

Comparative environmental impact of Euro III and Euro V trucks: A case study in Volvo Company, Peru

Oskart Teodoro Ramírez Guija, Magister¹, Nataly Marian Calderón Huamán, Student², Erika Lisset Durand Villegas, Student³, Wendy Nicolle Espejo Pérez, Student⁴, and Christofer Camilo Martínez Yana, Student⁵
^{1,2,3,4,5}Universidad Privada del Norte, Perú, oskart.ramirez@upn.edu.pe, N00243150@upn.pe, N00252340@upn.pe,
N00241742@upn.pe, N00260453@upn.pe

Abstract– Globally, the freight transport and mining sector are crucial pillars for the economic development of a country. However, its dependence on using heavy trucks to carry out its activities entails high consumption of fossil fuels, generating significant greenhouse gas (GHG) emissions. This article analyzes the environmental impact of Euro V trucks with Euro III trucks, focusing on the reduction of GHG emissions and the mitigation strategies used by Volvo Peru. The emissions of carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx), hydrocarbons (HC) and particulate matter (PM) of three Volvo trucks models were compared during two years of operation in the aforementioned industries. Indirect measurement and statistical modeling techniques were used to analyze and quantify emissions. The results showed reductions of up to 86% in GHG emissions from Euro V trucks. These findings highlight the importance of technological innovations in heavy vehicles to reduce their impact on the environment and offer valuable information for the development of future public policies of vehicle sustainability.

Keywords-- Heavy-duty trucks, Fuel Consumption, Mining sector, Transport sector, Volvo Peru, GreenHouse Gases.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Impacto ambiental comparativo de camiones euro III y euro V: un caso de estudio en la empresa Volvo, Perú

Oskart Teodoro Ramírez Guija, Magister¹, Nataly Marian Calderón Huamán, Student², Erika Lisset Durand Villegas, Student³, Wendy Nicolle Espejo Pérez, Student⁴, and Christofer Camilo Martínez Yana, Student⁵
^{1,2,3,4,5}Universidad Privada del Norte, Perú, oskart.ramirez@upn.edu.pe, N00243150@upn.pe, N00252340@upn.pe, N00241742@upn.pe, N00260453@upn.pe

Resumen– A nivel mundial, el sector de transporte de mercancías y la minería son pilares cruciales para el desarrollo económico de un país. Sin embargo, su dependencia de utilizar camiones pesados para la ejecución de sus actividades, conlleva un alto consumo de combustibles fósiles, generando significativas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este artículo analiza el impacto ambiental de los camiones Euro V frente a las Euro III, enfocándose en la reducción de emisiones de GEI y las estrategias de mitigación empleadas por Volvo Perú. Se compararon las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC) y material particulado (PM) de tres modelos de camiones Volvo en operación durante los años 2022-2024 en las industrias mencionadas. Se utilizaron técnicas de medición indirecta y tablas estadísticas para analizar y cuantificar las emisiones. Los resultados mostraron reducciones de hasta el 76% en las emisiones de GEI de los camiones Euro V. Estos hallazgos destacan la importancia de las innovaciones tecnológicas en vehículos pesados para reducir su impacto en el medio ambiente y ofrecen información valiosa para el desarrollo de futuras políticas públicas de sostenibilidad vehicular.

Palabras Clave– Camiones pesados, Consumo de combustible, Sector minero, Sector de transporte, Volvo Perú, Gases de Efecto Invernadero.

I. INTRODUCCIÓN

La globalización y el crecimiento económico han convertido al transporte de mercancías por carretera en un sector fundamental para todo el mundo, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. En este contexto, la demanda de energía y las emisiones han experimentado un aumento en el transporte pesado de mercancías; entre el 2000 y el 2015, el consumo global de combustibles fósiles en vehículos pesados incrementó en un 50%, con proyecciones que anticipan un aumento adicional del 70% para el 2030. En relación a ello, un estudio previo estimó que la contribución de los camiones pesados a las emisiones globales de GEI provenientes de este sector, posiblemente alcance entre el 25% y el 34% para el 2050 [1,2,3,4,5].

La contaminación del aire se debe a la dependencia de la quema de combustibles fósiles en el sector transporte. Según [6], en 2023 los camiones representaron el 53% del total de emisiones de megatoneladas de dióxido de carbono (Mt CO₂) a nivel mundial. En el año 2022, se presentaron variaciones considerables de emisiones de GEI entre regiones como: África

subsahariana (23%), Medio Oriente y África del Norte (26%), América Central y del Sur (37%) y Asia Oriental y el Pacífico (11%) [7,8,9].

En la industria minera, los camiones pesados propulsados por diésel son el principal medio de transporte y, como consecuencia, los principales responsables de la degradación ambiental. La minería de carbono, destina el 40% de su energía total al transporte de minerales y la energía utilizada para la extracción y procesamiento del carbono, genera el 41% de las emisiones de GEI. La operación de estos vehículos representa alrededor del 56% de emisiones de CO₂, óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄). Los informes de producción minera pronostican que el consumo de diésel para transporte seguirá siendo una parte importante de los costos operativos [10,11].

Múltiples factores influyen en las emisiones y el consumo de combustible de los camiones, como el tipo de transporte utilizado, el combustible elegido, la tecnología del motor de combustión, la antigüedad del vehículo, las prácticas de mantenimiento e incluso los hábitos de conducción que incluyen la cantidad de aceleraciones, frenadas bruscas y el tipo de vía recorrida. Todos estos aspectos impactan en los niveles de contaminación. Sin embargo, el factor más determinante en las emisiones anuales de un país es la distancia total recorrida por los vehículos de carga [12,13,14,15,16].

