

ADAPTACIÓN DEL MODELO MOVES A COLOMBIA Y EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS MEZCLAS DE GASOLINA EN LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS

Jorge E. Pachón, Mario A. Noriega, Erika Trejos,
John Koupal, Claudia Toro

- 1. Introducción.**
- 2. Preguntas de investigación.**
- 3. Metodología.**
- 4. Resultados.**
- 5. Conclusiones.**
- 6. Agradecimientos.**





1. Introducción



1. Introducción: Planes de gestión de calidad del aire

BOGOTÁ



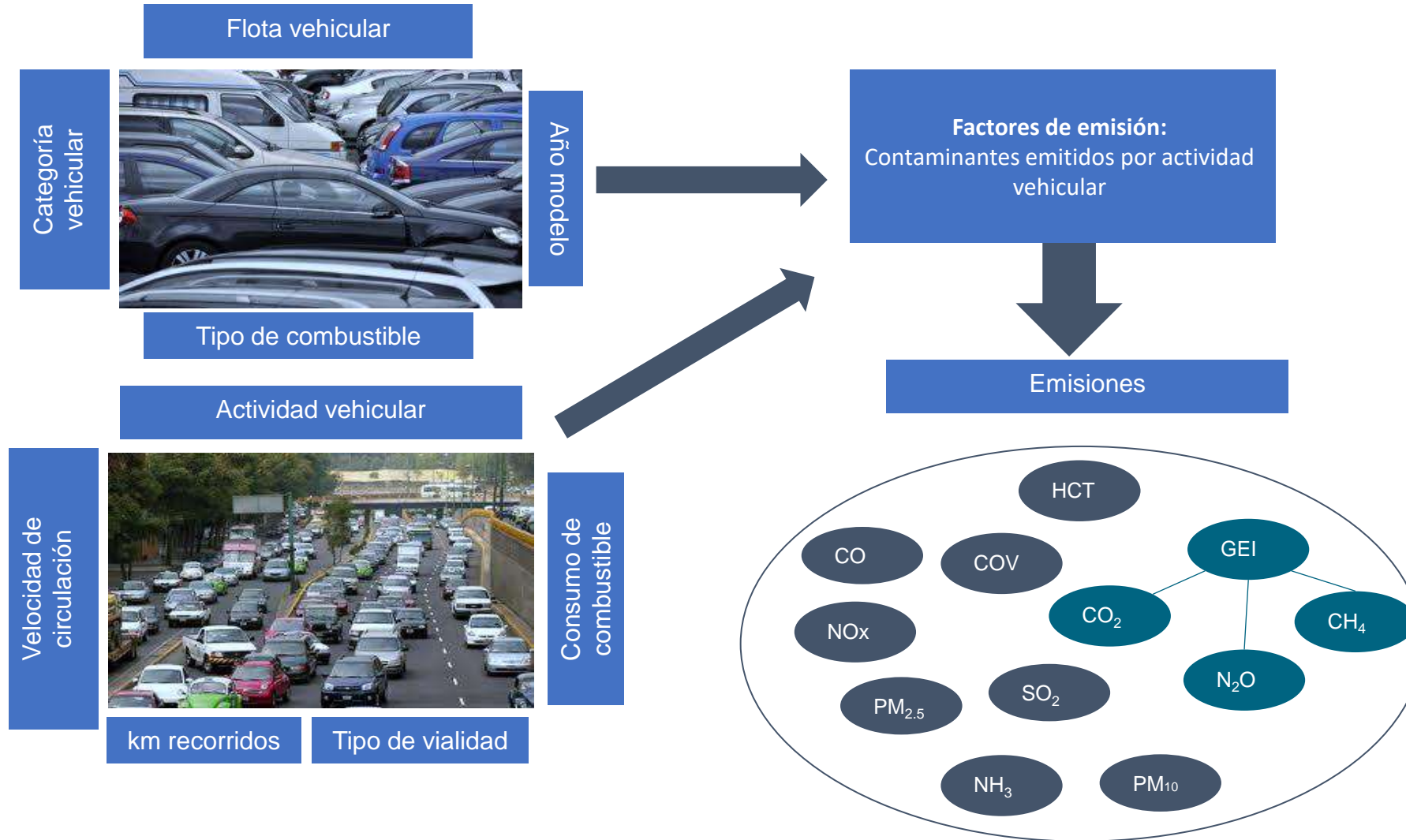
CÚCUTA REGIÓN



VALLE DE ABURRÁ



1. Introducción: Inventarios de emisión de fuentes móviles.



1. Introducción: Regulación de empleo de oxigenantes en Colombia

Resolución 40103 de 2021		2022				2031			
Specifications		Corriente Basica '22	Extra Basica '22	Corriente Oxigenada '22	Extra Oxigenada '22	Corriente Basica '31	Extra Basica '31	Corriente Oxigenada '31	Extra Oxigenada '31
SULFUR (ppm)	max.	50	50	50	50	10	10	10	10
Octane (RON)	min	84	93	89	97	88	93	92	97
RVP (kPa)	max.	55	55	65	65	55	55	65	65
AROMATICS (vol%)	max.	28	35	25	31.5	35	35	31.5	31.5
BENZENE (vol%)	max.	1.0	2.0	0.9	1.8	1.0	2.0	0.9	1.8
Ethanol (vol%)	target	no spec	spec no	no spec	no spec	no spec	spec no	no spec	no spec
Oxygen (wt%)	max.	no spec	spec	3.7	3.7	no spec	spec	3.7	3.7

Ley 693 de 2001

Mandatory the gasoline-ethanol blends for urban centers with more than 500,000 inhabitants in Colombia.

Resolution 40111 of 2021

establishes the maximum content of ethanol in gasoline (10%) from 2021 and beyond



1. Introducción: MOVES - MÉXICO

- Adaptación del modelo MOVES a México a partir de información vehicular local.
- Diferencias en emisiones entre México y EEUU debidas a estándares de emisión, propiedades de los combustibles, I/M, meteorología, altitud y velocidad (~20 km/h vehículos particulares en CdMx).
- Emisiones evaporativas en vehículos a gasolina fueron 5 veces mayores en México que en Estados Unidos.



