



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Evaluación y visualización de indicadores cuantitativos de la línea base de Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP de la ciudad de Medellín – Análisis de indicadores de Madrid Central como proyecto base.

**Autor
María Fernanda Arroyave Guzmán**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021**



Evaluación y visualización de indicadores cuantitativos de la línea base de Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP de la ciudad de Medellín – Análisis de indicadores de Madrid Central como proyecto base.

María Fernanda Arroyave Guzmán

Informe de prácticas académicas presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniera Civil

Asesores (a):

Claudia Marcela Aldana Ramírez

Ingeniera Civil, Magíster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021

Tabla de Contenido

1. Resumen.....	2
2. Introducción	3
3. Objetivos	4
3.1 General.....	4
3.2 Específicos.....	4
4. Marco Teórico.....	5
4.1 Área de estudio	5
4.2 Zona Urbana de Aire Protegido, Medellín	7
4.3 Zona de Bajas Emisiones Madrid Central.....	11
4.4 Datos e Indicadores	14
5. Metodología.....	14
6. Resultados y análisis	16
6.1 Zona Urbana de Aire Protegido.....	17
6.2 Zona de Bajas Emisiones Madrid Central	23
7. Conclusiones	28

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Comunas de Medellín</i>	5
Ilustración 2 <i>Distritos de Madrid</i>	6
Ilustración 3 <i>Polígono Zona Urbana de Aire Protegido</i>	7
Ilustración 4 <i>Distribución de emisiones de PM_{2.5} por categoría vehicular, año 2018</i>	8
Ilustración 5 <i>Estaciones de medición de Calidad del Aire SIATA</i>	9
Ilustración 6 <i>Condiciones de calidad del aire por características geomorfológicas</i>	10
Ilustración 7 <i>Área Central Cero Emisiones</i>	11
Ilustración 8 <i>Señalización Madrid Central</i>	12
Ilustración 9 <i>Mapa de zonas peatonalizadas en Madrid, España</i>	12
Ilustración 10 <i>Panel de indicadores ZUAP</i>	17
Ilustración 11 <i>Tablero indicador Niveles de ruido ZUAP</i>	18
Ilustración 12 <i>Tablero Indicador Calidad del aire ZUAP</i>	19
Ilustración 13 <i>Tablero indicador Intensidad de Tráfico ZUAP</i>	20
Ilustración 14 <i>Tablero indicador Incidentalidad ZUAP</i>	21
Ilustración 15 <i>Panel de Indicadores Madrid Central</i>	23
Ilustración 16 <i>Tablero indicador Niveles de ruido Madrid Central</i>	23
Ilustración 17 <i>Tablero indicador Calidad del Aire Madrid Central</i>	24
Ilustración 18 <i>Calidad del Aire Madrid Central - media anual</i>	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 19 <i>Ubicación de sensores de medición en la ciudad de Madrid</i>	26
Ilustración 20 <i>Tablero indicador Intensidad de Tráfico</i>	27

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación áreas de estudio</i>	6
Tabla 2 <i>Media anual Calidad del Aire en Madrid</i>	25

1. Resumen

El crecimiento acelerado de las urbes, ha causado una serie de problemas de diferente índole, entre ellas, el aumento de contaminantes en el ambiente, parte de ellos, debido a las emisiones del parque automotor, que ha causado también aumento del tráfico vehicular y contaminación acústica.

En busca de solución a estos problemas, diferentes ciudades del mundo han puesto en marcha proyectos para crear zonas de bajas emisiones, este es el caso de Madrid (Madrid Central) y recientemente la ciudad de Medellín (Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP).

Con la finalidad de evaluar la problemática y posterior efectividad de las medidas, se determinaron diversos indicadores cuantitativos, de los cuales se pudiese encontrar información y realizar una base de datos y posteriormente visualizarlos de forma interactiva para diferentes años; estos indicadores se presentan en la sección de resultados.

Si bien los datos encontrados son de libre acceso, el formato en que se entrega no es de fácil comprensión para la ciudadanía en general; para darle solución a esto, se utilizó una herramienta de visualización de datos (Tableau) que permitiera la publicación de datos con una interfaz más amigable e intuitiva y así permitir que las personas conozcan y se apropien más fácilmente de la finalidad del proyecto.

Con la información obtenida, se realizó también una demostración de la efectividad de la Zona de Bajas Emisiones, Madrid Central mediante una comparativa de los registros de calidad del aire, ruido e intensidad de tráfico para los años 2017, 2018 y 2019, teniendo en cuenta que la medida empezó a regir en Madrid en noviembre del año 2018.

Estos resultados permitieron también llegar una hipótesis de los futuros resultados en la implementación de la Zona Urbana de Aire Protegido, cuyo propósito es reducir las concentraciones de contaminantes en la atmósfera, al disminuir las emisiones del transporte (fuentes móviles) en el centro, para así mejorar la calidad del aire y la salud, para todas y todos en la ciudad y el Valle de Aburrá.

Palabras clave: movilidad, Zona de Bajas Emisiones, calidad del aire

Evaluación y visualización de indicadores cuantitativos de la línea base de Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP de la ciudad de Medellín – Análisis de indicadores de Madrid Central como proyecto base

2.

De acuerdo con información del Banco Mundial, el 56.15% de la población mundial (2020) reside en áreas urbanas. Se espera que esta proporción se incremente hasta un 68% para el año 2050 (United Nations, 2018). En Colombia, según datos reportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas “DANE”, para el 2018 el 77.1% de la población, residía en las cabeceras municipales, se estima que este porcentaje siga en crecimiento, dado el desplazamiento de las personas desde las áreas rurales, debido a los conflictos sociales.

El crecimiento demográfico es una de las principales problemáticas que afecta a las ciudades, ya que esto hace complejo proveer de servicios y mantener los estándares de salubridad, lo anterior, sumado a la actividad industrial, el aumento de vehículos motorizados y el uso de combustibles fósiles, son aspectos que impactan negativamente la calidad del aire que respiramos y por ende nuestra salud, tal como lo demuestra el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en su último inventario de emisiones, en el cual halló que el 92% de las emisiones de material particulado con un tamaño menor a 2.5 micras (PM 2.5), es emitido por las fuentes móviles y el 8% del mismo, es emitido por las fuentes fijas, dichas emisiones están directamente relacionadas con las actividades que las personas realizamos en nuestro día a día.

La Resolución 2231 de 2018 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, propone como uno de los proyectos clave para mejorar la calidad del aire, la implementación de Zonas Urbanas de Aire Protegido “ZUAP”, teniendo en cuenta que es el espacio donde de manera colectiva y articulada, se realizarán acciones concretas, que permitan evidenciar y experimentar hábitos para cuidar la calidad del aire que respiramos, apropiarnos del espacio público, probar otras maneras de movilizarnos y establecer políticas que nos permitan hacer un uso eficiente de las calles. (Alcaldía de Medellín, 2018)

La Gerencia de Movilidad Humana, dependencia de la Secretaría de Movilidad de la Alcaldía de Medellín, trabaja de la mano del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para llevar a cabo el proyecto ZUAP, por medio de diferentes estrategias que buscan las dinámicas de movilidad de la zona.

En el desarrollo del proyecto se hace necesario, que estas entidades recopilen y evalúen diferentes indicadores que apoyarán el seguimiento de las acciones y estrategias, que se deberán efectuar para lograr el objetivo del proyecto, tales como, concentración de material particulado PM 2.5, PM 10, mediciones de nivel de ruido (contaminación acústica)

dentro de la categoría de calidad del aire; aforos peatonales, Incidentes de tránsito, Intensidad de tráfico en la categoría de movilidad,

entre otros, se recopilarán y visualizarán de manera interactiva y pública para lograr una correcta caracterización de los datos y apropiación de la información por parte de la ciudadanía.

De igual forma, buscando la reducción de gases de efecto invernadero y en consonancia al Acuerdo de París (2015) se necesitaba en Madrid España, una propuesta para acercarse al cumplimiento de los valores guía de concentración definidos por la Organización Mundial de la Salud OMS1 y el Real Decreto 102/2011 de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (BOE 2011 pg. 9574 – 9626) para la protección de la salud humana.

A partir de esta necesidad, nace como estrategia Madrid Central, creada como una zona de bajas emisiones, para la cual también se ha recopilado algunos indicadores de antes y después de su aplicación con el fin de identificar su efectividad y alcance, y así, tenerlo como referente para la Zona Urbana de Aire Protegido de la ciudad de Medellín.

3. Objetivos

3.1 General

Visualizar de línea base de indicadores de la Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP

3.2 Específicos

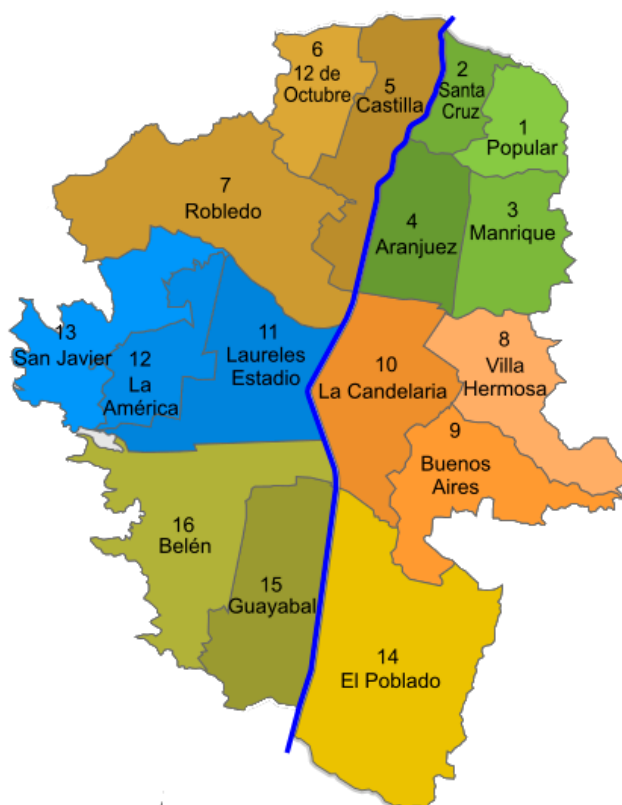
- Recopilar datos de indicadores relativos a la zona urbana de aire protegido ZUAP de la ciudad de Medellín
- Analizar y presentar los resultados de indicadores de la Zona Urbana de Aire Protegido ZUAP
- Recopilar datos referentes a la zona de bajas emisiones – Madrid Central

4. Marco Teórico

4.1 Área de estudio

El Municipio de Medellín se encuentra ubicado en el Departamento de Antioquia, Colombia. Está dividido administrativamente por 16 comunas.

