



PILOTO DE COMPARACIÓN DE EMISIONES ENTRE VEHICULOS DIÉSEL Y GAS

ESTUDIO PILOTO

Mayo, 2023

Autores

Andrés Felipe Rey-Ladino¹, Gustavo Martínez², Camila Faride Cubillos³, Gordon Wilmsmeier⁴,
Juan Pablo Bocarejo⁵.

¹ Universidad de Los Andes, Colombia, a.reyl@uniandes.edu.co, ² Universidad de Los Andes, Colombia,
ga.martinez408@uniandes.edu.co, ³ Universidad de Los Andes, Colombia, cf.cubillos@uniandes.edu.co, ⁴ Universidad de Los
Andes, Colombia, g.wilmsmeier@uniandes.edu.co, ⁵ Universidad de Los Andes, Colombia, jbocarej@uniandes.edu.co,

Palabras clave: Descarbonización, Transporte de carga por carretera, Camión diésel, Camión Gas Natural, Medición huella de carbono,

Introducción

El proyecto Giro Zero liderado por la Universidad de los Andes y Cardiff University, financiado por UKPACT¹, tiene como objetivo facilitar la aceleración de 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) (Giro Zero, 2022). Los pilotos se han desarrollado con el propósito de levantar información de campo real en operaciones en Colombia y calcular indicadores intensivos con el fin de poder realizar comparaciones entre tecnologías, diversas empresas y distintas cadenas de suministro.

¹ 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.



Cardiff Business School
Ysgol Busnes Caerdydd



La compañía del piloto

Esta compañía es una empresa del sector privado dedicada al transporte de equipos para cadena logística de gráneles, líquidos y secos, carga contenerizada de perecederos o no perecederos, consultoría técnica, ejecución de proyectos de arquitectura, construcción y obras civiles. La compañía hace parte de un holding empresarial, donde se tienen ejes fundamentales, en los cuales basan su servicio, siendo estos:

Ecología: Eje decisivo y vital al momento de crear e implementar todos los servicios de la empresa.

Logística: Razón de ser, la tranquilidad para los clientes de contar con un servicio integral haciendo parte de un proceso sostenible.

Tecnología: Innovación permanente donde hay búsqueda de eficiencia y desarrollo de nuevas herramientas que aporten a los negocios de los clientes.

La compañía inició en el año 2010 con tan solo tres (3) tractocamiones, los cuales operaban con tecnología de motores de combustión interna a diésel para el transporte de aceite y sus derivados, a lo largo de los años la empresa fue creciendo con el propósito de aportar al crecimiento de cada uno de sus clientes, de manera que los incentivan a participar en una nueva cultura empresarial en torno a la sostenibilidad y el compromiso ambiental.

Por lo anterior, la empresa decide emprender un camino hacia la reducción de Gases Efecto Invernadero (GEI), a la vez que generan un entorno favorable hacia una transición energética ordenada y factible. La posibilidad de incluir vehículos eléctricos en el futuro surge siempre y cuando existan políticas e incentivos gubernamentales que fomenten su uso. La empresa tiene claro que una transición factible necesita de inversiones en nuevas tecnologías, las cuales deben recibir un respaldo por parte del sector público. La compañía actualmente no identifica esta oportunidad y, por ende, busca alternativas de reducción de emisiones con tecnologías ofrecidas en el mercado. Sin embargo, la empresa está dispuesta a renovar su flota vehicular con nuevas tecnologías que aporten a la reducción de GEI.

En ese orden de ideas, la compañía comienza a trabajar de manera colaborativa con proyectos que tienen como objetivo la reducción de emisiones, con el fin de, aportar y estar alineados con la neutralidad que la compañía pretende para el 2026. Por esta razón, se vincularon al proyecto GiroZero para participar en este estudio piloto en particular, en el cual se comparan dos tecnologías en términos de sus emisiones de GEI con el fin de analizar si una determinada tecnología es viable para la estrategia de la compañía.

