Percepción del aporte a la contaminación por fuentes de emisión (móviles) en la ciudad de Medellín	110
Figura 37. Categorías vehiculares que pueden ser objeto de restricción.....	111
Figura 38. Observaciones complementarias a una propuesta de restricción vehicular	111
Figura 39. Medidas consideradas apropiadas para reducir la contaminación Ambiental ..	112
Figura 40. Medidas consideradas viables para reducir la contaminación ambiental.....	114
Figura 41. Aspectos claves en las medidas consideradas viables para reducir la contaminación ambiental.....	114
Figura 42. Medidas para reducir la contaminación ambiental consideradas equitativas....	115
Figura 43. Acciones que aportan a la equidad de las medidas	116

Figura 44. Viabilidad del cargue y descargue diurno en zonas con problemas de contaminación atmosférica.....	116
Figura 45. Criterios técnicos relacionados con calidad del aire para determinar la edificabilidad en áreas residenciales y comerciales	118
Figura 46. Criterios técnicos relacionados con la calidad del aire para determinar la ocupación en áreas residenciales y comerciales	119
Figura 47. Comparativo del cumplimiento de la norma para PM2.5, PM10 y NO2 en el año 2020	122
Figura 48. Acciones propuestas para la declaratoria de una ZUAP	126
Figura 49. Alternativas de solución al problema de contaminación atmosférica por fuentes móviles en la ciudad de Medellín.....	128

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADEME	Agencia de Transición Ecológica de Francia
AIE	Áreas de Intervención Estratégica
AMVA	Área Metropolitana del valle de Aburrá
ASI	Avoid, Shift, Improve (Evitar, cambiar y optimizar)
BEIS	Departamento de Estrategia Comercial, Energética e Industrial (del Reino Unido)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DOT	Directrices de Ordenamiento Territorial
GEI	Gases Efecto Invernadero
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
DNP	Departamento Nacional de Planeación
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MCV	Medellín Como Vamos
OMS	Organización Mundial de la Salud
PDM	Plan de Desarrollo Municipal
PM2.5	Material particulado inferior a 2.5 micras
PM10	Material particulado inferior a 2.5 micras
PIGECA	Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire
PMSM	Plan de Movilidad Segura de Medellín
POECA	Plan Operacional para Enfrentar Episodios por Contaminación Atmosférica

POT	Plan de Ordenamiento Territorial
UNAL	Universidad Nacional de Colombia
UPB	Universidad Pontificia Bolivariana
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramo por metro cúbico
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza
ZBE	Zona de Bajas Emisiones
ZUAP	Zona Urbana de Aire Protegido

1 PRESENTACIÓN

El problema de contaminación atmosférica en la ciudad de Medellín se asocia principalmente a las emisiones vehiculares y de industria que, en un territorio con las características topográficas de un valle estrecho y condiciones de estabilidad atmosférica acentuado en algunos periodos del año, influye en que se presenten concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) lo que representa un aumento del riesgo en afecciones a la salud, y ha llevado a las autoridades ambientales a realizar declaratorias de episodios por contaminación atmosférica desde el año 2017, con el propósito de tomar medidas inmediatas para disminuir en corto plazo el aumento de estas concentraciones.

Si bien la declaración de episodios por contaminación atmosférica ha permitido la disminución de concentraciones en el corto plazo evitando altos impactos a la salud de la población, la autoridad ambiental evidenció la necesidad de contar con un documento que incluyera medidas más contundentes y visibilizara una solución definitiva a la problemática en el mediano y largo plazo. Es por ello que se elaboró el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire - PIGECA 2017-2030, el cual se encuentra estructurado a partir de diez ejes temáticos, entre ellos el eje temático nueve, orientado a la “Protección y transformación de zonas sensibles a la contaminación del aire”. Estas zonas están caracterizadas por la tendencia de acumulación de contaminantes como resultado tanto de las emisiones locales, como del traslado de contaminantes generados en otras zonas ya sea por alto tráfico vehicular o por la densificación industrial, lo que conlleva a la necesidad de implementar medidas restrictivas de carácter permanente que permitan frenar el incremento de la problemática.

Es así como el Área Metropolitana del Valle de Aburrá a través de la Resolución Metropolitana 2231 emitida el 31 de agosto de 2018 introduce el término de Zonas Urbanas de Aire Protegido – ZUAP y delimita dos áreas con estas características, influenciadas de manera directa por las emisiones generadas por las fuentes móviles. Una zona se encuentra ubicada en el sector sur del valle de Aburrá y la segunda zona en el centro del municipio de

Medellín. Al analizar los avances en la implementación de acciones en esta segunda zona se evidencia que, si bien el municipio de Medellín inició un proceso de planeación, a diciembre de 2020 no se habían logrado implementar medidas que permitieran una disminución significativa de las emisiones contaminantes.

Con base en lo anterior el presente estudio se orienta inicialmente en el análisis de la pertinencia en la delimitación de la Zona Urbana de Aire Protegido del centro de Medellín, tomando como base los datos históricos de calidad del aire. Posteriormente se identificarán medidas pertinentes orientadas a la movilidad, a la sostenibilidad y a la educación de la población, a partir del análisis del crecimiento y los patrones de ocupación del municipio de Medellín, buscando que dichas medidas permitan disminuir la afectación por contaminación atmosférica, guardando coherencia con los principios de gradualidad y equidad social.

Para el desarrollo de la investigación se estudiaron las medidas tomadas en ciudades de países europeos y su evolución de acuerdo al desarrollo tecnológico, también se analiza la información del inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que contiene documentación de las fuentes fijas y móviles, y de manera complementaria se estudia la información del inventario de gases de efecto invernadero elaborado en el 2020 por parte del Ministerio de Ambiente en apoyo con la WWF y otras entidades.

Dado lo anterior, se logra proyectar lineamientos que posibiliten la implementación de estrategias que generen efectos en la disminución de $PM_{2.5}$ como contaminante crítico de la región, así como la reducción en los gases de efecto invernadero desde una perspectiva técnica y social en la ZUAP del centro de Medellín.

2 ANTECEDENTES

2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL E INVENTARIO DE EMISIONES EN EL VALLE DE ABURRÁ

La ciudad de Medellín y en especial el Valle de Aburrá se ha caracterizado por ser una región altamente competitiva debido a su gran desarrollo industrial, ese tipo de desarrollo incrementa notablemente su capacidad productiva pero también genera un impacto grave sobre los recursos naturales y especialmente sobre la calidad del aire.

El crecimiento de la industria ha demandado mayor capital humano generando un crecimiento de la población, que ha convertido al Valle de Aburrá en una región densamente poblada donde el 62% de los habitantes del Departamento de Antioquia viven en el Valle de Aburrá según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda realizado en el 2018 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) el cual también registró entre el censo de 2005 y el censo del 2018 un crecimiento promedio de habitantes para la ciudad de Medellín del 7.6%, un poco más que la media del país que presentó un 6.5%. El crecimiento de la población a su vez ha incidido en el aumento del parque automotor generando así niveles altos de contaminación atmosférica.

Sumado a lo anterior, “el valle de Aburrá presenta características topográficas que dificultan la circulación horizontal de las masas de aire, especialmente en ciertos periodos del año donde las condiciones meteorológicas adversas favorecen la acumulación de contaminantes y dificultan su remoción” (AMVA., & UPB, 2015).

Por otra parte, se han identificado factores que inciden en la problemática, resaltando principalmente: la densificación urbana, la disminución de los espacios verdes, el envejecimiento del parque automotor y el aumento de tráfico vehicular, esto ha afectado algunas áreas urbanas de interés especial como por ejemplo el centro de Medellín y sus plazas centrales, las vías comerciales y principales, entre otras, caracterizadas por ser espacios de concentración y encuentro de ciudadanos, lo que ha evidenciado la necesidad de adelantar estudios específicos que permitan formular soluciones y recuperar estas zonas.

Los problemas de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá se asocian a diferentes contaminantes como el Monóxido de Carbono CO, el Dióxido de Azufre SO₂, el Dióxido de Nitrógeno NO₂, los Compuestos Orgánicos Volátiles, VOC, el Ozono O₃, y especialmente al material particulado inferior a 2.5 micras (PM_{2.5}), ya que este es el contaminante que registra mayores excedencias de acuerdo con los límites establecidos en la norma de calidad del aire que existe en el país. Esto representa un riesgo para la salud de la población y ha llevado a las autoridades ambientales a implementar el Plan Operacional para enfrentar Episodios por Contaminación Atmosférica – POECA, desde el año 2017, para tomar medidas inmediatas y disminuir en el corto plazo el aumento de las concentraciones, no obstante, estas medidas son de carácter paliativo y no brindan una solución integral a la problemática.

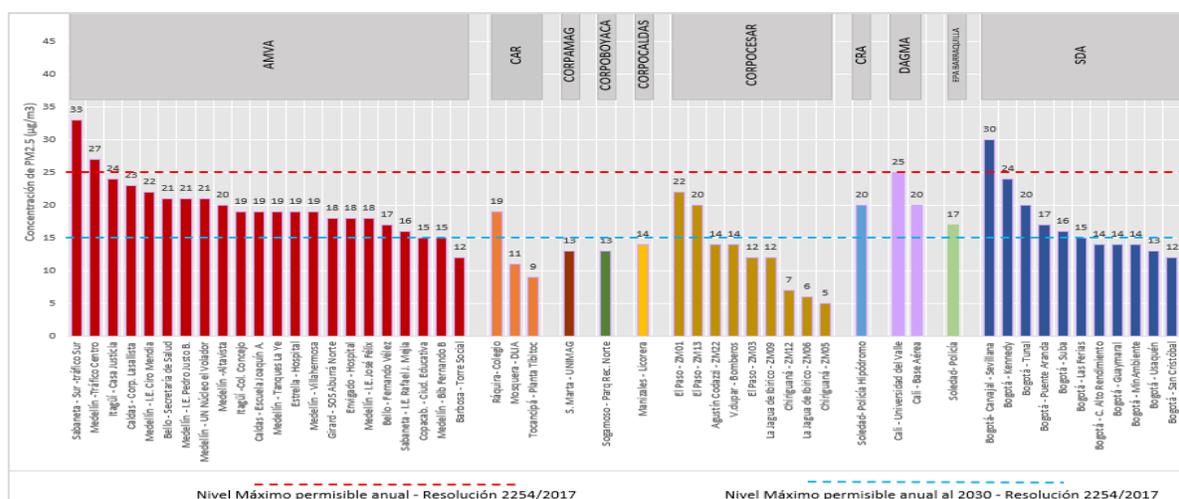
Las medidas con enfoque de mediano y largo plazo fueron consideradas inicialmente en el Plan de Descontaminación del Valle de Aburrá adoptado en el año 2011, el cual establecía medidas estructurales de prevención y control de emisiones, sin embargo, transcurridos cinco años desde su adopción, el AMVA¹ realiza una evaluación que evidencia el incumplimiento de la meta anual proyectada para el año 2015, consistente en lograr una concentración menor o igual a 25 µg/m³ para PM_{2.5}, y por el contrario, se encuentra que los niveles de este contaminante se incrementaron con respecto a los datos reportados para el año 2009, llevando al AMVA como autoridad ambiental a formular un nuevo plan denominado “Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire – PIGECA, 2017-2030”. Este Plan incluye metas orientadas a la industria, al sector transporte, políticas de sostenibilidad y programas para mejorar la planeación del territorio, con el propósito de reducir la contaminación en una magnitud consistente con los desafíos de la región en materia de productividad.

El AMVA cuenta con una amplia red de monitoreo atmosférico, la cual inicio a partir del año 1999 a través del Programa de Protección y Control de la Calidad del Aire,

¹ El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, es una Entidad Administrativa de carácter especial, dotada con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, que tiene como propósito consolidar el progreso y desarrollo armónico de la gran región metropolitana; con funciones de planeación, de autoridad ambiental urbana y de transporte público colectivo e individual de pasajeros con radio de acción metropolitano.

posteriormente en el año 2008 inició el monitoreo específico de PM_{2.5}. Actualmente la red de monitoreo de Medellín y su Área Metropolitana es operada a través del proyecto de Ciencia y Tecnología SIATA (Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá), y cuenta con un gran reconocimiento a nivel local, nacional e incluso internacional por la sistematización de los datos en tiempo real, la rigurosidad técnica y los avances en tecnología y proyectos de investigación; sin embargo, no se avanza con la misma efectividad en la implementación de medidas estructurales establecidas en el PIGECA para la mejora en la calidad del aire, por el contrario, se continúan registrando altos niveles de contaminación en comparación con otras ciudades del país (ver Figura 1) como Barranquilla (verde claro) y Cali (violeta).

Figura 1. Material particulado menor a 2.5 micras, total nacional 2018



Nota: en el gráfico se presenta de izquierda a derecha las estaciones que corresponden al Área Metropolitana del Valle de Aburrá (rojo), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (naranja), Corporación Autónoma Regional del Magdalena (marrón), Corporación Autónoma Regional de Boyacá (verde), Corporación Autónoma Regional de Caldas (amarillo), Corporación Autónoma Regional del Cesar (ocre), Corporación Autónoma Regional del Atlántico CRA (azul), Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente DAGMA Cali (violeta), Establecimiento Público Ambiental EPA Barranquilla (verde), y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá – SDA (azul).

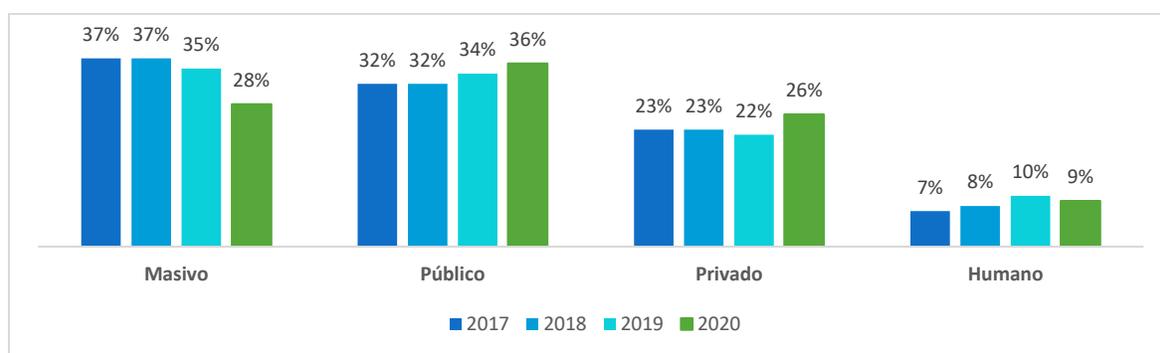
Fuente: Informe de Calidad del Aire 2018. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2019.

El Valle de Aburrá cuenta con importantes avances en relación con el resto del país, frente a la implementación del Sistema Integrado de Transporte Masivo del Valle de Aburrá - SITVA de bajas emisiones como el Metro de Medellín, las líneas de Cable Aéreo y el

Tranvía, asimismo el SITVA también se integra al sistema público de bicicletas. Adicionalmente, el municipio de Medellín tiene en marcha la estrategia para la renovación del transporte público colectivo con el propósito de operar mediante tecnologías limpias (Resolución 2504 de 2016). Sin estos avances la problemática de calidad del aire sería aún mayor.

Las inversiones en las estrategias de movilidad poco a poco van siendo reconocidas por los ciudadanos, en la última encuesta de percepción ciudadana de Medellín Como Vamos 2020², el 79% de los ciudadanos manifestaron estar satisfechos con el transporte público, con un incremento de 6 puntos porcentuales frente a la encuesta realizada en el 2019 y así mismo el 84% de los encuestados manifestaron estar satisfechos con el transporte masivo. Con respecto al transporte en vehículo particular, el 93% de los ciudadanos manifestó estar satisfecho, mientras que en el 2019 se reflejó el 81% de satisfacción (Medellín cómo vamos MCV, 2021), este incremento podría estar condicionado por las medidas del SARS CoV-2 o Covid 19. Dicha encuesta también reflejo una disminución en el uso del transporte masivo y un incremento en el uso y satisfacción con el transporte privado como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Medio de transporte principalmente usado, encuesta MCV 2020



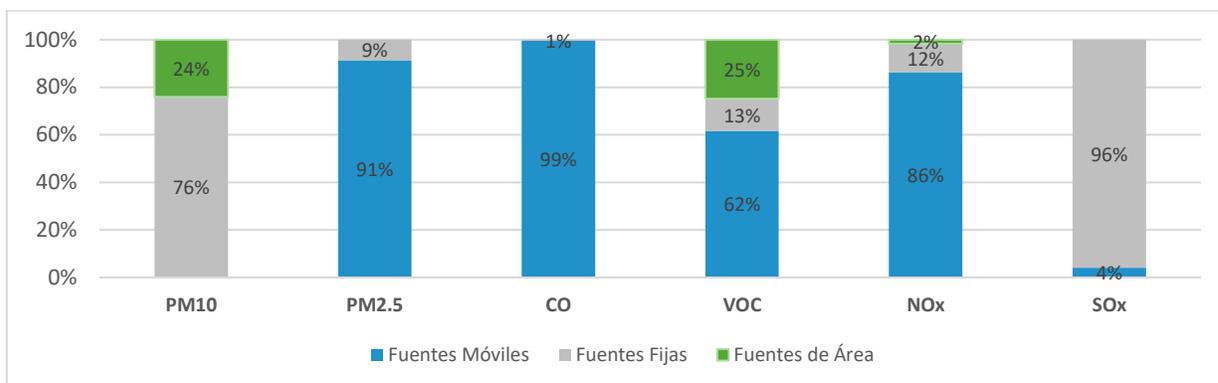
Fuente: adaptado de encuesta de percepción ciudadana “Medellín Como Vamos 2020”.

² Persona natural o jurídica que realizó la encuesta para MCV: Ipsos Napoleón Franco, inscrito ante el Consejo Nacional Electoral. Universo poblacional: Personas mayores de 18 años residentes habituales del área urbana de Medellín. Tamaño de la muestra obtenida: 1558 encuestas.

Otro aspecto a analizar es la última encuesta origen destino del 2017 - EOD, desarrollada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en ella se muestra un incremento en los desplazamientos en autos y motos, donde se estima que el 25% de los viajes realizados en la zona urbana del valle de Aburrá están concentrados en autos y motos; los viajes a pie se presentan como la principal opción con 27%, seguida por el bus de transporte colectivo con 19% y los viajes en metro corresponden al 12%. La EOD también reportó un incremento en los tiempos de desplazamiento, lo que sugiere la importancia en el desarrollo de estrategias que permitan incrementar el uso del transporte público, la bicicleta, o simplemente caminar, así como la importancia de desestimular el uso del vehículo particular.

Por otro lado, el inventario de emisiones año base 2018 (AMVA., & UPB, 2019), indica que el material particulado $PM_{2.5}$ es emitido en un 9% por las fuentes fijas y un 91% por las fuentes móviles, siendo las volquetas y camiones las categorías que más aportan con el 66.9% de las emisiones totales de fuentes móviles, los buses de servicio especial están en segundo lugar con un aporte estimado del 24.1% y las motos de cuatro tiempos están en tercer lugar aportando el 4,5%, evidenciando así un crecimiento desmedido en los últimos años, los buses y los autos aportan cada uno el 1.2% de total de $PM_{2.5}$ emitido por fuentes móviles. En la Figura 3 se presenta la distribución de las emisiones de contaminantes criterio en fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área año base 2018, donde se observa el alto aporte por parte de fuentes móviles.

Figura 3. Distribución de las emisiones de contaminantes criterio en fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área año base 2018.



Fuente: Informe Inventario de Emisiones año base 2018 (AMVA., & UPB, 2019).

Tabla 1. Distribución de las emisiones de contaminantes criterio en fuentes fijas, fuentes móviles y fuentes de área año base 2018

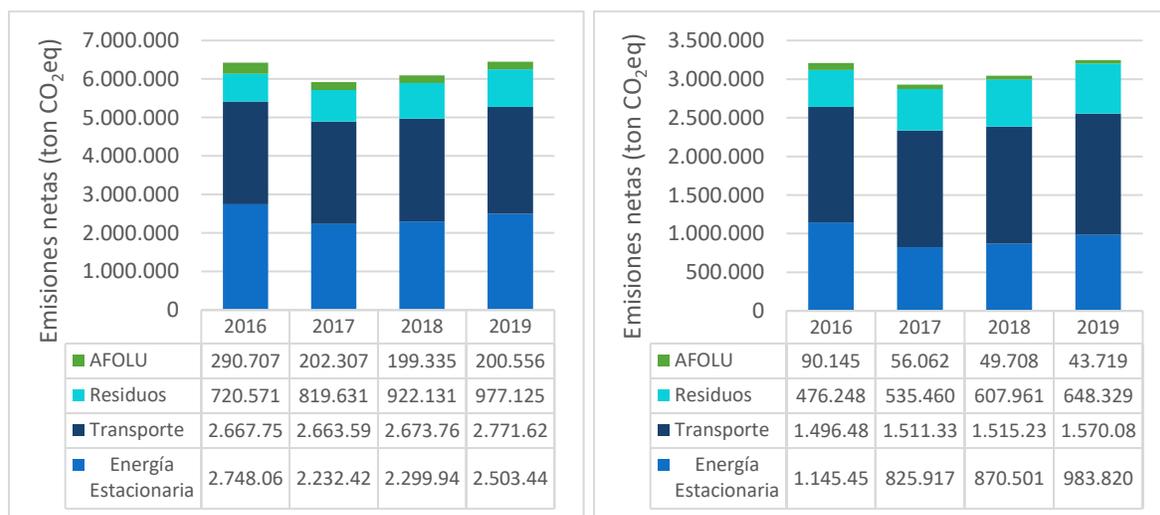
Fuente (Ton)	PM10	PM2.5	CO	VOC	NOx	SOx
Fuentes	0	2.625	562.557	32.736	16.522	144
Fuentes Fijas	385	248	3.228	7.109	2.346	3.376
Fuentes de Área	122	0	0	13.214	319	0
Total	507	2.873	565.785	53.059	19.187	3.520

Fuente: Informe Inventario de Emisiones año base 2018 (AMVA., & UPB, 2019).

En cuanto al inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para el Valle de Aburrá se elaboró una primera versión por parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín y la Alcaldía de Medellín para los años 2009 y 2011, siguiendo la metodología planteada en el año 2006 por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático – IPCC. Este inventario fue la base frente a la construcción del Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, adoptado mediante Acuerdo Metropolitano 4 de 2019 y en él se estimó para el sector transporte una contribución del 62%, seguido por la industria manufacturera 24%, el sector residencial aporta un 7% y el sector agropecuario el 3%, los demás sectores aportan un pequeño porcentaje (AMVA., UNAL., & UPB, 2018, pág. 173).

El inventario de GEI más reciente para el Valle de Aburrá fue realizado gracias a la unión de esfuerzos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con el apoyo del Gobierno Británico y del Fondo Mundial para la Naturaleza sede Colombia (WWF en inglés), el cual parte de los principios y ecuaciones de la GBP IPCC, el INGEI y el Protocolo Global para inventarios de Emisión de Gases Efecto invernadero a Escala Comunitaria. Este inventario evaluó las emisiones generadas por actividades humanas entre 2016 y 2019, en los sectores de energía, transporte, residuos, agricultura, forestal y otros usos del suelo en los diez municipios del Valle de Aburrá. Entre los principales resultados se obtuvo que para el año 2019 “se generó 6.432.119 toneladas de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que en porcentajes por sector corresponde a: transporte con un 43 %, energía estacionaria 39 %, residuos 14 %, y forestal, que es el manejo de las tierras forestales para madera, pastos, agua, vida salvaje y recreación, más agricultura y otros usos del suelo 4 %” (WWF Colombia, BEIS, MADS, IDEAM, & UK PACT, 2021).

Figura 4. Emisiones netas para el Valle de Aburrá (izquierda) y Emisiones Netas para la ciudad de Medellín (derecha) para los años 2016, 2017, 2018 y 2019



Fuente: Inventario de Emisiones GEI Valle de Aburrá, 2016 – 2019 (WWF Colombia, BEIS, MADS, IDEAM, & UK PACT, 2021).

Todos estos análisis han permitido abordar la problemática de calidad del aire desde un nivel más detallado por parte de las autoridades ambientales, quienes han logrado enfocar acciones hacia los sectores que presentan los mayores aportes en emisiones, sin embargo, la implementación de medidas requiere una mayor gestión en materia de planificación y articulación intersectorial, y adicionalmente un ejercicio de educación a la población.

Es por ello que se hace necesario identificar experiencias en el nivel internacional que permitan reconocer las dificultades y aprendizajes en la definición de este tipo de zonas y las medidas allí implementadas, de manera que a partir de estos análisis se puedan plantear las mejores alternativas para alcanzar los objetivos planteados en los tiempos proyectados.

2.2 ZONAS DE BAJAS EMISIONES EN CIUDADES EUROPEAS

En Colombia la Ley 1083 del 2006 determina la creación de “zonas de emisiones bajas”, dentro de los Planes de Movilidad que deben elaborar las ciudades con POT, sin embargo, a nivel nacional no se encuentra un referente en la implementación de estas zonas, siendo Medellín la ciudad más avanzada en el proceso de implementación.

La estrategia comúnmente conocida como Zona de Bajas Emisiones ZBE o LEZ por sus siglas en Inglés (Low Emission Zone) ha sido implementada en un gran número de ciudades europeas desde hace más de 20 años, con el objetivo principal de mejorar la calidad del aire en áreas particulares, a partir de la restricción de vehículos que no cumplan con los estándares de emisión de contaminantes atmosféricos como los Óxidos de Nitrógeno (NOx) o el Material Particulado (PM).

Según datos extraídos del informe “*Zones à faibles émissions à travers l’Europe*” de la Agencia de Transición Ecológica de Francia ADEME.

Suecia fue el primer país europeo en experimentar con este esquema en 1996.

Varios países europeos lo han seguido, como Alemania e Inglaterra desde 2008.

Este dispositivo contribuye así a la lucha contra la contaminación atmosférica en zonas urbanas donde las concentraciones de partículas PM₁₀ y dióxido de nitrógeno (NO₂) superan regularmente los valores regulatorios en las principales ciudades

europas. Para hacer cumplir las restricciones de tráfico, los dos principales medios de vigilancia desplegados en Europa son la video vigilancia y el control por parte de la policía (pág. 6).

El informe también incluyó 247 LEZ en 13 países europeos, este número puede variar de un estudio a otro en función de los criterios de selección. En el estudio presentado por ADEME se tuvieron en cuenta cuatro criterios, a saber (pág. 8):

1. La LEZ debe relacionarse con un perímetro geográfico determinado (en contraposición a un eje aislado).
2. La LEZ debe tener un impacto en los vehículos privados y / o profesionales (y no solo en las flotas gestionadas por las autoridades locales: bus, servicios municipales, etc.).
3. La LEZ debe restringir el acceso a los vehículos sobre la base de sus emisiones contaminantes (a priori normas Euro, pero también se cuenta la edad), y no sobre la base de los números de licencia, por ejemplo.
4. La LEZ debe ser permanente (todo el año) o semipermanente (todo el invierno, por ejemplo). Las LEZ que operan solo en caso de un pico de contaminación, no se cuentan.

Tabla 2. Países europeos que implementan LEZ entre 2011 y 2020

País	Mar 2011	Mar 2012	Mar 2014	Mar 2015	Sept. 2017	Nov. 2018	Abril 2020
Inglaterra	2	2	3	1	1	1	1
Alemania	43	56	69	78	83	87	87
Austria	1	1	2	4	4	4	4
Bélgica					1	2	3
Dinamarca	4	4	4	4	4	4	4
España					1	1	2
Francia					2	3	5
Grecia				1	1	1	1
Italia	109	98	94	100	108	106	117
Países Bajos	12	12	12	13	13	13	13
Portugal	0	1	1	1	1	1	1
Republica	1	1	1	1	1	1	1

País	Mar 2011	Mar 2012	Mar 2014	Mar 2015	Sept. 2017	Nov. 2018	Abril 2020
Suecia	6	6	7	8	8	8	8
	179	182	193	211	227	232	247

Fuente: adaptado del informe *Zones à faibles émissions à travers l'Europe* (ADEME, 2020, pág. 8)

Con respecto a la medición de los impactos asociados a la implementación de una LEZ, ADEME (pág. 6) señala que:

El impacto de una LEZ en la calidad del aire se determina mediante mediciones in situ, modelos o una combinación de los dos métodos. La reducción de las emisiones contaminantes vinculadas al tráfico rodado es en general significativa, y los beneficios esperados en la calidad del aire son más moderados, especialmente dada la multitud de fuentes de emisión en las zonas urbanizadas y la importante influencia de la situación meteorológica. La evaluación de impactos en la calidad del aire difiere de una LEZ a otra, pero, según el caso, se pueden observar reducciones significativas en las concentraciones de NO₂ en el aire hasta el 29% y PM₁₀ hasta el 12%, así como reducciones de PM_{2.5} hasta 15% y carbono negro (BC) hasta 52%. El análisis de tendencias tiende a mostrar que el beneficio de una LEZ sobre la calidad del aire será mayor cuanto mayor sean los niveles de restricción (ADEME, 2020, pág. 6).

3 ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

La calidad del aire ha sido analizada desde hace más de veinte años en la ciudad de Medellín y en el valle de Aburrá, logrando obtener datos que orientan la toma de decisiones a partir de una mirada técnica y científica. Es así como basados en los resultados de la encuesta origen destino, el inventario de emisiones de contaminantes criterio e inventario GEI, entre otros documentos, se evidencia la necesidad de implementar en la región medidas encaminadas a mejorar las emisiones asociadas al sector transporte, orientados hacia todas las categorías, pues si bien se requiere el mejoramiento del parque automotor de volquetas y camiones, no se puede desconocer el papel que juegan las motos y vehículos livianos en la movilidad, ya que representan el 93% del parque automotor matriculado en el Valle de Aburrá.

La implementación de medidas estructurales como la renovación del parque automotor, mejores combustibles, eficiencia energética en el sector industrial, entre otras, demandan tiempo y enormes inversiones por parte del gobierno nacional, local y de los sectores privados, pero mientras se logra la implementación efectiva de este tipo de medidas, se han identificado acciones de corto plazo que permiten mejorar la calidad del aire en zonas con altos índices de contaminación y frenar el incremento de la problemática, sin embargo, estas medidas deben ser evaluadas en cuanto a efectividad y pertinencia.

En este sentido el enfoque orientado a la restricción de la movilidad³, se fundamenta en diferentes criterios y especialmente en lo establecido en la Ley 1083 del 2006 que determina la creación de “*zonas de emisiones bajas*”, dentro de los Planes de Movilidad

³ Con respecto al enfoque orientado a la industria el Decreto compilatorio 1076 de 2015, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define las áreas fuente de contaminación como “una determinada zona o región, urbana suburbana o rural, que, por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire” el Decreto también establece que: “Las autoridades ambientales competentes determinarán, mediante estudios técnicos, basados en mediciones idóneas, las áreas o zonas que dentro del territorio de su jurisdicción, tengan las concentraciones contaminantes de que trata el decreto y se abstendrán de expedir licencias ambientales y permisos requeridos para el funcionamiento de nuevas instalaciones, susceptibles de ser fuentes fijas de emisiones contaminantes, hasta tanto la zona objeto de la restricción reduzca su descarga contaminante global y permita un nuevo cupo de emisión admisible” (MADS M. d., 2015, pág. 422).

que deberán formular los municipios con Planes de Ordenamiento Territorial – POT. El propósito de las restricciones en estas zonas es:

Permitir únicamente el acceso a quienes se desplacen a pie, en bicicleta o en otro medio no contaminante, así como en vehículos de transporte público de pasajeros siempre y cuando este se ajuste a todas las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes, y funcione con combustibles limpios (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006).

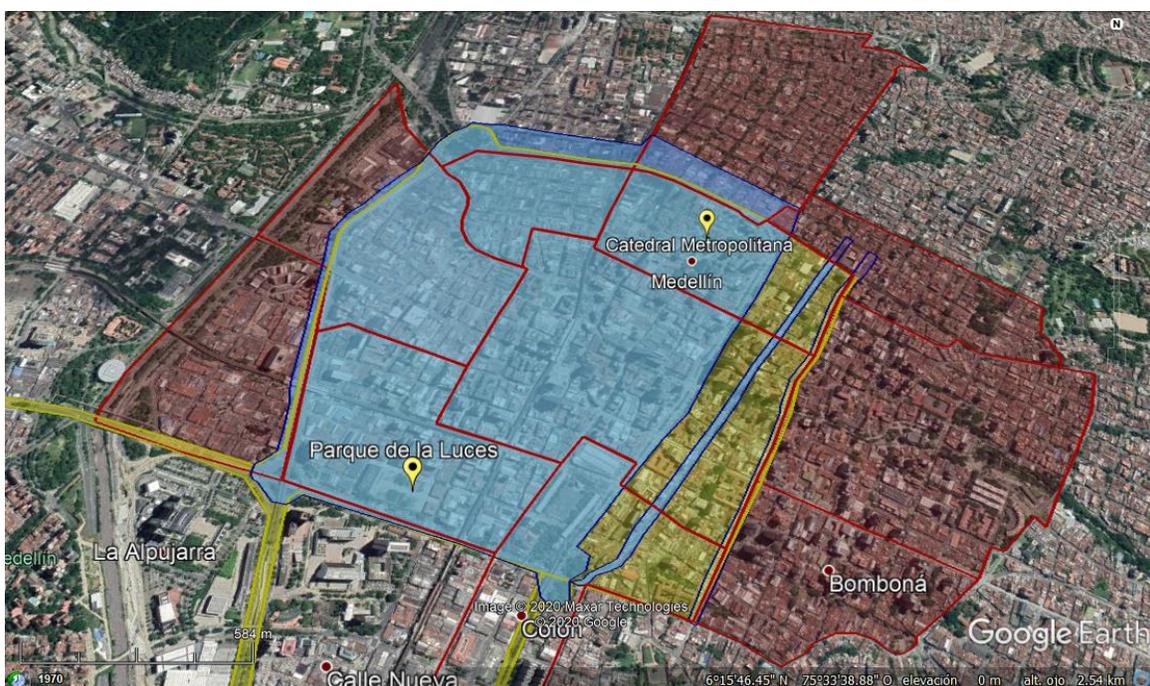
En concordancia con lo anterior y basados en el eje temático nueve del PIGECA, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha introducido el concepto de *Zonas Urbanas de Aire Protegido - ZUAP*, como:

Aquellas zonas debidamente delimitadas en las cuales por los antecedentes de excedencia de la norma nacional de calidad del aire, se presenta altos índices de contaminación atmosférica que pueden perjudicar a los habitantes metropolitanos en general, y por lo tanto ameritan medidas de control ambiental por parte de las entidades competentes, en procura de mejorar las condiciones preexistentes en las mismas”, este concepto se adoptó a partir de la Resolución Metropolitana 2231 de agosto de 2018 (AMVA, 2018).

Dicha Resolución además de incorporar el concepto de las ZUAP, también declara dos Zonas con estas características, una ubicada en el sector sur del Valle de Aburrá (municipios de Sabaneta y la Estrella), delimitado por las siguientes vías: Carrera 49, vía Regional, calle 79 sur, autopista sur, calle 77 sur, carrera 50^a, vía Regional, calle 78 c sur, carrera 48, calle 78 d sur, carrera 47 f, y la segunda ubicada en la ciudad de Medellín en el polígono delimitado al sur por la calle 44 (Avenida San Juan) hasta la calle 58 (Echeverry) en el norte, al oriente desde la carrera 46 (Avenida Oriental) hasta la carrera 57 (Avenida el Ferrocarril) en el occidente. La afectación a la calidad del aire en estas zonas está asociada principalmente a las emisiones de las fuentes móviles.

Los barrios La Candelaria, Guayaquil, Estación Villa y Villa nueva y algunos sectores de los barrios San Benito, Colón, Prado y Jesús Nazareno, hacen parte del polígono delimitado como ZUAP en la zona centro de la ciudad de Medellín (ver Figura 5 delimitada en azul) y coincide parcialmente con el sector delimitado en el Plan de Ordenamiento Territorial como “Centro Histórico Tradicional” y a su vez con la “Zona Amarilla” definida en el Decreto 1790 de 2012 para efectos del control de estacionamiento, circulación, cargue y descargue de mercancías.

Figura 5. Zona Urbana de Aire Protegido en el Centro de Medellín



Fuente: visualización a través de Google Earth: Zona Urbana de Aire Protegido en el centro de Medellín (línea azul), Barrios del centro histórico tradicional (líneas rojas), Zona Amarilla (líneas amarillas).

Si bien existen normas nacionales que definen los parámetros claves para la definición de estas áreas y las medidas a implementar, estas son de carácter general y requieren que los municipios con influencia de la ZUAP definan los lineamientos normativos para restringir o disuadir el transporte motorizado y actividades con emisiones contaminantes significativas, contribuyendo así a la mejoría en la calidad del aire a través de una política sostenible. Sin embargo, después de dos años de la expedición de la Resolución Metropolitana, los

municipios aún no han emitido las medidas que se requieren y que deberán marcar la diferencia en estos polígonos⁴.

Para determinar las alternativas más viables como solución al problema de contaminación se debe analizar el comportamiento económico de la ciudad de Medellín, al respecto la corporación *Medellín Cómo Vamos* en el informe de *Desempeño Económico y Competitividad* (2020), indicó que:

En el cuatrienio 2016-2019 la dinámica empresarial de Medellín mostró un buen desempeño y desde 2018 los indicadores de los principales sectores económicos presentaron síntomas de recuperación de la desaceleración iniciada en 2014-2015. La economía antioqueña a partir de 2018 tuvo síntomas de recuperación y se alcanzó en 2019 una tasa de crecimiento del PIB de 3,5%. En Medellín y la región metropolitana, el ingreso per cápita de la unidad de gasto había evidenciado una tendencia decreciente desde 2014, pero en 2018 comenzó a mostrar señales de recuperación con un crecimiento de 2% (pág. 145).

El comercio minorista, registró tasas de crecimiento promedio de 4,62% en 2018 y 5,41% en 2019. En cuanto al turismo, el porcentaje de ocupación hotelera acumulado anual durante el cuatrienio 2016-2019, fue en promedio de 63%, además hubo un aumento en los viajeros nacionales e internacionales, que incrementaron 24,7% y 51,7%, respectivamente. En cuanto a la dinámica empresarial, en 2016-2019 ha habido un incremento sostenido del número de empresas por cada mil habitantes, alcanzándose en 2019 un máximo de 43,1 empresas y 18,9 sociedades jurídicas por cada mil habitantes. En lo que respecta al ecosistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, en este periodo la ciudad ha mostrado avances tanto en inversión como en implementación de estrategias para su mayor apropiación y desarrollo (Medellín cómo vamos MCV, 2020, pág. 145).

⁴ Es importante aclarar que, como complemento a las zonas ya mencionadas se delimitaron áreas con influencia directa de fuentes fijas y se formularon requerimientos específicos que aseguren el cumplimiento de los objetivos de las ZUAP (Resoluciones Metropolitanas 2712 y 3770 de 2019), los cuales deberán ser implementados por el Área Metropolitana como autoridad Ambiental competente.

Dadas las características de la ciudad de Medellín, su desarrollo económico y proyecciones de crecimiento se hace necesario superar los conflictos ambientales en especial los asociados a la calidad de aire, en este sentido siendo el $PM_{2.5}$ el contaminante que presenta condiciones más críticas para el Valle de Aburrá, ya que supera los límites indicados por la Organización Mundial de la Salud y cuya emisión primaria proviene en un 91% de las fuentes móviles, es imperioso identificar lineamientos que permitan una rápida y oportuna intervención en aras de lograr una disminución en los niveles de concentración de este contaminante a partir de la gestión de las emisiones asociadas al transporte urbano motorizado, en zonas estratégicas del Valle de Aburrá, y que a la vez influya en las emisiones de GEI contribuyendo a las metas de mitigación planteadas en el Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá PAC&VC.

Por lo tanto, esta investigación pretende dar respuesta a las siguientes preguntas problema:

¿Qué acciones se deben llevar a cabo por parte de las autoridades ambientales para disminuir la contaminación atmosférica en Zona Urbana de Aire Protegido – ZUAP, del centro de Medellín, permitiendo guardar armonía con el desarrollo y principios de sostenibilidad de la región?

Sistematización del problema

Pregunta 1: ¿Cuál ha sido el comportamiento histórico de la calidad del aire en la zona centro del municipio de Medellín?

Pregunta 2: ¿Cómo es el modelo de ocupación planteado en la ciudad de Medellín?

Pregunta 3: ¿Cuáles son las mejores alternativas de solución al problema de contaminación atmosférica que se presenta en la zona centro del municipio de Medellín, ocasionado especialmente por la emisión de fuentes móviles?

4 JUSTIFICACIÓN

En el Valle de Aburrá se ha reconocido que tanto las emisiones por fuentes móviles como las emisiones por fuentes fijas (industria) sumado a las condiciones meteorológicas y el terreno montañoso que rodea la región generan una mala calidad del aire en toda la extensión del valle, en este sentido el contaminante que registra un mayor número de excedencias de la norma diaria según los niveles definidos en Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el Material Particulado inferior a 2.5 micras.

