Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Mecánica Automotriz

Análisis de Costos en el Transporte de Mercancías con Enfoque Cero Emisiones: Caso Farmasol EP

Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autores:

Arnaldo Andres Benavides Mora

Andrés Sebastián Ramón Patiño

Director:

Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello

Cuenca – Ecuador

2025

Dedicatoria

Benavides Mora Arnaldo Andres.

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mi madre, por ser mi guía, mi fortaleza y mi mayor ejemplo de entrega y perseverancia; su apoyo constante ha sido fundamental para alcanzar esta meta. También dedico esta tesis a mis hermanos, quienes han estado a mi lado en cada etapa del camino, brindándome su compañía, ánimo y afecto incondicional en los buenos y malos momentos.

Agradecimientos

Benavides Mora Arnaldo Andres.

En primer lugar, doy gracias a Dios, por haberme brindado la fortaleza, la paciencia y la sabiduría necesarias para superar cada reto durante este proceso académico y para alcanzar la culminación de esta etapa tan importante en mi vida.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento al Ingeniero Gustavo Álvarez, por su invaluable apoyo y orientación durante la realización de esta tesis. Su dedicación, sus observaciones precisas y sus consejos acertados fueron fundamentales para el desarrollo y mejora continua de este trabajo. Gracias a su experiencia y compromiso,

De igual forma, agradezco sinceramente a toda mi familia y amigos, quienes estuvieron presentes en todo momento brindándome su comprensión y ánimo constante. Su apoyo incondicional fue un pilar indispensable que me permitió avanzar con confianza y motivación en este camino.

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza necesaria para alcanzar este logro.

A mi madre Ana Patiño, por su amor incondicional, por su ejemplo de lucha y sacrificio, y por enseñarme a nunca rendirme. Todo lo que soy y he alcanzado lleva su huella.

A mi pareja Karen, por su paciencia, su apoyo constante y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi compañera en esta etapa tan importante de mi vida.

A mi hijo Stephan, mi mayor motivación. Esta meta alcanzada es también para ti, con la esperanza de ser siempre un ejemplo y construir un mejor futuro a tu lado.

A mi hermana Andrea, mi sobrina Belén, familia, amigos y docentes, quienes me acompañaron con su apoyo, enseñanzas y palabras de aliento.

A todos quienes, de una u otra forma, formaron parte de este proceso, gracias de corazón.

Andrés Sebastián Ramón Patiño

Agradecimiento

El presente trabajo de titulación no habría sido posible sin el apoyo y colaboración de diversas personas e instituciones, a quienes deseo expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Farmasol EP, por facilitar el acceso a la información necesaria para el desarrollo de esta investigación, así como por su apertura y disposición durante el proceso de recolección de datos y análisis técnico.

Agradezco profundamente a mi directora de tesis, Ing. Gustavo Álvarez-Coello, por su guía académica, rigurosidad metodológica y valiosas observaciones, que permitieron enriquecer el contenido y enfoque del estudio.

Extiendo mi gratitud a los docentes de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, quienes a lo largo de mi formación profesional compartieron sus conocimientos y experiencias, contribuyendo significativamente a mi desarrollo académico.

De manera especial, agradezco a mi familia, particularmente a mi madre, por su constante apoyo emocional y motivación durante toda mi formación. A mi pareja, por su paciencia, comprensión y respaldo incondicional en cada etapa de este proceso. Y a mi hijo, cuya existencia ha sido mi mayor fuente de inspiración y determinación para culminar este objetivo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron su conocimiento, tiempo y apoyo durante la ejecución de este proyecto.

Andrés Sebastián Ramón Patiño

Resumen

La presente investigación analiza los costos operativos y el rendimiento energético y ambiental del transporte de mercancías en la empresa pública Farmasol EP, dedicada a la distribución de productos farmacéuticos en Cuenca, Ecuador. El estudio parte de la necesidad de mejorar la eficiencia logística y reducir la huella de carbono mediante la posible renovación de su flota vehicular. Para ello, se evaluó el desempeño del camión Chevrolet NMR actualmente en operación, incluyendo su consumo de combustible, emisiones de CO_2 y costos anuales de mantenimiento y operación. A partir de estos datos, se realizó una comparación técnica y económica con otros cuatro modelos disponibles en el mercado nacional: Hino Dutro 616, Hyundai HD55, Sinotruck NKS (todos diéseles) y el vehículo eléctrico BYD T300. El análisis demostró que, aunque los vehículos eléctricos presentan un alto costo inicial y menor capacidad de carga, ofrecen beneficios significativos en términos de eficiencia energética y ahorro en consumo de energía. Con base en estos resultados, se proponen recomendaciones para la renovación de la flota, orientadas a una operación más sostenible, eficiente y alineada con los objetivos ambientales de la empresa.

Palabras clave: Transporte farmacéutico, eficiencia energética, vehículo eléctrico, emisiones de CO_2, huella de carbono

Abstract

This research analyzes the operational costs and the energy and environmental performance of freight transportation in the public company Farmasol EP, dedicated to the distribution of pharmaceutical products in Cuenca, Ecuador. The study arises from the need to improve logistics efficiency and reduce the carbon footprint through a potential renewal of its vehicle fleet. To this end, the performance of the currently operating Chevrolet NMR truck was evaluated, including fuel consumption, CO_2 emissions, and annual maintenance and operational costs. Based on this data, a technical and economic comparison was made with four other models available on the national market: Hino Dutro 616, Hyundai HD55, Sinotruck NKS (all diesel), and the electric vehicle BYD T300. The analysis showed that, although electric vehicles have a high initial cost and lower load capacity, they offer significant benefits in terms of energy efficiency and energy consumption savings. Based on these results, recommendations are proposed for fleet renewal, aimed at more sustainable, efficient operation aligned with the company's environmental goals.