Fuente: pasajero7.com



1. Introducción: Aplicación de MOVES en Colombia: Bogotá

- Actualización de factores de emisión por introducción de nueva tecnología vehicular y mejoramiento de combustibles.
- Equivalencia entre categorías vehiculares y sistemas de control de emisiones.
- Evaluación del modelo con tasas de emisión e inventarios locales
- Necesidad de una herramienta que considere el nivel de emisiones del parque vehicular nacional, en gran parte obsoleto, bajo nivel de mantenimiento y conducción agresiva.

ARTICLE INFO:
 Received: October 23, 2017
 Revised: October 17, 2018
 Accepted: November 01, 2018
 CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro Vol. 9, Núm. 1, June 2019, pages 70 - 82
 DOI: <https://doi.org/10.2904/701225583.154>



A NEW DATABASE OF ON-ROAD VEHICLE EMISSION FACTORS FOR COLOMBIA: A CASE STUDY OF BOGOTA

■ UNA NUEVA BASE DE DATOS PARA FACTORES DE EMISIÓN DE FUENTES MÓVILES EN COLOMBIA: UN CASO DE ESTUDIO PARA BOGOTÁ

Ramírez, Jhonathan*; Pachon, Jorge E.**; Casas, Oscar M.*; González, Sandro F.*

ABSTRACT
 Mobile sources contribute directly or indirectly with most of the atmospheric emissions in Colombian cities. Quantification of mobile source emissions rely on emission factors (EF) and vehicle activity. However, EF for vehicles in the country have not evolved at the same time as fleet renovation and fuel composition


RESUMEN
 Las fuentes móviles emiten directa o indirectamente la mayor cantidad de contaminantes a la atmósfera en Colombia. La construcción de inventarios de emisiones de fuentes móviles requiere de factores de emisión (FE) e información de actividad vehicular. Sin embargo, los FE en el país no han sido ajustados de equidadmente a los cambios de renovación de parque vehicular y composición de combustible.


Table 9. Comparison of emission using local database EFs (2012) and MOVES EFs (2014)

Pollutant	Emissions (tons/yr)		
	2012*	2014	% change
CO ₂	10 458 221	13 438 647	+28%
CO	866 445	300 969	-65%
NO _x	66 540	53 313	-20%
VOC	91 885	34 906	-62%
PM _{2.5}	1 163	1 340	+15%
SO ₂	14 109	1 860	-87%


*source: SDA[40]

A NEW DATABASE OF EMISSION FACTORS (EF) FOR COLOMBIAN MOBILE SOURCES





- Predicting well production in oil fields using fuzzy logic and artificial neural networks
- Building kinetics models for oil oxidation process by isoconversional principle pathway
- Environmental sensitivity index (ESI-R) as a tool for creating sensitivity maps for potential oil spill on rivers



CT&F, Ciencia, Tecnología y Futuro
 Volume 9 - Number 1 - June 2019
 ISSN (print) 0122-5363 (online) 2380-4503





2. Preguntas de investigación



2. Preguntas de investigación



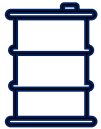
¿Es posible adaptar el modelo MOVES a Colombia?



¿Cómo está la tecnología vehicular en Colombia frente a Estados Unidos?



¿Cuál ha sido el impacto de la implementación de mezclas con alcohol (E10) en las emisiones evaporativas (VOCs) y de contaminantes?



¿Cómo se impactan las emisiones bajo varias formulaciones de la gasolina?



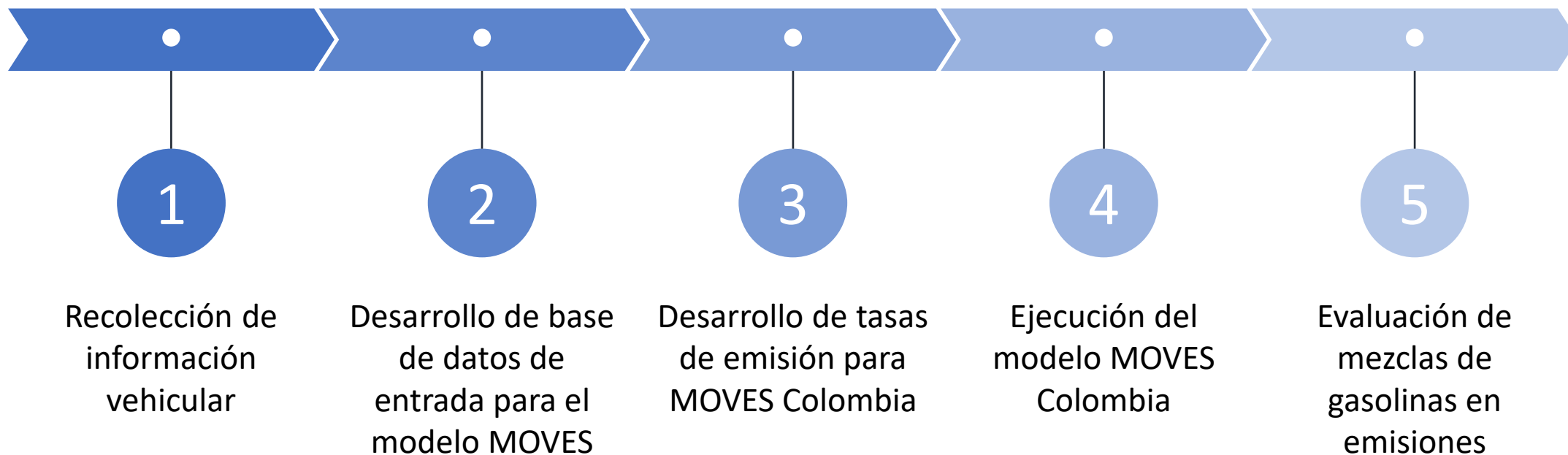
¿Cómo contribuir con la aceleración de la transición energética?



3. Metodología



3. Metodología: Fases del proyecto



3. Metodología: Fase 1 – Recolección de información vehicular

Recolección de información vehicular

- Bogotá
- Valle de Aburrá
- Cúcuta

Instituciones



Registros del parque vehicular desagregado por:

- Categoría del vehículo
- Clase de vehículo
- Matrícula, marca, línea, modelo
- Año del modelo
- Tecnología del vehículo
- Tipo de motor (en el caso de motocicletas)
- Peso bruto del vehículo (GVW)
- Tipo de combustible.
- Velocidad media por categoría de vehículo
- Distancia recorrida por categoría de vehículo por año y/o día.

