



ESTUDIO DE SEGUIMIENTO DE LA  
EVOLUCIÓN DE LOS PILOTOS DE CAMIONES DE  
BAJAS EMISIONES EN COLOMBIA  
Workstream 3.1

**GIRO ZERO:**

**Dirigiendo el sector  
transporte automotor  
de carga en Colombia  
hacia las cero  
emisiones**

**Autores:**

**Andrés Felipe Rey, Camila Faride Cubillos, Luisa Spaggiari, Juan Pablo Bocarejo,  
Gordon Wilmsmeier**

**Diciembre 2022**



---

## Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

---

Este documento fue preparado por el proyecto GIRO ZERO de la Universidad de los Andes, Colombia, y la Universidad de Cardiff, Reino Unido, dentro del alcance del proyecto del Programa UK PACT entre el Reino Unido y Colombia.

Los autores desean agradecer a todos los colaboradores.

Las opiniones expresadas en este documento no han sido sometidas a revisión editorial por la parte contratante del proyecto, son responsabilidad exclusiva de los autores y pueden no coincidir con la de la entidad financiadora.

Imagen portada: Simulación del prototipo de camión repostando hidrógeno, tomada de: [https://www.cronicavasca.com/empresas/cikautxo-tecnalia-desarrollan-tecnologia-puntera-primer-camion-hidrogeno-espanol\\_556488\\_102.html](https://www.cronicavasca.com/empresas/cikautxo-tecnalia-desarrollan-tecnologia-puntera-primer-camion-hidrogeno-espanol_556488_102.html)

## Tabla de Contenidos

1	Introducción.....	3
2	Diseño de pilotos.....	4
3	Comparaciones entre los pilotos .....	8
4	Conclusiones y siguientes pasos .....	14
5	Referencias.....	15

## Lista de Figuras

Figura 1.	Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrógeno de bajas emisiones.....	7
Figura 2.	Resultados piloto Expocafé de camión eléctrico vs diésel.....	9
Figura 3.	Resultados piloto BASF de camión eléctrico vs diésel .....	10
Figura 4.	Resultados piloto HDL-Bimbo de camión gas natural vs diésel .....	11
Figura 5.	Comparación de camiones con el indicador de emisiones totales .....	12
Figura 6.	Comparación de camiones con el indicador de costo del energético .....	12
Figura 7.	Comparación de camiones con la tasa de emisión. ....	13

## Lista de Tablas

Tabla 1.	Descripción operación del piloto ExpoCafé.....	5
Tabla 2.	Descripción operación del piloto HDL-Bimbo .....	6
Tabla 3.	Descripción operación del piloto BASF .....	6
Tabla 4.	Resumen de operación de 3 pilotos en el 2022 .....	8

## 1 Introducción

El proyecto Giro Zero liderado por la Universidad de los Andes y Cardiff University, financiado por UKPACT<sup>1</sup>, tiene como objetivo ayudar a aumentar la adopción de tecnologías de bajas emisiones y mejores prácticas ambientales mediante la propuesta de estrategias para mejorar la configuración, gestión y logística de la flota y el uso de combustibles renovables en el Transporte Automotor de Carga (TAC).

El transporte por carretera es el modo de transporte de mercancías más intensivo en energía (por tonelada - kilómetro) y funciona casi exclusivamente con combustibles fósiles, con una baja eficiencia energética y un alto nivel de emisión de gases. Los camiones ligeros, medianos y pesados aportan el 42 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todos los modos de transporte, lo cual es el 4,6 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> de todos los sectores en Colombia en 2019 (Uniandes-Unicardiff, 2022). La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es uno de los mayores desafíos mundiales hasta 2050. En 2019, el gobierno promovió la Ley 1864 que respalda los vehículos eléctricos en Colombia para reducir las emisiones contaminantes y los GEI al tiempo que contribuye a la movilidad sostenible. Más recientemente en diciembre de 2021, se publicó la ley de acción climática, la cual establece la meta de desintegración de 57.000 camiones al término de la NDC al 2030.

Los pilotos se han desarrollado con el propósito de levantar información de campo real y calcular indicadores intensivos con el fin de poder realizar comparaciones entre tecnologías, empresas y tipos de cadenas de suministro. En el presente documento se presentan análisis de tecnologías de camiones eléctricos y de gas natural comparados con tecnología diésel. En el caso de camiones eléctricos, para Latinoamérica el estudio “A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America” presenta entre sus principales resultados que los camiones ligeros alcanzan el punto de equilibrio en periodos menores de 2 a 3 años en operaciones urbanas y regionales, que para camiones pesados que pueden estar entre 4 y 13 años (Tanco, 2019). Dado que los vehículos eléctricos comerciales son relativamente nuevos en el mercado, existen pocos estudios de literatura académica con mediciones de campo que comparen su competitividad con los camiones Diésel convencionales. En cuanto a los camiones de gas, un documento referencial usado para este estudio es el “LNG Trucks: a dead end bridge. Emissions testing of a diésel- and a gas-powered long-haul truck.” en el cual compara la operación de dos tractocamiones uno de diésel con otro de Gas natural ambos de tecnología Euro VI con datos de campo y adaptado de igual forma a la metodología VECTO (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool). (Transport & Environment, 2021)

El presente documento se preparó en tres secciones, la primera sección presenta el diseño de los pilotos en Colombia en el marco del proyecto GiroZero, la segunda sección sobre las comparaciones realizadas entre las tecnologías en cada uno de los pilotos y la tercera sobre la continuación de pilotos y posteriores validaciones tecnológicas.

---

<sup>1</sup> UK PACT (Partnering for Accelerated Climate Transitions) es un programa único de desarrollo de capacidades. Gobernado y financiado conjuntamente por la Oficina de Relaciones Exteriores, Bienestar Común y Desarrollo (FCDO) del Gobierno del Reino Unido y el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS) a través de International Climate Finance del Reino Unido.

## 2 Diseño de pilotos

Los pilotos de medición de huella de carbono en transporte automotor de carga están diseñados para realizar una medición de dos tipos de vehículos en condiciones operativas reales de las empresas y operaciones logísticas similares más no idénticas. Lo anterior significa, que en el diseño de los pilotos se pueden tolerar características distintas tales como: condiciones de distintas de las rutas analizadas, distintos productos a ser transportados, distintos conductores, distintos periodos de medición y aunque se desean tener las condiciones más similares, se logra una comparación a través de indicadores intensivos de medición de emisiones por cada tonelada kilómetro transportada. Las “validaciones tecnológicas” se usan para hacer una comparación con condiciones controladas al reducir la incertidumbre de los resultados generados por distintas características externas a la tecnología, por lo cual se realizan en rutas controladas o autódromos, con el peso de carga exactamente igual, en el mismo periodo de tiempo y usualmente con el mismo conductor, de forma que las variaciones presentadas sean solamente las tecnológicas que se van a medir.