Ilustración 1 *Comunas de Medellín*



Nota: Imagen tomada de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comunas_de_Medellin.svg (SajoR, 2009)

La comuna 10 – La candelaria está ubicada en el centro de la ciudad de Medellín, con una superficie de 735.63 Hectáreas (Ha). Y una población (2020) de 85,841 habitantes (MEData, 2021) lo que corresponde al 3.81% de la población de la ciudad.

Como área de estudio se tiene también la ciudad de Madrid, España. Dividida administrativamente por 21 distritos que agrupan un total de 131 barrios.

Ilustración 2 *Distritos de Madrid*

Nota: Imagen tomada de <https://www.mapasaragon.com/mapas/madrid-distritos-barrios/> (Mapas Aragón. Zaragoza, Huesca y Teruel. 2021)

El distrito centro de la ciudad de Madrid tiene una superficie de 522.82 Ha. Con una población (2019) de 140,473 habitantes (Banco de datos Ayuntamiento de Madrid, 2021). Se hace entonces una comparación de las dos áreas de estudio en cuanto a población y superficie.

		2017	2018	2019
	Superficie (Ha.)	Población	Población	Población
Madrid, Distrito Centro	522.82	131,928	134,881	140,473
Medellín, Comuna 10	735.63	85,658	85,724	85,783

Tabla 1 *Comparación áreas de estudio*

La población en las ciudades va en crecimiento, tal como se muestra en la *Tabla 1*, este crecimiento poblacional lleva consigo un aumento del parque automotor, por ende, un aumento en las emisiones (*ver ilustración 4*).

4.2 Zona Urbana de Aire Protegido, Medellín

El concepto de Zona Urbana de Aire Protegido ‘ZUAP’ fue acuñado desde el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ‘AMVA’, para describir aquellas zonas en que se requiere realizar acciones más específicas, para proteger la cuenca atmosférica, los ecosistemas y la salud de la población de la zona y en general de todo el Valle de Aburrá.

“El sustento para la declaratoria de Zonas Urbanas de Aire Protegido (ZUAP) con incidencia de tráfico, consagradas en la Resolución Metropolitana 2231 de 2018, es que, a partir de la evaluación de los registros históricos de calidad del aire, de acuerdo con el procedimiento de la Resolución Ministerial 2254 de 2017, para el parámetro $PM_{2.5}$ en las estaciones de monitoreo con incidencia de tráfico, Tráfico Sur y Tráfico Centro, estas zonas correspondieron con área fuente de contaminación clase I (contaminación alta), el mismo párrafo del Artículo 1 de la Resolución 2231 de 2018, así lo refiere”. (AMVA, 2020)

La primera ZUAP de Medellín se ubica en el centro de la ciudad, entre la Avenida del Ferrocarril y la carrera Girardot; y entre la calle 58 Echeverri y la Avenida San Juan (Comuna 10).

Ilustración 3 Polígono Zona Urbana de Aire Protegido



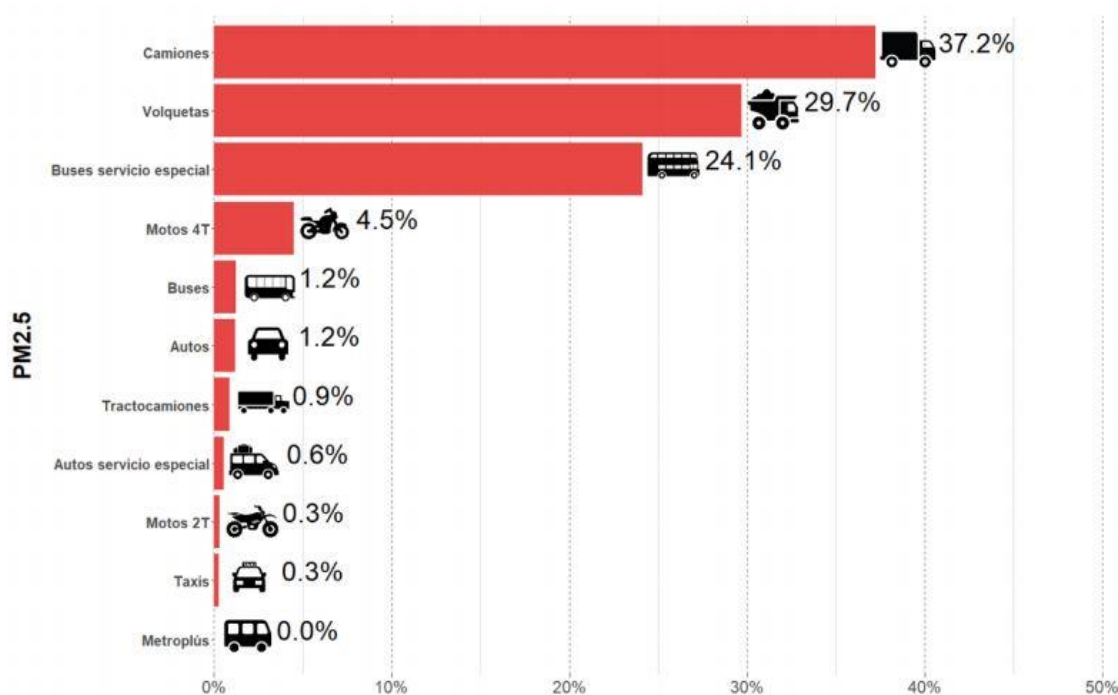
Nota: Imagen tomada de <https://www.medellin.gov.co/movilidad/gerencia-de-movilidad-humana/zona-urbana-de-aire-protegido-medellin>

“La delimitación del Polígono ZUAP del centro de Medellín que se definió en la Resolución Metropolitana 2231 de 2018 se realizó a partir mediciones in situ de las concentraciones de $PM_{2.5}$, llevadas a cabo con equipos portátiles adaptados a vehículos eléctricos que transitaron al interior de diferentes vías del centro de la ciudad de Medellín, a través del proyecto SIATA” (AMVA, 2020)

Para poder analizar el efecto que tendría una zona de bajas emisiones mediante la restricción de circulación de paso de vehículos, se necesita conocer la cantidad de emisiones que estos generan, “el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha venido desarrollando desde el año 1996, junto con instituciones de educación superior de la región, el inventario de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá.

Desde entonces, el inventario se ha actualizado a través de diferentes convenios, aplicando la metodología Bottom-Up que consiste en la recolección detallada de los datos de las fuentes fijas, móviles y de área para la estimación de las emisiones de contaminantes criterio, gases efecto invernadero, y contaminantes no convencionales que en total suman 203 especies para este último, con año base 2018 en un dominio de 60 x 60 kilómetros. El cálculo de las emisiones para fuentes móviles en ruta se realiza aplicando el modelo LEAP (Longe-range Energy Alternatives Planning System), el cual permite el desarrollo de estudios de planeación energética y de mitigación de gases efecto invernadero y otros contaminantes del aire, desarrollado en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo. Este modelo se viene implementando en el Valle de Aburrá desde el año 2011 y sus posteriores actualizaciones (2013, 2015 y 2016)”. (UPB, AMVA. 2018)

Ilustración 4 Distribución de emisiones de $PM_{2.5}$ por categoría vehicular, año 2018



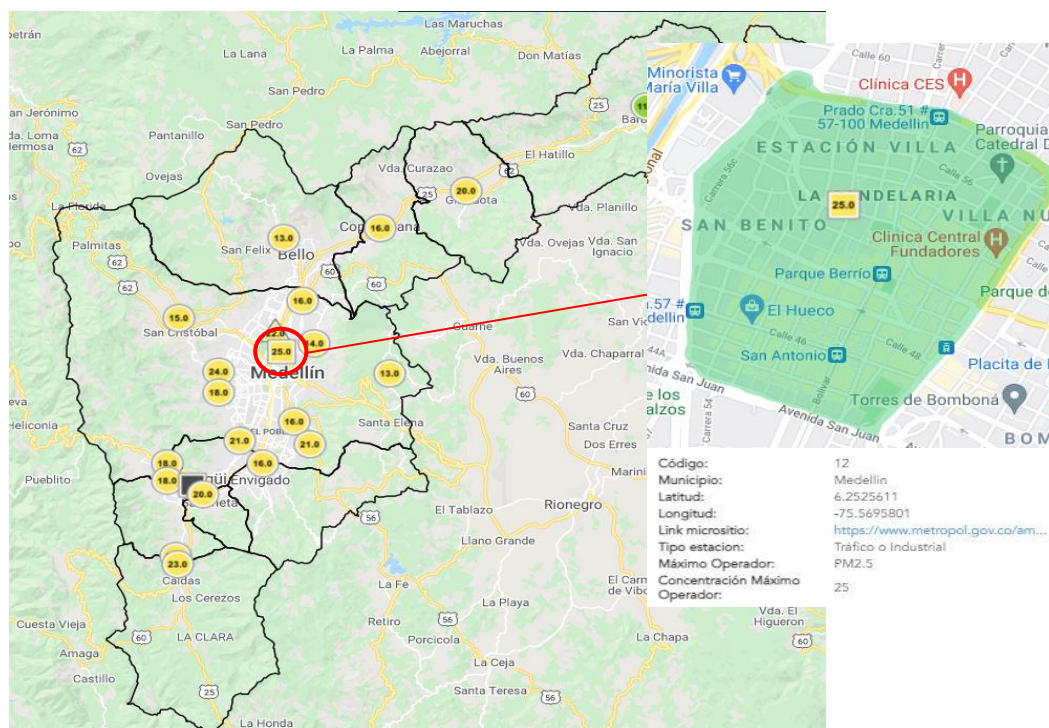
Nota: Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, 2018

Teniendo en cuenta que, en conjunto los vehículos particulares y las motocicletas emiten el 6% de $PM_{2.5}$ y representan el 92.8 % del parque automotor del Valle de Aburrá (UPB, AMVA. 2018), a través de las estrategias de pacificación de tráfico, peatonalización de calles y aumento de la red ciclista; se espera que los primeros resultados de la Zona Urbana de Aire Protegido de la ciudad de Medellín sean la disminución de la cantidad de gases contaminantes como el material particulado $PM_{2.5}$ y gases de efecto invernadero como el Dióxido de Carbono CO_2 , entre otros, emitidos por los vehículos livianos particulares y motocicletas en el centro de la ciudad de Medellín.