La industria de camiones se caracteriza por la variedad de combustibles que impulsan sus operaciones. Entre los más comunes encontramos diésel, nafta, gas licuado del petróleo (GLP), gas natural, biocombustibles y electricidad; sin embargo, dentro de los combustibles fósiles, el diésel domina el panorama del transporte de carga, con una presencia del 84%; especialmente en vehículos pesados. Esta preferencia por adquirir el combustible diésel se debe principalmente a su precio económico [17,18,19,20,21]. Según [22], indica que este tipo de gasolina se ubica entre los más baratos del mundo, después de Venezuela, Irán y Sudán.

La reacción de combustión química en el motor de los vehículos de combustión interna tiene como principales compuestos químicos: el dióxido de carbono (CO₂) y el agua (H₂O); si bien esta reacción es esencial para el funcionamiento del motor, genera emisiones contaminantes; una combustión incompleta, producto de factores como la falta de aire o la temperatura inadecuada, da lugar a subproductos nocivos como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos sin quemar (HC) y

material particulado (PM); la contaminación del transporte no se limita a los productos de la combustión, la presencia del nitrógeno molecular (N₂) en el aire y del azufre en los lubricantes por quema del combustible, introduce nuevos contaminantes, la oxidación del nitrógeno durante la combustión genera óxidos de nitrógeno (NO_x), mientras que el azufre presente en los lubricantes, se transforma en óxidos de azufre (SO_x) al entrar en contacto con el aire a altas temperaturas; los contaminantes más importantes producidos por los camiones son el NO_x, el CO y los HC que provocan problemas respiratorios en las personas y contribuyen a la formación de ozono y hollín [18,23,24,25].

Desde 1970, la Unión Europea ha implementado una serie de legislaciones conocidas como normas Euro para controlar las emisiones de los vehículos. Estas normas, que se volvieron obligatorias en 1992, han ido evolucionando con el tiempo; en el año 2014, se estableció la norma Euro VI para los camiones medianos y pesados, exigiendo una reducción de las emisiones de GEI en un 80% y 60% respectivamente, en comparación a la norma Euro V. Actualmente se está desarrollando el próximo estándar de emisiones, Euro VII, con el objetivo de implementarlo en el año 2025 que obligará a los fabricantes de vehículos a desarrollar motores más eficientes e implementar tecnologías o sistemas de control de emisiones más avanzados como camiones eléctricos de batería, camiones híbridos y biocombustibles [18,26,27,28,29].

El gas natural emerge como una alternativa atractiva en la búsqueda de un sistema energético más sostenible y la sustitución de las flotas de camiones diesel, gracias a sus menores emisiones de carbono en comparación con combustibles fósiles como el petróleo (30% menos) y el carbón (50% menos); esta característica lo convierte en un candidato viable como "combustible puente" durante la transición hacia fuentes de energía renovables [30,31,32,33].

Los combustibles renovables son producidos en base a material orgánico como grasas de animales, materia vegetal o productos de desecho. Los combustibles renovables más comunes son el biodiésel que se da mediante un proceso químico de grasas de animales o materia vegetal, y el bioetanol que se produce de la fermentación de azúcares como la caña de azúcar, entre otros. Las ventajas de estos combustibles es que provienen de fuentes renovables, el impacto ambiental es mucho menor y ya no es necesario depender de fuentes de petróleo [34].

La solución que plantea Volvo Trucks para cumplir con la nueva norma propuesta Euro VII son camiones medianos y pesados propulsados por hidrógeno, que se pueden usar en largas distancias y todoterreno. Se produce mediante la combustión de una mezcla de hidrógeno con un combustible piloto (por ejemplo, bioetanol o biodiésel). Para lograr reducir las emisiones de CO₂ en un 97% el combustible piloto debe ser neutro en CO₂. Solo se producen pequeñas cantidades de NO_x y partículas PM, pero son lo suficientemente bajas para cumplir con las nuevas normas Euro VII. Esta es una opción sostenible

ya que el hidrógeno se produce de fuentes renovables con beneficios de alta energía y bajas emisiones [34].

De acuerdo con [7], enfatiza en la necesidad de implementar estrategias diferenciadas y adaptadas a cada contexto para enfrentar de manera efectiva el impacto ambiental generado por los vehículos pesados. En tal sentido, un enfoque único no será suficiente para mitigar el desafío que representa el sector de transporte de mercancías y minería. Por ende, este artículo tiene por objetivo describir los planes de mitigación del impacto de camiones por Volvo Perú. Para ello, se describe el plan de sostenibilidad de la empresa bajo estudio para el año 2040, se abordará el inventario de las emisiones generadas, y finalmente, se evaluará el impacto ambiental de los camiones Euro V frente a las Euro III en el sector de transporte de combustibles por carretera y minería, comparándolos con modelos de camiones Volvo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Sostenibilidad en Volvo*

Volvo Group lidera la acción climática en la industria utilizando el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (PGEI) para gestionar sus emisiones, centrándose en la descarbonización de la cadena de valor (95% de su huella de carbono) a través de la innovación tecnológica y la colaboración con socios. Desde el 2000, la empresa ha reportado consistentemente su desempeño climático y establecido metas ambiciosas para alcanzar la neutralidad de carbono en el 2040 [34].