Tipos de emisiones

- Evaporativas
- Emisiones de escape (caliente y frías)
- Emisiones por desgaste de frenos y neumáticos
- Resuspensión de polvo de carretera



3. Metodología: Fase 2 – Desarrollo base de datos de entrada

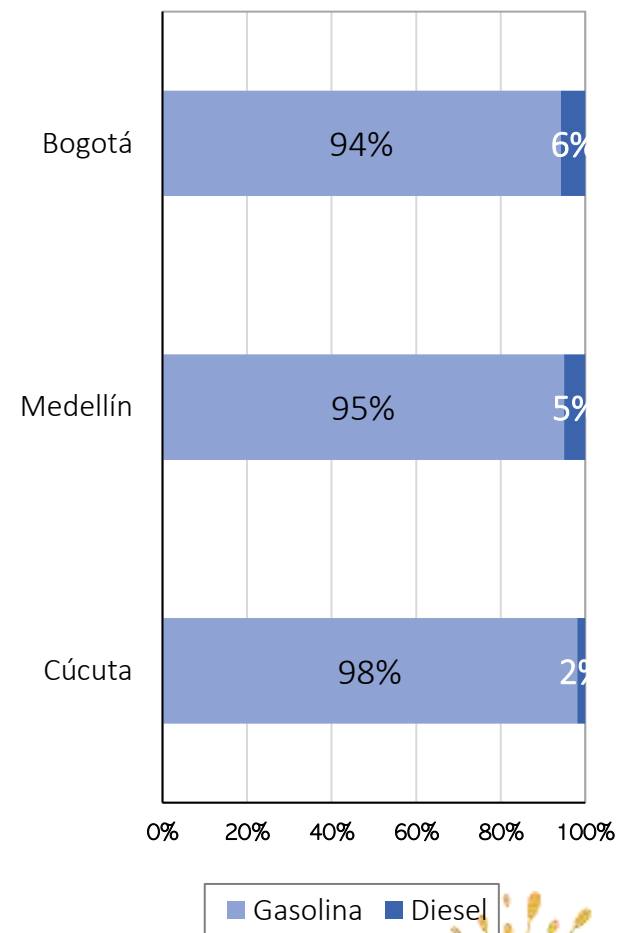
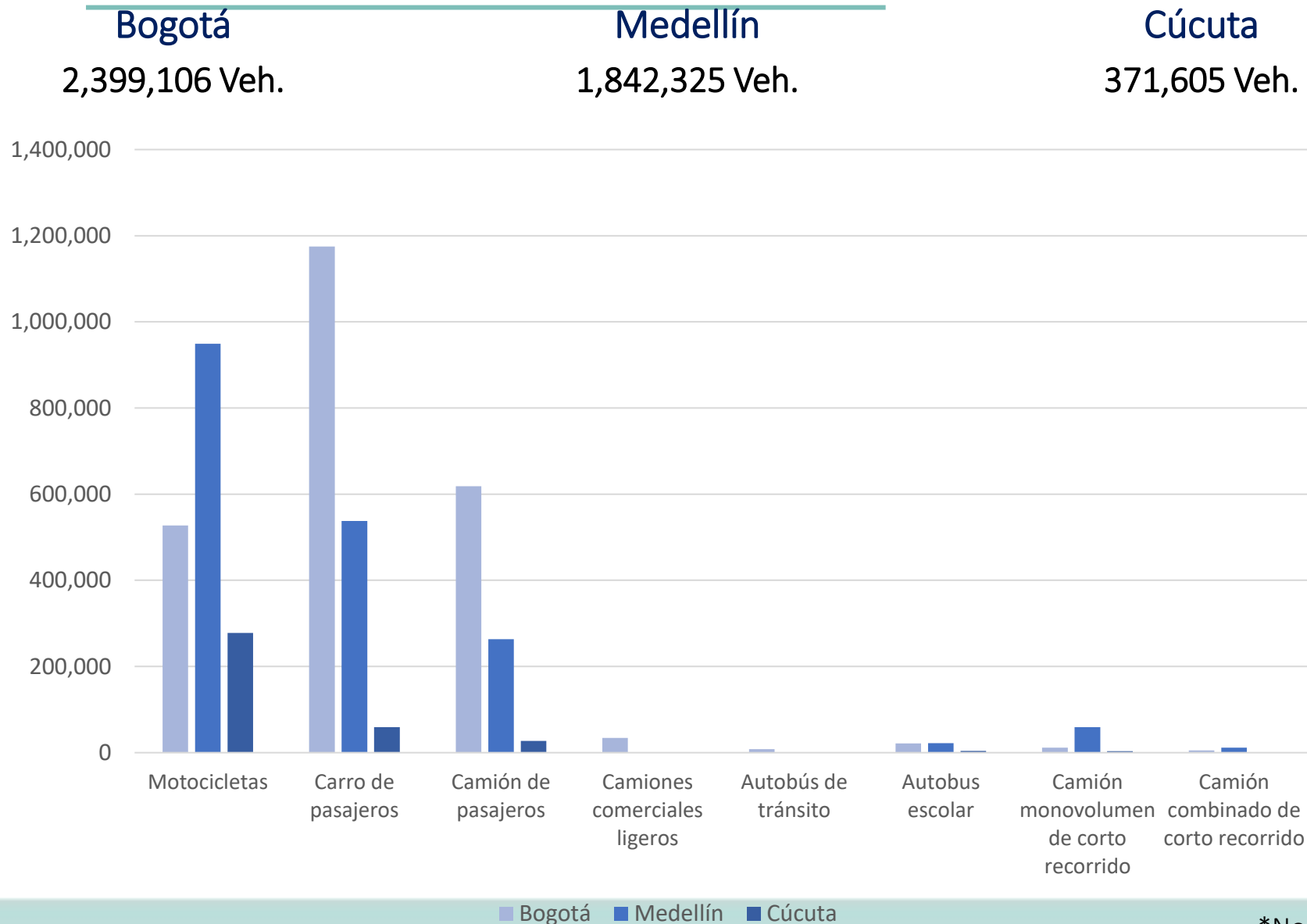
Desarrollo de base de datos de entrada para el modelo MOVES

- **Tipo de fuente:** población de vehículos por categoría vehicular
- **Distribución de edad:** últimos 30 años por categoría vehicular
- **Distribución de velocidad por categoría vehicular**
- **Combustible:**
 - Distribución de uso de combustible por año modelo del vehículo y categoría vehicular
 - Composición combustibles (Gasolina: RVP (psi), contenidos de: azufre, aromáticos, olefinas, benceno, e200, e300, T50, T90, % de mezcla de oxigenantes. Diesel: RVP(psi), contenidos de: azufre, aromáticos, índice de cetano, PAH, e200, e300, T50, T90, % de mezcla de biodiesel.
- **Tipo de vehículo:**
 - Millas recorridas totales por categoría vehicular.
 - Fracción de distribución de VMT por mes
 - Fracción de distribución de VMT por día
 - Fracción de distribución de VMT por horas del día.
- **Tipo de vía:** Distribución de tipo de vías.
- **Datos meteorológicos:** datos de temperatura (°F) y humedad relativa (%). Perfil de 24 horas por mes.

