



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE EMISIÓN EN
ESTUDIOS DE MOVILIDAD SOSTENIBLE A TRAVÉS DEL
APLICATIVO APPIMOTION**

Autor

Karolayn Velásquez Velásquez

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020**



IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE EMISIÓN EN ESTUDIOS DE MOVILIDAD
SOSTENIBLE A TRAVÉS DEL APLICATIVO APPIMOTION

Karolayn Velásquez Velásquez

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Asesores (a)

Laura Castro Gómez. Ingeniera Civil

Hernán Darío González Zapata. Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020.



CONTENIDO

1. RESUMEN.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	6
3.1 General:.....	6
3.2 Específicos:.....	6
4. MARCO TEÓRICO.....	7
4.1 Efecto invernadero:.....	7
4.2 Contaminación atmosférica.....	9
4.3 Modelo COPERT (Computer programme to calculate Emissions from Road Transport).....	12
4.4 Solución de Movilidad Sostenible AppiMotion.....	13
5. METODOLOGÍA.....	15
5.1 Diagnóstico.....	15
5.2 Investigación.....	15
5.3 Ejecución y presentación del programa.....	15
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	16
6.1 Diagnóstico inicial.....	16
6.2 Cálculo de velocidades.....	16
6.3 Factores de emisión calculados.....	18
7. CONCLUSIONES.....	21
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

IMPLEMENTACIÓN DE INDICADORES DE EMISIÓN EN ESTUDIOS DE MOVILIDAD SOSTENIBLE A TRAVÉS DEL APLICATIVO APPIMOTION

1. RESUMEN

La solución de Movilidad Sostenible AppiMotion, nació con el fin de ayudar a las empresas a cumplir con la reglamentación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá sobre los Planes de Movilidad Empresarial Sostenible (PMES), realizando estimaciones de CO₂, PM_{2.5} y NO_x para cada desplazamiento que realizan sus empleados, esto con el fin de realizar un seguimiento de las estrategias de reducción de emisiones y así cumplir los objetivos propuestos en el plan.

Frente a las problemáticas ambientales que se presentan en la actualidad, fue importante proponer, para la solución AppiMotion, otros indicadores ambientales que son muy relevantes tanto para el ambiente como para la salud humana; por lo tanto, se realizó una búsqueda para anexarle a la aplicación nuevos factores de emisión para gases emitidos en el proceso de combustión como: Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxido Nitroso (N₂O). El Modelo Copert fue la solución a dicha búsqueda, ya que trae consigo ecuaciones para cada factor de emisión de los gases mencionados, dependiendo directamente de la velocidad promedio de los modos de transporte, información obtenida de las bases de datos de AppiMotion del año 2019.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el modelo energético mundial adoptó la quema de combustibles fósiles como su principal fuente, dicha actividad, produce grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y emisiones de gases contaminantes, generando a su vez, consecuencias nocivas para el ambiente y para el ser humano. (Laverón, 2017)

Estas actividades antrópicas son causantes de muchas de las emisiones que llegan a la atmósfera, generando un desequilibrio en el sistema. Debido a esto, es importante regular dichas acciones si queremos controlar las consecuencias que se pueden ocasionar. (Laverón, 2017)

En el Valle de Aburrá, el 91% de las emisiones que se generan son debidas a fuentes móviles, y de dichos trayectos el 68% son desplazamientos entre la casa y el trabajo (AMVA, UPB; 2019), por lo tanto, la autoridad ambiental competente (Área Metropolitana del Valle de Aburrá) mediante la Resolución 1379 de 2017, exige a todas

las empresas con más de 200 empleados directos e indirectos, la creación de un plan empresarial de movilidad sostenible que incentive a los empleados a utilizar modos de transporte sostenible y reduzca las emisiones de GEI producidas por sus desplazamientos, en un 10% el primer año y 20% el segundo año.

Por su parte, AppiMotion es una solución de movilidad sostenible, que nace con el fin de apoyar a las organizaciones en el cumplimiento de dicha normativa, calculando las emisiones generadas, el combustible gastado y el tiempo de recorrido de sus empleados en cada desplazamiento, dando incentivos a quienes se movilicen de una forma más sostenible. Así mismo, es necesario que dicha plataforma esté actualizada para brindar resultados más precisos a quienes hacen uso de ella, para que las organizaciones tomen decisiones óptimas y logren cumplir con lo propuesto ante la autoridad ambiental, creando así una cultura más sostenible en sus trabajadores.

Para enriquecer la aplicación, se calcularon los factores de emisión de los contaminantes: Dióxido de Azufre (SO_2) y Monóxido de Carbono (CO) y Gases de Efecto Invernadero: Óxido Nitroso (N_2O) y Metano (CH_4), a través del modelo de emisiones vehiculares COPERT y estudios realizados por la Agencia Ambiental Europea (EEA por sus siglas en inglés), con la finalidad de conocer que otros indicadores inciden en la atmósfera y en la salud humana de forma local y global.

3. OBJETIVOS

3.1 General:

Generar para la solución de movilidad sostenible AppiMotion, nuevos indicadores de sostenibilidad vinculados al transporte utilizados en el mundo, ajustándolos a la normatividad colombiana.

