

FACULTAD DE INGENIERÍA

# IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLMB Y EL REGIOTRAM DE OCCIDENTE EN LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BOGOTÁ D.C Y MUNICIPIOS ALEDAÑOS.



**Universidad Nacional de Colombia**

Daniel Atuesta, Oscar Vega y Yily Rodríguez



# Contenido

**1** Contexto

**2** Generalidades

**3** Hipótesis

**4** Metodología

**5** IVE Model 2.0.2

**6** Resultados

**7** Conclusiones

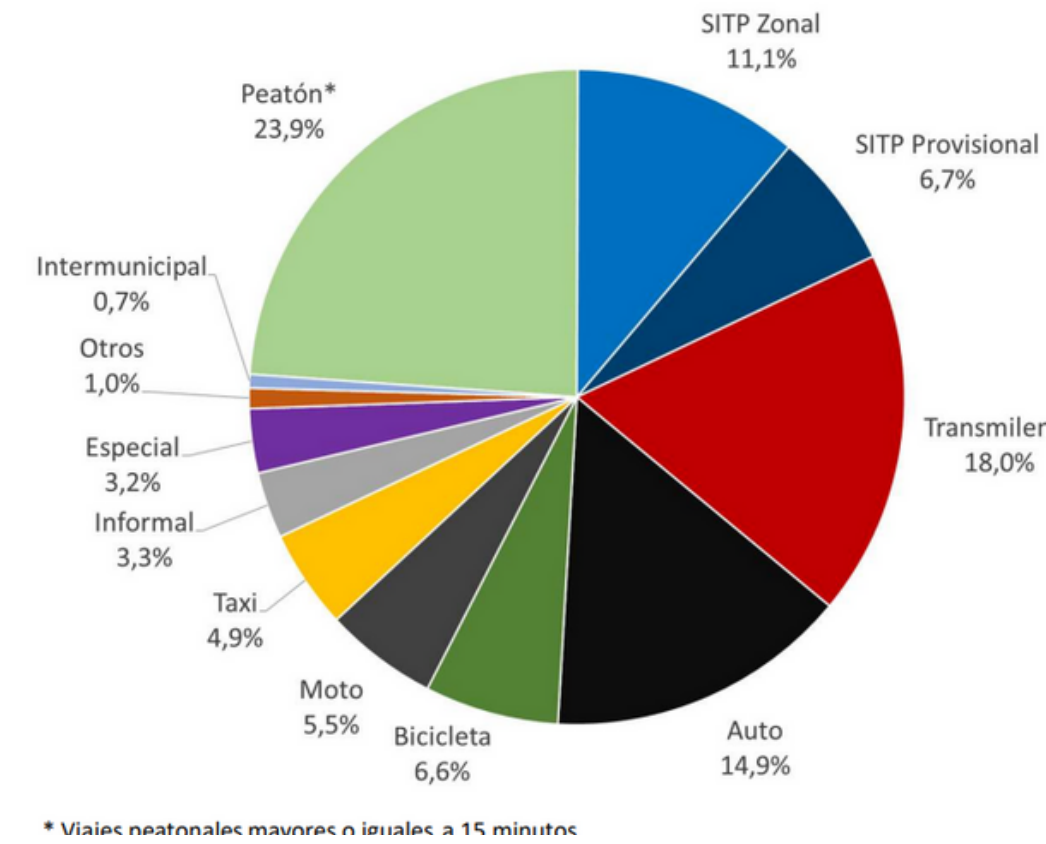
**8** Referencias



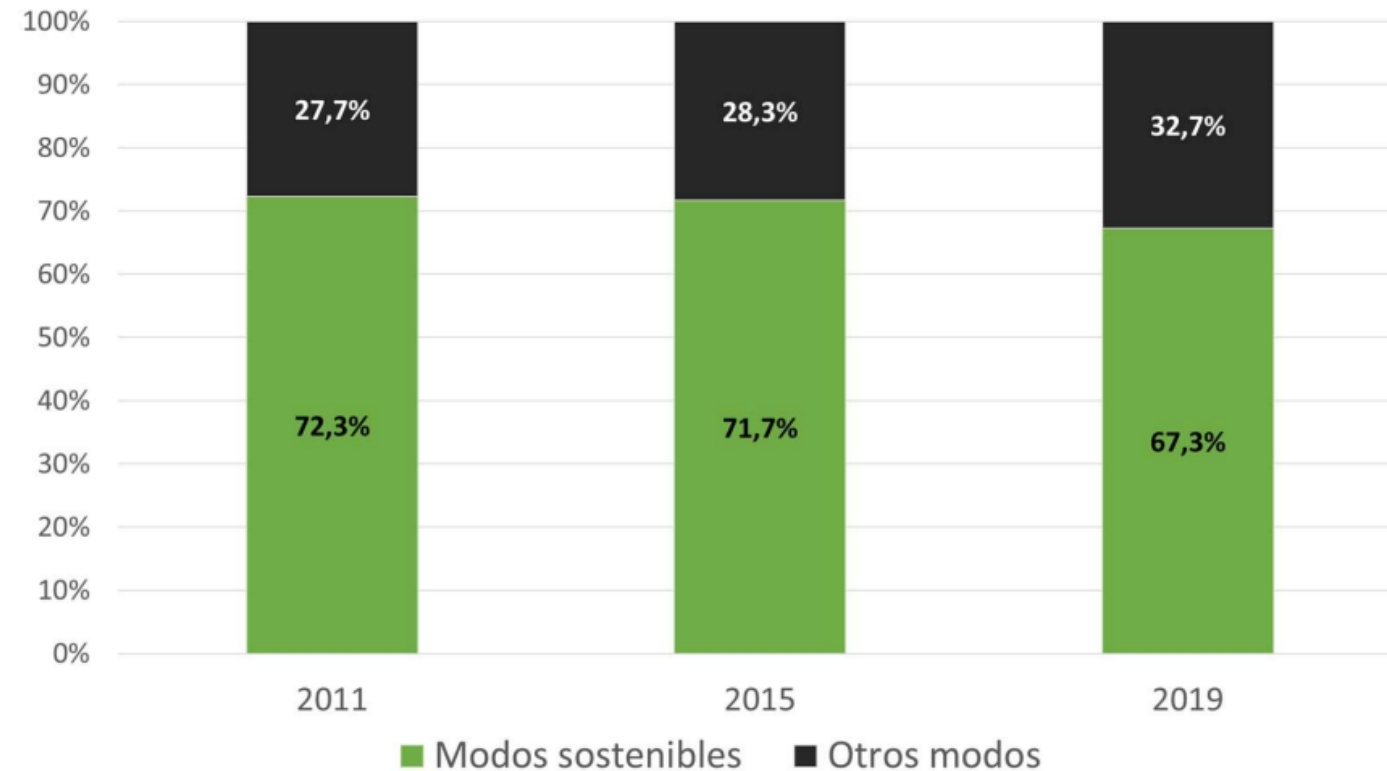


# Contexto

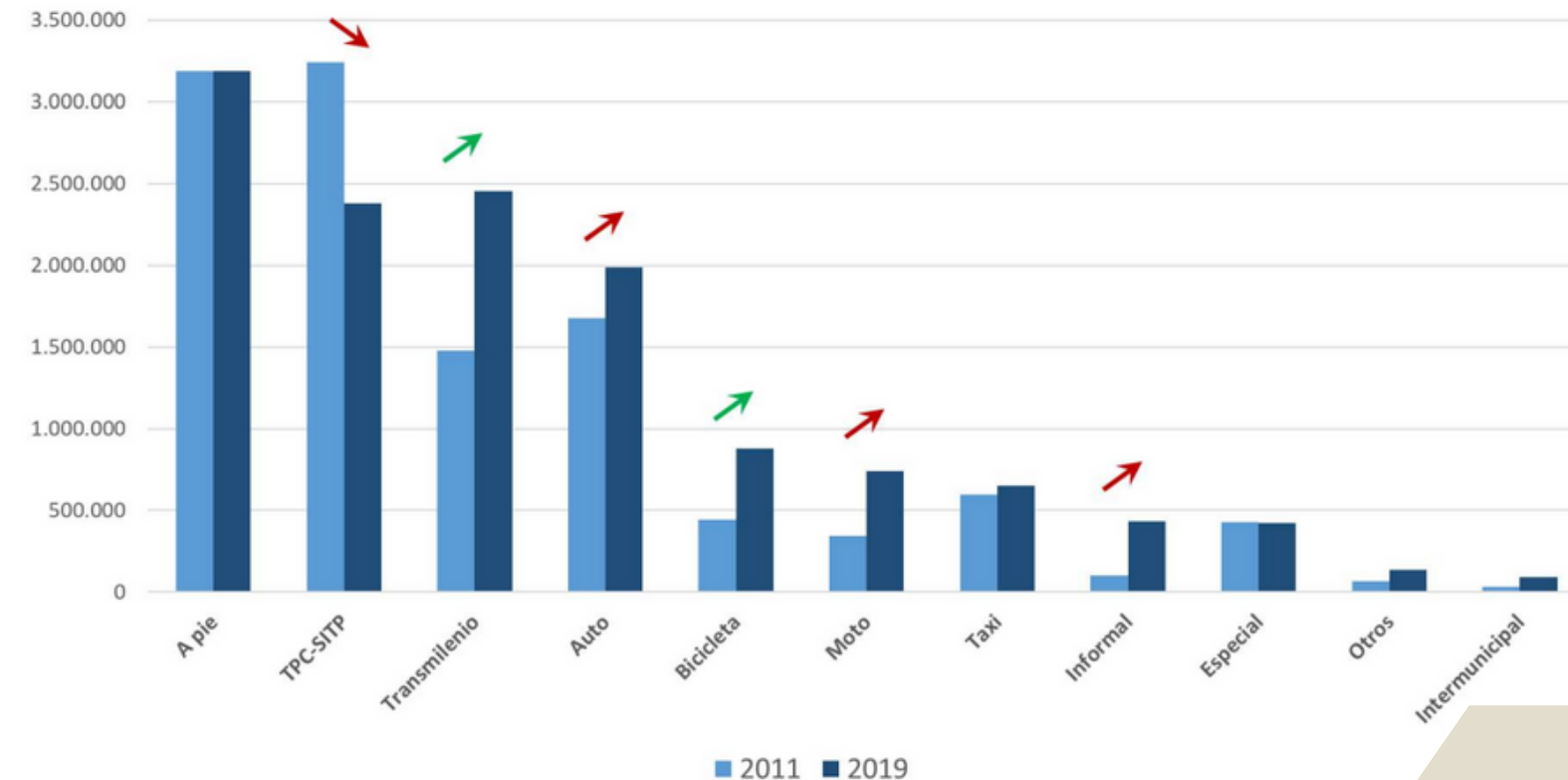
- ▶ Bogotá cuenta con 8 millones de habitantes
- ▶ Ciudad con peor tráfico en latinoamérica y tercera a nivel mundial
- ▶ Bogotá es la segunda ciudad latinoamericana con mayor número de buses eléctricos después de Santiago de Chile



Composición de la distribución modal\* de Bogotá según sostenibilidad\*\* de los modos



Evolución del total de viajes de Bogotá 2011-2019



# Generalidades

Tomado de : <https://www.metrodebogota.gov.co/>



- Reduce accidentalidad
  - Reduce contaminación
  - Gran volumen de personas
  - Reducción en tiempos de viaje
- 26.500 pasajeros por hora/sentido

**100%**  
**Flota  
eléctrica**

**PLMB**

**12.9**

Billones de pesos invertidos

**23.96**

km de linea ferrea en la ciudad

**43**

km/h Velocidad media

**6**

Pasajeros por metro cuadrado

**15**

Estaciones, 10 conectan con transmilenio



# Generalidades

Tomado de : <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/es/regiotram>



Se estima una reducción de tiempos de viaje de 2.5 h a 55 minutos.

La secretaría de movilidad estima una reducción de 165000 toneladas de CO2 al 2048

**100%**  
**Flota eléctrica**

Regiotram

**2.4**

Billones de pesos invertidos

**39.6**

km de linea ferrea en la ciudad

**70**

km/h Velocidad media

**964**

Pasajeros por tren

**17**

Estaciones, 9 en Bogotá



# Hipótesis

**Cambio de la  
elección modal  
de los usuarios**

**Flota 100%  
eléctrica  
alimentada de  
energías limpias**

**Cambio de  
buses SITP por  
diésel y eléctrico**

**¿Cuántas toneladas de gases contaminantes se reducen anualmente con la implementación de la primera línea del metro en Bogotá y el regiotram de occidente en la sabana , teniendo en cuenta que su flota es totalmente eléctrica?**



# Metodología

Elección del método de recolección de información

## Método inductivo



## Encuesta cerrada



**¿Qué datos se necesitan para estimar la emisión de agentes contaminantes en cada viaje antes y después de la implementación de los dos sistemas de trenes eléctricos?**

**Origen**

**Destino**

**Tiempo**

**Modo**

**# Viajes**



# Metodología

Encuesta cerrada

## ¿EN QUÉ LOCALIDAD/MUNICIPIO RESIDE?

- Localidades de Bogotá
- Mosquera
- Funza
- Madrid
- Facatativá

## ¿EN QUÉ LOCALIDAD/MUNICIPIO SE UBICA SU LUGAR DE TRABAJO/ESTUDIO?

- Localidades de Bogotá
- Mosquera
- Funza
- Madrid
- Facatativá

## ¿CUÁNTOS VIAJES REALIZA PARA LLEGAR A SU LUGAR DE DESTINO?

- 1
- 2
- 3





# Metodología

Encuesta cerrada

## ¿CUÁLES USA PARA DESPLAZARSE HACIA SU LUGAR DE DESTINO?

- Bus Intermunicipal
- Transmilenio
- Bus SITP
- Vehículo Particular
- Taxi / Plataformas de Transporte
- Moto
- Bicicleta / No Motorizado / Otro

## ¿CUÁNTO TIEMPO EN PROMEDIO TARDA EN SU PRIMER VIAJE?

- 0 -15 minutos
- 15-30 minutos
- 30- 60 minutos
- 60-90 minutos
- 90-120 minutos
- 120 minutos o más