Keywords: Pharmaceutical transportation, energy efficiency, electric vehicle, CO_2 emissions, carbon footprint

Índice de contenidos

Dedicatoria I
Agradecimientos II
Dedicatoria III
Agradecimiento IV
Resumen V
Abstract VI
Introducción 1
Problemática 2
Justificación 2
Marco Teórico y estado del arte 3
Objetivo general 4
Objetivos específicos 4
Alcance 4
Materiales y métodos 5
Materiales técnicos y vehículos evaluados 5
Instrumentos de recolección de datos 7
Herramientas y fuentes para el análisis 7
Enfoque de investigación 8
Recolección de datos operativos 8
Evaluación del rendimiento energético y ambiental de la flota 9
Cálculo de costos de combustible 10
Análisis del rendimiento operativo del vehículo 10
Comparativa de rendimiento por costo anual entre modelos de camiones 11
Estimación de emisiones de CO_2: 13
Ecuación de Combustión Teórica 13
Cálculo del Factor de Emisión por Litro de Diésel 14
Conversión a Emisiones por Galón 14
Emisiones por Kilómetro 14
Emisiones Totales Anuales 14
Comparación de Emisiones de CO2 en diferentes modelos de camiones 14
Análisis de costos de adquisición y mantenimiento: 16
Costo Total del Chevrolet NMR 16
Comparativa de Costos entre Modelos de Camiones 16
Devaluación de los vehículos de carga 17
Conclusiones y Resultados 19
Recomendaciones prácticas 20

Índice de figuras

Fig. 1 Flota Farmasol EP. 3
Fig. 2 Diagrama de flujo 5
Fig. 3 Hino Dutro 616 6
Fig. 4 Hyundai HD 55 6
Fig. 5 Sinotruk NKS. 7
Fig. 6 BYD T-300 7
Fig. 7 Comparativa de costos anuales 13
Fig. 8 Emisiones Ton CO_2. 16
Fig. 9 Depreciación vehicular 18

Índice de tablas

Tabla 1 Especificaciones técnicas 9
Tabla 2 Costos de distribución. 10
Tabla 3 Rendimiento camión Chevrolet NMR. 11
Tabla 4 Comparación de rendimiento por marca. 13
Tabla 5 Emisiones multimarca. 15
Tabla 6 Comparativa de costos totales. 17
Tabla 7 Ranking de modelos de camión según eficiencia integral y costos. 20
Tabla 8 Especificaciones clave 21

Introducción

El transporte de mercancías es un componente clave en la cadena de suministro farmacéutica, donde la puntualidad, rapidez y eficiencia son fundamentales. Los costos asociados al transporte impactan significativamente los márgenes de ganancia y la capacidad de las empresas para ofrecer productos a precios competitivos, sin comprometer la calidad del servicio (Torres et al., 2019)

En el contexto global actual, marcado por el cambio climático y la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la transición hacia un sistema de transporte más sostenible se ha convertido en una prioridad. En este sentido, las energías renovables se presentan como una solución clave, siendo su integración en el sector del transporte esencial para alcanzar los objetivos climáticos establecidos. Los vehículos eléctricos de batería (BEV) se consideran una opción viable para disminuir la dependencia de combustibles fósiles; sin embargo, su implementación enfrenta desafíos significativos, como los altos costos de las baterías y la limitada autonomía (Gustafsson & Johansson, 2015).

En este escenario, Farmasol, una empresa pública dedicada a la distribución de productos farmacéuticos tiene la oportunidad de incorporar vehículos eléctricos en su logística. Esta transición no solo mejoraría la eficiencia operativa, sino que también ayudaría a Farmasol con los objetivos ambientales actuales, reafirmando su compromiso con la comunidad. Fundada en mayo de 2004, se destaca en la distribución de productos farmacéuticos. Comenzó como un proyecto social con el objetivo de proporcionar medicamentos, suplementos nutricionales y productos de cuidado personal a precios accesibles. Años después, gracias al apoyo del Consejo Cantonal de Cuenca, se expidió una ordenanza que permitió su constitución como la Empresa Pública Farmacias Municipales Solidarias Farmasol EP. Con el respaldo de esta institución pública, Farmasol EP ha consolidado su presencia con 32 farmacias en diversos puntos de Cuenca, así como en Gualaceo y Azogues, atendiendo las necesidades de todos los sectores sociales (Farmasol, 2024).

Un estudio previo en Farmasol EP evalúa el desempeño de los vehículos utilizados en las operaciones diarias de la empresa. Este análisis se centra en el rendimiento mecánico,

energético y ambiental de un camión Chevrolet NMR Turbo, que forma parte de la flota encargada de la distribución de mercancías. Los resultados indican que el camión recorre un promedio de 134.5 km por ruta, transportando una carga que oscila entre 400 y 2,200 kg, lo que indica una disparidad en la carga, ya que no es uniforme. En promedio, transporta aproximadamente 1,075 kg por ruta, incluyendo medicamentos, consumibles, productos de aseo personal, pañales y leche. Su rendimiento promedio es de 32.5 km/galón, generando una emisión de 326.5 gCO_2/km (Cabrera et al., 2024).

Problemática

A medida que Farmasol EP avanza en su misión de distribuir productos farmacéuticos en Cuenca, Ecuador, se enfrenta a varios desafíos logísticos. La prioridad de la empresa es garantizar entregas rápidas y en condiciones óptimas, ya que esto es crucial para mantener la calidad y seguridad de los medicamentos. Sin embargo, los altos costos operativos derivados de una flota vehicular diversa complican esta tarea. Esta variedad no solo dificulta la estandarización de procesos, sino que también genera ineficiencias en mantenimiento y consumo de combustible. A esto se suma el alto costo del alquiler del vehículo principal utilizado para las entregas. Además, la topografía y las características urbanas de Cuenca complican aún más la operación logística de la empresa.

Justificación

El análisis de los costos del transporte de mercancías en Farmasol EP es clave para identificar áreas de mejora y apoyar la toma de decisiones sobre la renovación de la flota. Este estudio permitirá evaluar las opciones más eficientes entre camiones diésel y eléctricos, considerando su rendimiento, costos operativos y sostenibilidad (Yaguari K., 2023). Al comparar ambos tipos de vehículos, se podrá determinar cuál ofrece menores gastos en consumo de combustible, mantenimiento y emisiones, lo que facilitará la selección de los vehículos más convenientes para la empresa. La renovación de la flota no solo optimizará los costos operativos, sino que también contribuirá a una gestión más eficiente y mejorará la calidad del servicio, garantizando entregas rápidas, seguras y más sostenibles, fortaleciendo así la posición de Farmasol EP en el sector farmacéutico.