3.2 Específicos:

- Realizar un diagnóstico del estado inicial de la solución de movilidad sostenible AppiMotion revisando los indicadores que ésta evalúa.
- Realizar una búsqueda bibliográfica sobre indicadores de sostenibilidad asociados a la movilidad, utilizados a nivel nacional e internacional.
- Capacitar al personal de AppiMotion y sus empresas aliadas, sobre los indicadores propuestos y su importancia.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Efecto invernadero:

El Efecto Invernadero es un fenómeno natural de carácter global que permite al planeta mantener condiciones necesarias para albergar la vida. Dicho efecto permite que la radiación que refleja la tierra se mantenga en la atmósfera en una proporción tal que la temperatura media sea de 15°C; si dicho proceso no se realiza, la temperatura media global sería -18°C (Sostenibilidad, sf). Si los gases que permiten el desarrollo de dicho efecto aumentan su concentración, la atmosfera retendría más radiación de la necesaria, aumentando a su vez la temperatura de la tierra, siendo este principal precursor del cambio climático. (WWF, sf)

4.1.1 Dióxido de carbono (CO₂): Es el principal gas de efecto invernadero abarcando las tres cuartas partes de las emisiones de GEI, puede permanecer en la atmósfera durante millones de años. (Núñez; sf). Las emisiones de CO₂ provienen principalmente de la quema de materiales orgánicos; carbón, petróleo, gas, madera y desechos sólidos. (Núñez; sf)

CO₂ in the atmosphere and annual emissions (1750-2019)

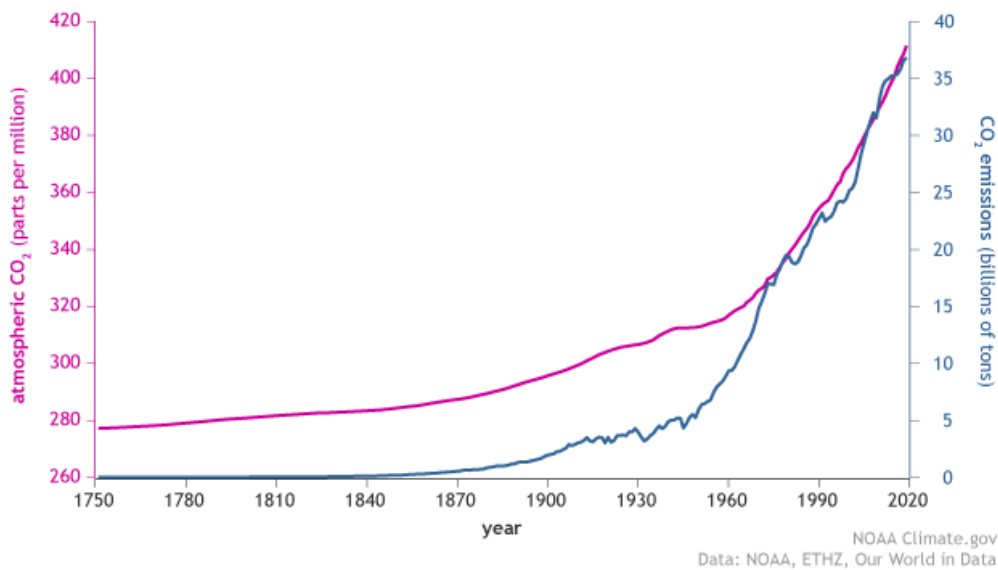
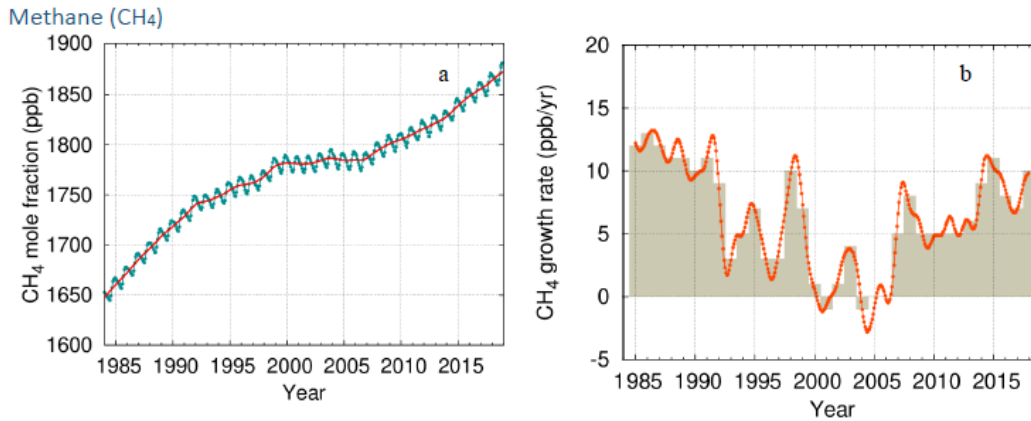


Gráfico 1. CO₂ en la atmósfera y emisiones anuales (1750-2019). Fuente: Climate.gov