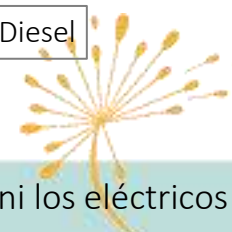
Pósteres 071-4 y 072_4:
MOVES como herramienta para la
gestión de la calidad del aire



3. Metodología: Fase 2 – Desarrollo base de datos de entrada



*No se incluyen los vehículos de GNV ni los eléctricos



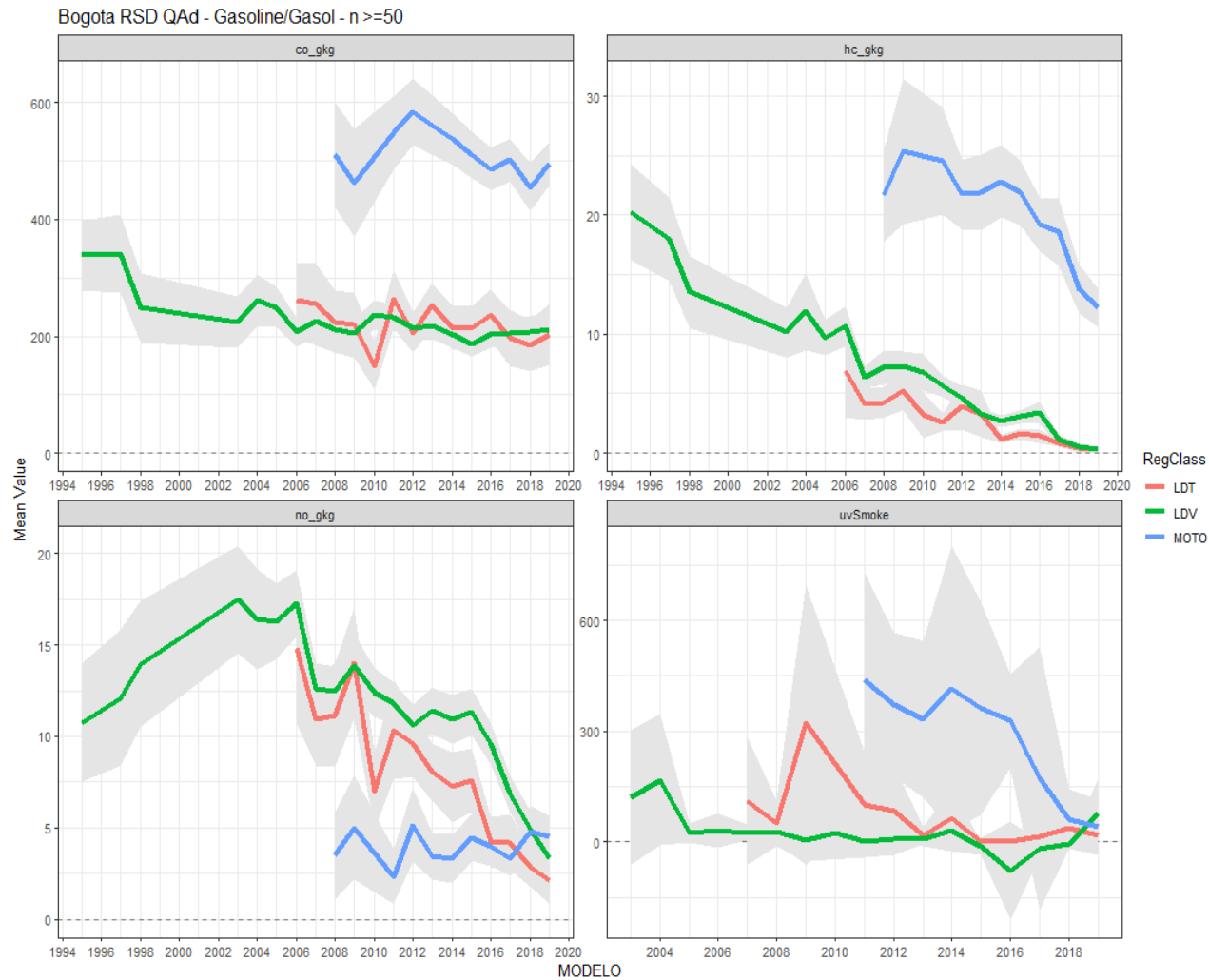
3. Metodología: Fase 2 – Desarrollo base de datos de entrada

TECNOLOGÍA VEHICULAR

Año del modelo		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030+
Vehículos livianos	U.S.A	Tier 1				NLEV			Tier 2								Tier 3																					
	Equivalente Colombia	Exosto	U.S. Tier 1															U.S. Tier 2																				
		Evap.	U.S. "Pre-Enhanced" (Tier 0)																																			
Vehículos carga	U.S.A	1994		1998				2004 (EGR)		2007 (DPF)		2010 (DPF + SCR)																										
	Equivalente Colombia	U.S. 1994										U.S. 1998				U.S. 2004																						
Motocicletas	U.S.A	Tier 0						Tier 1			Tier 2																											
	Equivalente Colombia	U.S. Tier 0															U.S. Tier 1																					