La cantidad de emisiones de GEI producida por los camiones Volvo, son calculadas, monitoreadas y registradas en un sistema computacional gracias a la telemetría, el cual trata de un conjunto de dispositivos de comunicación que son instalados en el vehículo. Volvo Group implementó el sistema de gestión de flotas llamado Dynafleet, ahora llamado Volvo Connect, que recopila y analiza datos del camión como: tiempos de viaje, velocidad y carga, con el objetivo de reducir su impacto ambiental con respecto a las emisiones [5,35].

Para lograr alcanzar el objetivo del balance cero de emisiones de CO₂ en 2040, Volvo Group va más allá de la innovación interna, la empresa reconoce la importancia de la colaboración con socios y proveedores para reducir las emisiones en toda su cadena de valor. Este enfoque integral demuestra el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y su liderazgo en la lucha contra el cambio climático [34].

B. *Inventario de emisiones*

Los gases de efecto invernadero (GEI) se agrupan en dos tipos: gases directos y precursores del ozono; los gases directos como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), hexafluoruro de azufre (SF₆) y perfluorocarbonos (PFC), son liberados directamente a la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero; por el lado de los gases precursores del ozono troposférico como: monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos distintos del metano

(COVDM), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂) [18].

El presente artículo engloba las emisiones de gases como: el CO, HC, NO_x y PM puesto que, estos gases son producidos por los camiones y tienen un impacto significativo tanto en el medio ambiente como en la salud humana.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Análisis de sensibilidad

Se llevó a cabo una comparación de tres modelos de camiones, específicamente el FH 6x4 T Aire, FMX 6x4 R y FMX 8x4 R, en sus versiones de Euro III y Euro V propulsados por diésel. Sin embargo, las versiones Euro V incorporan AdBlue, un catalizador que reduce las emisiones de GEI. La selección de estos modelos de camiones responde a la cantidad de muestra de camiones que se obtuvo y a su diseño específico para los sectores que actualmente se utilizan: transporte de combustible en carretera y minería.

Se partió de una base de 996 camiones con datos recolectados de Volvo Connect, posteriormente se limpió esta base eliminando datos que presentaran algún signo negativo para no sesgar la muestra, dando como resultado una muestra de 977 camiones. Luego se filtro por los tres principales sectores en donde se encontraban la mayor cantidad de camiones que son el Transporte de Combustible en camiones tracto, la Minería Superficie y la Minería Subterránea en camiones volquetes obteniendo una muestra de 713 camiones. Finalmente se filtro por los modelos que tenían la mayor cantidad de camiones obteniendo una muestra final de 367 camiones.

La muestra para el modelo FH 6x4 T Aire fue de 112 camiones, el modelo FMX 6x4 R fue de 100, mientras que el FMX 8x4 R fue de 155. El periodo de este estudio fue de los dos últimos años en Perú.

De acuerdo con [36], destacan que las pruebas que se realizan para la certificación de los vehículos se realizan con un dinamómetro que por lo general no ofrecen datos reales porque el desempeño del motor en la vida real se puede ver afectado por varias causas como las condiciones climatológicas, condición del terreno por el que recorre el camión, la frecuencia del mantenimiento, entre otros.

Este estudio se está realizando con datos del contexto real en donde se presentan estas causas. Se utilizaron tablas estadísticas para promediar las emisiones GEI, el combustible consumido, los kilómetros recorridos, el AdBlue consumido, el ralentí, el combustible en carga de motor, que es el combustible total consumido con carga del motor a más del 90% de su capacidad, y las distancias en pendientes, que son distancias recorridas en pendientes con declive y subida; estos datos facilitan la comparación de las muestras y ayudan a evaluar si existen diferencias significativas entre los modelos Euro III y Euro V. Adicionalmente, se muestra el promedio de las horas trabajadas durante los dos últimos años por modelo.

Los datos recopilados de la muestra de camiones fueron multiplicados por un factor con la finalidad de respetar la

información privada de la empresa de estudio y realizar una comparativa equitativa.

De los resultados del estudio comparativo entre los camiones Euro III y Euro V en la Tabla 1, se logra demostrar una significativa reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en distintas aplicaciones. [38] observó similares reducciones de las emisiones de NO_x y PM en camiones que cumplían con la norma Euro V. Por otro lado, [18] señala que el cambio a vehículos de bajas emisiones conduce a reducciones significativas en los inventarios de GEI respaldando la efectividad de la norma Euro V, en relación con la mitigación del impacto ambiental del transporte de carga pesada.