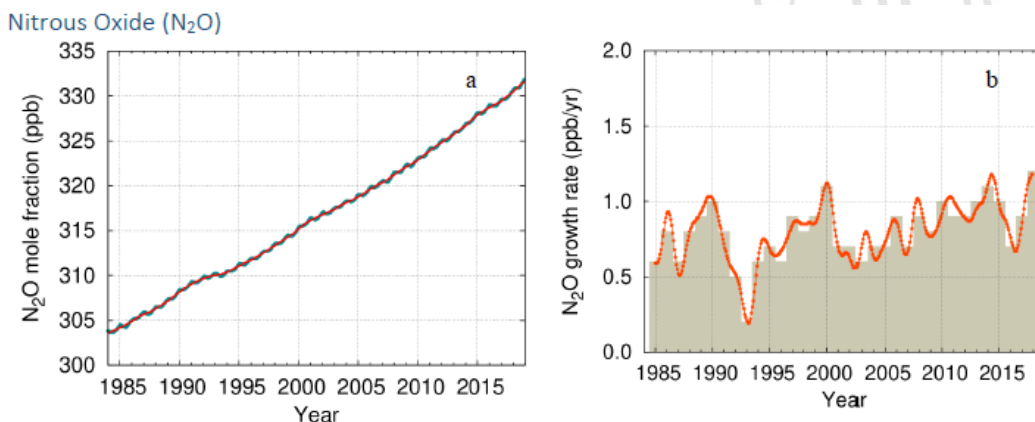
En la actualidad, los niveles de CO₂ superan las 400 ppm siendo este el valor más alto tomando como referencia los últimos 800.000 años. (Lindsey, 2020)

4.1.2 Metano (CH₄): Es el principal componente del gas natural, este se libera de los vertederos, las industrias de gas natural, el petróleo, la agricultura y la ganadería. (Núñez, s.f). Representa alrededor del 16% de todas las emisiones de GEI. (Núñez, s.f)



El crecimiento de Metano del 2017 al 2018 fue el mayor registrado en la última década alcanzando valores de 1869 ppb (partes por billón). (WMO, 2019)

4.1.3 Óxido Nitroso (N₂O): La ocupación que tiene dicho gas en la totalidad de las emisiones mundiales de GEI, es relativamente pequeña aproximadamente del 6%. Se genera gracias a la agricultura, ganadería, creación de fertilizantes, estiércol y la quema de combustibles fósiles. (Núñez, s.f)



La concentración de Óxido Nitroso para el 2018 fue de 331,1 ppb (partes por billón) siendo 123% mayor a los niveles preindustriales; además el aumento entre 2017 a 2018 fue mayor al promedio de la última década. (WMO, 2019)

4.1.4 Gases fluorados: Los hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, clorofluorocarbonos, hexafluoruro de azufre (SF₆) y trifluoruro de nitrógeno (NF₃) tienen un potencial para atrapar calor miles de veces mayor que el CO₂ y permanecen en la atmósfera durante cientos o miles de años (Núñez, s.f). Dichos gases son emitidos en los procesos de fabricación de aluminio, magnesio, electrónica y equipos de transmisión y distribución eléctrica, además de las fugas que se presentan durante el llenado, uso y servicio de los equipos de transmisión y distribución eléctrica que utilizan SF₆ para el aislamiento eléctrico. (USEPA, s.f)

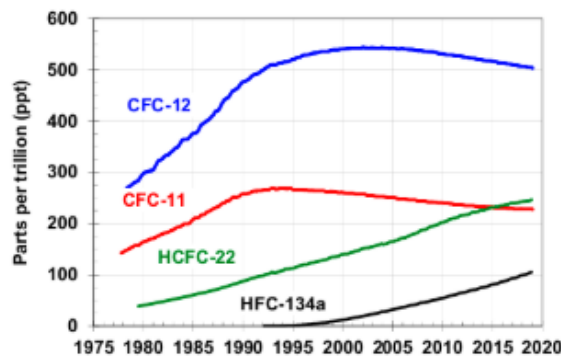


Gráfico 4. Crecimiento gases fluorados. Fuente: NOAA

4.1.5 Vapor de agua: Es el gas de efecto invernadero más abundante de la tierra, pero tiene una corta duración en la atmósfera, ya que puede precipitar en forma de nieve o lluvia. (Pérez, 2019)

4.1.6 Potencial de calentamiento global: El potencial de calentamiento global (PCG), es una medida del impacto climático de los diferentes GEI en comparación con el dióxido de carbono en un horizonte de tiempo que, por convención, suele ser de cien años (Tabla 1). Los GEI tienen diferentes valores de PCG dependiendo de su eficiencia para absorber la radiación de calor (onda larga), su tiempo de permanencia en la atmósfera y la cantidad de gas emitido. (GHG Protocol, 2016).