En los pilotos de comparación de tecnologías de emisión, el principal indicador es la intensidad de emisiones por tonelada kilómetro, que es el recomendado para comparar distintas tecnologías, vehículos, productos, cadenas logísticas y de esta forma poder hacer un adecuado benchmarking. (Smart Freight Center, 2019). De igual forma se considera dentro de la metodología de medición las emisiones según lo que se denomina del Pozo a la Rueda, o por su término en inglés “Well to Wheel” (WTW), el cual consideran tanto las emisiones relacionadas a la producción del energético, ya sea electricidad o diésel “Well to Tank” (WTT) y las emisiones relacionadas al consumo del energético “Tank to Wheel” TTW (Smart Freight Center, 2019) & (Transport & Environment, 2021). Para calcular las emisiones relacionadas al consumo de electricidad, se utilizó el factor de Emisiones Matriz Energética Colombia publicado por la UPME en el 2020 con un valor de 0,203 t CO<sub>2</sub>eq/MWh que es igual a 203 g CO<sub>2</sub>eq/KWh. (UPME, 2021). Para el vehículo de diésel se usó el factor de 10,133 Kg CO<sub>2</sub>eq/Gal Decreto 926 de 2017 (MinAmbiente, 2017).

La tasa de emisión es un indicador que relaciona las emisiones causadas comparado con el valor pagado<sup>2</sup> del energético (Electricidad o Diésel). El costo relacionado con las emisiones es uno de los parámetros más importantes en la selección de un vehículo puede llegar a ser el 34 % de los costos operativos (ANDI, 2016), por tanto, este indicador es una propuesta del Proyecto Giro Zero para aquellas empresas que no tienen acceso a la información de consumo de combustible de sus proveedores terceros, pero conocen el valor que pagan de fletes a terceros o de consumos de combustible de esas operaciones. Con esta tasa de emisión es posible tener un estimativo de las emisiones que se generan con base en el cálculo directamente de los registros financieros, aunque esta medida no sea certificable. Valores de referencia se pueden consultar en <https://girozero.uniandes.edu.co/herramientas/dashboard> (Rey-Ladino, 2021)

### 2.1 Piloto Expocafé

La cadena de suministro de café tiene múltiples eslabones de transporte y muchos actores involucrados, lo que la hace diferente de otras cadenas de logística de alimentos que generalmente tienen menos interacciones entre los actores a lo largo de la cadena de suministro. El transporte se realiza en diferentes tipos de vehículos y, además, las distancias entre nodos son muy variables, desde menos de 10 km hasta 900 km.

Expocafé participó en el concurso liderado por la Alianza para la Movilidad Sostenible en el Transporte de Carga. Al resultar ganador del concurso le fue entregado un camión eléctrico para realizar transporte por un mes calendario y un puesto de carga instalado por Celsia.

---

<sup>2</sup> Este indicador es una propuesta del Proyecto Giro Zero para aquellas empresas que no tienen acceso a la información de consumo de combustible de sus proveedores terceros, pero saben el valor que pagan de fletes a terceros o de consumos de combustible de esas operaciones. Con esta tasa de emisión se puede tener un estimativo de cuantas emisiones se generan con un cálculo directamente de los registros financieros, aunque esta medida no es certificable. Valores de referencia se pueden consultar en <https://girozero.uniandes.edu.co/herramientas/dashboard> (Rey-Ladino, 2021)

## Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

Posteriormente, con la participación de la empresa CargaYa BIC<sup>3</sup>, el cual dispuso un camión de combustión Diésel con tecnología de emisiones Euro V de un pequeño propietario, con el fin de realizar pruebas en las mismas rutas y con condiciones similares a las realizadas por el camión eléctrico.

El camión eléctrico es marca Auteco; modelo Stark con una capacidad de carga efectiva de 3.2 ton, la capacidad de la batería es de 82 kWh, lo que ofrece una autonomía entre 120 y 160 km. Su consumo medio es de 0,45 kilovatios por kilómetro con un coste de alrededor de \$COP 243/km. Teniendo en cuenta la capacidad de carga y la duración de las baterías del camión eléctrico, se ha definido el segundo eslabón de la cadena logística para realizar nuestra prueba de campo, es decir, los transportes entre el centro de compra cooperativa y el centro de distribución de Expocafé. Los centros de compra de las cooperativas son fácilmente rastreables, y se determinó a priori la distancia entre ellos y el centro de distribución. Entre estos dos puntos, el café es transportado en sacos de 75 kg regularmente en camiones con capacidad de 10 toneladas.

Las pruebas de campo se realizaron con el apoyo de la cooperativa de caficultores de Antioquia, desde los centros de compra ubicados en Caldas, El Retiro, La Ceja, San Jerónimo y Barbosa hasta el centro de distribución, propiedad de Expocafé, ubicado en Girardota, Antioquia lugar donde se instaló el punto de carga de camiones. El camión estuvo disponible durante 31 días calendario, en servicio durante 22 días hábiles, con una ocupación promedio del 59%. Se realizaron 16 viajes, seis de ellos completamente cargados, uno cargado y nueve vacíos.

**Tabla 1. Descripción operación del piloto ExpoCafé**

Descripción operación del piloto	Eléctrico	Diésel
Viajes realizados	16	10
Distancia total recorrida (km)	1.461	1.005
Distancia promedio / viaje (km)	91,3	100,5
Peso promedio / viaje (kg)	1.625	1.396

Fuente: Elaboración propia GiroZero

### 2.2 Piloto HDL-Botero Soto

HDL Logística es una empresa colombiana de transporte de carga terrestre con cobertura local, regional y nacional. Con el fin de realizar una comparación de las emisiones y el rendimiento del camión de Gas Natural, se propuso realizar los cálculos con un vehículo de las mismas características de diésel que cubriera la misma ruta, a pesar de que la empresa HDL tiene camiones a diésel con las mismas características no los utilizan en la misma ruta ni para el mismo cliente, por lo que se procedió a hablar con Bimbo de Colombia, el cliente exclusivo del vehículo de Gas Natural de HDL. Bimbo de Colombia cuenta con diferentes empresas que prestan los servicios en la misma ruta, en el mismo periodo en el que se hizo el piloto la empresa Botero Soto estaba prestando los servicios en la misma ruta con camiones de Diésel con las mismas características técnicas, luego de una reunión de acercamiento en la que se les presentó el objetivo del piloto accedieron a compartirnos la misma información de forma detallada para los recorridos realizados en el mismo periodo. Sin embargo, esta empresa tiene diferentes vehículos cubriendo la misma ruta por lo que nos enviaron información de ocho vehículos diferentes con características similares.

El piloto se realizó en la ruta Bogotá – Medellín - Bogotá, se transportaron productos terminados de panadería de la marca Bimbo. Para el camión a Gas Natural en esta ruta debe hacer un desvío para abastecerse, en un sitio conocido como el Coran, hasta la Dorada, lo que representa aproximadamente 8 km y 20 minutos en condiciones normales, y el tiempo de llenado del tanque de gas natural es de 20 minutos, por lo que en total el tiempo adicional en la ruta es de al menos una hora.