TABLA 1
EMISIONES PRODUCIDAS POR LOS CAMIONES FMX 6X4 R, FMX 8X4 R, FH 6X4 T AIRE BAJO LAS NORMATIVAS EURO III Y EURO V

APLICACIÓN	MINERÍA SUPERFICIE (volquetes)			TRANSPORTE COMBUSTIBLE (tractos)			MINERÍA SUBTERRÁNEA (volquetes)		
	FMX 8X4 R Euro 3	FMX 8X4 R Euro 5	Diferencia	FH 6X4 T Aire Euro 3	FH 6X4 T Aire Euro 5	Diferencia	FMX 6X4 R Euro 3	FMX 6X4 R Euro 5	Diferencia
Cantidad	82	73	-	62	50	-	43	57	-
gal/h	4.56	3.67	↓ -20%	5.90	4.15	↓ -30%	3.14	4.32	↑ 38%
km/h	16.96	12.36	↓ -27%	32.29	29.11	↓ -10%	18.45	15.53	↓ -16%
CO ₂ (kg/h)	42.27	34.08	↓ -19%	54.69	38.60	↓ -29%	28.49	40.12	↑ 41%
CO (kg/h)	0.04	0.02	↓ -60%	0.05	0.02	↓ -65%	0.03	0.02	↓ -30%
HC (kg/h)	0.01	0.01	↑ 5%	0.02	0.02	↓ -8%	0.01	0.02	↑ 84%
NO _x (kg/h)	0.34	0.10	↓ -70%	0.44	0.11	↓ -74%	0.23	0.12	↓ -49%
PM (kg/h)	0.004	0.001	↓ -68%	0.006	0.002	↓ -73%	0.003	0.002	↓ -45%
Tiempo Total	2524.29	9707.20	-	5133.24	2251.81	-	2591.70	7006.85	-
AdBlue (l/h)	0.00	0.59	-	0.00	0.86	-	0.00	0.50	-
Ralentí (l/h)	0.55	0.38	↓ -31%	0.44	0.30	↓ -30%	0.80	0.52	↓ -35%
Combustible en carga del motor (l/h)	1.54	1.14	↓ -26%	8.15	3.89	↓ -52%	0.69	0.73	↑ 5%
Distancia cuesta abajo (%)	11.07	28.80	↑ 160%	20.89	18.10	↓ -13%	15.01	29.14	↑ 94%
Distancia cuesta arriba (%)	11.42	29.79	↑ 161%	20.58	17.74	↓ -14%	16.14	30.62	↑ 90%
Distancia en llano (%)	24.88	41.41	↑ 66%	51.97	64.17	↑ 23%	29.72	36.60	↑ 23%

En el sector de minería subterránea, se determinó que las emisiones de CO, NO_x y PM del modelo FMX 6X4 R se redujeron entre un 30% y un 49% en su versión Euro V. La reducción del 45% en las emisiones de PM es especialmente significativa, mejorando notablemente la calidad del aire en la minería subterránea, donde los mineros están expuestos a estas emisiones, causantes de enfermedades respiratorias como el cáncer de pulmón [39]. Aunque se cuenta con ventilación para eliminar CO y NO_x, el PM persiste en el ambiente [40].

Sin embargo, [11] y [41] discrepan de los autores anteriores, señalando que la ventilación no siempre cumple con los límites y el clima cálido genera incomodidad, aumento de las emisiones de HC y estrés térmico en los mineros y camiones.

Además, este último autor destaca que los catalizadores en la versión Euro V son los responsables de la reducción de las emisiones de GEI, pero a la vez puede generar más emisiones de HC.

Por otro lado, se identificó un aumento del 84% en las emisiones de HC, atribuido a factores externos como las condiciones climáticas y del terreno en la conducción en pendientes, que fueron más desfavorables en la versión Euro V comparada con la Euro III. Las horas trabajadas también

aumentaron en un 170% en la versión Euro V y a pesar de esto la versión Euro V ha logrado disminuir la mayoría de las emisiones, demostrando un mejor desempeño en la reducción de GEI.

En el modelo FMX 8X4 R casi todas las emisiones GEI se redujeron desde un 60% hasta un 70% en su versión Euro V con un ligero aumento del 5% en la emisión de HC, siendo una de las más importantes las emisiones de PM que se redujo en un 68%, ya que provocan enfermedades respiratorias en los mineros de campo y los conductores de los camiones [42]. Algunos factores externos de la generación de estas emisiones son la alta carga de minerales, la velocidad de viento a la que circulan, las zanjas y barrancos abiertos del terreno y las condiciones climáticas secas y ventosas [42,43]. Cabe destacar que el combustible consumido y los kilómetros recorridos por hora fueron menores en la versión Euro V a pesar de que esta versión ha sumado más horas de trabajo y ha recorrido rutas más extremas donde se presentan mayores pendientes que la versión Euro III.

En el caso de las emisiones de NOx, una de las causas por las que se produce es debido al alto consumo de ralentí, que representa el consumo inactivo del motor, que se produce en los puntos de carga de los camiones mineros que generan grandes cuellos de botellas en la operación. Esto causa que el consumo de combustible sea mayor y por ende que las emisiones de NOx sean mayores [10]. En los resultados obtenidos, el ralentí se reduce en un 31% en la versión de Euro V lo que puede explicar la reducción de un 70% de las emisiones de NOx.

En el sector minería de tajo abierto depende en gran medida de maquinaria diésel, especialmente camiones de transporte, valorados por su potencia a bajas velocidades. Sin embargo, esta dependencia conlleva un alto costo ambiental y económico: consumo excesivo de combustible, elevadas emisiones y costosos mantenimientos. Los motores a base de combustibles fósiles, como el diésel, emiten gases nocivos como CO, HC, PM y NOx, con un impacto directo en el medio ambiente.

En busca de alternativas sostenibles, se ha investigado la adición de hidrógeno al diésel en motores de combustión interna. Los resultados son prometedores: mayor eficiencia del combustible, reducción significativa de emisiones (NOx y partículas) e incluso un mejor rendimiento del motor (aumento de potencia y par). Estas mejoras se atribuyen al aumento de la eficiencia térmica de los frenos (BTE) y a la combustión más rápida gracias a la alta velocidad de propagación de la llama del hidrógeno en comparación con el diésel. La incorporación del hidrógeno como combustible alternativo en la minería a cielo abierto presenta un desafío tecnológico y económico, pero a la vez abre una oportunidad para mitigar su impacto ambiental y avanzar hacia una industria más sostenible. En varios mercados, se está usando menos combustible fósil por unidad de energía, o más conocidos como combustibles renovables, lo que mejora la eficiencia de los camiones. Esta tendencia se alinea con la meta del Grupo Volvo de alcanzar cero emisiones netas [44,45,46].