3. Metodología: Fase 3 – Desarrollo de tasas de emisión MOVES Colombia



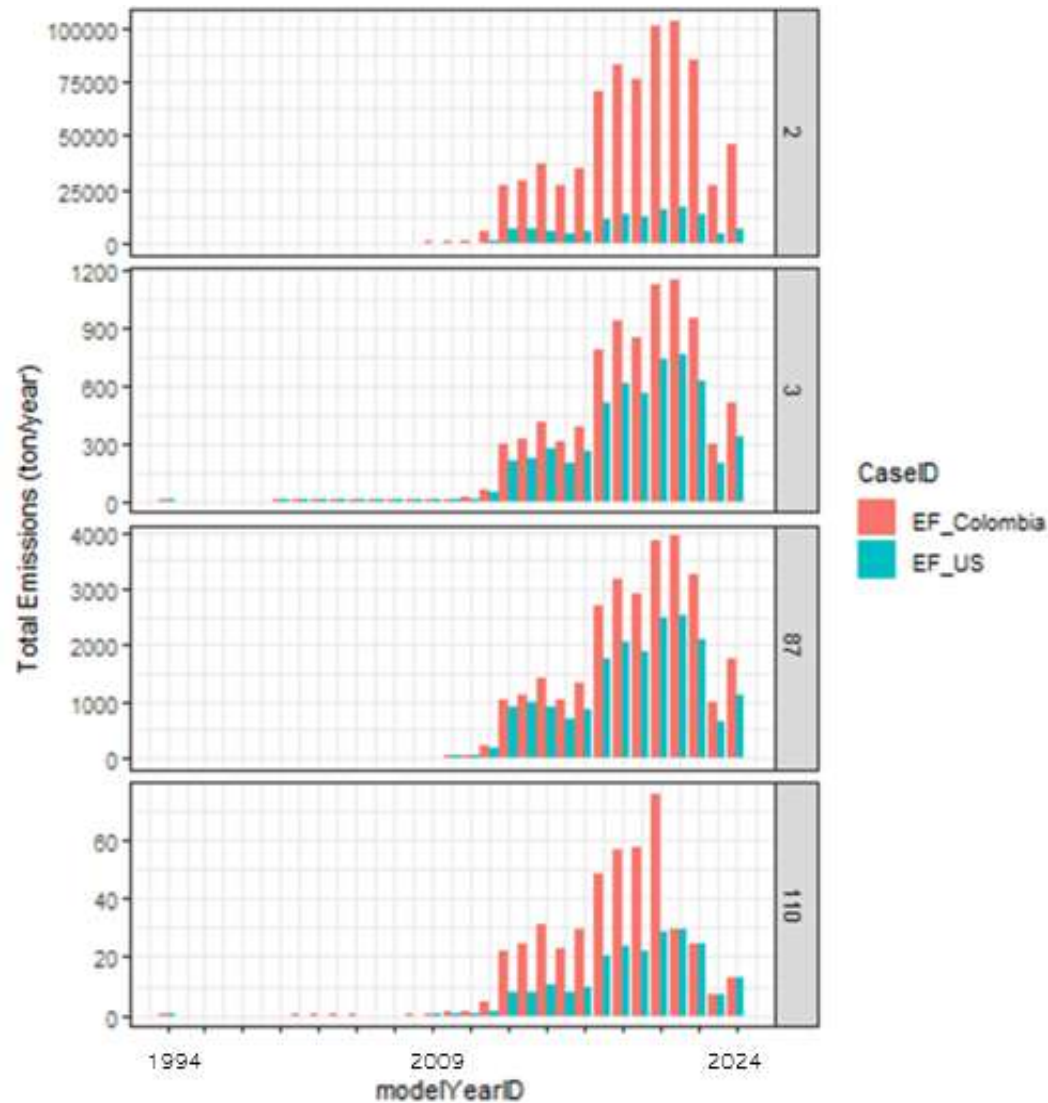
Diferencias relativas entre tasas de emisión de Colombia y USA

- CO y HC entre 17-18x mayor
- NOx 5x mayor.
- PM 7x mayor.

Datos de sensores remotos en Bogotá



3. Metodología: Fase 4 – Ejecución del modelo MOVES Colombia



- Las tasas de emisión colombianas son significativamente mayores que las bases de datos predeterminadas en MOVES.
- Una flota de vehículos más antigua y la falta de dispositivos de control de la contaminación podrían explicar las diferencias.



3. Metodología: Fase 5 – Evaluación de mezclas de gasolinas en emisiones

CIUDADES

- Bogotá
- Medellín y valle de Aburrá
- Cúcuta

Efectos en contaminantes criterio
PM2.5, NOx, CO, SO2, THC, VOCs

Carbon Footprint of Oxygenated
Gasolines in Colombia, John Koupal
Viernes, 11am

Escenarios de combustible

- regular gasoline (E0)
- ethanol (E10)
- ETBE (E8OX6, E5OX13, OX24)