## TENIENDO EN CUENTA EL TRAZADO DEL REGIOTRAM DE OCCIDENTE/PRIMERA LÍNEA DEL METRO, ¿CAMBIARÍA ALGUNO DE SUS MEDIOS DE TRANSPORTE ACTUAL POR ESTA ALTERNATIVA?

- SI
- NO



# Metodología

Ventajas y desventajas del método,  
tamaño de la muestra y confiabilidad

459

## Encuestas



Valor alcanzado mediante la difusión, dependiente de las limitaciones del método.

## Ventajas

- Limitar parámetros (tiempo, modo)
- Fácil difusión y aplicación

## Desventajas

- Segmentación de la muestra a jóvenes
- Método directo en una ciudad insegura

La confiabilidad de los resultados obtenidos es alta, contemplando que la mayoría de las personas encuestadas son jóvenes, sin embargo, si se desea obtener mayor precisión en los resultados es necesario encuestar a personas en un rango de edad mayor, con diversidad de ocupaciones y seleccionando una muestra adecuada de cada localidad, esto, procurando proporcionalidad entre la población y la muestra, e incluso integrando variables que permitan caracterizar con mayor detalle la actividad en el ámbito de la movilidad, de la ciudadanía.



# IVE MODEL

## 2.0.2

Modelo Internacional de emisiones de vehículos

Factores de emisión

Actividad vehicular

Distribución modal

1. **CO:** Monóxido de carbono
2. **VOC:** Compuestos volátiles orgánicos
3. **NOX:** Óxidos de nitrógeno
4. **SOX:** Óxidos de Azufre
5. **PM:** Material particulado
6. **1.3 Butadieno:** Destilación del petróleo
7. **Acetaldehídos**
8. **Formaldehídos**
9. **NH3:** Amoniáco
10. **Benceno**
11. **N2O:** Óxido Nitroso
12. **CO2:** Dióxido de Carbono
13. **CH4:** Metano

The screenshot shows the IVE Model 1.2 software interface. The title bar reads 'IVE Model 1.2'. The main window title is 'Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares'. The interface is divided into several sections:

- Archivo Idioma:** A menu bar at the top left.
- Exportar y guardar resultados, seleccionar un Idioma:** A red callout box pointing to the top right.
- Cálculo:** A tab selected at the top, circled in red.
- Localidad:** A section with a dropdown menu for 'Grupo Localidad' (currently '- localidad Individual -') and a list of 'Localidades Disponibles' including '2w Arterial Pune2004 (2W Fleet Pune)', '2w Highway Pune2004 (2W Fleet Pune)', '2w Residential Pune2004 (2W Fleet Pune)', 'Bus Pune2004 (Bus Fleet Pune)', 'DTruck Pune2004 (Dtruck Fleet Pune)', 'LHtruck Pune2004 (LHtruck Fleet Pune)', 'PC Arterial Pune2004 (PC Fleet Pune)', and 'PC Highway Pune2004 (PC Fleet Pune)'. A red callout box points to this list with the text 'Seleccionar una Localidad y su archivo (Flota) correspondiente.'.
- Flota:** A section with 'Agregar' and 'Remover' buttons. A red callout box points to the 'Agregar' button with the text 'Seleccionar la hora del día a analizar.'.
- Mostrar Hora:** A dropdown menu set to '8:00'. A red callout box points to it with the text 'Seleccionar las unidades de las emisiones.'.
- Mostrar Unidades:** A dropdown menu set to 'toneladas métricas'.
- Calculadora:** Buttons for 'Calcular una Hora' and 'Calcular un Día'.
- Contaminantes:** Tabs for 'Contaminantes Criterio', 'Tóxicos', and 'Calentamiento Global'.
- Resultados:** A table showing emission results for CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> across different categories (Partidas Hora, En Ruta Hora, Total Hora, Partidas Dia, En Ruta Dia, Total Dia). A red callout box points to the 'Calcular' button with the text 'Presionar Calcular para mostrar los resultados.'