En el sector de transporte de combustible, representado por el modelo FH 6X4 T Aire, se evidenció una reducción de emisiones de PM y NOx notable en un 73% y 74% al cambiar de Euro III a Euro V. En este modelo pasa lo contrario al modelo FMX 8X4 R, la versión Euro V presenta menos horas trabajadas y rutas menos extremas donde las pendientes son menores. En la investigación realizada por [36], mencionan que este sector representa la mayor fuente de emisiones de NOx y PM en un 73%. La investigación realizada por [35] concuerda con el anterior autor, donde enfatiza que una de las causas del aumento de estas emisiones es el ralentí; en Noruega el aumento de este factor en un 10% incrementa el consumo de combustible en 0.11 L por cada 10 km.

Sin embargo, con este estudio se puede evidenciar que las normas Euro V logran reducir estas emisiones en este mismo porcentaje y una de las razones es que el ralentí es menor en un 30% generando una reducción del combustible en un 30%. Teniendo en cuenta que este sector opera principalmente en carretera, en donde la exposición a largo plazo a estos contaminantes traería efectos significativos para la salud pública, considerándose una mejora relevante [37].

Según [47], el uso de combustibles alternativos muestra resultados prometedores en la reducción de emisiones en el sector del transporte de combustible por carretera. El mayor contenido de oxígeno en estos biocombustibles favorece una combustión más completa, resultando generalmente en menores emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Este equilibrio entre la reducción de emisiones y la eficiencia del combustible resalta la complejidad de optimizar el rendimiento ambiental en este sector.

Por otro lado, [34] está desarrollando motores que pueden funcionar con combustibles renovables como el bioetanol y el biodiésel. Estos combustibles, similares a los ésteres mencionados por [47], tienen la ventaja de provenir de fuentes renovables que conlleva un menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

Además, una de las soluciones más prometedoras que plantea Volvo Trucks son los camiones medianos y pesados propulsados por hidrógeno. Esta tecnología ofrece una reducción de cantidades de NOx y partículas PM, suficientemente bajas para cumplir con esta norma, de esta manera Volvo está yendo un paso más allá y cumpliendo con estándares aún más estrictos.

Respecto a las nuevas tecnologías, Volvo Perú ha incorporado en sus camiones motores diésel de última generación que cumplen con los más estrictos estándares de emisiones establecidos por la Unión Europea. Estos motores sobrepasan las exigencias de la normativa Euro V, alcanzando incluso la categoría Vehículo eco-amigable mejorado (EEV), el cual, según [48], representa el máximo nivel de control de emisiones contaminantes para vehículos diésel en la actualidad.

En los resultados obtenidos de la Tabla 2, se puede observar que los motores del Euro V han ido mejorando, logrando reducir aún más sus emisiones. Se partió de la misma base de datos, pero se filtró por aplicación, tipo de motor del

camión y modelo en donde se consideró los modelos con mayor cantidad de camiones obteniendo una muestra en el modelo FMX 8x4 R de 73 camiones y en el modelo FH 6x4 T Aire de 50 camiones. Los motores que se están estudiando son los D13C500 y D13C540 en los sectores de minería en superficie y en el transporte de combustible por carretera.

En el sector de minería, el nuevo motor D13C540 reduce las emisiones GEI en un 15% comparándolo con el motor D13C500. A pesar de haber trabajado más horas y recorrer terrenos con mayores pendientes, este motor emite menos emisiones, consume menos combustible y exige menos al motor. Pero para lograr estos resultados, el consumo de AdBlue es mayor en un 21%.

En el sector de transporte de combustible en carretera, el motor D13C540 sigue siendo el mejor en la reducción de emisiones GEI en un 7% y 8%. La reducción entre ambos motores en las horas trabajadas es del 49% y este motor recorre más kilómetros consumiendo menos combustible y AdBlue. Además, el motor D13C540 se sobre exige menos a comparación del motor D13C500.

