



Sustentabilidade focada na emissão de CO₂ das viaturas Luís Simões.

2023 - 2024

Lenin Andres Altamirano Gallegos

*Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração do
Porto para obtenção do Grau de Mestre em Logística*

**Orientada por: Professoras Doutoras Isabel Cristina da Silva Lopes e Ana Maria
Moreira Rodrigues.**

Esta dissertação inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Porto, Julho de 2026

Dedicatória

A mis queridos padres, quienes desde la distancia, en mi amado Ecuador, fueron el pilar fundamental para hacer realidad este sueño.

Gracias por creer en mí, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus palabras de aliento y por brindarme el apoyo necesario para emprender este viaje a Portugal y continuar mi formación académica. Cada logro alcanzado en esta maestría lleva consigo el esfuerzo compartido, la confianza que siempre depositaron en mí y los valores que me inculcaron desde niño.

Aunque la distancia nos separó físicamente, su cariño, sus enseñanzas y su constante apoyo estuvieron presentes en cada desafío, motivándome a seguir adelante y a no rendirme.

Este trabajo representa mucho más que un logro académico; es el reflejo del amor, la dedicación y el sacrificio de una familia que siempre creyó en mis capacidades.

Con todo mi amor, gratitud y admiración, dedico esta tesis a ustedes. Este logro también les pertenece.

Gracias por hacer posible este sueño.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante de mi formación académica.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis tutoras por su dedicación, orientación, paciencia y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación. Sus observaciones, consejos y constante acompañamiento fueron fundamentales para fortalecer este trabajo y para mi crecimiento tanto académico como profesional.

A mis padres, les expreso mi eterna gratitud por su amor incondicional, su confianza y el apoyo inquebrantable que me brindaron desde Ecuador para que pudiera cumplir el sueño de cursar esta maestría en Portugal. Su sacrificio, sus palabras de aliento y su fe en mis capacidades fueron la mayor motivación para superar cada desafío y perseverar hasta alcanzar esta meta.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su apoyo, comprensión y ánimo durante este proceso. Cada gesto de confianza y solidaridad fue un impulso para seguir adelante.

A todos ustedes, mi más profundo reconocimiento y gratitud por haber formado parte de este importante logro en mi vida.

Resumo:

O objetivo geral do presente estudo foi analisar a sustentabilidade com foco na emissão CO₂ dos veículos da empresa Luís Simões, no período compreendido entre os anos de 2023 a 2024. Com o apoio metodológico da investigação-ação, procedeu-se inicialmente ao diagnóstico da situação atual das emissões de CO₂, por meio da utilização de indicadores-chave de desempenho (KPIs) que permitiram a sua quantificação e monitorização eficazes. Entre esses indicadores, destacam-se as emissões totais de CO_{2e}. A intensidade de emissões por tonelada-quilómetro e o consumo específico de combustível. Os resultados evidenciaram uma intensidade média de emissões de 0,000335 kg CO_{2e}/t·km, bem como uma acentuada heterogeneidade entre os veículos analisados. Posteriormente, foram definidas metas de redução das emissões de CO₂, procurando minimizar progressivamente o impacto ambiental. Nesse sentido, considerando a manutenção constante do nível de atividade logística, concluiu-se que a empresa pode alcançar reduções globais de emissões num intervalo estimado entre 30 % e 45 %, por meio da aplicação combinada de melhorias tecnológicas e operacionais. Para a definição de estratégias que integrem tecnologias limpas e contribuam para a redução das emissões, foram consideradas ações como a renovação do parque veicular com unidades Euro VI ou superiores, a utilização de biocombustíveis e a incorporação gradual de veículos movidos a GNL, GNC e, futuramente, tecnologias elétricas ou a hidrogénio verde. Adicionalmente, propôs-se o desenho de um sistema de monitorização contínua que permita avaliar a redução das emissões de CO₂ e aplicar os ajustes necessários. Esse sistema, baseado em KPIs, constitui um elemento fundamental para garantir a eficácia das estratégias de redução de emissões. Em conjunto com o uso de ferramentas digitais de gestão e análise de dados, este sistema possibilita a avaliação periódica do desempenho ambiental, a deteção de desvios face aos objetivos estabelecidos e a implementação atempada de medidas corretivas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, consumo, redução, emissão de CO₂.

Abstract:

The general objective of this study was to analyze sustainability with a focus on the CO₂ emission of the vehicles of the company Luís Simões during the period from 2023 to 2024. using an action research methodology as the methodological approach, the current situation of CO₂ emission was first diagnosed through the use of key performance indicators (KPIs) that allow for effective quantification and monitoring. These indicators include total CO_{2e} emissions, emissions intensity per tonne-kilometer, and specific fuel consumption. The results revealed an average emissions intensity of 0.000335 kg CO_{2e}/t·km, as well as a marked heterogeneity among the vehicles analyzed. Subsequently, CO₂ emission reduction targets were established, aiming to progressively minimize environmental impact. In this context, assuming a constant level of logistics activity, it was determined that the company could achieve overall emission reductions within an estimated range of 30% to 45% through the combined implementation of technological and operational improvements. To develop strategies that incorporate clean technologies and contribute to emission reduction, actions such as renewing the vehicle fleet with Euro VI or higher units, using biofuels, and the gradual adoption of vehicles powered by LNG, CNG, and, in the future, electric or green hydrogen technologies were considered. In addition, the design of a continuous monitoring system was proposed to assess CO₂ emission reductions and apply the necessary adjustments. This system, based on KPIs, represents a key element in ensuring the effectiveness of emission reduction strategies. Together with the use of digital management and data analysis tools, this system enables periodic evaluation of environmental performance, detection of deviations from established objectives, and the timely implementation of corrective measures.