En el mediano plazo, se espera que la calidad del aire mejore en toda la ciudad debido a la Zona Urbana de Aire Protegido y de esta manera cumplir con los estándares nacionales de calidad del aire (Resolución N°2254 del 1 de noviembre de 2017, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Finalmente, en el largo plazo, el efecto esperado, es mejorar la calidad de vida y la salud de todas y todos los ciudadanos de Medellín; (Alcaldía de Medellín, 2020).

La cantidad de contaminantes en el ambiente (calidad del aire) de la ciudad de Medellín es medida por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a través de su proyecto Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá 'SIATA', el cual está en capacidad de identificar si la concentración de contaminantes atmosféricos en la Zona Urbana de Aire Protegido (Estación tráfico centro), obedecen a emisiones allí generadas o por influencias de factores externos, esto ayudará en un futuro a evaluar la efectividad de las medidas implementadas para la zona.

Ilustración 5 Estaciones de medición de Calidad del Aire SIATA



Nota: Se hace énfasis y muestra información de la estación #12 Tráfico Centro, estación ubicada dentro del polígono ZUAP. Tomado de www.siata.gov.co

El Valle de Aburrá Hace parte de la cuenca del río Medellín - Aburrá, el cual cruza la región de sur a norte, tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros, está enmarcado por una topografía irregular y pendiente, que oscila entre 1.300 y 2.800 metros sobre el nivel del mar. (Aguiar et al. 2017).

Ilustración 6 Condiciones de calidad del aire por características geomorfológicas



Nota: Tomado de <http://www.metropol.gov.co/Pages/aire.aspx>. (AMVA, 2017)

Estos factores meteorológicos y topográficos son factores que favorecen la acumulación de contaminantes en el aire.

“La ciudad de Medellín está asentada en un valle estrecho, las cadenas montañosas impiden que haya una buena ventilación, por lo que la velocidad de los vientos es moderada e insuficiente para la remoción de los contaminantes. Además, se suma las condiciones meteorológicas adversas como estabilidad atmosférica cuando encontramos nubes a bajas alturas, que impiden que la radiación entre y favorezca a la mezcla y dispersión de los contaminantes, debido a que no hay movimiento vertical del viento” (Aguiar et al. 2017).

Es por esto que, en la ciudad de Medellín se han venido presentando episodios de contingencias atmosféricas en la transición de temporada de lluvias, durante los meses de marzo – abril y en el segundo semestre del año durante los meses de octubre – noviembre.

Se ha identificado que en los meses en los que no se declaran episodios por contaminación atmosférica, la concentración de contaminantes en las zonas bajas del Valle de Aburrá obedecen exclusivamente a las emisiones generadas de manera específica en cada sector. (Alcaldía de Medellín, 2020).

Es por esto que es factible pensar en mejorar los niveles de concentración de material particulado disminuyendo la cantidad de emisiones a través de las estrategias que permitan regular y reducir las intensidades de tráfico diarias (Vehículos/día).

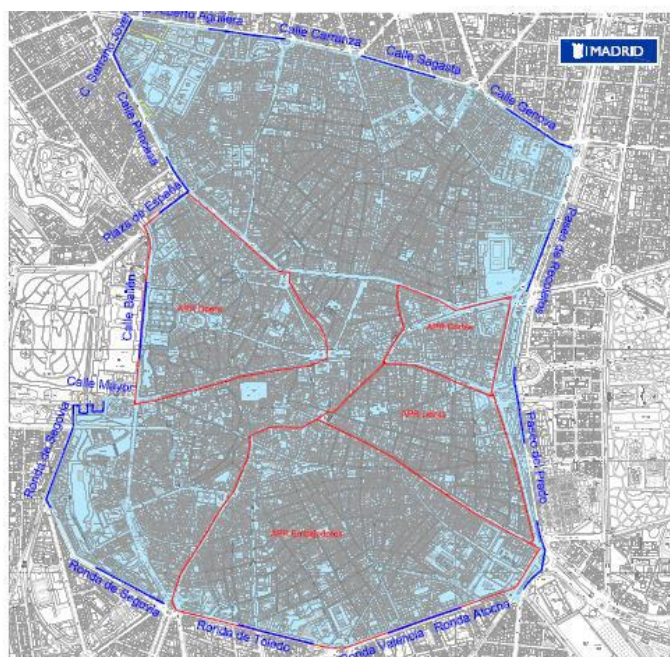
4.3 Zona de Bajas Emisiones Madrid Central

Madrid Central es una zona de bajas emisiones, que comenzó a funcionar el viernes 30 de noviembre de 2018 en la ciudad de Madrid, España. Esta medida está contenida en el Plan A de Calidad del Aire y Cambio Climático, aprobado en junta de gobierno del Ayuntamiento de Madrid en septiembre de 2017.

“El Plan A: Plan de Calidad del aire y Cambio Climático del Ayuntamiento de Madrid es un conjunto de medidas con el objetivo de mejorar y garantizar la calidad del aire que respiran los ciudadanos madrileños. Se trata de una estrategia de carácter local encaminada a reducir los niveles de contaminación, así como a hacer de la ciudad de Madrid un espacio con un modelo más sostenible y que garantice una buena calidad de vida a todos sus habitantes” (Energía y sociedad, boletín #181. 2017).

La principal medida contenida en el Plan A de calidad del aire y Cambio Climático es la creación de un Área Central Cero Emisiones, “La creación de esta Área está enfocada a disminuir los efectos negativos de la movilidad en automóvil en el centro de la ciudad, incentivando el uso del transporte colectivo y de los modos no motorizados en detrimento del uso del vehículo privado. Así mismo se actuará sobre otras potenciales fuentes de contaminación, con el objetivo principal de establecer una zona de la ciudad libre de emisiones” (Plan A de calidad del aire, 2017).

Ilustración 7 Área Central Cero Emisiones



Nota: Tomado de *Plan A de Calidad del Aire y Cambio Climático de la ciudad de Madrid*

El propósito de esta medida es establecer la movilidad no motorizada (peatón y bicicleta) como los modos de transporte prioritarios. Potenciar una red de transporte público

en superficie adecuada a las especiales características del Área, garantizando la accesibilidad y la intermodalidad. Esto se logra al tener vías con preferencia del transporte público y bicicleta, crear una red básica peatonal con acceso a servicios y transporte público; Las acciones contempladas para esta red peatonal son la eliminación de las plazas para estacionamiento regulado y disminución progresiva de las plazas verdes (plazas de estacionamiento para residentes); ensanchamiento de aceras priorizando actuaciones en el entorno de equipamientos; mejora de la accesibilidad y de templado de tráfico y señalización peatonal. El conjunto de vías del área central se convierte en una Zona 30 en la que la velocidad está limitada a 30 km/h.

Además, diseñar espacios que fomenten la marcha a pie, el uso de la bicicleta y transporte público sostenible, reducción progresiva de la circulación de los vehículos más contaminantes. Definición de una red de paradas de taxis adaptada a las necesidades del entorno y a la disminución de los taxis vacíos en circulación.

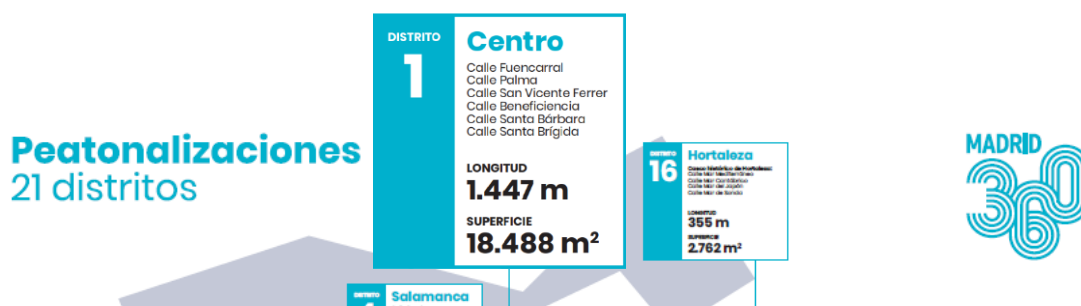
Estas estrategias favorecen al peatón, la bicicleta y el transporte público. En su interior no hay calles de libre circulación, salvo algunos viales con objeto de permitir determinadas incorporaciones, por lo que se elimina el tráfico de paso por el centro de la ciudad. Los vehículos que circulan por la ciudad tienen una etiqueta donde sólo los autos con etiqueta tipo "C" (residentes de la zona) tienen circulación libre por el polígono de Madrid Central, lo demás vehículos pueden gestionar permisos de ingreso a la zona a través de plataformas en línea.

Ilustración 8 Señalización Madrid Central



Nota: Imagen de archivo *Diario El Español*. (2021)

Ilustración 9 Mapa de zonas peatonalizadas en Madrid, España.



Nota: Ayuntamiento de Madrid. (2021)

Al igual que Madrid Central, La ciudad de Medellín con ZUAP busca, por medio de diferentes acciones y metodologías, definir zonas libres de combustibles fósiles en sus centros y aportar a la reducción de las emisiones de diferentes contaminantes, incluyendo los gases de efecto invernadero, donde el transporte, genera aproximadamente el 15% alrededor del mundo (Vargas, 2019).

Se consolida entonces el transporte como una importante fuente de emisiones que aporta a la mala calidad del aire, buscando que las ciudades inicien una transición hacia una movilidad libre de combustibles fósiles, impulsando también la transformación del centro de la ciudad de Medellín; Mediante la implantación de un nuevo modelo de movilidad que priorice al peatón, la bicicleta y los diferentes tipos de transporte público que convergen en esta zona de la ciudad.

Dentro de las estrategias para favorecer la movilidad peatonal y su coexistencia con los diferentes modos de transporte de la ciudad, están la peatonalización y pacificación de algunas calles en corredores como Av. Bolivariana, Los colores, Estadio, Boston, Lorena, Barrio Santa Fé; Esta consiste en disminuir la velocidad de circulación de los vehículos motorizados en vías residenciales.