Diseño del estudio piloto: Migración a tecnologías más limpias

Las estrategias de sostenibilidad enmarcan cambios tecnológicos, así pues, la compañía decidió invertir en la compra de tractocamiones con Gas Natural Vehicular (GNV) en el año 2021, con el fin de reemplazar la operación de tractocamiones a combustión diésel en la ruta Santa Marta – Bogotá – Boyacá – Santa Marta, transportando mercancías de diferente tipo, como por

ejemplo carbón, maíz, fruta, frijol, aceite de palma (y derivados), biocombustible, ACPM, estibas, cartón y botellas de aceite, mientras que en el vehículo de la tecnología GNV, se transportan alimentos (productos terminados), elementos de aseo, paquetería, electrodomésticos, repuesto de vehículos, estibas, aceite de palma (y derivados), biocombustible y soya.

Los vehículos GNV fueron adquiridos con recursos propios, la inversión de este tipo de vehículos es mayor a la de un vehículo diésel, dado que, la compañía adquirió vehículos GNV a \$580.000.000 COP (154.900 USD²) mientras que el tractocamión diésel cuesta \$490.000.000 COP (130.900 USD²), es decir, los vehículos de tecnologías a GNV son \$90.000.000 COP (24.000 USD²) más costosos, lo cual significa que es un 18,4 % más costoso considerando únicamente la unidad tractora (cabzote), sin incluir el tráiler. Sin embargo, las empresas cuentan con ciertos beneficios tributarios o financieros que pueden usar al comprar tecnologías de bajas emisiones. En este caso se tiene un único beneficio en materia tributaria como la exclusión del IVA al momento de la compra, y un beneficio derivado del menor costo energético del GNV. Así mismo, la compañía considera que uno de los beneficios más importantes es el de reducir las emisiones de GEI. Los vehículos usados en el piloto cuentan con las siguientes especificaciones:

Tabla 1. Especificaciones de los vehículos usado en el piloto

Especificaciones vehículo	Vehículo gas	Vehículo diésel
Marca	Scania Sinotruck (1)	Kenworth International Freightliner
Modelo (año)	Scania (2022) Sinotruck (2021)	Kenworth (2011 - 2013) International (2012) Freightliner (2012 - 2015)
Capacidad de gas m ³ /cilindraje cc	360 m ³ / 12.740 cc	280 gl / 15.000 cc
Autonomía (km)	1.9 km/m ³	7.5 km/gal
Potencia (hp)	410	400
Cantidad ejes	3	3
Cantidad llantas	10	10
Año fabricación	Scania (2021) Sinotruck (2020)	Kenworth (2010 - 2012) International (2011) Freightliner (2011 - 2014)
Tecnología emisión	Vehículo a gas	Vehículo diésel
Peso en vacío kg (cabzote)	11.258 kg	9.600 kg
Peso bruto vehicular kg	52.000 kg	52.000 kg
Capacidad de carga kg	32.000 kg	34.500 kg
Dimensiones (cm)	Alto 360 cm largo 731 cm	Alto 350 cm largo 809 cm

Fuente: Proyecto Giro Zero y la compañía.

² Para reflejar el costo de los activos se utilizó la tasa de cambio 3.743 \$COP/USD promedio de 2021 del Banco de la República de Colombia, año en que se adquirió la flota.

Figura 1. Camiones usados en el piloto



Fuente: Proyecto GiroZero y la compañía.

Operación de los vehículos de diferentes tecnologías

En el caso de los estudios piloto que realiza GiroZero, se miden las distintas variables de las operaciones sin condiciones restrictivas tales como intentar generar condiciones idénticas de conducción, tráfico, peso o ruta tal como se ejecutan en un proceso de validación tecnológica, esto último con el fin de atribuir el cálculo de emisiones exclusivamente a la tecnología y no a factores o variables externas. En los casos de los estudios piloto, es aceptable que la ruta no sea exactamente igual, que el peso de la carga transportada sea variable, que los conductores puedan tener condiciones distintas de manejo y que las condiciones de tráfico o congestión no estén controladas. Por lo tanto, para lograr la comparabilidad, se realizan las mediciones con indicadores intensivos por kilómetro y por tonelada-kilómetro, tal como lo recomienda el GLEC Framework (Smart Freight Center, 2019).