En el presente piloto se presentó diferencia de producto transportado y de ruta que ocasionó un peso promedio distinto para el gas natural de 21,7 ton/viaje comparado con el de diésel de 9,5 ton/viaje, luego esta limitación esta situación se

<sup>3</sup> Sociedades Comerciales de Beneficio e Interés Colectivo

## Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

supera con la comparación de indicadores intensivos, de forma que puedan llegar a ser comparables en alguna medida y/o sean referenciales, aunque para la comparación del presente caso de estudio se imputaron pesos similares con el fin de generar referencias respecto al tipo de vehículo.

**Tabla 2. Descripción operación del piloto HDL-Bimbo**

Descripción operación del piloto	Gas Natural	Diésel
Viajes realizados	14	26
Distancia total recorrida (km)	11.563	10.973
Distancia promedio / viaje (km)	826	422
Peso promedio / viaje (kg)	21.680	9.550

Fuente: Elaboración propia GiroZero

### 2.3 Piloto BASF

Las estrategias de sostenibilidad de BASF se enfocan en un cambio tecnológico de las tecnologías tradicionalmente usadas en la operación vehicular de la empresa. Por lo que BASF decide cambiar un vehículo de combustión a Diésel tradicional en la ciudad de Bogotá D.C. por un vehículo eléctrico, la operación a rasgos generales es en el segmento de última milla. Hay dos camiones en la operación vehicular de Bogotá repartiendo pintura, uno de ellos es Diésel y el otro es eléctrico. El camión eléctrico se ha adquirido por el modelo de renting, es decir, se paga un canon de arrendamiento para utilizar el vehículo, es adquirido por este medio dada la viabilidad financiera y el soporte dado por renting Bancolombia (organización que renta el vehículo).

El piloto se basó en preguntar y recolectar las diferencias de una tecnología con la otra, las preferencias del conductor y las emisiones asociadas a las diferentes operaciones vehiculares. Teniendo como resultado que la preferencia para conducir es el vehículo eléctrico, dada la comodidad y el rendimiento brindado al usuario, por lo que, se considera superior que la tecnología tradicional usada (Diésel). De igual forma, se recolectó información de las operaciones de ambas tecnologías por medio de formatos que provee GiroZero, se realizaron viajes en Bogotá, Tocancipá, Siberia, Cota, Chía, Cajicá, Funza y Zipaquirá.

**Tabla 3. Descripción operación del piloto BASF**

Descripción operación del piloto BASF	Gas Natural	Diésel
Viajes realizados	14	26
Distancia total recorrida (km)	11.563	10.973
Distancia promedio / viaje (km)	826	422
Peso promedio / viaje (kg)	21.680	9.550

Fuente: Elaboración propia GiroZero

Las operaciones son factibles con un vehículo eléctrico, se debe tener una buena coordinación de logística dado su tiempo de carga, sin embargo, su autonomía no afecta con la operación en este caso de BASF. Los resultados en operación y económicos son favorables. Es importante mencionar el compromiso que debe tener la organización con sus políticas de movilidad sostenible y con el medio ambiente como BASF, dado que es un factor esencial para llevar a cabo el caso de estudio exitosamente.

### 2.4 Piloto Hidrógeno en diseño

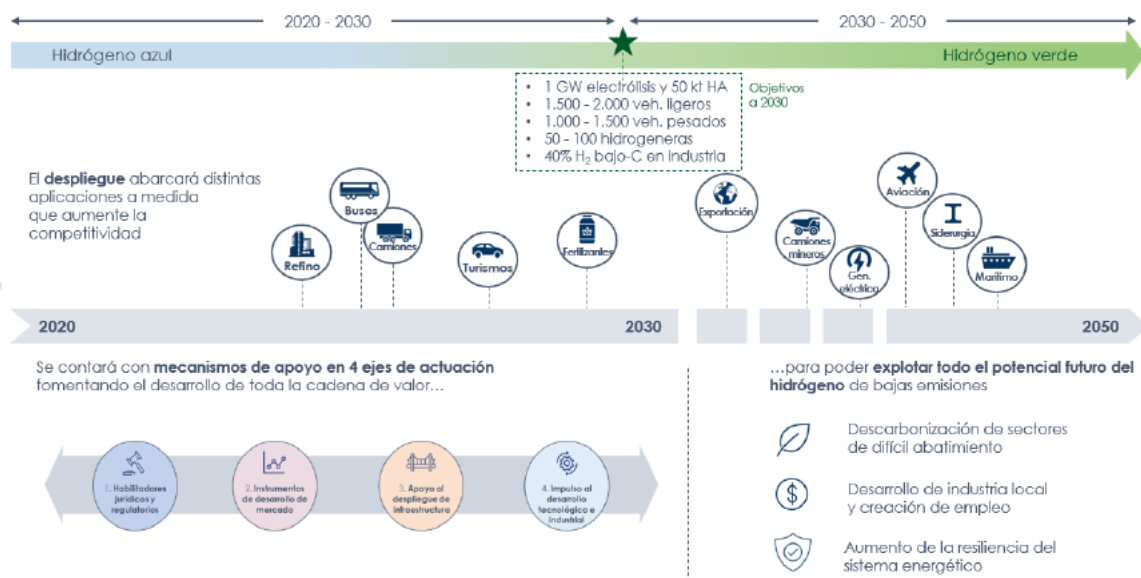
El alcance inicial de piloto de hidrógeno es apoyar el análisis de factibilidad para traer un camión de hidrógeno (Fuel Cell Electric Vehicle) a Colombia y en una segunda fase probar la tecnología en Colombia y publicar los resultados de esta tecnología. Debido a este alcance, la primera fase puede desarrollarse el primer año, y la segunda fase tiene la incertidumbre de financiar la prueba real y podría implementarse entre 2 y 4 años. La justificación sobre la viabilización de esta tecnología se basa en las siguientes premisas: i) Colombia estableció una hoja de ruta gubernamental para el

Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

hidrógeno; ii) Ya se produce hidrógeno en Colombia por parte de Ecopetrol (hidrógeno gris y proyectos para luego producir azul y verde); iii) La matriz de generación eléctrica colombiana es la sexta más limpia del mundo, el 68% de la capacidad instalada es de fuentes renovables de electricidad; iv) El uso del hidrógeno en los viajes de larga distancia y en el tipo de camiones pesados es la próxima tecnología previsible a nivel mundial en Transporte Automotor de Carga.

Según la hoja de ruta del gobierno de Colombia (MinEnergía, 2022), se planean 2,5 billones de dólares para inversión en Hidrógeno entre 2022 y 2030 generando una capacidad entre 1 y 3 GW de producción de energía para 2030 (el potencial máximo para 2050 es de 62 GW de hidrógeno verde, 20 GW de energía eólica y 42 GW de energía solar. Para el transporte de hidrógeno Colombia ya cuenta con una red de gasoductos, que podría ser utilizada con algunas especificaciones para transportar hidrógeno a los puertos y a las ciudades. Para el 2030 se espera tener al menos la siguiente demanda: - 2.000 vehículos ligeros para pasajeros o carga y 1.500 vehículos medianos para pasajeros o mercancías y al menos 100 estaciones de servicio de hidrógeno HRS.