Marco Teórico y estado del arte

Fig. 1 Flota Farmasol EP.

El sector de distribución farmacéutica enfrenta crecientes desafíos en la gestión de su flota vehicular, como se evidencia en el caso de Farmasol EP, cuya estrategia de expansión ha resultado limitada y desalineada con sus necesidades logísticas reales, afectando tanto la eficiencia operativa como la rentabilidad del negocio (FARMASOL EP, 2023). En este contexto, la gestión de flotas se vuelve crucial, ya que implica planificar, implementar y controlar los vehículos de una organización con el fin de optimizar costos y mejorar la eficacia en las entregas, considerando variables como la capacidad de carga, la naturaleza del producto transportado y la frecuencia de distribución (Fernie & Sparks, 2019). Una herramienta clave dentro de esta gestión es el análisis de costos vehiculares, que permite evaluar tanto los gastos de adquisición como los costos operativos y las oportunidades perdidas asociadas a una elección inadecuada de unidades (Idrovo David & Loayza Cristhian, 2017). La falta de un análisis detallado limita la capacidad de tomar decisiones estratégicas sobre la renovación o diversificación de la flota. Paralelamente, la presión por reducir la huella de carbono y cumplir con normativas ambientales ha impulsado a las empresas a considerar la adopción de vehículos eléctricos (VE) como una alternativa viable para alcanzar la neutralidad de carbono, aunque esta transición conlleva desafíos asociados a su alto costo inicial, autonomía limitada y escasa infraestructura de carga (Kiba-Janiak et al., 2021). Por ello, es fundamental que Farmasol EP explore estrategias que le permitan superar estas barreras y avanzar hacia un modelo de transporte más sostenible.

Una flota correctamente alineada con las exigencias operativas no solo incrementa la eficiencia y reduce los costos de mantenimiento, sino que también mejora la calidad del servicio y la satisfacción del cliente (Fernie & Sparks, 2019). En última instancia, una evaluación integral de las oportunidades y restricciones en torno a la adopción de tecnologías limpias permitirá a Farmasol EP fortalecer su gestión logística, optimizar recursos y contribuir activamente a la mitigación del impacto ambiental (Gustafsson & Johansson, 2015).

Objetivo general

Analizar los costos del transporte de mercancías en Farmasol EP, con el fin de mejorar la eficiencia operativa y la disminución de la huella de carbono en la distribución de productos farmacéuticos en Cuenca, Ecuador.

Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento energético y ambiental de los vehículos de Farmasol EP para identificar áreas de mejora en su gestión y mantenimiento.

- Analizar los costos de transporte de mercancías, incluyendo adquisición, mantenimiento y combustible, para diagnosticar la situación financiera de la empresa.

- **E**valuar distintos modelos de vehículos que se ajusten a las necesidades de distribución de Farmasol EP, considerando capacidad de carga, eficiencia de combustible, costos y emisiones.

- Desarrollar recomendaciones prácticas basadas en el análisis de costos y la comparación de vehículos, con el fin de estandarizar procesos y mejorar la calidad del servicio de entrega.

Alcance

La presente investigación se realizó en la empresa Farmasol EP con datos de operación de la flota de transporte Febrero – marzo 2024.