Nombre común	Fórmula química	PCG para un horizonte de 100 años
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido nitroso	N ₂ O	265

Tabla 1. Valores de PCG de diferentes GEI. Fuente: GHG Protocol

4.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de partículas o productos gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y

animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente (IDEAM, sf). Los principales medios por los cuales se produce contaminación son aquellos en los que se realice quema de combustibles fósiles como el uso de vehículos que generen combustión para su funcionamiento. En el Valle de Aburrá, el 91% de las emisiones se deben a fuentes móviles (AMVA, UPB; 2019), donde el crecimiento del parque automotor ha sido del 229% desde el 2005 con un total de 1'550.973 vehículos al 2018. (AMVA, UPB; 2019)

4.2.1 Material particulado (PM10, PM2,5): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 y 2,5 micrómetros nominales respectivamente (MinAmbiente, 2010). Este contaminante primario es generado por la combustión ineficiente de combustibles fósiles, siendo de mayor precursor la combustión de Diesel (Gaviria et al., 2011), por explotaciones agrícolas y de construcción, desechos industriales y por la demolición de estructuras (Mabahwi et al., 2014). En vías sin pavimento, por la erosión del viento en áreas desnudas y secas. (Parra, 2014)

En la Tabla 2 se describen los niveles máximos permisibles en unidades de ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el material particulado en Colombia según la Resolución 2254 de 2017, que establece los niveles máximos de inmisión las cuales se basan en unos valores guía establecidos por la OMS.

Contaminante	Nivel Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
PM 10	50	Anual
	75	24 horas
PM 2,5	25	Anual
	37	24 horas

Tabla 2. Niveles máximos permisibles material particulado. Fuente: Resolución 2254/2017

4.2.2 Monóxido de Carbono (CO): Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles. (MinAmbiente, 2010). Los motores de los vehículos contribuyen con aproximadamente 60% de las emisiones globales de CO, por lo que los más altos niveles de este compuesto se encuentran en las ciudades que presentan altos flujos vehiculares. Otras fuentes de emisión de CO incluyen procesos industriales, quema de madera y fuentes naturales como los incendios forestales. Estufas de leña y de gas, humo de cigarrillos y calentadores de gas y keroseno sin ventilación son fuentes de CO en ambientes interiores. (Parra, 2015)

En la Tabla 3 se describen los niveles máximos permisibles en unidades de ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el Monóxido de Carbono en Colombia según la Resolución 2254 de 2017.

Contaminante	Nivel Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
CO	5000	8 horas
	35.000	1 hora

Tabla 3. Límites máximos permisibles Monóxido de Carbono. Fuente: Resolución 2254/2017

4.2.3 Ozono (O_3): Gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar (MinAmbiente, 2010). Su proceso de formación comienza con la emisión de NO_2 por procesos de combustión y quema de hidrocarburos, que, en la atmósfera junto con la luz solar, moléculas de oxígeno y COVs (contaminantes orgánicos volátiles), se realiza una reacción química formando O_3 . (IDEAM, 2012)

En la Tabla 4 se describen los niveles máximos permisibles en unidades de ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el Ozono en Colombia según la Resolución 2254 de 2017.

Contaminante	Nivel Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
O_3	100	8 horas

Tabla 4. Límite Máximo permisible Ozono. Fuente: Resolución 2254/2017

4.2.4 Óxidos de Azufre (SO_x): Los óxidos de azufre se encuentran en la atmósfera principalmente como dióxido de azufre (SO_2), trióxido de azufre (SO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4); estos contaminantes disminuyen la visibilidad debido a que son buenos núcleos de condensación; el dióxido de azufre tiene la capacidad de disolverse en agua para formar ácidos e interactuar con otros gases, siendo precursor de la lluvia ácida y de partículas secundarias como los sulfuros que ocasionan problemas en la salud y el medio ambiente. (Hernández, 2017)

En la normativa colombiana, existe límites máximos permisibles para el dióxido de azufre (Tabla 5) ya que este se encuentra en la atmósfera en mayores concentraciones y es altamente nocivo para la salud.

Contaminante	Nivel Máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
SO_2	50	24 horas
	100	1 hora

Tabla 5. Límites máximos permisibles Dióxido de Azufre. Fuente: Resolución 2254/2017

4.2.5 Óxidos de Nitrógeno (NO_x): Los NO_x son un grupo de gases altamente reactivos que juegan un papel importante en la formación de ozono. La mayoría de los óxidos de nitrógeno son incoloros e inodoros, sin embargo, el NO_2 junto con partículas en el aire puede frecuentemente ser visto como una capa de color marrón rojizo sobre muchas

áreas urbanas lo que se conoce como "smog fotoquímico". Los óxidos de nitrógeno se forman cuando un combustible es quemado a altas temperaturas, como en un proceso de combustión, es por esto por lo que las fuentes primarias de NO_x son los motores de los vehículos, las centrales eléctricas y otras fuentes industriales, comerciales y residenciales que queman combustibles. (Parra, 2015).

Al igual que el SO₂, en la normativa colombiana el límite máximo permisible estipulado, corresponde al NO₂ (Tabla 5) que se encuentra consagrado en la Resolución 2254 de 2017.