Al respecto la Organización Mundial de la Salud - OMS indica que de acuerdo con las pruebas relativas al Material Particulado se han identificado efectos adversos a la salud, en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. La OMS también indica que:

Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 μ (PM_{2,5}) se ha estimado en 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental” (OMS, Guías de calidad del aire de la OMD relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, 2005, pág. 11).

Siendo este un problema de gran importancia se busca mejorar la calidad del aire en zonas que se han identificado con alta contaminación en la ciudad de Medellín y así reducir los efectos en la salud. Como parte de la solución a la problemática, se ha avanzado en la identificación de estas áreas, las cuales se caracterizan por presentar concentraciones de contaminantes que superan la normativa, lo cual podría incidir en la salud de la población asentada en dichas zonas. Estas áreas han sido delimitadas por la autoridad ambiental basadas en estudios técnicos de acuerdo con la normativa existente y se reconocen hoy en día como “Zonas Urbanas de Aire Protegido - ZUAP”. Sin embargo, aún no se han

determinado las medidas para reglamentar estas zonas, ya que deben estar dentro de los parámetros de sostenibilidad e igualdad. Es importante indicar que a nivel nacional no hay referencia en la manera de regular estas áreas lo que ha dificultado emitir una normativa frente a las mismas.

Ciudades europeas como Madrid, Berlín, París, entre otras, han implementado diversas medidas en “Zonas de Baja de Emisión” cuyas restricciones han estado enfocadas a las fuentes móviles (peajes urbanos, restricción a vehículos contaminantes, compensar los vehículos cero emisiones), sin embargo en algunas ciudades las medidas no han sido de fondo por lo tanto no han logrado el impacto esperado, de ahí la necesidad de que cada ciudad a partir de sus características y necesidades logre concretar medidas que permitan mejorar la calidad del aire.

La implementación de este tipo de medidas no solo mejora la calidad del aire para disminuir los riesgos asociados a la salud, sino que beneficia la estrategia en la lucha contra el cambio climático y favorece al peatón, a los usuarios de la bicicleta y a evitar la congestión (Ministerio de Transporte de Colombia, 2016); sin embargo, para poder alcanzar estos objetivos es pertinente evaluar las condiciones del territorio y determinar sus capacidades con el fin de proporcionar un mejor transporte público, infraestructura y espacios públicos de calidad de tal forma que las medidas no tengan un impacto negativo que afecte la productividad y competitividad de la región.

Proponer una solución práctica a una situación problemática no solo se constituye en una acción viable a la luz de un análisis académico, debe también despertar una sensibilización en la sociedad que permita una mayor apropiación en la solución por parte de la ciudadanía y de los diferentes sectores e instituciones, que conlleve a una actuación responsable y de la manera más sustentable posible.

Motiva el desarrollo de este trabajo de grado el plantear una serie de medidas que permitan la gestión de soluciones pertinentes a las características sociales, económicas y naturales del territorio desde la óptica del problema, pretendiendo con esto aportar en el proceso de mejorar la calidad del aire y lograr de manera complementaria un territorio más cómodo,

agradable y sostenible. Es así como desde la Maestría en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio se ha buscado realizar un aporte al proceso de ocupación del territorio con miras a prevenir y reducir la contaminación en los polígonos y corredores de la unidad de análisis.

5 REFERENTE TEÓRICO

5.1 REFERENTE CONCEPTUAL

Los problemas de contaminación atmosférica en zonas estratégicas del Valle de Aburrá requieren soluciones integrales con un enfoque sostenible, a partir del análisis del desarrollo productivo de la región, del modelo de ocupación y de estudios técnicos de la calidad del aire y de los diferentes contaminantes. A continuación, se desarrolla una serie de conceptos técnicos que permitirán una mayor comprensión de la problemática y del desarrollo de las alternativas de solución.

5.1.1 Concepto De Sostenibilidad Y Sustentabilidad

En relación con el concepto de “Sostenibilidad”, existen planteamientos elevados por Carrizosa (2000) y Ángel Maya (2002) que definen la ocurrencia de una trama de interfases complejas que determinan el desempeño del sistema ambiental. Así mismo, podría entenderse que ese sistema ambiental opera por la catalización de procesos al interior de subsistemas que dan soporte a las dinámicas de la trama de la vida (Capra, 1996). Desde la perspectiva de las ciencias ambientales se debe reconocer al *holón* de lo ambiental como un *todo* en donde las interfases que plantean los subsistemas social, económico y ecológico permiten definir al desarrollo y a la movilidad sostenible como aquellos que resultan viables, equitativos y soportables.

El concepto de sustentabilidad tiene su origen en la doctrina del pensamiento ambiental complejo⁵. El desarrollo sustentable es la sociedad de los flujos cíclicos, es tomar conciencia que solamente comprendiendo las relaciones y organizándolas en el caos, se puede hacer que esa compleja sociedad, esa compleja realidad global y planetaria pueda directamente sobrevivir. Una sociedad basada como unidad de producción en los

⁵ Ambiente: Irreconocible es ya, esa cosa, ese término, que sin ningún tropiezo lo sustituíamos por naturaleza, ecología o entorno. Pues como él nos lo señala una vez más: el ambiente es la complejidad del mundo. Ahora el ambiente es un espacio, que si bien se presta para escudriñar sin piedad las tragedias objetivizantes del pensamiento occidental, que en su clamada desconstrucción bien pareciera una petición apocalíptica, pero que debido a sus matices no dogmáticos, también genera el caldo de los cultivos de las sociedades, que en su afán de humanizar el universo, habrán de reencontrar sus huellas primigenias, habrán de reconocer a su Madre Tierra y habrán de constituirse en plena sustentabilidad ambiental.

ecosistemas autorrenovables, y se modela una ciudad, una región, un municipio, una nación, un territorio, pensado en el corto, mediano y largo plazo, usando todos los tipos de capital, con una visión integral, en una concepción holística. Así se podría definir la sustentabilidad según Pesci (2007).

Ambos conceptos presentan raíces gramaticales similares en los prefijos de sus *bases verbales*: *Sosten-(er)* y *Susten-(ar)*. Lo sostenible implica: 'asentamiento', 'base', 'apoyo', 'sostén', 'firmeza', 'seguridad', y por la otra parte lo sustentable denota 'alimentación', 'nutrimento', 'manutención'.

- **Sostenible** se refiere al aspecto *endoestructural* del sistema de que se trate, lo que ha de permanecer firmemente establecido, asentado, fijo, inalterable, inamovible.
- **Sustentable** será lo *supra-* o *superestructural* de ese mismo sistema, lo que requiere que se lo esté alimentando, proporcionándole los medios de sobrevivencia y de persistencia, a fin de que pueda extender su acción, no sólo en su ámbito (espacio) sino también en el tiempo.

Según la definición de la Unión Mundial de la Conservación (Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas y Fondo Mundial de la Naturaleza, 1991): “El desarrollo sostenible implica la mejora de la calidad de vida dentro de los límites de los ecosistemas”. Entendiendo por ello la necesidad global de dar respuesta de manera urgente a todos los desafíos en materia ambiental, social y económico y para esto se hace necesario comprender la raíz de dichas problemáticas.

5.1.2 La Contaminación Ambiental En La Historia Mundial

Para entender la problemática de contaminación es importante conocer como ha sido su evolución en la historia de la humanidad. A mediados del siglo XVIII, con la llamada revolución industrial se vivió un proceso de transformación social, económica y tecnológica, la cual se debió principalmente al cambio hacia una producción industrial y mecanizada, generando mayor explotación de los recursos naturales y la extracción y uso del carbón, no solo para procesos de industrialización sino como combustible del

ferrocarril, el cual también nació por la misma época. Si bien todo este desarrollo trajo consecuencias de índole social, reconocidas desde la época, también trajo consigo problemas medioambientales (Bureau Veritas, 2008).

Como lo menciona Bureau (2008) en el siglo XIX se presenta:

El descubrimiento de la electricidad y la posterior introducción del petróleo en los sistemas de producción, facilitó el crecimiento del sector industrial y el transporte, generando un aumento considerable de las emisiones a la atmósfera, los vertidos y los residuos. Desde entonces, la relación del hombre con el medio cambia por completo, ya que para desarrollar su actividad productiva consume grandes cantidades de recursos naturales, provocando los primeros episodios de degradación del medio ambiente (pág. 44).

El sistema energético actual está fuertemente basado en los combustibles fósiles y el ritmo de consumo es tal que en un año la humanidad consume lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el agotamiento de las reservas existentes es una realidad. Así, las previsiones más optimistas dan plazos inferiores a 100 años para el agotamiento de las reservas de petróleo (pág. 45).

Entre los problemas medioambientales a los que se enfrenta actualmente la humanidad, se encuentra el cambio climático, por el aumento de los gases de efecto invernadero, problemas en la capa de ozono, pérdida de diversidad biológica y la alta deforestación, entre otros. Esto ha generado movimientos sociales para la protección del medio ambiente y también conferencias y programas del orden gubernamental con el fin de darle un tratamiento global a la problemática. En la Tabla 3 se presenta un resumen de las actuaciones medioambientales a nivel mundial.

Tabla 3. Principales actuaciones ambientales a nivel mundial

Año	Actuación	Año	Actuación
1972	Primer informe al Club de Roma	2004	Décima Conferencia de las partes

Año	Actuación	Año	Actuación
1972	Conferencia de Estocolmo (Conciencia sobre temas ambientales)	2005	Cumbre Mundial Sede ONU en Nueva York (Reconocimiento del Cambio climático como problema grave)
1987	Informe Brundtland (Desarrollo sostenible)	2005	Undécima Conferencia de las Partes -Montreal (Adaptación al cambio climático)
1987	Protocolo de Montreal (relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono)	2007	Bali (negociación cumplimiento protocolo Kioto 2012-2020)
1992	Cumbre de la tierra o Conferencia de Río (Adopción Agenda 21 – Desarrollo sostenible global)	2009	Acuerdo de Copenhague (Meta límite máximo para el incremento de la temperatura media global)
1995	Primera conferencia de las partes - COP Berlín	2010	Conferencia de Cancún (Creación fondo verde para el clima)
1996	Conferencia Hábitat II	2010	Cumbre de las Naciones Unidas sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (New York)
1997	Segunda Cumbre de la Tierra	2011	Conferencia sobre el cambio climático (Durban)
1997	Conferencia de Kyoto (Acuerdo vinculante para la reducción GEI)	2012	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río +20)
1998	Protocolo de Protección de la Antártida	2015	Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (New York)
1998	Conferencias de Buenos aires (Compromiso para minimizar riesgos del Cambio Climático)	2015	Conferencia sobre Cambio Climático de París COP 21
2000	Declaración del Milenio de las Naciones Unidas	2016	Conferencia mundial sobre el transporte sostenible
2001	Acuerdo de Bonn	2016	Hábitat III - La Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible
2001	Acuerdos de Marrakech		
2002	Cumbre de Johannesburgo (Río+10)		

Fuente: adaptado del Manual para la formación en Medio Ambiente (Bureau Veritas, 2008, págs. 46 - 48).

5.1.3 Calidad Del Aire Y Sus Impactos A La Salud Y El Ambiente

La definición de contaminación atmosférica tiene su origen en 1968 en la declaración de principios sobre la lucha contra la contaminación del aire del Consejo de Europa⁶:

“Presencia en la atmósfera de sustancias extrañas o variaciones importantes en la proporción de sus elementos constituyentes susceptible de provocar un efecto perjudicial, teniendo en cuenta los conocimientos científicos del momento o de producir molestia” (Faccioli, 2018, pág. 18). Ahora bien, en Colombia se define la contaminación atmosférica como:

El fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire, entendiéndolo el aire como el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015, pág. 412).

Frente a estos conceptos podemos concluir que las variaciones en la composición del aire que genere concentraciones de algún contaminante con niveles perjudiciales a la salud de la población, indica que se presenta una mala calidad de aire.

Con respecto a las causas que ocasionan contaminación atmosférica podemos mencionar una variedad de factores como algunas actividades industriales y el impacto por la combustión de los vehículos entre muchos otros. Frente a las emisiones producidas por los vehículos Faccioli (2018) menciona que:

La emisión de contaminantes depende del tipo de motor del vehículo, si se usa como carburante la gasolina, lanza a la atmósfera principalmente monóxido de

⁶ El Consejo de Europa es una organización internacional que tiene como objetivo principal la defensa, protección y promoción de los derechos humanos (en particular los civiles y políticos), la democracia y el Estado de Derecho. Creado el 5 de mayo de 1949, engloba las 47 naciones europeas con la sola excepción de Bielorrusia. En 1950, se redactó el Convenio Europeo para la Protección de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales donde se garantiza la protección de los derechos humanos y que creó el Tribunal Europeo de Derechos Humanos. El Consejo de Europa tiene su sede en la ciudad francesa de Estrasburgo, que hace visible su relación con la reconciliación europea tras una historia jalonada por enfrentamientos (Gobierno de España ©Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, 2021).

carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo, mientras que, si se utiliza diésel, genera partículas, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso Faccioli (pág. 19).

Por lo que atañe a los focos industriales contaminantes, hay que subrayar que el nivel de contaminación depende de diferentes factores, es decir, el proceso productivo, la tecnología y las materias primas utilizadas. Entre los sectores industriales más contaminantes podemos recordar las refinerías de petróleo, la industria química, la siderurgia y la industria de aluminio (pág. 19).

Tanto las fuentes industriales como las fuentes de vehículos son consideradas emisiones antropogénicas, es decir por responsabilidad del hombre, sin embargo, hay emisiones de origen natural que también aportan al incremento de la contaminación atmosférica. Al respecto el libro *“La protección de la calidad del aire”* sintetiza que las emisiones por fuentes de contaminación, “proviene del hombre en un 58%, de la erosión en un 24.5%, de las erupciones volcánicas en un 8%, de procesos biogénicos en un 4.7%, de incendios forestales en un 3.3% y del aerosol marino en un 1.5%” (Faccioli, 2018, pág. 19).

Los contaminantes⁷ se pueden clasificar en: primarios, definidos como aquellos que se emiten de manera directa a la atmósfera, y secundarios, los cuales se obtienen a partir de las reacciones químicas de los contaminantes primarios. La lluvia, el viento y la presión atmosférica son factores que influyen en la dispersión de partículas, el viento puede propagar contaminantes en sentido horizontal, y la temperatura influirá en la propagación vertical. Este último, está relacionado con el proceso de estabilidad atmosférica dada por “procesos de inversión térmica, es decir, cuando el aire se enfría desde el suelo hacia la atmósfera en los días de noches despejadas” (Faccioli, 2018, pág. 20).

⁷ Son fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas. (Decreto compilatorio 1076 de 2015, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia).

5.1.3.1 Clasificación de los Gases que Provocan la Contaminación Atmosférica.

La problemática de la contaminación del aire se ha convertido en problema a nivel mundial, lo que ha causado problemas de salud a la población y a los ecosistemas, como la destrucción de la capa de ozono, el efecto invernadero y el cambio climático. De acuerdo con consultas realizadas a diferentes fuentes, se presentan a continuación la clasificación de los contaminantes con mayor incidencia en los problemas de contaminación, así mismo se enuncian algunos de sus efectos para la población:

- **Contaminantes criterio:** dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, se identificaron 5 contaminantes criterio que afectan la salud humana inmediatamente desde su inhalación: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono troposférico (O₃) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velásquez, 2013, pág. 5).
- **Contaminantes de vida corta:** Son compuestos que permanecen por un tiempo relativamente corto en la atmósfera, desde un par de días hasta unas décadas, que tienen un efecto de calentamiento, a corto plazo, sobre el clima. Generan millones de pérdidas anuales de toneladas de cosechas al año y producen efectos nocivos en la salud humana y la de los ecosistemas. Los principales causantes son: el Ozono troposférico O₃, Carbón Negro CN, Metano CH₄ y los Hidrofluorocarbonos HFC (Instituto Mexicano del Transporte, 2019, pág. 8).
- **Contaminantes de efecto invernadero:** Son los que reciben su nombre porque provocan el efecto invernadero. De manera semejante en que las paredes de vidrio elevan la temperatura interior de los invernaderos, estos contaminantes conducen al aumento de la temperatura de la tierra al interactuar con la energía que proviene del sol. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), define a los gases de efecto invernadero como el componente gaseoso de la atmósfera, ya sea de origen natural o antropogénico, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad

da lugar al efecto invernadero. Los principales gases responsables del efecto invernadero natural son:

- El dióxido de carbono (CO₂) generado a partir de cualquier combustión, puede ser de la respiración de los seres vivos, la descomposición de la materia orgánica muerta, los incendios naturales, entre otros.
- El metano (CH₄) emitido por los humedales y los rumiantes durante su proceso digestivo.
- El óxido nitroso (N₂O) producido por la descomposición bacteriana de la materia orgánica.
- El ozono (O₃) cuando resulta de la unión natural de tres átomos de oxígeno.
- El vapor de agua (H₂O) producido por la evaporación del agua.

Después del dióxido de carbono (CO₂), los más importantes contribuyentes al calentamiento global actual son los contaminantes climáticos de vida corta: el metano (CH₄), el carbono negro (CN) y el ozono troposférico (O₃). [(INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2017) como se citó en (Instituto Mexicano del Transporte, 2019, pág. 8)].

Tabla 4. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire para Colombia

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m ³)	Tiempo de exposición
PM ₁₀	50	Anual
	75	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual
	37	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Nota: la aplicación de estos valores inicio el 1 de enero de 2018 y para el caso de PM₁₀ y PM_{2.5} a partir del 1 de julio de 2018.

Fuente: Resolución 2254 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia).

5.1.3.2 Emisiones Vehiculares.

Tal como se menciona en el documento de *Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera* (Instituto Mexicano del Transporte, 2019):

Al inicio del impulso de la industria automotriz no se consideró la peligrosidad que implica la generación de las emisiones que se producen por la combustión de los motores de los vehículos. Todo comenzó en la década de 1950 en Los Ángeles, California, en los Estados Unidos de América, cuando se incrementó la compra de vehículos para uso privado, donde las emisiones de los automóviles fueron un importante contribuyente a la contaminación del aire urbano. Los estándares de emisión de gases de escape para automóviles nuevos se establecieron por primera vez en 1968 (1965 en California) y, a partir de entonces, cada dos años los criterios de emisiones provenientes de la combustión se hicieron más estrictos hasta principios de los años ochenta. Estas condiciones llevaron a los fabricantes de motores a enfrentar continuamente grandes retos tecnológicos que les permitieran ajustarse a la legislación anticontaminante, lo que ha logrado incluir parámetros fundamentales en la evaluación del desempeño de los motores (pág. 4).

Con el fin de inducir el ingreso de tecnologías menos contaminantes se crearon en el mundo estándares de emisión para las fuentes móviles como las EURO y las dadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), tal como lo describe (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velásquez, 2013):

Las normas EURO tienen estándares de concentración para CO, Hidrocarburos, NO_x, PM₁₀ y empezaron a regir desde 1992. Clasifican las fuentes móviles en encendido por chispa o por compresión, entre otras clasificaciones, en la Tabla 5 se resumen los estándares de emisión para la norma Euro. El estándar denominado EEV representa una regla voluntaria entre Euro V y Euro VI (pág. 8).

En el caso de Estados Unidos, la EPA clasifica las fuentes móviles en baja potencia (autos y camiones), motocicletas, alta potencia (motores y vehículos), motores y

vehículos fuera del camino (non-road) y estándares para combustibles que contienen azufre, como se puede ver en la Tabla 6 (pág. 8).

Tabla 5. Estándares de emisión Euro para vehículos de tránsito. (g/km)

Estándar	Fecha	CO	THC	NOx	PM
Euro I	1992	9,1	1,98	14,4	0,648
Euro II	1998	7,2	1,98	12,6	0,270
Euro III	2000	3,8	1,188	9,0	0,180
Euro IV	2005	2,7	0,828	6,3	0,036
Euro V	2008	2,7	0,828	3,6	0,036
EEV*		2,7	0,450	3,6	0,036
Euro VI	2013	2,7	0,234	0,7	0,018

*Euro. EEV representa una regla voluntaria entre Euro V y Euro VI.

Fuente: Exhaust emissions of Transit Buses (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012) como se citó en (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velásquez, 2013).

Tabla 6. Estándares de emisión EPA (g/km)

Estándar	CO	THC*	NOx	NMHC + NOx**	PM
1994	45,06	3,78	14,54		0,20
1996	45,06	3,78	11,63		0,15
1998	45,06	3,78	11,63		0,15
2004 (1)	45,06	3,78		6,98	0,03
2004 (2)	45,06	3,78		7,27	0,03
2007	45,06	3,78	3,92		0,03
2010	45,06	3,78	0,58		0,03

*THC: Hidrocarburos totales

**NMHC: Hidrocarburos no metanos

Fuente: Exhaust emissions of Transit Buses (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012) como se citó en (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velásquez, 2013).

5.1.3.3 Efectos de los Contaminantes

A través de numerosos estudios se ha reconocido que la contaminación atmosférica tiene efectos adversos sobre la salud de la población. Según datos presentados por la OMS (Calidad del aire y salud. Obtenido de Datos y cifras, 2018):

La contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, según estimaciones de 2016 fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM_{2,5}), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

La OMS estima que, en el 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas, y el 6% de las muertes se debieron al cáncer de pulmón.

Algunas muertes pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo. Por ejemplo, tanto el consumo de tabaco como la contaminación del aire ambiente pueden provocar cáncer de pulmón. Algunas de las muertes por cáncer de pulmón podrían haberse evitado con la mejora de la calidad del aire ambiente o con la reducción del consumo de tabaco. Una evaluación de 2013 realizada por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga.

Abordar todos los factores de riesgo de las enfermedades no transmisibles, incluida la contaminación del aire, es fundamental para proteger la salud pública. La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las

personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura.

A continuación, se mencionan algunos efectos en la salud humana a causa de la exposición frente a ciertos contaminantes (SEMARNAT, 2013, pág. 12):

- Dióxido de azufre (SO₂): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y traqueítis.
- Monóxido de carbono (CO): En altas concentraciones inhabilita el transporte de oxígeno hacia las células. Si se expone prolongadamente puede provocar mareo, dolor de cabeza, inconciencia e incluso la muerte.
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y neumonía.
- Ozono (O₃): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones reduce la función pulmonar, empeora el asma, inflama las células que recubren los pulmones y empeora enfermedades pulmonares crónicas.
- Partículas PM₁₀: Agravan el asma y enfermedades respiratorias cardiovasculares. Su exposición crónica en altas concentraciones puede provocar un incremento en el riesgo de morbilidad y mortalidad.
- Partículas PM_{2.5}: Agravan el asma, reducen la función pulmonar y se asocian con el desarrollo de diabetes. Pueden ocasionar disminución en el tamaño del feto.
- Smog fotoquímico: Reduce la visibilidad, irritando los ojos y el aparato respiratorio; puede causar cáncer de pulmón en la misma medida, incluso mayor, que lo puede hacer el hecho de fumar. El esmog también afecta a árboles y cultivos.

En la Tabla 7 se presentan las directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005, las cuales ofrecen una orientación general en relación con umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM₁₀) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico (µg/m) es posible reducir en un 15% el número de

defunciones relacionadas con la contaminación del aire. Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas las cuales actualmente se encuentran en proceso de revisión y su publicación está prevista para 2021.

Tabla 7. Directrices de la OMS sobre la calidad del aire publicadas en 2005

Contaminante	Valores fijados en las directrices	
PM _{2.5}	10 µg/m ³ de media anual	25 µg/m ³ media en 24h
PM ₁₀	20 µg/m ³ media anual	50 µg/m ³ media en 24h
O ₃	100 µg/m ³ de media en 8h	
NO ₂	40 µg/m ³ media anual	200 µg/m ³ de media en 1h
SO ₂	20 µg/m ³ media anual	500 µg/m ³ de media en 10 min

Fuente: Guía de calidad del aire (OMS, 2005) relativas al Material Particulado, el Ozono, el Dióxido de Nitrógeno y el Dióxido de Azufre 2005.

El Departamento Nacional de Planeación – DNP realizó en el 2015 un estudio de valoración económica de la degradación ambiental en Colombia, encontrando como resultado que para el año 2015 la degradación ambiental en el país tuvo un valor estimado de 16.6 billones de pesos, lo que equivale al 2.08% del producto interno bruto (PIB) de ese año. Para este análisis se tuvieron en cuenta tres componentes ambientales: la contaminación del aire urbano⁸, la contaminación del aire interior, y las deficiencias en el acceso al agua potable y el saneamiento básico, “la baja calidad del aire urbano tuvo la mayor contribución, seguido por la contaminación del aire interior y la deficiente cobertura de agua potable y saneamiento básico. La mortalidad aportó la proporción más alta en la valoración para los componentes de contaminación del aire urbano e interior, mientras que la morbilidad tuvo el mayor peso en la valoración del deficiente acceso al agua potable y saneamiento básico” (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 9).

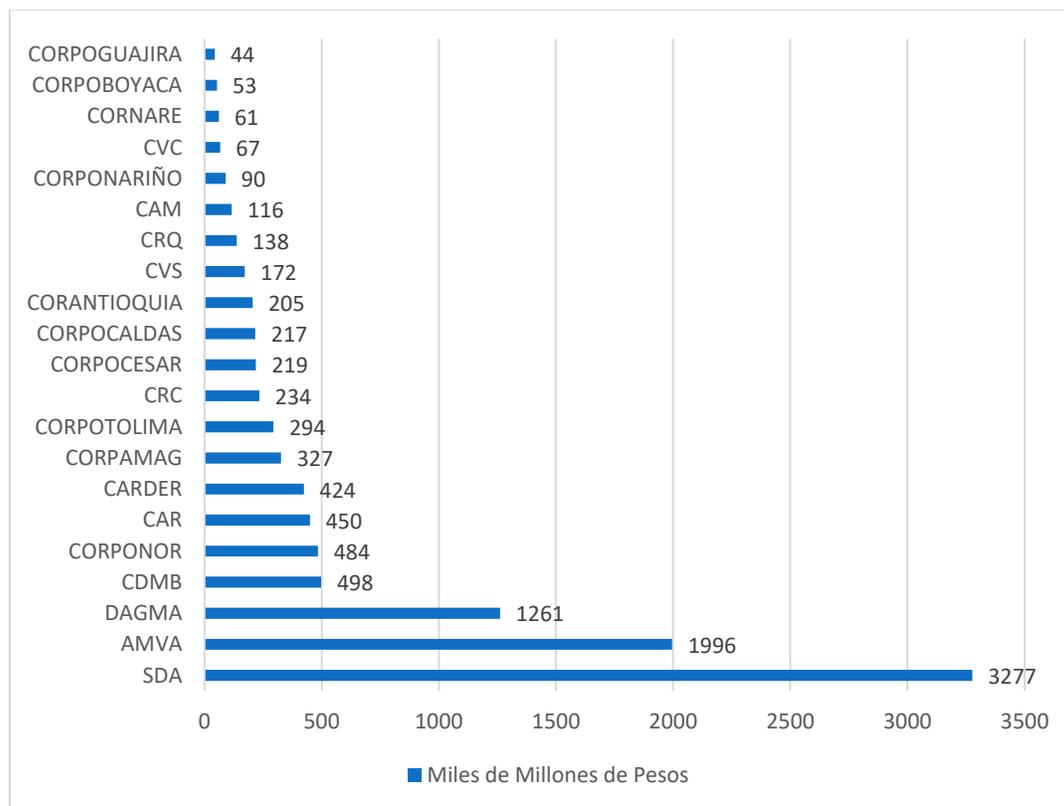
La valoración económica a escala nacional de la morbilidad asociada con la contaminación del aire urbano alcanza los 1,6 billones de pesos, el 93,5 % de este valor está asociado

⁸ En el componente de contaminación del aire urbano, la población estudiada fue aquella que reside en los municipios donde se ubica al menos una estación de monitoreo de los 21 sistemas de vigilancia de calidad del aire (SVCA) existentes en Colombia en el 2015 (población cubierta por las fuentes de información 22 .137.825).

principalmente a los días de actividad restringida, seguido por las visitas a urgencias 2,5% y los síntomas respiratorios 1,7 %, dicho informe también logra identificar que:

Cerca de 8.000 muertes en mayores de 44 años, a escala nacional, son atribuibles a este factor de riesgo. Ello corresponde a una proporción ajustada por edad de 123 muertes por cada 100.000 habitantes, del total de muertes, 668 están relacionadas con cáncer de pulmón y 7.332, con enfermedad cardiopulmonar en mayores de 44 años. (...) Empleando el Valor Estimado de Vida - VEV, la valoración de las casi 8.000 muertes es de 10,6 billones de pesos. El 61 % de esta valoración se concentra en los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire de SDA, AMVA y DAGMA, explicado en parte por la alta densidad poblacional de estas jurisdicciones (Departamento Nacional de Planeación, 2018, pág. 23).

Figura 6. Valoración económica de las muertes asociadas con la contaminación del aire urbano



Fuente: Valoración Económica de la Degradación Ambiental (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

5.1.4 Crecimiento Y Desarrollo Económico

Tal como se define en el libro *Diferencias y similitudes en las teorías del crecimiento económico* (Cardona Acevedo, Cano Gamboa, Zuluaga Díaz, & Gómez Alvis, 2004):

El crecimiento de la economía, tal como se refleja en el crecimiento de la población y de la riqueza no se debe entender como desarrollo. Este fenómeno no representa características cualitativas. El desarrollo en nuestro sentido, es un fenómeno ajeno a lo que puede observarse en la corriente circular o en la tendencia hacia el equilibrio. Es un cambio espontáneo y discontinuo en los canales de la corriente, es una perturbación del equilibrio que altera y desplaza en forma definitiva el estado de equilibrio que antes existía (pág. 9).

Es este marco el que ha consagrado el discurso del desarrollo económico, en donde las premisas sobre el bienestar general, la acumulación de riqueza, la plena concepción del ser humano y el desarrollo sostenible han sido la base del debate para la definición del concepto. Las condiciones para el desarrollo no sólo se definen por la acumulación de conocimiento y capital físico en un territorio; este va más allá de eso, se trata de crear los instrumentos para gestionar los procesos de ordenamiento social y las instituciones y el marco regulatorio que permitan potencializar las diferentes expresiones del capital en las regiones (pág. 9).

El proceso de acumulación y la dotación de recursos que posee una región determinan las ventajas competitivas y comparativas, las cuales posibilitan la creación de firmas y el crecimiento económico de un territorio. La forma en que se utilicen dichos recursos y potencialidades pueden disminuir o agravar las desigualdades regionales, industriales o sociales dentro del espacio. El proceso de reestructuración de las firmas y las estrategias empresariales son producto de la lógica territorial diferencial, en su afán por conseguir mejores niveles de competitividad a través de un sistema flexible (pág. 9).

De acuerdo con lo anterior, es importante recordar que el auge económico y social del departamento de Antioquia se debió a la expansión del desarrollo industrial durante los

siglos XIX y XX y en consecuencia el “crecimiento urbanístico de la ciudad de Medellín ha respondido a las necesidades económicas de las empresas antioqueñas sin estudios de planeación lo cual ha implicado la existencia de fenómeno de saturación urbanística de ciudades no pensadas para la gente” (Muñoz Cardona, 2019, pág. 180).

A partir de los años 80 se inició un proceso de ordenamiento estratégico, a través de alianzas con el sector privado y la participación activa de la sociedad civil ya que, para mantenerse como una ciudad competitiva, ha sido evidente la necesidad de generar un crecimiento planificado, que permita tener una visión prospectiva a los problemas ambientales, gestionar el riesgo de desastres y frenar el crecimiento de expansión hacia las laderas. Si bien desde esa época se ha reconocido las necesidades de ordenamiento de la ciudad y se inició un trabajo para ello, el ordenamiento territorial es proceso de largo aliento que requiere la acción determinada de múltiples actores para obtener el desarrollo deseado.

Específicamente la Organización de Naciones Unidas define el desarrollo como “los avances en la creación y consolidación de las condiciones y los ambientes necesarios para que las personas y los grupos humanos puedan desarrollar sus potencialidades y tener una visión y acción creativa y productiva de acuerdo sus intereses y necesidades”⁹ (Olarte Osorio, 2010).

Es así como a partir del reconocimiento de la calidad aire como un determinante ambiental, nos permite reflexionar sobre la evolución del concepto de desarrollo, el cual era visto como el progreso desde ámbito económico y social, pero hoy en día contempla un sentido más amplio e incorpora el relacionamiento con un territorio que brinda mejores condiciones de vida a sus habitantes en términos de bienestar lo cual incluye, vivienda, alimentación, salud, acceso al agua potable, servicios públicos y condiciones ambientales satisfactorias.

⁹ Concepto adaptado por (Olarte Osorio, 2010) a partir de conceptos establecidos por la ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS y puestos como referente de conceptualización en la definición del modelo de Gestión Social para el Desarrollo Local propuesto por la Alianza de Universidades de Manizales para la proyección Social Universitaria – SUMA Proyección.

Quizá lo que representa una problemática para la ciudad de Medellín como lo es la calidad de aire, no lo sea para otras regiones del país, ya que cada sociedad tiene sus propias necesidades y prioridades y su planeación estará orientada a superar sus condiciones desfavorables en la búsqueda de “su propio concepto de desarrollo”.

5.2 REFERENTE NORMATIVO

En Colombia a partir del año 1982 se empezaron a emitir marcos normativos para orientar la gestión de la calidad del aire, y posteriormente se han formulado actualizaciones y normas complementarias que han permitido incorporar directrices en los territorios para evitar altos índices de contaminación atmosférica. A continuación, se mencionan las principales normas y directrices de carácter nacional en las que se enmarcará el presente documento, algunas de ellas orientadas a la prevención y control de la calidad del aire y otras al ordenamiento territorial y la movilidad (ver Tabla 8).

Tabla 8. Marco normativo del orden nacional

Ley/Decreto/ CONPES/Resolución	Año	Contenido
Ley 388	1997	Ordenamiento territorial: establece, entre otros, mecanismos que permiten al municipio promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y patrimonio ecológico y cultural y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo.
Decreto 979	2006	Prevención y control de la calidad del aire: clases de norma de calidad del aire y de los niveles periódicos de inmisión, niveles de prevención, alerta y emergencia por contaminación del aire, medidas para la atención de episodios, Planes de Contingencia por contaminación atmosférica y clasificación de Área Fuente por Contaminación.
Ley 1083	2006	Planeación urbana sostenible: con el fin de dar prelación a la movilización en modos alternativos de transporte, los municipios y distritos que deben adoptar Planes de Ordenamiento Territorial en los términos del literal a) del artículo 9º de la Ley 388 de 1997, formularán y adoptarán Planes de Movilidad según los parámetros definidos..

Ley/Decreto/ CONPES/Resolución	Año	Contenido
Ley 1454	2011	Ordenamiento territorial: construcción progresiva, gradual y colectiva, articulada con la organización política administrativa del Estado en el territorio
Decreto 1076	2015	Decreto Único Reglamentario Sector Ambiente: contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire, de alcance general y aplicable en todo el territorio nacional, mediante el cual se establecen las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de episodios por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas y móviles, las directrices y competencias para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión, las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera, las emisiones de ruido y olores ofensivos, se regula el otorgamiento de permisos de emisión, los instrumentos y medio de control y vigilancia, y la participación ciudadana en el control de la contaminación atmosférica.
Resolución 2254	2017	Norma de calidad del aire MADS: incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluyendo nuevos contaminantes y definiendo elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.
CONPES 3918	2018	Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia: genera una hoja de ruta para cada una de las metas establecidas, incluyendo indicadores, entidades responsables y los recursos requeridos para llevarlas a buen término
CONPES 3943	2018	Política para el mejoramiento de la calidad del aire: propone acciones para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la renovación y modernización del parque automotor, la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire.

Ley/Decreto/ CONPES/Resolución	Año	Contenido
Ley 1972	2019	Reducción de Emisiones de fuentes móviles: establece medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes al aire provenientes de fuentes móviles que circulen por el territorio nacional, haciendo énfasis en el material particulado, con el fin de resguardar la vida, la salud y el goce de ambiente sano.

Fuente: elaboración propia.

A su vez, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha liderado la elaboración de diferentes instrumentos, con el objetivo de realizar una planeación adecuada y sostenible del territorio, enmarcado en las directrices de carácter nacional. Al respecto vale la pena mencionar como el Valle de Aburrá le ha apostado a la construcción de una movilidad sostenible, a luz del entendimiento del fenómeno de metropolización y expansión del territorio. Bajo esta idea fue considerada la construcción del Metro de Medellín, sistema que entró en operación comercial en el mes de noviembre de 1995. El metro, sin duda, dio pie a la construcción del sistema integrado de movilidad que inició con los buses integrados y posteriormente incorporó el sistema de Cables Aéreos, el Tranvía, el Metroplús y recientemente se articuló con el Sistema de Bicicletas Públicas - Encicla.

Con respecto a este último, es evidente que el uso de la bicicleta ha crecido en número de usuarios, situación que ha generado una necesidad frente a la elaboración de planes con el objetivo de continuar masificando su uso y poder brindar infraestructuras seguras y eficientes. En este sentido la región cuenta con el Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta del Valle de Aburrá adoptado en el 2015, el cual fue proyectado con horizonte al 2030.

No se puede desconocer que estos avances en materia de movilidad obedecen a una acertada planeación construida a través de documentos que han respondido a las nuevas dinámicas sociales y económicas del territorio, reconociendo de igual forma que dicha planeación ha entendido las realidades de ocupación de suelo y los avances en materia de ordenación del territorio, es por ello que documentos como el Plan Estratégico

Metropolitano de Ordenamiento Territorial – PEMOT (2019) que busca orientar el desarrollo urbano, ha partido de documentos base como las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial (DMOT, 2006), el Plan Metrópoli (2008-2020) y el plan BIO 2030 (2011).

Así mismo, el nuevo Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá del 2019 considera las perspectivas de desarrollo del territorio establecidas en el Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial (PEMOT) y los planes de ordenamiento territorial de los municipios del Valle de Aburrá, evidenciando así una importante armonía entre los diferentes documentos. En la Tabla 9 se mencionan algunos instrumentos de carácter metropolitano.

Tabla 9. Orientaciones metropolitanas en el Valle de Aburrá para el Ordenamiento Territorial, la movilidad sostenible y la Calidad del Aire

Documento	Año	Contenido
Plan Maestro Metropolitano de la Bicicleta del Valle de Aburrá 2030	2015	PMB2030 (Acuerdo Metropolitano No 17 de 2015): el objetivo general del Plan es desarrollar, fomentar y emplear la bicicleta como medio de transporte, mediante el fortalecimiento político, técnico e institucional, la educación y la promoción de su uso, de manera que atienda adecuadamente la demanda actual y futura.
Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire 2017 – 2030	2017	PIGECA (Acuerdo Metropolitano 16 de 2017): es el Plan de acciones por el aire pensado al año 2030, que contiene un conjunto de estrategias para reducir los niveles de contaminación y mejorar la calidad del aire del Valle de Aburrá a corto, mediano y largo plazo; además contiene medidas, metas e instrumentos de medición; para mantener un aire limpio, proteger la salud de la población y propiciar un desarrollo metropolitano sostenible.
Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá	2019	PAC&VC (Acuerdo Metropolitano 04 de 2019): propone los programas y medidas de adaptación y de mitigación al cambio climático, las cuales se abordan a partir de cuatro líneas estratégicas de carácter habilitante para la implementación, como la educación, las actividades científico-tecnológicas y de innovación, la gobernanza y el ordenamiento territorial.

Documento	Año	Contenido
Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial	2019	PEMOT (Acuerdo Metropolitano 31 de 2019): contiene un diagnóstico integral de las condiciones que afectan la sostenibilidad territorial, cuestiona de manera precisa y propositiva el modelo de ocupación del territorio, y formula medidas estratégicas a las principales afectaciones que tiene el territorio del Valle de Aburrá.
Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá	2019	PMM-VA. El Plan está enmarcado en cinco programas que recogen la visión futura de la región: región segura, amigable e incluyente para la movilidad activa; transporte público para todos; una región competitiva y conectada; una infraestructura equitativa para todos y el programa respetamos la vida.