Materiales y métodos

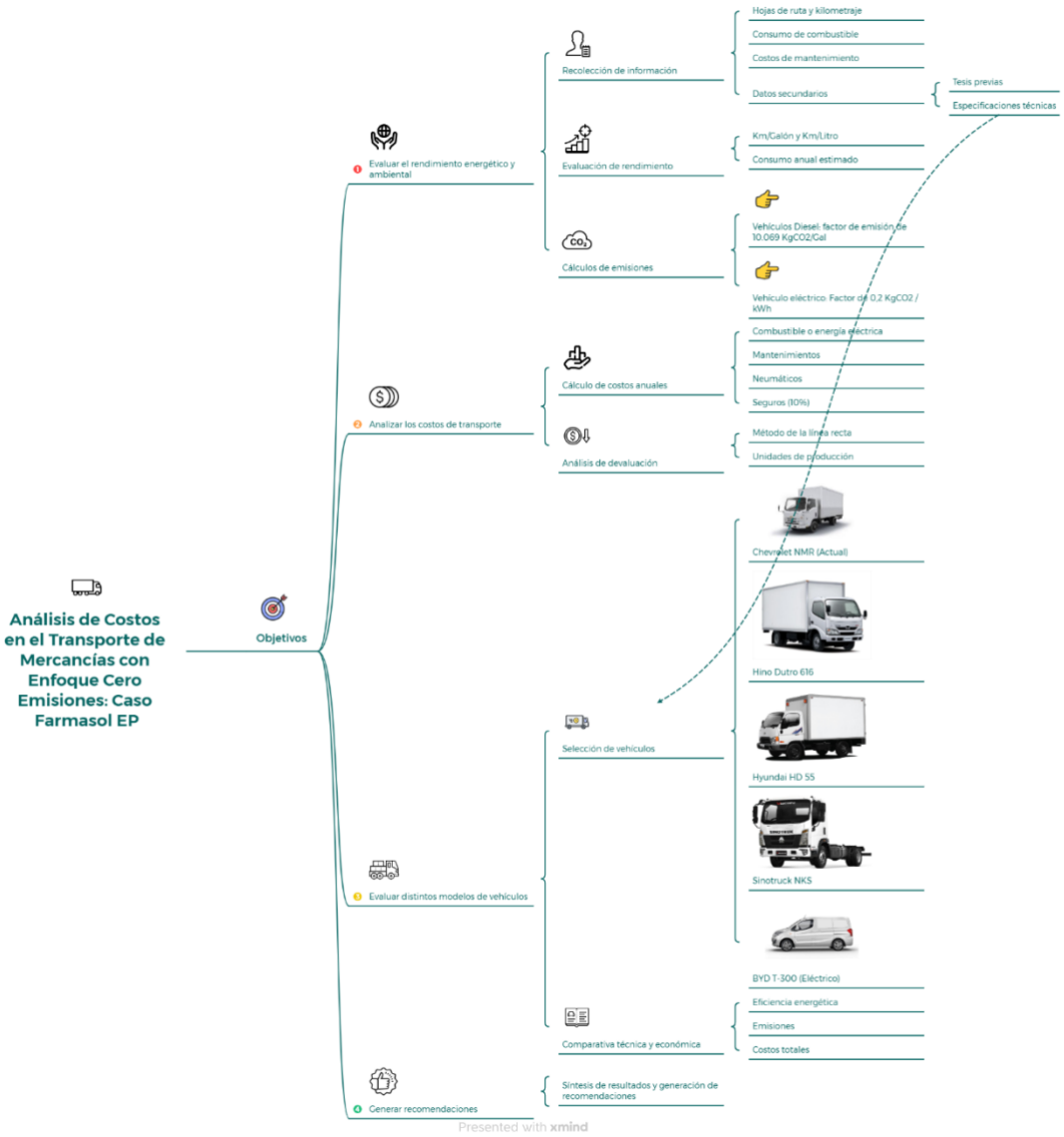

Fig. 2 Diagrama de flujo

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon los siguientes materiales, clasificados según su función en el proceso de recolección de datos, análisis técnico y cálculo de indicadores energéticos, ambientales y económicos:

Materiales técnicos y vehículos evaluados

Camión Chevrolet NMR (unidad actualmente en operación por Farmasol EP), del cual se obtuvo información directa sobre consumo de combustible, rendimiento y costos de mantenimiento.

Modelos comparativos:

Fig. 3 Hino Dutro 616

Fig. 4 Hyundai HD 55

Fig. 5 Sinotruk NKS

Fig. 6 BYD T-300

Especificaciones técnicas de los vehículos, proporcionadas por los fabricantes o concesionarios oficiales de cada marca.

Instrumentos de recolección de datos

Registros operativos internos de Farmasol EP, que incluyen:
Hojas de ruta y planillas de kilometraje, Registros de consumo de combustible, Facturación y comprobantes de mantenimiento y seguros, Datos secundarios de tesis previas de Cabrera y Ortega relacionadas con la logística de distribución.

Herramientas y fuentes para el análisis

Calculadora científica y hojas de cálculo (Microsoft Excel) para:

Cálculos de rendimiento energético (km/gal y km/l), Estimación de emisiones de CO_2 según factores de emisión, Proyección de costos operativos y análisis comparativo entre modelos, Software de diseño gráfico o visualización (como Canva o Excel) par a la elaboración de gráficos comparativos y diagramas de barras.
Factores de emisión publicados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL).

Enfoque de investigación

Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo y comparativo, orientado a evaluar el rendimiento energético, el impacto ambiental y los costos operativos de la flota de distribución de Farmasol EP. La investigación se centró en el análisis de un vehículo representativo actualmente en uso (Chevrolet NMR), así como en la comparación con modelos alternativos, incluyendo opciones eléctricas disponibles en el mercado nacional.

Recolección de datos operativos

La información primaria se obtuvo mediante observación directa y participación activa en las operaciones de distribución de Farmasol EP. Se recopilaron datos relacionados con el kilometraje recorrido, las rutas utilizadas, el consumo de combustible y el tipo de vehículo, durante los meses de febrero y marzo de 2024. También se utilizó información secundaria extraída de especificaciones técnicas de fabricantes y datos de concesionarios oficiales.

Comparativa de eficiencia entre modelos
Se realizó una comparación entre el Chevrolet NMR y otros modelos (HINO, HYUNDAI HD55, SINOTRUCK NKS y BYD T300).

Tabla 1 Especificaciones técnicas

MARCA	MODELO	PRECIO	CARGA	MOTOR	TORQUE
CHEVROLET	NMR	$ 31.830	3,45 ton	130 HP - 2800 RPM	330 Nm - 1600 RPM
HINO	DUTRO 616	$ 34.490	3,5 ton	148 HP - 2800 RPM	420Nm - 1400 RPM
SINOTRUCK	NKS	$ 23.990	3,5 ton	102 HP - 3600 RPM	240 Nm - 2000 RPM
HYUNDAI	HD 55	$ 32.990	3,5 ton	118 HP - 2000 RPM	294 Nm - 2000 RPM
BYD	T-300	$ 66.800	2.2 ton	100/180	210 Nm

Evaluación del rendimiento energético y ambiental de la flota

Para determinar el desempeño energético y el impacto ambiental de la flota de distribución de Farmasol EP, se recopiló información operativa relacionada con el consumo de combustible del camión Chevrolet NMR, que fue el vehículo evaluado durante este estudio. Este análisis se realizó en colaboración con un grupo de trabajo anterior, el cual instaló un flujómetro en el camión para medir el consumo de combustible de manera precisa. La recolección de los datos se llevó a cabo mediante una aplicación diseñada específicamente para este fin, que permitió registrar en tiempo real las variables de consumo durante los recorridos de las rutas (Cabrera et al., 2024).

El periodo de recolección de datos comprendió un mes de operación, que abarcó 20 días hábiles y 8 rutas de distribución utilizadas por el camión Chevrolet NMR. Con estos datos, se calculó el promedio de consumo de combustible y los kilómetros recorridos, lo cual permitió obtener una estimación precisa del gasto mensual de combustible por unidad vehicular. A partir de esta información, se proyectaron los costos anuales de operación asociados al abastecimiento de diésel para este camión.

Con base en las rutas previamente definidas en la tesis referenciada, se calcularon las distancias totales recorridas y el consumo específico de combustible, lo que permitió realizar un análisis más completo sobre los costos operativos y la eficiencia energética del camión Chevrolet NMR.

Cálculo de costos de combustible

El análisis de los datos recopilados durante el periodo comprendido entre febrero y marzo de 2024 evidencia que el vehículo de carga recorre en promedio 2.958,65 Km durante 20 días hábiles. Tomando como referencia el precio del diésel vigente al 21 de abril de 2025, equivalente a 1,75 USD/galón, se determinó que el gasto mensual promedio por concepto de combustible asciende a 173,28 USD. Esta información constituye una base sólida para proyectar los costos anuales de operación de la flota y para posteriores comparaciones con alternativas de vehículos de tecnologías más eficientes o con cero emisiones.