	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Partidas Hora	0.32	0.0	0.19
En Ruta Hora		0.0	0.35
Total Hora		0.0	0.55
Partidas Dia		0.0	1.97
En Ruta Dia	142.75	0.0	7.47
Total Dia	146.43	0.0	9.44



# IVE MODEL 2.0.2

IVE Model 1.2

Archivo Idioma **Guardar cambios o crear un nuevo archivo**

## Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Cálculo Localidad **Flota** Ajustes Generales

Localidad: Bus Pune2004 Flota: Bus Fleet Pune Ajustes Generales: - ninguno -

Día: 09 Mes: Febrero Año: 2004 Día de la Semana: Lunes Altitud: 500.0 metros Tipo de I/M: ninguno

Aire Acondicionado a 27°C: 80.0 % Pendiente Terreno: 0.0 %

Características Combustible

Gasolina Clases: moderada/sin pre... Azufre (S): alto (600ppm) Plomo (Pb): ninguno Benzeno: moderado (1.50%) Oxigenados: 0%

Diesel Clases: moderado Azufre (S): moderado (300ppm)

Hora: 0:00/día... Use esta Hora:

Características de Conducción: Bins VSP Bins Soak

Humedad: 58.0 % Distancia/Tiempo: 2332.0 kilómetros Partidas: 39.0

Temperatura: 19.0 °Celsius

Grupo 1										Grupo 2									
Bin VSP 0	Bin VSP 1	Bin VSP 2	Bin VSP 3	Bin VSP 4	Bin VSP 5	Bin VSP 6	Bin VSP 7	Bin VSP 8	Bin VSP 9	Bin VSP 10	Bin VSP 11	Bin VSP 12	Bin VSP 13	Bin VSP 14	Bin VSP 15	Bin VSP 16	Bin VSP 17	Bin VSP 18	Bin VSP 19
		0.03	0.03	0.03	0.09	0.18	0.6	1.31	4.28	9.31	45.4	20.83	12.62	2.71	1.1	0.51	0.33	0.15	0.27
Bin VSP 20	Bin VSP 21	Bin VSP 22	Bin VSP 23	Bin VSP 24	Bin VSP 25	Bin VSP 26	Bin VSP 27	Bin VSP 28	Bin VSP 29	Bin VSP 30	Bin VSP 31	Bin VSP 32	Bin VSP 33	Bin VSP 34	Bin VSP 35	Bin VSP 36	Bin VSP 37	Bin VSP 38	Bin VSP 39
			0.03			0.03	0.03												0.15
Bin VSP 40	Bin VSP 41	Bin VSP 42	Bin VSP 43	Bin VSP 44	Bin VSP 45	Bin VSP 46	Bin VSP 47	Bin VSP 48	Bin VSP 49	Bin VSP 50	Bin VSP 51	Bin VSP 52	Bin VSP 53	Bin VSP 54	Bin VSP 55	Bin VSP 56	Bin VSP 57	Bin VSP 58	Bin VSP 59
15 min	30 min	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	6 horas	8 horas	12 horas	18 horas	Total	Distribución Potencia Especifica Vehicular								
4.1	6.2	24.1	13.8	10.3		6.9			34.6	100.02									
										Total	Distribución Tiempo Soak								
										100.0									

Velocidad Promedio: 19.3 km/hr

100.01% + 0.0% = 100.01% Normalización

**Modificar características de conducción y combustible**

IVE Model 1.2

Archivo Idioma **Guardar cambios o crear un nuevo archivo**

## Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Cálculo Localidad **Flota** Ajustes Generales

Flota: Bus Fleet Pune

Agregar Tecnología: Todos los Tipos de CO... Todas las...

0 Pt: Auto/SmTk : Lt: Carb : None : PCV : <79Kkm

Indice	Tecnología	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 1 AC	Grupo 2 AC
1132	Ds: Tk/Bus : Hv : FI : EuroII : None : 80-161K km	9.39			
1129	Ds: Tk/Bus : Med : FI : EuroII : None : 80-161K km				
1126	Ds: Tk/Bus : Lt : FI : EuroII : None : 80-161K km				
1124	Ds: Tk/Bus : Hv : FI : EuroI : None : >161K km				
1121	Ds: Tk/Bus : Med : FI : EuroI : None : >161K km				
1118	Ds: Tk/Bus : Lt : FI : EuroI : None : >161K km				
1088	Ds: Tk/Bus : Hv : Di-Inj : Improved : None : >161K km				
1085	Ds: Tk/Bus : Med : Di-Inj : Improved : None : >161K km				
1082	Ds: Tk/Bus : Lt : Di-Inj : Improved : None : >161K km				
1079	Ds: Tk/Bus : Hv : Pre-Inj : None : None : >161K km	29.69			
1076	Ds: Tk/Bus : Med : Pre-Inj : None : None : >161K km	2.67			
1073	Ds: Tk/Bus : Lt : Pre-Inj : None : None : >161K km	3.15			

**Ingresar la fracción de viaje para cada tipo de vehículo**

**Hay dos categorías disponibles para la Flota, cada una con características de conducción únicas.**

**Esta sección es para indicar si el tipo de vehículo dado esta equipado con aire acondicionado.**

100.01% + 0.0% = 100.01% Normalización

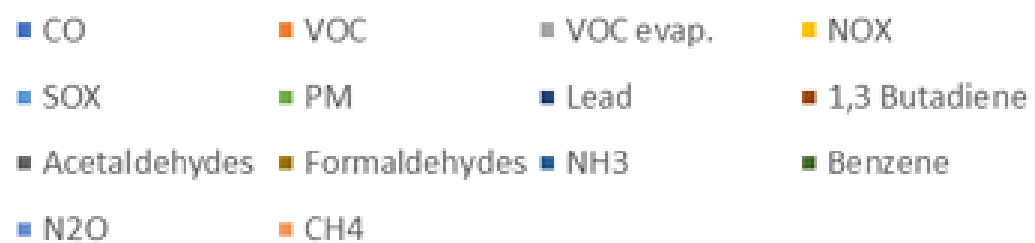
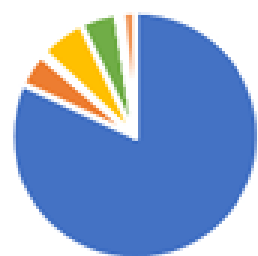


# Resultados

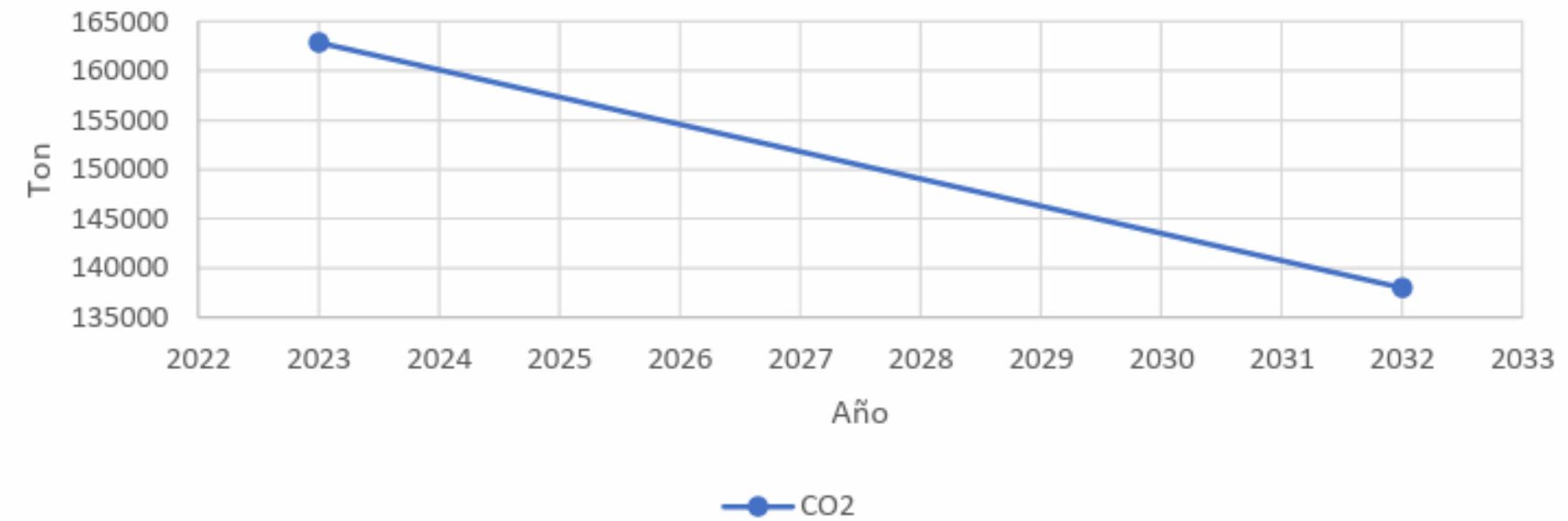
Contaminantes antes de la implementación de PLMB y Regiotram (kg)