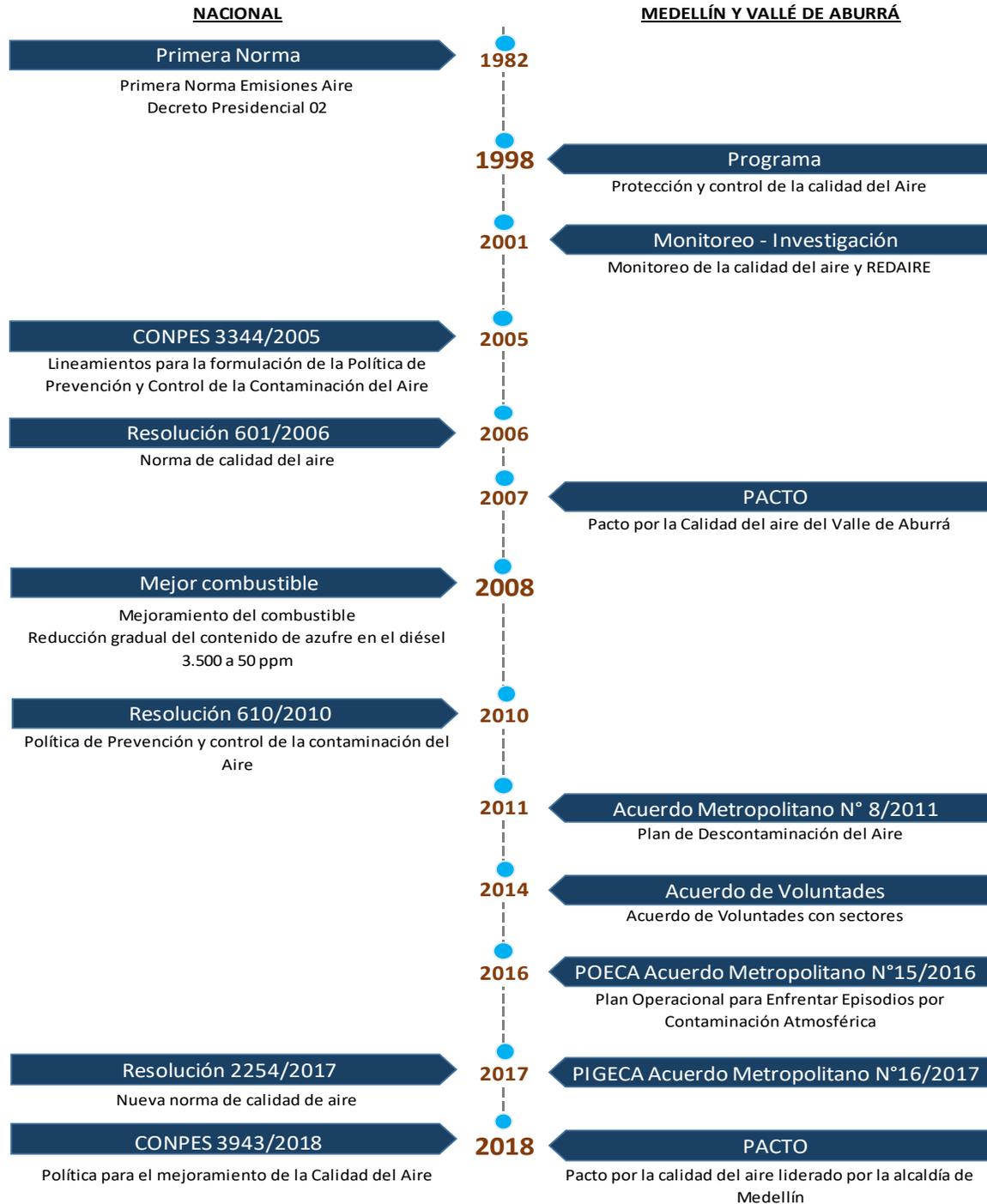
Fuente: elaboración propia.

Si bien existen importantes avances de carácter normativo y en materia de movilidad, se debe reconocer que persisten deficiencias que aún no son superadas y que deben ser analizadas de manera detallada con el propósito de alcanzar un territorio sostenible, en este sentido el Plan Metropolitano de Movilidad del Valle de Aburrá PMM-VA identificó como problema central que “El modelo de movilidad actual del Valle de Aburrá se basa en el transporte individual y motorizado; esto hace que el sistema sea insostenible, ineficiente, inequitativo, riesgoso e improductivo, y que afecte la sostenibilidad y la competitividad de la región” (AMVA, 2019, pág. 22). De igual manera el PMM-VA asoció algunas problemáticas a cada componente del sistema de movilidad:

- Falta de posicionamiento de los modos activos como alternativa de transporte.
- Red de transporte público con conectividad deficiente entre algunas zonas del territorio.
- Sistema de transporte público regional con deficiencias en sostenibilidad, accesibilidad y equidad.
- El transporte de carga presenta déficit de conectividad regional interna y externa que afecta la competitividad del territorio.
- Existencia de condiciones que incentivan o favorecen el uso de modos de transporte privado.

Se debe agregar frente al marco normativo asociado a la calidad del aire que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, apoyado en la expedición de Acuerdos y Resoluciones se ha fortalecido, siendo pionero a nivel nacional en instrumentos y estrategias para atender esta problemática, sin embargo, se evidencian rezagos a nivel nacional que no permiten avanzar con la velocidad que se requiere. En la Figura 7 se enuncia de manera comparativa los instrumentos normativos de carácter nacional enfocadas en Calidad del Aire y los instrumentos que se han generado al interior del Valle de Aburrá.

Figura 7. Instrumentos normativos para la gestión de la calidad del aire a nivel nacional y local



Fuente: elaboración propia.

5.3 REFERENTE CONTEXTUAL

5.3.1 Plan De Ordenamiento Territorial Y Su Articulación Con El Plan De Desarrollo Para La Ciudad De Medellín

El Plan de Ordenamiento Territorial - POT según la legislación colombiana corresponde al Instrumento básico definido como el “conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias metas, programas, actuaciones y normas adoptadas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo” (Congreso de la República de Colombia, 1997).

El POT vigente para Medellín fue abordado para el periodo 2014 – 2027 (Acuerdo 48 de 2014) y propone: “Una ciudad compacta, que desarrolla y potencia sus propias centralidades e infraestructuras a través de la responsable mezcla de usos, considerando esto una opción eficiente en la política de movilidad, ya que un número significativo de viajes se generan para suplir las necesidades cotidianas de la población se hacen a pie en la misma zona, en calles y espacios amables” (Alcaldía de Medellín, 2014).

El POT de Medellín le apuesta a consolidar el modelo de ocupación a través de las Áreas de Intervención Estratégica —AIE¹⁰— las cuales permiten direccionar acciones y utilizar los instrumentos de planificación y gestión complementaria del Plan. Precisamente el cumplimiento de estas estrategias está condicionado a la formulación, aprobación e implementación de planes parciales, lo que lo hace un ejercicio de largo aliento.

El POT de Medellín también enfatiza en la “recuperación del centro de la ciudad y propone un mayor control y vigilancia en pro de la rehabilitación del patrimonio natural”, por lo anterior, se elaboró el Plan Integral del Centro aprobado en el 2015, cuyas estrategias hacen parte de un plan de continuidad de acciones que se vienen desarrollando desde el 2012. Este plan apunta a un desarrollo integral del territorio en la comuna 10, a partir del planteamiento de proyectos y estrategias a seguir, para continuar con la transformación

¹⁰ Áreas de Intervención Estratégica AIE: son porciones del territorio municipal que presentan las mayores oportunidades para que en ellas se produzcan las transformaciones territoriales necesarias, que permitan concretar el modelo de ocupación. Por lo tanto, requieren de un conjunto de medidas para alcanzar las condiciones físicas y funcionales adecuadas, acompañadas de grandes apuestas sociales y económicas.

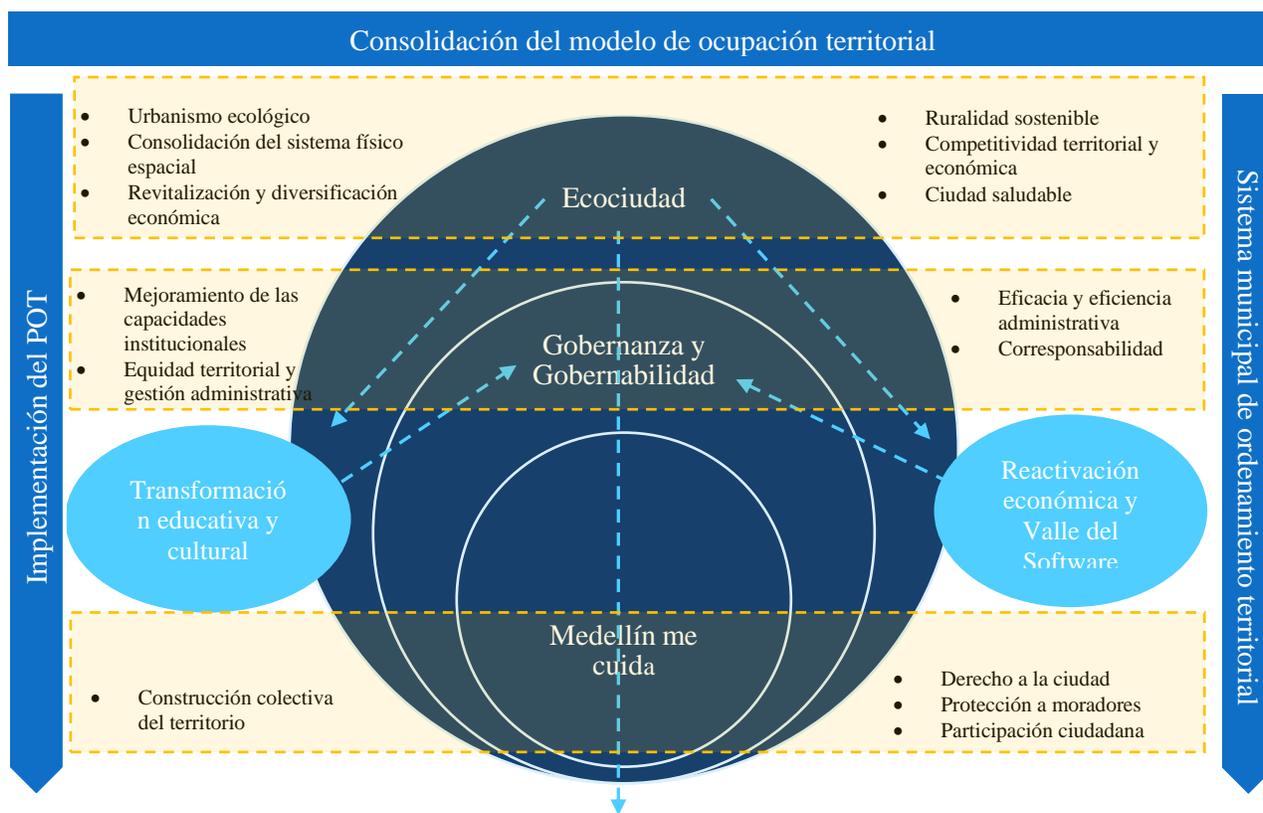
futura de esta importante zona (Esta información será ampliada en el capítulo del Modelo de Ocupación).

Con respecto al Plan de Desarrollo Municipal PDM, es obligatorio que este guarde armonía con el POT y con los Planes de Movilidad, para facilitar en el corto plazo la incorporación de acciones que guarden relación con el modelo ocupación definido en el POT. Frente a esto vale la pena mencionar que a través de la ejecución de los planes de desarrollo en periodos anteriores se ha logrado en la ciudad de Medellín mayores kilómetros de ciclorrutas, ampliaciones del espacio público de calidad para la recreación y esparcimiento ciudadano y mayores espacios de ciclocaminabilidad, sin embargo, continúa en deuda la implementación de acciones contundentes en el centro de la ciudad que brinden seguridad para fomentar recorridos a pie, así como dar una mayor prioridad al peatón y brindar mejores condiciones del entorno a través de un aire de calidad de acuerdo a lo ya planteado en el Plan Integral de Centro.

Ahora bien, el Plan de Desarrollo Medellín 2020-2023 Medellín Futuro, contiene una propuesta estratégica (ver Figura 8) que busca concretar el modelo de ocupación propuesto a través de la implementación de 5 líneas estratégicas, a saber: Medellín me cuida, Gobernanza y gobernabilidad, Transformación Educativa y Cultural, Reactivación Económica y Valle del Software y por último la línea Ecociudad, la cual promueve:

La adaptación y mitigación al cambio climático, la gestión del riesgo, la consolidación de la estructura ecológica principal, la definición de medidas de mitigación, la configuración de una red de espacios verdes urbanos, la consolidación de un subsistema de movilidad sostenible, la implementación de sistemas alternativos de ahorro energético y el impulso a programas de seguridad alimentaria, con énfasis en el modelo de ciudad compacta (Alcaldía de Medellín, 2020, pág. 532).

Figura 8. Esquema relacional de la implementación del POT



Fuente: adaptado del Plan de Desarrollo Medellín Futuro 2020 – 2023 (Alcaldía de Medellín, 2020, pág. 532)

5.3.2 ZUAP Del Centro De Medellín En El Marco Del Plan De Desarrollo Medellín Futuro 2020 – 2023

A la luz de la línea estratégica de Ecociudad del Plan de Desarrollo Medellín Futuro 2020 – 2023, componente 4.1 “Movilidad Sostenible e Inteligente” se aborda la Zona Urbana de Aire Protegido, cuya implementación se gestiona a través de fases¹¹. La Fase I, se desarrolló en el 2020 y estuvo orientada exclusivamente a la planeación, la Fase II es considerada de sensibilización e inició a partir del 28 de enero del 2021, con el propósito de informar a la ciudadanía la razón de su implementación y la importancia para la salud; en esta etapa está proyectado construir las medidas que permitan reducir las concentraciones

¹¹ La alcaldía de Medellín puso a disposición un sitio web, para informar a la población la planeación e implementación de la estrategia ZUAP. <https://www.medellin.gov.co/movilidad/gerencia-de-movilidad-humana/zona-urbana-de-aire-protegido-medellin>

de emisiones de fuentes móviles. La Fase III denominada como “desarrollo” está proyectada para el 2022 y plantea acciones enfocadas en infraestructura, medidas de restricción, control pedagógico y promoción de la movilidad sostenible, para el 2023 está pensada la Fase IV de consolidación. Se espera que con la implementación de esta ZUAP la ciudad pueda cumplir el compromiso adquirido en el 2018 en el marco del C40, consistente en:

- 2025: Nuevos vehículos de transporte público cero emisiones
- 2030: Área representativa de la ciudad libre de combustibles fósiles
- 2050: Ciudad Carbono Neutro

De acuerdo con lo anterior, es importante considerar que transcurrirán cuatro años, desde la emisión de la Resolución 2231 de 2018 que definió la ZUAP del Centro de Medellín, hasta la implementación de medidas estructurales que reflejen una mejoría en las condiciones de Calidad del Aire, es por esto que se hace necesario adoptar instrumentos normativos que orienten el actuar de las Entidades públicas frente a la declaratoria de las Zonas Urbanas de Aire Protegido.

Por último, se debe mencionar que la ciudad cuenta con el Plan de Movilidad Segura de Medellín, El PMSM 2014-2020, donde se realiza un diagnóstico del estado de la Seguridad Vial en Medellín y se diseñan áreas de intervención, a través de las cuales, se busca fortalecer las acciones y medidas para la intervención integral de los usuarios de las vías, los vehículos y la infraestructura vial.

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar los lineamientos para reglamentar la Zona Urbana de Aire Protegido, ubicada en el centro de Medellín, la cual presenta problemas de contaminación atmosférica.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el comportamiento histórico de la calidad del aire en la zona centro del municipio de Medellín desde el año 2008 hasta el año 2020.
- Caracterizar el modelo de ocupación territorial del área urbana en el municipio de Medellín.
- Identificar los parámetros para delimitar las zonas de baja emisión, enfocado a las fuentes móviles.
- Definir las alternativas de solución al problema de contaminación atmosférica ocasionado especialmente por la emisión de fuentes móviles de la zona centro de la ciudad de Medellín.

7 METODOLOGÍA

Con base en una Metodología de Investigación Holística (Hurtado de Barrera, 2010) y Metodología de la Investigación (Namakforoosh, 2005) se plantean los criterios de actuación investigativa del trabajo de maestría:

7.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Como modalidad investigativa se propone la Investigación Ambiental de alcance Prospectivo-Proyectual. Dado que existe una mixtura metodológica en donde confluyen principios y técnicas de la investigación proyectiva, la *Prospectiva Estratégica* y la *Proyección Ambiental*; enfoques y escuelas reconocidas de investigación-planificación/gestión.

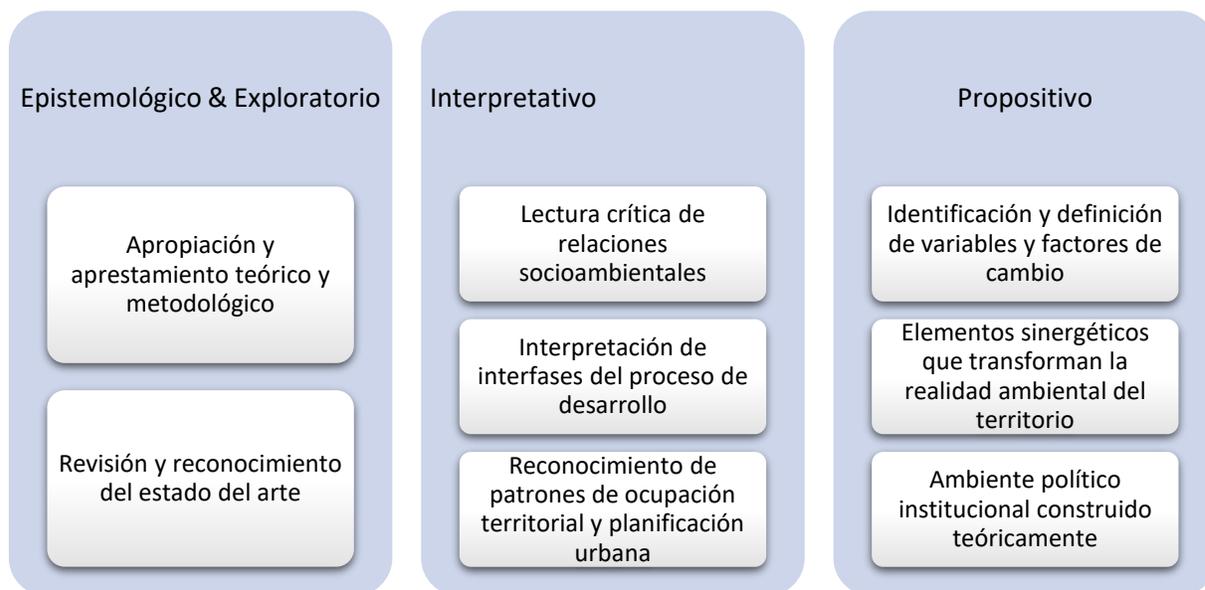
7.2 DESCRIPCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO

El contexto está definido por una extensión geográfica como la ZUAP del centro de la ciudad de Medellín, que se constituye en la entidad físico territorial poseedora de los atributos o cualidades del evento de estudio.

7.3 MOMENTOS Y PROCESOS METODOLÓGICOS SEGÚN ALCANCE DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se suplieron los siguientes estadios metodológicos con sus correspondientes procesos investigativos:

Figura 9. Momentos y procesos metodológicos según alcance de los objetivos específicos



Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Diseño de la investigación

Dimensión Teórica	Dimensión Táctica	Procedimientos Investigativos
Se parte del desarrollo conceptual desde la perspectiva de autores como: Edgar Morin (Pensamiento Complejo), Enrique Leff (Complejidad Ambiental), Bertalanffy (Pensamiento Sistémico), Roberto Fernández (Gestión Ambiental del Desarrollo Urbano), Leonel Vega Mora y Manuel Rodríguez (Enfoque de Gestión Ambiental Sistémica y Políticas Públicas Ambientales) y Rubén	Según el estado del arte se debe apropiarse un escenario contextual del desarrollo que reconozca el efecto e impacto de los procesos de apertura interna y externa	Revisión documental y gestión de información
	Se demanda del reconocimiento de los escenarios políticos, cívicos e institucionales que han derivado en la ocupación del territorio (Sistema – Modelo).	Prospectiva territorial: Identificación de factores y variables de cambio Proyectación: Identificación del subsistema decisor y formulación de temas generadores.
	La validación de un escenario estratégico que permita reconocer cuáles son los elementos detonantes de la	Planificación estratégica, táctica y operativa

Dimensión Teórica	Dimensión Táctica	Procedimientos Investigativos
Pesci (Proyectación Ambiental)	cultura ciudadana que afecta positivamente el ecosistema urbano	

Fuente: elaboración propia con base en la proyectación ambiental.

Tabla 11. Indicadores, técnicas y herramientas

Objetivos	Indicador/Variables	Herramienta	Descripción
OE1	Análisis estadístico de las estaciones ubicadas en el área de estudio para los contaminantes: PM ₁₀ PM _{2,5} NOx	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis estadístico de Concentraciones diarias. - Promedios de concentraciones mensuales. - Número de excedencias de la norma anual, (Excel) 	El análisis se realizará a partir de los datos oficiales que se encuentran reportados en los informes anuales de la red de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, específicamente de las estaciones MED-EXSA y CEN-TRAF y no se realizará un reanálisis de los mismos.
OE2	<ul style="list-style-type: none"> - Usos del Suelo - Normas urbanísticas - Red de conectividad ecológica - Zonas verdes públicas - Desempeño económico - Entorno de negocios 	Análisis de datos QGIS - Excel	A partir del marco normativo asociado al ordenamiento territorial de la ciudad de Medellín se identificarán las características del polígono de estudio y los lineamientos generales para las intervenciones en espacios públicos.

Objetivos	Indicador/VARIABLES	Herramienta	Descripción
	Movilidad - Distribución modal de viajes y flujo vehicular - Parque automotor (tipología de vehículos) - Líneas origen destino	Análisis de datos ArcGIS – Excel	Análisis de la información disponible de la encuesta origen destino 2018 (número de viajes, tiempo, recorrido promedio y modo de viaje)
OE3	Contexto normativo. Estándares para cada contaminante. Análisis de antecedentes en la implementación de Zonas Urbanas de aire protegido en ciudades de otros Países.	Matriz para el análisis de ciudades	A partir de una matriz parametrizada, se analizarán las zonas urbanas establecidas en diferentes ciudades a nivel mundial.
OE4	Plantear alternativas de solución Evaluar alternativas de solución	Entrevista Diálogo semi estructurado con agentes cívicos, gremiales y políticos. Análisis a través del posicionamiento estratégico y evolución de actores	A través de la entrevista se podrá plantear alternativas de solución y evaluar su pertinencia.

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el número de entrevistas a realizar para dar alcance al objetivo OE4 se consultó Sampieri (Metodología de la Investigación, 2015), donde señala que “es necesario reflexionar sobre cuál es la estrategia de muestreo más pertinente para lograr los objetivos de investigación, tomando en cuenta criterios de rigor, estratégicos, éticos y pragmáticos. Por lo general son tres los factores que intervienen para determinar o sugerir el número de casos”

1. Capacidad operativa de recolección y análisis (el número de casos que podemos manejar de manera realista y de acuerdo con los recursos que tenemos).
2. El entendimiento del fenómeno (el número de casos que nos permitan responder a las preguntas de investigación).

3. La naturaleza del fenómeno en análisis (si los casos o unidades son frecuentes y accesibles o no, si recolectar la información correspondiente lleva poco o mucho tiempo).

Lo anterior si bien se encuentra orientado en estudios cualitativos, guarda similitud con el propósito de la presente investigación. “Aunque diversos autores recomiendan ciertos tamaños mínimos de muestras (número de unidades o casos) para diversos estudios cualitativos, no hay parámetros definidos ni precisos”. En este sentido La Tabla 12 se empleó como un marco de referencia, para definir el número de casos que conforman la muestra, sumado al resultado de los tres factores que se mencionaron.¹²

Tabla 12. Tamaños de muestra comunes en estudios cualitativos

Tipo de estudio	Tamaño mínimo de muestra sugerido
Etnográfico cultural	Una comunidad o grupo cultural 30 – 50 casos que lo conformen. Si es menor el grupo, incluir a todos los individuos o el mayor número posible.
Etnográfico básico	Doce (12) participantes homogéneos.
Fenomenológico	Diez (10) casos
Teoría fundamentada, entrevistas o personas bajo observación	De veinte (20) a treinta (30) casos.
Historia de vida familiar	Toda la familia, cada miembro es un caso.
Biografía	El sujeto de estudio (si vive) y el mayor número de personas vinculadas a él, incluyendo críticos.
Estudio de caso	De seis (6) a diez (10), si son en profundidad, tres (3) a cinco (5).
Grupos de enfoque	Siete (7) a diez (10) casos por grupo, al menos un grupo por tipo de población. Si el grupo es menor, incluir a todos los individuos o el mayor número posible. para generar teoría, tres a seis grupos.

Fuente: Metodología de la investigación, Roberto Hernández Sampieri.

¹² Como dice el doctor Roberto Hernández Galicia: los estudios cualitativos son artesanales, “trajes hechos a la medida de las circunstancias”. El principal factor es que los casos nos proporcionen un sentido de comprensión profunda del ambiente y el problema de investigación. Las muestras cualitativas no deben ser utilizadas para representar a una población (Daymon, 2010).

En este sentido, se optó por una muestra no probabilística de acuerdo con la muestra sugerida para Teoría fundamentada, entrevistas o personas bajo observación, eligiendo para este fin una muestra de **20 personas** que cumplan con los siguientes requisitos:

1. Vivan en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
2. Tengan conocimiento frente a la problemática de calidad del aire que se presenta en la ciudad de Medellín.
3. Trabaje o haya trabajado en temas específicos tales como Ordenamiento Territorial y/o movilidad y/o sostenibilidad.

Tabla 13. Perfiles para aplicación de cuestionario

Perfil	Entidad
Académico	Politécnico Jaime Isaza Cadavid, Universidad Nacional, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Antioquia, Universidad EAFIT, ITM Instituto Tecnológico Metropolitano, Colegio Mayor de Antioquia, Universidad de Medellín.
Institución Pública	Alcaldía de Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Ruta N, Metro de Medellín, Metroplús, Empresas Públicas de Medellín.
Agremiaciones	Fenalco, ACI (Agencia de Cooperación e inversión de Medellín).
Externos	Colectivos ambientales o de movilidad sostenible, exfuncionarios públicos u otros.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Fuentes de información

Objetivo Específico	Fuentes de Información
OE1	<ul style="list-style-type: none"> - Operador de la red de monitoreo de calidad del aire - SIATA. - Informes anuales de calidad del aire
OE2	<ul style="list-style-type: none"> - Secretaria de tránsito de Medellín (datos cámaras automáticas) - Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Encuesta origen destino. - Censo Departamento Nacional de Estadística DANE 2018. - Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. - Informes Cámara de Comercio de Medellín. - Análisis económicos DANE.

Objetivo Específico	Fuentes de Información
OE3	- Matriz Origen Destino - Consulta bibliográfica Consulta normativa
OE4	- Productos de objetivos anteriores

Fuente: elaboración propia.

8 RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS DE ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE UBICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente capítulo se presentan los resultados del análisis del comportamiento de la calidad del aire en la zona centro de la ciudad de Medellín desde el año 2008 hasta el año 2020. Los datos analizados fueron sustraídos de los informes anuales de calidad del aire, publicados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA como autoridad ambiental. El objetivo de este análisis es poder identificar el deterioro progresivo de la calidad del aire en la ZUAP (centro tradicional de Medellín) y su grado de contaminación en comparación con otras zonas de la ciudad, de tal manera que se pueda validar la pertinencia frente a la implementación de medidas en la zona estudio.

Actualmente el Área Metropolitana del Valle de Aburrá realiza el seguimiento y análisis de la calidad del aire en todo el Valle de Aburrá a través del proyecto SIATA “Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá” donde se realiza la operación de la Red de Monitoreo de Calidad del aire del Valle de Aburrá (REDMCA). Es importante destacar el crecimiento en equipos de la REDMCA a partir del año 2017, por lo tanto, se cuenta con una mayor información a partir del año 2018. Así mismo, resulta conveniente indicar que como parámetros de análisis de los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y NO_2 se usaron los valores límites establecidos en la Resolución Ministerial 2254 de 2017.

De acuerdo con el último Informe Anual de Calidad de Aire (AMVA., & Universidad EAFIT, 2021), la red operó en el año 2020 con 47 estaciones, 39 estaciones de calidad del aire y 8 estaciones para el seguimiento a los niveles de ruido, 19 de estas estaciones se encuentran ubicadas en la ciudad de Medellín y miden los contaminantes que se relacionan en la Tabla 15.

Tabla 15. Equipos que operaron en las estaciones de la REDMCA durante el 2020 para la ciudad de Medellín

	BC	BTEX	PM ₁₀ (s)	PvM ₁₀	PM _{2.5} (s)	PM _{2.5}	NO _x	CO	O ₃	Met	RA
Med-Aran						•					
Med-Alta						•					
Med-Beme						•					
Med-Unnv						•	•		•	•	
Med-Fisc						•	•		•	•	
Med-Sele										•	
Med-Mira			•						•	•	
Cen-Traf*	•	•		•		•	•				•
Med-Exsa				•							
Med-Itmr				•			•				
Med-									•	•	
Med-Cora			•								
Med-Zool											•
Med-Pjic*			•	•	•		•	•		•	
Med-Pjir											•
Med-Laye						•			•	•	
Med-Scri						•					
Med-Siat											•
Med-Teso						•					
Med-Vill						•					

Nota: BC: Black Carbon; BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno; PM10(S): estaciones manuales de Material Particulado inferior a 10 micras; PM10: estaciones automáticas de Material Particulado inferior a 10 micras; PM2.5(S): estaciones manuales de Material Particulado inferior a 5 micras; PM2.5: estaciones automáticas de Material Particulado inferior a 5 micras; NOx: Dióxidos de Nitrógeno; CO: Carbono; O₃: Ozono Troposférico; Met: equipos meteorológicos; RA: equipos de ruido ambiental.

Fuente: adaptado del Informe anual de calidad del aire 2020- - (AMVA., & Universidad EAFIT, 2021, pág. 2)

Las estaciones que se encuentran en el área de influencia de la ZUAP (Fuentes Móviles), son las estaciones CEN-TRAF (Centro tráfico) y la estación MED-EXSA (Medellín Éxito San Antonio), en la Tabla 16 se presenta la localización y clasificación de estas dos estaciones. La estación CEN-TRAF también cuenta con un equipo para la medición de ruido ambiental, en la Tabla 17 se presentan los niveles máximos permisibles diurnos y nocturnos de ruido según parámetros establecidos en la Resolución 627 de 2006.

Tabla 16. Estaciones de calidad del aire localizadas en el área de influencia de la ZUAP (Fuentes móviles)

Estación	Clasificación	Dirección	Latitud	Longitud
Cen-Traf	Estación Tráfico Centro	Carrera 53 # 52 - 51	6.25256	-75.56958
Med-Exsa	Urbana de Tendencia Mesoescala	Calle 48 # 46 - 115 -	6.24933	75.57025

Fuente: adaptado del Informe anual de calidad del aire 2020 (AMVA., & Universidad EAFIT, 2021)

Tabla 17. Estándares máximos de ruido ambiental para la estación CEN-TRAF

Estación	Sector y subsector	Norma (dB)		Filtro
		Diurna	Nocturna	
Cen-Traf	Sector: C Subsector: Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, discotecas, bingos, casinos.	80	70	A

Fuente: adaptado del Informe anual de calidad del aire 2020 (AMVA., & Universidad EAFIT, 2021).

La estación ubicada en el éxito de San Antonio (MED- EXSA) es una estación urbana de tendencia mesoescala¹³, se encuentra “aproximadamente a 11 metros de la Avenida Oriental, este sector presenta alto flujo vehicular, con industria semipesada, comercio y textiles”. Por su parte, la estación ubicada en el Museo de Antioquia (CEN-TRAF) está clasificada como estación urbana de tráfico, ya que está “cercana a vías altamente congestionadas y en zona es la principal área comercial de Medellín”. (AMVA., & Universidad EAFIT, 2018). Esta estación fue instalada en el Museo de Antioquia en el mes de septiembre del 2012 por lo tanto entre los años 2012 y 2016 se encuentra nombrada en los informes como MED-MANT y a partir del 2017 fue nombrada CEN -TRAF. Entre los años 2008 y 2012 la estación que reportaba datos de PM_{2.5} y PM₁₀ en la zona de estudio fue

¹³ La categoría tendencia de mesoescala es adicionada además para estaciones ubicadas a una altura superior a 15 metros en áreas urbanas del valle. (AMVA., & Universidad EAFIT, 2018)

la estación denominada MED-AGUI (Medellín Edificio Miguel de Aguinaga) la cual posteriormente fue trasladada al Museo de Antioquia.

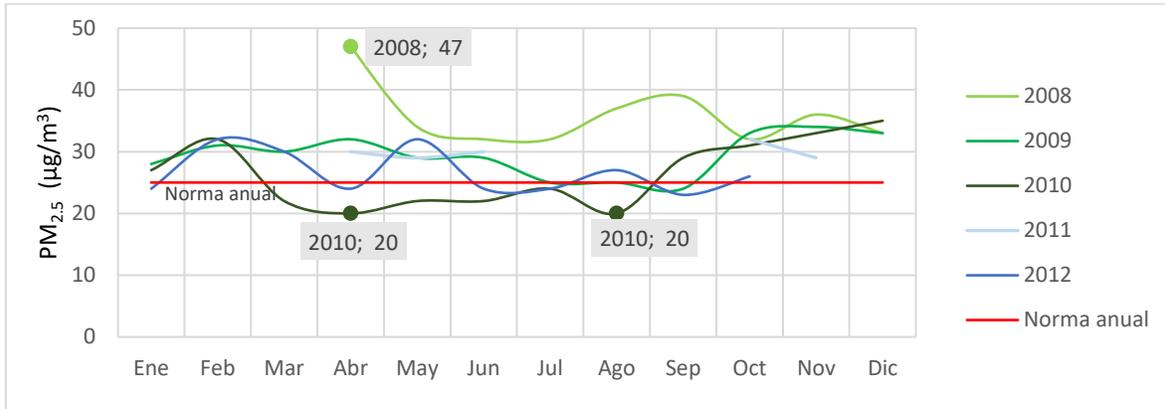
El análisis de calidad del aire se presenta a continuación de manera independiente para los contaminantes de PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂, para cada uno fue analizado la tendencia en las concentraciones anuales para las 3 estaciones que se encuentran o estuvieron instaladas en el área de la ZUAP centro de Medellín. Las gráficas que se muestran a continuación, fueron elaboradas con información de los promedios mensuales registrados en los informes de calidad del aire publicados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá¹⁴. Para cada estación se puede visualizar el año con las concentraciones mensuales más altas y las más bajas. Seguidamente se presentan las gráficas con los promedios anuales para los años comprendidos entre el 2014 y el 2020, donde se puede visualizar de manera comparativa qué estación presenta los valores más altos y cuáles se encuentran por debajo de los valores indicados en la norma y sugeridos por la OMS. Por último, se presenta los valores máximos diarios alcanzados para cada año y el número de excedencias con base en la norma para los años 2018, 2019 y 2020.

8.1.1 Análisis Del Contaminante PM_{2.5}

Como resultado del análisis se presentan en la Figura 10 los promedios aritméticos mensuales reportados en la estación MED-AGUI para los años 2008 al 2012 para el contaminante PM_{2.5}, allí se observa que en el año 2008 se reportaron mayores concentraciones de PM_{2.5} (la mayor concentración fue de 47µg/m³ y se reportó en el mes de abril, teniendo en cuenta que no se tuvo reporte de los meses entre enero y marzo en esta estación), en comparación con los años siguientes 2009, 2010, 2011 y 2012, donde se reportaron concentraciones promedio mensual por debajo de 35µg/m³ inclusive en los meses entre febrero y abril que son considerados como críticos debido a la presencia de procesos de inestabilidad atmosférica.

¹⁴ Los informes fueron consultados en el sitio web: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Herramientas-de-gestion/Resumenes-anuales-de-calidad-del-aire.aspx> (AMVA., & Universidad EAFIT, 2008-2020)

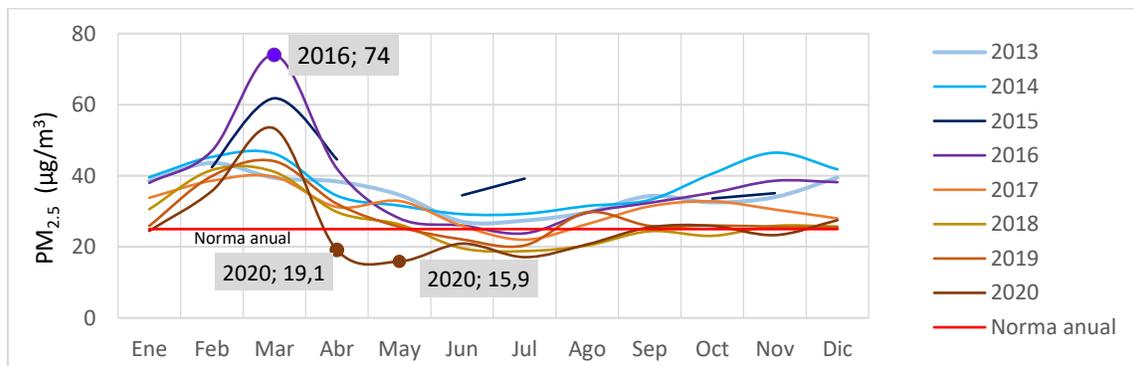
Figura 10. Concentración de PM_{2.5} reportada en la estación MED – AGUI, años 2008 al 2012



Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

La Figura 11 permite evidenciar una tendencia en el comportamiento anual de las concentraciones de PM_{2.5} en la estación CEN-TRAF especialmente durante los meses de febrero, marzo y abril, donde se observa un incremento en las mismas, alcanzando un valor máximo promedio mensual de 74 µg/m³ en el mes de marzo del año 2016, este dato duplica los valores reportados durante los mismos meses entre los años 2009 al 2012 en la estación MED-AGUI. Con respecto a este análisis vale la pena resaltar que los meses de abril y mayo del año 2020 fueron los meses con la mejor calidad del aire (19µg/m³ y 15 µg/m³ respectivamente), esta disminución en las concentraciones puede estar asociada a la reducción en la movilidad relacionada con las restricciones por la pandemia SARS-CoV-2.

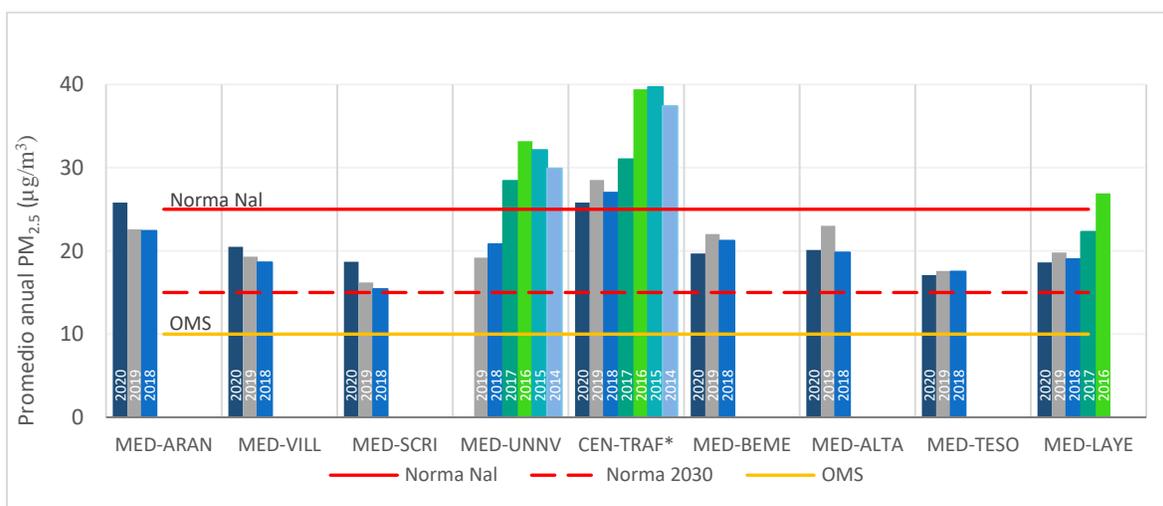
Figura 11. Concentración de PM_{2.5} reportada en la estación CEN – TRAF, años 2013 al 2020



Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

En la Figura 12, se presentan los promedios anuales de concentración de Material Particulado para PM_{2.5}. Para este análisis se tuvieron en cuenta las estaciones de la ciudad de Medellín que a partir del año 2014 reportaron un promedio anual durante mínimo tres años consecutivos. Es así como se logra evidenciar que la estación CEN-TRAF, a pesar de reflejar a partir del año 2016 una disminución de las concentraciones anuales, en el año 2020 superó el valor de la norma anual para PM_{2.5} de 25µg/m³. De manera comparativa podemos indicar que las otras estaciones analizadas estuvieron por debajo de este valor a excepción de la estación MED-ARAN que estuvo en el límite de la norma.