Tabla 2 Costos de distribución.

Datos promedio 1 mes		**Datos anuales**	
Distancia recorrida			
2.958,65	km	35.503,76	km
Consumo			
99,02	Gal	1.188,24	Gal
Gasto en combustible			
173,28	USD	2.079,41	USD

Análisis del rendimiento operativo del vehículo

En esta sección se evalúa el rendimiento energético del camión Chevrolet NMR, utilizado por Farmasol EP para la distribución de productos farmacéuticos en las rutas previamente establecidas. Para ello, se consideran diversos parámetros relacionados con el consumo de combustible y la eficiencia operativa del vehículo.

El consumo de combustible fue medido directamente mediante un flujómetro, el cual registró la cantidad exacta de combustible utilizado durante los recorridos. Esto permitió obtener un dato preciso sobre el consumo de combustible por kilómetro recorrido.

Adicionalmente, se estimó el rendimiento operativo anual del camión, basado en el kilometraje promedio anual de 35.503,76 Km. A partir de esta estimación, Se determina la cantidad total de combustible necesaria para recorrer esa distancia, lo que permitió proyectar los costos anuales operativos por concepto de combustible.

La Tabla 2 muestra los resultados del análisis del Chevrolet NMR, expresado en kilómetros por galón (km/gal) y en kilómetros por litro (km/l), lo que facilita una comparación más clara del rendimiento energético del vehículo.

Tabla 3 Rendimiento camión Chevrolet NMR.

Concepto	Valor
Rendimiento del vehículo	
- Kilómetros por galón	31.37 Km/gal
- Kilómetros por litro	7,97 km/l
Uso anual estimado	
- Kilometraje	35.503,76 km
- Combustible requerido	1.188,21 gal aprox. *(35.503,76 ÷ 29,88)*
Costo de operación en combustible	2.079,37 USD anuales

Comparativa de rendimiento por costo anual entre modelos de camiones

Con el objetivo de identificar alternativas tecnológicas que mejoren la eficiencia energética y reduzcan los costos operativos, se presenta una comparación entre el camión Chevrolet NMR (actualmente en uso por Farmasol EP) y otros modelos disponibles en el mercado nacional, incluyendo unidades diésel y una opción eléctrica: el BYD T300 (AEADE, 2024), basada en una investigación realizada en septiembre de 2024.

La evaluación considera un patrón de uso de 35.503,76 km anuales, correspondiente al kilometraje estimado de operación de la flota de Farmasol EP. A partir del rendimiento energético (en km/l para vehículos diésel y km/kWh para vehículos eléctricos), proporcionado por los concesionarios de cada marca, se calcula el consumo total anual de energía y el costo asociado.

Cálculo del costo anual por consumo de diésel

Para obtener el gasto anual por combustible en los vehículos diésel, se aplica la siguiente fórmula:

$$Consumo\ en\ litros = \left(\frac{Km\ anuales}{\text{Rendimiento Km/l}}\right)$$

Aplicado al Chevrolet NMR:

$$Consumo = \left(\frac{35.503,76}{8,67\text{Km/l}}\right) = 4.095,01 \text{ litros}$$

Luego, este valor se multiplica por el precio del litro de diésel (0,47 USD):

$$4.095,01 * 0,47\ USD\ por\ litro = 1.924,65\ USD$$

Considerando un margen adicional del **10 %** por posibles variaciones operativas:

$$Costo\ ajusto = 1.924,65 * 1,10 = 2.117,12\ USD$$

Este mismo procedimiento se aplica para los demás modelos diésel, cuyos resultados se recogen en la Tabla 4 del documento.

Cálculo del costo anual para el vehículo eléctrico BYD T300

En el caso del BYD T300, la eficiencia se mide en kilómetros por carga eléctrica. Dado que su autonomía es de 196 km por carga completa, y considerando que su consumo energético promedio es de 20 kWh por cada 100 km, se calcula primero el rendimiento en km por kWh:

$$Rendimineto\ energético = 6,68\ km/kWh$$

Luego, se determina el consumo total anual de energía eléctrica:

$$\frac{kWh}{año} = \frac{35.504}{6,68} = 5.314,93\ kWh$$

Multiplicando por el precio de la electricidad (0,057 USD/kWh):

$$Costo\ Anual = 5.314,93 * 0,057 = 302,95\ USD$$

Sin embargo, debido a la menor capacidad de carga del BYD T300 frente a los modelos diésel, se estima que se requerirían dos unidades de este modelo para cubrir las rutas actuales, lo que implica duplicar el consumo y costo:

$$Costo\ Anual\ por\ 2\ unidades = 302,95 * 2 = 605,90\ USD$$

Tabla 4 Comparación de rendimiento por marca.

Marca	Costo Anual Combustible (USD)
NMR	2.117,12
NKS	2.622,21
HINO	1.932,15
HD55	2.039,49
BYD T300	605,90

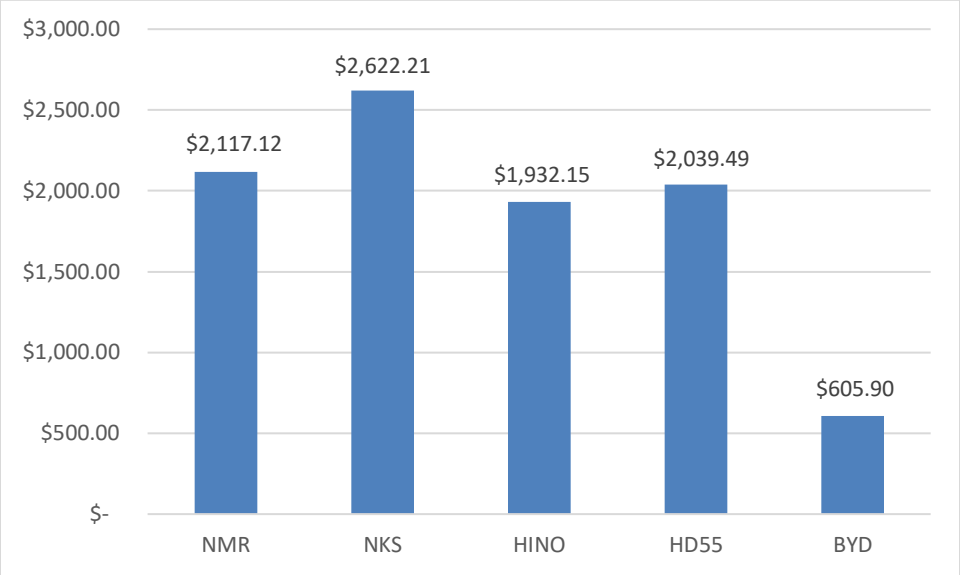

Fig. 7 Comparativa de costos anuales

Estimación de emisiones de CO_2:

La cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generadas por la flota actual de Farmasol EP se realizó mediante el cálculo del factor de emisión del diésel, derivado de su reacción de combustión completa. Esta metodología permite estimar la cantidad de CO_2 emitida por cada unidad de combustible consumido (galón o litro), lo cual resulta esencial para dimensionar el impacto ambiental asociado al transporte de mercancías.

Ecuación de Combustión Teórica

Se parte de una fórmula empírica para el diésel:

$$C_{14,1}H_{24,9} + (O_2 + 3{,}76N_2) \rightarrow 14{,}4CO_2 + H_2O$$

A partir de esta reacción balanceada, se calcula la cantidad de CO_2 producida por litro de diésel quemado.

Cálculo del Factor de Emisión por Litro de Diésel

Primero se obtiene **la** masa de CO_2 emitida por litro de combustible, considerando la masa molar de los productos de la combustión:

$$14{,}4CO_2 \rightarrow \frac{14{,}4[12+16(2)]}{12(14{,}4)+24{,}9(1))} = \frac{633{,}6}{197{,}7} = 3{,}204CO_2/kg$$

Este valor se multiplica por **el** peso específico del diésel (aproximadamente 0.83 kg/L):

$$3.204 \times 0.83 = \ 2.659\ kg\ CO_2/L$$

Conversión a Emisiones por Galón

$$2{,}659\ \frac{kgCO_2}{L}\left(\frac{3{,}785\ L}{1\ gal}\right) = 10{,}0689\frac{kgCO_2}{gal}$$

Emisiones por Kilómetro

Usando el rendimiento del camión (32.5 km/gal), se obtiene:

$$\frac{10{,}068\ \frac{kgCO_2}{gal}}{32{,}5\frac{km}{gal}} = 0{,}309\frac{kgCO_2}{km} = 309{,}99\frac{gCO_2}{km}$$

Emisiones Totales Anuales

Si el vehículo recorre 35.503,76 km al año, las emisiones totales anuales se calculan como:

$$0{,}309\frac{kgCO_2}{km} \times 35.503{,}76\ km = \ 10.973{,}66\frac{kg\ CO^2}{Año}$$

Comparación de Emisiones de CO2 en diferentes modelos de camiones

Siguiendo la misma metodología aplicada al análisis del camión Chevrolet NMR, se realizó una estimación de las emisiones anuales de dióxido de carbono (CO_2) para distintos modelos de vehículos de carga que podrían ser considerados por Farmasol EP como alternativas tecnológicas viables. El cálculo se fundamenta en el rendimiento

energético individual de cada unidad (expresado en km/galón) y en un kilometraje anual constante de 35.503,76 km, correspondiente al patrón operativo actual de la empresa.

El cálculo se realizó utilizando la fórmula:

$$Emisión\ Anual\ de\ CO_2 = \left(\left(\frac{10.069 kg CO_2}{gal}\right) \div rendimiento(\ km/gal)\right) x\ kilometro\ Anual(km)$$

A continuación, se presenta una tabla comparativa con las emisiones estimadas para cada camión:

Tabla 5 Emisiones multimarca.

Emisiones		
NMR	10,99	Ton CO_2
NKS	12,97	Ton CO_2
HINO	9,56	Ton CO_2
HD55	10,09	Ton CO_2
BYD T300	2,12	Ton CO_2

Nota: Las emisiones del modelo BYD se realiza de acuerdo al consumo de energía durante la carga a través de estudios realizados por la ARCONEL que indica un factor de emisión promedio de 0,2 KgCO_2 por kWh, ya que se trata de un vehículo eléctrico, cuya operación no genera emisiones directas de CO_2 en el punto de uso, también para cumplir la necesidad de Farmasol EP. Se requiere dos vehículos lo cual las emisiones serian el doble.

El diagrama de barras ilustra las emisiones estimadas de CO_2 para el camión Chevrolet NMR (la unidad actualmente en operación) comparado con las alternativas consideradas (NKS, HINO, HD55 y BYD). Los valores reflejan emisiones directas en los modelos diésel (factor de 10,069 kg CO_2/gal) y emisiones indirectas en el modelo eléctrico BYD (factor de 0,2 kg CO_2/kWh). Este análisis destaca la significativa reducción de huella de carbono que ofrece la electromovilidad frente a las tecnologías convencionales.

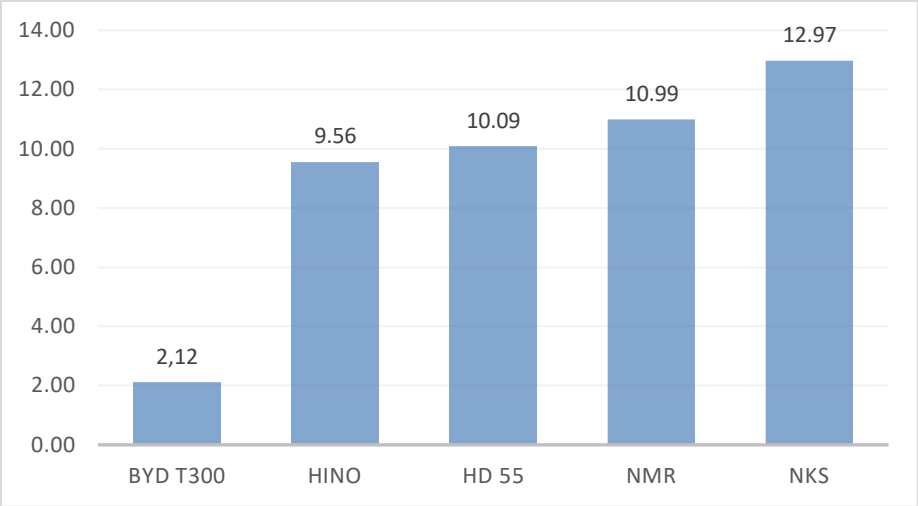

Fig. 8 Emisiones Ton CO_2.