Contaminante	Nivel Máximo permisible (µg/m ³)	Tiempo de exposición
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora

Tabla 6. Límites máximos permisibles Dióxido de Carbono. Fuente: Resolución 2254/2017

4.3 Modelo COPERT (Computer programme to calculate Emissions from Road Transport)

Es una herramienta computacional utilizada en el mundo para calcular emisiones de gases de efecto invernadero, contaminantes atmosféricos y compuestos tóxicos del sector transporte durante su ciclo de conducción. (EEA, 2011). Fue creada por la Agencia Ambiental Europea (EEA por sus siglas en inglés) como estrategia de mitigación del cambio climático. Desde su creación, han realizado 5 versiones de dicho software.

El modelo COPERT trae consigo factores de emisión de más de 240 tipos de vehículos divididos en 4 categorías principales:

- Vehículos de pasajeros
- Vehículos ligeros
- Vehículos pesados (incluidos autobuses)
- Mopeds y motocicletas

Los factores de emisión que registra dicho modelo están expresados en ecuaciones que relacionan las emisiones que genera un vehículo con su velocidad media de circulación (CONAMA, 2009)

Categoría	Contaminante	Factor Emisión (gr/km)
Vehículos particulares livianos sin convertidor catalítico. (sin normas de emisión)	PM10	0.019
	CO	$0.0203*V^2-2.2662*V+77.661$
	HCT	$11.589*V^{-0.5595}$
	NO _x	$9.5*10^{-6}*V^3-0.0016*V^2+0.0738*V+1.2586$
Taxis sin convertidor catalítico (sin normas de emisión)	SO ₂	(1)
	CO ₂	(2)
	CH ₄	$3.31*10^{-5}*V^2-0.00573*V+0.268$
	N ₂ O	0.005
	NH ₃	0.002
	CC	$595.76*V^{-0.534}$

Imagen 1. Factores de emisión Modelo Copert. Fuente: CONAMA

4.4 Solución de Movilidad Sostenible AppiMotion

AppiMotion es una solución de movilidad sostenible que apoya a las organizaciones a reducir sus emisiones a través de incentivos a los empleados por el uso de modos de transporte sostenibles, y la creación de una cultura empresarial enfocada en la sostenibilidad (Sistemas Inteligentes en Red, s.f.). Además, esta les brinda a las empresas clientes una serie de alternativas para cumplir con la regulación propuesta por el Área Metropolitana, estas son:

Ofrece un análisis del estado inicial de la movilidad empresarial de la organización definiendo así una línea base para la creación de estrategias acordes a las necesidades de reducción.

Brinda una plataforma de seguimiento con reportes predefinidos entre ambas partes según la necesidad del cliente.

Aplicativo móvil: La herramienta ofrece a los empleados de la organización registrar sus viajes en una plataforma móvil donde se debe indicar el lugar de origen y destino, y medio en el cual se va a movilizar (caminata, bicicleta, carro, carro eléctrico, carro a gas, Carpooling, motocicleta, ruta empresarial, transporte público y transporte masivo). La aplicación le brinda al usuario información de indicadores ambientales como son las emisiones de CO₂ y PM 2,5 que se generarían según el modo a utilizar, además del combustible utilizado, el costo estimado, distancia y tiempo de recorrido.

Por cada viaje que sea entre el trabajo y la casa, cada usuario gana una serie de puntos que dependen del modo de transporte utilizado y estos se redimen en un tiempo establecido. (Sistemas Inteligentes en Red, s.f.)

Además, AppiMotion cuenta con un servicio de optimización de rutas empresariales de acuerdo con las necesidades que cuente la empresa. De no contar con dicho modo, si se cree necesario, se dispone la creación de una con un previo estudio de movilidad. (Sistemas Inteligentes en Red, s.f.)

El seguimiento es indispensable para el cumplimiento de los objetivos propuestos en los Planes MES, por lo tanto, se hace un seguimiento a las estrategias utilizadas y proponen nuevas para alcanzar la meta definida por cada organización.



5. METODOLOGÍA

Se decidió abordar la metodología en una serie de etapas que se ejecutaron durante la práctica académica.

5.1 Diagnóstico

Inicialmente, se realizó una revisión de la solución AppiMotion donde se identificó los indicadores ambientales que se estaban utilizando y su metodología de cálculo.

5.2 Investigación

Se realizó una búsqueda bibliográfica con el fin de identificar metodologías de cálculo para otros indicadores ambientales y el Modelo COPERT desarrollado por la Agencia Ambiental Europea, fue el indicado ya que relaciona diferentes factores de emisión con la velocidad promedio de algún vehículo en específico.

Para conocer que velocidad utilizar en las fórmulas del modelo, se consultó las bases de datos de AppiMotion del 2019, donde por cada empresa cliente, hay valores de: Viajes realizados por todos los empleados, tiempo del desplazamiento, modo de transporte y distancia recorrida; y teniendo la distancia y el tiempo es posible calcular la velocidad promedio.

5.3 Ejecución y presentación del programa

Se realizó una presentación de los resultados al comité técnico, equipo comercial y de comunicaciones del programa, con el fin de dar a conocer la importancia que tienen los indicadores hallados y resaltar las semejanzas y diferencias de cada uno.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Diagnóstico inicial

AppiMotion como solución de movilidad sostenible para las empresas que deban realizar un Plan MES, tiene dentro de sus indicadores ambientales el cálculo de CO₂, PM_{2,5} y NO_x, lo anterior mediante una serie de etapas.