TABLA 2
EMISIONES PRODUCIDAS POR LOS CAMIONES FMX 8X4 R Y FH 6X4 T AIRE EN LOS MOTORES D13C500 Y D13C540

APLICACIÓN	MINERÍA SUPERFICIE (volquetes)			TRANSPORTE COMBUSTIBLE (tractos)		
	FMX 8X4 R Euro 5			FH 6X4 T Aire Euro 5		
Modelo	D13C500	D13C540	Diferencia	D13C500	D13C540	Diferencia
Tipo de motor	D13C500	D13C540	-	D13C500	D13C540	-
Cantidad	49	24	-	43	7	-
gal/h	3.86	3.28	↓ -15%	4.21	3.86	↓ -8%
km/h	12.52	12.03	↓ -4%	28.57	32.20	↑ 13%
CO ₂ (kg/h)	35.83	30.51	↓ -15%	39.07	35.89	↓ -8%
CO (kg/h)	0.02	0.01	↓ -15%	0.02	0.02	↓ -8%
HC (kg/h)	0.02	0.01	↓ -15%	0.02	0.02	↓ -8%
NO _x (kg/h)	0.11	0.09	↓ -15%	0.11	0.11	↓ -8%
PM (kg/h)	0.001	0.001	↓ -15%	0.002	0.001	↓ -7%
Tiempo Total	8119.72	12948.30	-	2429.14	1238.51	-
AdBlue (l/h)	0.55	0.66	↑ 21%	0.87	0.77	↓ -11%
Ralenti (l/h)	0.39	0.35	↓ -11%	0.30	0.33	↑ 11%
Combustible en carga del motor (l/h)	1.26	0.89	↓ -29%	4.15	2.35	↓ -43%
Distancia cuesta abajo (%)	26.33	33.83	↑ 29%	19.29	11.29	↓ -41%
Distancia cuesta arriba (%)	27.34	34.79	↑ 27%	18.88	11.19	↓ -41%
Distancia en llano (%)	46.33	31.37	↓ -32%	61.83	77.52	↑ 25%

Estos resultados demuestran que las nuevas tecnologías que implementa Volvo tienen un impacto positivo en la reducción de las emisiones GEI, siguiendo las normas Euro V que actualmente están presentes en sus camiones en el Perú. En el aspecto político, el país implementó la norma Euro IV en el presente año, no obstante, existen camiones de mayores a 16 toneladas nuevos que son Euro III [23]. Las reconocidas marcas

europas de camiones en el mercado peruano venden camiones bajo la norma Euro V, a pesar de que el gobierno aún no lo implementa, por lo que esto deja un gran déficit por parte de la política del país.

Para el caso del sector minero, en el Perú, se usa la norma ISO 26000:2010, el cual destaca que la minería genera impactos ambientales directos e indirectos en el uso, transporte y procesamiento de materiales, por lo tanto, estas industrias tienen la responsabilidad de reducir las emisiones GEI que se generan en sus actividades [49]. Usar camiones bajo la normativa Euro V es de gran importancia para cumplir con las leyes establecidas en el país. En ese sentido, Volvo se une a la causa de reducir el impacto ambiental del uso de camiones en el sector minero, reduciendo las emisiones GEI con la implementación de tecnologías avanzadas en sus camiones.

IV. CONCLUSIONES

Dentro de la investigación realizada, un factor limitante fue la cantidad de camiones Euro VI porque la muestra era considerablemente menor a comparación de las versiones Euro III y Euro V. Es por ello que, para este estudio, se decidió descartar la versión Euro VI para tener una comparativa más justa entre las versiones Euro V y Euro III. Ante la ausencia de datos de geolocalización específicos de la muestra de camiones para este estudio, se emplearon datos promedio mensuales de la flota del sistema de Volvo Connect para estimar el porcentaje de distancia recorrida en subida, bajada y plano. Si bien estos datos proporcionan una visión general, es recomendable complementar este análisis con información más detallada sobre la ruta del camión en el futuro. Esto permitiría obtener resultados más precisos y considerar las particularidades del entorno operativo de cada camión.

Actualmente, Volvo Trucks está invirtiendo en tecnología asociándose con otras empresas para lograr la descarbonización de sus productos alineados a las normativas Euro, centrándose en el hidrógeno como alternativa para lograr las emisiones cero. En el año 2023, alcanzó a reducir en 6% sus emisiones por vehículo comparado con el año 2019.

El sistema del Volvo Connect es una herramienta de vital importancia para la recolección de datos del camión, y en este estudio se pudo demostrar que este sistema ayuda a evaluar la flota de camiones en diferentes sectores a través de los datos.

Se cuantificaron y analizaron las siguientes emisiones de GEI: CO, NO_x, HC, y PM. Esta selección se basó en que estos gases son los contaminantes más prevalentes en las emisiones de camiones, generando un impacto considerable en la calidad del aire.

Según los resultados obtenidos, se demuestra que la normativa Euro V afectan positivamente a la reducción de las emisiones GEI tanto en el sector minero subterráneo y en superficie como en el sector transporte de combustible. En base a esto, se puede demostrar, que los planes de sostenibilidad que está planteando Volvo Group, contribuye al logro del objetivo de emisiones cero en los camiones mediante nuevas

tecnologías, como los camiones GNC, camiones con motores de combustión de hidrógeno y combustibles renovables.

El sector donde se muestran los mejores resultados de la reducción de las emisiones GEI es en minería en superficie porque a pesar de haber sumado más horas de trabajo y con condiciones del terreno más extremas, las reducciones son mayores a comparación de los otros sectores.

Los motores comparados demuestran que la nueva tecnología que implementa Volvo Perú en sus camiones ayuda a reducir las emisiones de GEI un 8% en el sector transporte de combustible y un 15% en el sector de minería en superficie, ofreciendo más potencia en el motor. La actualización de las flotas de camiones es una medida clave para mitigar los efectos del cambio climático, al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los resultados de estas reducciones de emisiones de GEI tienen el potencial de contribuir significativamente a los objetivos nacionales de reducción de carbono de Perú, alineándose con los compromisos del Acuerdo de París y señalando un camino proactivo para la industria automotriz.

En línea con el plan de sostenibilidad de Volvo, se propone, como estudio futuro, analizar las emisiones de camiones a gas natural comprimido (GNC) en Perú, una vez que esta tecnología se haya implementado completamente en el país, con una mayor muestra de camiones y un periodo de tiempo más largo.