Figura 1. Estrategia nacional a 2050 en materia de hidrógeno de bajas emisiones



Fuente: Hoja de hidrógeno 2022 Gobierno de Colombia

Opex, una empresa colombiana ubicada en Medellín, está produciendo hidrógeno verde a través de un electrolizador a un costo de 3USD/kg 4, no lo ofrecen de venta al público, por lo que este costo no es un precio público. Según la hoja de ruta del hidrógeno en Colombia, se espera que el precio objetivo sea de 1,7 USD/kg de H2 en 2030.

Durante el año 2021 y 2022 hemos buscado diferentes actores para conectar con ellos y que quieran participar en este proyecto, con el fin de involucrar a actores reales y comprometidos: a) OEM, b) un productor de hidrógeno, c) el proveedor de hidrógeno-HRS, d) el propietario del camión, e) la logística y el suministro de los usuarios, f) los fondos verdes. Se espera que para el futuro se puede realizar el piloto, ya sea por financiación de un vehículo original de un fabricante o por adaptación de la tecnología a un camión eléctrico.



### 3 Comparaciones entre los pilotos

En resumen, durante el 2022, se realizaron 3 pilotos con un total de 106 viajes evaluados y una distancia de 28.800 km recorridos transportando un total de 688 toneladas. En la Tabla 4, se observa que la mayor cantidad de viajes se monitorearon en diésel y lo anterior es debido a que fue la tecnología de referencia a ser comparada. La distancia promedio fue de alrededor de 272 km/viaje y un peso de 6,5 ton/viaje.

Para el 2022, Colombia tiene un promedio de 368 km por viaje y un peso promedio de 13,5 ton por viaje según estadísticas del RNDC publicadas en el Dashboard de GiroZero, los cuales se pueden consultar en <https://girozero.uniandes.edu.co/herramientas/dashboard> (Rey-Ladino, 2021).

**Tabla 4. Resumen de operación de 3 pilotos en el 2022**

<b>Pilotos Giro Zero (3 pilotos en el 2022)</b>	<b>Electrico</b>	<b>Diésel</b>	<b>Gas Natural</b>	<b>Total</b>
Viajes realizados	36	56	14	106
Distancia total recorrida (km)	3.341	13.896	11.563	28.800
Distancia promedio / viaje (km)	93	248	826	272
Peso transportado (ton)	66	318	304	688
Peso promedio / viaje (ton/viaje)	1,8	5,7	21,7	6,5

Fuente: Elaboración propia GiroZero

El principal indicador por comparar es la intensidad de emisiones por tonelada kilómetro, que es el recomendado para comparar distintas tecnologías, vehículos, productos, cadenas logísticas y de esta forma poder hacer un adecuado benchmarking. (Smart Freight Center, 2019). De igual forma se considera dentro de la metodología de medición las emisiones bajo lo que se denomina del Pozo a la Rueda, o por su término en inglés “Well to Wheel” (WTW), el cual consideran tanto las emisiones relacionadas a la producción del energético, ya sea electricidad o diésel “Well to Tank” (WTT) y las emisiones relacionadas al consumo del energético “Tank to Wheel” TTW. Para calcular las emisiones relacionadas al consumo de electricidad, se utilizó el factor de Emisiones Matriz Energética Colombia publicado por la UPME en el 2020 con un valor de 0,203 t CO<sub>2</sub>eq/MWh que es igual a 203 g CO<sub>2</sub>eq/KWh. (UPME, 2021). Para el vehículo de diésel se usó el factor de 10,133 Kg CO<sub>2</sub>eq/Gal y para al gas natural, se utilizó el factor de 1,952 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup>ST ambos factores tomados del Decreto 926 de 2017 (MinAmbiente, 2017).