1. Se realiza una encuesta diagnóstico a las empresas clientes con el fin de obtener una línea base de los indicadores a medir.
2. Mediante la aplicación móvil, los usuarios registran diariamente el lugar al cual se va a movilizar y el modo de transporte y, automáticamente, la aplicación le proporciona el costo estimado, la distancia, tiempo promedio, combustible utilizado y emisiones de CO₂, PM_{2,5} y NO_x generadas.
3. Para el cálculo de CO₂, PM_{2,5} y NO_x se utilizan los factores de emisión obtenidos del Inventario de Emisiones Atmosféricas realizado por el Área Metropolitana junto con la Universidad Pontificia Bolivariana (Año base 2016).
4. Al obtener la información anterior de todos los usuarios de la empresa durante todo el mes, se calcula el valor promedio per cápita y el valor diario total empleados, esto con el fin de comparar con los diferentes meses.

6.2 Cálculo de velocidades

Para el cálculo de las velocidades promedio, se tuvo en cuenta las bases de datos de AppiMotion para el 2019. Dichos valores tienen algunas inconsistencias que se debieron modificar para que no afecte los resultados, por lo tanto, se realizó varias suposiciones teniendo en cuenta las encuestas de diagnóstico realizadas a cada una de las empresas.

1. Se debió depurar los viajes que no se realizaron en ocasión de trabajo, esto teniendo en cuenta el sistema de puntos que el programa le otorga al empleado cuando finaliza el viaje.
2. Se debió distribuir los modos de transporte para poder realizar las suposiciones que conciernen directamente a un modo en específico. (Caminata, Bicicleta, Ruta empresarial, Carro, Transporte público, Carpooling, Motocicleta, Transporte Masivo, Teletrabajo, Carro a Gas, Carro Eléctrico).

Según las encuestas diagnóstico, los tiempos de viaje promedio no superan los 90 minutos ni son menores a 5 minutos, por lo tanto, si existe un valor que no se encuentra en ese intervalo, se toma el promedio de la encuesta diagnóstico. Para las distancias, tampoco hay registro que los empleados vivan a una distancia superior a los 50 km, por lo tanto, si existen valores superiores, se toma la distancia correspondiente de la casa del empleado a la sede central, valor hallado a partir de las direcciones obtenidas de la encuesta.

3. Teniendo los valores modificados, se calculó la velocidad por cada uno de los modos y ese valor se incluyó en las ecuaciones del modelo (imagen 1) para obtener los factores de emisión correspondientes.

Realizando los ajustes relatados anteriormente, se obtuvieron los siguientes valores:

Velocidad promedio (km/h)			
Carro	Moto	Transporte público	Ruta empresarial
21	22	18	21

Tabla 7. Velocidades promedio. AppiMotion

Se validó con la velocidad promedio de la ciudad de Medellín en horas con mayor afluencia de vehículos (corresponde al ingreso y salida de los empleados) obtenida del observatorio de movilidad de Medellín (imagen 5), donde el valor promedio (22,35 km/h) es muy cercano a las velocidades halladas con las bases de datos de AppiMotion, por lo cual, estas pueden ser utilizadas en las ecuaciones mencionadas para el cálculo de los factores de emisión.



Imagen 2. Velocidades promedio horas de alta afluencia vehicular Fuente: Observatorio de Movilidad Medellín

6.3 Factores de emisión calculados

Se definió calcular los factores de emisión tanto para el Monóxido de Carbono como para el Metano, Oxido Nitroso y Dióxido de azufre; ya que estos se producen en procesos de combustión y se encuentran en gran concentración en la atmósfera gracias a procesos naturales y por actividades productivas que se realizan, pudiendo traer consigo consecuencias tanto para la salud humana como influir en el cambio climático.

En la imagen 1, se pudo observar que las ecuaciones utilizadas en el Modelo Copert, se utilizan para el cálculo de los factores de emisión tanto de Monóxido de Carbono (CO), como de Metano (CH₄) y Óxido Nitroso (N₂O).

Para el cálculo del factor de emisión del Dióxido de Azufre (SO₂), se asume que todo el azufre que hay presente en el combustible, se transforma en dicho gas, por lo tanto, se utiliza la siguiente ecuación obtenida de la Agencia Ambiental Europea:

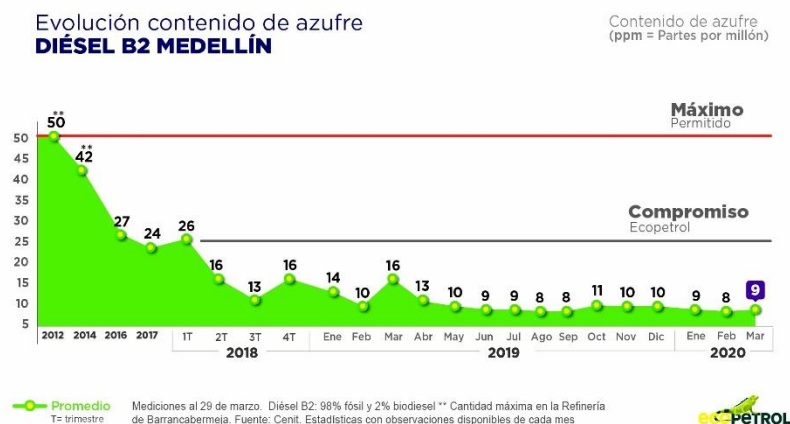
$$E_{SO_2,m} = 2 \times k_{s,m} \times FC_m$$

where:

- $E_{SO_2,m}$ = emissions of SO₂ per fuel m [g],
- $k_{s,m}$ = weight related sulphur content in fuel of type m [g/g fuel],
- FC_m = fuel consumption of fuel m [g].