REFERENCIAS

- [1] Hu, S., Shu, S., Chen, Z., Shao, Y., Na, X., Xie, C., Stettler, M., & Lee, D. H. (2024). Sustainable impact analysis of freight pooling strategies on city crowdsourcing logistics platform. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104167>
- [2] Li, K., Acha, S., Sunny, N., & Shah, N. (2022). Strategic transport fleet analysis of heavy goods vehicle technology for net-zero targets. *Energy Policy*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112988>
- [3] Gunawan, T., & Monaghan, R. (2022). Techno-economic environmental comparisons of zero- and low-emission heavy-duty trucks. *Applied Energy*, 308, 118327. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118327>
- [4] Lajevardi, S., Aksen, J., & Crawford, C. (2022). Simulating competition among heavy-duty zero-emissions vehicles under different infrastructure conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103254>
- [5] Hu, S., Shu, S., Bishop, J., Na, X., & Stettler, M. (2022). Vehicle telematics data for urban freight environmental impact analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103121>
- [6] IEA, Agencia internacional de la energía. (2020). *CO2 emissions from heavy-duty vehicles in the Sustainable Development Scenario, 2000-2030*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-emissions-from-heavy-duty-vehicles-in-the-sustainable-development-scenario-2000-2030>
- [7] Emodi, N., Okereke, C., Abam, F., Diemuodeke, O., Owebor, K., & Nnamani, U. (2022). Transport sector decarbonisation in the Global South: A systematic literature review. *Energy Strategy Reviews*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100925>
- [8] Mane, A., Djordjevic, B., & Ghosh, B. (2021). A data-driven framework for incentivising fuel-efficient driving behaviour in heavy-duty vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102845>
- [9] Neagoe, M., Hvolby, H. H., Taskhiri, M. S., & Turner, P. (2021). Using discrete-event simulation to compare congestion management initiatives at a port terminal. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102362>
- [10] Ibañez Noriega, I., Sagastume Gutiérrez, A., & Cabello Eras, J. J. (2024). Energy and exergy assessment of heavy-duty mining trucks. Discussion of saving opportunities. *Heliyon*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25358>
- [11] Espinoza, V., Salazar, J., Hunt, C., Aitken, D., & Campos, L. (2023). Comparative life cycle assessment of battery-electric and diesel underground mining trucks. *Journal of Cleaner Production*, 425, 139056. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.139056>
- [12] Barbado, A., & Corcho, Ó. (2022). Interpretable machine learning models for predicting and explaining vehicle fuel consumption anomalies. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105222>
- [13] Patiño, M., Parra, A., & Borge, R. (2022). On-road vehicle emission inventory and its spatial and temporal distribution in the city of Guayaquil, Ecuador. *Science of the Total Environment*, 848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157664>
- [14] Grassi, Y., Brignole, N., & Díaz, M. (2021). Vehicular fleet characterisation and assessment of the on-road mobile source emission inventory of a Latin American intermediate city. *Science of the Total Environment*, 792. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148255>
- [15] Madhusudhanan, A. K., Ainalis, D., Na, X., Garcia, I. V., Sutcliffe, M., & Cebon, D. (2021). Effects of semi-trailer modifications on HGV fuel consumption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102717>
- [16] Nevland, E. A., Gingerich, K., & Park, P. Y. (2020). A data-driven systematic approach for identifying and classifying long-haul truck parking locations. *Transport Policy*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.003>
- [17] Yang, Y., Zhao, X., Yuan, X., Wang, S., Kong, L., Han, Q., & Huang, R. (2024). A novel heavy-duty truck driving cycle construction framework based on big data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104077>
- [18] Tanco, M., Cavallieri, M. S., Levy, M., Rossi, S., & Jurburg, D. (2023). Impact of electric trucks in GHG inventory – A Uruguayan scenario study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103614>
- [19] Huertas, J. I., Serrano-Guevara, O., Díaz-Ramírez, J., Prato, D., & Tabares, L. (2022). Real vehicle fuel consumption in logistic corridors. *Applied Energy*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118921>
- [20] Hoffmann, C., & Thommes, K. (2020). Can digital feedback increase employee performance and energy efficiency in firms? Evidence from a field experiment. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2020.09.034>
- [21] Terneus, C., & Viteri, O. (2020). Analysis of agro-food transport in Ecuador faced with a possible reduction in the subsidy of diesel. *Energy Policy*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111713>
- [22] GlobalPetrolPrices. (2024). *Los precios del diesel en todo el mundo, 29-mayo-2024*. GlobalPetrolPrices. https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/
- [23] Esteve, X., Ita, D., Parodi, E., González, S., Moreira, M., Feijoo, G., & Vázquez, I. (2022). Environmental footprint of critical agro-export products in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for green asparagus and avocado. *Science of the Total Environment*, 818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151686>
- [24] González, J., Izquierdo, A., Commans, F., & Carlos, M. (2021). Fuel-efficient driving in the context of urban waste-collection: A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125831>
- [25] Macián, V., Monsalve, J., Villalta, D., & Fogue, Á. (2021). Extending the potential of the dual-mode dual-fuel combustion towards the prospective EURO VII emissions limits using gasoline and OMEx. *Energy Conversion and Management*, 233, 113927. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113927>
- [26] Noll, B., Del Val, S., Schmidt, T., & Steffen, B. (2022). Analyzing the competitiveness of low-carbon drive-technologies in road-freight: A total cost of ownership analysis in Europe. *Applied Energy*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118079>
- [27] Hassan, T., & Helo, P. (2021). Performance assessment of high capacity trucks: Understanding truck selection and deployment economics.

- Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100363>
- [28] Anderhofstadt, B., & Spinler, S. (2020). Preferences for autonomous and alternative fuel-powered heavy-duty trucks in Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102232>
- [29] García, A., Monsalve-Serrano, J., Lago Sari, R., & Gaillard, P. (2020). Assessment of a complete truck operating under dual-mode dual-fuel combustion in real life applications: Performance and emissions analysis. *Applied Energy*, 279, 115729. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115729>
- [30] Fujita, R., Williams, K., Underhill, L., Herrera, P., Rahman, N., Romani, E., Flores, O., Checkley, W., & Pollard, S. (2023). Successes and challenges to implementing the Fondo de Inclusión Social Energético LPG access program in Peru: Novel insights from front-end implementers. *Energy for Sustainable Development*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101267>
- [31] Ulrich, S., Trench, A., & Hagemann, S. (2022). Gold mining greenhouse gas emissions, abatement measures, and the impact of a carbon price. *Journal of Cleaner Production*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130851>
- [32] Serrato, D., Zapata-Mina, J., Restrepo, Á., & Torres, J. (2021). Assessment of liquefied natural gas (LNG) regasified through gas interchangeability in energy consumption sectors. *Energy Reports*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.048>
- [33] Madhusudhanan, A. K., Na, X., Boies, A., & Cebon, D. (2020). Modelling and evaluation of a biomethane truck for transport performance and cost. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102530>
- [34] Volvo Group. (2023). [Volvogroup.com. Volvo Group 2023-2019](https://www.volvogroup.com/en/about-us.html). Retrieved from <https://www.volvogroup.com/en/about-us.html>
- [35] Sigurjonsdottir, S. S., Elnes, A. K., & Couto, K. C. (2022). Turn off your engine: Reducing idling amongst professional truck drivers. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 15, 100654. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2022.100654>
- [36] Agarwal, A. K., & Mustafi, N. N. (2021). Real-world automotive emissions: Monitoring methodologies, and control measures. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (Vol. 137). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110624>
- [37] Luo, J., Wang, C., Wallerstein, B., Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2022). Heavy-duty truck routing strategy for reducing community-wide exposure to associated tailpipe emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 107, 103289. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103289>
- [38] Papadopoulos, G., Ntziachristos, L., Tziourtzioumis, C., Keramydas, C., Lo, T., Ng, K., Wong, H., & Wong, C. (2020). Real-world gaseous and particulate emissions from Euro IV to VI medium duty diesel trucks. *Science of the Total Environment*, 731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139137>
- [39] Jafarigol, F., Sabanov, S., Magauyiya, N., Dautbay, Z., Qureshi, A. R., Adotey, E., Salmanimajaveri, M., & Torkmahalleh, M. A. (2023). Particle number, mass, and surface area concentrations inside an underground metalliferous mine in Kazakhstan. *Atmospheric Pollution Research*, 14(9). <https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101871>
- [40] Zhang, H., Fava, L., Cai, M., Vayenas, N., & Acuña, E. (2021). A hybrid methodology for investigating DPM concentration distribution in underground mines. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104042>
- [41] Swift, A., Smoorenburg, E., Newman, A., & Bogin, G. E. (2023). The impact of environmental conditions on the heat and emissions produced by large diesel engines in underground mines. *Journal of Cleaner Production*, 429. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139277>
- [42] Lu, X. xiao, Zhang, H., Xiao, J. xiang, & Wang, S. (2024). Research analysis on the airflow-particle migration and dust disaster impact scope by the moving mining truck in the open-pit mine. *Process Safety and Environmental Protection*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.02.073>
- [43] Worlanyo, A. S., & Jiangfeng, L. (2021). Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. *Journal of Environmental Management*, 279, 111623. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111623>
- [44] Huo, D., Sari, Y. A., Kealey, R., & Zhang, Q. (2023). Reinforcement Learning-Based Fleet Dispatching for Greenhouse Gas Emission Reduction in Open-Pit Mining Operations. *Resources, Conservation and Recycling*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106664>
- [45] Figueiredo, R. L., da Silva, J. M., & Ortiz, C. E. A. (2023). Green hydrogen: Decarbonization in mining - Review. *Cleaner Energy Systems*, (Vol. 5). <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100075>
- [46] Rial, M., & Pérez, J. (2021). Environmental performance of four different heavy-duty propulsion technologies using Life Cycle Assessment. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100428>
- [47] Benajes, J., García, A., Monsalve-Serrano, J., & Guzmán-Mendoza, M. (2024). A review on low carbon fuels for road vehicles: The good, the bad and the energy potential for the transport sector. *Fuel*, 361, 130647. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130647>
- [48] Renault Trucks. (2024). *Access: EEV y más seguridad*. [https://www.renault-trucks.es/press-release/access-eev-y-mas-seguridad#:~:text=La%20norma%20EEV%20\(Enhanced%20Environmentally,destinados%20a%20un%20uso%20urbano](https://www.renault-trucks.es/press-release/access-eev-y-mas-seguridad#:~:text=La%20norma%20EEV%20(Enhanced%20Environmentally,destinados%20a%20un%20uso%20urbano)
- [49] Saenz, C. (2023). Corporate social responsibility strategies beyond the sphere of influence: Cases from the Peruvian mining industry. *Resources Policy*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103187>