#### 3.1 Camiones Eléctricos vs Diésel

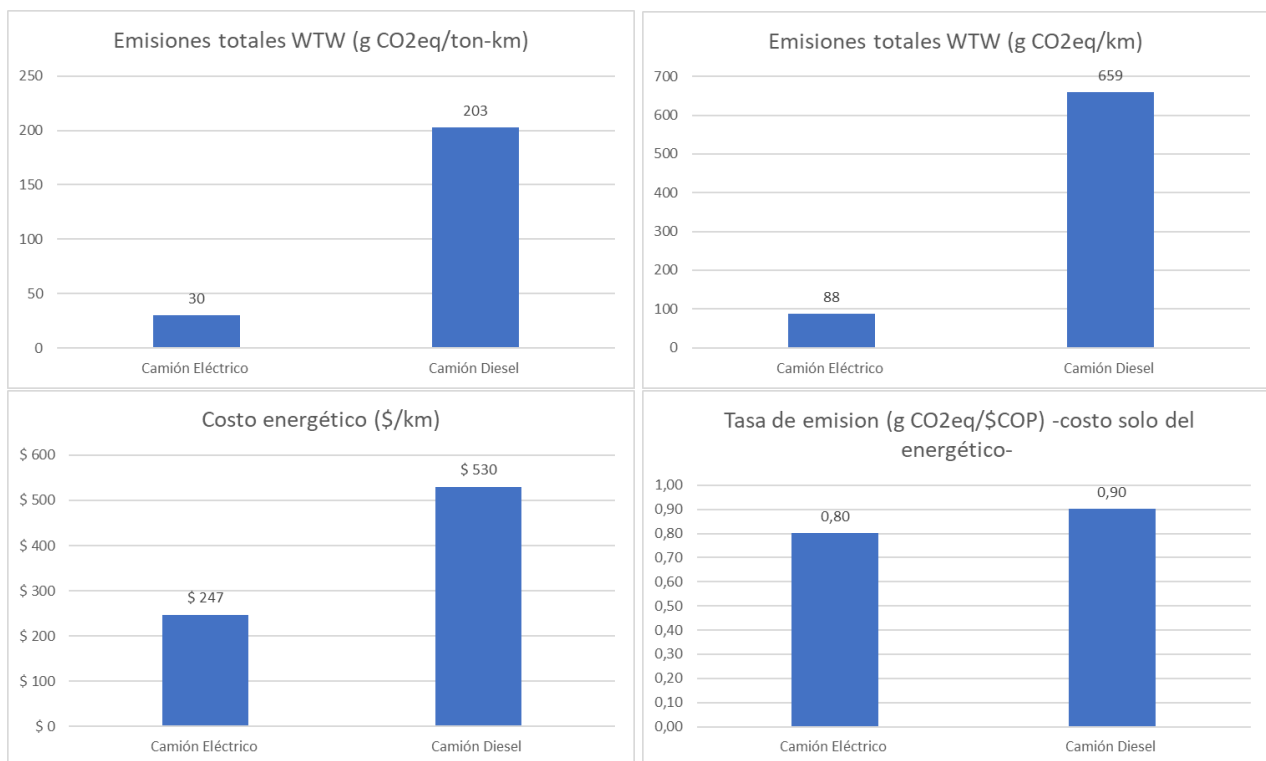
##### 3.1.1 Expocafé

En los resultados para el caso del camión eléctrico (ver Figura 2), se observa un indicador intensidad de emisiones “Well to Tank” (WTT) de 30 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km y comparado con el de diésel se observa una diferencia de 6,8 veces de mayores emisiones con un valor de 203 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km. Si se compara por otro lado, las emisiones del tipo de vehículo por kilómetro recorrido se observa que las emisiones para el camión eléctrico son de 88 g CO<sub>2</sub>eq/km y para el camión diésel son de 659 CO<sub>2</sub>eq/km llegando a ser 7,5 veces superior. Adicionalmente, el costo del combustible por kilómetro es uno los parámetros más importantes a la hora de seleccionar un vehículo, y para el caso de vehículos ligeros (C2 Turbo) puede llegar a ser el 34 % de sus costos operativos (ANDI, 2016). Observamos durante nuestras pruebas piloto que el costo puede llegar a ser 2.1 veces superior el camión del combustible diésel versus el eléctrico, siendo el costo por kilómetro para el eléctrico de \$COP 247/km y para el de diésel \$COP 530/km (con el costo de la urea incluido). Por último, y no

## Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

menos importante, la tasa de emisión es un indicador que relaciona las emisiones causadas vs el valor pagado<sup>5</sup> del energético (Electricidad vs Diésel). El costo relacionado con las emisiones es uno de los parámetros más importantes en la selección de un vehículo, durante la prueba piloto llegó a ser 12,5 % superior en el camión Diésel en comparación con el camión eléctrico, siendo el costo por emisión para el eléctrico de 0,80 g CO<sub>2</sub>eq/\$COP mientras que en Diésel es de 0,90 g CO<sub>2</sub>eq/\$COP. Por tal razón, es importante resaltar que los precios de la electricidad en comparación con el combustible diésel son especialmente altos para Colombia al compararse con otros países de Latinoamérica (Tanco, 2019) y que una política para reducir el costo de electricidad o proveer subsidios a los camiones o vehículos eléctricos, así como una adecuada infraestructura de recarga podría acelerar su adopción.

**Figura 2. Resultados piloto Expocafé de camión eléctrico vs diésel**



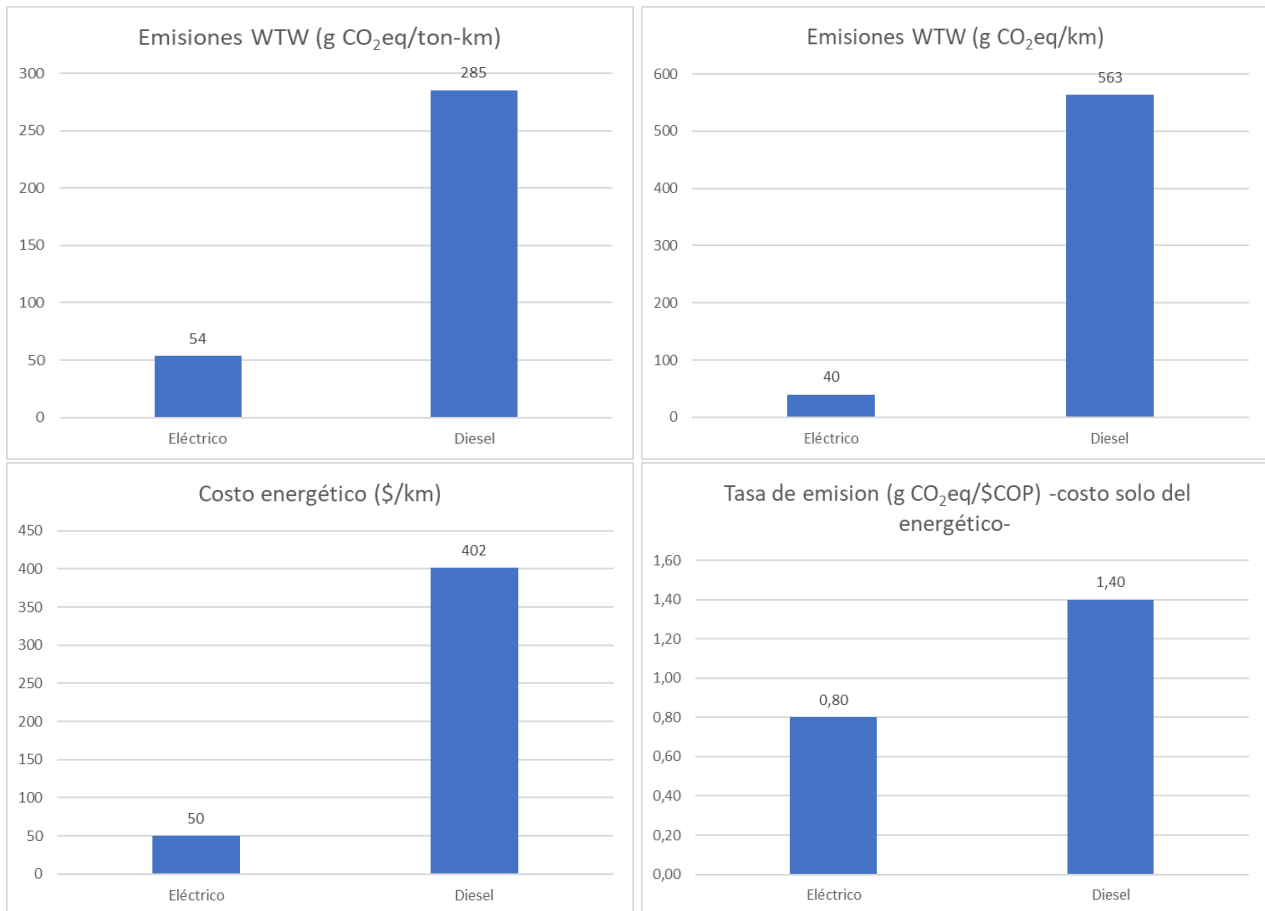
Fuente: Elaboración propia GiroZero

### 3.1.2 BASF

En los resultados para el caso del camión eléctrico (ver Figura 3), se observa un indicador intensidad de emisiones de 54 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km (WTT) mientras que el diésel emite 285 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km, teniendo un 431% de diferencia. En cuanto al costo energético, es muy competitivo el eléctrico con 50 \$/km versus 402 \$/km del diésel, es decir, 8.2 veces más. La tasa de emisión que relaciona el costo con las emisiones, y que es uno de los parámetros más importantes en la selección de un vehículo, durante la prueba piloto llegó a ser 75 % superior en el camión diésel en comparación con el camión eléctrico, siendo el costo por emisión para el eléctrico de 0,80 CO<sub>2</sub>eq/\$COP mientras que en Diésel es de 1,40 gCO<sub>2</sub>eq/\$COP.