Vehículo Gas Natural

El vehículo a GNV, según la compañía, tiene un rendimiento de \$925 COP/Km (0,22 USD/km)³ un 16,8 % menor que el costo por kilómetro con diésel, adicionalmente, tiene menor ruido, la caja es automatizada, tiene manejo asistido, cumpliendo con las especificaciones de potencia para alcanzar las rutas nacionales con mayor altitud, además, una ventaja es que el sistema cuenta con la potencia adecuada, lo cual se traduce en mayores rendimientos en zonas geográficas con topografías más retadoras.

³ Para los datos operativos del presente estudio piloto se utilizó la tasa de cambio 4.255 \$COP/USD promedio de 2022 del Banco de la República de Colombia.

Sin embargo, de acuerdo con la compañía, los vehículos a GNV han tenido un problema particular de fugas en sus tanques. Esto ha provocado una disminución en el rendimiento y ha causado que algunos vehículos queden varados. Se ha solucionado este inconveniente a través de un ajuste en el sistema de agarre de los tanques en el vehículo y reemplazando con piezas de mayor durabilidad. En materia de fundamentos técnicos, la empresa recibe una capacitación básica por parte del fabricante. Aparte del problema de fugas con los cilindros, hasta el momento no se han experimentado eventos de mantenimiento significativos.

El mantenimiento preventivo e inspecciones preoperacionales como revisión de llantas, frenos, estado del equipo, king-ping, quinta rueda, entre otras, es igual a tecnologías tradicionales, y lo que varía es el personal especializado para cada tecnología. Es importante tener en cuenta que la inversión del camión no es el único costo que se asume, también es necesario considerar que se debe contratar y capacitar mano de obra especializada que sepa del correcto funcionamiento de estos nuevos vehículos.

Vehículo Diésel

El vehículo diésel tiene un rendimiento de \$1.112 COP/Km (\$0,26 USD/km)³, por parte de la compañía o sus conductores no se dieron más detalles relevantes de la operación del vehículo, más allá que funciona con normalidad.

Diferencias operativas a resaltar:

Las diferencias que identifican los conductores de la tecnología del GNV a otra, son:

- Mayor confort, la comodidad del vehículo es superior en un tractocamión a GNV que en un vehículo Diésel antiguo.
- Sistema asistido de manejo para la tecnología con GNV.
- Menor ruido en el vehículo GNV.
- Sistema de frenos superior, los frenos del GNV son más sensibles y la capacidad de reacción es mayor.
- Tanqueo mínimo GNV 20 %, recomendaciones por parte del fabricante.
- Tiempo de tanqueo GNV alrededor de 20 minutos versus 15 minutos del diésel. Aunque se presenta una diferencia de 5 minutos, por el momento no representa un problema significativo en logística.
- Modo de tanqueo, en el vehículo convencional de diésel, el llenado es a través de mangueras en estaciones convencionales y el GNV el llenado a través de válvulas (las estaciones de gas están ubicadas de manera estratégica, por lo que, no representa un problema de desvío de ruta).

Operación de la prueba piloto

La información se recolectó durante los meses de julio y agosto de 2022 en la operación rutinaria de vehículos a GNV y diésel, con el fin de comparar ambas tecnologías. Dicha recopilación de información se realizó en la ruta Santa Marta, Bogotá, Boyacá, Santa Marta.

Aunque en el estudio piloto se tuvieron 52 camiones de gas natural (GNV), solo se utilizaron para el análisis los que operaron a capacidad de carga completa por peso y se excluyeron mediciones con vehículos que tenían menor carga, debido a su mayor relación volumen-peso por viaje. Lo anterior hace que la comparación sea más confiable al mantener iguales condiciones de peso, que al incluir viajes con restricción por volumen.

Tabla 2. Operación del piloto

Descripción operación del piloto	Gas Natural	Diésel
Cantidad de camiones	24	95
Distancia total recorrida (km)	341.563	918.735

Fuente: Proyecto Giro Zero

Resultados del piloto

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 considera tanto las emisiones relacionadas a la producción del energético, ya sea gas natural o diésel “Well to Tank” (WTT) y las emisiones relacionadas al consumo del energético del vehículo “Tank to Wheel” (TTW).