Análisis de costos de adquisición y mantenimiento:

El análisis económico de los vehículos utilizados o considerados para la flota de distribución de Farmasol EP es fundamental para evaluar no solo la viabilidad financiera de su operación, sino también la comparación con posibles alternativas más eficientes o sostenibles (Moncada, 2012). En esta sección se detalla el costo total de adquisición y operación del camión Chevrolet NMR, junto con una comparativa con otros modelos de diferentes marcas.

Costo Total del Chevrolet NMR

El costo de adquisición del camión Chevrolet NMR asciende a 31.830 USD, al cual se debe sumar un valor adicional de 3.000 USD por concepto de carrocería, alcanzando así un total de 34.830 USD.

A esto se agregan los siguientes costos operativos anuales:

Mantenimiento preventivo anual, Costo anual de neumáticos, Costo anual de combustible, Seguro vehicular anual del 10% de costo total. Considerando estos elementos, el costo total de operación del Chevrolet NMR durante el primer año asciende a 42.628,07 USD, incluyendo adquisición, carrocería y gastos operativos.

Comparativa de Costos entre Modelos de Camiones

Para realizar un análisis comparativo, se recopilaron datos directamente desde concesionarios oficiales de las marcas HINO (Hino, 2024), SINOTRUCK (Sinotruck,

s/f), HYUNDAI (Hyundai Camiones & Buses, 2024) , CHEVROLET (Chevrolet Ecuador, 2024) y BYD (BYD AUTO CO., 2024), incluyendo información detallada sobre precios de adquisición, costos del furgón, especificaciones técnicas y características de desempeño.

La Tabla 5 resumen de los principales datos obtenidos para cada modelo:

Tabla 6 Comparativa de costos totales.

Marca	Total	Vehículos	Extras	Combustible	Mantenimiento	Neumáticos	Seguro
HINO DUTRO 616	$ 46.059	$ 34.490	$ 3.000	$ 2.622	$ 1.104	$ 1.093	$ 3.749
HYUNDAI HD 55	$ 44.142	$ 32.990	$ 3.000	$ 2.039	$ 1.420	$ 1.093	$ 3.599
CHEVROLET NMR	$ 42.628	$ 31.830	$ 3.000	$ 2.117	$ 1.104	$ 1.093	$ 3.483
BYD T - 300	$ 78.806	$ 66.800	$ 2.000	$ 604	$ 1420	$ 1100	$ 6.880
SYNOTRUCK NKS	$ 34.163	$ 23.990	$ 3.000	$ 1.932	$ 1.449	$ 1.093	$ 2.699

Devaluación de los vehículos de carga

El estudio evalúa la pérdida de valor de diferentes unidades de transporte según su antigüedad, características técnicas, condiciones de uso y comportamiento en el mercado secundario (Autofact, 2023). Para estimar la depreciación, se aplicaron modelos como la línea recta y el método de unidades de producción, complementados con información de precios históricos y registros de compraventa. Los resultados permiten identificar tendencias de desvalorización por tipo de camión, brindando una base técnica para decisiones de inversión, renovación de flota y gestión de activos en el sector del transporte.

Fórmula:

$$Depreciación = \frac{Costo\ de\ Adquisición - \ valor\ residual}{Vida\ Util}$$

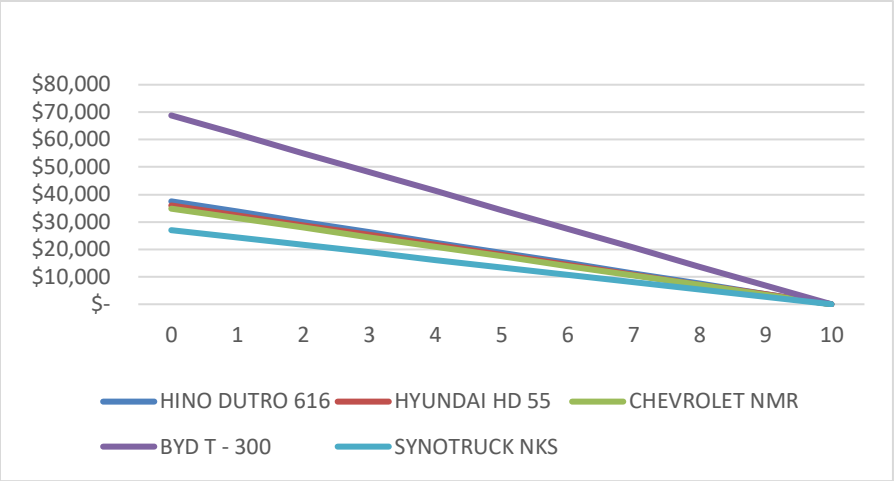

Fig. 9 Depreciación vehicular

Conclusiones y Resultados

- El camión Chevrolet NMR registró un rendimiento promedio de 7,97 km/l (31,37 km/gal), generando aproximadamente 11,16 toneladas de CO_2 anuales. En comparación, el modelo HINO Dutro 616 alcanzó un mejor rendimiento (9,5 km/l) y menores emisiones (9,70 toneladas de CO_2). Por su parte, el BYD T300, al ser eléctrico, no produce emisiones directas; sin embargo, su consumo de energía eléctrica genera emisiones indirectas. Dado que se requieren dos unidades BYD T300 para igualar la capacidad de carga de un camión convencional, las emisiones totales ascienden a 2,12 toneladas de CO_2 al año (1,06 x 2).
- En cuanto a los costos, el Chevrolet NMR implica una inversión total de 42.628,07 USD durante el primer año, incluyendo adquisición, carrocería, combustible, mantenimiento, neumáticos y seguro. Por otro lado, aunque el BYD T300 tiene un menor costo anual de energía (302,95 USD por unidad), al requerirse dos unidades, el gasto total asciende a 605,90 USD anuales en energía. A pesar de este ajuste, el costo energético sigue siendo significativamente menor que el de los modelos diésel.
- Considerando también los costos de adquisición (34.400 USD por unidad), dos BYD T300 representarían una inversión inicial de 68.800 USD, superior a los modelos diésel. Sin embargo, la diferencia puede compensarse en el mediano y largo plazo por el ahorro en energía, mantenimiento y emisiones.
- En el segmento diésel, el HINO Dutro 616 se destaca por su buena eficiencia y menor huella de carbono. No obstante, la alternativa eléctrica sigue siendo la más favorable desde una perspectiva ambiental y operativa, siempre que se consideren adecuadamente los requerimientos de capacidad logística y la inversión inicial.