<sup>5</sup> Este indicador es una propuesta del Proyecto Giro Zero para aquellas empresas que no tienen acceso a la información de consumo de combustible de sus proveedores terceros, pero saben el valor que pagan de fletes a terceros o de consumos de combustible de esas operaciones. Con esta tasa de emisión se puede tener un estimativo de cuantas emisiones se generan con un cálculo directamente de los registros financieros, aunque esta medida no es certificable. Valores de referencia se pueden consultar en <https://girozero.uniandes.edu.co/herramientas/dashboard> (Rey-Ladino, 2021)

**Figura 3. Resultados piloto BASF de camión eléctrico vs diésel**



Fuente: Elaboración propia GiroZero

### 3.2 Camiones a Gas Natural vs Diésel

#### 3.2.1 HDL-Bimbo

Al comparar ambas tecnologías dentro de esta cadena de suministro (en donde el peso promedio varió significativamente de 21.680 Kg/viaje a 9.550 kg/viaje) se observa una diferencia de 4 % mayor la emisión de los vehículos diésel, con tecnología EURO V, con un valor de 65 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km<sup>6</sup> en comparación con la operación en el vehículo a gas natural con un valor de 62 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km, tal y como se observa en la Figura 4.

Debido a que hubo una alta diferencia en el peso transportado en promedio entre las dos tecnologías (en la que varía el peso promedio de 21.680 Kg /viaje a 9.550 kg/viaje), para la selección del vehículo un mejor indicador serían las emisiones por kilómetro recorrido en el caso hipotético que ambos vehículos tuvieron la misma capacidad de carga. Para el piloto, se observan que las emisiones para el camión de gas natural son de 1,343 g CO<sub>2</sub>eq/km mientras que el camión Diésel son de 1,409 g CO<sub>2</sub>eq/km, llegando a ser 5 % el diésel en comparación al gas natural como se puede observar en la Figura 4.

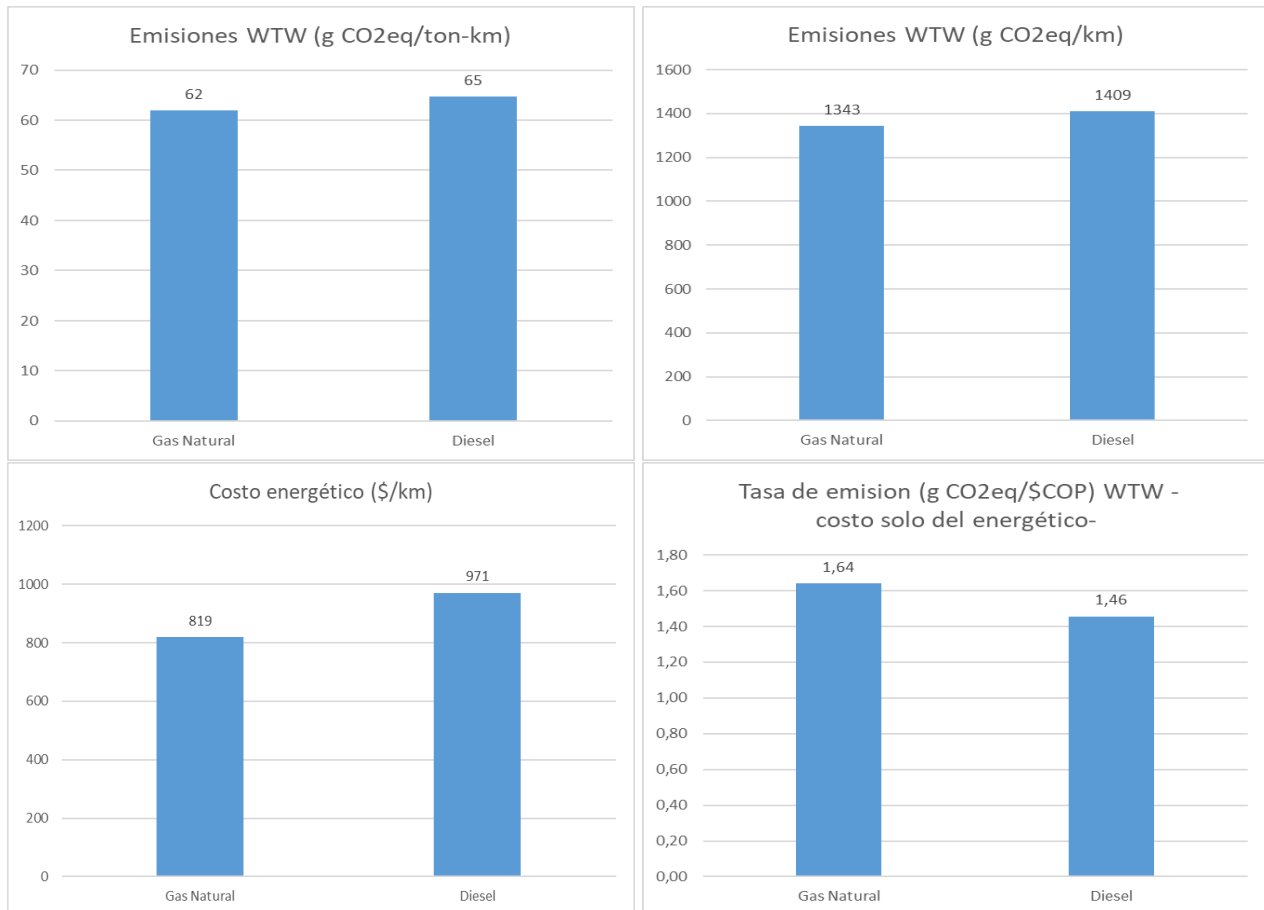
El costo del energético durante la prueba piloto llegó a ser 19 % superior en el camión diésel en comparación con el camión de gas natural, siendo el costo por emisión para el eléctrico de \$819 COP/km mientras que en diésel es de \$971

<sup>6</sup> Tener en cuenta que como resultado no son comparables estos dos resultados por el diseño del piloto, luego se ajustaron con pesos similares, y de esta manera pueden ser referenciales.

## Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

COP/km, como se observa en la Figura 4. La tasa de emisión para el camión con gas natural llegó a 1,64 gCO<sub>2</sub>eq/\$COP mientras que en diésel es de 1,46 gCO<sub>2</sub>eq/\$ COP, con una diferencia menor de 11 %. Lo anterior puede resultar paradójico, ya que, aunque se tienen resultados relativamente menores para el gas natural en emisiones por kilómetro o por tonelada-kilometro, al relacionarlo con la tasa de emisión para el usuario final o consumidor este resulta siendo más alto cuando se causan emisiones contaminantes y lo anterior causa en el largo plazo más emisiones en un 11 % por cada valor monetario pagado al transporte.