Figura 12. Promedios anuales de concentración PM_{2.5} por estación, años 2014 al 2020

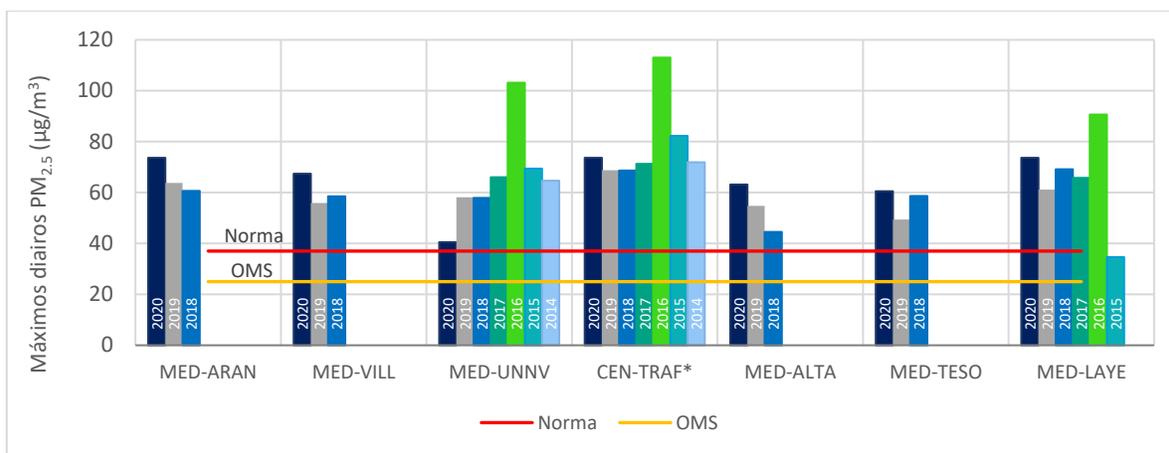


Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

En la Figura 13 se presentan los valores máximos diarios alcanzados para PM_{2.5}, entre los años 2014 y el 2020 (para este análisis se seleccionaron las estaciones que reportaron los mayores valores en la ciudad de Medellín), encontrando que la estación CEN -TRAF ubicada en la zona ZUAP, es la estación que ha alcanzado el valor más alto de 113 µg/m³ en el año 2016, a partir del siguiente año se evidencia un disminución en los valores máximos, lo cual se asocia a la implementación del Plan Operacional para enfrentar episodios por contaminación atmosférica POECA, consistente en la restricción vehicular durante los picos de contaminación.

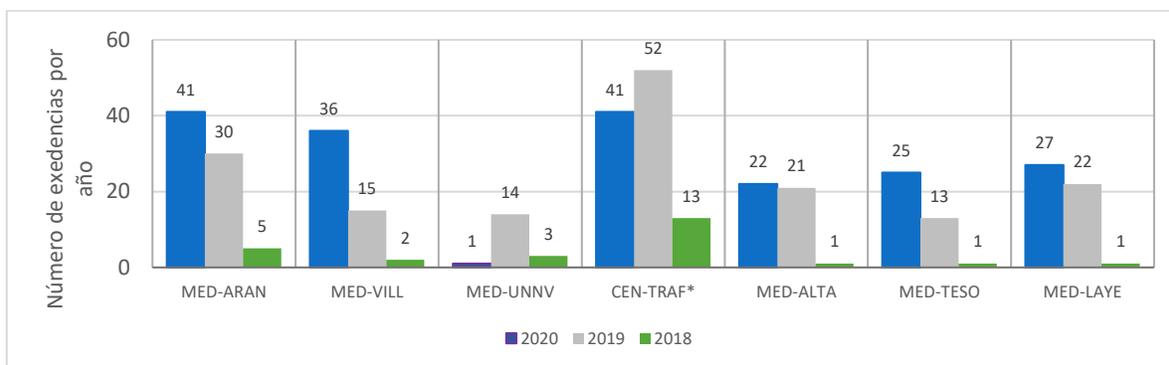
A su vez el número de excedencias que se ha presentado en relación con la norma diaria de $PM_{2.5}$ ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presenta en la Figura 14, el análisis se realizó para los años 2018, 2019 y 2020, debido a que la última norma fue emitida en el 2017 (Resolución 2254 del 2017). Bajo este análisis también se concluye que la estación CEN-TRAF es la estación que presenta mayor número de días donde se excede la norma.

Figura 13. Valor diario máximo de $PM_{2.5}$ alcanzado en un día, años 2014 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

Figura 14. Excedencias de $PM_{2.5}$, años 2018 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

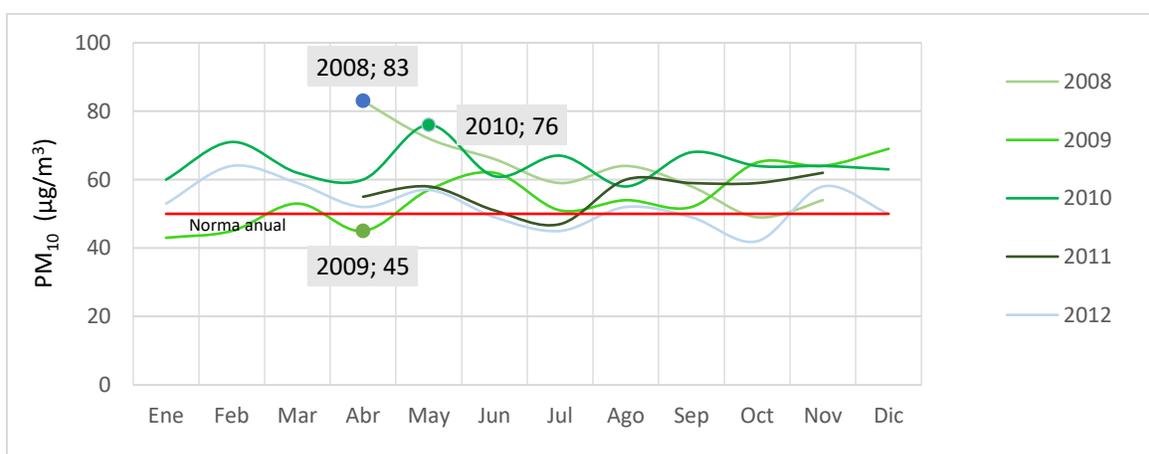
8.1.2 Análisis Del Contaminante PM_{10}

En la Figura 15 se presenta el análisis para el contaminante PM_{10} en la estación MED-EXSA para los años comprendidos entre el 2008 y el 2012. En este periodo el mes que

registró la mayor concentración de PM_{10} fue abril del 2008 ($83\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido por mayo del 2010 ($76\mu\text{g}/\text{m}^3$). Al comparar estos datos con la norma actual de calidad del aire para PM_{10} anual consistente en $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, se evidencia que las concentraciones mensuales de los años comprendidos entre el 2008 y el 2011 se encontraron por encima de ese valor.

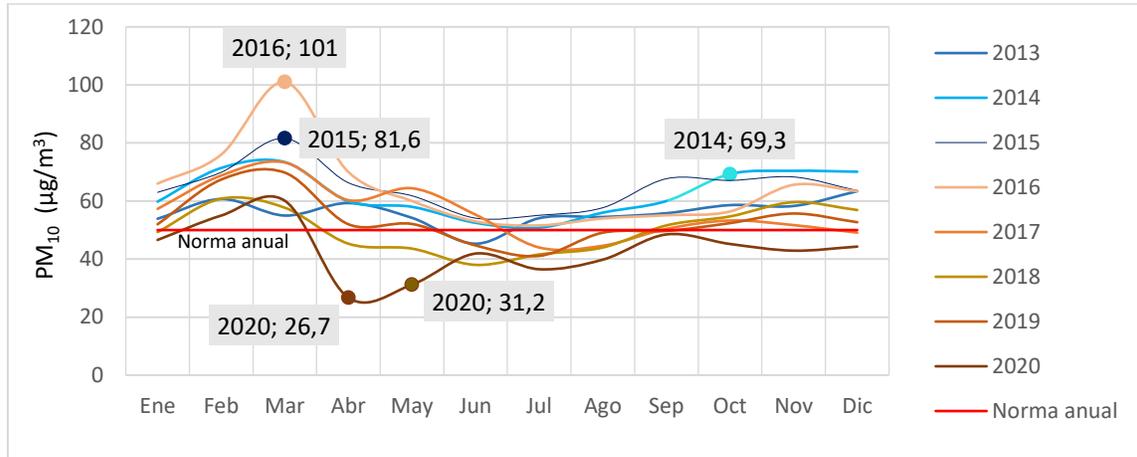
La continuidad de la estación ubicada en el Éxito San Antonio, permitió realizar el análisis para los años 2013 al 2020 en la misma estación MED-EXSA (ver Figura 16), encontrando que en el año 2016 se reportó un valor superior al reportado en el análisis del periodo comprendido entre los años 2008 al 2013 de $101\mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondiente al mes de marzo, así mismo, se evidencia que en el periodo febrero – abril se supera el valor actual de referencia de límite anual ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante todos los años analizados, como se presentó también para el caso del $PM_{2.5}$. También se observa un incremento moderado en las concentraciones durante el segundo semestre, especialmente en el periodo octubre – noviembre, encontrando que para este semestre la concentración promedio mensual más alta se presentó en el mes de octubre del año 2014 ($69\mu\text{g}/\text{m}^3$) y de igual manera que para el contaminante $PM_{2.5}$, los meses de abril y mayo del año 2020 reportaron la concentración promedio mensual más baja de PM_{10} correspondiente a $26,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $31,2\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 15. Concentración de PM_{10} reportada en la estación MED –EXSA, años 2008 al 2012



Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

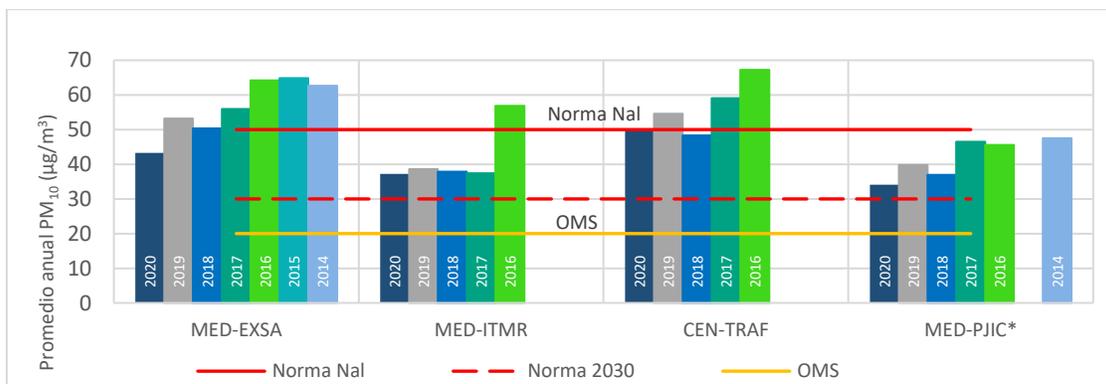
Figura 16. Concentración de PM10 reportada en la estación MED – EXA, años 2013 al 2020



Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

En la Figura 17, se presentan los promedios anuales de concentración de Material Particulado para PM₁₀. Para este análisis se tuvieron en cuenta las estaciones de la ciudad de Medellín que a partir del año 2014 reportaron un promedio anual durante mínimo tres años consecutivos. Para el caso de PM₁₀ se observa que en el año 2020 se presentó una disminución considerable en el promedio anual comparado con los años anteriores, logrando cumplir con el valor establecido por norma de (50 µg/m³) sin embargo al analizar el valor promedio anual proyectado a cumplir en el 2030 (30 µg/m³) se encuentra que se está muy por encima del valor proyectado, esto se evidencia incluso en las otras estaciones.

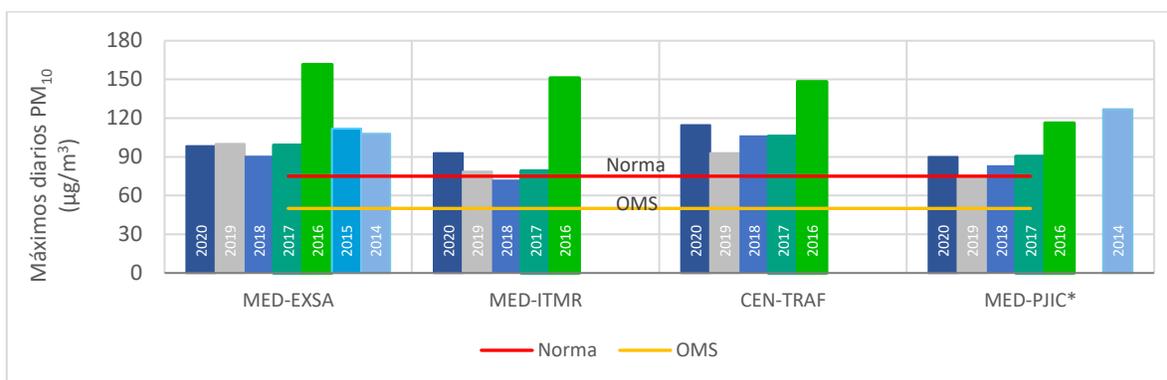
Figura 17. Promedios anuales de concentración PM10 por estación, años 2015 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

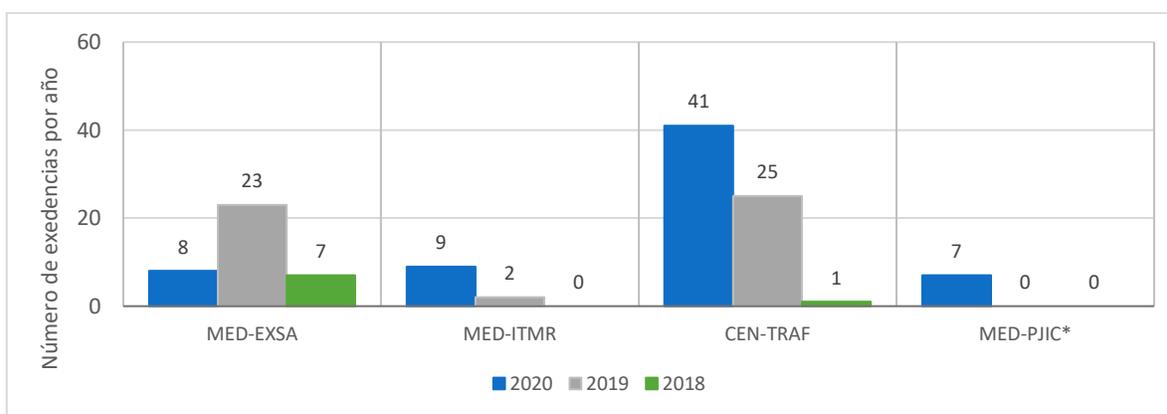
El análisis de los valores diarios máximos también fue desarrollado para el PM₁₀ encontrando que la estación CEN-TRAF reporto para el año 2020 un valor máximo diario de 115 µg/m³ y la estación MED-EXSA 98 µg/m³, estando muy por encima del valor máximo diario permitido de 75 µg/m³. Con respecto al número de excedencias se visualiza que ambas estaciones presentaron excedencias diarias de la norma durante los años 2018, 2019 y 2020 (ver Figura 19).

Figura 18. Valor diario máximo de PM₁₀ alcanzado en un día, años 2014 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

Figura 19. Excedencias de PM₁₀, años 2018 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

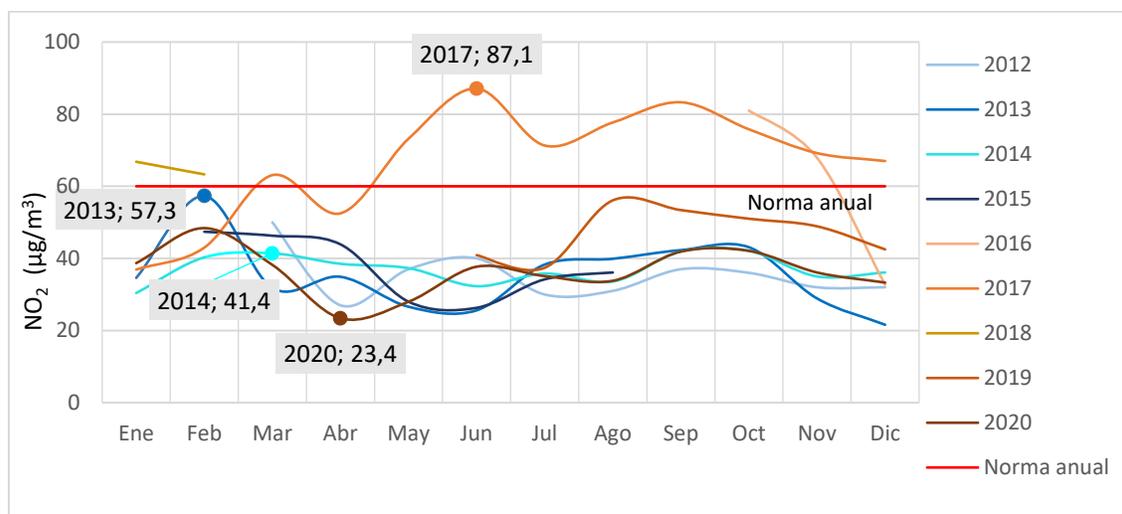
8.1.3 Análisis Del Contaminante NO₂

El análisis realizado para el NO₂ sugiere que el mes con la mayor concentración reportada de NO₂ fue junio de 2017, sin embargo, no fue posible analizar las concentraciones de NO₂

para el año 2016, año en el que se reportaron las mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ y de PM_{10} , ya que entre septiembre de 2015 y octubre de 2016 no se tuvieron registros en esta estación para este contaminante. El mes de abril de 2020 al igual que para los contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} , fue el mes con el menor reporte de concentraciones por NO_2 ($23.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Al comparar las concentraciones mensuales de los años comprendidos entre el 2013 y el 2020, con el límite anual para NO_2 establecido en la Resolución Ministerial 2254 de 2017 de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, encontramos que solo las concentraciones reportadas en el año 2017 estuvieron por encima de este valor, sin tener en cuenta los valores del año 2016 (octubre – diciembre) y del año 2018 (enero y febrero), por la poca cantidad de datos.

Figura 20. Concentración de NO_2 reportada en la estación CEN – TRAF, años 2012 al 2020



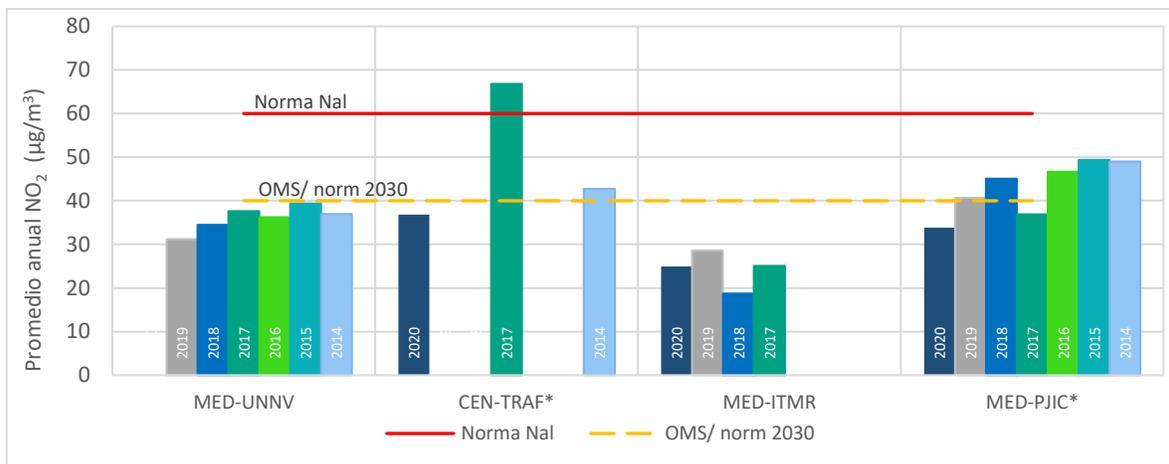
Fuente: elaboración propia a partir de datos sustraídos de informes anuales de calidad del aire AMVA.

En la Figura 21, se presentan los promedios anuales de concentración de Dióxido de Nitrógeno NO_2 . Para este análisis se tuvieron en cuenta las estaciones de la ciudad de Medellín que a partir del año 2014 reportaron un promedio anual durante mínimo tres años consecutivos.

Al analizar las concentraciones de NO_2 se encuentra que los reportes de los promedios anuales entre los años comprendidos entre el 2014 y el 2020 están por debajo del valor

establecido en la norma, inclusive los datos del año 2020 cumplen con el valor proyectado al 2030 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) el cual coincide con el límite sugerido por la OMS. Es importante aclarar que en la estación CEN – TRAF no se presenta el promedio anual de años 2015, 2016, 2018 y 2019 debido a que no se alcanzó el 75% de la cantidad de datos anuales.

Figura 21. Promedios anuales de concentración NO_2 por estación, años 2015 al 2020



Fuente: elaboración propia con datos de los informes anuales de calidad del aire AMVA.

Vale la pena indicar que los valores máximos horarios de NO_2 estuvieron por debajo de lo indicado en la norma, cuyo límite coincide con el valor recomendado por la OMS de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ horario.

8.1.4 Análisis Del Ruido

En la Tabla 18 y Tabla 19 se presentan los estadísticos de ruido ambiental correspondiente a los años 2019 y 2020 para la estación CEN-TRAF, de acuerdo con los datos que fueron sustraídos de los informes de Calidad del Aire para el Valle de Aburrá a través del proyecto SIATA. Al analizar los datos de ambas tablas se evidencia una marcada diferencia entre las excedencias nocturnas, presentándose solo 4 excedencias en el 2020 en comparación con 204 del año 2019. El número de excedencias diurnas fueron mayores en el 2020 (38 excedencias).

Tabla 18. Estadísticos para ruido ambiental año 2020, periodo diurno y nocturno

Periodo	CMD	Media	Max	Min	NEN
Diurno	332	68.21	74.2	57.0	38
Nocturno	333	64.22	74.4	53.9	4

Nota: 1. CMD: Cantidad de muestras diarias; MEDIA: Nivel de presión sonora promedio para el año 2020; MAX: Nivel de presión sonora máximo para el año 2020; MIN: Nivel de presión sonora 2020; NEN: Numero de excedencias a la norma diaria; L90: Percentil 90 de la serie de datos.

Fuente: Informe anual de calidad del aire para el valle de Aburrá año 2020 (AMVA., & Universidad EAFIT, 2021, pág. 56)

Tabla 19. Estadísticos para ruido ambiental año 2019, periodo diurno y nocturno

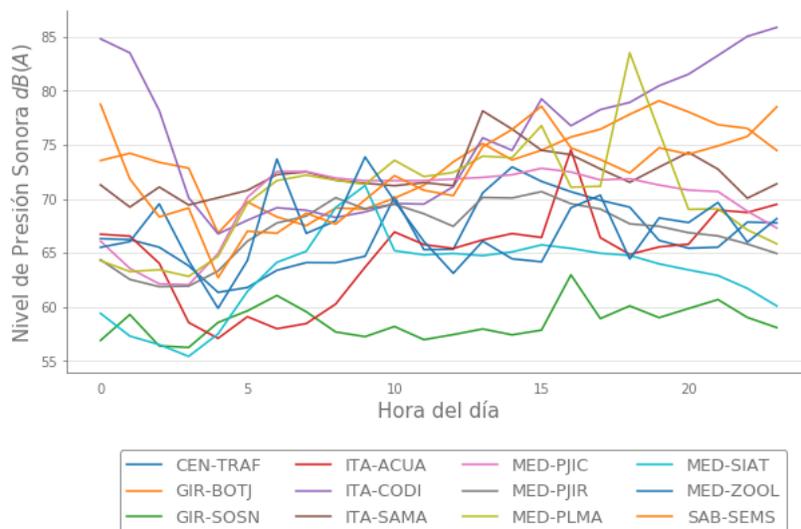
Periodo	CMD	Mediana	Max	Min	NEN
Diurno	-	65.4	86.0	58.7	6
Nocturno	-	61.6	82.7	55.4	204

Nota: 1. CMD: Cantidad de muestras diarias (no reportadas en el informe); MEDIANA: mediana de los datos del nivel de presión sonora; MAX: Nivel de presión sonora máximo; MIN: Nivel de presión sonora mínimo; NEN: Numero de excedencias a la norma diaria.

Fuente: Informe anual de calidad del aire para el valle de Aburrá año 2019 (AMVA., & Universidad EAFIT, 2020, pág. 50)

Según (AMVA., & Universidad EAFIT, 2020) “en la mayoría de estaciones, donde la principal fuente de ruido corresponde al tránsito vehicular, las medianas más altas de presión sonora tienden a darse en la mañana (06:00 - 08:00) y permanecen relativamente estables hasta la 17:00, hora en que empiezan a reducirse”. Teniendo en cuenta lo anterior, la Figura 22 permite visualizar que la estación CEN-TRAF presenta un incremento de la mediana del nivel de presión equivalente corregido diurno entre las 05:00 y 10:00, lo que permite inferir que esta condición puede estar dada por el incremento del tráfico en la zona.

Figura 22. Ciclo diario de la mediana del nivel de presión equivalente corregido diurno año 2019 para todas las estaciones pertenecientes a la REDMCA del Valle de Aburrá



Fuente: Informe anual de calidad del aire para el valle de Aburrá año 2019 (AMVA., & Universidad EAFIT, 2020, pág. 48).

8.1.5 Análisis De Emisiones Vehiculares En La Zona Centro De Medellín

Las diferentes fuentes consultadas conducen a la importancia de estimar las emisiones generadas en la zona de estudio, con el propósito de evaluar la efectividad de las medidas que sean implementadas, lo cual se puede lograr a través de la comparación de las emisiones previas y posteriores a la implementación de medidas, y así poder comprobar una reducción de emisiones por fuentes móviles en la zona. Lo anterior, debido a que tener en cuenta solo los datos arrojados por las estaciones de calidad del aire, no será suficiente para evaluar la efectividad de las medidas, debido a que las concentraciones podrán estar influenciadas por otros factores como la meteorología y otras fuentes de emisión.

Para poder realizar un análisis detallado de las emisiones de la zona estudio, se requiere información del número de vehículos que circulan en la zona, discriminados por categoría, tamaño, tipo de combustible y la tecnología, para poder asociar los factores de emisión. Para este análisis también se requiere una estimación de los kilómetros recorridos para cada categoría vehicular.

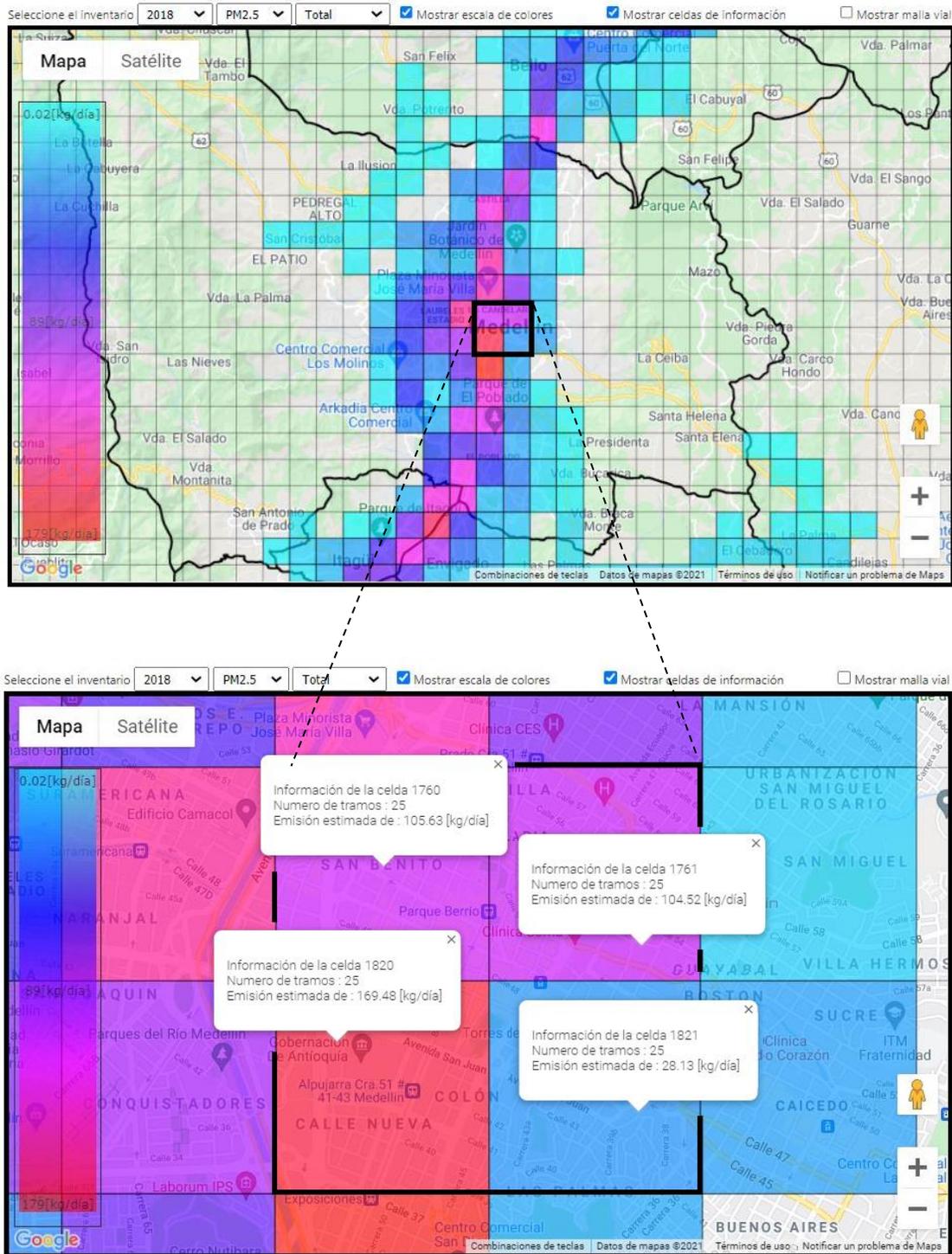
Sin embargo, llegar a este nivel de detalle, requiere de ayudas tecnológicas e información más desagregada, con la cual no se cuenta al momento del desarrollar el presente trabajo de grado. Para este fin, se consultó la herramienta creada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana MODEAM¹⁵. Esta herramienta modela y estima las emisiones al aire (primarias) generadas por fuentes fijas, fuentes móviles, fuentes de área y fuentes biogénicas según el inventario de emisiones, que para este caso es año base 2018.

Para el caso específico de las fuentes móviles, las emisiones son obtenidas con el modelo LEAP y desagregadas¹⁶ en MODEAM, los flujos vehiculares que emplea el modelo son proporcionados por la Secretaría de Movilidad de Medellín. Como resultado, el MODEAM permite la estimación de las emisiones de los contaminantes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), compuestos orgánicos volátiles (VOC) y material particulado (PM). Para analizar la zona centro de Medellín fueron seleccionados cuatro celdas (1760, 1761, 1820 y 1821), en la Figura 23 se pueden apreciar los polígonos consultados, cada uno contiene información de la emisión estimada por las fuentes móviles para PM_{2.5}, en la Tabla 20 se presenta el resumen de los cuatro polígonos, para la estimación de los contaminantes NOx, PM₁₀ y PM_{2.5}.

¹⁵ Modeam es una herramienta de uso libre creada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana <http://modemed.upb.edu.co/zigma2/>

¹⁶ La desagregación espacio temporal consiste en asignar un valor de emisión a un área o volumen determinado de acuerdo con el número y tipo de vehículos que circulan en dicho espacio. Esta asignación se realiza para ciertos periodos de tiempo, generalmente horas. Como resultado de este proceso se obtiene un mapa de emisiones en el dominio de simulación, que para el caso del Valle de Aburrá consiste en una malla de 60x60 kilómetros cuadrados con una resolución de 1 km. (AMVA., & UPB, 2019)

Figura 23. Herramienta MODEAM para la estimación de emisiones fuentes móviles para PM_{2.5}



Fuente: Herramienta MODEAM <http://modemed.upb.edu.co/zigma>

Tabla 20. Emisiones por fuentes móviles, estimadas en MODEAM para PM_{2.5}, PM₁₀ y NO_x

Celda/Contaminante	PM _{2.5} Kg/día	PM ₁₀ Kg/día	NO _x Kg/día
1760	105,63	9,80	664,82
1761	104,52	9,69	657,82
1820	169,48	16,17	1097,45
1821	28,13	2,61	177,04
	407,76	38,27	2597,13

Fuente: elaboración propia con datos de la herramienta MODEAM <http://modemed.upb.edu.co/zigma>

8.2 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE OCUPACIÓN TERRITORIAL EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Medellín se ha desarrollado en una diversidad de actividades económicas derivadas de los procesos de industrialización, como lo son los servicios administrativos, bancarios, financieros y comerciales, también se observa en la ciudad otra modalidad de desarrollo a la luz del crecimiento económico local enfocado principalmente en la industria de alimentos, de servicios a las empresas y actividades de turismo. Las dinámicas de Medellín, sus procesos de expansión urbana, el desarrollo de infraestructura, el incremento de la movilidad y la transformación de la economía han obligado a la dispersión de funciones centrales generando centralidades alternativas.

Al analizar de manera específica las transformaciones que ha sufrido el centro de la ciudad de Medellín, se encuentra que en los últimos 50 años este sector ha pasado por profundos procesos de cambio. En los años 70 el centro tradicional evidenciaba un alto deterioro determinado por la aglomeración de ventas ambulantes y circulación de población de bajos ingresos, lo que generó la migración de residentes hacia otros sectores de la ciudad. A través de procesos de transformación el sector de la Alpujarra adquirió gran relevancia, convirtiéndose en una centralidad con un urbanismo moderno y concentrando servicios de carácter administrativo, lo anterior también repercutió en la transformación de su entorno, aunque actualmente se continúan generando procesos de recuperación hacia sus zonas contiguas las cuales contienen diferentes particularidades. La transformación de La Alpujarra ha logrado mejorar la seguridad del sector y a su vez ha contribuido en la construcción de imagen de ciudad con enfoque internacional.

No ha sido fácil para Medellín mejorar esa imagen de inseguridad que fue globalizada en los años 90. Asumir el reto de superar las estigmatizaciones y transformar las condiciones de vida de sus habitantes ha sido la motivación primordial de la ciudad para embarcarse en un proceso de transformación en aras de convertirse en una ciudad que trasciende los límites nacionales (Escobar, 2013).

Un gran número de proyectos de infraestructura, se han venido desarrollado desde la década del 2000, destacando entre ellos, la transformación de la comuna 13 a través de bulevares y la instalación de las escaleras eléctricas, las unidades de vida articulada (UVA), centros de desarrollo empresarial y construcción de megacolegios entre otros. Ahora bien, los esfuerzos también se han orientado hacia el desarrollo de una movilidad moderna, a partir de un sistema integrado de transporte que incluye el Metro, Metro Cable, Metroplús (buses rápidos de mediana capacidad), el sistema integrado de alimentadores y el Tranvía. El sistema Metro Cable como medio de transporte público surge con el objetivo de generar inclusión y articular sectores marginados y con altos índices de inseguridad y violencia, generando oportunidades de carácter colectivo y atrayendo proyectos de carácter social que han permitido mejorar los entornos de estos barrios.

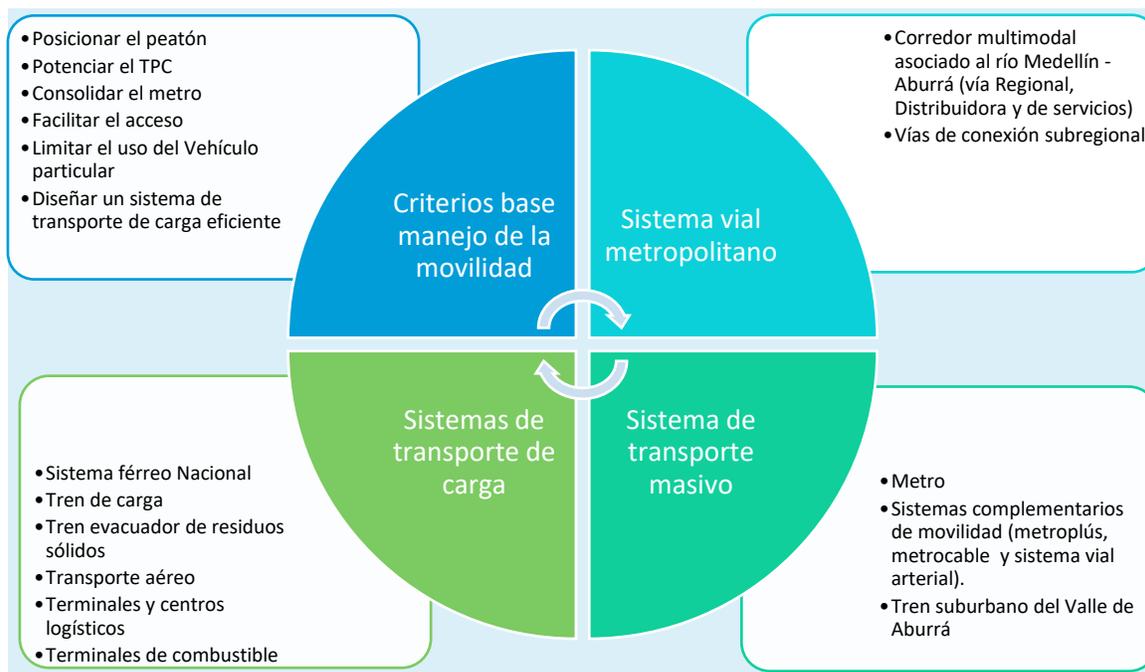
Es así como podemos resumir que el proceso de urbanización de la ciudad de Medellín ha estado marcado por determinantes económicos y procesos sociales generados a partir de una historia condicionada por la violencia en el país y también a nivel local, lo que ha contribuido a la configuración de la forma urbana actual. De manera general podría describirse que la ocupación de la ciudad ha estado determinada por un desarrollo que circunda el río Medellín donde se concentra una centralidad principal con un desarrollo potencialmente comercial. En la media ladera se evidencia un desarrollo habitacional que ha generado nuevas centralidades y una periferia con una presión de ocupación hacia la ladera, determinada por un crecimiento no planificado, debido al incremento poblacional acelerado y posiblemente por la llegada de desplazados y ocupación por parte de población vulnerable. Es importante resaltar que el ritmo acelerado de esta ocupación no ha permitido una planificación a igual velocidad, generado así un distanciamiento en relación con los

procesos de carácter sostenible. Al respecto debe destacarse lo expuesto en el diagnóstico de usos del suelo del POT (Alcaldía de Medellín, 2014, págs. 395, Tomo IVb):

Fue posible notar que las zonas de menor concentración de la vivienda son las zonas planas del valle en la proximidad del río Medellín (ver Tomo IIIe, Capítulo Aprovechamientos y Obligaciones Urbanas), lo que es contradictorio al modelo de ocupación y que se deriva tanto de la competencia por la renta del suelo ante la cual, la vivienda es la actividad urbana que está en peores condiciones de pagar, como de la decisión del planificador del Acuerdo 046 de 2006 de prohibir este uso asociado a la industria. En segundo lugar, se concluye que en los polígonos industriales dominan estos usos con bajos niveles de mezcla; asimismo, que los pretendidos corredores especializados son en comparación con el promedio de ciudad de alta mixtura, lejos de su propósito de enfoque económico. Finalmente, que las principales aglomeraciones comerciales de la ciudad están en el centro tradicional de la ciudad y la centralidad de El Poblado y que a partir de estas dos se estructura la distribución de esta actividad económica en torno a los principales ejes estructurante de la ciudad, valga citar la Avenida El Poblado, Avenida Guayabal, Calles 30, 33, San Juan, Colombia y Ayacucho, Carrera Carabobo, 70 y 80, entre otras.

Desde el punto de vista del sistema vial como parte fundamental del modelo de ocupación de la ciudad, es importante resaltar que este debe tener una proyección que trascienda lo local y tenga un enfoque a nivel metropolitano, regional y nacional. Se puede decir que es a partir del documento de *Orientaciones Metropolitanas de Ordenamiento Territorial* elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el año 1998, donde se encuentra fundamental “la necesidad de combinar diversos modos de transporte y de establecer sistemas de gestión que reduzcan costos de operación, tarifas y tiempos de viaje” (AMVA, 2006). El documento de *Directrices de Ordenamiento Territorial* señala la importancia del río como eje estructurante natural y su relación con el sistema metropolitano de movilidad y a su vez define un sistema de movilidad conformado básicamente alrededor de unos criterios base como se detalla en la Figura 24.

Figura 24. Sistema de Movilidad Metropolitana



Fuente: adaptado del Documento Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial DOT (AMVA, 2006, pág. 86).

Se constituye en un reto, el poder planificar una ciudad que continúa creciendo a gran velocidad, sin embargo, también resulta en una oportunidad, el poder ordenar el territorio, a través del desarrollo de proyectos con criterios de sostenibilidad visto desde todas sus esferas.

En este sentido El Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín “Una Ciudad para la gente, una ciudad para la Vida” acogido a través del Acuerdo 48 de 2014, proyectado para el periodo 2014 – 2027, se desarrolla a partir de todos los avances manifestados en la ciudad, pero a su vez reconociendo las deficiencias en materia de pobreza, desigualdad y violencia.