4.4 Datos e Indicadores

La Red de Monitoreo de Calidad del aire del Valle de Aburrá cuenta con puntos de monitoreo automático, ubicados a lo largo del Área Metropolitana (Ver Ilustración 5). Esta red registra cada hora las concentraciones de contaminantes como el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ y otros indicadores como los niveles de ruido, que permiten tener un seguimiento del comportamiento de diferentes factores, como la calidad del aire de la ciudad, por lo general estos datos son de libre acceso, sin embargo, están recopilados en formatos de texto plano separados por coma (.csv) o en formatos más complejos con finalidades de uso científico, esto hace difícil la comprensión de información por parte de la ciudadanía, puesto que para entender mejor la finalidad y el impacto del proyecto ZUAP es necesario también conocer los datos e indicadores relacionados a este, es allí donde nace la importancia de tener una recopilación y visualización de datos de fácil comprensión, para lo cual existen diferentes herramientas de visualización de datos interactivos, que organizan los datos en bruto en un formato fácil de interpretar.

La visualización de datos es la representación gráfica de la información. Al utilizar elementos visuales como cuadros, gráficos y mapas, las herramientas de visualización de datos proporcionan una manera accesible de ver y comprender e interpretar tendencias, valores atípicos y patrones en los datos.

En el mundo del *big data*, las herramientas y tecnologías de visualización de datos son esenciales para analizar grandes cantidades de información y tomar decisiones basadas en los datos. (Tableau, 2021)

Actualmente existen en el mercado múltiples herramientas de visualización de datos como *Tableau*, *Power BI*, *Infogram*, *Chartblocks*, *Datawrapper*, etc.

Con respecto a *Tableau*, además de ser compatible con múltiples fuentes de datos, tienen una interfaz bastante intuitiva que permite navegar y explorar los datos de forma fácil y rápida, es por esto que se eligió para presentar los resultados (A partir de ilustración 10).

5. Metodología

Teniendo en cuenta las características de la propuesta, inicialmente se tuvo un proceso de investigación y consulta donde se pudo entender y analizar el plan A de calidad del aire y cambio climático, cuya principal medida se da bajo la ordenanza de movilidad sostenible aprobada mediante el acuerdo de 5 de octubre de 2018, en la cual se crea la Zona de Bajas Emisiones “Madrid Central” que comenzó a funcionar en la ciudad de Madrid el 30 de noviembre de 2018, se pudo entonces recopilar información de algunos indicadores de calidad del aire, mediciones de densidad de tráfico e incidentalidad, datos pre y post aplicación de Madrid Central, luego, por medio de la herramienta Tableau se llevó la información a una mejor visualización de los resultados y efectividad de la medida de restricción de tráfico.

Para la Zona Urbana de Aire Protegido se realizó un proceso de análisis de impactos donde se establecieron diferentes indicadores de los cuales se enfatizó en los indicadores cuantitativos de los que se pudiera obtener información existente en las bases de datos de la Alcaldía de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, estos datos fueron procesados también con Tableau con el fin de tener una interfaz amigable de uso y entendimiento fácil para posteriores presentaciones y publicaciones.

El trabajo se desarrolló en diferentes fases que se describen a continuación:

Fase inicial: Se tuvo una reunión con diferentes componentes de la Secretaría de Movilidad, Alcaldía y Área Metropolitana liderada por el equipo ZUAP de la Gerencia de Movilidad Humana como presentación inicial, de cuáles serían los indicadores del proyecto y los datos a analizar, con el fin de dar a discusión la viabilidad de cada una de las categorías.

Segunda fase: Datos ZUAP

- Se examinó y filtró cada una de las categorías a fin de llegar a una lista de indicadores cuantitativos de la cual se pudiera obtener información.
- Se hizo solicitud al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para obtener una guía de descarga de la base de datos de calidad del aire y mediciones de ruido del proyecto SIATA
- A través del Observatorio de Movilidad de la alcaldía de Medellín se tuvo acceso a las bases de datos de incidentalidad.

Tercera fase: Datos Madrid Central

- Se hizo una solicitud escrita al ayuntamiento de Madrid, con el fin de obtener acceso a datos relacionados con Madrid Central para lo cual se obtuvo la página y guía de descarga de los datos abiertos.
- De acuerdo a las categorías de evaluación de indicadores de ZUAP se buscó la misma información de base para Madrid Central, esto para hacer un comparativo.
- Se descargaron bases de datos de los años 2017 (Pre Madrid Central), 2018, (Año de puesta en marcha), 2019 (año con Madrid Central ya implementado) y así

contrastar los niveles de contaminación, y movilidad para verificar la eficacia de la medida de restricción de tráfico.

-

Cuarta Fase: Estudio y organización de la base de datos

- Se creó una base de datos que relaciona las dos zonas de bajas emisiones con indicadores similares.
- Se realizó revisión bibliográfica con respecto a Madrid Central para comprobar la efectividad y la percepción ciudadana y científica de la medida.

Fase final: Visualización de datos.

- Con la herramienta Tableau, se creó un visualizador de los indicadores de Madrid Central y de la Zona Urbana de Aire Protegido con el propósito de dar a conocer la información de forma simple para una futura publicación de libre acceso.

Nota: las bases de datos recopilados se muestran en anexos.

6. Resultados y análisis

La búsqueda de información para la zona Urbana de Aire Protegido de la ciudad de Medellín se hizo a través de la plataforma del proyecto SIATA y por base de datos MEData. Fue fácil acceder a la información, sin embargo, para algunos casos, si se quiere tener una base de datos más amplia de las mediciones de ruido, por ejemplo, es necesario hacer una solicitud escrita, ya que los registros se publican a través de imágenes en el portal www.siata.gov.co. Para los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos, la base de datos de acceso libre sólo muestra concentraciones de material particulado PM2.5 y PM10.

Los datos de incidentalidad se presentan en una base de datos común para toda la ciudad, pero permite ser filtrado por comunas y por barrios, para el indicador de intensidad de tráfico sólo fue posible descargar datos del mes de julio de 2020, por lo que se hace difícil hacer un análisis a partir de este, sin embargo, es posible que se pueda comparar con el mismo mes en años futuros.

Para la Zona de Bajas Emisiones Madrid Central, el ayuntamiento de Madrid cuenta con un servidor de *Open Data* donde se encuentran cifras históricas y mensuales completas, para el caso de calidad del aire, se tienen registros de mediciones de diferentes contaminantes, también cuenta con información detallada para los indicadores de ruido, intensidad de tráfico e incidentalidad, cada uno filtrado por años, meses y distrito.

La información recopilada se unió en una sola base de datos que mostrara todos los indicadores y también se hicieron para cada indicador filtrando información irrelevante para la comprensión en general.

Finalmente, la información fue llevada al procesador de visualización de datos, aquí se muestran imágenes del *Dashboard* de la Zona Urbana de Aire Protegido y el *Dashboard* de Madrid Central, creados con la herramienta Tableau, estos muestran los indicadores de cada ciudad y permite al usuario filtrar el contenido por mes y por año para una consulta más detallada.

La muestra de resultados en este formato ayuda a la comprensión de los datos, pues cuenta con una interfaz bastante amigable y una fácil interpretación; ayuda también a realizar la comparación entre las dos ciudades, ver los datos de cada indicador y, para el caso de la ciudad de Madrid, analizar el antes y después de la aplicación de la zona de bajas emisiones Madrid Central y poder tener una hipótesis de los resultados que podrían lograrse para la ciudad de Medellín.

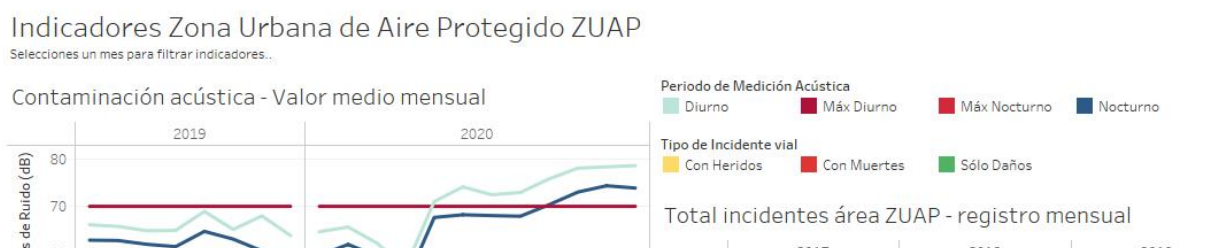
6.1 Zona Urbana de Aire Protegido

Se muestra el *Dashboard* de ZUAP con la información de los diferentes indicadores y un mapa de ubicación con la descripción de los principales corredores que hacen parte de la Zona Urbana de Aire Protegido.

Dentro de este *Dashboard* se encuentran los gráficos de los datos obtenidos para los indicadores de niveles de ruido, calidad del aire, intensidades de tráfico e incidentalidad ocurrida en la zona en diferentes años para así lograr que el usuario haga un análisis comparativo de los datos a través de los años; se muestra además el mapa del polígono de la Zona Urbana de Aire Protegido.