Los factores para calcular las emisiones relacionadas a la producción del energético “Well to Tank” (WTT) se obtuvieron del documento “LNG Trucks” (Transport & Environment, 2021). Para calcular las emisiones relacionadas TTW para el gas natural, se utilizó el factor de 1,952 kg CO₂eq/m³ST y para el diésel 10,133 kg CO₂eq/galón, consultados en el Decreto 926 de 2017 (MinAmbiente, 2017).

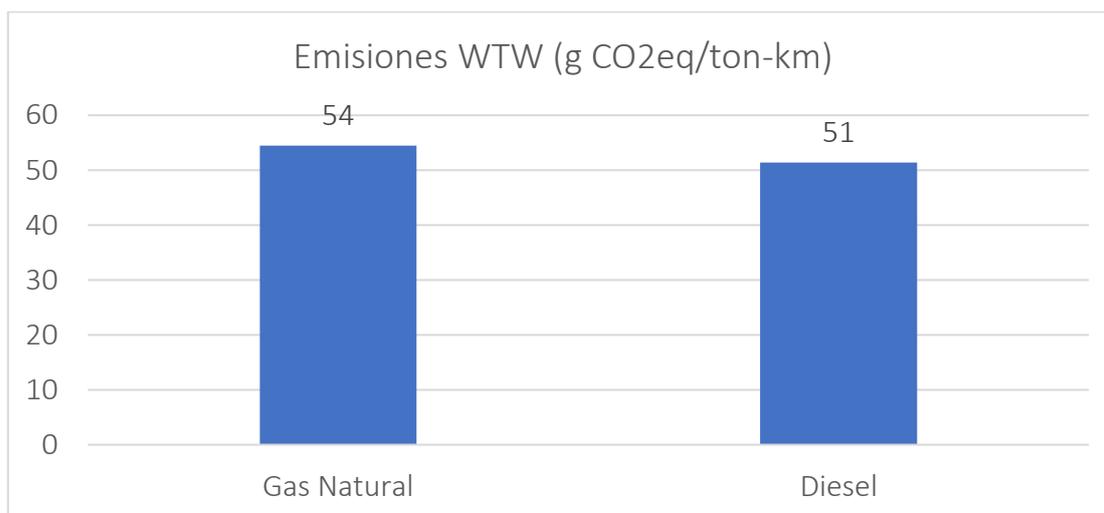
Tabla 3. Resultados del piloto

Resultados Well to Wheel (WTW) & Tank to Wheel (TTW)	GNV	Diésel	GNV vs Diésel diferencia (%)
Emisiones WTW (g CO ₂ eq/ton-km)	54	51	6,1%
Emisiones WTW (g CO ₂ eq/km)	1744	1775	-1,7%
Emisiones TTW (g CO ₂ eq/ton-km)	38	42	-11,1%
Emisiones TTW (g CO ₂ eq/km)	1209	1468	-17,6%
Costo energético (\$/km)	1126	1344	-16,2%
Costo energético (\$/ton-km)	35	39	-9,7%
Tasa de emisión (g CO ₂ eq/\$COP) WTW -costo solo del energético-	1,55	1,32	17,5%
Peso/viaje (ton/viaje)	32,00	34,50	-7,2%

Fuente: Proyecto Giro Zero

Al comparar ambas operaciones dentro de esta cadena de suministro, en la que varía el peso promedio de 32 ton/viaje para el gas natural a 34,5 ton/viaje para el diésel se observa una reducción de capacidad de 2,5 ton lo cual representa una pérdida de capacidad del 7,2 %. Por esta razón, es que el gas natural tuvo como resultado unas emisiones del pozo a la rueda, (“Well to Wheel”-WTW) de 54 g CO₂eq/ton-km, 6,1 % mayor en comparación con la operación en el vehículo a diésel con un valor de 51 g CO₂eq/ton-km. Tal y como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Comparación de emisiones tonelada kilómetro de camión gas natural y diésel.⁴