Keywords: Sustainability, consumption, reduction, emission of CO_{2e}.

Resumen:

El objetivo general del presente estudio fue analizar la sostenibilidad con enfoque en la emisión de CO₂ de los vehículos de la empresa Luís Simões, durante el período comprendido entre los años 2023 y 2024. Este trabajo se apoya en la metodología investigación-acción, para el cual se realizó inicialmente un diagnóstico de la situación actual de emisiones de CO₂ mediante el uso de indicadores clave de desempeño (KPIs) que permitieron su cuantificación y monitoreo eficaz. Entre estos indicadores destacan las emisiones totales de CO_{2e}, la intensidad de emisiones por tonelada-kilómetro y el consumo específico de combustible.

Los resultados evidenciaron una intensidad media de emisiones de 0,000335 kg CO_{2e}/t·km, así como una marcada heterogeneidad entre los vehículos analizados. Posteriormente, se definieron metas de reducción de las emisiones de CO₂ con el propósito de minimizar progresivamente el impacto ambiental. En este sentido, considerando el mantenimiento constante del nivel de actividad logística, se concluyó que la empresa puede alcanzar reducciones globales de emisiones en un intervalo estimado entre el 30 % y el 45 %, mediante la aplicación combinada de mejoras tecnológicas y operativas.

Para la definición de estrategias que integren tecnologías limpias y contribuyan a la reducción de las emisiones, se consideraron acciones como la renovación de la flota vehicular con unidades Euro VI o superiores, el uso de biocombustibles y la incorporación gradual de vehículos impulsados por GNL, GNC y, en el futuro, tecnologías eléctricas o de hidrógeno verde.

Adicionalmente, se propuso el diseño de un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar la reducción de las emisiones de CO₂ y aplicar los ajustes necesarios. Este sistema, basado en KPIs, constituye un elemento fundamental para garantizar la eficacia de las estrategias de reducción de emisiones. Junto con el uso de herramientas digitales de gestión y análisis de datos, este sistema posibilita la evaluación periódica del desempeño ambiental, la detección de desviaciones respecto a los objetivos establecidos y la implementación oportuna de medidas correctivas.

Palabras clave: Sostenibilidad, consumo, reducción, emisión de CO₂

Índice general

Capítulo I – Introducción	13
1 Introducción	13
1.1 Presentación de la empresa Luís Simões y la actividad de transporte.....	13
1.2 Importancia de la sostenibilidad en el transporte de mercancías	18
1.3 Objetivos del proyecto	24
1.3.1 Objetivo general	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 Metodología	24
1.5 Estructura	25
Capítulo II – Análisis de la Situación actual	27
2 Análisis de la Situación Actual	27
2.1 Descripción de la flota de camiones de la empresa Luís Simões	27
2.2 Evaluación de la huella de carbono actual	28
2.3 Análisis contextual carros en duplas.....	38
Capítulo III – Estrategias de sostenibilidad	46
3 Estrategias de sostenibilidad	46
3.1 Implementación de vehículos más eficientes en el consumo de combustible	48
3.2 Uso de tecnología para la gestión de rutas y la optimización de cargas.....	50
3.2.1 Modelo matemático de optimización para la reducción de emisiones de CO2	51
3.2.2 Conjuntos e índices	52
3.2.3 Parámetros conocidos	53
3.2.4 Variables de decisión	53
3.2.5 Función objetivo	53
3.2.6 Restricciones del modelo	53

3.2.7	Parámetros usados en la prueba piloto	55
3.3	Uso de combustibles alternativos y energías limpias	66
3.4	Caso carro en duplas	68
Capítulo IV – Impacto Ambiental, Económico y Social		71
4.	Impacto Ambiental, Económico y Social	71
4.1	Impacto ambiental.....	72
4.2	Beneficios Económicos	73
4.2.1	Análisis de ahorros en combustible y mantenimiento	74
4.2.2	Ventajas competitivas y atracción de clientes sostenibles	74
4.2.3	Consideración de incentivos y subsidios disponibles	75
4.3	Impacto Social	76
4.3.1	Impacto en la comunidad y en las condiciones de trabajo de los conductores	77
4.3.2	Relaciones con proveedores y colaboradores	77
Capítulo V – Medición y Seguimiento.....		79
5	Medición y Seguimiento.....	79
5.1.	Establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs)	80
5.2.	Monitoreo constante de los progresos.....	81
5.3.	Ajustes y mejoras continuas	81
Capítulo VI – Conclusiones y recomendaciones		83
6	Conclusiones y Recomendaciones	83
6.1	Conclusiones	84
6.2	Recomendaciones	86
Referências bibliográficas.....		88
7	Anexos	92
Anexo A <i>Fichas técnicas vehículos</i>		92
Anexo B <i>Base de datos de parque vehicular</i>		94