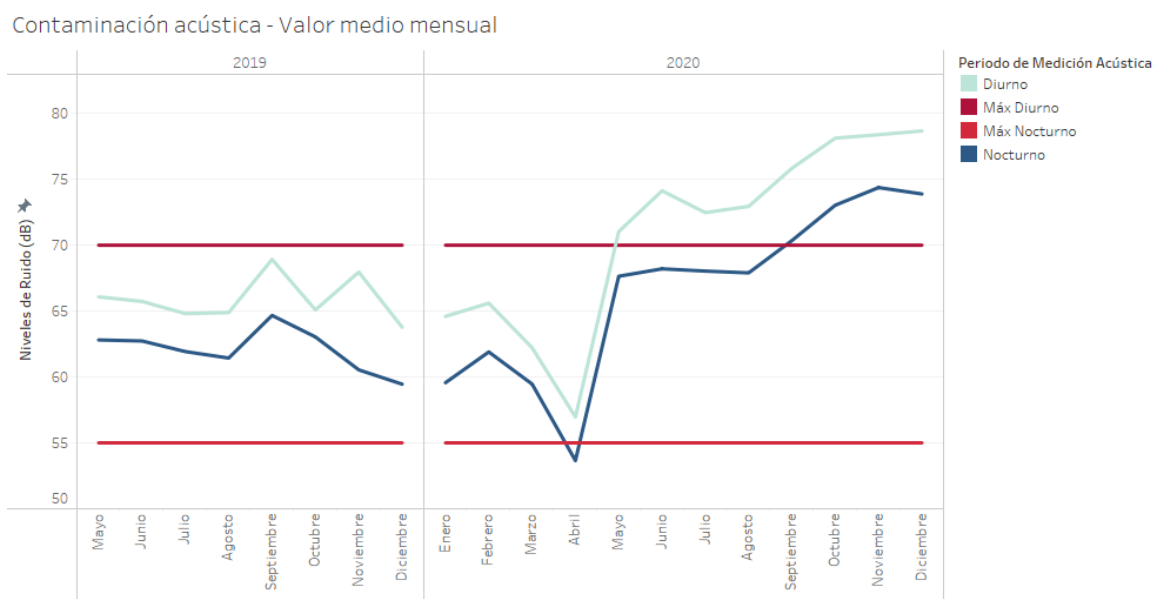
Cada hoja de indicadores es interactiva, permite al usuario filtrar la información por año, por mes o por indicador y así tener una mejor experiencia de consulta

Ilustración 10 Panel de indicadores ZUAP



Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

Ilustración 11 Tablero indicador Niveles de ruido ZUAP



La tendencia de suma de Valor medio para Mes desglosada por Año año. El color muestra detalles acerca de Descripción. Los datos se filtran en Tipo de indicador y Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes). El filtro Tipo de indicador conserva Ruido. El filtro Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes) conserva 261 miembros.

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

Para la hoja de contaminación acústica, se tomaron los niveles de ruido diarios medidos por el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá “SIATA” en horario diurno y nocturno, con esos valores diarios se hizo un promedio mensual y se mostró cuál es el nivel máximo permitido para la franja horaria diurna y el nivel máximo permitido para la franja horaria nocturna.

Sólo se encontró información a partir del 2019, donde en ningún momento se sobrepasó el nivel máximo diario, sin embargo, sólo se estuvo por debajo del nivel máximo permitido nocturno en abril de 2020.

Ya que la zona centro de la ciudad es una de las áreas con mayor tráfico es normal que se generen atascos vehiculares, lo que provoca un aumento en las emisiones de ruido en diferentes horas del día y la noche, se espera que con las estrategias tomadas para la Zona Urbana de Aire Protegido, estos niveles de ruido disminuyan.

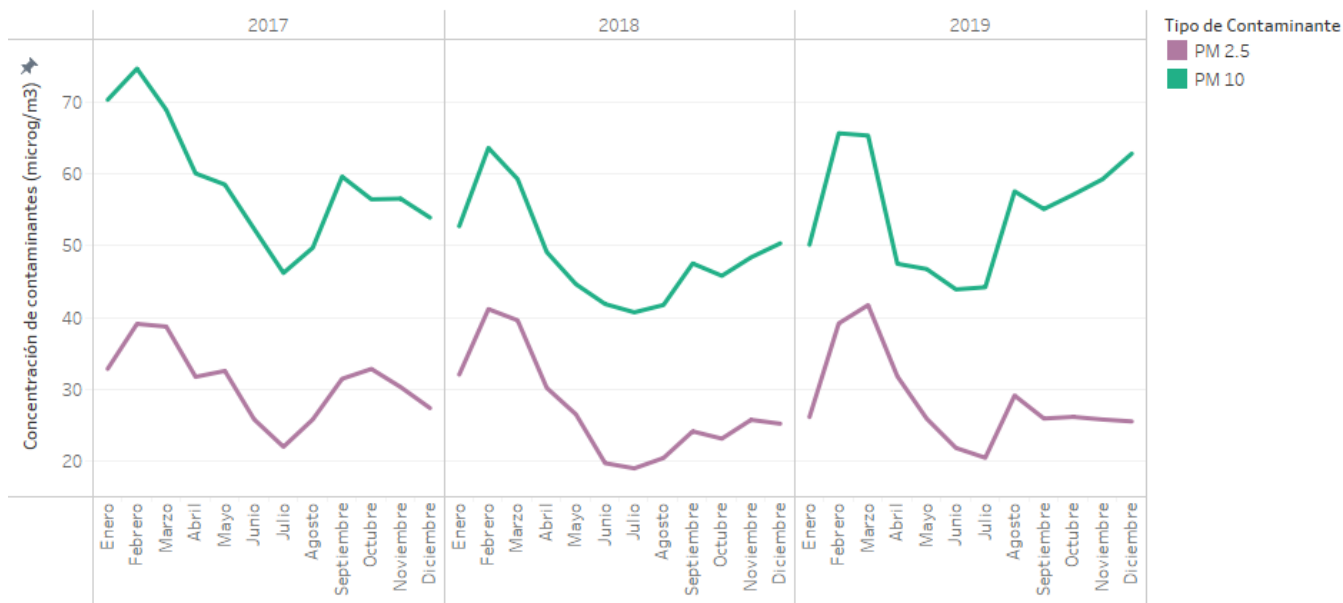
Ilustración 12 Tablero Indicador Calidad del aire ZUAP

Calidad del aire - Promedio diario por mes

Registro del valor medio diario mostrado por mes de concentraciones de material particulado PM 2.5 y PM 10

Nivel máximo permisible 24 Horas PM10 = 100 µg/m3

Nivel máximo permisible 24 Horas PM2.5 = 50 µg/m3

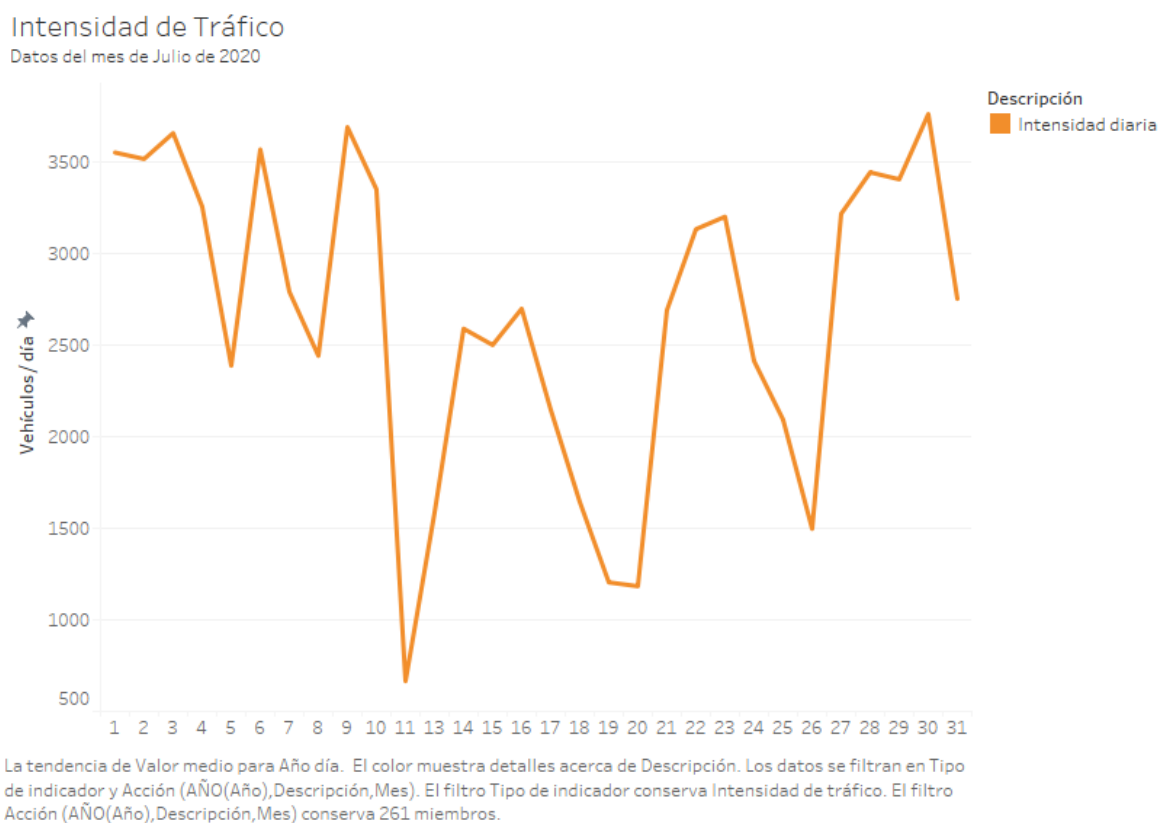


Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización Tableau

La calidad del aire, razón principal del desarrollo de *ZUAP* es uno de los indicadores con mayor problemática, en él inciden diferentes factores donde incluso las condiciones topográficas y meteorológicas de la ciudad juegan un papel importante en las altas concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5. De estos últimos no se puede tener control, pues los picos de febrero – marzo y agosto – septiembre son el resultado de estas condiciones, sin embargo, se tienen estudios que demuestran que las emisiones del parque automotor también inciden en estos niveles de contaminación del aire y es allí donde entran en rigor estas medidas, puesto que, al priorizar algunos corredores para el servicio público, peatones y modos de transporte no motorizados se espera que estas emisiones se puedan disminuir.

Inicialmente se espera que esta reducción de emisiones de material particulado y posterior mejora en la calidad del aire se de en la zona centro de la ciudad, perímetro de la Zona Urbana de Aire Protegido, pero después poder llevar estas estrategias y resultados al resto de la ciudad.