**Figura 4. Resultados piloto HDL-Bimbo de camión gas natural vs diésel**



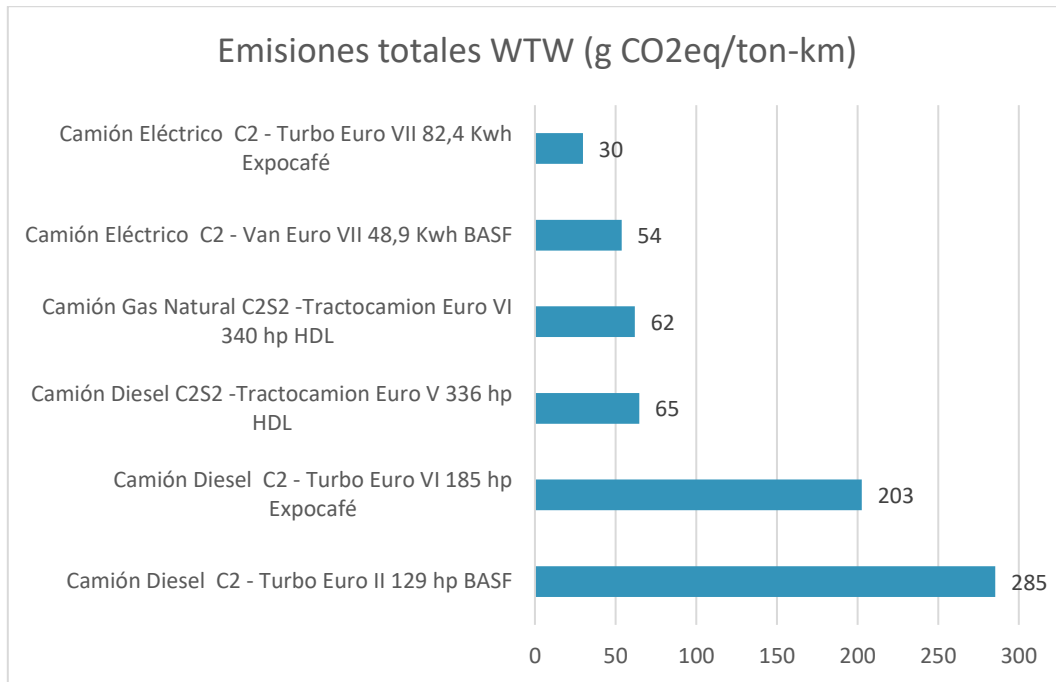
Fuente: Elaboración propia GiroZero

### 3.3 Panel referencial de tecnologías

Con el fin de comparar distintos tamaños de vehículos y sus emisiones y costos presentamos los valores para todos los vehículos con indicadores intensivos de forma que sean comparables y referenciales. Lo anterior es valioso para el caso de diseño de operaciones, selección de tipo de vehículos y proyectos de reducción de emisiones.

En la Figura 5 se observa que los camiones con menor huella de carbón son los eléctricos, seguidos de los tractocamiones debido a su gran capacidad de carga y por ultimo los más contaminantes son los camiones ligeros que usan diésel. Se puede notar de manera especial que las emisiones totales de una van eléctrica que lleva muy poca carga que son de 54 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km, muy cercana a un tractocamión ya sea de gas natural o diésel, que aportan entre 62 y 65 g CO<sub>2</sub>eq/ton-km y la razón principal se debe a la gran cantidad de toneladas que puede llevar un tractocamión.

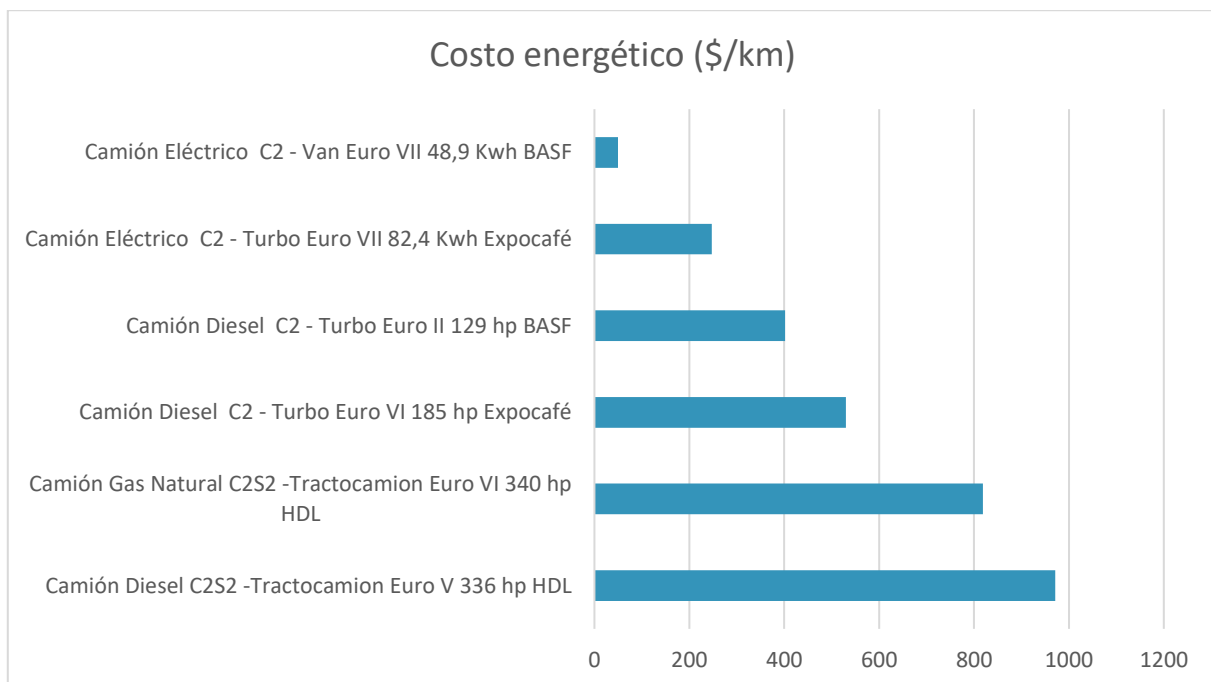
**Figura 5. Comparación de camiones con el indicador de emisiones totales**



Fuente: Elaboración propia GiroZero

En la Figura 6 se observa que los camiones con menor costo por kilómetro del energético, ya sea electricidad, diésel o gas natural son los eléctricos, en cuanto a los restantes se observa que este costo está directamente al tamaño del vehículo, ya que entre mayor capacidad tiene un camión mayor será su demanda energética.