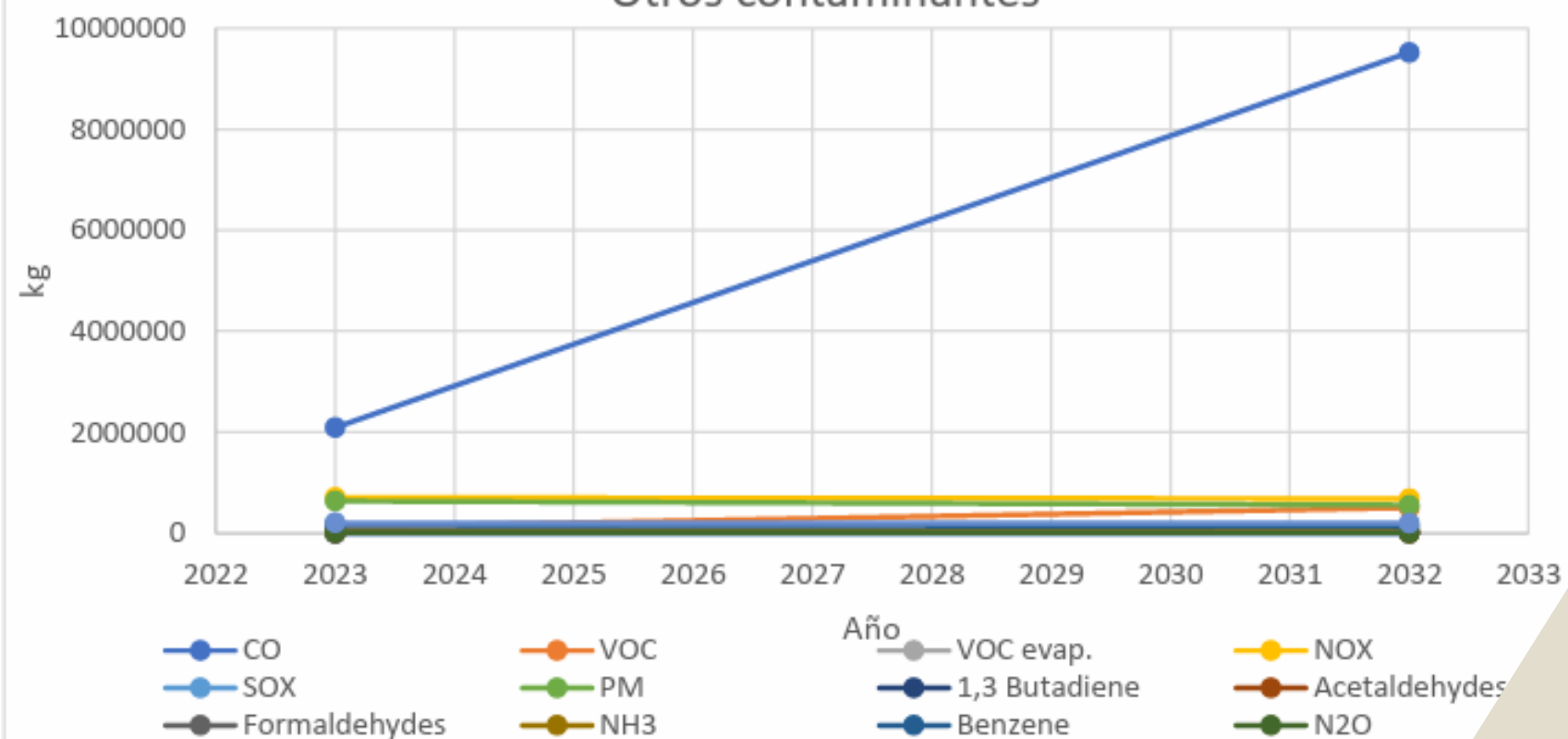
Contaminantes después de la implementación de PLMB y Regiotram (kg)