Ilustración 13 Tablero indicador Intensidad de Tráfico ZUAP



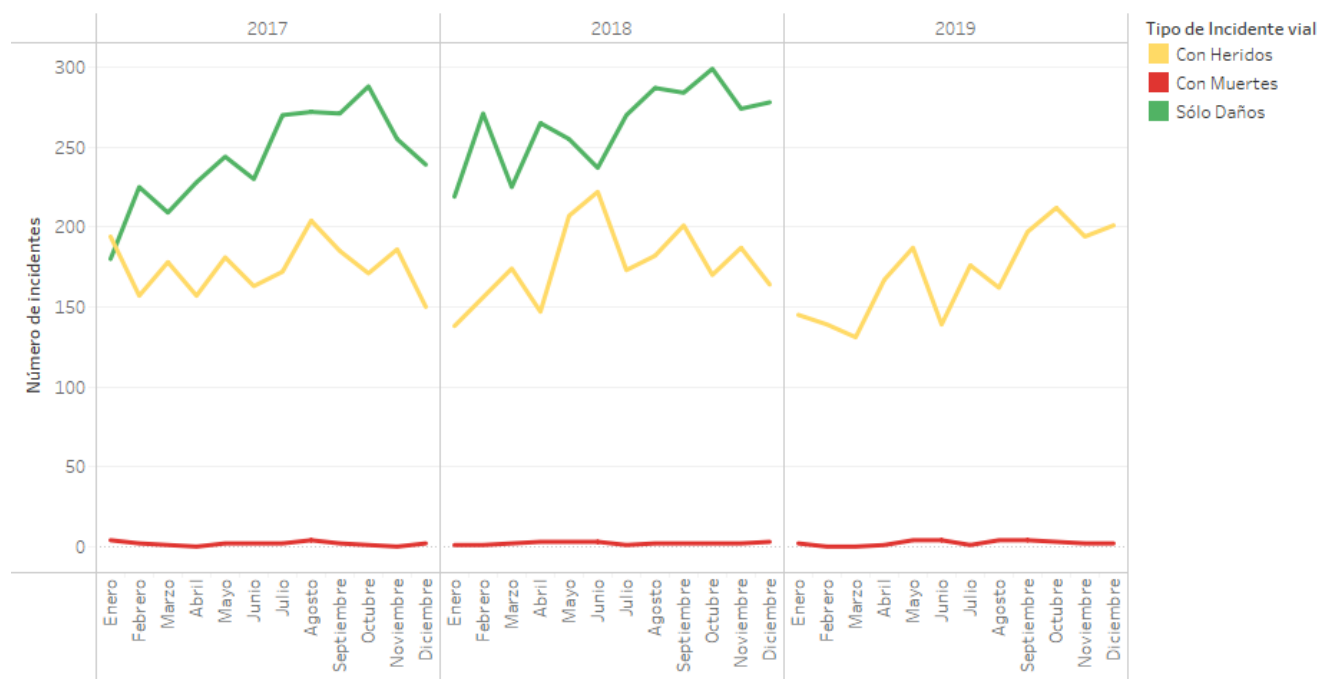
Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

Según el *2020 INRIX Global Traffic Scorecard* la ciudad de Medellín Ocupó el puesto N°22 el ranking mundial, donde según el estudio, los ciudadanos pierden alrededor de 62 horas anuales en el tráfico, esto teniendo en cuenta los efectos de las restricciones por COVID-19 donde gracias a la aplicación de la modalidad de teletrabajo, se disminuyeron la cantidad de desplazamientos realizados día a día.

Para este indicador sólo se encontró información de los datos diarios del mes de julio de 2020, con un máximo de 3759 vehículos/día. Son datos recopilados por el Sistema Inteligente de Movilidad de Medellín, SIMM, mediante los dispositivos de Cámaras de Circuito cerrado de Televisión (CCTV) y Apoyo a la Red Semafórica (ARS), filtrados por los corredores Av. Oriental, Av. Ferrocarril, San Juan, Los Huesos, La Playa, Argentina.

Ilustración 14 Tablero indicador Incidentalidad ZUAP

Total incidentes área ZUAP - registro mensual



La tendencia de suma de Valor medio para Mes desglosada por Año año. El color muestra detalles acerca de Descripción. Los datos se filtran en Tipo de indicador y Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes). El filtro Tipo de indicador conserva Incidentalidad. El filtro Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes) conserva 261 miembros. La vista se filtra en suma de Valor medio, lo que conserva solo los valores no nulos.

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

La base de datos de incidentalidad se genera del reporte "Incidentes vehículos" asociados entregado por UNE. Se entiende por Incidente de tránsito: "evento, generalmente

involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él, e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho". (Ley 769 de 2002 - Código Nacional de Tránsito).

Esta base de datos también se filtró por comuna (Comuna 10 – La Candelaria) y luego por los corredores y calles que hacen parte de ZUAP, no se tomaron en cuenta los datos del año 2020 pues dada la situación por COVID-19 las dinámicas de movilidad no correspondían a la situación normal.

Es posible ver el ascenso en los casos para cada año, estos pueden deberse al aumento anual del parque automotor, que según la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (Andemos) el año 2019 experimentó un crecimiento para el sector automotor de 2,7% con respecto al año anterior. Esto significa que hubo 30.713 nuevos vehículos vendidos.

Por otro lado, las ventas de motos también aumentaron, con la venta de 612.086 unidades, lo que representa un incremento del 10,6%.

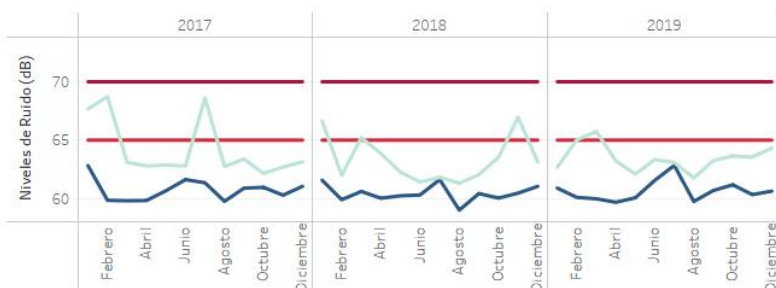
Una de las mejores estrategias para reducir la siniestralidad, es cambiar la forma en que se movilizan las personas, si se le brinda a la ciudadanía unas mejores condiciones y ofertas de transporte público y mayor facilidad para los desplazamientos en bicicleta y caminando se podrían reducir no sólo los incidentes viales, sino también el tráfico y la calidad del aire.

6.2 Zona de Bajas Emisiones Madrid Central

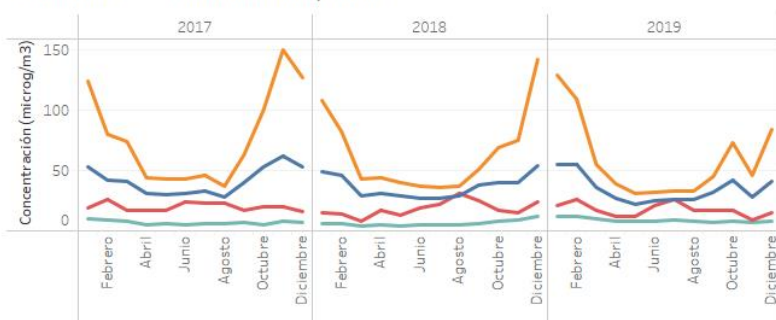
Ilustración 15 Panel de Indicadores Madrid Central

Indicadores Zona de Bajas Emisiones - Madrid Central

Contaminación Acústica - Valor medio mensual



Calidad del Aire - Promedio diario por mes



Incidentes viales - Distrito centro Madrid

Registros mensual - Total mensual

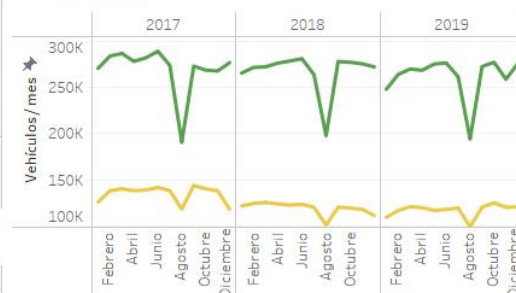


Descripción
■ Diurno ■ Máx. Diurno ■ Máx. Nocturno ■ Nocturno

Descripción ■ 1er Cinturón ■ Int. 1er cinturón

Intensidad de Tráfico

Total de vehículos por cada mes



Descripción
■ NO2 ■ Partículas en su... ■ SO2



Descripción
■ Accidentes ■ Con Muertes ■ Con Heridos

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

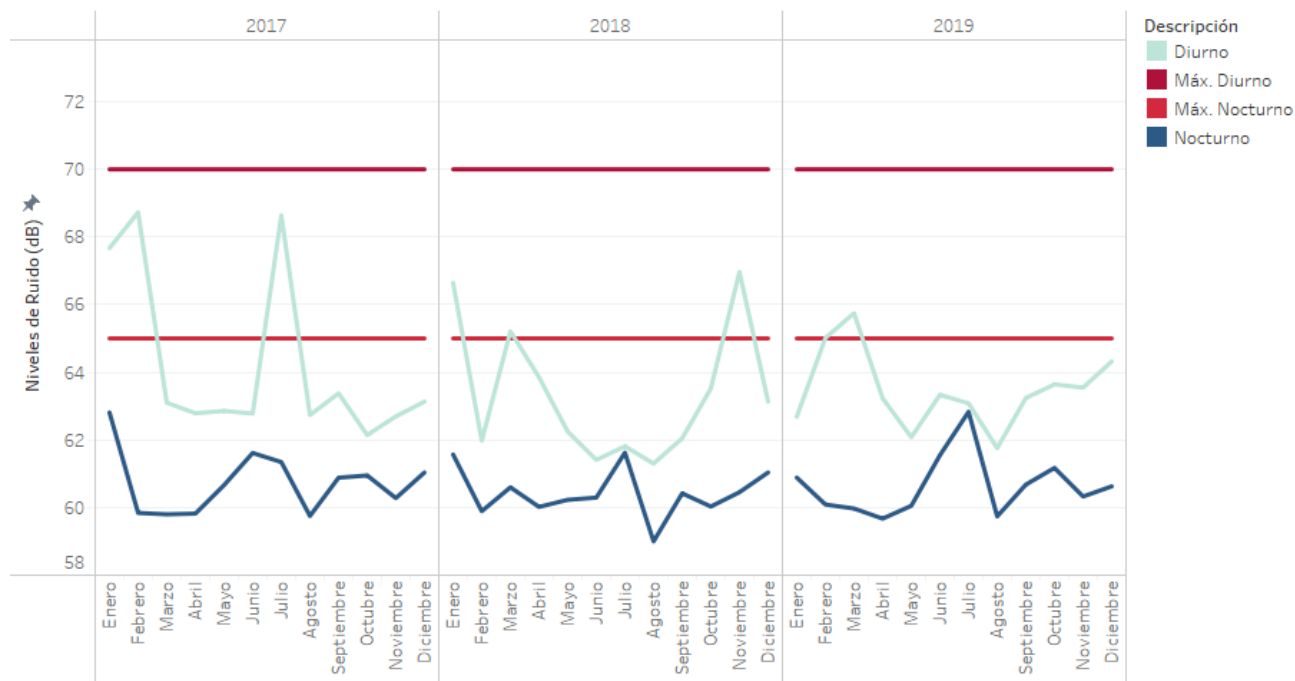
De igual forma, para Madrid Central se tiene un panel de indicadores interactivo, donde se puede filtrar la información por año, por mes o por indicador.