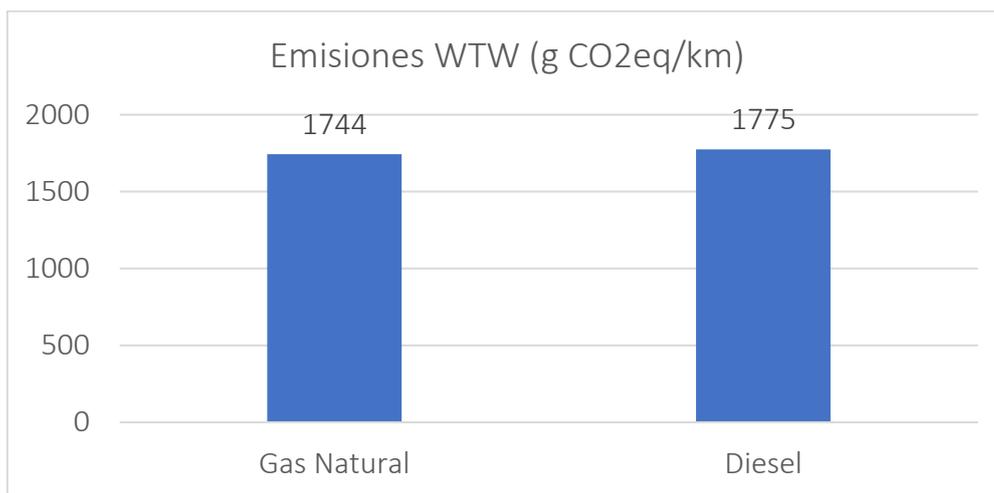


Fuente: Proyecto Giro Zero

⁴ Debido a que en el piloto se tuvieron resultados no comparables por diferencia de peso para una misma tecnología, para el caso del indicador intensivo de emisiones por tonelada kilómetros, se asumió que ambos camiones transportaban la misma carga en toneladas

Sin tener en cuenta la capacidad de carga transportada, durante el piloto se observó que las emisiones del pozo a la rueda, (“Well to Wheel”-WTW) para el camión de gas natural son de 1.744 g CO₂eq/km mientras que el camión diésel son de 1.775 g CO₂eq/km, llegando a ser 1,7 % inferior el gas natural en comparación con el diésel, como se puede observar en la Figura 3.

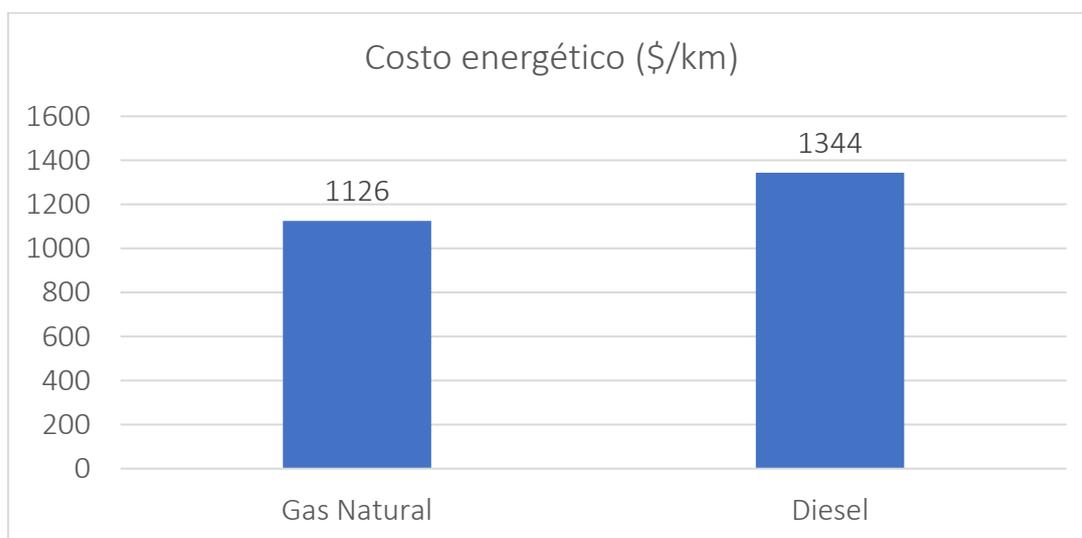
Figura 3. Comparación de emisiones por kilómetro de camión gas natural y diésel.