Recomendaciones prácticas

- Incorporar progresivamente dos unidades eléctricas para reemplazar un camión de carga, priorizando rutas urbanas con menor demanda de carga por unidad, donde la eficiencia energética y el bajo costo de operación de los vehículos eléctricos puedan aprovecharse mejor.
- Evaluar financieramente la inversión inicial que implican dos vehículos BYD T300 frente a los beneficios operativos a largo plazo, incluyendo el ahorro en energía y la reducción de emisiones.
- Optimizar la planificación logística para distribuir las rutas de manera eficiente entre las dos unidades eléctricas, asegurando una operación continua y sostenible.
- Ajustar los programas de mantenimiento preventivo de toda la flota, considerando el menor desgaste mecánico de los vehículos eléctricos y las condiciones reales de uso.

Se presenta una clasificación de los cinco modelos de camión evaluados, ordenados de mayor a menor eficiencia global. Este ranking integra criterios de desempeño energético, emisiones de CO_2 y costos operativos, y ofrece una visión consolidada de las mejores alternativas para la flota de Farmasol EP

Tabla 7 Ranking de modelos de camión según eficiencia integral y costos.

Posición	Modelo	Síntesis
1	BYD T-300 (eléctrico)	Máxima eficiencia, emisiones indirectas mínimas
2	HINO DUTRO 616	Mejor rendimiento diésel y baja huella de carbono
3	HYUNDAI HD 55	Buen equilibrio entre consumo y coste operativo
4	Chevrolet NMR	Rendimiento medio y costes operativos moderados
5	SINOTRUCK NKS	Menor eficiencia y mayores gastos de combustible

A continuación, se detallan las especificaciones clave de cada camión bajo un kilometraje anual estándar de 35 503,76 km. Los datos incluyen rendimiento energético, emisiones anuales de CO_2, costos de energía o combustible, e inversión inicial, facilitando un análisis comparativo exhaustivo.

Tabla 8 Especificaciones clave

Modelo	Rendimiento	Emisiones CO_2 (ton/año)	Costo anual energía/combustible (USD)	Inversión inicial (USD)
BYD T-300	196 km por carga (≈6,68 km/kWh)	2,12	605,9	68.800
HINO DUTRO 616	9,5 km/l (37,41 km/gal)	9,70	1.932,15	37.490
HYUNDAI HD 55	9 km/l (35,44 km/gal)	10,23	2.039,49	35.589
Chevrolet NMR	7,97 km/l (31,37 km/gal)	11,16	2.117,12	34.830
SINOTRUCK NKS	7 km/l (27,56 km/gal)	13,17	2.622,21	26.990

- **Lista de referencias**

AEADE. (2024, septiembre). *Boletin de ventas Septiembre 2024 AEADE*. https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2024/10/9.-Boletin-de-ventas-Septiembre-2024.pdf

Autofact. (2023, febrero 10). *Depreciación de un auto Qué influye?* https://www.autofact.pe/blog/comprar-auto/consejos/depreciacion-vehiculos#:~:text=Se%20calcula%20que%20pierde%20entre,una%20disminuci%C3%B3n%20de%20su%20valor.

BYD AUTO CO., L. (2024). *Ficha Técnica BYD T-300*.

Cabrera, C., Martín, A., & Ortega, J. (2024). *Obtención de los parámetros de desempeño mecánico, energético y ambiental de un camión de entrega en la ciudad de Cuenca.* [Universidad del Azuay]. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/15017/1/20533.pdf

Chevrolet Ecuador. (2024). *Ficha Técnica Chevrolet Serie N*.

Farmasol. (2024, septiembre 18). *¿Quiénes somos?* https://www.farmasol.gob.ec/quienes_somos/

FARMASOL EP. (2023). *PLAN OPERATIVO ANUAL (POA) 2024*.

Fernie, J., & Sparks, L. (2019). *Logistics and Retail Management: Emerging Issues and New Challenges in the ... - Google Libros*. https://books.google.com.ec/books?id=vU51DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Gustafsson, T., & Johansson, A. (2015). *Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels From an energy efficiency and cost perspective*. https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/d26696d7-33a3-4c13-ba00-e9bfa749dc4c/content

Hino, G. M. (2024). *Ficha Técnica Hino Dutro 616*.

Hyundai Camiones & Buses. (2024). *Ficha Tecnica HD 55*.

Idrovo David, & Loayza Cristhian. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS OPERATIVOS ENTRE UN VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA Y UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA*.

Kiba-Janiak, M., Marcinkowski, J., Jagoda, A., & Skowrońska, A. (2021). Sustainable last mile delivery on e-commerce market in cities from the perspective of various stakeholders. Literature review. *Sustainable Cities and Society*, *71*, 102984. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.102984

Moncada, J. (2012). *Reducción del costo de distribución: Transporte propio vs. Transporte Subcontratado en la empresa distribuidora Comercial americana*.

Sinotruck, V. (s/f). *Ficha Técnica Sinotruck NKS*.

Torres, F., Alejandra, G., Torres, I. ; F., Andrés, D., Romero Fernández, I. ;, & Iii, A. J. (2019). *Contribution to the improvement of efficiency in the transport of goods*.

Yaguari K. (2023). *Análisis de factibilidad para la compra de un vehículo de carga Pesada para la empresa scortransport cia. Ltda. En la ciudad De quito, año 2021.*