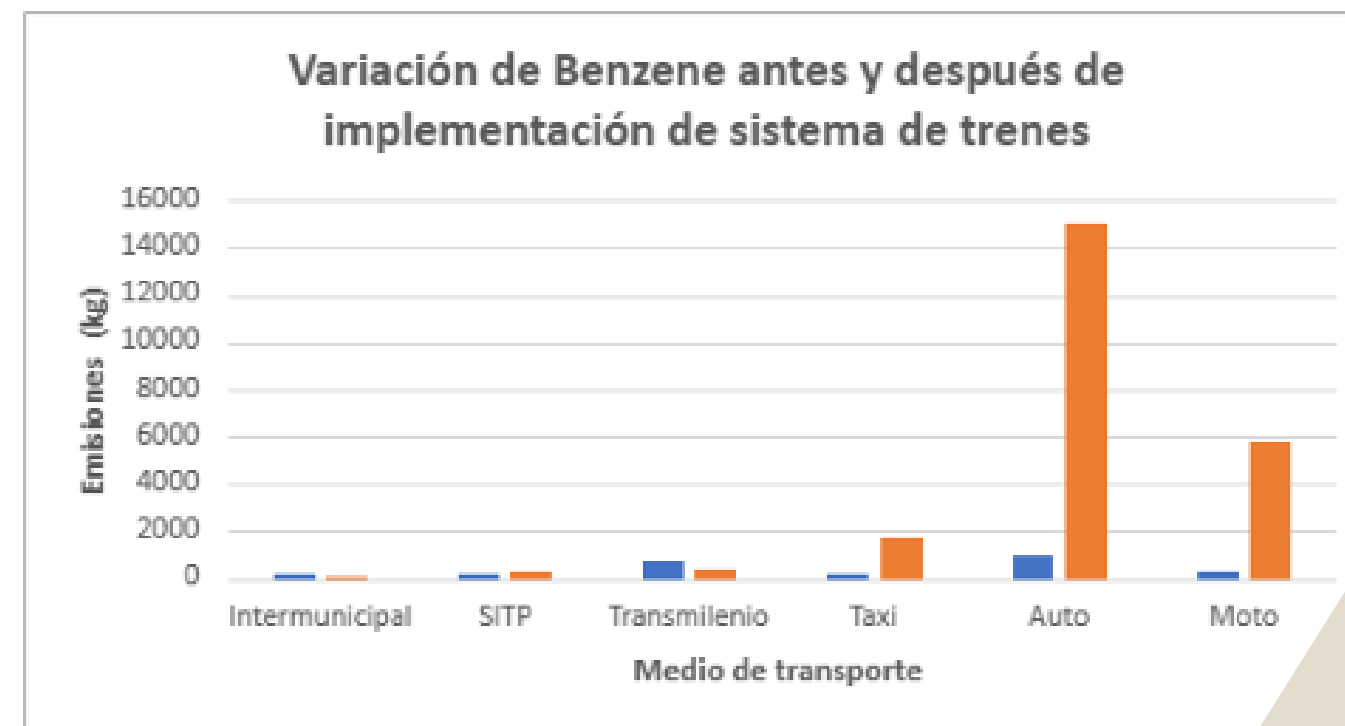
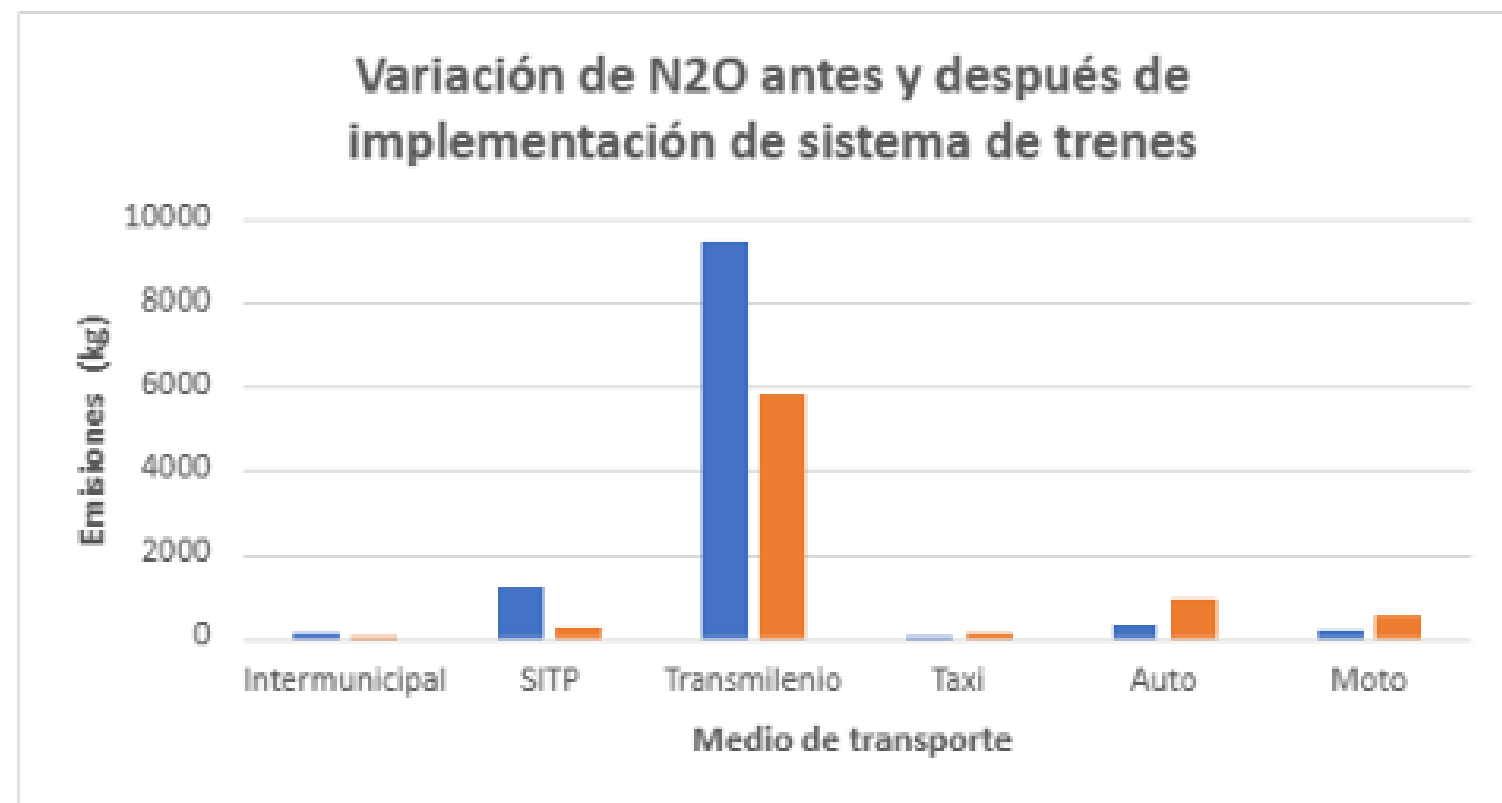
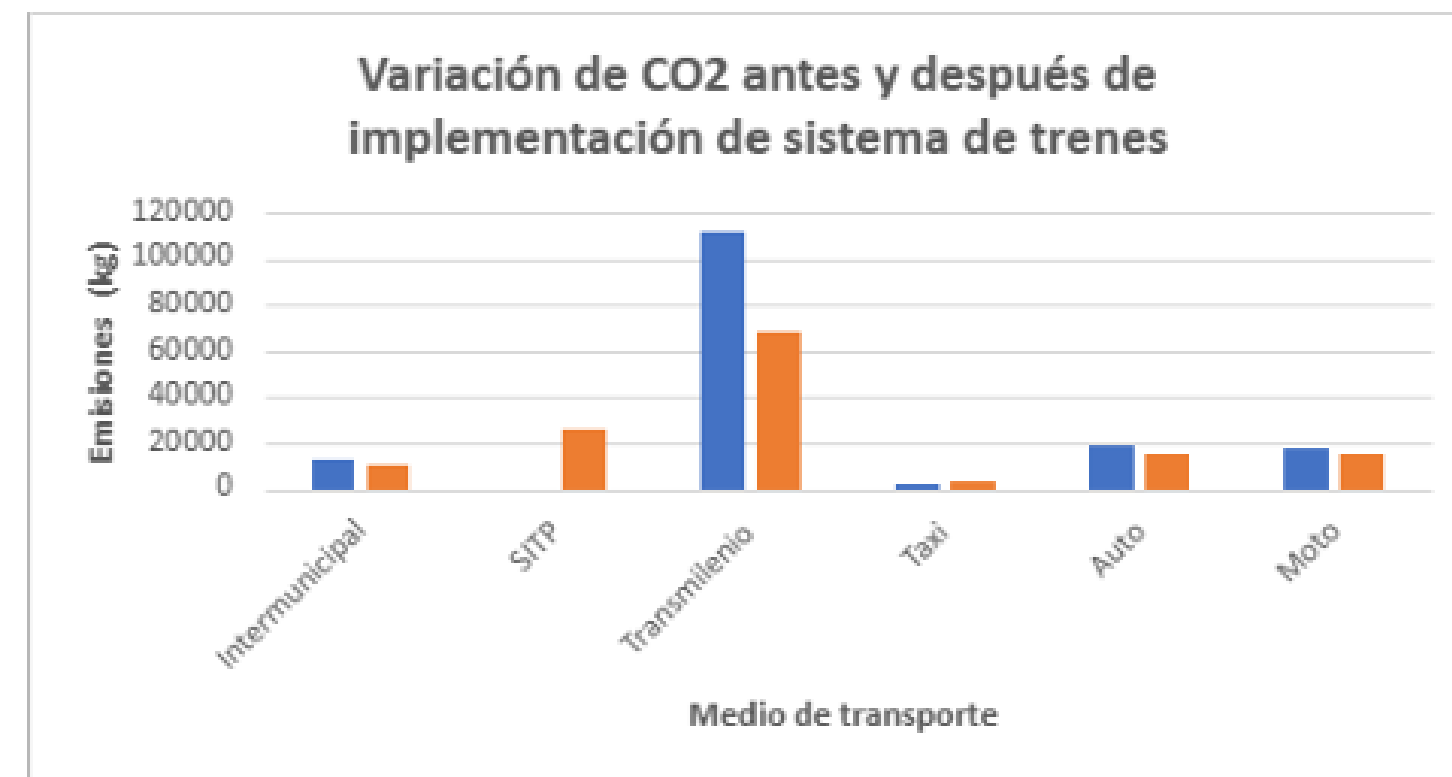
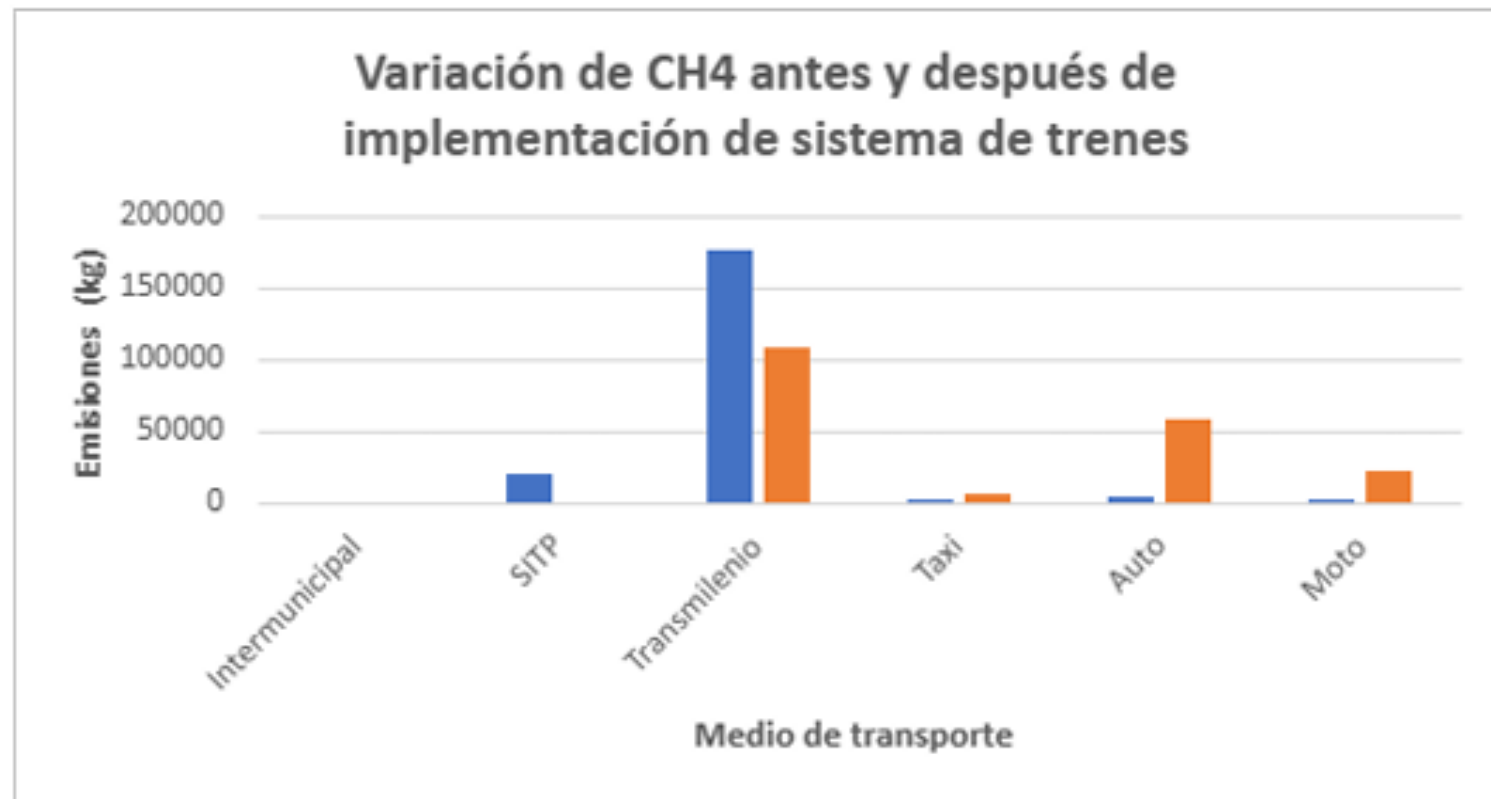
CO<sub>2</sub>