Imagen 3. Cálculo de factor de emisión Dióxido de Azufre. Fuente: European Environmental Agency

Para el cálculo del factor de emisión del SO₂, se necesita la cantidad de azufre existente en el combustible (imagen 4), y el consumo de combustible se obtiene en las ecuaciones mencionadas en la imagen 1.



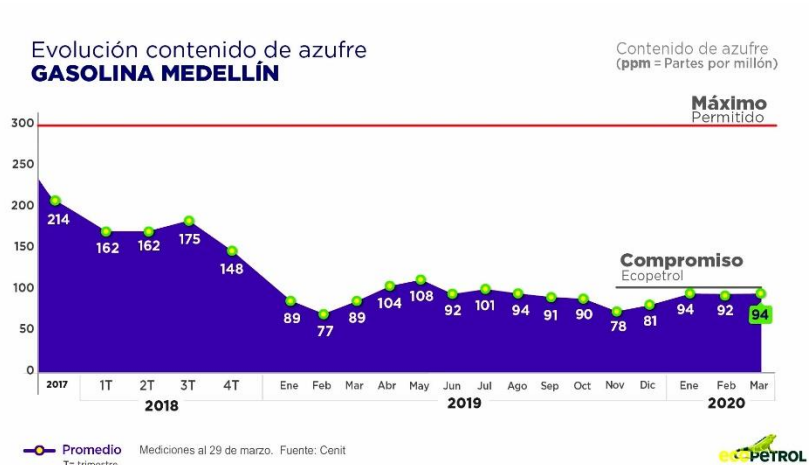


Imagen 4. Cantidad de Azufre contenido en Gasolina y en Diésel. Fuente: Ecopetrol

Teniendo en cuenta la información brindada en la imagen 4, se decidió utilizar la cantidad de azufre actual presente en el combustible de Medellín, siendo este de 9 ppm (partes por millón) para el Diésel y 94 ppm para la gasolina.

Con las velocidades promedio halladas (Tabla 7), se procedió a calcular los factores de emisión correspondientes a cada modo de transporte, teniendo como resultado los siguientes valores:

Factores de emisión (g/km)					
Indicador	Carro	Carro Diesel	Moto	Transporte público	Ruta empresarial
CO	2,2	0,9	8,4	0,13	0,13
CH4	0,1	4,3	0,2	0,004	0,005
N2O	0,053	0,027	0,0020	0,0012	0,0012
SO2	0,021	0,001	0,007	0,003	0,003

Tabla 8. Factores de emisión calculados

Se realizó una validación entre factor de emisión para el cálculo de NO_x del Modelo Copert con los valores utilizados actualmente en AppiMotion, que corresponde a los factores utilizados en el inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Tabla 9). La variación porcentual entre ambos es menor a ± 0.5 en la mayoría de los casos, haciendo que los cálculos de los demás indicadores puedan ser válidos para su uso.

Factor de emisión (g/km)					
Indicador	Carro	Carro diésel	Moto	Transporte público	Ruta empresarial
NOX COPERT	1,34	0,67	0,15	0,43	0,46
NOX AMVA	1,07	0,75	0,14	0,50	0,28
Variación	0,25	-0,10	0,05	-0,14	0,66

Tabla 9. Validación NOx. Modelo Copert vs AMVA

Teniendo estos nuevos factores de emisión, la aplicación se verá más enriquecida y podrá ofrecer a las empresas cliente un análisis más detallado de los gases genera cada uno de los empleados en cada uno de los desplazamientos. AppiMotion contará con el cálculo de 7 diferentes gases en los que incluye gases contaminantes (PM_{2,5}, NO_x, CO y SO₂) como gases efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O).

7. CONCLUSIONES

Los seres humanos somos los entes responsables de la contaminación atmosférica y calentamiento global gracias a las grandes emisiones de gases efecto invernadero y gases contaminantes que generamos a través de actividades industriales y productivas, creando afectaciones y deterioro a la salud pública y al ambiente; por lo tanto, fue necesaria la inclusión de nuevos factores de emisión (FE) a la Solución de Movilidad Sostenible AppiMotion que permita realizar un cálculo más completo sobre de los gases que se emiten en los desplazamientos de los empleados; por lo cual se incluyeron los FE de los gases: Metano (CH₄), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxido Nitroso (N₂O) partiendo del Modelo Copert.