Fuente: Proyecto Giro Zero

El costo del energético es de los parámetros más importantes en la administración de los costos operativos, durante la prueba piloto el costo llegó a ser 16,2 % inferior en el caso del gas natural en comparación con el diésel, siendo el costo por emisión para el gas natural de \$1.126 COP/km (\$0,26USD/km)³ mientras que en diésel es de \$1.344 COP/km (\$0,32 USD/km)³, como se observa en la Figura 4.

Figura 4. Comparación de emisiones por kilómetro de camión gas natural y diésel.

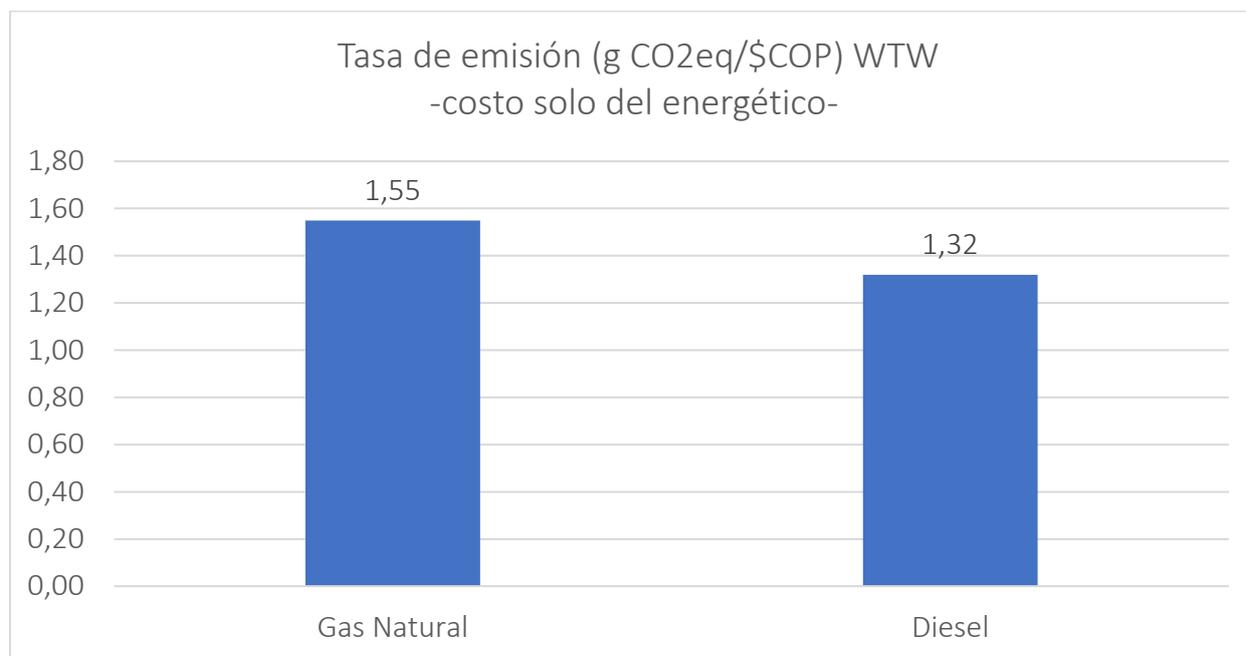


Fuente: Proyecto Giro Zero

La tasa de emisión es un indicador que relaciona las emisiones causadas con el valor pagado⁵ del energético (gas natural o diésel). El costo relacionado con las emisiones es uno de los parámetros más importantes en la selección de un vehículo enfocado a la sostenibilidad. Durante la prueba piloto, el costo del energético llegó a ser 17,5 % superior en el camión de gas natural en comparación con el camión diésel, siendo el costo por emisión para el gas natural de 1,55 gCO₂eq/\$ COP mientras que en diésel es de 1,32 gCO₂eq/\$ COP.

Lo anterior puede resultar paradójico, ya que, al relacionarlo con la tasa de emisión, el usuario final o consumidor podría estar causando más emisiones al optar por el gas natural, cuando se usan en mayor escala al ser un combustible más económico. Esto podría llevar a mayores inversiones a largo plazo de tecnologías que continúan liberando contaminantes, lo que provocaría un incremento en las emisiones totales con el transcurso del tiempo⁶.