Se tiene información de 3 años donde se pueden evidenciar los resultados de la aplicación de esta medida, siendo más considerable, el cambio en la calidad del aire.

Todos los datos corresponden a mediciones hechas en el distrito centro de la ciudad de Madrid, recopiladas a través del Banco de Datos del Ayuntamiento de Madrid (2021).

Ilustración 16 Tablero indicador Niveles de ruido Madrid Central

Contaminación Acústica - Valor medio mensual



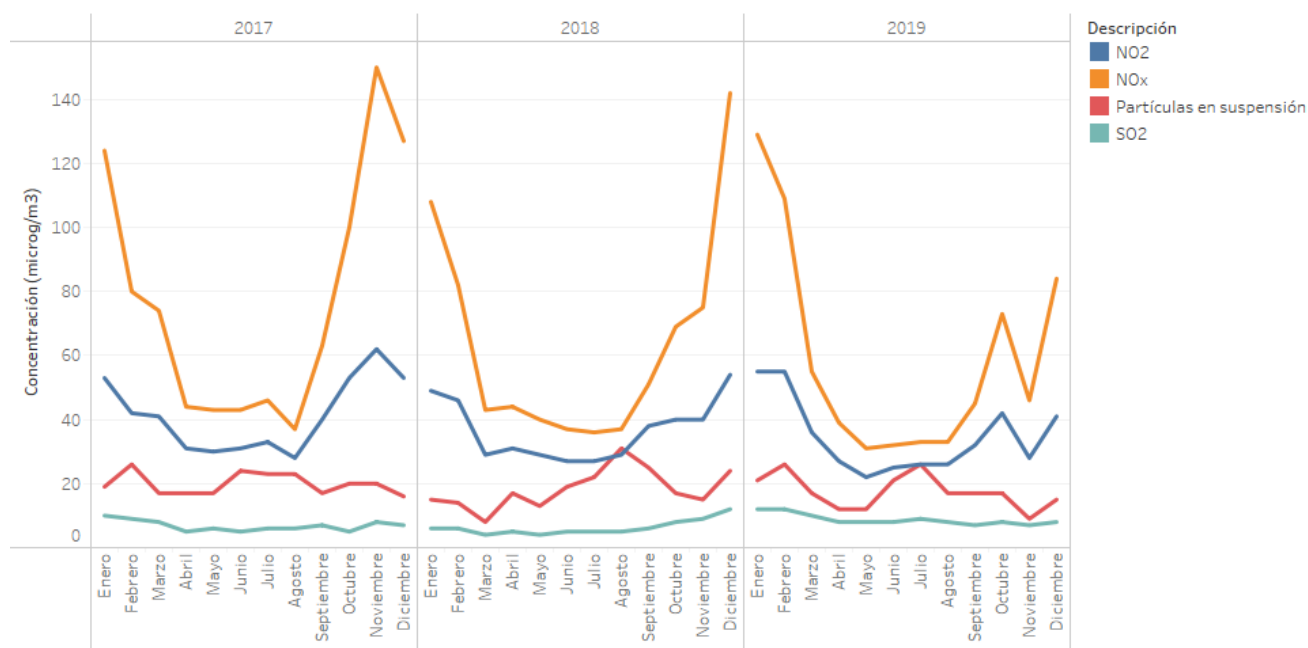
La tendencia de suma de Valor medio para Mes desglosada por Año año. El color muestra detalles acerca de Descripción. Los datos se filtran en Tipo de indicador, lo que conserva Ruido. La vista se filtra en Mes, lo que conserva 12 de 12 miembros.

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

Se muestran los datos de ruido para los años 2017, 2018 y 2019, con el límite máximo diurno (70 dB) y nocturno (65 dB), que difiere un poco de los límites que se tienen para ZUAP (70 dB y 55 dB respectivamente).

Es clara la reducción de los niveles de ruido a partir del año 2018 donde sólo en el mes de marzo se sobrepasó uno de los límites.

Calidad del Aire - Promedio diario por mes



La tendencia de suma de Valor medio para Mes desglosada por Año año. El color muestra detalles acerca de Descripción. Los datos se filtran en Tipo de indicador y Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes). El filtro Tipo de indicador conserva Calidad del Aire. El filtro Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes) conserva 432 miembros. La vista se filtra en Mes, lo que conserva 12 de 12 miembros.

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

Es claro que en los meses de diciembre – febrero es donde se presentan mayor cantidad de contaminantes en el ambiente, esto debido a las condiciones climáticas generadas por el invierno que inicia el 21 de diciembre y termina aproximadamente el 21 de marzo.

Si se hace una comparación de la media anual, es evidente la reducción de la concentración de contaminantes como PM 2.5, PM 10, CO₂ y NO₂.

Tabla 2 Media anual Calidad del Aire en Madrid

	2017	2018	2019
Partículas suspensión PM2.5 (µgr/m3) -Valor límite: 25 µgr/m3-	10.2	10.3	9.3
Partículas suspensión PM10 (µgr/m3) -Valor límite: 40 µgr/m3-	20.1	18.5	16.7
Monóxido de carbono - CO2 (mg/m3) -Valor límite: 10 µgr/m3-	0.4	0.3	0.3
Dióxido de nitrógeno - NO2 (µgr/m3) -Valor límite: 40 µgr/m3-	42.0	37.0	34.6

Nota: Información Tomada del Banco de Datos del Ayuntamiento de Madrid

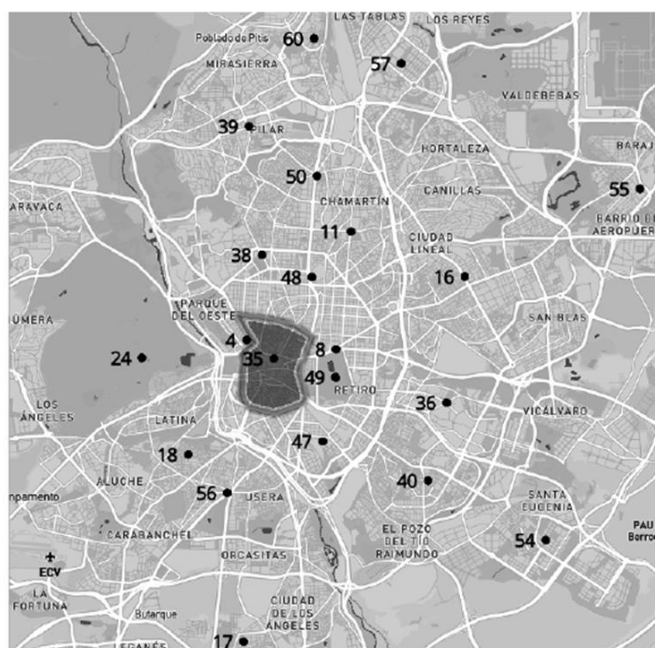
El registro alcanzado en 2019 fue por primera vez holgadamente inferior al Valor

Límite Anual VLA de NO₂, y se trata del valor medio anual de NO₂ más bajo registrado en esa estación al menos desde el año 2000. (Bárcera, 2020)

Los valores registrados en Plaza del Carmen en 2019 fueron inferiores al VLA de NO₂, 8 de los 12 meses del año, algo que no había ocurrido nunca antes y hubo 6 meses (abril-junio y octubre-diciembre) en que los valores de 2019 fueron inferiores a los registros correspondientes a los mismos meses de los 9 años anteriores.

Para los datos de calidad del aire y niveles de ruido se tomaron los valores registrados por la estación Plaza Del Carmen, única estación de la red ubicada dentro del perímetro de Madrid Central. Su ubicación que se muestra a continuación.