El Modelo Copert realizado por la Agencia Ambiental Europea, fue creado con el fin de calcular las emisiones de gases de efecto invernadero y gases contaminantes que genera algún vehículo durante su ciclo de conducción; estas emisiones se calculan a partir de unos FE que dependen de la velocidad del automotor.

A partir de las bases de datos de AppiMotion, se logró calcular la velocidad promedio por cada modo de transporte siendo estas: Carro 21 km/hora; Moto 22 km/hora; Transporte público 18 km/hora; y Ruta empresarial 21 km/hora; y con dichos valores se calculó los factores de emisión correspondientes a los modos de transporte por cada gas emitido:

FACTORES DE EMISIÓN (g/km)					
Indicador	Carro	Carro Diesel	Moto	Transporte público	Ruta empresarial
CO	2,2	0,9	8,4	0,13	0,13
CH ₄	0,1	4,3	0,2	0,004	0,005
N ₂ O	0,053	0,027	0,0020	0,0012	0,0012
SO ₂	0,021	0,001	0,007	0,003	0,003

Tabla 10. Factores de Emisión calculados

Teniendo los factores de emisión de los 7 gases incluidos en AppiMotion (Material Particulado PM_{2,5}, Óxidos de Nitrógeno NO_x, Monóxido de Carbono CO, Dióxido de Azufre SO₂, Dióxido de Carbono CO₂, Metano CH₄ y Óxido Nitroso N₂O), es muy probable tener valores más verídicos para cada organización sobre los gases que se generan en cada desplazamiento, y así poder tomar decisiones que aporten a tener una movilidad más sostenible.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Nunez, Christina (Sin fecha). *Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know*. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/greenhouse-gases/>
- Lindsey, Rebecca (2020). *Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>
- World Meteorological Organization WMO (2019). *Greenhouse gas concentrations in atmosphere reach yet another high*. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-concentrations-atmosphere-reach-yet-another-high>
- United States Environmental Protection Agency USEPA (Sin fecha). *Fluorinated Greenhouse Gas Emissions*. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgreporting/fluorinated-greenhouse-gas-emissions>
- NOAA (Sin fecha). *NOAA's Annual Greenhouse Gas Index*. Disponible en: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>
- Pérez, Lucía (2019). *¿Cómo afecta el vapor de agua al calentamiento global?* Disponible en: https://www.eldiario.es/clm/ecologica/afecta-vapor-agua-calentamiento-global_6_978562150.html
- GHG Protocol (2016). *Global Warming Potential Values*. Disponible en: https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf
- Ministerio de Ambiente (2010). *Resolución 610 de 2010*. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Ministerio de Ambiente (2017). *Resolución 2254 de 2017*. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>
- Gaviria, C., Benavides, P. & Tangarife, A. (2011). *Contaminación por material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)*. Rev. Fac. Nac. Salud Pública Universidad de Antioquia; 29(3): 241-250.
- Parra, R. (2014). *Informe de la calidad del aire de Cuenca, Año 2013*. Cuenca - Ecuador. Alcaldía de Cuenca. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/273139108>.

- Bte Mabahwi, N., Hoon Leh, O., & Omar, D. (2014). *Human Health and Wellbeing: Human health effect or air pollution*. *Procedia-Social And Behavioral Sciences*, 153, 221-229.
- IDEAM (2012). *Estado de la calidad del aire en Colombia 2007 -2010*.
- Hernández, Sergio. (2017). *Documento Técnico de soporte*. Bogotá, Colombia
- Laverón, Francisco (2017). *Cambio climático y contaminación del aire: 5 semejanzas, 5 diferencias y 5 reflexiones*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Universidad Pontificia Bolivariana (2019) *Actualización inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá – año 2018*.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Sin fecha). *Para entender. Qué es el Pigecca*. Fecha de Consulta: febrero 3, 2020. Página web: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Gestion-integral/PIGECA.aspx>
- Sostenibilidad (Sin fecha). *¿Qué es el efecto invernadero?* Fecha de Consulta: febrero 3, 2020. Página web: <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/que-es-el-efecto-invernadero/>
- Instituto de hidrología, Meteorología y estudios ambientales IDEAM (Sin fecha). *Contaminación atmosférica*. Fecha de Consulta: febrero 3, 2020. Página web: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica>
- Área metropolitana del Valle de Aburrá (2017). *Resolución 1379 de 2017*.
- WWF (Sin fecha). *Clima y energía: cambio climático y energías renovables*. Fecha de Consulta: febrero 3, 2020. Página web: https://www.wwf.org.co/que_hacemos/wwf_al_clima/?ads_cmpid=1376834772&ads_adid=55544263620&ads_matchtype=b&ads_network=g&ads_creative=267264748223&utm_term=cambio%2520climatico&ads_targetid=kwd-297033543589&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&ttv=2&gclid=EAlaIqobChMI1qDnh_LT5wIVy4FaBR1RYARKEAAYAiAAEgKgO_D_BwE
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), (2009). *Guía Metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*.
- European Environmental Agency EEA. (2011). *Copert 4: Estimating emissions from road transport*.
- Sistemas Inteligentes en Red. (s.f.). *Solución de Movilidad Sostenible AppiMotion*. Página Web <https://www.appimotion.com>