Otros contaminantes

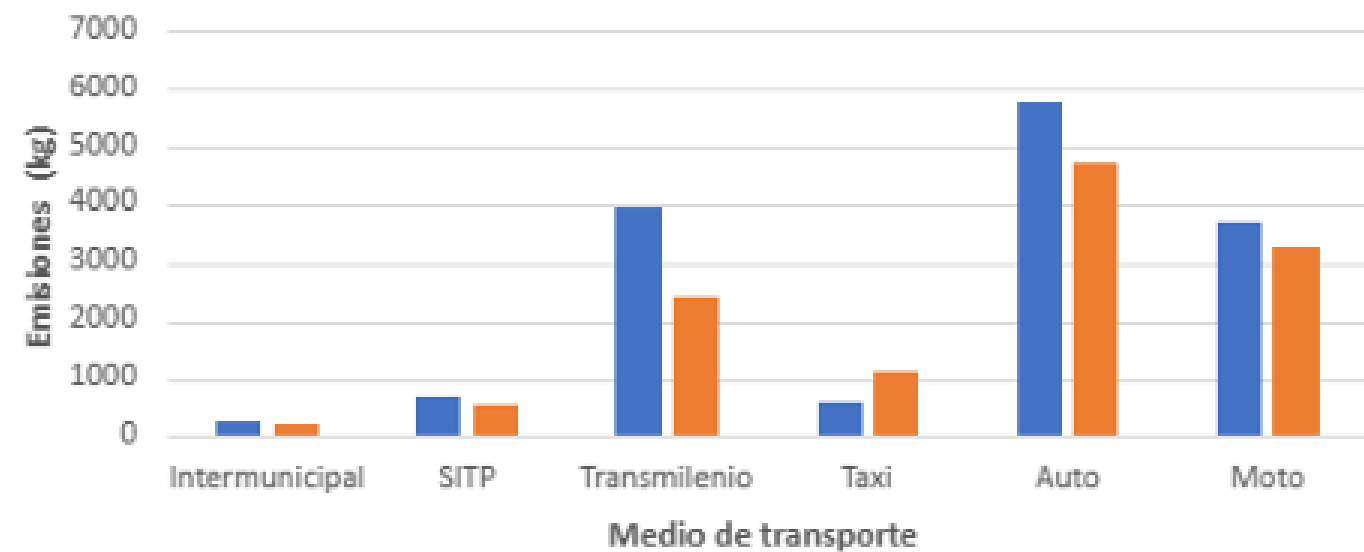


# Resultados

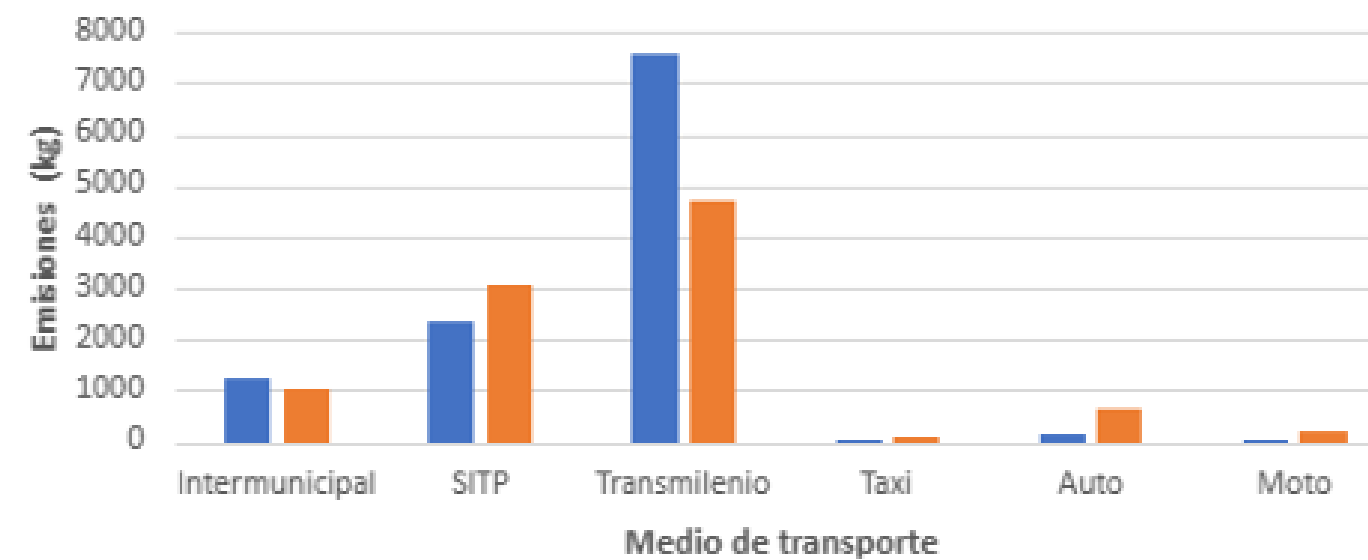


# Resultados

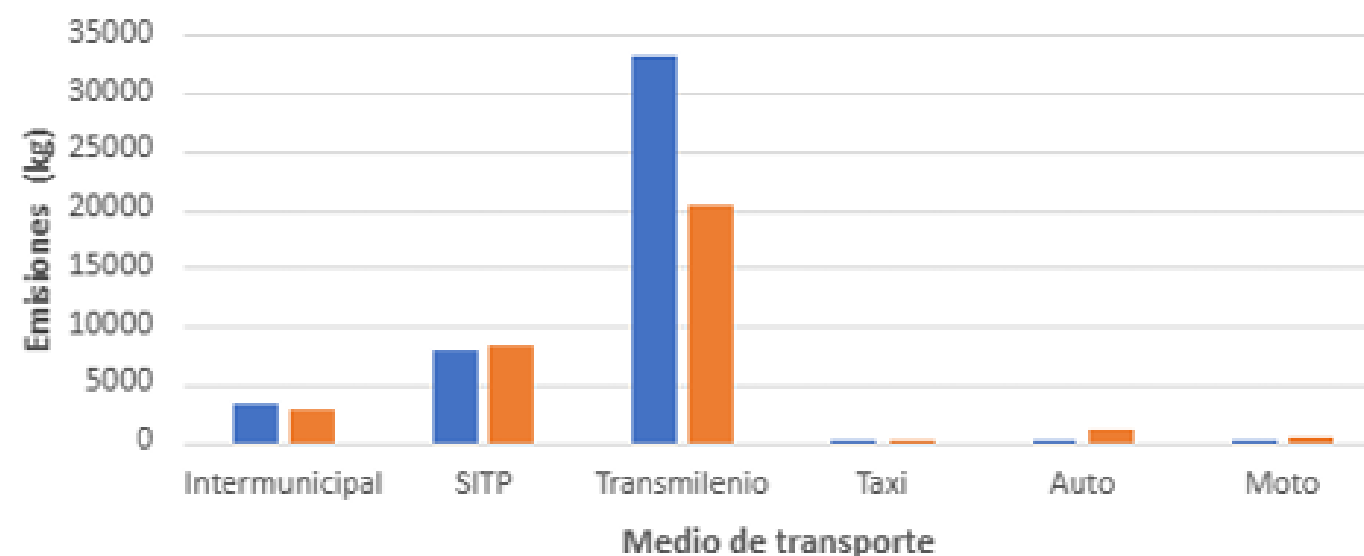
Variación de NH3 antes y después de implementación de sistema de trenes