Ilustración 18 Ubicación de sensores de medición en la ciudad de Madrid

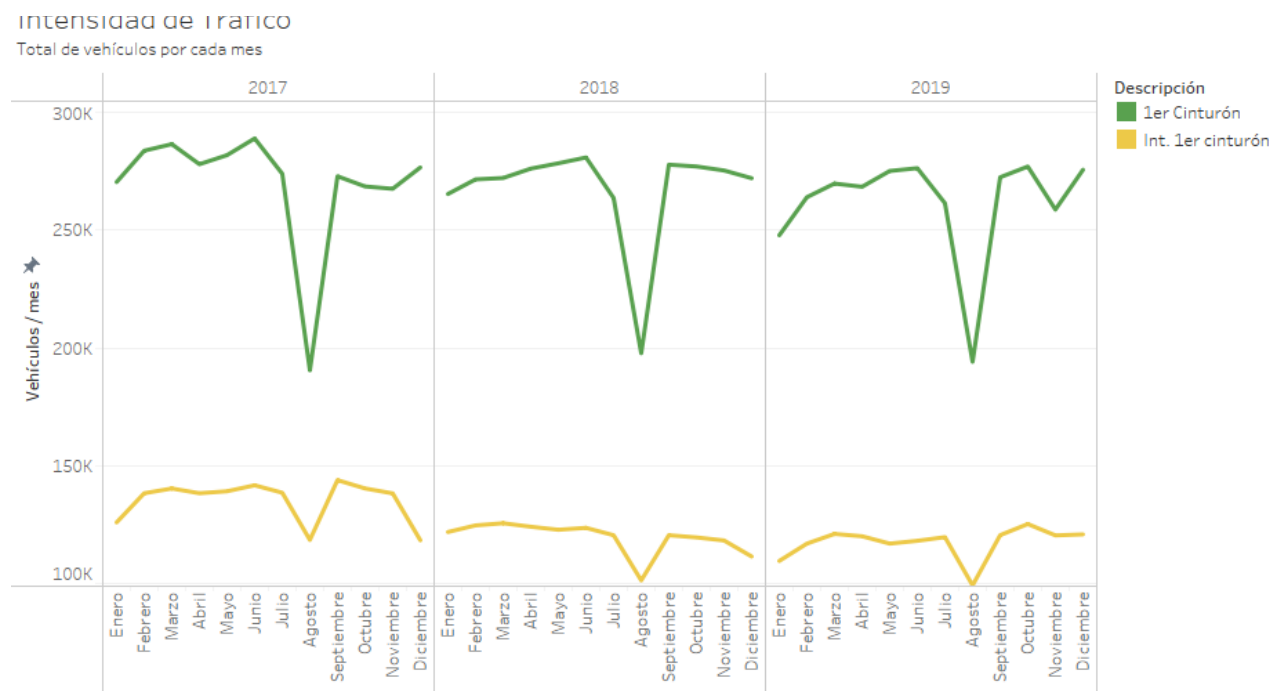


Sensor id.	Sensor location
4	Pza. de España
8	Escuelas Aguirre
11	Avda. Ramón y Cajal
16	Arturo Soria
17	Villaverde
18	Farolillo
24	Casa de Campo
35	Pza. del Carmen
36	Moratalaz
38	Cuatro Caminos
39	Barrio del Pilar
40	Vallecas
47	Mendez Alvaro
48	Castellana
49	Parque del Retiro
50	Plaza Castilla
54	Ensanche de Vallecas
55	Urb. Embajada
56	Pza. Elíptica
57	Sanchinarro
58	El Pardo
60	Tres Olivos

Nota: Tomado de *Using Smart City Tools to Evaluate the Effectiveness of a Low Emissions Zone in Spain: Madrid Central* (Irene Lebrusán 1, Jamal Toutouh)

Cabe anotar que las estaciones cercanas a Madrid Central como Plaza de España, Escuelas Aguirre y Retiro, también tuvieron resultados positivos dada la reducción en los valores medios anuales de NO₂.

Ilustración 19 Tablero indicador Intensidad de Tráfico



La tendencia de suma de Valor medio para Mes desglosada por Año año. El color muestra detalles acerca de Descripción. Los datos se filtran en Tipo de indicador y Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes). El filtro Tipo de indicador conserva Intensidad de Tráfico. El filtro Acción (AÑO(Año),Descripción,Mes) conserva 432 miembros. La vista se filtra en Mes, lo que conserva 12 de 12 miembros.

Nota: Imagen de elaboración propia en herramienta de visualización *Tableau*

En este gráfico se muestran los registros de vehículos/mes para los años 2017, 2018 y 2019.

La ciudad tiene una dinámica clara de reducción de tráfico para los meses de verano, especialmente para el mes de agosto, donde es común que la población que reside en la ciudad se desplace a otros lugares del país.

Es fácil notar la disminución en el total de vehículos a partir del año 2018 dentro y fuera del primer cinturón de circulación de la ciudad.

Como en muchos otros países, la pandemia por COVID-19 alteró el comportamiento normal de las ciudades, por lo que este año no se tomó como referencia para analizar los resultados de la zona de bajas emisiones Madrid Central, sin embargo, a pesar de ser el primer año, para el 2019 hubo resultados positivos de esta medida.

La finalidad de esta visualización es que sea interactiva y sea publicada para la ciudadanía en general.

7. Conclusiones

- Las herramientas de visualización de datos son aún poco exploradas en la cotidianidad, sin embargo, son útiles para que la ciudadanía entienda y se pueda apropiarse de la información, haciendo énfasis también en la situación actual donde más personas están conectadas en la virtualidad en busca de información lo que hace más fácil su divulgación.
- El acceso a la información de ambas ciudades es relativamente sencillo, pues la ciudad de Medellín cuenta con diferentes bases de datos (MEData, Observatorio, SIATA) donde se puede encontrar mediciones e información importante para la ciudadanía; La ciudad de Madrid cuenta también con un portal de *Open Data* administrado por el ayuntamiento de Madrid, sin embargo, la comprensión de estos datos se hace compleja, lo que la convierte en información de difícil disposición. Se espera que la publicación de datos en la herramienta de visualización Tableau facilite la apropiación de la ciudadanía de la información, en especial la concerniente al proyecto ZUAP.
- Tras la aplicación de la zona de bajas emisiones Madrid Central, los registros en las estaciones de medición de calidad del aire pueden considerarse muy positivos en comparación con los de años anteriores, en cuanto a las mediciones en la estación Plaza del Carmen, estación ubicada dentro del perímetro de Madrid Central, para el contaminante Dióxido de Nitrógeno NO₂ (contaminante de referencia para calidad del aire en la Unión Europea), en el año 2019 se tuvo un registro de 34.6 µg/m³ valor medio anual, primera vez que la estación marca un valor holgadamente inferior al Valor Límite Anual de NO₂ (40 µg/m³) y se trata también del valor medio anual de NO₂ más bajo registrado en esa estación desde el año 2000. En definitiva, en 2019, a pesar de contar con una meteorología muy adversa en los meses de enero y febrero, que llevaron aplicación del protocolo anti-contaminación durante 14 días, se registraron sensiblemente menos superaciones del valor límite horario de NO₂ (200 µg/m³) que en años anteriores. (Bárcera, 2020)
- En cuanto al componente social, la medida de restricción de tráfico tuvo acuerdos y desacuerdos entre la ciudadanía y los gobiernos entrantes, a tal punto que se pensó en abolir el proyecto (efecto Almeida. Bárcera, 2020) sin embargo, tras los resultados presentados en 2019, no sólo en las mediciones de contaminantes como partículas PM 2.5, PM 10 y NO₂ que presentaron una reducción con respecto a las mediciones de años anteriores, sino también en los registros de contaminación acústica (niveles de ruido) e intensidades de tráfico el 1er cinturón de circulación² y en su interior los cuales tuvieron también una reducción significativa, la medida tuvo una mayor aceptación y evolución, pues además de la restricción del tráfico de paso por el centro de la ciudad, se dio entrada a Madrid 360, estrategia dentro de la cual se creó

la Línea Cero, primera línea de autobús gratuita que recorre el distrito Centro en sentido norte - sur y este – oeste, además del cierre total de circulación vehicular para la peatonalización de la Puerta de Sol, principal destino en distrito centro (Ayuntamiento de Madrid, 2021), además de peatonalizaciones en otras importantes vías.

- Ya que ambos proyectos nacieron de la misma necesidad de disminuir la concentración de partículas que perjudican la calidad del aire y son procedentes del sector transporte, inicialmente en el centro de la ciudad y se espera después migre a más sectores, al analizar resultados y comprobar la efectividad que han tenido estas medidas en la ciudad de Madrid, se espera que las estrategias aplicadas en ZUAP sean igualmente efectivas y pertinentes, teniendo en cuenta que las medidas se adaptan al contexto de la ciudad de Medellín y sus diferencias con la ciudad de Madrid.

Referencias bibliográficas

1. United Nations: World Urbanization Prospects: The 2018 Revision: key facts. (2018).
<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts>.
2. Alcaldía de Medellín: Resolución metropolitana N° 00-002231 de 2018.
3. Boletín Oficial del Estado BOE Núm. 25 de 29 de enero de 2011. Pág. 9574 – 9626. Ministerio de la presidencia, España. 2011.
4. Alcaldía de Medellín (2020). Zona Urbana de Aire Protegido
<https://www.medellin.gov.co/movilidad/gerencia-de-movilidad-humana/zona-urbana-de-aire-prottegido-medellin>.
5. Ayuntamiento de Madrid (2017). Plan A de Calidad del aire y Cambio climático. 2017.
6. Ayuntamiento Madrid Capital: Madrid Central (2018)
<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Madrid-Central-Zona-de-Bajas-Emisiones>.
7. Tableau: Guía de visualización de datos. (2021)
8. Vargas, Ferney. (2019). *Análisis del impacto en el medio ambiente de los gases efecto invernadero generados por el sector transporte*. Universidad de Santiago de Cali.
9. Bárcera, Juan. (2020). *Balance del efecto de Madrid Central sobre la calidad del aire de Madrid en 2019*. Comisión de movilidad sostenible de Ecologistas en Acción de Madrid.
10. Ayuntamiento de Madrid: *Avance en la Estrategia de Movilidad Ambiental Madrid 360*. Pdf (2021).

<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/MADRID-360-la-estrategia-para-cumplir-con-los-objetivos-de-calidad-del-aire-de-la-Union-Europea/>

11. Lebrusán I., Toutouh J. (2020) *Assessing the Environmental Impact of Car Restrictions Policies: Madrid Central Case*. Nesmachnow S., Hernández Callejo L. (eds) Smart Cities. ICSC-CITIES 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1152. Springer, Cham.
12. Lebrusán I., Toutouh J. (2020) *Using Smart City Tools to Evaluate the Effectiveness of a Low Emissions Zone in Spain: Madrid Central*. DOI:10.3390/smartcities3020025. Pág. 1 – 23.
13. Ayuntamiento de Madrid (2021). Banco de datos
<http://www-2.munimadrid.es/CSE6/jsps/menuBancoDatos.jsp>
14. Universidad Pontificia Bolivariana, Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2018). *Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá*. Pág. 1 - 105
15. Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2017). *Material informativo de aire*.
<http://www.metropol.gov.co/Pages/aire.aspx>.
16. Aguiar David, Calle J.M, Hernández Diego, González J. L. (2017). *Medellín y su calidad del aire*. Escuela internacional de desarrollo sostenible. Pág. 1 – 13.

¹ En 2015, un informe de la Organización Mundial de la Salud subrayó la apremiante necesidad de reducir las emisiones de carbono negro, ozono y metano, todos ellos denominados contaminantes climáticos de vida corta, no solamente por provocar un aumento considerable de la temperatura del planeta, sino por su importante contribución a las muertes prematuras anuales vinculadas a la contaminación del aire. (Alcaldía de Medellín, 2020)

² El primer cinturón de circunvalación o paseo de ronda de Madrid, o M-10, es un conjunto de vías urbanas que rodean al casco antiguo de Madrid (distrito Centro).

Anexos

- Indicadores Madrid Central (.xlsx)
- Indicadores ZUAP (.xlsx)