Figura 5 Comparación del costo del energético entre camión gas natural y camión diésel.



Fuente: Proyecto Giro Zero

⁵ 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 y se pueden dar un estimado del consumo de combustible de esas operaciones según estructuras de costos. Con esta tasa de emisión se puede tener un estimado 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)

⁶ La paradoja de Jevons argumenta que los intentos de reducir el consumo de energía aumentando la eficiencia energética simplemente aumentarían la demanda de energía en la economía en su conjunto.



Cardiff Business School
Ysgol Busnes Caerdydd



El futuro de la compañía en la descarbonización del TAC

¿Cuál es el plan para descarbonizar las operaciones de la empresa asociadas al transporte propio o tercerizado a NetZero al 2050?

El plan parcial de la compañía es migrar el 100% de su flota a GNV o nuevas tecnologías de cero o bajas emisiones. Lo anterior, teniendo en cuenta también la factibilidad y armonía de estas nuevas tecnologías con el medio ambiente, soportando la migración a las mismas con el acompañamiento de proyectos ambientales que aporten a la sostenibilidad y la reducción de huella de carbono. Adicionalmente, la compañía tiene un compromiso corporativo a nivel gerencial de la participación en el Acuerdo The Climate Pledge para el aporte y compromiso a la reducción de emisiones.

Todo el plan que se tiene lleva a la compañía a adquirir un sello de sostenibilidad para el año 2024, y de esta forma descarbonizar su cadena logística (plan de reducción de emisiones completo) y aportar los compromisos de reducción de emisiones GEI del sector transporte automotor de carga y del país en general.

Conclusiones

Durante el piloto, se observó que la comparación entre un camión a gas natural y diésel se debe realizar teniendo especialmente en cuenta la tecnología y peso transportado, para tener condiciones comparables. En este piloto se tuvo especial cuidado al comparar los viajes que cumplieran su capacidad máxima en peso y se descartaron algunas mediciones de los viajes de camiones de gas natural cuya restricción se daba por volumen. Sin la anterior consideración, los resultados hubieran sido todavía más negativos para el gas natural al compararse con el diésel. Lo anterior con el fin de lograr un indicador intensivo en tonelada-kilómetro comparable entre ambas tecnologías.

Los resultados muestran durante el ciclo completo de vida del combustible (WTW) un aumento de emisiones del 6,1 % mayor usando el vehículo a gas natural en comparación al diésel. Al analizar el indicador de pago del energético vs emisiones generadas se observa que se corre el riesgo de causar mayores emisiones por cada peso pagado en el largo plazo en las operaciones de la compañía, y lo anterior es especialmente importante en el escenario donde se paguen mayores costos por emisiones, ya sea por impuestos al carbón o por pagos de emisiones compensadas (offsets).

Finalmente, es notorio el compromiso en reducción de las emisiones en el corto plazo (2024), que incluye acciones tanto en la reducción de emisiones relacionadas actividad principal del transporte de carga, como otras relacionadas con procesos secundarios, reduciendo de manera integral su huella de carbón en este horizonte temporal.



Cardiff Business School
Ysgol Busnes Caerdydd



Bibliografía

- Giro Zero. (2022). *Giro Zero Road Map: Dirigiendo el sector transporte automotor de carga en Colombia hacia las cero emisiones*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes - Cardiff University.
- MinAmbiente. (2017). Decreto 926 de 2017. *Reglamenta el impuesto nacional al carbono y el mecanismo de no causación del impuesto*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/13.-Decreto-926-de-2017.pdf>
- Rey-Ladino, G. W.-R. (2021). KPI Dashboard for Road Freight Transportation of Giro Zero Project in Colombia. Recuperado el 01 de mayo de 2022, de 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*.
- Transport & Environment. (2021). LNG Trucks: a dead end bridge. Emissions testing of a diesel- and a gas-powered long-haul truck. Obtenido de <https://www.transportenvironment.org/discover/lng-trucks-a-dead-end-bridge/>