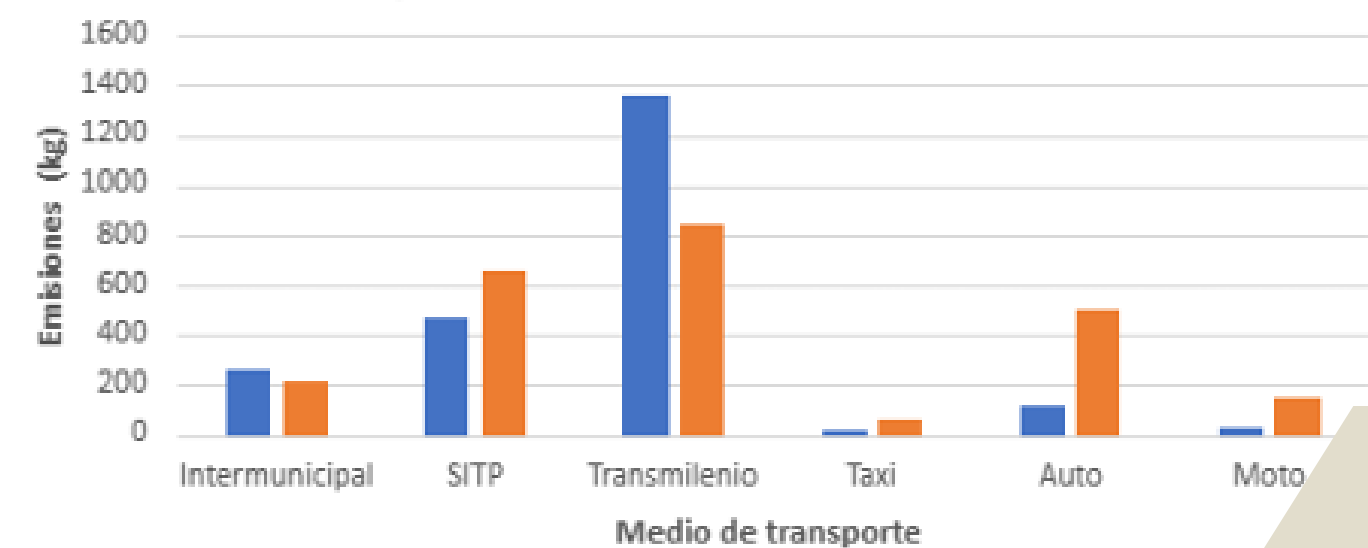
Variación de Acetaldehydes antes y después de implementación de sistema de trenes



Variación de Formaldehydes antes y después de implementación de sistema de trenes

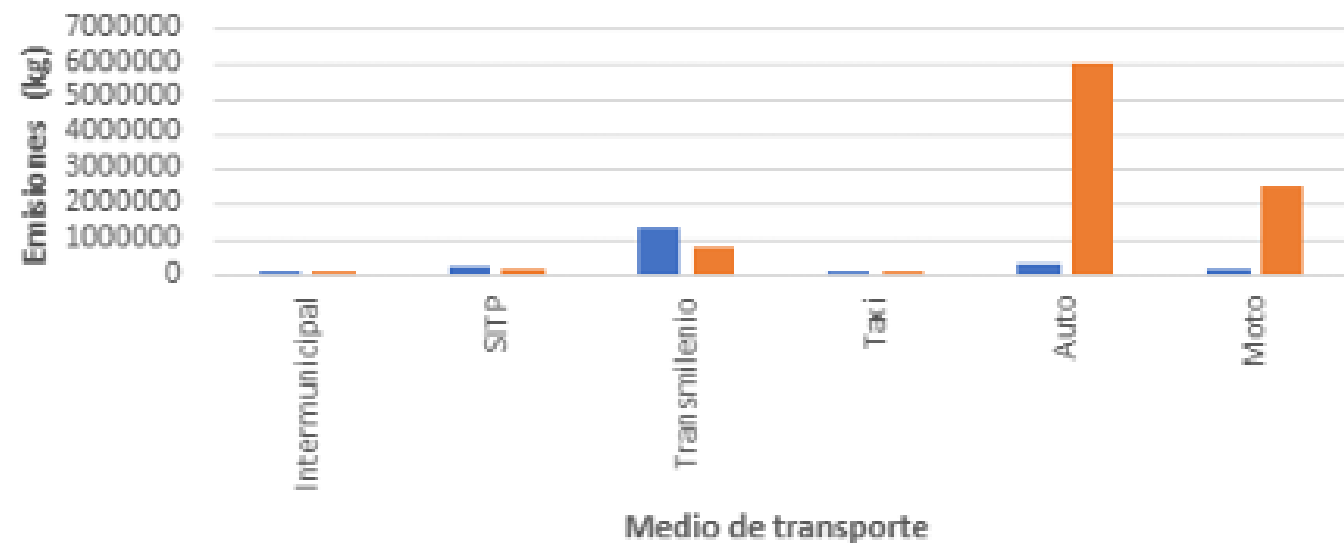


Variación de 1.3 Butadiene antes y después de implementación de sistema de trenes