*E: % etanol, OX: % ETBE





4. Resultados



3. Metodología: Fase 5 – Evaluación de mezclas de gasolinas en emisiones

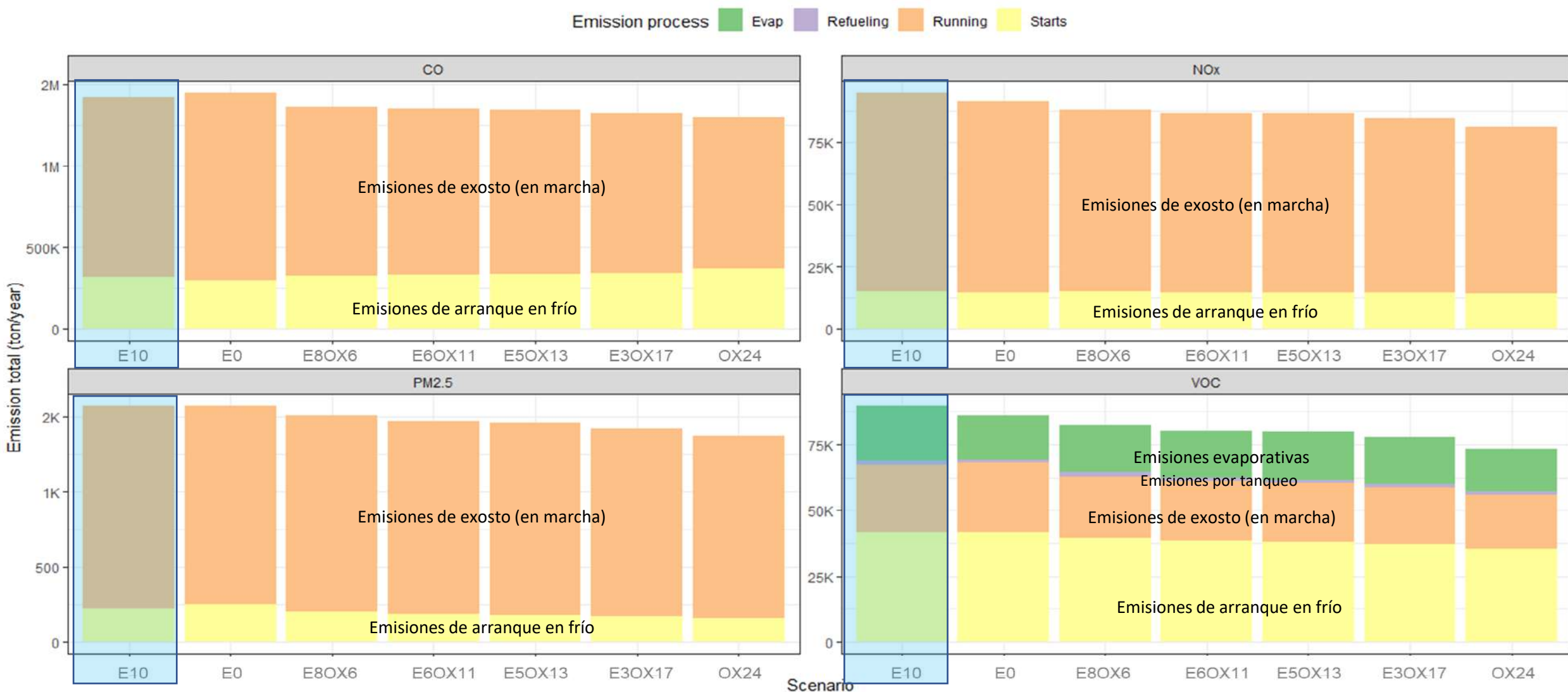
	Corriente Oxigenada	Corriente Básica	Corriente Oxigenada	Corriente Oxigenada	Corriente Oxigenada	Corriente Oxigenada	Corriente Oxigenada
Blend*	E10	E0	E8OX6	E6OX11	E5OX13	E3OX17	OX24
Oxígeno (% wg)	3.7	0	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
Contenido de energía (MJ/kg)	44.4	46.1	44.2	44.1	44.0	43.9	43.8
RON	89.0	84.0	93.0	93.6	94.0	94.9	96.1
RVP (psi)	65	55	60.4	58.4	57.5	55.2	44.3
Nivel de sulfuro (ppm)	50	50	43	42	42	40	38
Volumen ETOH (%)	10.6	0	7.8	5.8	4.9	2.9	0
Volumen MTBE	0	0	0	0	0	0	0
Volumen ETBE (%)	0	0	6.4	10.8	12.8	17.2	23.6
Volumen TAME	0	0	0	0	0	0	0
Contenido aromático (%)	19.7	22.0	18.9	18.3	18.1	17.6	16.8

*E: % etanol, OX: % ETBE

Oxigenantes en la gasolina incrementan el número de octano (RON)