El modelo de organización espacial o proyecto de ciudad definido en el Plan de Ordenamiento Territorial (ver Figura 25), está orientado al “desarrollo de un modelo de ocupación de ciudad compacta y policéntrica con crecimiento hacia adentro, a través de la renovación de áreas de intervención estratégica del río, la consolidación del borde urbano-

rural y la generación del nuevo eje de conexión regional oriente-occidente”. (Alcaldía de Medellín, 2014).

Frente al modelo de ciudad compacta propuesto en el POT de Medellín (2014-2027) vale la pena mencionar lo expuesto por Jacob (1961), CHEN et al., (2008), Glaezer (2011) citado por (Miralles-Guasch, 2013, pág. 302) donde se afirma que:

Una ciudad compacta, con una elevada densidad de población constituye un entorno menos contaminante a través de un doble mecanismo: por un lado, reduce las distancias viajadas, y por otro, permite un reparto modal con mayor presencia de los desplazamientos no motorizados (CHEN et al., 2008).

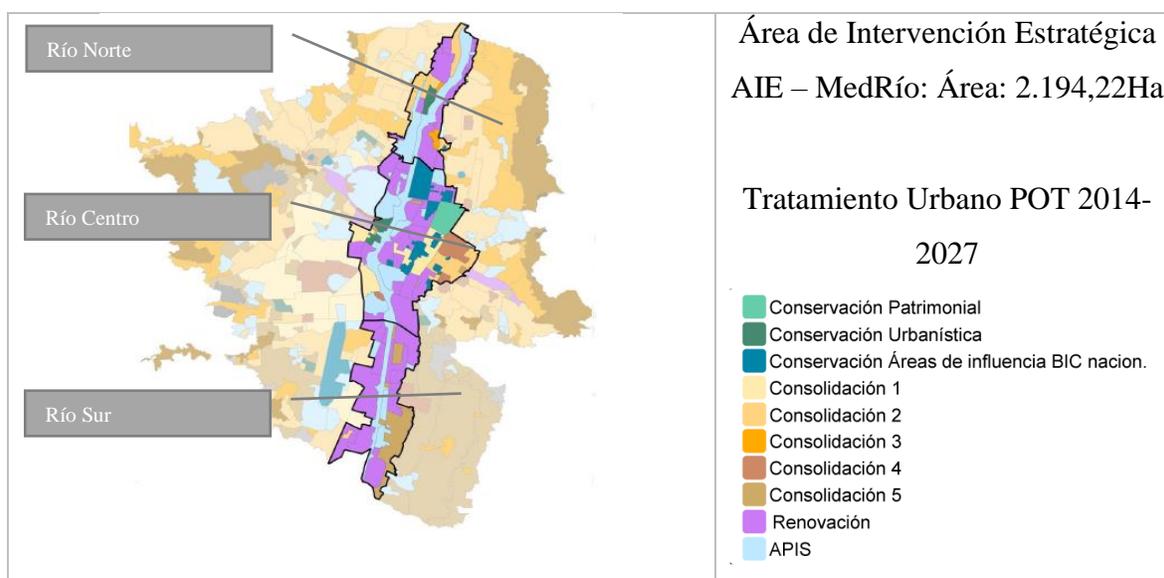
Sin embargo, la sostenibilidad ambiental no es producto directo de la ciudad compacta, pues la forma urbana solo constituye el ámbito adecuado en el que la población puede hacer uso de la proximidad. Tal como ya advertía Jacobs en su obra de referencia (1961), y más recientemente Glaezer (2011), las estructuras físicas no hacen por si solas la ciudad. Las estructuras urbanas no son suficientes para genera proximidad, se requiere también la mixticidad de usos y una correcta distribución de servicios y equipamientos. Para que la ciudad compacta y próxima pueda constituir una alternativa válida a la ciudad dispersa y segregada se necesita una mezcla adecuada de diversidad, densidad y diseño urbano (Ververo; Kockleman, 1997) unas características que permiten ir andando y utilizar transportes públicos.

Elena en el oriente que permite conectar el valle de Aburrá con la región (AIE Transversalidades, 2 Macroproyectos).

También se define un área rural en la cual se proyecta acoger funciones de protección ecológica, producción de bienes y servicios ambientales que mantiene el paisaje rural tradicional y se identifica un borde rural diverso (MedBorde, 5 Macroproyectos) con el propósito de articular las dinámicas urbano rurales, proteger sus valores paisajísticos y limita el crecimiento urbano, buscando también consolidar barrio con alta calidad habitacional y reducir las condiciones de amenaza y riesgo (Alcaldía de Medellín, 2014).

El AIE MEDRío se caracteriza por concentrar todos los suelos con tratamientos de Renovación Urbana asociados a la recuperación del Río Medellín (ver Figura 26), esta AIE está subdividida en tres zonas: Río Norte, Río Sur y Río Centro, cada una de ellas se instrumentan a través de Macroproyectos.

Figura 26. Polígonos de tratamiento MEDRío

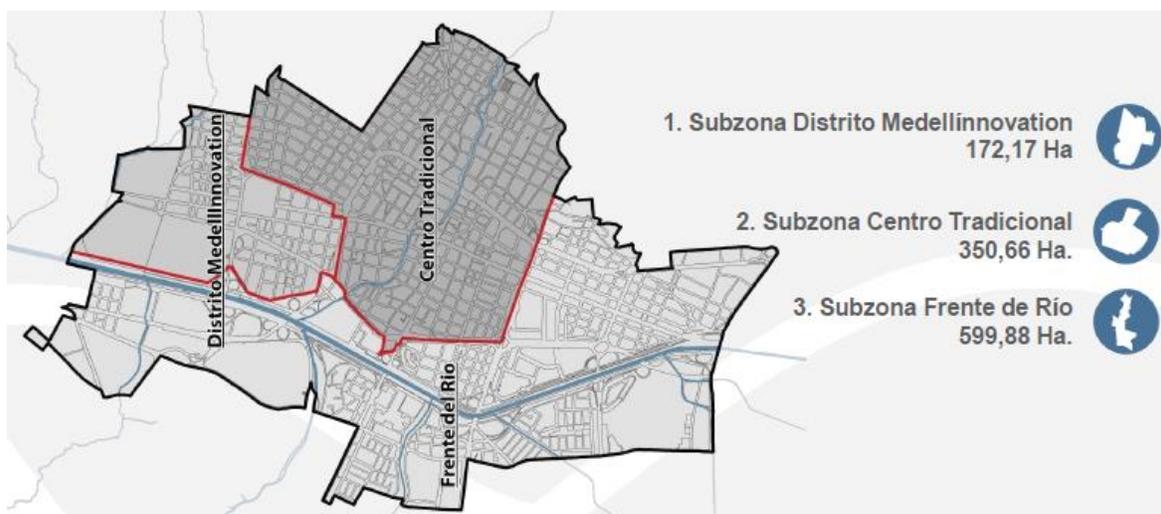


Fuente: Departamento Administrativo de Planeación (Presentación Macroproyectos urbanos, 2015).

Específicamente el Macroproyecto MEDRío – Río Centro adoptado por Decreto Municipal 2053 de 2015 y modificado posteriormente por el Decreto 1006 de 2018, tiene como objetivo “ordenar el área central de la ciudad para la superación de los desequilibrios

funcionales a escala local, metropolitana y regional, mediante la reutilización, recuperación y transformación estratégica de su tejido con el fin de revertir los procesos de deterioro” (Alcaldía de Medellín, 2014). El Macroproyecto Río Centro se encuentra a su vez, dividido, en tres subzonas: Subzona 1. Frente del Río; Subzona 2. Distrito Medellín innovación y Subzona 3. Centro Tradicional.

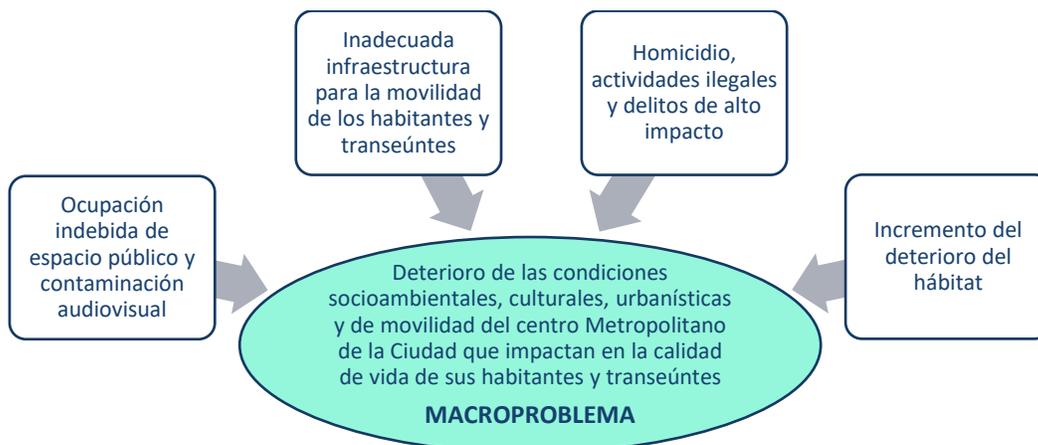
Figura 27. Zona Macroproyecto Río Centro



Fuente: Departamento Administrativo de Planeación. (Alcaldía de Medellín. Departamento Administrativo de Planeación, 2015).

El Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro – PGIIC asociado a la Subzona 3: Centro tradicional, comprende una cantidad de obras y acciones con el fin de desarrollar el modelo de ocupación propuesto en el POT. Para la formulación del PGIIC se realizó un análisis situacional del problema del centro logrando identificar un macroproblema y cuatro subproblemas a partir de los cuales fueron desarrolladas 9 estrategias de intervención (ver Figura 28 y Figura 29).

Figura 28. Identificación y análisis de problemas PGIIC 2015



Fuente: adaptado del Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro (Alcaldía de Medellín, 2015, pág. 48).

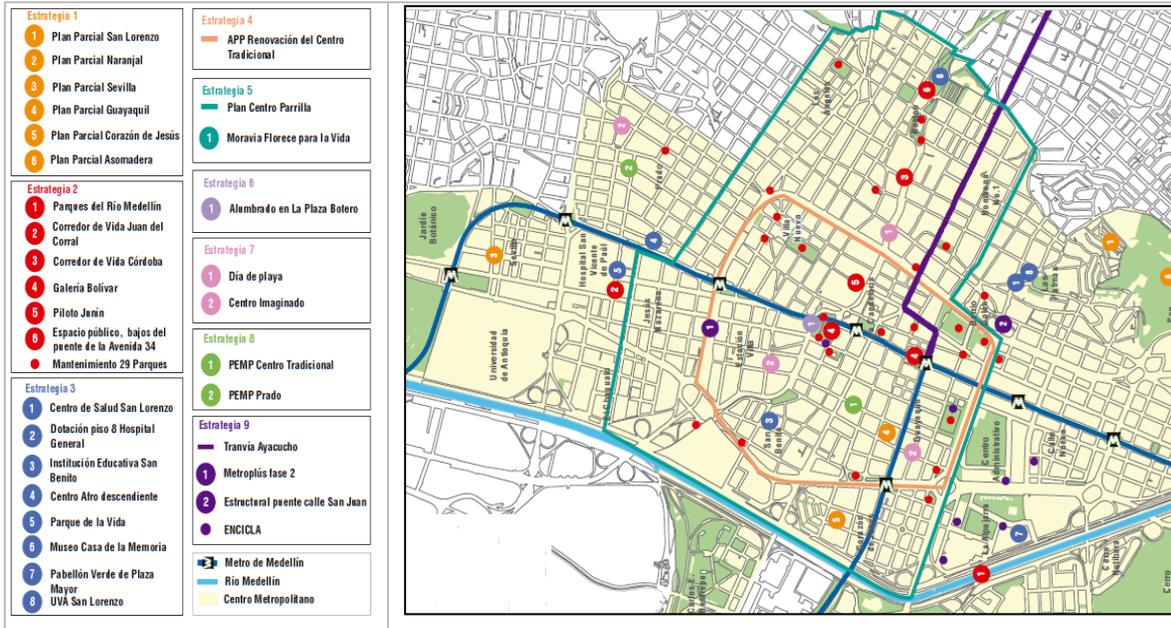
Si bien estos problemas fueron identificados en la formulación del PGIIC en el 2015, estos continúan siendo una constante en la zona, por lo que todos los proyectos desarrollados deben estar pensados para brindar una solución a estas problemáticas de una manera articulada.

Figura 29. Estrategias del Plan de Gestión de la Intervención Integral del Centro



Fuente: Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro (Alcaldía de Medellín, 2015, pág. 34).

Figura 30. Planes, proyectos y acciones de las Estrategias del PGIIC



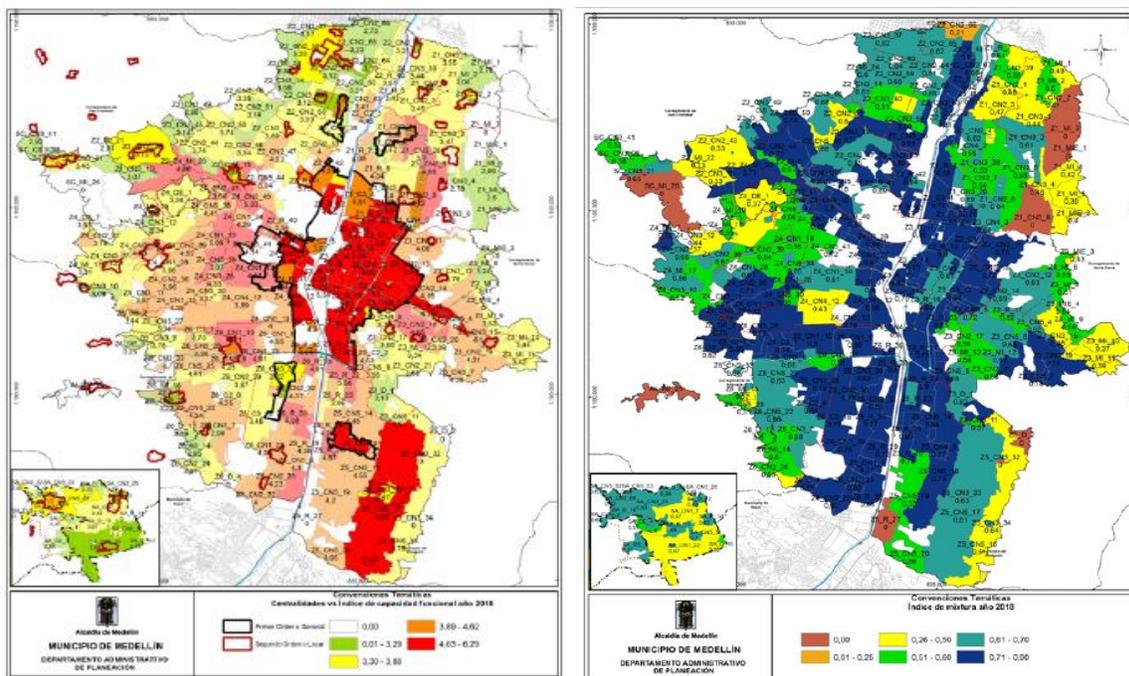
Fuente: Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro (Alcaldía de Medellín, 2015, pág. 35).

Ahora bien, en cuanto al estado actual de la zona urbana de Medellín según el informe de gestión del POT (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020) podemos concluir que la Subzona Centro Tradicional presenta un índice de capacidad funcional¹⁷ entre 4,65 y 6,29 (siendo 7 el índice más alto), lo que indica una presencia intensiva de actividades económicas y alta mixtura de usos, el anterior análisis coincide con lo estimado en el índice de mixtura¹⁸ donde predominan polígonos con índices entre el 0.7 y 0.9 (siendo 1 el índice más alto) indicando así, que la zona Centro Tradicional presenta múltiples usos equitativamente distribuidos (ver Figura 31).

¹⁷ El Índice de capacidad funcional permite conocer cómo está configurado un territorio para la satisfacción de la demanda de bienes y servicios en su área de influencia, estableciendo focos de aglomeración, localización y proximidad de actividades, como son las centralidades. Este índice tiene una escala de 0 a 7, siendo 7 una alta capacidad funcional, lo que indica presencia intensiva de actividades económicas y alta mixtura de usos. Este se compone de dos sistemas artificiales: 1) Estructura Funcional y de Servicios y 2) Estructura Socioeconómica. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 64)

¹⁸ El Índice de mixtura tiene como propósito evaluar el grado de mezcla o diversidad de usos del suelo dentro de un polígono. Es un cálculo que trata de medir el grado de mezcla o de diversidad de usos del suelo. Este índice varía entre 0 y 1, donde cero indica homogeneidad (hay un solo uso) y 1 indica heterogeneidad (hay múltiples usos equitativamente distribuidos). Los polígonos en tono azul oscuro presentan mayor grado de mixtura Socioeconómica. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 89)

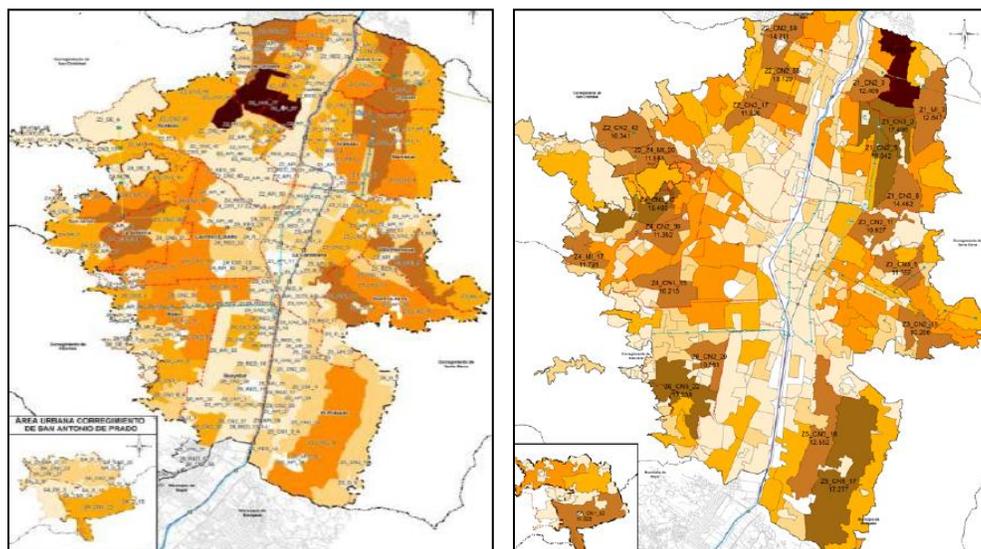
Figura 31. Mapa del Índice de Capacidad funcional (izquierda) y Mapa del Índice de Mixtura (derecha) año 2018



Fuente: Actualización del informe de gestión del POT 2016-2019. Anexo 2. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 65 y 90).

El seguimiento a la dinámica de la transformación de la ciudad, por medio a la evolución de las viviendas y de la aplicación de los aprovechamientos en términos de la edificabilidad, da a conocer cómo se está dando la ocupación del suelo en la ciudad. En relación con el número de viviendas, la fuente de análisis corresponde a la base de datos de instalaciones residenciales de energía, agua y gas de EPM (ver Figura 32). En relación con los metros cuadrados totales construidos, la fuente de análisis corresponde a la base de datos de la Subsecretaría de Catastro al año 2018, de la cual se extraen datos como la participación y desagregación por uso: residencial, comercio y servicios e industrial; con el seguimiento a estas variables es posible conocer cuál ha sido la dinámica y transformación de la ciudad al año 2018, identificando los polígonos de tratamiento que más se presentan (ver. Figura 33) (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 78).

Figura 32. Instalaciones residenciales año 1999 (izquierda) y año 2019 (derecha)



Nota: La imagen izquierda representa la cantidad de Instalaciones residenciales de energía, acueducto y gas año 1999, y figura derecha se encuentra la misma representación para el año 2019. Las tonalidades claras representan un menor número de instalaciones y las tonalidades oscuras las mayores.

Fuente: Actualización del informe de gestión del POT 2016-2019. Anexo 2. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 81).

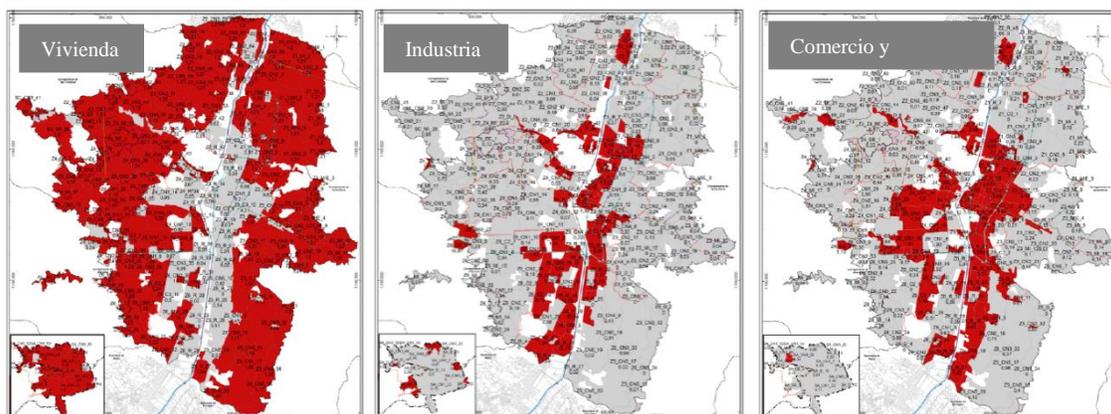
Se concluye así que las viviendas continúan concentrándose en los bordes Nororiental y Noroccidental sin lograr aún la densificación hacia adentro como lo propone el POT. Al respecto el Departamento Administrativo de Planeación – Subdirección de Prospectiva, presenta los siguientes datos a partir de la información entregada por Empresas Públicas de Medellín con corte al 2018: número de viviendas ubicadas en ladera 404.206; en borde 205.298, en la zona Río 83.597, en Santa Elena 79.017 y en la Iguana 70.498. Es importante mencionar que los Macroproyectos del Río Medellín tienen proyectados la construcción de 116.106 viviendas (Río Norte 18.478, Río Centro 46.482, Río Sur 51.146).

En el presente capítulo también se analiza el coeficiente de localización¹⁹ para el año 2018 el cual permite identificar la especialización de los usos en los polígonos de la ciudad (residencia, Industria, comercio y servicios), al respecto en la Figura 33 se identifica que

¹⁹ Un coeficiente de localización de un valor mayor que 1 establece que el tamaño relativo del uso analizado es superior al de toda la ciudad, dándose un patrón de especialización en dicho uso. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020)

los polígonos del centro de Medellín tienen un coeficiente de localización superior a 1 para el uso múltiple (Comercio y Servicios).

Figura 33. Coeficiente de localización uso predominante año 2018



Fuente: actualización del informe de gestión del POT 2016-2019. Anexo 2. (Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación, 2020, pág. 93).

Al analizar de manera detallada los usos generales del suelo en la ZUAP del centro de Medellín, se encuentra que predomina el uso del Suelo denominado “centralidades con predominancia económica”. Como se observa en la Figura 34. También se identifican atractivos turísticos de diferente clasificación entre ellos, arquitectura para el comercio, elementos del espacio público y templos.

Figura 34. Usos generales suelo urbano, Comuna 10, Medellín

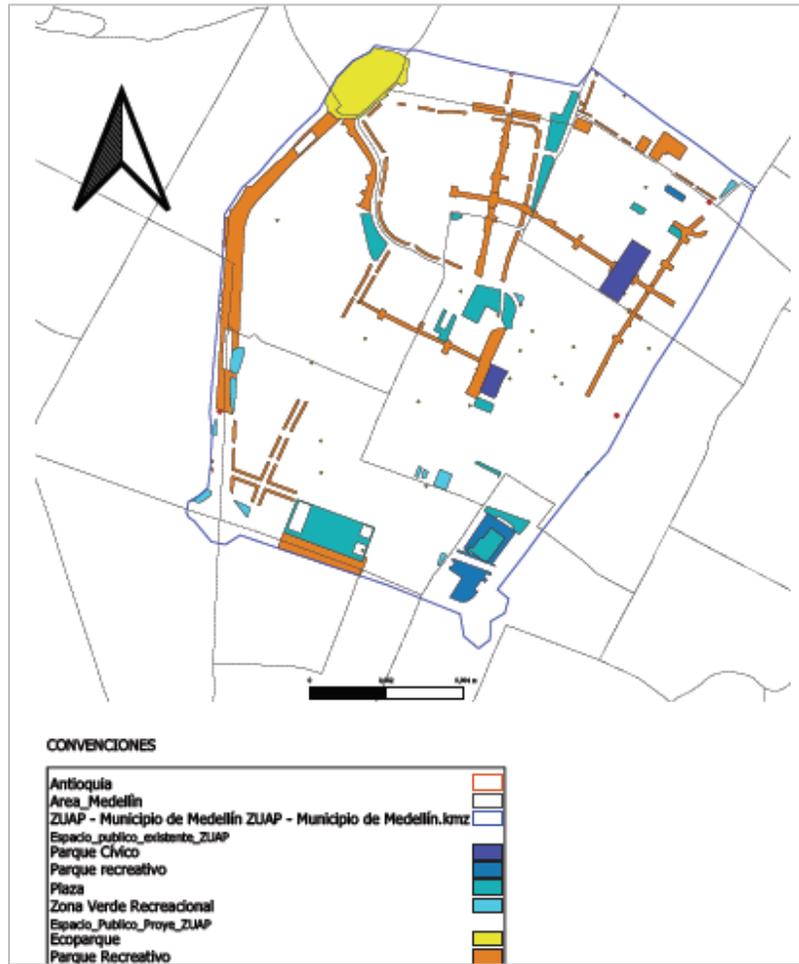


Fuente: elaboración propia en programa QGIS a partir de información obtenida del portal de datos abiertos dispuesta por la Alcaldía de Medellín.

Se identificaron cinco puntos con riesgo por amenazas de origen natural como inundaciones y avenidas torrenciales. Esta información es de suma importancia al momento de plantear opciones en el diseño de nueva infraestructura.

En la zona también fue posible identificar los puntos donde hay instaladas cámaras de movilidad que pueden brindar información del número de vehículos que circulan en la zona. Esta información es importante para realizar una estimación de las emisiones vehiculares, sin embargo, se encontró que las cámaras se encuentran en la periferia del área, encontrando la necesidad de analizar otros puntos al interior, por lo que se deberán plantear estrategias como aforos vehiculares u otros que permitan una mejor fuente de datos para realizar los respectivos análisis.

Figura 35. Espacio público existente y proyectado en la ZUAP.



Fuente: elaboración propia en programa QGIS a partir de información obtenida del portal de datos abiertos dispuesta por la Alcaldía de Medellín.

Entre los procesos de transformación se debe considerar como un eje principal, el desarrollo del sistema de transporte público, el cual integra diferentes modos como el metro, el tranvía, buses y otros. Se evidencia la necesidad de incorporar en futuros análisis información de la estructura poblacional que habita la zona, ya que es un insumo importante para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

8.3 PARÁMETROS PARA DELIMITAR ZONAS DE BAJA EMISIÓN, ENFOCADO A LAS FUENTES MÓVILES

A partir del análisis de zonas de baja de emisión en ciudades europeas se pueden identificar experiencias replicables desde el punto de vista procedimental, entendiendo que estas ciudades tienen otras dinámicas territoriales diferentes a las de la ciudad de Medellín. Es así como se realizó la consulta en sitios web estatales de las ciudades que tuvieran implementadas ZUAP con las siguientes características:

- ZBE con medidas de carácter permanente (durante todo el año).
- ZBE implementadas con una antigüedad de mínimo dos años.
- Evaluación de algún tipo de impacto por la implementación de la ZBE.

La consulta se realizó en ocho ciudades europeas: Milán, Roma, Londres, Madrid, Barcelona, París, Bruselas y Berlín, revisada la información, los principales hallazgos se presentan en la Tabla 21 y el resumen general de cada zona se presenta en el Anexo A.

Tabla 21. Características de las Zonas de Baja Emisión en ocho ciudades europeas

Concepto	Hallazgos	Referencias
Nombres usados	Zona de Tráfico limitado	Milán y Roma
	Zona de Bajas Emisiones	Londres, Madrid, Barcelona, Paris, Bruselas
	Zona Ecológica	Berlín
	Zona de Ultra bajas emisiones	Londres
Objetivo de una ZBE	La ZBE opera para estimular a los vehículos diésel pesados más contaminantes a ser más limpios.	Londres
	Proteger el patrimonio histórico y arqueológico de la ciudad y reducir la contaminación de la ciudad.	Roma
	Limitar el acceso de los vehículos más contaminantes al centro de las áreas urbanas, acelerando así la renovación de vehículos antiguos por más recientes o el uso de otros modos de transporte	París
	Los municipios se han fijado los criterios de circulación de ZBE con el objetivo de	Barcelona

Concepto	Hallazgos	Referencias
	reducir las emisiones a la atmósfera procedentes del tráfico rodado.	
Principales medidas	Cobro de una tarifa fija, el pago permite viajar todo el día en el área cargada. - Entrada gratuita para eléctricos e híbridos. - Entrada prohibida para vehículos a gasolina Euro II y anteriores y para diésel Euro V y anteriores.	Milán Centro Histórico
	Cumplir los estándares de emisión establecidos o pagar una tarifa diaria	Londres
	Cobro por congestión adicional a los cobros ambientales	Londres
	No está sujeta al pago de un ticket de acceso. Los vehículos de combustible dual diésel / metano o diésel / GLP con clase medioambiental Euro I-II-III no pueden entrar ni circular en el Área B.	Milán zona B
	Restricción por etiqueta vehicular	Berlín, Francia, Madrid y Barcelona
	las restricciones de tráfico se vuelven más estrictas según las normas Euro. los vehículos que no cumplan con ninguna condición de acceso en la LEZ pueden acceder excepcionalmente (8 veces al año por un pase de un día)	Bruselas
Como se mide su efectividad	Reducciones de los viajes en automóvil	Roma
	Aumento de los viajes en transporte público	Roma
	Aumento en los viajes para peatones y ciclistas	Roma
	Reducción del tráfico	Milán
	Reducción del número de vehículos más antiguos	Londres
	Incremento de vehículos limpios	Milán
	Estimación de la reducción de emisiones (modelado)	Milán, Berlín, París, Barcelona y Bruselas
	Concentraciones de partículas	Londres, Berlín, Madrid
Evaluación cuantitativa prospectiva del impacto en la salud (EQIS) de la implementación de la ZFE en el territorio intramuros parisino	París	

Concepto	Hallazgos	Referencias
	Estimación del impacto en la salud respiratoria	Londres
Proyecciones	Restricciones graduales. La última fase está programada al 2025, se tendrán restricciones para algunos vehículos diésel Euro VI y gasolina Euro III - IV	Milán
	2021 LEZ (solo ingresarán vehículos Euro VI) y ULEZ será extendida a 360 km ²	Londres
	2024 eliminar la circulación de motores diésel y en el 2030, eliminar la circulación de motores térmicos.	París
	2025 no podrán circular los vehículos tipo A (Sin etiqueta)	Madrid
	2025 no podrán circular vehículos a Diésel Euro VI y Gasolina, LPG, CNG Euro III	Bruselas
Oportunidades	Voluntad de creación de la zona expresada por los ciudadanos a través de referendo	Milán
	Ayudas públicas para la sustitución de vehículos nocivos para el medio ambiente, con la compra de vehículos nuevos menos contaminantes, a través de convocatorias.	Milán, Londres y París
	Opción de adaptar su vehículo con tecnología de reducción de emisiones.	Londres
	Desarrollo de un sistema extenso de estacionamientos para aparcar y acceder a la zona en transporte público.	Roma
	Fomentar el transporte público creando líneas gratuitas de autobuses de bajas emisiones	Madrid
	Incentivos para la compra de bicicleta (eléctrica o no)	París
	Utilización de equipos de detección llamados sistemas RSD (Remote Sensing Device) que han permitido medir las emisiones reales de los vehículos remotamente y sin interferir en la circulación normal de los vehículos.	Área Metropolitana de Barcelona
	El sistema de cámaras detecta las matrículas de los vehículos entrantes.	Milán, Londres

Concepto	Hallazgos	Referencias
Sistema de verificación y control	Sistema de verificación manual a través de agentes de tránsito.	Berlín, Madrid, Barcelona y Paris
Dificultades	Acciones legales por parte de las ciudades para deslegitimar la ZBE	Berlín
	Costos asociados a la implementación de la ZBE	Londres
	Afectación comercial a empresas que deben modernizar su flota vehicular para circular en la zona	Londres
	Un porcentaje considerable de la población (25%) no tiene la capacidad económica de modernizar su vehículo	París

Fuente: elaboración propia a partir de información desarrollada en el Anexo A.

El tamaño de ZBE es variable en cada ciudad, la delimitación de las áreas ha estado dada por la problemática identificada y con base en ejercicios de modelización que han permitido proyectar las necesidades en materia de medidas y restricciones para cumplir con una meta proyectada en un horizonte de tiempo. Algunas ciudades han iniciado con áreas pequeñas y han programado su expansión de manera progresiva, así mismo ciudades como Londres y Milán han definido más de un perímetro, donde se aplican medidas diferenciadas en cada uno de ellos, de acuerdo con las características de la zona y según sus necesidades.

Para el caso específico de la ciudad de Medellín la delimitación del Polígono ZUAP del centro de Medellín obedeció a:

(...) desarrollo y análisis de estudios como la encuesta origen destino, análisis de las media móviles de la estación Tráfico Centro y mediciones in-situ de las concentraciones de PM_{2.5}, realizadas por SIATA, llevadas a cabo con equipos portátiles adaptados a vehículos eléctricos que transitaron al interior de diferentes vías: Calle San Juan entre las glorietas con las avenidas Ferrocarril y Oriental; Av. Ferrocarril entre las glorieta con San Juan y la glorieta de la Minorista; Calle 59 entre la Av. Ferrocarril y la carrera 46; Carrera 46 entre la calle 59 y la calle 44 (San Juan). El estudio reporta que la mayoría de los valores de PM_{2.5} se presentan entre

20 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y que aún por encima de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se presenta una cantidad importante de datos. (AMVA, 2021, pág. 14).

La mayoría de las ciudades consultadas, realizan las restricciones vehiculares basados en un sistema de etiquetado como es el caso de Berlín, Francia, Madrid y Barcelona. Estas etiquetas se generan en un marco normativo nacional, sin embargo, en algunos casos las restricciones enfocadas en etiquetas están sujetas al análisis que realice cada ciudad de su problemática en particular.

Con respecto a la medición del impacto de las ZBE, ADEME (2020, pág. 92) señala que el impacto de en la calidad del aire se puede evaluar en dos fases:

En la fase "ex ante" (...) con base en varios supuestos sobre la renovación de vehículos, el índice de cumplimiento de la ZBE, el posible cambio modal, etc. Estos supuestos permiten establecer una flota de vehículos y datos de tráfico (número de kilómetros recorridos en la ZBE por cada vehículo) en el futuro. Aplicando los factores de emisión teóricos de cada contaminante a la flota en funcionamiento en el estado actual y en el futuro, se puede calcular el impacto esperado de la ZBE sobre las emisiones contaminantes. A partir de las reducciones de emisiones obtenidas, el uso de software de modelado de la dispersión atmosférica que incluye parámetros meteorológicos permite estimar la dispersión de las emisiones contaminantes y, por tanto, evaluar las concentraciones resultantes.

En la fase "ex-post", después de un período de funcionamiento de la ZBE, se pueden utilizar diferentes métodos: (i) En cuanto a los estudios ex ante, comparando la flota que circula antes y después de la ZBE, pero esta vez a partir de la flota real en circulación (observada) para el escenario posterior a la ZBE. (ii) Cuando no se conoce la flota circulante antes de la implementación de la ZBE, el cálculo de las emisiones se realiza entre la flota circulante real (observada) y la flota teórica si la ZBE no se hubiera implementado. (iii) Comparación de las mediciones de contaminantes atmosféricos realizadas antes y después de la implementación de la

LEZ, o dentro y fuera de la LEZ. Algunos estudios comparan de manera más general las mediciones realizadas en ciudades sin LEZ y ciudades con LEZ.

El mismo informe indica con respecto al análisis realizado sobre más de veinte estudios ex post las siguientes tendencias (ADEME, 2020, pág. 93):

- Un efecto limitado en las concentraciones de NO_x y / o NO₂ cuando las restricciones de ZBE se aplica a vehículos diésel hasta Euro 4 (la mayoría de ZBE en 2020).
- Un efecto mucho mayor en las concentraciones de NO_x y / o NO₂ cuando las restricciones se aplican a vehículos diésel hasta Euro 5 (ULEZ Londres)
- Un efecto significativo en las concentraciones de partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), así como en el negro de carbón (BC), cuando las restricciones favorecieron la renovación de la flota diésel anterior a la norma Euro 5 (mayoría de LEZ in 2020).

8.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA OCASIONADO ESPECIALMENTE POR LA EMISIÓN DE FUENTES MÓVILES, EN LA ZONA CENTRO DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

El desarrollo de este objetivo se basó en dos insumos principales: (i) gestión del anexo A donde se realizó la recolección de información asociada a las Zonas de Baja Emisión en ciudades europeas, y (ii) la implementación de un cuestionario con base en el análisis desarrollado del Anexo A, donde a partir de un planteamiento general de soluciones se lograron recoger otras alternativas de solución así como la percepción de los participantes frente a dichos planteamientos.

El cuestionario fue dirigido a personas que estuvieran relacionadas dentro de los siguientes grupos: academia, gremios, entidades públicas y personas externas que cumplieran con las 3 características de participación, a saber: ser conocedores de la problemática de calidad del aire en la ciudad de Medellín, vivir en los municipios del Área Metropolitana y tener conocimientos en temas de ordenamiento, sostenibilidad o movilidad.

La selección de entidades a colaborar dentro del presente análisis se eligió de la lista de organizaciones, entidades y personas que están inmersas en la Gobernanza del PIGECA (Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire). Dicho cuestionario fue enviado de manera virtual a 51 destinatarios, recibiendo respuesta por parte de 21 de ellos, alcanzando así la muestra determinada en el capítulo de metodología. Se obtuvieron nueve (9) respuestas de profesionales asociados a la academia, cinco (5) de profesionales de entidades públicas, dos (2) de agremiaciones y (4) personas por fuera de estos grupos que cumplían con las características ya mencionadas. Las respuestas están integradas por 16 personas que residen en la ciudad de Medellín y 5 distribuidas en los municipios de Envigado, Bello, Sabaneta e Itagüí.

Los resultados frente a la aplicación del cuestionario se presentan a continuación, indicando que el mayor número de respuestas señalaron al centro de Medellín como el lugar donde se sufre mayor riesgo de respirar un aire contaminado (ver Tabla 22), entendiendo así que el sector donde está delimitada la ZUAP, se asocia a problemas de Calidad del Aire. Así mismo, las personas indicaron que lugares como las estaciones de buses, zonas industriales y en general el aire que se respira en todo el Valle de Aburrá también representa un riesgo para la población.

Tabla 22. Lugares con mayor riesgo para la población de respirar un aire contaminado

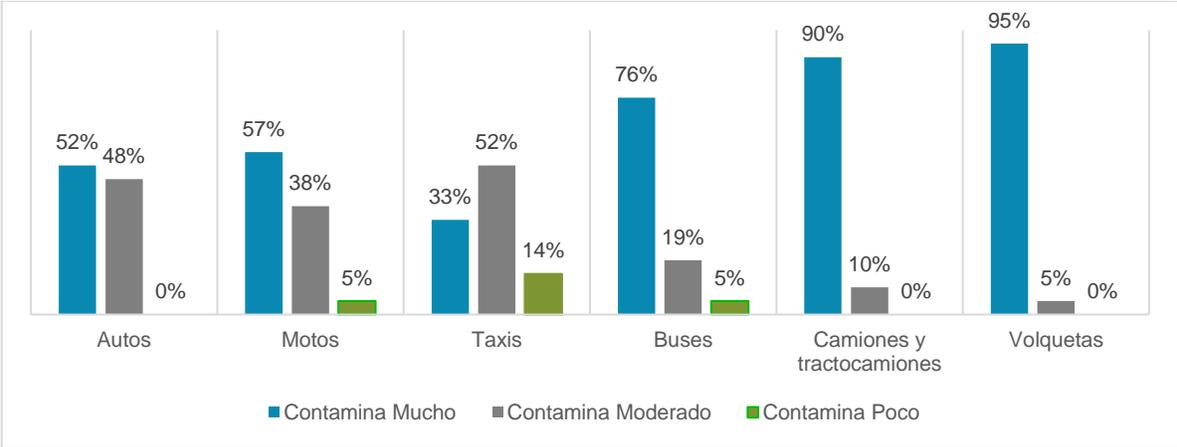
Lugares	%	#
Centro de Medellín	61,90%	13
Avenidas principales: Regional, Las Vegas y el Poblado	19,29%	4
Sector El Poblado	4,76%	1
Otras	14,29%	3
	100%	21

Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Al observar la Figura 36 se concluye que las tres categorías consideradas como mayores aportantes a la contaminación atmosférica son en su orden las volquetas, camiones y tractocamiones y los buses, lo cual es consistente con los inventarios de emisiones año base 2018, realizado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (aclarando que en el inventario mencionado la categoría tractocamiones se encuentra desagregada y representa

solo 0,9% de las emisiones de PM_{2.5}, debido a los pocos kilómetros recorridos dentro del Vallé de Aburrá en comparación con otras categorías). Vale la pena destacar que en la categoría taxis el 15% manifestó que contamina poco, las demás categorías presentan porcentajes superiores al 52% frente a la percepción de si contaminan mucho; en este sentido se concluye que todas las categorías son consideradas con cierto potencial de contaminación.