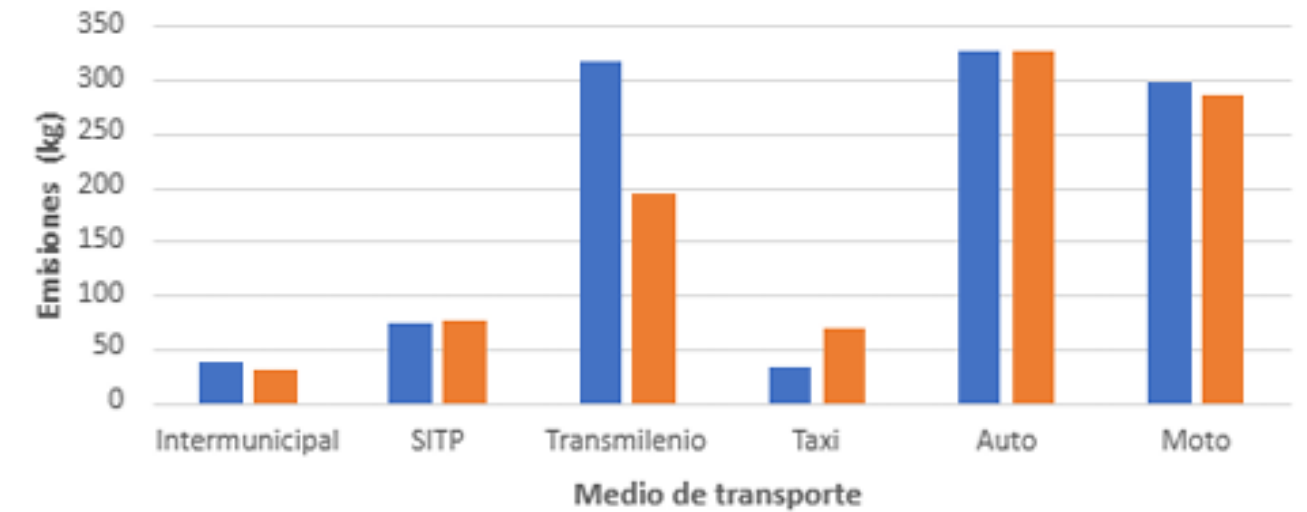


# Resultados

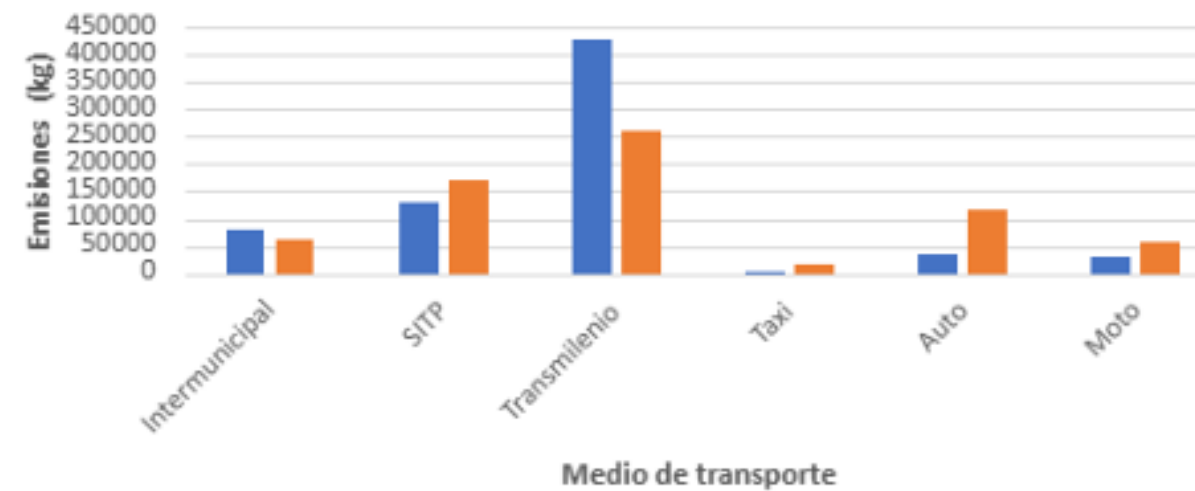
Variación de CO antes y después de implementación de sistema de trenes



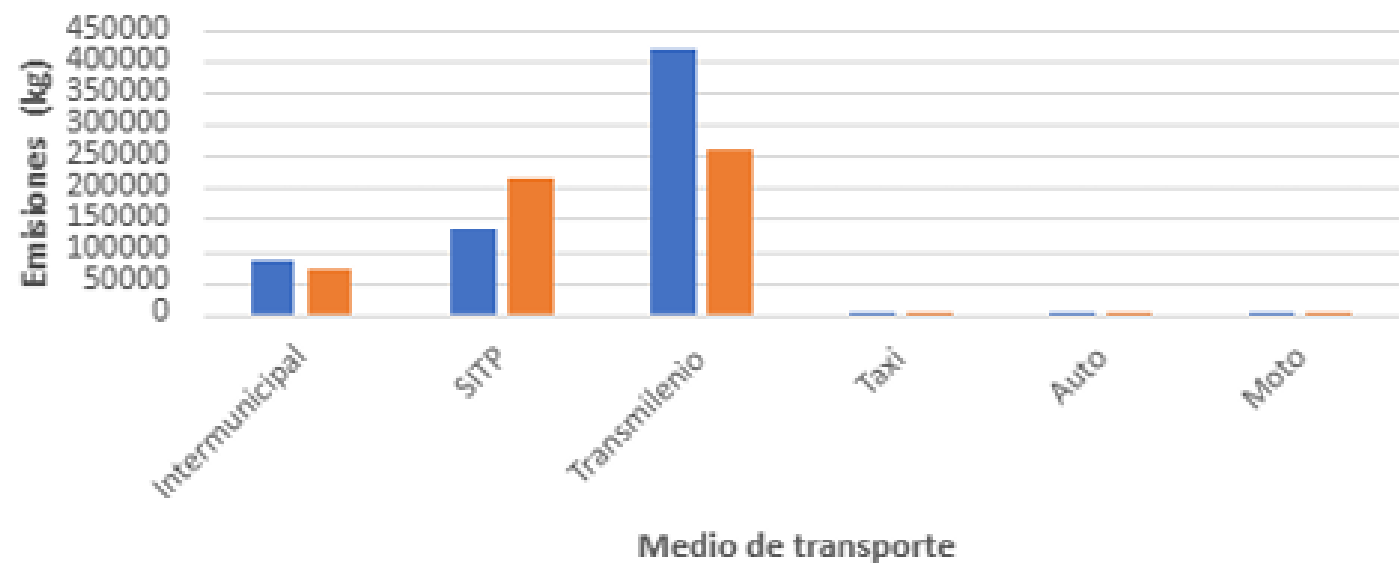
Variación de SOX antes y después de implementación de sistema de trenes



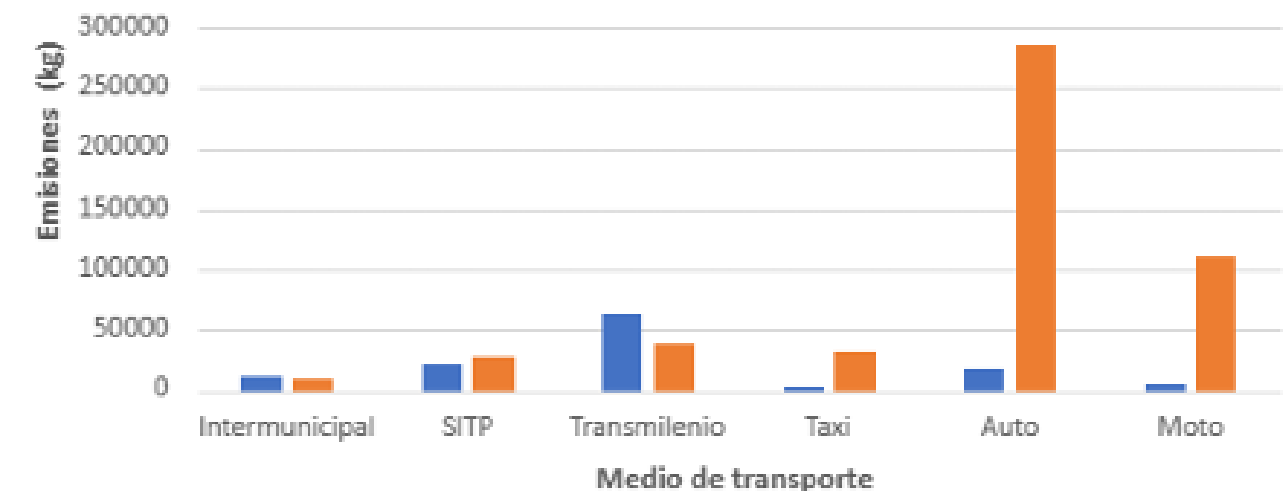
Variación de NOX antes y después de implementación de sistema de trenes



Variación de PM antes y después de implementación de sistema de trenes



Variación de VOC antes y después de implementación de sistema de trenes





# Conclusiones

- Con la nueva repartición modal se prevé una disminución de 25000 Ton de CO<sub>2</sub>, para un aproximado de 300.000 Ton para el 2048, frente a las 165.000 Ton estimadas por la Secretaria de Movilidad de Bogotá.
- La disminución de material particulado con la implementación de nuevos sistemas amigables con el medio ambiente se encuentran en el orden de 80 Ton.
- Contaminantes como el Carbono, Amniaco, Benceno y VOC aumentan debido al aumento en el parque automotor de vehículos particulaes, siendo este modo indiferente a la impleentación de los sistemas de trenes.
- Se puede llegar a aumentar considerablemente la precisión de los resultados con una discretización de los diferentes sistemas de motorización con los que cuentan los vehículos que transitan por la ciudad, mediante la cooperación de entidades de registro vehicular que cuenten con estos detalles, tales como la alimentación, cilindraje, peso vehicular, y sistemas de potenciamiento utilizados en cada vehículo.
- Megaproyectos como lo son los trenes eléctricos sean complementados con una transición energética urgente del sistema Transmilenio, esto, teniendo en cuenta que actualmente es uno de los modos que más contamina según lo presentado en este artículo y menos del 40% de su flota se suple con energías renovables.



# Referencias

Cádiz, J. (1994). El transporte y la contaminación. Posibles estrategias y soluciones. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, España.

---

CEPAL. (2010). Infraestructuras de transporte bajas en carbono: experiencias en América Latina. Unidad de Servicios de Infraestructura, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL.

---

Cordero, J. (2016). Evaluación de la potencial reducción de la huella de carbono del transporte terrestre entre las principales ciudades del estado de Guanajuato, al introducir un servicio ferroviario de pasajeros. Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

---

CEPAL. - Cordero, J. (2017). CORREDOR DE TRANSPORTE QUERÉTARO-LEÓN: Análisis de escenarios de la huella de carbono del transporte interurbano de pasajeros y el potencial del transporte ferroviario. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, Querétaro, México.

---





**GRACIAS**