4. Resultados: Comparación de emisiones totales - Bogotá

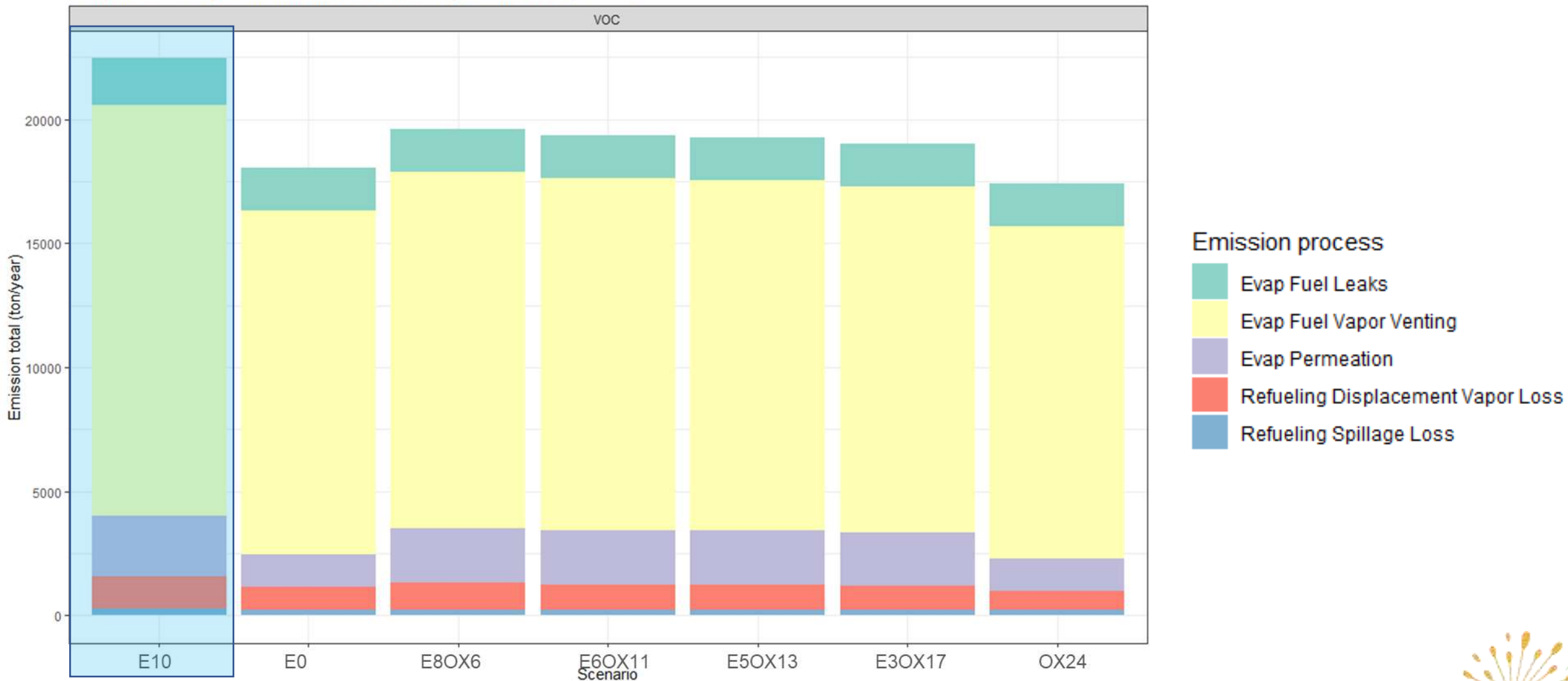


Medellín y Cúcuta muestran la misma tendencia en los escenarios



4. Resultados: Comparación emisiones evaporativas- Bogotá

Comparison of evaporative emissions of vehicles by scenario and process



Medellín y Cúcuta muestran la misma tendencia en los escenarios



4. Resultados: Diferencia con la referencia E10

Contaminante	Bogotá				Medellín				Cúcuta			
	E0	E8OX6	E5OX13	OX24	E0	E8OX6	E5OX13	OX24	E0	E8OX6	E5OX13	OX24
VOC	-4.1%	-8.1%	-11.2%	-18.2%	-6.9%	-8.1%	-11.1%	-18.9%	-11.2%	-9.5%	-12.6%	-22.1%
CO	4.0%	-6.1%	-9.0%	-16.1%	4.1%	-6.1%	-8.9%	-15.8%	3.6%	-6.4%	-9.3%	-16.8%
NOx	-3.4%	-7.0%	-8.7%	-14.6%	-2.5%	-4.3%	-5.4%	-9.2%	-3.3%	-5.0%	-6.4%	-16.2%
PM _{2.5}	0.2%	-4.0%	-7.5%	-12.6%	-0.6%	-1.7%	-3.2%	-5.4%	-3.0%	-5.1%	-9.7%	-16.8%
SO ₂	-3.7%	-13.8%	-16.6%	-25.4%	-3.4%	-12.5%	-15.0%	-23.0%	-3.9%	-14.3%	-17.2%	-26.3%

*formaldehído, acetaldehído, acroleína, propionaldehído

Observaciones:

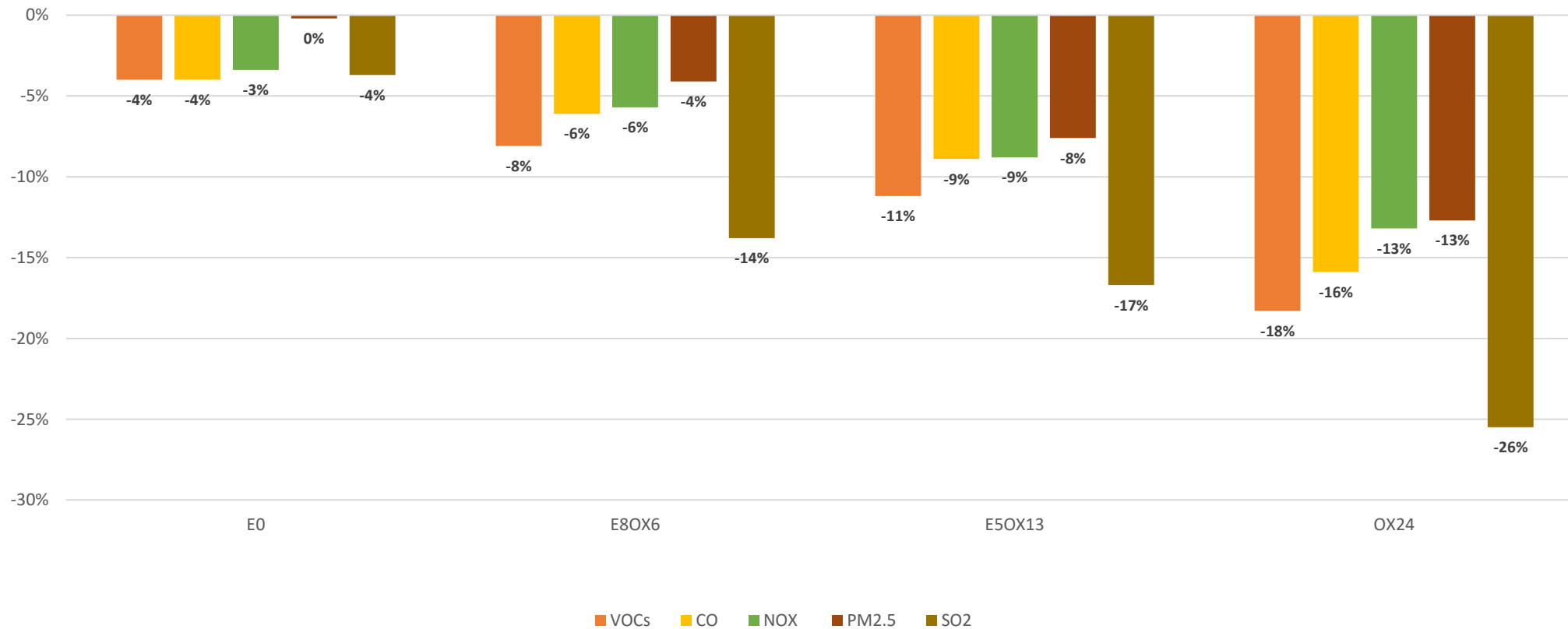
- E10 incrementa emisiones de PM_{2.5}, NO_x, SO₂, VOCs con respecto al E0
- CO es el único contaminante que se reduce al incorporar EtOH en la gasolina
- Incremento de VOCs se explica por aumento del RVP
- Incremento de PM_{2.5} relacionado con una mayor energía latente de vaporización del etanol

La reducción del etanol y el aumento del ETBE suponen una reducción de los contaminantes y tóxicos.

$$\%Diff = \frac{\text{Scenario} - E10}{E10} \times 100$$



4. Resultados: Diferencia con la referencia E10 - Bogotá



$$\%Diff = \frac{\text{Scenario} - \text{E10}}{\text{E10}} \times 100$$



4. Resultados: Comparación emisiones tóxicos con la referencia E10

Contaminantes	Bogotá				Medellín				Cúcuta			
	E0	E8OX6	E5OX13	OX24	E0	E8OX6	E5OX13	OX24	E0	E8OX6	E5OX13	OX24
BTEX	-1.2%	-5.5%	-8.5%	-14.5%	-4.3%	-5.1%	-8.1%	-15.3%	-11.1%	-5.2%	-8.5%	-19.3%
Hexane	-58.8%	-5.7%	-8.7%	-60.6%	-53.9%	-4.9%	-7.7%	-55.3%	-60.0%	-4.4%	-7.3%	-59.3%
Aldehydes*	-29.6%	-10.8%	-19.2%	-29.0%	-21.2%	-6.2%	-11.1%	-16.4%	-23.1%	-8.3%	-15.0%	-22.3%
1,3-Butadiene	24.9%	-4.7%	-7.5%	-11.6%	23.3%	-4.7%	-7.8%	-11.8%	25.1%	-4.7%	-7.5%	-11.6%