**Figura 6. Comparación de camiones con el indicador de costo del energético**

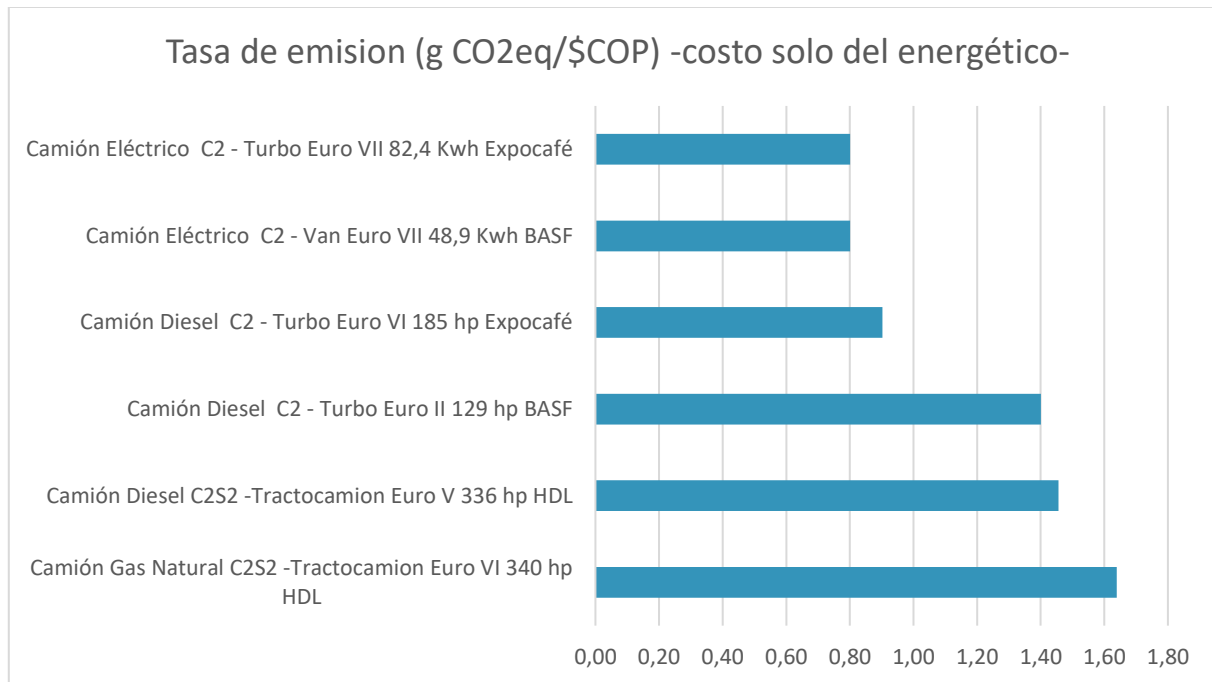


Fuente: Elaboración propia GiroZero

Study and monitoring of the evolution of low emission truck pilots in Colombia Report

La tasa de emisión como se mencionó, es un indicador que relaciona las emisiones ocasionadas con el valor del energético o combustible consumido, y los valores son menores para los eléctricos, y el más alto observado es para el caso del gas natural con un valor de 1,64 g CO<sub>2</sub>eq/\$COP.

**Figura 7. Comparación de camiones con la tasa de emisión.**



Fuente: Elaboración propia GiroZero

## 4 Conclusiones y siguientes pasos

Los primeros pilotos de comparación tecnológica para la reducción de emisiones han proporcionado información valiosa en el caso de las operaciones de transporte de carga con la variada topografía de Colombia. Por esta misma razón, es importante seguir realizando los pilotos para continuar comparando tecnologías en operaciones reales y así poder conocer los distintos resultados que cada una de las tecnologías de bajas o cero emisiones promete. De igual forma en dichos, pilotos se deberían incluir mediciones en modo de ralentí debido a la falta de información de factores según tipo de camión.

Se observan importantes reducciones de emisiones para camiones eléctricos en comparación con las demás tecnologías, siendo su costo por kilómetro una ventaja competitiva. Los tractocamiones al cargar un gran volumen también presentan unos valores competitivos de emisiones por tonelada kilómetro versus otros tipos de camiones de menor capacidad de carga. De igual forma, aunque los camiones de hidrógeno todavía no están disponibles en el país, es importante continuar con el diseño del piloto de hidrógeno para conectar a los actores interesados en participar en dichos pilotos.

Finalmente es importante probar estas tecnologías con protocolos más rigurosos de validación tecnológica en condiciones idénticas con el fin de reducir las diferencias causadas distintas al cambio tecnológica tales como la ruta en la que se mide la tecnológica que incluye aspectos climáticos y congestión, el estilo de manejo del conductor, el peso del producto transportado entre otros.

## 5 Referencias

- Abouarghoub, W., Bocarejo, J. P., Demir, E., Gil, C., Hernandez, C., Rey, A., . . . Wilmsmeier, G. (2021). *GIRO ZERO: Impulsando el transporte automotor decarga por carretera en Colombia hacia cero emisiones*. Bogota: UK Pact.
- ANDI. (2016). *Escenarios eficientes en la operación de transporte de carga por carretera*. From <http://www.andi.com.co/Uploads/Escenarios%20Eficientes%20en%20la%20operacio%CC%81n%20de%20transporte%20de%20carga%20por%20carretera.pdf>
- Armenta-Deu, C., & Cattin, E. (2021). Real Driving Range in Electric Vehicles: Influence on Fuel Consumption and Carbon Emissions. *12*, 166. *World Electric Vehicle Journal*. Retrieved diciembre, 2021
- Gobierno de Colombia. (2017). *Decreto 926 de 2017*. From <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20926%20DEL%2001%20DE%20JUNIO%20DE%202017.pdf>
- MinAmbiente. (2017). Decreto 926 de 2017. *Reglamenta el impuesto nacional al carbono y el mecanismo de no causación del impuesto*. From <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/13.-Decreto-926-de-2017.pdf>
- MinEnergía. (2022). *Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia*. Bogotá, Colombia. From [https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf)
- Rey-Ladino, G. W.-R. (2021). KPI Dashboard for Road Freight Transportation of Giro Zero Project in Colombia. Retrieved 11 01, 2022 from Giro Zero Project/tools: <https://girozero.uniandes.edu.co/en/tools/dashboard>
- Smart Freight Center. (2019). *Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting*.
- Tanco, M. C. (2019). *A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America*. *Journal of Cleaner Production*. doi:doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.168
- Transport & Environment. (2021). LNG Trucks: a dead end bridge. Emissions testing of a diésel- and a gas-powered long-haul truck. From <https://www.transportenvironment.org/discover/lng-trucks-a-dead-end-bridge/>
- Uniandes-Unicardiff. (2022). *Giro Zero Road Map - Dirigiendo el sector de transporte automotor de carga en Colombia hacia las cero emisiones*. From <https://girozero.co/publicaciones/investigaciones>
- UPME. (2021). *CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIONES DE LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA PARA 2020*. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Ministerio de Energía y Minas (Minenergía), operador del SIN y administrador del mercado de energía mayorista (XM) y Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC). Retrieved 11 01, 2022 from [https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos\\_normativos/Documento\\_Tecnico\\_FE\\_2020.pdf](https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos_normativos/Documento_Tecnico_FE_2020.pdf)
- Villalobos, J., & Wilmsmeier, G. (2021). Estrategias y herramientas para la eficiencia energética y la sostenibilidad del transporte de carga por carretera.