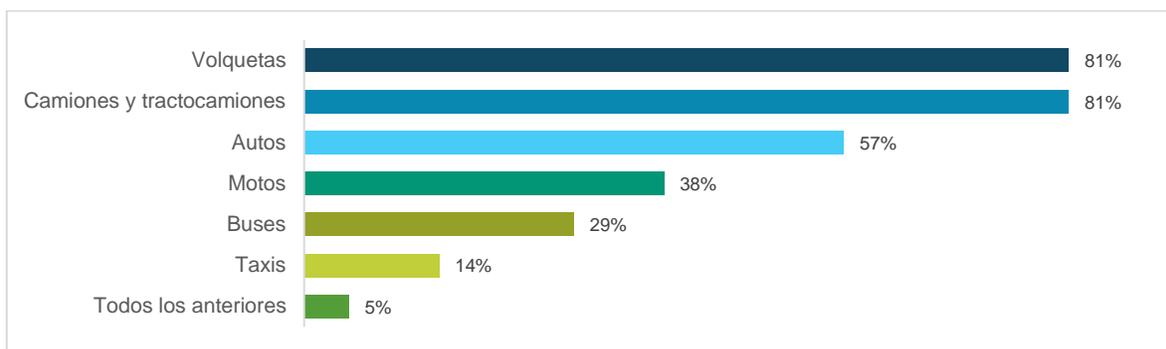
Figura 36. Percepción del aporte a la contaminación por fuentes de emisión (móviles) en la ciudad de Medellín



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Frente a la consulta de considerar viable técnicamente la restricción en la circulación de ciertos tipos de vehículos en zonas con alta contaminación atmosférica, un 4,76 % de los consultados no lo considera viable, un 9,52 % no sabe o no responde y el 85,71% manifestaron considerarlo viable, esta mayoría a su vez indica que las categorías que podrían ser objeto de esta restricción son en su orden las volquetas, los camiones y tractocamiones y los autos (ver Figura 37).

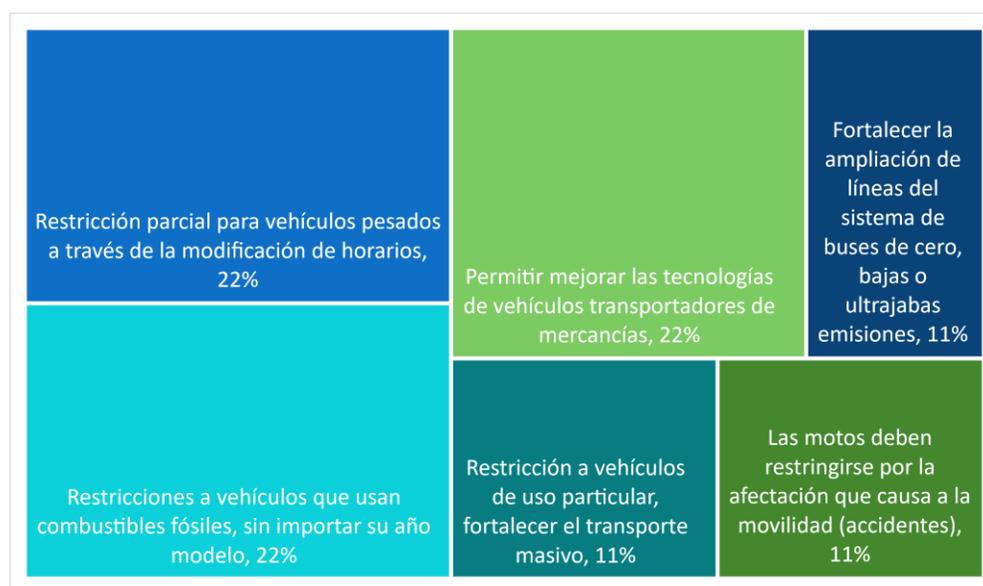
Figura 37. Categorías vehiculares que pueden ser objeto de restricción



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Complementariamente los participantes realizaron algunas observaciones frente a la restricción vehicular, las cuales se resumen en la Figura 38.

Figura 38. Observaciones complementarias a una propuesta de restricción vehicular

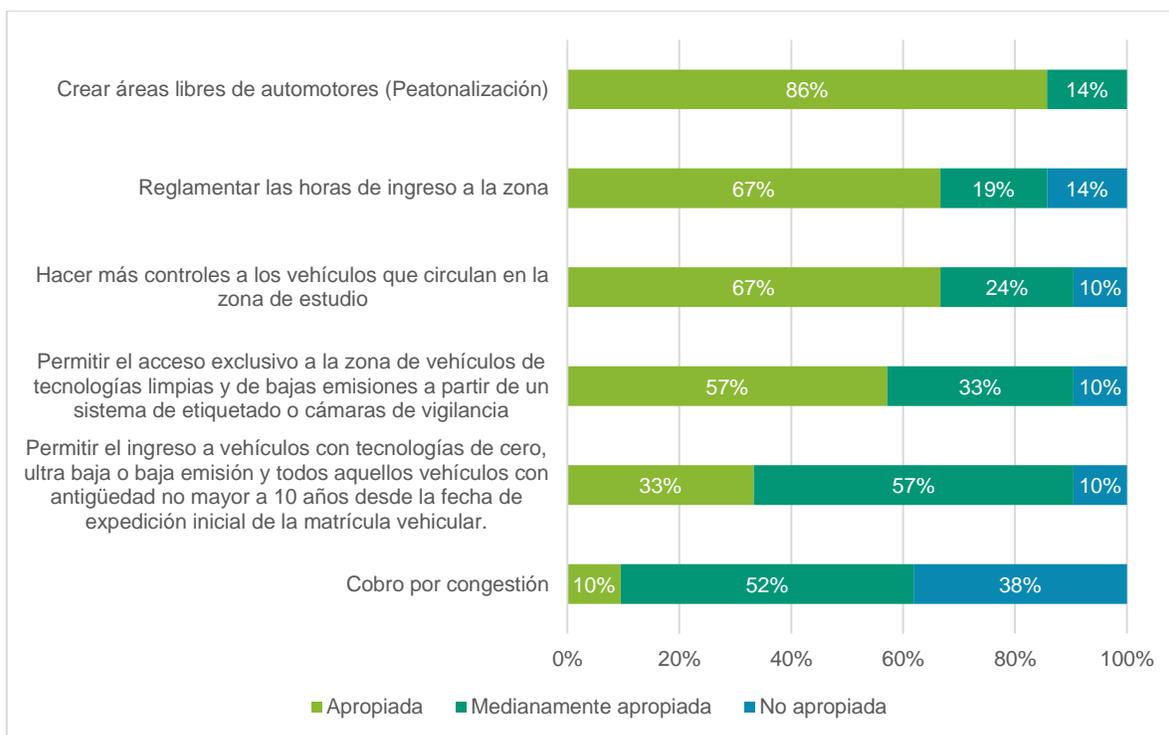


Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Posteriormente se consultó sobre qué tan apropiadas consideraban las seis medidas listadas, las cuales surgieron del análisis de la implementación de zonas de bajas de emisión en ciudades europeas (Anexo A) y adicionalmente fue incluida la medida sugerida por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Resolución 2231 de 2018) “Permitir el ingreso a vehículos con tecnologías de cero, ultra baja o baja emisión (eléctricos, híbridos y gas) y

todos aquellos vehículos con antigüedad no mayor a 10 años desde la fecha de expedición inicial de la matrícula vehicular”. Como resultado se obtuvo que las medidas orientadas a la peatonalización y la reglamentación de las horas de ingreso a la zona fueron las consideradas como las más apropiadas (ver Figura 39). Adicionalmente, se realizaron propuestas a las medidas como se observa en la Tabla 23.

Figura 39. Medidas consideradas apropiadas para reducir la contaminación Ambiental



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

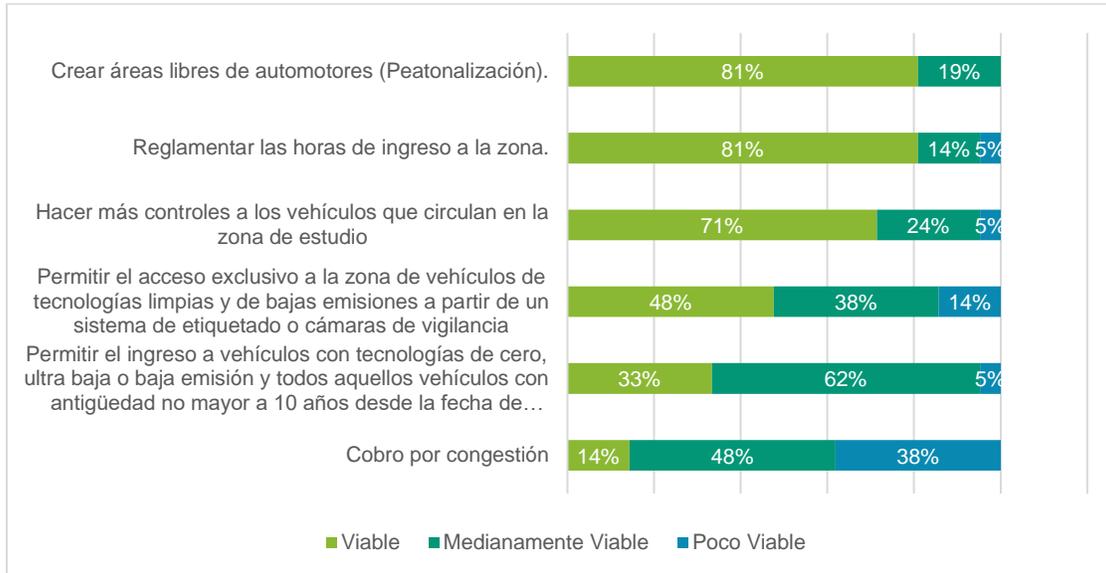
Tabla 23. Medidas complementarias en zonas con problemas de contaminación atmosférica

Medidas complementarias	
i	Incremento de estrategias como teletrabajo y teleeducación.
ii	Servicio de logística liviana usando carros repartidores eléctricos y bicicletas
iii	Plan maestro de parqueo de vehículos.
iv	Cargue y descargue nocturno.
v	Transporte público bajo en emisiones.
vi	Uso de diversos modos en el transporte (vehículo hasta cierto lugar y luego a pie, patineta, bicicleta eléctrica).
vii	Etiquetado de vehículos de más de 10 o 15 años para entrar en determinadas
viii	Reevaluar las pruebas técnico-mecánicas y de gases.
ix	Sanciones drásticas a los mayores contaminantes.
x	Cobro de impuesto diferenciado por tipo de tecnología del vehículo.
xi	Esquemas de sensibilización y educación en todos los niveles de la sociedad en relación con la problemática de calidad del aire de la región y los riesgos que representa.
xii	Avanzar en un esquema sólido de "chatarrización sostenible"
xiii	Apagado de vehículos que se encuentre en una parada temporal.

Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Con respecto a la viabilidad de las medidas enunciadas, el 81% de los participantes indicaron que las medidas más viables a considerar son la peatonalización y la reglamentación de las horas de ingreso a la zona, coincidiendo estas medidas con las seleccionadas como más apropiadas (Figura 40).

Figura 40. Medidas consideradas viables para reducir la contaminación ambiental



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Si bien se tiene un consenso general frente a la implementación de acciones contundentes en el centro de Medellín, también se indica que para generar una aceptación de las mismas, se debe buscar no afectar la dinámica económica y social de la zona. En este sentido, es importante destacar algunos aspectos claves mencionados por los participantes (ver Figura 41).

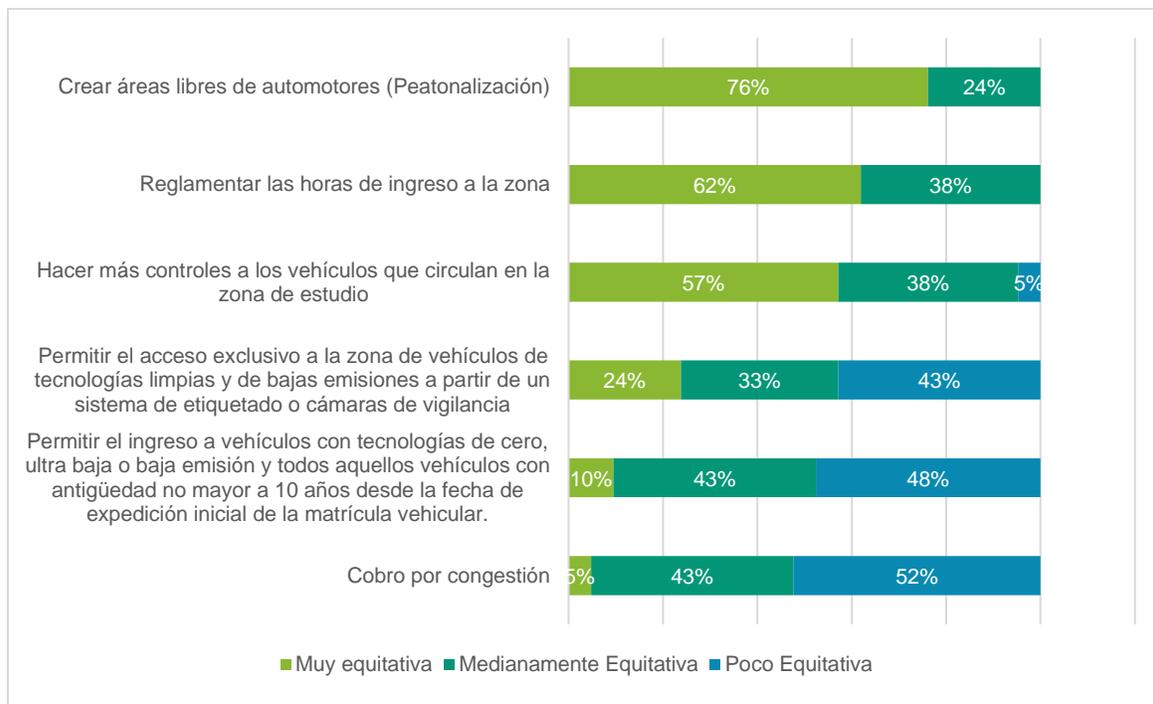
Figura 41. Aspectos claves en las medidas consideradas viables para reducir la contaminación ambiental



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

La medida considerada como la más equitativa, es la “peatonalización”, seguida de las medidas “reglamentación de las horas de ingreso a la zona” y “realizar un mayor control a los vehículos que circulan en la zona de estudio”, las otras medidas tuvieron más de 43% de respuestas calificándolas como poco viables.

Figura 42. Medidas para reducir la contaminación ambiental consideradas equitativas



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Con respecto a este punto, los participantes manifestaron lo difícil que resulta acceder a vehículos de bajas emisiones por los altos costos, de igual manera indicaron que los controles que asocian cobros, impuestos o cambios de tecnología, repercuten en la población de bajos ingresos, ya que no tendrán las mismas posibilidades de acceder a los beneficios que este tipo de medidas conlleva. De acuerdo con lo anterior, se mencionan algunas ideas fundamentales para que las medidas a implementar tengan un carácter equitativo.

Figura 43. Acciones que aportan a la equidad de las medidas

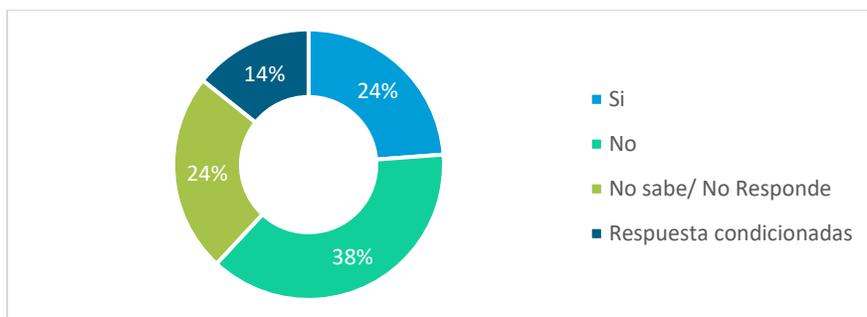


Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

En relación con las actividades de cargue y descargue en horario diurno, el 38% de las personas consultadas no lo consideran viable (ver Figura 44), sin embargo, se presentaron algunas respuestas (14%) condicionadas a la caracterización de la medida o a la implementación estrategias complementarias, como se muestra a continuación:

- La viabilidad dependerá del tipo de productos o sustancias que se descarguen, el tiempo de descargue, tamaño del vehículo en relación con la amplitud de vías, entre otras.
- Puede ser viable, siempre y cuando sea por fuera de las horas pico y con estrategias de gestión logística aprobadas por la autoridad competente, con el fin de modelar el movimiento de carga en el centro y así lograr gestionar la movilidad, de cara a la reducción de emisiones.

Figura 44. Viabilidad del cargue y descargue diurno en zonas con problemas de contaminación atmosférica



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Tabla 24. Normas urbanísticas aplicadas en la zona centro de Medellín, que podrían minimizar el efecto de la contaminación atmosférica

Normas	# menciones
Estrategias sobre espacio público	17
Estrategias de movilidad	16
Estrategias de renovación urbana	11
Estrategias sobre uso y ocupación del suelo	9
Estrategia Zuap	3
Plan más 2 en el corredor de Colombia*	1
	59

Nota: *El plan más dos consistía en que ningún vehículo privado podía transitar por la calle Colombia con un solo pasajero.

Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Frente a la pregunta ¿qué normas urbanísticas se han aplicado en otras zonas con contaminación que podrían analizarse para el presente estudio?, algunas respuestas coincidieron con la respuesta anterior (Tabla 24). En su mayoría, las normas sugeridas han sido implementadas en la ciudad de Medellín y se relacionan en la Tabla 25.

Tabla 25. Normas urbanísticas que han sido aplicadas en otras zonas con contaminación

Normas	# menciones
i PIGECA	1
ii Zonas Urbanas de Aire Protegido ZUAP en Medellín	6
iii Planes de Movilidad Empresarial Sostenible	1
iv Normas asociadas a los combustibles	2
v Apaga el motor	1
vi Estrategia de ciudad policéntrica o ciudades 15 minutos	1
vii Prohibición de movilización de vehículos particulares con menos de un pasajero	1
viii Control para la contaminación sonora, urbanística, espacio público	1
ix Pico y placa ambiental	1
x Programas de beneficios económicos para acceso a tecnologías más limpias (financiación)	1
xi Modernización obligatoria de los buses de las flotas de transporte	1

Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Los criterios técnicos relacionados con calidad del aire que se deben tener en cuenta para determinar la edificabilidad (altura, densidad, entre otros) en áreas residenciales y comerciales con contaminación del aire, que fueron considerados por los participantes, se relacionan en la Figura 45, encontrando entre los principales criterios la densidad poblacional y el acceso al transporte público.

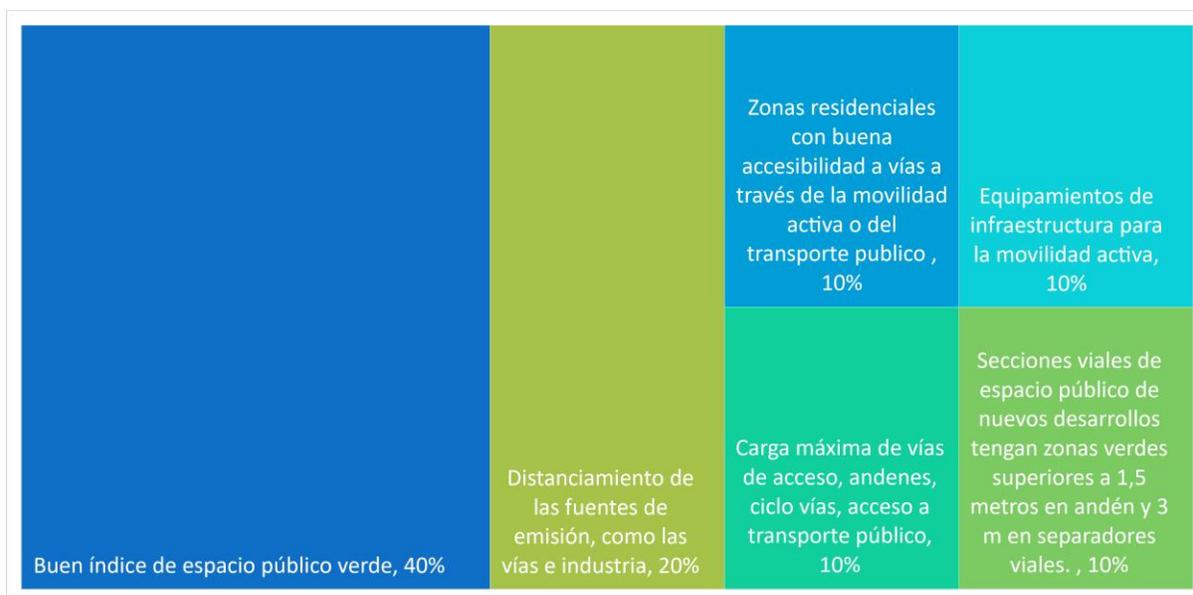
De manera similar, se relaciona en la Figura 46 los criterios técnicos relacionados con calidad del aire que se deben tener en cuenta para determinar la ocupación (distancias y retiros entre otros) en áreas residenciales y comerciales, donde se coincide en la importancia de contar con un buen índice de espacios verdes y contar con el distanciamiento necesario de las fuentes de emisión, como las vías y la industria.

Figura 45. Criterios técnicos relacionados con calidad del aire para determinar la edificabilidad en áreas residenciales y comerciales



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Figura 46. Criterios técnicos relacionados con la calidad del aire para determinar la ocupación en áreas residenciales y comerciales



Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

Como casos de éxito a nivel nacional e internacional frente al diseño e implementación de planes de manejo de contaminación atmosférica, los consultados referenciaron países como Chile, Holanda, Suecia y China. A su vez, se mencionaron algunas estrategias de ciudades a nivel internacional (ver Tabla 26), inclusive se resalta la gestión realizada en la ciudad de Medellín, asociada especialmente al PIGECA y al establecimiento de la Zona Urbana de Aire Protegido.

Tabla 26. Casos de éxito frente al manejo de la contaminación atmosférica en otras ciudades a nivel internacional.

Ciudad	Estrategias mencionadas
Ámsterdam	Importancia de la movilidad activa
Curitiba	Ofrecen un buen servicio público colectivo (seguro, oportuno, accesible) lo que hace poco necesario el uso del vehículo particular
París	Zonas de Uso Protegido del Aire
Beijín	Implementado medidas restrictivas para casos de contaminación atmosférica
Estocolmo	Cultura, infraestructura, capacidad económica y la madurez de su sistema de transporte masivo

Ciudad	Estrategias mencionadas
Madrid	Implementación de la primera zona de bajas emisiones (ZBE) de España
Londres	Zonas de Bajas Emisiones LEZ
Ciudad de México	Programas de restricción vehicular.

Fuente: elaboración propia, resultados aplicación Anexo B.

9 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Antes de entrar a discutir las acciones más convenientes en una Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP, es importante reflexionar sobre la base que dio origen a la declaración de la misma, de manera que se pueda definir como causa fundamental la contaminación atmosférica en la zona centro de Medellín y a partir de este enfoque basar la instauración de acciones estructurales en la búsqueda de mejorar dicha condición y lograr que repercuta en beneficios asociados a la salud de la población.

Es así como a partir del desarrollo del objetivo 1, se logra analizar la calidad del aire a través de las dos estaciones que se encuentran instaladas en la ZUAP del centro de Medellín (estación CEN-TRAF y estación MED-EXSA), encontrando como resultado que el PM_{2.5} es el contaminante que en el último año analizado (2020), presenta concentraciones de 25.8 µg/m³, valor que está por encima del límite anual de calidad de aire establecido en la norma (25µg/m³), en contraste con los valores para PM₁₀ y NO₂ cuyas concentraciones anuales estuvieron por debajo del límite establecido. Sin embargo, se debe reconocer que el límite anual de PM_{2.5} ha presentado una reducción a partir del año 2017, lo cual puede estar asociado a las medidas de restricción de tráfico que iniciaron a partir de ese mismo año, las cuales se encuentran establecidas en el POECA y consisten en la implementación de un pico y placa más estricto que el habitual, durante los meses de mayor incidencia de contaminación atmosférica, es decir, los periodos febrero – abril y octubre-noviembre. Así mismo se debe considerar que acciones como la mejora en los combustibles impulsada desde el gobierno nacional y la renovación del transporte público, entre otras acciones, han contribuido a que se presente un indicador menos perjudicial.

Al realizar el mismo análisis con los valores guía sugeridos por la OMS (ver Tabla 7), para los promedios anuales, se evidencia que solo el contaminante NO₂ cumple con esta directriz y los valores de PM_{2.5} y PM₁₀ se encuentran muy alejados de este propósito, inclusive los valores permanecen distantes a los proyectados en la norma en el año 2030 los cuales coinciden con el objetivo intermedio tres OI3, establecido por la OMS.

Al revisar de manera comparativa los datos entre los años 2008 y 2020, podemos concluir que las concentraciones de los promedios mensuales más altas, fueron reportadas en el año 2016, a diferencia del año 2020 donde se reportaron las concentraciones mensuales más bajas, precisamente en los meses de abril y mayo, situación que fue consistente para los tres contaminantes analizados. Es importante este hallazgo, ya que nos lleva a interpretar que las fuertes restricciones derivadas de la pandemia SARS-CoV-2 pudieron influir en la disminución de las concentraciones durante estos meses. La Figura 47 presenta un comparativo del cumplimiento para los contaminantes PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ en el año 2020.

Figura 47. Comparativo del cumplimiento de la norma para PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ en el año 2020

		PM _{2.5}		PM ₁₀		NO ₂	
Promedio anual μg/m ³	Norma	25.0		50.0		60	
	2020	25.8	↓	49.8	↑	36.8	↑
# excedencias de la norma diaria en un año	2020	41	↓	41	↓	0	↑
	Norma	37 (24h)		75 (24h)		200 (1h)	
Máximo diario para PM y Máximo horario para NO ₂ μg/m ³	2020	73.7	↓	114.5	↓	154.1	↑

Nota: los datos corresponden a la estación CEN-TRAF. Las flechas rojas indican incumplimiento de la norma (Resolución 2254 de 2017) y las flechas verdes el cumplimiento de la norma.

Fuente: elaboración propia.

Los gráficos que incluyen datos de las concentraciones anuales y de los valores máximos diarios, permitieron definir que la estación CEN-TRAF es la estación que reporta los mayores promedios anuales de la ciudad de Medellín para los tres contaminantes analizados y ha superado durante los años analizados el límite anual establecido en la resolución 2254 de 2017 de 25 μg/m³ de concentración de PM_{2.5}. Es importante aclarar que la estación CEN-TRAF está clasificada como estación de tráfico, es decir se encuentra influenciada principalmente por emisiones del tráfico cercano, sin embargo, se espera de igual manera que con ocasión de las medidas a implementar, se encuentre por debajo de límites

establecidos por norma. Es importante anotar que dentro de la ZUAP objeto de análisis, esta estación es la única que permite medir las concentraciones por PM_{2.5}.

Las otras estaciones analizadas que están por fuera de la ZUAP reportan concentraciones por debajo del límite anual desde el año 2018, aunque aún están distantes de cumplir el límite establecido por norma para el año 2030 de 15 µg/m³ y aún más lejos frente al cumplimiento del valor guía recomendado por la OMS de 10 µg/m³, como se indicó anteriormente. Una vez demostrada la superación de los límites de contaminación atmosférica por PM_{2.5}, se puede catalogar la contaminación atmosférica como una problemática persistente en el área delimitada como ZUAP en el centro de Medellín.

Como complemento a la evaluación anterior, se realizó un análisis del Modelo de ocupación propuesto por el POT de Medellín, a partir del cual se identificaron algunos puntos claves, los cuales deben ser considerados al momento de proyectar medidas de carácter estructural en la ZUAP.

Si bien el POT plantea a través del modelo de ocupación “una ciudad compacta y policéntrica con crecimiento hacia adentro”, este modelo aún dista mucho de la realidad ya que persiste una ocupación hacia la ladera. De hecho, alcanzar el modelo de ocupación propuesto no resolverá en pleno los problemas asociados al tráfico vehicular y en concreto a la contaminación atmosférica. Al respecto, vale la pena retomar lo expuesto por Miralles-Guasch (2013, pág. 303) quien indica que la “sostenibilidad ambiental no es producto directo de la ciudad compacta, pues la forma urbana solo constituye el ámbito adecuado en el que la población puede hacer uso de la proximidad, se requiere también usos del suelo mixtos y una correcta distribución de servicios y equipamientos”, si bien estos dos planteamientos se encuentran plasmados en el POT, llegar a ese resultado es un ejercicio de largo aliento y grandes inversiones.

Como proceso de desarrollo, el POT de Medellín plantea tres áreas de intervención (Río norte, Río Centro y Río sur), el Macroproyecto Río Centro se encuentra a su vez, dividido en tres subzonas: Subzona 1. Frente del Río; Subzona 2. Distrito Medellín innovación y Subzona 3. Centro Tradicional, este último es el que contiene el área delimitada como

ZUAP y proyecta una gestión social y en infraestructura plasmada en el Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro – PGIIC, cuyo diagnóstico identificó como macro problema el “deterioro de las condiciones socioambientales, culturales, urbanísticas y de movilidad del centro Metropolitano de la Ciudad que impactan en la calidad de vida de sus habitantes y transeúntes”, a partir de este macro problema se derivaron cuatro subproblemas:

- Ocupación indebida del espacio público y contaminación audiovisual.
- Inadecuada infraestructura para la movilidad de los habitantes y transeúntes.
- Homicidio, actividades ilegales y delitos de alto impacto.
- Incremento del deterioro del hábitat.

Vale la pena analizar estas cuatro dificultades, ya que tres de ellas tienen un carácter social y las medidas a implementar en la ZUAP no podrán estar desarticuladas a la solución de esta problemática, por el contrario, del avance en las mismas dependerá el éxito en la implementación de medidas estructurales.

Así las cosas, se puede concluir que la ciudad de Medellín ha formulado diferentes Planes enmarcados en el ordenamiento territorial, los cuales han permitido a los diferentes mandatarios dar continuidad a las estrategias proyectadas en cada periodo de gobierno. Sin embargo, siendo la calidad del aire un problema de salud pública se debe dar prioridad a las acciones orientadas a solucionar la problemática en el centro de ciudad a través de medidas de corto y mediano plazo, orientadas inicialmente hacia una solución de carácter social y posteriormente una mirada a la movilidad sostenible y baja en emisiones y que influya de manera directa en una mejor calidad del aire para la zona centro de la ciudad de Medellín.

Definir una Zona Urbana de Aire Protegido es sin duda un paso importante en la transformación que requiere el centro de Medellín, sin embargo, el dejar que transcurra un largo periodo entre su delimitación y el desarrollo puede incidir en mayores dificultades a la hora de instaurar medidas restrictivas y lograr una aceptación por parte de la población.

Con el propósito de identificar los parámetros en la definición, control y monitoreo de Zonas de Bajas de Emisiones se consultó la experiencia que han tenido algunas ciudades

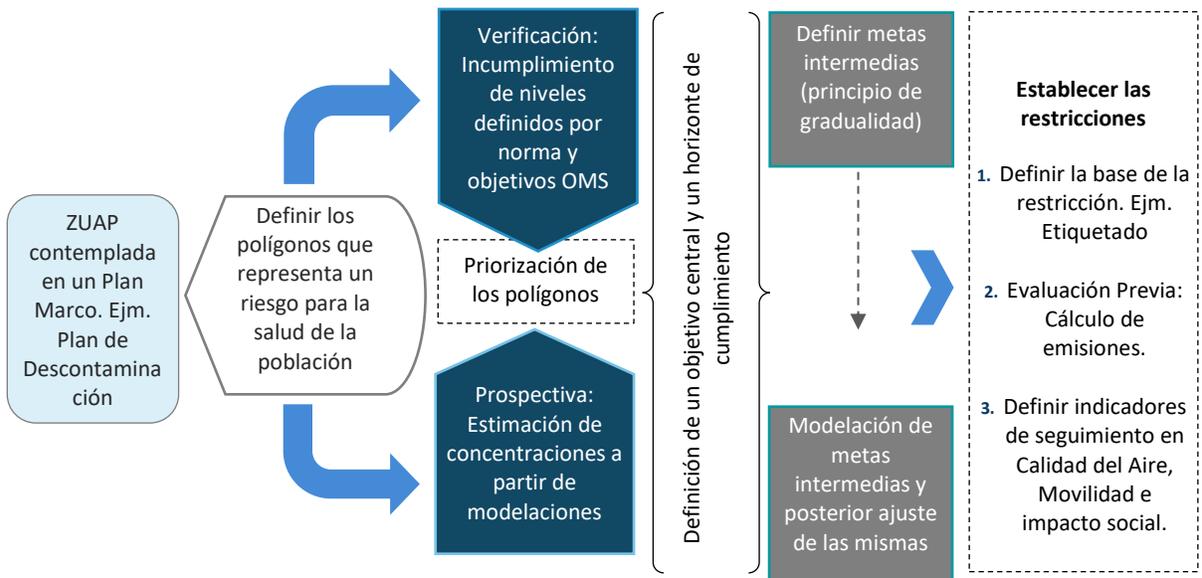
europeas, encontrado que la mayoría coinciden en que el principal objetivo de la ZBE, es reducir la contaminación atmosférica a partir de la desestimulación del uso del vehículo particular y la aceleración en la renovación del parque vehicular, lo cual reduce las emisiones contaminantes (principalmente Material Particulado y Óxidos de Nitrógeno). La mayoría de las ciudades consultadas han basado las restricciones en un modelo de etiquetado que se ha establecido a nivel país, y el proceso de implementación ha estado definido por cada ciudad de acuerdo con las capacidades y características de cada una de ellas, es por ello que se pueden presentar marcadas diferencias en las restricciones de dos ciudades en un mismo país.

Con respecto a los resultados asociados a la implementación de una ZBE, se tiene una variedad de indicadores que permiten su evaluación, sin embargo la medición del impacto en la calidad de aire se realiza a través de equipos de monitoreo de las concentraciones y a través de modelaciones, en este sentido, se debe tener presente que la disminución en la concentraciones pueden ser menores a las esperadas ya que están influenciadas por emisiones industriales, condiciones meteorológicas y agentes externos, por lo que resulta recomendable realizar principalmente la estimación en la reducción de emisiones, así como los ejercicios de caracterización de los diferentes contaminantes, de tal manera que permita evaluar la procedencia de los mismos. Otro aspecto para analizar es que no siempre la implementación de una ZBE genera resultados importantes frente a la disminución en la circulación de vehículos, sin embargo, ciudades como Londres si han evidenciado avances importantes frente a la renovación de la flota vehicular.

Lo anterior demuestra que la implementación de una ZBE no constituye una solución universal a los problemas de calidad del aire y movilidad, por el contrario, debe hacer parte de un plan marco como por ejemplo los Planes de Descontaminación, los cuales permiten combinar medidas en el corto, mediano y largo plazo.

Con base en el análisis de las experiencias en la ZBE en ciudades europeas y las dificultades presentadas en el desarrollo de la ZUAP de la ciudad de Medellín se plantea el esquema de las acciones a seguir previo a la declaración de una ZUAP (Ver Figura 48).

Figura 48. Acciones propuestas para la declaratoria de una ZUAP



Fuente: elaboración propia.

Una vez analizada la parte procedimental, se llevó a cabo un cuestionario semiestructurado partiendo de los hallazgos encontrados, como las principales medidas establecidas en ocho ciudades europeas, donde se pudieron recoger diferentes perspectivas por parte de los entrevistados, entre ellas la percepción del potencial de contaminación, donde el 52% de los participantes consideran que todas las categorías analizadas contaminan mucho a excepción de los taxis. Resultan interesantes las observaciones realizadas a una propuesta de restricción vehicular, donde los participantes proponen restricciones parciales para los vehículos pesados, a través de la modificación de horarios y de permitir mejoras tecnológicas a los vehículos transportadores, así mismo, se presenta como propuesta la restricción de vehículos que usan combustibles fósiles sin importar su año modelo, ya que esta última podría constituirse en la meta de la ZUAP, coincidiendo con los compromisos de la ciudad en la estrategia C40²⁰ donde proyectan que al 2030, una parte importante de la ciudad estará libre de combustibles fósiles. Con respecto a la evaluación de las medidas, los

²⁰ C40 es una red de megaciudades del mundo comprometidas con abordar el cambio climático. C40 ayuda a las ciudades a colaborar de manera efectiva, compartir conocimientos e impulsar acciones significativas, medibles y sostenibles sobre el cambio climático. <https://www.c40.org/about>

encuestados consideraron que crear áreas libres de automóviles (peatonalización) es la medida más apropiada, viable y equitativa, al contrario de los cobros por congestión que es considerada como la medida que menos cumple esas condiciones. En la Tabla 27 se resumen los resultados donde se pueden verificar las medidas que fueron consideradas como las más convenientes bajo las tres condiciones “apropiada, viable y equitativa”.

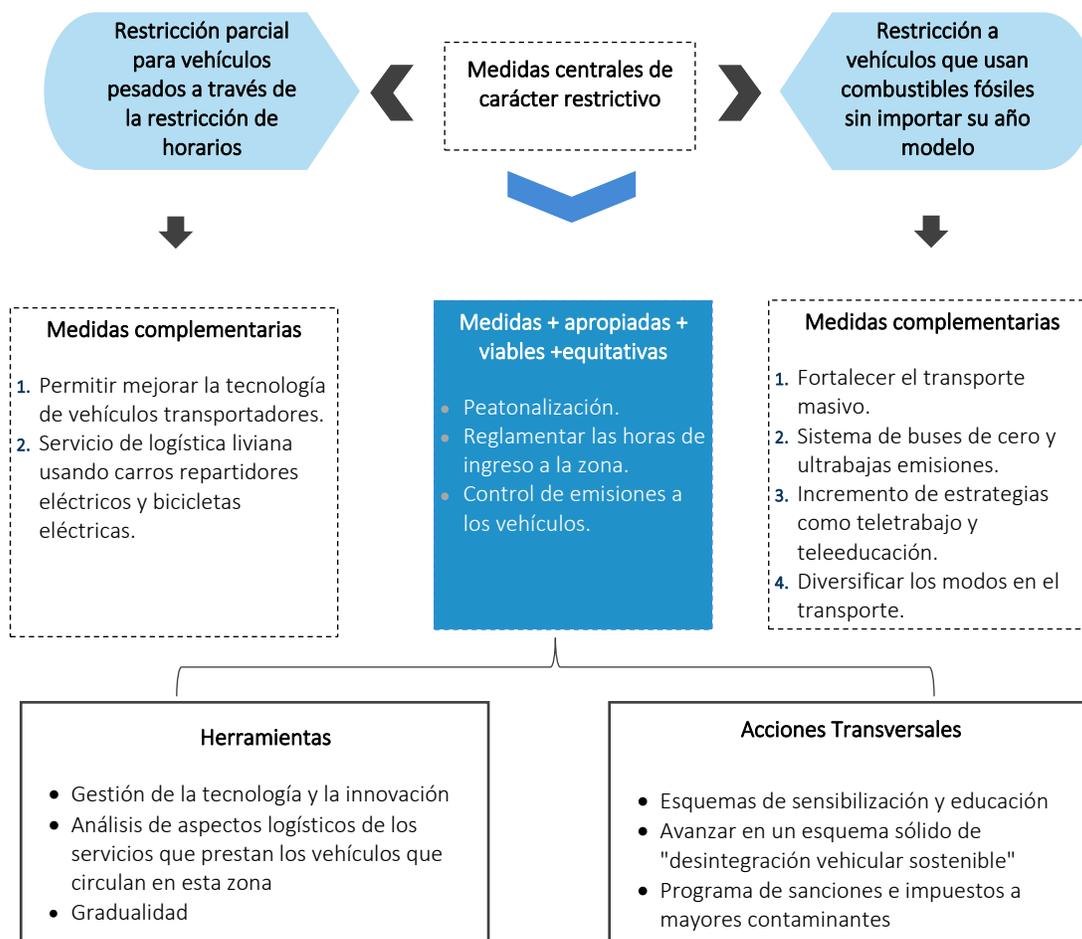
Tabla 27. Medidas apropiadas, viables y equitativas

Medidas	Apropiada	Viable	Equitativa
1 Crear áreas libres de automotores (Peatonalización)	86%	81%	76%
2 Reglamentar las horas de ingreso a la zona	67%	81%	62%
3 Hacer más controles a los vehículos que circulan en la zona de estudio	67%	71%	57%
4 Permitir el acceso exclusivo a la zona de vehículos de tecnologías limpias y de bajas emisiones a partir de un sistema de etiquetado o cámaras de vigilancia	57%	48%	24%
5 Permitir el ingreso a vehículos con tecnologías de cero, ultra baja o baja emisión (eléctricos, híbridos y gas) y todos aquellos vehículos con antigüedad no mayor a 10 años desde la fecha de expedición inicial de la matrícula vehicular	33%	33%	10%
6 Cobro por congestión	10%	14%	5%

Fuente: elaboración propia.