*formaldehído, acetaldehído, acroleína, propionaldehído

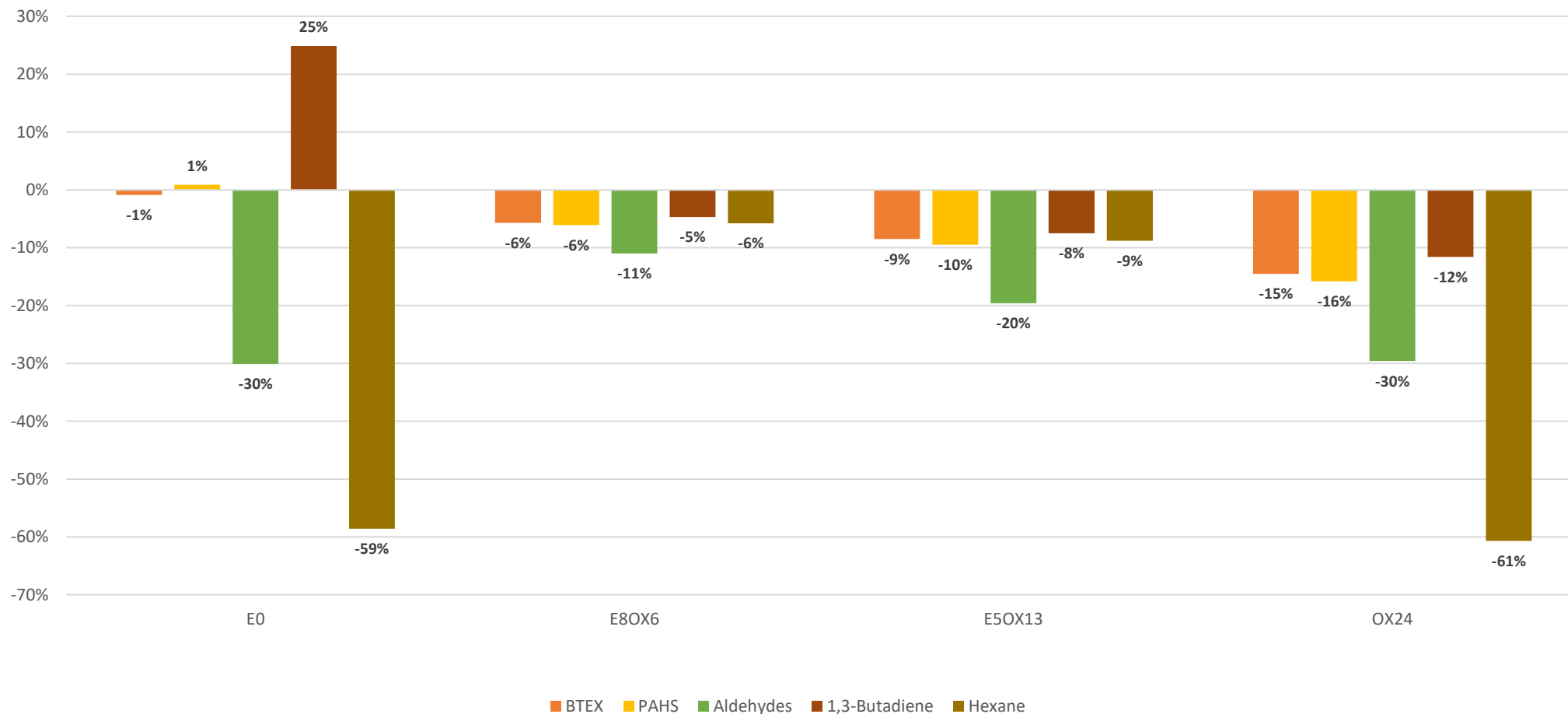
Observaciones:

- E10 incrementa emisiones de BTEX, hexano, aldehídos.
- 1,3-Butadieno es el único contaminante que se reduce al incorporar EtOH en la gasolina
- Reducción en los contenidos de aromáticos, olefinas y benceno a medida que aumenta el volumen de oxigenados

La reducción del etanol y el aumento del ETBE suponen una reducción de los contaminantes y tóxicos.



4. Resultados: Diferencia con la referencia E10 - Bogotá



$$\%Diff = \frac{\text{Scenario} - \text{E10}}{\text{E10}} \times 100$$





5. Conclusiones



Conclusiones



MOVES fue **satisfactoriamente adaptado** a Colombia en las ciudades de Bogotá, Medellín y Cúcuta, incluyendo información del parque vehicular local y tasas de emisión a partir de sensores remotos. La comparación del MOVES se realizó con los ejercicios de inventarios de emisiones locales.



Las normas actuales en Colombia están aproximadamente **dos décadas por detrás de las de EE.UU.**, debido a diferencias en la regulación, **la calidad del combustible**, el tipo de vehículo, la edad del parque automotor, los patrones de conducción, las condiciones ambientales y los programas de mantenimiento, entre otros factores.



El uso de gasolina mezclada con alcohol (E10) representa **un incremento en las emisiones evaporativas (VOCs)** y de contaminantes criterio, con excepción de CO.



El uso progresivo de **mezclas de gasolina + alcohol con ETBE reduce las emisiones de PM2.5, CO, NOx, y VOCs** con respecto al E10.



MOVES Colombia representa una **herramienta adaptada al contexto local** para estimar emisiones de fuentes móviles y apoyar la construcción de inventarios de emisiones.



6. Agradecimientos



6. Agradecimientos

- Este estudio fue financiado por la Asociación de Combustibles Eficientes de Latinoamérica ACELA.
- Agradecemos a las autoridades ambientales en Bogotá, Medellín y Cúcuta por proveer la información necesaria para la ejecución del modelo.
- Reconocemos las contribuciones a la comprensión de las mezclas de gasolina con oxigenantes hechas por el Dr. Daniel Pourreau de ACELA, en especial, con el uso del modelo COMPLEX y sus modificaciones.



Preguntas?

Jorge E. Pachón
jpachon@unisalle.edu.co

Mario A. Noriega
manoriegava@unal.edu.co

UNIVERSIDAD DE
LA SALLE


CASAP IX
CONGRESO COLOMBIANO Y
CONFERENCIA INTERNACIONAL
DE CALIDAD DE AIRE, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD PÚBLICA


75 años IQ
Liderazgo y compromiso con
el desarrollo y la equidad | 1948
2023