Lo anterior refleja una baja aceptación a las medidas que implican cobros o cambios en el comportamiento de movilización por lo que resulta clave, que las medidas restrictivas estén acompañadas por mejoras en el acceso al transporte público e incentivos económicos para la actualización tecnológica. En la Figura 49 se recogen las medidas y acciones propuestas por los participantes como alternativas de solución las cuales fueron agrupadas de acuerdo a sus características.

Figura 49. Alternativas de solución al problema de contaminación atmosférica por fuentes móviles en la ciudad de Medellín



Fuente: elaboración propia.

Complementariamente, las personas que participaron de la encuesta, en su mayoría reconocen diferentes acciones que se han realizado en el centro de Medellín, resaltando entre ellas los Jardines en la vía del centro, la ampliación en kilómetros de ciclo rutas, algunas calles peatonalizadas en el centro y la renovación del corredor de la avenida La Playa con intervención en carriles para vehículos, ampliación del espacio público y los corredores peatonales. Sin embargo, surgen observaciones frente a algunos planes parciales que no han considerado buenas áreas de espacio público, o que han permitido la altura excesiva de los edificios y de manera desarticulada teniendo en cuenta el propósito de la

zona, adicionalmente, también hay observaciones relacionadas con el trato indebido a los antiguos moradores en algunos proyectos.

Por otro lado, resulta esencial mencionar la asociación encontrada entre los criterios relacionados con la edificabilidad en áreas residenciales y comerciales, siendo indispensable garantizar el acceso al transporte público y de calidad, a la luz de la densidad poblacional, así como gestionar el conflicto de las zonas mixtas y la edificabilidad también enmarcada en los mapas de ruido como características principales, sin dejar de lado otros asuntos como la incorporación de una planificación con mayores espacios verdes, de tal manera que se promueva las relaciones sociales entre las personas.

10 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados y los objetivos planteados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El aire no tiene fronteras, por lo tanto, tener una buena calidad del aire es un reto mundial. Por ello se constituye en un tema ambiental que se debe asumirse como la agenda de desarrollo de los territorios, por lo tanto, es relevante que los gobiernos prioricen estos temas y puedan conectarse con la realidad socio ambiental que enfrentan las sociedades climáticamente adaptadas.
- Gestionar el transporte desde la oferta no permite solucionar los problemas reales y las externalidades que plantea el modelo actual de ocupación, en especial el sistema de movilidad. Es menester gestionar la demanda de transporte para evitar y reducir el efecto de las externalidades en la sociedad, la economía y el ecosistema. Esta afirmación cobra importancia si se reconoce que es inviable construir la cantidad de vías para los autos conforme aumenta el parque automotor. Es fundamental desestimular el uso irracional de las soluciones individuales motorizadas a través de la imposición de políticas, medidas y estrategias que hagan más cómodo y atractivo a la sociedad usar el Transporte Público, la bicicleta y caminar; ello derivará en un escenario de viabilidad, equidad y soporte al territorio.
- El modelo ASI (avoid, shift, improve) se plantea como una opción viable para incorporar en la agenda pública de desarrollo, estrategias que permitan minimizar los costos de los daños causados a la sociedad, la economía y el ambiente en virtud de la disminución de viajes. En este sentido, medidas como el teletrabajo que se impulsó en la pandemia del SARS-CoV-2 se constituyen en prácticas que disminuyen la presión sobre el espacio público dedicado al transporte. Es importante que en Medellín y en el AMVA, se prioricen medidas de prevención de viajes como la gestión de horarios, la teleeducación, la densificación de los usos del suelo, entre otros; si bien existen políticas asociadas a estos temas, se debe ser más contundente frente a la implementación y seguimiento de las mismas.

- Aunado a las estrategias de prevención también se deben invocar sendos cambios modales. Como primera medida del cambio modal, es fundamental provocar el uso compartido de los vehículos, estimular que las personas prefieran otros modos de transporte diferentes a la motocicleta y el automóvil, para que se aumente en la distribución modal de viajes, el transporte público, la bicicleta y la caminabilidad. Lo anterior solo se logra con una mejora en el sistema de transporte público y masivo (precio en relación con tiempo de viaje), facilitar el acceso, mejoramiento de la infraestructura de carácter sostenible y de los espacios en su carácter social.
- Así mismo, la optimización y el cambio tecnológico juegan un papel importante en la transformación de la movilidad entendiendo que los motores eléctricos suponen una reducción a la generación de GEI, contaminantes criterio y contaminantes secundarios, pero con ello no se resuelve el problema de la seguridad vial y la congestión. Es por ello que se debe pensar más allá de la tecnología de propulsión y se deben estudiar formas de mejorar compuestos, materiales que maximicen el ciclo de vida de los productos, que se genere un mínimo de contaminación y se avance en la protección de la integridad y la vida de los actores viales.
- Un modelo de ocupación territorial basado en satisfactores sociales que han provocado un aumento en la tasa de motorización de Medellín, solo generara problemas de congestión y contaminación. Por ello, la transformación de la ciudad no solo se debe hacer desde la perspectiva de la infraestructura, sino que debe invocar las estructuras (cívicas e institucionales) y la superestructura (imaginarios, ideales, satisfactores sociales); en ese sentido, es conveniente lograr que la sociedad no solo exija a sus dirigentes la construcción de más vías para los autos, se debe lograr que las comunidades y los grupos de referencia gestionen más espacio para las personas, más Zonas Urbanas de Aire Protegido, más Zonas de Prioridad Peatonal, espacios para la gente y no para los artefactos.
- Es necesario que la política de movilidad se apoye en la clasificación del suelo, los usos y actividades que allí se permiten. En este sentido, es necesario reconocer que para entender y gestionar la movilidad se debe planificar la funcionalidad del territorio, la cantidad que viajes que a diario se realizan desde y hacia cada Zona Urbana de Análisis

de Tráfico. Es indispensable reconocer el rol de las alturas, las densidades y otros aspectos que determinan la concentración de personas en ciertos sitios. Esa ocupación está determinada por un patrón y esos patrones son los que definen la movilidad.

- Una política pública de movilidad sostenible debe superar las intervenciones físico-territoriales (construcción de vías). Adicionalmente, debe partir de la transformación institucional para que desde allí se adopten los procesos, procedimientos, instrumentos y mecanismos de gestión con el propósito de minimizar la afectación a la atmosfera desde el uso del suelo y la movilidad.
- La movilidad sostenible debe invocar la cultura ciudadana y allí las practicas, hábitos y comportamientos de los habitantes del territorio juegan un papel fundamental en el uso racional de los medios de transporte.
- Resulta fundamental avanzar en la definición de reglas claras que permita establecer políticas, objetivos y estrategias de uso del suelo con fines de proteger la atmósfera. En este sentido, la definición de estándares de uso y urbanismo permitirán una actuación armónica para la prevención de la contaminación en polígonos determinados.
- La calidad del aire de un territorio depende de varios factores. Uno de ellos es la forma en la que se ocupa el territorio y la manera en la que se desplazan las personas y las mercancías. Al tenor de esta idea se debe considerar que la cantidad de viajes que demanda cada metro cuadrado de espacio funcional del territorio afecta la calidad del aire. El disponer de medidas de uso de suelo basados en el conocimiento de la movilidad (distribución modal de viajes) dictamina la calidad del aire que pueda tener un territorio.
- Existen medidas que pueden ser más fáciles de apropiar que otras, unas son más populares que otras, sin embargo, es indispensable entender que la gestión de la demanda de transporte busca la optimización del espacio y la energía de la sociedad, la economía y el ambiente. Es claro que un espacio de prioridad peatonal conviene a la gran mayoría de habitantes del territorio, pero se demanda de estrategias de micromovilidad para la gestión de mercancías, se hace necesario la gestión de estacionamientos en la periferia de la ZUAP, la intermodalidad y otra gran cantidad de

intervenciones complementarias que configuren un escenario de éxito entorno al polígono analizado.

- La movilidad debe planearse de manera articulada al modelo de ciudad, ya que esto podrá favorecer el acceso a bienes y servicios o por el contrario se podrá constituir como una barrera.
- Comunicar los costos asociados al problema de contaminación atmosférica, así como los problemas que genera a la salud de la población, será clave para lograr una mayor contribución como sociedad al problema que se enfrenta.
- Medellín avanza, sin embargo, se requiere apoyo a través de políticas del orden nacional que coadyuven en la generación de soluciones, orientadas por ejemplo a los procesos de chatarrización de vehículos altamente contaminantes o incentivos para su renovación tecnológica, la reevaluación de las pruebas técnico-mecánicas y de gases y la implementación de un etiquetado ambiental a nivel nacional

11 RECOMENDACIONES

La ZUAP del centro de Medellín deberá definir indicadores clave que permita un seguimiento asertivo a su meta principal. También es importante incorporar indicadores de carácter social que permitan verificar la viabilidad en la implementación de medidas restrictivas.

Si bien las medidas restrictivas resultan incómodas e impopulares para la población, la experiencia en la implementación de ZBE en otros países permite deducir que es una buena manera de cumplir con las reducciones en emisiones y en concentraciones, además de orientar el cambio en la tecnología vehicular, permitiendo cumplir los objetivos iniciales establecidos.

La cultura ciudadana se constituye en parte fundamental de la solución, por lo tanto, se deben emprender ejercicios de comunicación, educación y concientización a través de enfoques orientados en el cuidado de la salud, de la degradación ambiental y el desarrollo sostenible.

Resulta conveniente desde el orden nacional generar una normativa que oriente la parte procedimental de la declaración de una ZUAP, sus características y el posterior seguimiento, para facilitar la labor de las autoridades ambientales y de movilidad, y acelerar los procesos que este tipo de iniciativas conlleva. De manera complementaria, se debe acelerar la emisión de una norma de etiquetado ambiental para la clasificación de los vehículos más contaminantes de tal manera que facilite la implementación de medidas restrictivas en las zonas delimitadas.

La tecnología al servicio de la ciencia y la educación permitirá obtener mejores resultados al momento de evaluar las iniciativas del orden ambiental. Para el presente trabajo de grado no fue posible encontrar datos de libre acceso de los flujos vehiculares actualizados y categorizados para la ciudad de Medellín. En ciudades europeas se viene avanzando en la implementación de sistemas tecnológicos con acceso directo a fuentes de información a

través del manejo *BigData*, que permite identificar las características de cada vehículo y estimar las emisiones en determinadas zonas, logrando así, evaluar las medidas implementadas, generar acciones de mejora frente a las mismas y mantener informada a la población.

Por último, es importante mencionar que promover las estrategias de prevención y cambio modal es una condición fundamental que debe allanar un gobierno para avanzar en un modelo de movilidad sostenible y ocupación territorial.

13 REFERENCIAS

- ADEME, R. A. (2020). *Les zones à faibles émissions (Low Emission Zones) à travers l'Europe : déploiement, retours d'expériences, évaluation d'impacts et efficacité du système – Rapport*. ADEME.
- Airparif. (2018). *Zones à basses émissions dans l'agglomération parisienne, étude prospective, évaluation des impacts sur les émissions du trafic routier, la qualité de l'air et l'exposition des populations*.
- Alcaldía de Medellín. (2014). Plan de Ordenamiento Territorial "Una ciudad para la gente, una ciudad para la vida 2014 - 2027".
- Alcaldía de Medellín. (2015). Plan de Gestión de la Intervención Integral de Centro PGIIC.
- Alcaldía de Medellín. (2020). Plan de Desarrollo Medellín Futuro 2020 - 2023.
- Alcaldía de Medellín, Departamento Administrativo de Planeación. (2020). *Actualización del informe de Gestión del POT. Anexo 2*.
- Alcaldía de Medellín. Departamento Administrativo de Planeación. (2015). *Presentación Macroproyectos urbanos*. Recuperado el 14 de julio de 2021, de Subportal del ciudadano:
[https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlanedeDesarrollo_0_17/ProgramasyProyectos/Shared%20Content/Documentos/2015/Macroproyectos%20POT/Taller%201%20-%20Oficial%20R%C3%ADoNorte%20-%2011ago15%20\(DAPM\).pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlanedeDesarrollo_0_17/ProgramasyProyectos/Shared%20Content/Documentos/2015/Macroproyectos%20POT/Taller%201%20-%20Oficial%20R%C3%ADoNorte%20-%2011ago15%20(DAPM).pdf)
- AMVA. (2006). *Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial "Hacia una región de ciudades"* (2 ed.).
- AMVA. (31 de agosto de 2018). Resolución Metropolitana N° 2231. *Por medio de la cual se declaran unas Zonas Urbanas de Aire Protegido –ZUAP– dentro de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín.
- AMVA. (2019). *Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá*.
- AMVA. (2021). *Respuesta comunicación oficial recibida con radicado N°34368 de diciembre 10. ZUAP Medellín*.
- AMVA., & Universidad EAFIT. (2008-2020). *Resúmenes de calidad del aire*. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de Red de calidad del aire:
<https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Herramientas-de-gestion/Resúmenes-anuales-de-calidad-del-aire.aspx>
- AMVA., & Universidad EAFIT. (2018). *Informe anual 2017 calidad del aire. CCT 511 del 2017. Proyecto SIATA*. Medellín.
- AMVA., & Universidad EAFIT. (2019). *Informe Anual de Calidad del Aire 2018. Contrato Ciencia y Tecnología 504 de 2019. Proyecto SIATA*. Medellín.

- AMVA., & Universidad EAFIT. (2020). *Informe anual de calidad del aire 2019. Contrato CCT 504 de 2019. Proyecto SIATA*. Medellín.
- AMVA., & Universidad EAFIT. (2021). *Informe anual de calidad del aire para el valle de Aburrá. Contrato CCT 871 de 2020. Proyecto SIATA*. Medellín.
- AMVA., & UPB. (2015). *Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá. Convenio 315 de 2014*. Medellín.
- AMVA., & UPB. (2019). *Inventario de Emisiones Atmosféricas para el Valle de Aburrá, año base 2018. Contrato de Ciencia y Tecnología 1179 de 2019*. Medellín.
- AMVA., & UPB. (2020). *Contrato de Ciencia y Tecnología 835 de 2020. Simulaciones de Calidad del aire*. Medellín. Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Modelizacion-Calidad-del-Aire.pdf>
- AMVA., UNAL., & UPB. (2018). *Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín. Obtenido de https://www.metropol.gov.co/ambiental/Documents/Libro_PAC&VC_2019-2030.pdf
- Ángel Maya, A. (2002). *El Retorno de Ícaro. Muerte y vida de la filosofía, una propuesta ambiental*. Bogotá D.C.
- Ayuntamiento de Barcelona. (2021). *ZBE Zona de bajas emisiones. Rondas BCN*. Recuperado el 21 de abril de 2021, de Barcelona.cat: https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/ca/noticia/circulacio-excepcional-a-la-zbe-per-aquells-professionals-del-transport-que-es-comprometin-a-canviar-el-vehicle-sense-distintiu-en-els-propers-sis-mesos_1128371
- Barcelona Regional. (2019). *Informe de los resultados del balance de emisiones y la modelización de la calidad del aire de la ZBE (Zona de Bajas Emisiones) de Barcelona y municipios cercanos*. Recuperado el 9 de abril de 2021, de BCN Regional.
- Bárcena, J., Comisión de Movilidad Sostenible, & Ecologistas en Acción. (2020). *Balance del efecto de Madrid Central sobre la calidad del aire de Madrid en 2019*. Ecologistas en Acción.
- Blaese Cádiz, A. (2020). *Transformación de la movilidad en las ciudades*. Trabajo final de grado. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Bruxelles Environnement. (2020). *Evaluation de la Zone de Basses Emissions. Rapport technique mobilité. Rapport 2019*.
- Bruxelles Environnement. (2021). *Lez Brussels*. Recuperado el 11 de marzo de 2021, de <https://www.lez.brussels/>
- Bureau Veritas. (2008). *Manual para la formación en medio ambiente*. España: Lex Nova S.A.

- Capra, F. (1996). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Anagrama.
- Cardona Acevedo, M., Cano Gamboa, C. A., Zuluaga Díaz, F., & Gómez Alvis, C. (2004). *Diferencias y similitudes en las teorías del crecimiento económico*. Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales Departamento de Economía. Escuela de Administración, Universidad Eafit.
- Carriozza, J. U. (2000). *¿Qué es ambientalismo? La visión ambiental compleja*. IDEA., PNUMA., & CEREC.
- Comune Milano. (2021). *Área B - Área C*. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de Comune Milano: <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/mobilita/area-b/area-b-contributi-per-la-sostituzione-dei-veicoli>
- Congreso de la República de Colombia. (18 de Julio de 1997). Ley 388 de 1997. Bogotá D.C., Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Valoración Económica de la Degradación Ambiental en Colombia 2015*. Bogotá.
- DeRobertis, M., & Tira, M. (2016). The Most Widespread Traffic Control Strategy You've Never Heard Of: Traffic-Restricted Zones in Italy. Institute of Transportation Engineers. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 86(12), 44-49.
- Ellison, R. G. (2013). *Five years of London's low emission zone: effects on vehicle fleet composition and air quality. Transportation Research Part D* 23, 25-33.
- Escobar, L. F. (2013). La transformación urbana de Medellín: El tranvía de Ayacucho. *Revista Universidad de Antioquia*.
- Faccioli, C. (2018). *La protección de la calidad del aire: especial referencia a la actuación local*. Tarragona: Publicacions Universitat Rovira i Virgili.
- Gobierno de España ©Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación. (5 de 06 de 2021). Obtenido de <http://www.exteriores.gob.es/portal/es/politicaexteriorcooperacion/consejodeeuropa/paginas/inicio.aspx>
- Hauptstadtportal des Landes Berlin. (2021). *Umweltzone (Zona Ecológica)*. Obtenido de Berlin.de: <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/luft/luftreinhaltung/umweltzone/>
- Hurtado de Barrera, J. (2010). *Metodología de la Investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia* (Cuarta ed.). Caracas: Quiron Ediciones.
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2017). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2016, México*. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación sobre Calidad del Aire y los contaminantes Climáticos.

- Instituto Mexicano del Transporte. (2019). *Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- Kua, D., Bencekria, M., Kimb, J., Leec, S., & Leed, S. (2020). Review of European Low Emission Zone Policy. *Chemical Engineering Transactions*, Vol 78, 241-246.
- La Ville de Paris. (25 de febrero de 2020). *La Zone à faibles émissions (ZFE)*. Obtenido de [paris.fr/municipalite: https://www.paris.fr/pages/la-zone-a-faibles-emissions-zfe-pour-lutter-contre-la-pollution-de-l-air-16799](https://www.paris.fr/pages/la-zone-a-faibles-emissions-zfe-pour-lutter-contre-la-pollution-de-l-air-16799)
- Lanzani, G. (2016). *Milan and Lombardia air quality: analysis and prospective in reference to measures to reduce the impact of traffic*. Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale Lombardia.
- Medellín cómo vamos MCV. (2020). *Informe de Calidad de Vida 2016 - 2019. Desempeño Económico y Competitividad*. Medellín. Obtenido de <https://www.medellincomovamos.org/informe-desempeno-economico-y-competitividad-2016-2019>
- Medellín cómo vamos MCV. (2021). *Encuesta de Percepción Ciudadana de Medellín 2020*. Medellín. Obtenido de <https://www.medellincomovamos.org/encuesta-de-percepcion-ciudadana-2020>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). Decreto compilatorio 1076 de 2015. Art. 2.2.5.1.1.2. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). Decreto Unico y Reglamentario del Sector Ambiente 1076 de 2015. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2017). Resolución 2254 de 2017. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2006). *Ley 1083 de 2006*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2016). *Guía de Cambio Climático para la Movilidad Urbana*. Bogotá, Colombia.
- Miralles-Guasch, C. (2013). Movilidad, Transporte y Geografía. Hacia donde y para que. En C. p. Cruz, “*Território e circulação: A dinâmica contraditória da globalização*” (págs. 291-312).
- Morton, C., Lovelace, R., & Anable, J. (2017). *Exploring the effect of local transport policies on the adoption of low emission vehicles: Evidence from the London Congestion Charge and Hybrid Electric Vehicles*. Transport Policy.
- Muñoz Cardona, Á. E. (2019). El Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la provincias. Retos de unión social y política. *Reflexión política 21(41)*, 175-189.
- Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodología de la Investigación*. México: Limusa.

- Olarte Osorio, J. F. (2010). *La integración como base para una política pública de desarrollo regional*. Extrato del Capítulo II - Marco Teórico y Conceptual, Maestría en Desarrollo Regional UAM.
- OMS, O. M. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMD relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- OMS, O. M. (2 de mayo de 2018). Calidad del aire y salud. Obtenido de Datos y cifras. Obtenido de [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)
- Pesci, R. O. (2007). *Proyectar la Sustentabilidad. Enfoque y metodología de FLACAM para proyectos de sustentabilidad*. Buenos Aires: CEPA.
- Pouponneau, M., & Cape, F. (2017). Les zones à faibles émissions (low emission zones) à travers l'Europe : déploiement, retours d'expérience, évaluation d'impact et efficacité du système. *Pollution atmosphérique [En ligne]*, N°235, mis à jour le : 31/10/2017.
- Roma Capitale. (25 de marzo de 2021). *ZTL "Zone a Traffico Limitato"*. Obtenido de Romamobilita.IT: https://romamobilita.it/it/azienda#privacy_ref
- Sampieri, R. H. (2015). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: Mac Graw Hill.
- SEMARNAT, S. d. (2013). Calidad del aire: una práctica de vida. Obtenido de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz. (2011). *Ein Jahr Umweltzone Stufe 2 in Berlin*.
- Transport for London TFL. (3 de marzo de 2021). *Transport for London TFL*. Obtenido de <https://tfl.gov.uk/corporate/about-tfl/air-quality?intcmp=45806>
- Tyler, N., Acevedo, J., Bocarejo, J. P., & Velásquez, J. M. (2013). *Marco Teorico de Contaminación Atmosférica en Colombia*. University College London – Universidad de los Andes.
- WWF Colombia, BEIS, D. E., MADS, M. d., IDEAM, I. d., & UK PACT, P. (2021). *Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero. Valle de Aburra 2016 - 2019*. Medellín.

14 ANEXOS

14.1 ANEXO A. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE MEDIDAS IMPLEMENTADAS EN OTRAS CIUDADES A NIVEL MUNDIAL

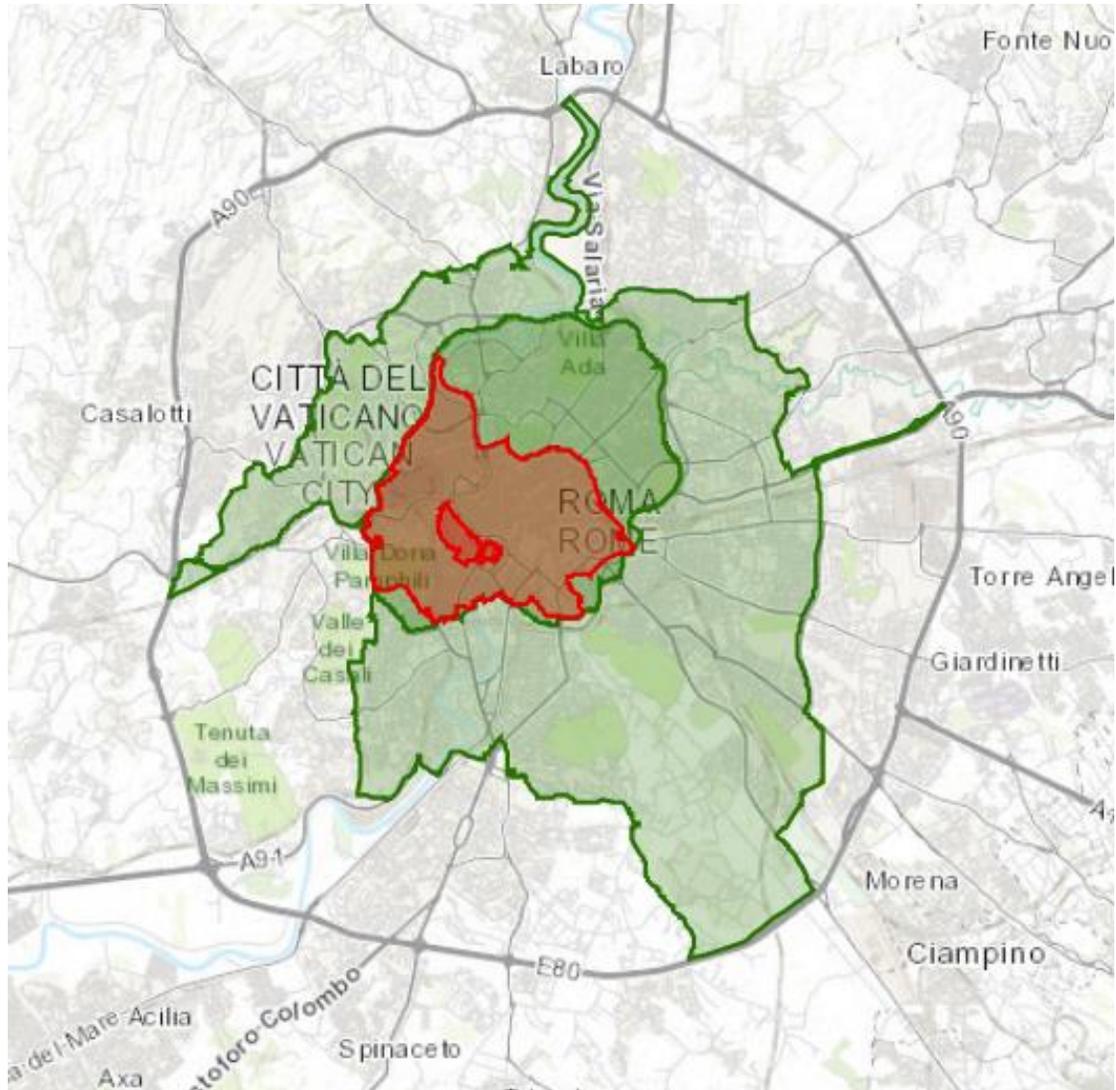
Como estrategia para reducir las emisiones ocasionadas por el tráfico vehicular, se han establecido las Zonas de Restricción de Tráfico o tan bien llamadas Zonas de Bajas Emisiones ZBE (*Low Emission Zones* LEZ), en más de 240 ciudades en Europa con el objetivo principal de limitar el acceso de los vehículos más contaminantes en áreas urbanas con problemas de tráfico y de contaminación ambiental.

La implementación de acciones orientadas a la movilidad ha permitido la aceleración de la renovación del parque automotor, la implementación de otros modos de transporte y la disminución de emisiones principalmente de NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} y también de CO₂.

A continuación, se presenta un resumen frente a la implementación de esta estrategia en algunas de las principales ciudades europeas.

Roma -Italia		Zone a Traffico Limitato ZTL	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
El área total es de aproximadamente 5 Km ²	Ordenanzas n. 190 y n. 191 de 31 de octubre de 2018, disposiciones para la limitación del tráfico vehicular dentro de la ZTL "Cinturón Verde" y la ZTL "Anello Ferroviario" y Ordenanza núm. 108/2020.	<ul style="list-style-type: none"> • 1989 (Con pocos resultados) • 2001 (Se implementó la automatización con cámaras) 	Nueva ZTL Monti en vía Cimarra, vía Panisperna y la subida del Grillo.
Estándares mínimos		Resultados	
<p>EL Código de circulación italiano (1992) define la "Zona a traffico limitato" (ZTL). Los municipios, mediante resolución del concejo, podrán implementar una medida de restricción del tráfico para la prevención de la contaminación atmosférica (ADEME, 2020) Las características de las ZTL en Roma son las siguientes:</p> <p>ZTL del centro histórico de Roma (que a su vez se divide en cinco áreas: Centro, Trastévere, Tridente, Testaccio y San Lorenzo. Cada área tiene un horario ZTL que normalmente comprende la franja horaria diurna de 6.30 a 10.00 de lunes a sábado (excepto festivos), y en la franja nocturna 23.00-3.00, viernes y sábado (excepto festivos). Solo se permite el ingreso de taxis, vehículos para discapacitados, y los residentes que viven o trabajan en el área, quienes deben mostrar las marcas ZTL que dan derecho al tránsito.</p> <p>ZTL "Anillo ferroviario". La limitación de circulación es de lunes a viernes de 0 a 24 h. Afecta actualmente a los vehículos diésel Euro III, vehículos gasolina Euro II y Ciclomotores y motos Euro I.</p> <p>En la ZTL "Cinturón Verde". La limitación es de lunes a viernes las 24 horas para vehículos de gasolina Euro 1 y vehículos diésel Euro 1 y Euro 2.</p> <p>En la carretera de circunvalación, se ha desarrollado un sistema extenso de estacionamientos para aparcar y montar en instalaciones de transporte público (Roma Capitale, 2021).</p> <p>El Sistema de Control de Acceso (ACS) se implementó en el 2001, aunque también se realiza de manera manual.</p>		<p>En 2014, Roma evaluó su política de ZTL utilizando varios criterios, y la evaluación mostró: una reducción del 5% de los viajes en automóvil, un 3.6% aumento de los viajes en transporte público y un aumento del 1,5% en los viajes para peatones y ciclistas. (DeRobertis & Tira, 2016)</p>	

Esquema ZTL “Zone a Traffico Limitato” Roma, Italia



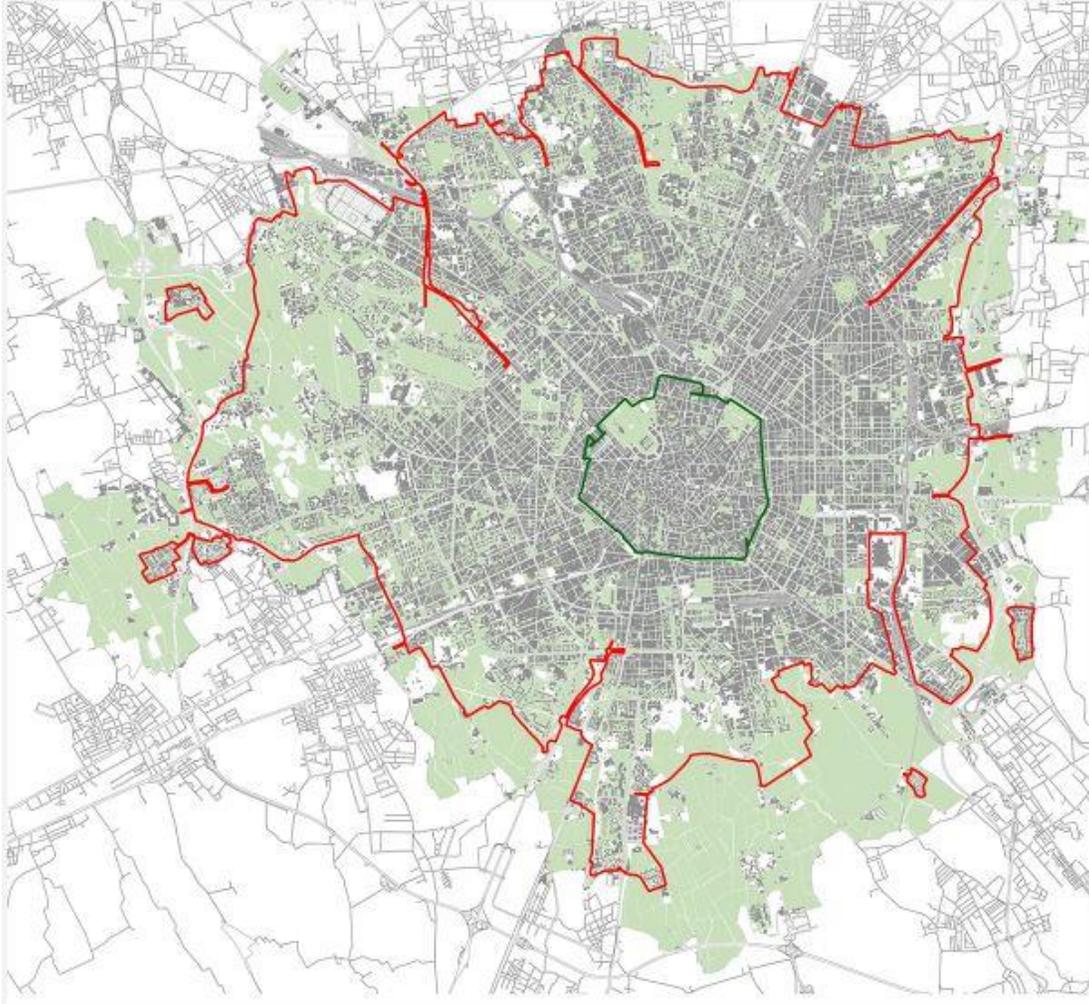
Descripción: en rojo la ZTL con acceso mediante permiso, en verde los ZTL "medioambientales": cinturón verde y anillo ferroviari

Fuente: <https://romamobilita.it/it/servizi/ztl>

Milán -Italia		Zone a Traffico Limitato ZTL	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
ZTL Área C: 8.2 Km ² ZTL Área B: 129 Km ² (71% de Milán)	2008: Ecopass Program - 2011: Congestion charge policy 2012 Area-C: Resolución No. 2526/2011 (4 nov 2011) ²¹	2008	Restricciones graduales. La última fase está programada al 2025 se tendrán restricciones para algunos vehículos diésel Euro VI y gasolina Euro III - IV
Estándares mínimos			
<p>Ecopass fue la primera medida implementada desde 2008 y finalizó en el 2011, consistía en el cobro de una tarifa de congestión variable 2, 5 o 10 EUR. Esta experiencia permitió la creación de las áreas actuales.</p> <p>Área-C Centro Histórico de Milán (2012): Definida por referendo. Consiste en el cobro de una tarifa fija de 5 EUR 7.30 a 19.30 h el pago permite viajar todo el día en el área cargada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrada gratuita para eléctricos e híbridos. - Entrada prohibida para vehículos a gasolina Euro II y para diésel Euro V. <p>Área B (2019): No está sujeta al pago de un ticket de acceso, está activa de lunes a viernes, de 7:30 a 19:30. Los vehículos de combustible dual diesel / metano o diesel / GLP con clase medioambiental Euro I-II-III no pueden entrar ni circular en el Área B.</p> <p>La entrada en vigor del Área B va acompañada del desembolso de ayudas públicas para la sustitución de vehículos nocivos para el medio ambiente, con la compra de vehículos nuevos menos contaminantes, esto a través de convocatorias (Comune Milano, 2021).</p> <p>El sistema de cámaras detecta las matrículas de los vehículos entrantes.</p>		<p>“En general, ambas políticas tuvieron buenos impactos ambientales, ya que redujeron tanto el tráfico y emisión, especialmente al inicio. Se estimó que Ecopass había reducido las emisiones de PM₁₀ en un 15%, mientras que Área-C lo redujo en un 18% más después del primero, en 2012 en comparación con 2008.</p> <p>El resultado del esquema Área-C podría resumirse como: 37,7% de reducción de tráfico en comparación con 2012 (Lanzani, 2016) y 9% de 2016 a 2018, una disminución de contaminantes del 49%, reducción de emisiones contaminantes (-18% de PM₁₀; -18% de NOX; -35% de CO₂), y un aumento del 6,1% de vehículos más limpios (del 9,6% al 16,6% del total vehículos”. (Kua, Bencekria, Kimb, Leec, & Leed, 2020)</p>	

²¹ La Zona C también fue creada para respetar la voluntad expresada por los ciudadanos milaneses durante el referéndum del 12 al 13 de junio de 2011. El texto de la pregunta número 1, aprobado por el 79,1% de los votantes, preguntaba: "Un plan de intervenciones para potenciar el transporte público y la movilidad limpia como alternativa al coche, a través de la extensión a todos los vehículos (excluidos los de cero emisiones) y la ampliación progresiva del sistema de acceso de pago al círculo de trolebuses, con el objetivo de reducir a la mitad el tráfico y las emisiones contaminantes". <https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/mobilita/area-c/area-c-motivazioni-e-risultati>

Esquema ZTL “Zone a Traffico Limitato” Milán, Italia



Descripción: Línea roja es el límite del Área B, La línea verde es el límite del Área C.

Fuentes: <https://es.urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/italy-mainmenu-81/milano-lez-area-b>

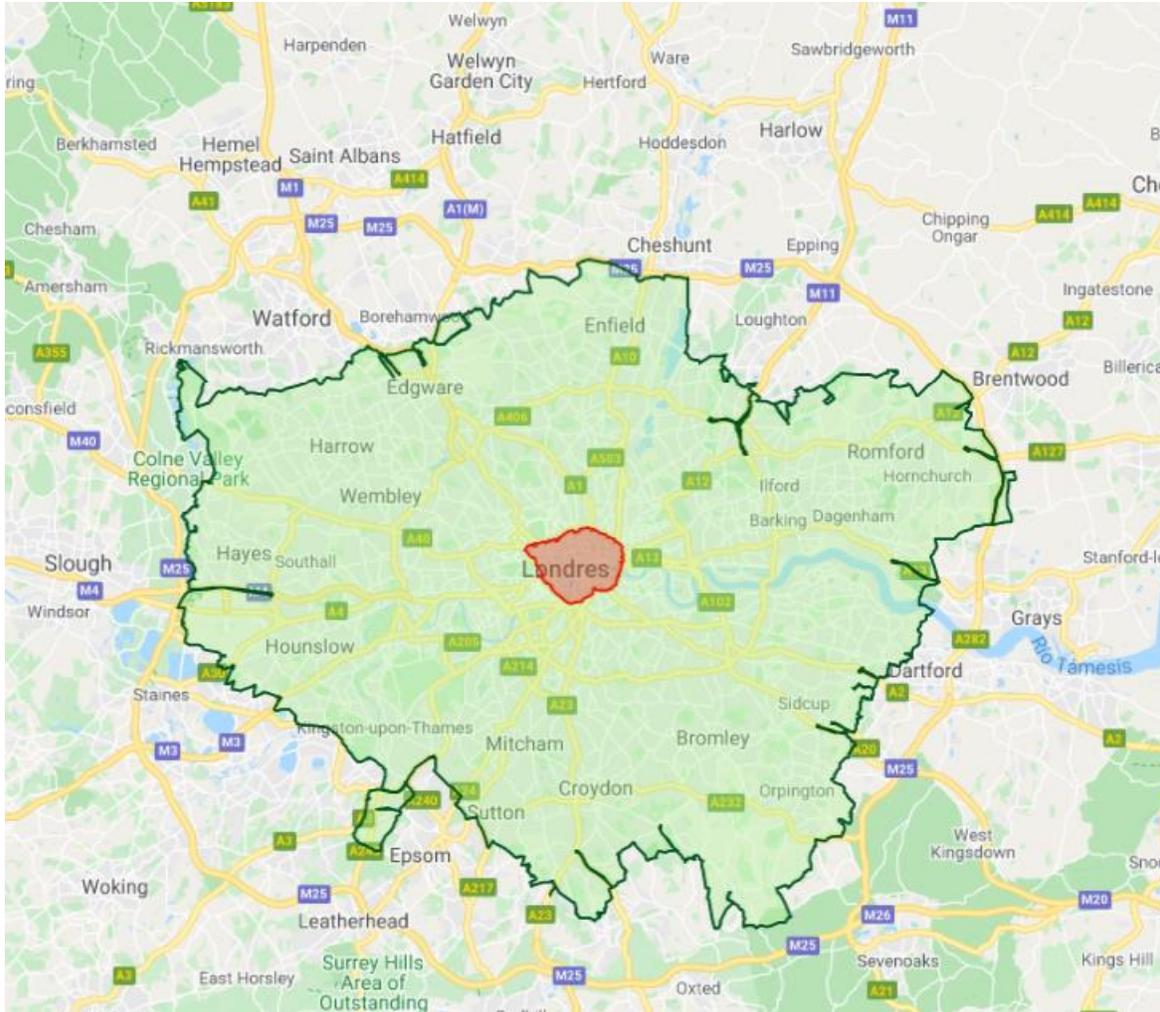
<https://geoportale.comune.milano.it/MapViewerApplication/Map/App?config=%2FMapViewerApplication%2FMap%2FConfig4App%2F448&id=ags>

Londres – Inglaterra		Low Emissions Zone - LEZ Ultra Low Emissions Zone - ULEZ	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
1600 Km2 LEZ 20 km ² ULEZ y CC	LEZ & CC & ULEZ	2003 (CC) 2008 (LEZ) ²² 2019 (ULEZ)	2021 LEZ (Euro VI) y ULEZ extendida a 360 km ²
Estándares mínimos		Resultados	
<p>Cargo por congestión (CC): Opera de 07:00 a 22:00 todos los días del año, excepto el día de Navidad (El cargo diario es de £ 15 si paga por adelantado o el mismo día, o £ 17.50. (Transport for London TFL, 2021)</p> <p>LEZ: en esta zona se aplica restricciones las 24 horas del día, incluidos fines de semana y feriados. Los vehículos deben cumplir los estándares de emisión o pagar una tarifa diaria que puede alcanzar los 110 Euros. Desde el 26 de octubre del 2020, se inició la implementación la última fase (Fase 5) cuya restricción está dirigida a camiones de más de 3,5 ton, autobuses y autocares de más de 5 ton deben cumplir con la norma Euro VI.</p> <p>ULEZ 2019. La zona cubre la misma área que CC. Se debe cumplir los siguientes estándares: Euro 3 (NOx) para motocicletas, ciclomotores, triciclos y cuatriciclos motorizados. Euro 4 (NOx) para turismos de gasolina, furgonetas y otros vehículos especializados (hasta 3,5 toneladas de peso bruto del vehículo inclusive) y minibuses (hasta 5 toneladas inclusive). Euro 6 (NOx y PM) para turismos, furgonetas y otros vehículos especiales diésel (hasta 3,5 ton inclusive) y minibuses (hasta 5 ton inclusive). Si no cumple los estándares debe pagar cargos diarios de £ 12.50, excepto taxis que tienen sus requisitos, la tarifa diaria para ULEZ es una adición a cualquier cargo por congestión aplicable o cargo. En octubre de 2021, la política de ULEZ está destinada expandirse desde el centro de</p>		<p>“Los siguientes datos provienen de un estudio (Ellison, 2013) después de 5 años de implementación del sistema LEZ (2008 – 2013), con base en cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire, tres de las cuales están ubicadas dentro del perímetro de la LEZ y una a 25 km de la LEZ. Según este estudio, la LEZ hizo posible aumentar la proporción de vehículos con bajas emisiones contaminantes, lo que resultó en una pequeña pero significativa mejora en las concentraciones de partículas (disminución de aproximadamente 2.5 a 3.1% dentro de la LEZ, frente a 1% fuera de la LEZ.) Mientras que no fue posible resaltar variaciones significativas para los óxidos de nitrógeno.</p> <p>Durante los primeros seis meses del establecimiento de ULEZ, el número de vehículos viejos no autorizados en el área disminuyó en 13.500 en promedio por día, una disminución del 38% (ADEME, 2020).</p>	

²² La política LEZ se implementó por fases, fase I (4/feb/2008) Euro III para camiones pesados, fase II (7/jul/2008) Euro III para camiones ligeros, fase III (3/ene/2012) Euro III camiones, furgonetas grandes, SUV 4x4, camionetas, ambulancias y los minibuses con más de 8 asientos, menos de 5 ton. Fase 4 (3/ene/2020) camiones de más de 3,5 ton, autobuses y autocares de más de 5 ton deben cumplir la norma Euro IV para PM y la Fase V (26/oct/2020): camiones de más de 3,5 ton, autobuses y autocares de más de 5 ton deben cumplir con la norma Euro VI. (ADEME, 2020).

<p>Londres hasta el límite del norte y el sur (Morton, Lovelace, & Anable, 2017).</p> <p>El seguimiento del cumplimiento de los criterios de acceso a la Zona de Baja Emisión de Londres se realiza mediante cámaras de vigilancia (fijas y móviles) que leen las matrículas del vehículo (las denominadas cámaras ANPR).</p>	
<p>Opciones adicionales para Londres</p>	
<p>Si el vehículo no cumple con los estándares de emisiones de la Zona de bajas emisiones (LEZ), se tienen varias opciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reemplazar el vehículo: puede actualizar a un vehículo más nuevo que cumpla con los estándares o un vehículo eléctrico. Hay subvenciones para llevar a cabo esta estrategia £ 2000 por desintegrar un automóvil o £ 1000 por una motocicleta, £ 7000 por desintegrar un minibús benéfico de hasta 5 toneladas de peso bruto del vehículo inclusive, más una contribución de £ 2,500 para los costos de funcionamiento de un minibús eléctrico de reemplazo. Para esto se debe presentar una solicitud en línea. Estos esquemas tienen fondos limitados y operan por orden de llegada. 2. Modernizar el vehículo: es posible que pueda adaptar su vehículo con tecnología de reducción de emisiones. Las tecnologías de reducción de emisiones incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Reducción catalítica selectiva, que reduce las emisiones de NOx. • Motores Euro VI de repuesto. • Convertir un vehículo en energía eléctrica. <p>Las tecnologías de modernización deben ser aprobadas por el Esquema de Acreditación de Modernización de Vehículos Limpios (CVRAS). Este esquema gubernamental, financiado por Defra, establece estándares comunes para todas las ciudades de Zona de Aire Limpio. CVRAS cuenta con tecnologías de reducción de emisiones certificadas para ciertos autobuses, autocares, vehículos pesados y vehículos de basura. Dado que las modernizaciones deben calibrarse para modelos de vehículos específicos, no todos los vehículos pueden cubrirse. Se debe tener en cuenta que la instalación de un filtro no garantiza que el vehículo cumpla los estándares LEZ o con los estándares ULEZ.</p> <p>A los vehículos que tengan una reserva confirmada con un instalador aprobado por CVRAS para una solución de modernización aprobada por CVRAS se les otorgará un período de gracia de tres meses, durante el cual no tendrán que pagar el cargo diario de LEZ si conducen en la zona. Este período de tres meses comienza a partir de la fecha en que se reciba la notificación del fabricante de la modernización y actualizamos su registro. Durante este período, el verificador de vehículos mostrará el estado de su vehículo como no imputable. Si después de este período su vehículo no ha sido reequipado, el estado de su vehículo volverá a ser imputable. Hasta que el verificador de vehículos muestre que su vehículo cumple, debe continuar pagando el cargo diario LEZ cuando conduzca en la zona.</p> <p>(Transport for London TFL, 2021)</p> 	

Esquema LEZ “Low Emissions Zone” y ULEZ “Ultra Low Emissions Zone”. Londres, Inglaterra



Descripción: Área verde corresponde a LEZ y el área roja a la ULEZ y a la zona de cobro por congestión.

Fuentes: <https://tfl.gov.uk/modes/driving/low-emission-zone/about-the-lez?intcmp=2263>

Berlín - Alemania		Umweltzone (Zona Ecológica)	
Área Delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
88 Km2	Resolución del Senado del 20 de marzo de 2007 (Fase II)	2008	No se ha definido una fecha para la implementación de etiquetado azul (gasolina Euro III y Diesel Euro VI)
Estándares mínimos		Resultados	
<p>Una disposición reglamentaria adoptada a nivel nacional ha permitido establecer una clasificación de vehículos²³, según sus emisiones contaminantes:</p> <p>Sin etiqueta (Euro 1 o anteriores) Etiqueta roja (Diesel - Euro II) Etiqueta amarilla (Diesel Euro III) Etiqueta verde (Diesel Euro IV o gasolina Euro I registrado después del 1ro ene 1993).</p> <p>Todos los vehículos que no tengan el certificado de vehículos de bajas emisiones tienen prohibido entrar en la zona centro. Cuando se puso en marcha la primera fase (1 ene 2008) estaba autorizadas las etiquetas rojas, amarillas y verdes. La segunda fase desde el 1 de enero de 2010 solo permite el acceso a los vehículos que lleven una etiqueta verde.</p> <p>La etiqueta es válida en toda Alemania. Cuesta entre 5 y 20 euros, y se puede pedir a través de Internet o se adquiere en los servicios de homologación de vehículos, talleres o talleres certificados, centros de inspección técnica que deben cumplir con las especificaciones definidas y publicadas por el Ministerio Federal de Transporte mediante ley (ADEME, 2020).</p>		<p>El Senado de Berlín indica que la primera fase afectó al 7% de la flota y que se distribuyeron 51.231 billetes durante este período (febrero de 2008 - diciembre de 2009). La segunda fase impactó al 10% de la flota. Desde enero de 2010 hasta mayo de 2011 se distribuyeron 67,345 entradas. Según el Senado de Berlín, el 96% de estas multas estaban relacionadas con vehículos aparcados y el 75% con vehículos que no eran de Berlín y que no llevaban una etiqueta. Se implementó un método que combina mediciones y modelado para estimar el impacto de la LEZ de Berlín (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, 2011).</p> <p>Los resultados después de la implementación de la fase 2 (solo vehículos equipados con una etiqueta verde, es decir, los vehículos diésel Euro 4 o Euro 3 equipados con un DPF) indicaron las siguientes tendencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la concentración media anual de PM₁₀ de alrededor del 7% desde 2007 - Disminución de la concentración media anual de NO₂ en un 12% desde 2007 - 52% de reducción del carbono negro. <p>(Hauptstadtportal des Landes Berlin, 2021)</p>	

²³ El Etiquetado es válido en toda Alemania. Cuesta entre 5 y 20 euros y se puede adquirir en los servicios de homologación de vehículos, talleres o talleres certificados, centros de inspección técnica. Las etiquetas son impresas por empresas privadas, estos deben cumplir con las especificaciones definidas y publicadas por el Ministerio Federal de Transporte mediante Ley. (ADEME, 2020).

Esquema “Umweltzone” Londres, Inglaterra



Descripción: Umweltzone de Berlín en limite verde, donde solo se permite la circulación de vehículos con etiqueta verde.

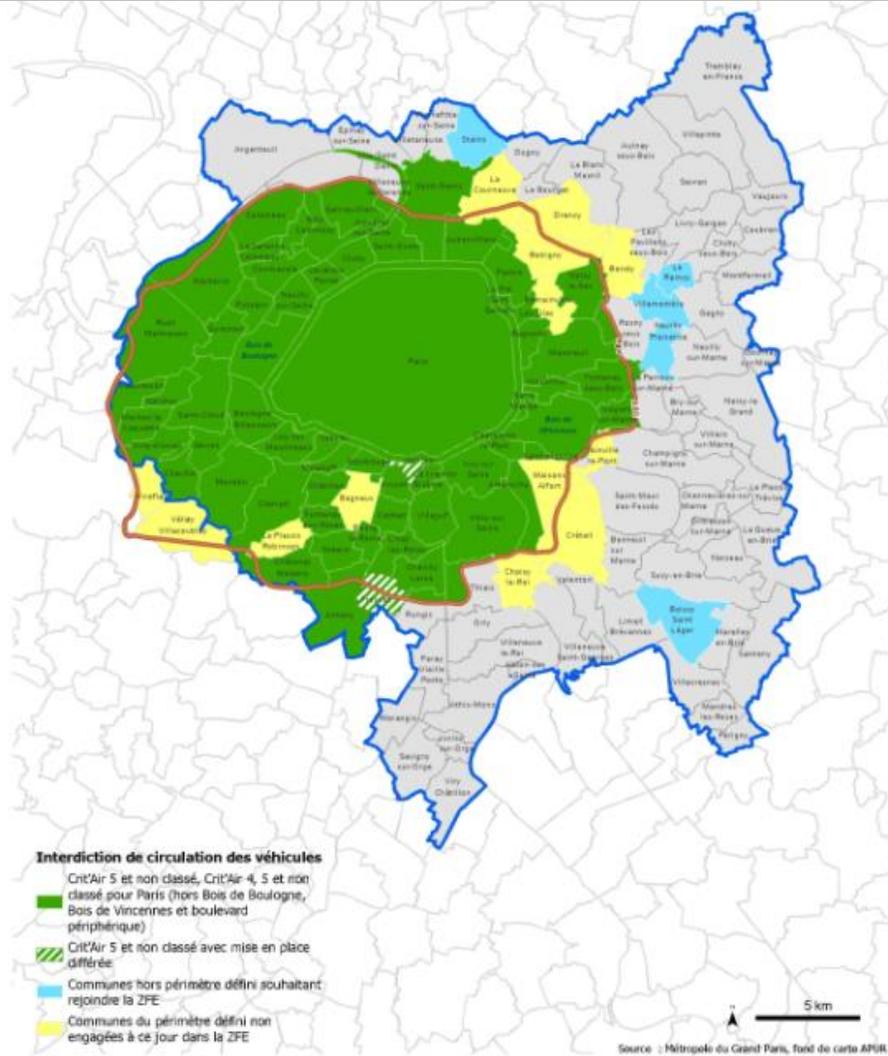
Fuente:

<https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/luftqualitaet/umweltzone/de/gebiet.shtml#zoom=10&lat=5808965.95997&lon=384337.78644&layers=FTT>

Paris - Francia		La Zone à faibles émissions ZFE	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
87 Km2 (París intramuros, excluye Bois de Boulogne y Vincennes y la vía de circunvalación) 220 km² (La Gran Metrópoli de París excluyendo París intramuros)	Orden n ° 2017 P 0007 de 14/ene/2017	2015	2024 eliminar la circulación de motores diésel. 2030, eliminar la circulación de motores térmicos.
Estándares mínimos		Resultados	
<p>De acuerdo a la legislación francesa este tipo de zonas son actualmente llamadas Zonas de Bajas Emisiones ZFE²⁴. A nivel nacional se cuenta con seis (6) clases de etiquetado “Crit’Air”, de acuerdo con los estándares de emisiones europeas, que permiten el control para ingresar a las ZFE o también es usado para restringir vehículos en casos específicos por picos de contaminación.</p> <p>En Paris el sistema de prohibición de vehículos se ha implementado en cuatro pasos. Primero ha prohibido todos los vehículos sin etiqueta, luego ha eliminado los vehículos con Crit’Air #5. En julio de 2019, la prohibición se extendió a los vehículos con Crit’Air #4 al interior de Paris. Y a partir del 2022 todas los Crit’Air 3, 4 y 5 tienen prohibido circular de lunes a viernes de 8 a 20h. El objetivo final de la política es eliminar los vehículos diésel por completo y únicamente permitir que los vehículos con etiqueta #1 o vehículos ecológicos (La Ville de Paris, 2020).</p> <p>El Ayuntamiento de La Gran Metrópolis de París adoptó el 12/nov/2018 la creación de una Zona de Baja Emisión (ZFE) metropolitana con el fin de prohibir la circulación de vehículos Crit’Air 5 y no clasificados dentro del perímetro de la A86 a partir del 1 de julio de 2019.</p>		<p>La asociación Airparif estimó el efecto de la implementación de la ZCR de París sobre la calidad del aire a través del modelado de diferentes escenarios: restricción hasta viñetas Crit’Air 4 o Crit’Air 3 y aplicación en el perímetro intramuros o extendido (intra-A86). Los resultados para las concentraciones de NO₂ entre el escenario con ZCR y el sin ZCR entre la 1era y el 4ta etapa es la siguiente:</p> <p>Disminución de 1 a 10 µg/m³ en la ZCR parisina.</p> <p>Una disminución máxima de 2µg/m³ fuera de París, limitada por incrementos vinculados a un aplazamiento del tráfico hacia el este y sur de París para el escenario de integración de la carretera de circunvalación en la ZCR.</p> <p>Una disminución de hasta 14 µg/m³ en una situación de fondo en el centro de París para el escenario con ZCR extendido a la A86. (Autopista – segundo periférico de Paris). (Airparif, 2018)</p>	

²⁴ Primero llamada Zona de acciones prioritarias para el aire (ZAPA), luego Zona de bajas emisiones (ZBE), luego Zonas de tráfico restringido (ZCR), ahora se denominan Zonas de bajas emisiones (ZFE). La ZFE es una de las medidas anunciadas en el Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) de la ciudad de París. <https://www.paris.fr/pages/nouvelle-etape-crit-air-des-le-1er-juillet-2017-4834>

Esquema de ZFE de la Gran Metrópoli de París

**Descripción:**

- Verde: Prohibido la circulación de Crit'Air 4, 5 y no clasificado para París (excepto Bois de Boulogne, Bois de Vincennes y la Boulevard Périphérique donde se restringe Crit'Air 5).
- Verde claro: Crit'Air 5 y no clasificado con instalación diferida
- Azul: Municipios fuera del perímetro definido que desean adherirse a la ZFE
- Amarillo: Municipios dentro del perímetro definido que aún no participan en la ZFE

Fuente: metropolegrandparis.fr/fr/les-communes-engagees-dans-la-zfe-294

Madrid - España		Zona de Bajas Emisiones ZBE	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
ZBE 4,7 Km ²	Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360 Acuerdo Junta de Gobierno de la Ciudad de Madrid 22/dic/2020	2017	2025 no podrá circular en Madrid los vehículos tipo A.
Estándares mínimos		Resultados	
<p>En Madrid, la ZBE que entró en vigor en junio de 2017 consistió en un perímetro en el que los vehículos menos contaminantes se benefician de tarifas de aparcamiento más asequibles. A partir del 30 de noviembre de 2018 se impuso una restricción de tráfico en el centro de Madrid (zona conocida como "Madrid Central". Donde se prohíbe la conducción de todos los vehículos sin una etiqueta adhesiva²⁵ (turismos, LCV, HGV, 2WD), las etiquetas son establecidas de acuerdo a un marco nacional. Los vehículos con etiqueta de "emisión cero" o "ECO" podían circular libremente por la zona mientras que los vehículos con etiqueta C o B solo tenían acceso al estacionamiento en los aparcamientos públicos de entrada a la zona. (Plan A para la calidad del aire y el cambio climático 2017). El nuevo Plan Madrid 360 permite ahora la circulación de vehículos con etiqueta C si van ocupados por dos o más personas.</p> <p>Estas medidas se han implementado progresivamente, a partir de marzo de 2019, entró en</p>		<p>El balance del Madrid Central, presentado por la organización Ecologistas en acción, indica que “los datos del año 2019 confirman una reducción generalizada de la contaminación por NO₂ en el conjunto de la red y la inexistencia de nada parecido a un “efecto frontera” en el entorno de Madrid Central. Más bien habría que hablar de un efecto contagio de Madrid Central, que ejerce un efecto positivo sobre la calidad del aire del conjunto de la ciudad”.</p> <p>En 2019 de un total de 24 estaciones solo una estación, Plaza Elíptica, rebasó el Valor Límite Horario -VLH de NO₂ (47 superaciones), mientras que en los años anteriores el número de estaciones que vulneró el VLH de NO₂ estuvo entre 9 estaciones en 2011 y 2 estaciones en 2018. Por otro lado, el año 2019 registró</p>	

²⁵ En marco nacional se introdujo en abril de 2016 una clasificación por etiqueta de los vehículos según su nivel de emisión (denominada etiqueta ambiental). Esta nomenclatura responde al Plan Nacional de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera 2013-2016. Etiqueta "0 emisiones", Azul identifica a los vehículos más eficientes (eléctricos de diferentes tipologías). Etiqueta "ECO" se trata en su mayoría de vehículos híbridos, gas o ambos. Etiqueta "C", color verde vehículos de combustión interna que cumplen con las últimas emisiones EURO. Etiqueta "B", color amarilla vehículos de combustión interna que, si bien no cumplen con las últimas especificaciones de las emisiones EURO, sí que lo hacen con anteriores. Vehículos A, no tiene derecho a ningún tipo de distintivo al no cumplir los requisitos para ser etiquetado como vehículo limpio. Resolución de 13 de abril de 2016 de la Dirección General de Transporte (Dirección General de Tráfico) del Ministerio del Interior, inscrita en el boletín oficial el 21 de abril de 2016. <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Madrid-Central-Zona-de-Bajas-Emisiones/>

vigencia la emisión de sanciones a través de una red de cámaras en cada punto de entrada a la zona de restricción.

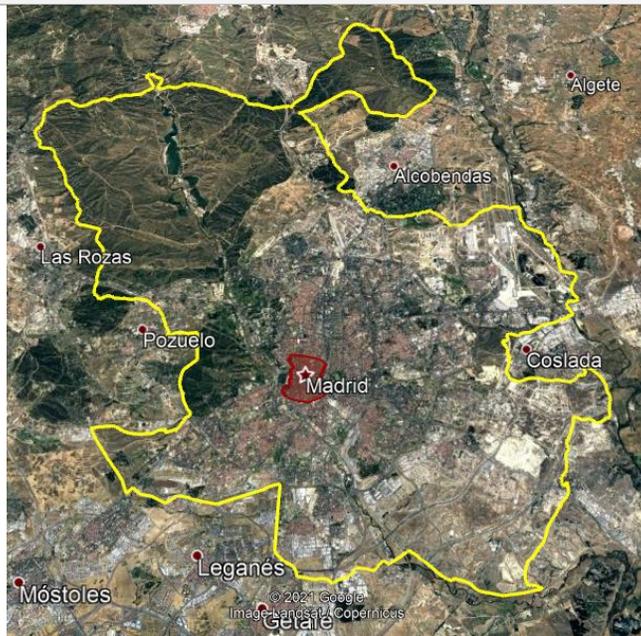
Otra medida para evitar el uso del vehículo privado es fomentar el transporte público creando dos líneas gratuitas de autobuses de bajas emisiones que acceden al centro de la ciudad. (ADEME, 2020).

el número más bajo de superaciones del valor horario de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 en toda la red (96 superaciones) de los últimos 10 años (en el 2018 se tuvo 102 superaciones y en el 2017 se tuvo 326 superaciones).

La reducción más marcada se produjo en la estación de Plaza del Carmen, representativa del ámbito de actuación de Madrid Central, pasando de tener un valor promedio de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los últimos 9 años (a un valor de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2019, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menos (22% de reducción para el NO_2).

(Bárcena, Comisión de Movilidad Sostenible, & Ecologistas en Acción, 2020).

Esquema de ZBE “Zona de Bajas Emisiones” Madrid, España



Descripción: Área amarilla corresponde a la ciudad de Madrid y el Área roja ZBE que corresponde a Madrid Central $4,7 \text{ km}^2$

Fuente: Construcción Google Earth con datos del portal web <https://datos.madrid.es/portal/site/egob>

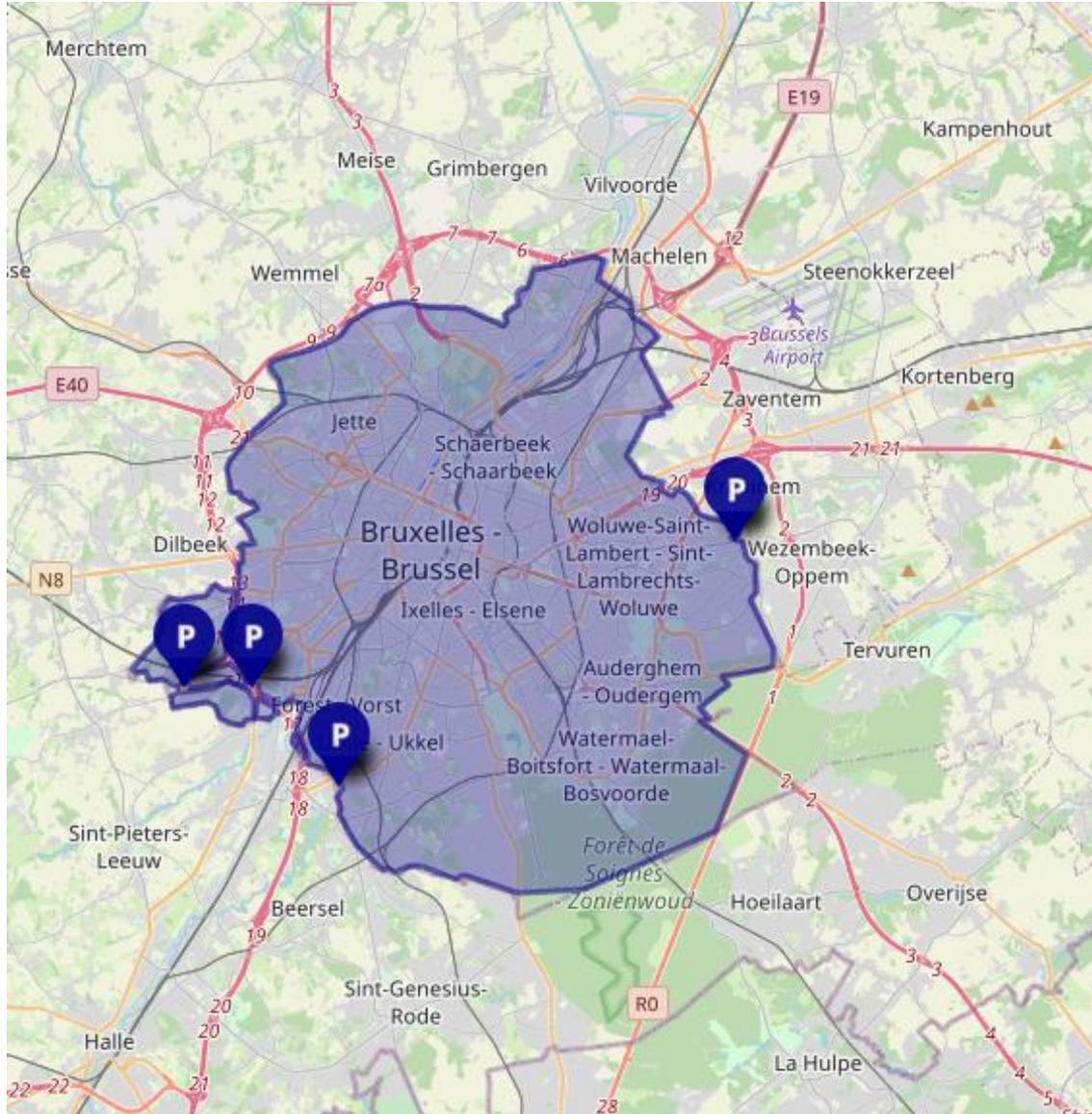
Área Metropolitana de Barcelona – España		Zona de Bajas Emisiones ZBE (Zona de Baixes Emissions de L'àmbit Rondes de Barcelona)	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
95 Km ² ZBE	Ordenanza aprobada 20/dic/2019	2017 ZBE	1ero de enero del 2022, se termina los aplazamientos de algunos vehículos.
Estándares mínimos		Resultados	
<p>La zona de bajas emisiones Rondas de Barcelona engloba a los municipios de Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat, Sant Adrià del Besòs i parts d'Esplugues de Llobregat y Cornellà de Llobregat (salvo la Zona Franca industrial y el barrio de Vallvidrera, el Tibidabo i les Planes). En la ZBE del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) se aplica restricciones de tráfico de lunes a viernes de 7:00 a 20:00 horas, a todos los vehículos que no tienen una etiqueta DGT²⁶ (0, Eco, C o B), según el marco normativo nacional. Inicialmente la ZBE funcionaban durante los periodos de contaminación atmosférica por NO₂, a partir del 2020 estas medidas son de carácter permanente. (Ayuntamiento de Barcelona, 2021).</p> <p>Todas las carreteras de circunvalación de la zona no están incluidas. Los vehículos de personas con movilidad reducida, los servicios de emergencia (policía, bomberos, ambulancia) y los servicios esenciales (servicios médicos, funerales) están exentos de esta restricción. Los controles se realizan mediante cámaras con lectura automática. (ADEME, 2020).</p> <p>La ZBE ha estado acompañada de otras acciones como la ampliación de la red de bicing y la creación de nuevos carriles bici. También se puso a disposición del ciudadano una ayuda de que si se desintegran su vehículo antiguo obtendrían tarjeta denominada T-Verde, esta tarjeta da</p>		<p>Debido al poco tiempo de funcionamiento de la ZBE (implementación permanente a partir de enero 2020) todavía no se dispone de datos para evaluar los efectos que ha tenido esta medida. Adicionalmente la crisis por Covid-19, ha aplazado la implementación de sanciones.</p> <p>“La implementación de la ZBE, según las modelizaciones realizadas en Barcelona con modelos de calidad del aire para el año 2020, produce buenos resultados, ya que se espera una disminución de los niveles de concentración en media anual del 11% de NO₂ y del 7%, de PM₁₀ por la media para todas las estaciones automáticas de la XVPCA de Barcelona y por el escenario sin moratoria²⁷. Esta disminución supone una reducción entre 3,1 y 7,7 µg/m³ de NO₂, y 1,5 y 2,1 µg/m³ de PM₁₀ dependiendo de la zona de la ciudad.</p> <p>Una parte de esta reducción es provocada por la renovación del parque móvil de manera natural, adicionalmente, con la ZBE de alguna manera se acelera la renovación del parque móvil para vehículos nuevos EURO VI (o EURO 4 en el caso de vehículos de dos ruedas) o de segunda mano con etiqueta, lo que provoca una reducción total del 15% en emisiones de NO_x si se</p>	

²⁶ DGT: Dirección General de Tráfico de España.

²⁷ El escenario "ZBE 2020 con moratoria" es el escenario que se aplicará el 1 de enero de 2020. Consiste en no dejar circular los vehículos sin distintivo ambiental DGT con la excepción temporal de los vehículos profesionales, que sí podrán circular en el horario de restricción. Por lo tanto: furgonetas, camiones y autocares sin etiqueta ambiental, además de los vehículos especiales, ya que los tres primeros se les aplica una moratoria de excepcionalidad hasta el año 2021. <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/zona-de-bajas-emisiones/que-es-la-zona-de-bajas-emisiones-de-barcelona>.

Bruselas – Bélgica		Zones de Basses Emissions ZBE	
Área delimitada M2	Reglamentación	Año inicial	Proyección
169 Km ²	Ordenanza del 7 de diciembre de 2017	2018	2025 (Diésel Euro VI y Gasolina, LPG, CNG Euro III)
Estándares mínimos		Resultados	
<p>Todo el territorio de la Región de Bruselas-Capital está afectado por la LEZ, es decir, los 19 municipios (7 días a la semana, 24 horas al día). La autopista circunvalar de Bruselas no se ve afectada por la LEZ, ni ciertos carriles que dan acceso a tres aparcamientos de tránsito a lo largo de la LEZ.</p> <p>La restricción se aplica a todos los vehículos (turismos, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, autobuses, autocares) con la excepción de los vehículos motorizados de dos ruedas. Durante el primer año solo los vehículos diésel anteriores a Euro y Euro 1 estuvieron prohibidos. A partir de su creación el 1 de enero de 2018 hasta 2025, las restricciones de tráfico se vuelven cada vez más estrictas según las normas Euro. Así, desde el 1 de enero de 2020, los vehículos de gasolina de las mismas categorías también están prohibidos mientras que la restricción de circulación para vehículos diésel ahora se extiende hasta la norma Euro 3.</p> <p>los vehículos que no cumplan con ninguna condición de acceso en la LEZ pueden acceder a él excepcionalmente (8 veces al año como máximo) por un pase de un día (35 EUR). (Bruxelles Environnement, 2021).</p>		<p>Bruxelles Environnement evaluó el impacto de la ZBE después de varios meses de implementación comparando las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas PM_{2.5} de automóviles (M1) en circulación durante dos períodos distintos:</p> <p>La semana del 18 al 24 de junio de 2018 inclusive (período anterior al envío de las primeras advertencias).</p> <p>La semana del 10 al 16 de diciembre de 2018 inclusive (período de envío de multas).</p> <p>Los vehículos que se tienen en cuenta son los vehículos individuales iluminados por las cámaras de la LEZ durante estas dos semanas de referencia. Se trata únicamente de vehículos de gasolina, híbridos de gasolina, diésel (motor diésel) y GLP (M1). Suponiendo que el número de kilómetros recorridos se mantuvo constante entre los dos períodos, se estimó que las emisiones de los turismos en circulación disminuyeron alrededor de un 4,7% para NO_x y un 6,4% para PM_{2.5}. (Bruxelles Environnement, 2020).</p>	

Esquema de ZBE “Zones de Basses Emissions ZBE”- Bruselas, Bélgica



Descripción: ZBE: Área Azul.

Fuente: <https://www.lez.brussels/mytax/practical?tab=ZoneLEZ>

14.2 ANEXO B. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Como parte del proceso de reconocimiento del estado del arte en el marco del trabajo de grado de maestría “Lineamientos para reglamentar áreas estratégicas con problemas de contaminación atmosférica en la ciudad de Medellín” y también como un aspecto fundamental en la identificación de posibles soluciones a la situación problemática de la calidad del aire en Medellín, agradecemos su participación como experto a partir del diligenciamiento del siguiente instrumento. Sus aportes nos permitirán comprender el fenómeno y confrontar sus posturas frente a fuentes de información secundarias, así como delimitar el ámbito de actuación de las estrategias e instrumentos que se definan en el desarrollo del trabajo de investigación.

Objetivo: Identificar la percepción de actores del desarrollo sobre el estado de la calidad del aire y los instrumentos diseñados para su gestión en el municipio de Medellín.

Consentimiento previo, expreso e informado del titular para llevar a cabo el tratamiento de datos personales

Cordial saludo,

Mi nombre es Paola Andrea Gómez Arias y el presente ejercicio corresponde al desarrollo del proyecto de investigación de la maestría en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio de la Universidad Autónoma de Manizales. A partir de este instrumento queremos conocer la percepción de actores del desarrollo sobre el estado de la calidad del aire en Medellín y los instrumentos que permitirían la gestión de esta problemática. Su opinión nos será valiosa para los propósitos de la investigación. Su participación es voluntaria y su identidad, así como sus respuestas serán de carácter confidencial y los datos se utilizarán únicamente para fines académicos. El beneficio de su participación es hacer valer en el estudio la opinión de personas que piensan como usted. Le agradecería que me dedicara 20 minutos para responder unas preguntas. Para cualquier inquietud puede comunicarse al número celular 3007378816 o al correo electrónico paolaa.gomeza@autonoma.edu.co

¿Autoriza de manera libre y expresa a Paola Andrea Gómez Arias con número de ciudadanía 24.334.205 estudiante de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES NIT 890.8050510 para que emplee la información suministrada por usted exclusivamente para los fines académicos del trabajo de grado: Lineamientos para Reglamentar Áreas Estratégicas de la ciudad de Medellín, con Problemas de Contaminación Atmosférica?
Sí _____ No _____

Esta solicitud se hace de conformidad con la Ley Estatutaria 1581 del 2012 y su Decreto Reglamentario 1377 del 2013. De igual manera, le informamos que el manual de política de

tratamiento de datos personales de la Universidad Autónoma de Manizales lo podrá encontrar en página web https://archivo.autonoma.edu.co/sites/default/files/documentos-institucionales/POLITICA_DE_TRATAMIENTO_DE_DATOS.pdf. También podrá dirigir sus consultas, sugerencias, peticiones, quejas y reclamos al correo electrónico maestriadesarrolloregional@autonoma.edu.co

Datos del interlocutor /entrevistado

Fecha de diligenciamiento				
Nombre				
Organización en la que está vinculado				
Cargo / función:				
Nivel de escolaridad máximo alcanzado	Básica primaria ____	Universitario ____		
	Básica secundaria (6°-9°) ____	Especialización ____		
	Media (10° - 13°) ____	Maestría ____		
	Técnico ____	Doctorado ____		
	Tecnológico ____			
Rango de edad	18-30	31-45	46-60	+61
Lugar de residencia				

Preguntas orientadoras

1. ¿En cuáles de los siguientes lugares considera que la población corre más riesgo de respirar aire contaminado? Señale según corresponda.			
a. Avenidas principales: Regional, Las Vegas y el Poblado		c. Sector el Poblado	
b. Centro de Medellín		d. Otra. Por favor indicar cuál:	

2. Califique según su opinión el aporte a la contaminación de las siguientes fuentes de emisión (móviles) en la ciudad de Medellín.			
	Contamina Mucho	Contamina Moderado	Contamina Poco
a. Autos			
b. Motos			
c. Taxis			
d. Buses			
e. Camiones y tracto camiones			
f. Volquetas			

3. ¿Considera viable técnicamente que se restrinja la circulación de ciertos tipos de vehículos en zonas con alta contaminación atmosférica?

Sí _____ No _____ No sabe / No responde _____

Si la respuesta anterior es afirmativa manifieste cuál(es) de los siguientes vehículos considera que pueden ser objeto de restricción (marque con x).

a. Autos	<input type="checkbox"/>	a. Camiones y tractocamiones	<input type="checkbox"/>
b. Motos	<input type="checkbox"/>	b. Volquetas	<input type="checkbox"/>
c. Taxis	<input type="checkbox"/>	c. Otro. Por favor indicar cuál.	<input type="checkbox"/>
d. Buses	<input type="checkbox"/>		

Puede agregar comentarios a la respuesta anterior.

4. ¿Qué tan apropiadas considera usted que pueden ser las siguientes medidas para reducir la contaminación atmosférica en zonas con esta problemática?

Medida	Apropiada	Medianamente apropiada	No apropiada
a. Cobro por congestión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Hacer más controles a los vehículos que circulan en la zona de estudio.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Permitir el acceso exclusivo a la zona de vehículos de tecnologías limpias y de bajas emisiones a partir de un sistema de etiquetado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Crear áreas libres de automotores (Peatonalización).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Reglamentar las horas de ingreso a la zona.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Permitir el ingreso a vehículos con tecnologías de cero, ultra baja o baja emisión (eléctricos, híbridos y gas) y todos aquellos vehículos con antigüedad no mayor a 10 años desde la fecha de expedición inicial de la matrícula vehicular.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Puede indicar otras medidas e incluso pueden ser medidas complementarias a las anteriores indicadas.

5. Según su criterio indique la viabilidad en la implementación de las siguientes medidas en la zona centro de Medellín (la viabilidad puede depender de aspectos económicos, sociales y políticos entre otros).

Medidas	Viable	Medianamente viable	Poco viable
a. Cobro por congestión			
b. Hacer más controles a los vehículos que circulan en la zona.			
c. Permitir el acceso exclusivo a la zona de vehículos de tecnologías limpias y de bajas emisiones a partir de un sistema de etiquetado			
d. Crear áreas libres de automotores (Peatonalización).			
e. Reglamentar las horas de ingreso a la zona.			
f. Permitir el ingreso a vehículos con tecnologías de cero, ultra baja o baja emisión (eléctricos, híbridos y gas) y todos aquellos vehículos con antigüedad no mayor a 10 años desde la fecha de expedición inicial de la matrícula vehicular.			

Puede agregar comentarios a la respuesta anterior:

6. Por favor indique que tan equitativas considera las siguientes opciones (medidas que favorezcan a la mayor población sin discriminación de estrato o poder adquisitivo).

Medida	Equitativa	Medianamente equitativa	Poco equitativa
a. Cobro por congestión			
b. Hacer más controles a los vehículos que circulan en la zona de estudio			
c. Permitir el acceso exclusivo a la zona de vehículos de tecnologías limpias y de bajas emisiones a partir de un sistema de etiquetado			
d. Crear áreas libres de automotores (Peatonalización)			
e. Reglamentar las horas de ingreso a la zona			
f. Permitir el ingreso a vehículos con tecnologías de cero, ultra baja o baja emisión (eléctricos, híbridos y gas) y todos aquellos vehículos con antigüedad no mayor a 10 años desde la fecha de expedición inicial de la matrícula vehicular.			

Puede agregar comentarios a la respuesta anterior:

7. ¿Considera viable técnicamente que se permita el cargue y descargue diurno en zonas con problemas de contaminación atmosférica?

Sí _____

No _____

No sabe / No

responde _____

Puede complementar su respuesta:

8. Señale el tipo de estrategias y/o normas que conozca, que hayan sido aplicadas en la zona centro de Medellín para minimizar el efecto de la contaminación del aire.

a. Estrategias sobre uso y ocupación del suelo

d. Estrategias de renovación urbana

b. Estrategias sobre espacio público

e. Ninguna

c. Estrategias de movilidad

f. No sabe/No responde

Puede ampliar información relacionada con las opciones seleccionadas:

9. ¿Qué otro tipo de normas conoce que se hayan implementado en otras zonas de Medellín o en otras ciudades (de Colombia u otros países), que permitan minimizar el problema de contaminación atmosférica causada por las fuentes móviles?

10. ¿Cuáles criterios técnicos relacionados con calidad del aire usted considera que se deben tener en cuenta para determinar la edificabilidad (altura, densidad, entre otros), en áreas residenciales y comerciales con contaminación del aire?

11. ¿Cuáles criterios técnicos relacionados con calidad del aire usted considera que se deben tener en cuenta para determinar la ocupación (distancias, retiros, etc.) en áreas residenciales y comerciales con contaminación del aire?

12. Puede recomendar autores, normas o fuentes de información que considere relevantes para identificar medidas de intervención que ayuden a reducir niveles de contaminación atmosférica en zonas con esta problemática.

--

13. ¿Cuáles casos exitosos recomienda tener en cuenta a la hora de diseñar un plan de manejo de contaminación atmosférica a nivel local, regional, nacional o internacional?

--

Gracias por sus aportes