Anexo C Datos del día 2 al 5	96
------------------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de los centros logísticos	15
Figura 2 Objetivos de Reducción de Emisiones de CO ₂ en UE	22
Figura 3 Niveles de concentración de emisiones de vehículos	29
Figura 4 Histograma de distribución de emisiones de CO ₂ e por vehículo	32
Figura 5 Relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) y la carga transportada	34
Figura 6 Relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO ₂ e) y el kilometraje recorrido	35
Figura 7 Ruta cliente Automotivo Inplas Valladolid	38
Figura 8 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Dueñas	39
Figura 9 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Sonae	40
Figura 10 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Ibersnacks	40
Figura 11 Relación entre las emisiones y los kilómetros recorridos en carros en duplas	42
Figura 12 Relación entre las emisiones y la carga transportada	44

Índice de Tabelas

Tabla 1 Características técnicas de la flota de camiones	27
Tabla 2 Información técnica de huella de carbono actual.....	31
Tabla 3 Rangos de emisión	31
Tabla 4 Vehículos críticos.....	33
Tabla 5 Cruce de vehículos críticos con la intensidad (kg CO ₂ e / t·km)	37
Tabla 6 Resultados de la huella de carbono de los vehículos asignados al servicio Automotivo Inplas (2023–2024).....	42
Tabla 7 Indicador cuantitativo de reducción potencial	49
Tabla 8 Indicador cuantitativo de reducción potencial	51
Tabla 9 Día 1. Vehículos en Portugal	55
Tabla 10 Día 1. Servicios en Portugal.....	55
Tabla 11 Día 1. Modelo Portugal	55
Tabla 12 Día 1. Vehículos en España	56
Tabla 13 Día 1. Servicios en España	57
Tabla 14 Día 1. Modelo España	57
Tabla 15 Consolidación de los resultados del modelo	58
Tabla 16 Resumen de los resultados del modelo de optimización por día y país	61
Tabla 17 Resumen de utilización y desempeño ambiental de los vehículos	63
Tabla 18 Indicador cuantitativo de reducción potencial	67
Tabla 19 Escenario técnicamente viable a corto–medio plazo:.....	67
Tabla 20 Comparativo aplicado a cada carro en duplas.....	69
Tabla 21 Indicadores de seguimiento	80
Tabla 22 Día 2. Vehículo Portugal	96
Tabla 23 Día 2. Servicios Portugal	96
Tabla 24 Día 2. Modelo Portugal	96
Tabla 25 Día 2. Vehículos España.....	97
Tabla 26 Día 2. Servicios España	97
Tabla 27 Día 2. Modelo España	98
Tabla 28 Día 3. Vehículos Portugal.....	98
Tabla 29 Día 3. Servicios Portugal	99
Tabla 30 Día 3. Modelo Portugal	99
Tabla 31 Día 3. Vehículos España.....	100

Tabla 32 Día 3. Servcios España	100
Tabla 33 Día 3. Modelo España	101
Tabla 34 Día 4. Vehículos Portugal.....	101
Tabla 35 Día 4. Servcios Portugal	102
Tabla 36 Día 4. Modelo Portugal	102
Tabla 37 Día 4. Vehículos España.....	103
Tabla 38 Día 4. Servcios España	103
Tabla 39 Día 4. Modelo España	103
Tabla 40 Día 5. Vehículos Portugal.....	104
Tabla 41 Día 5. Servicios Portugal	105
Tabla 42 Día 5. Modelo Portugal	105
Tabla 43 Día 5. Vehículos España.....	106
Tabla 44 Día 5. Servicios España	106
Tabla 45 Día 5. Modelo España	106

Introducción

1.1 Presentación de la empresa Luís Simões y la actividad de transporte

La empresa Luís Simões tuvo sus orígenes en actividades de comercialización y transporte de productos hortícolas desarrolladas por Fernando Luís Simões y Delfina Rosa Soares a mediados del siglo XX. A partir de 1948, con la adquisición del primer vehículo pesado, la organización inició formalmente sus operaciones en el sector del transporte terrestre. Durante las décadas siguientes, la compañía experimentó un proceso progresivo de expansión mediante la ampliación y modernización de su flota vehicular, diversificando además sus áreas de operación hacia el transporte de materiales de construcción y otros servicios logísticos.

Esta evolución permitió consolidar las bases de crecimiento de la empresa, fortaleciendo su capacidad operativa y posicionamiento dentro del sector de transporte y distribución. Entre sus principales clientes destacó Novobra, una empresa de construcción civil que tendría posteriormente una influencia clave en la evolución comercial de Luís Simões. Por exigencias legales, en 1968 se constituyó formalmente la empresa Transportes Luís Simões, Lda., dando estructura jurídica a un negocio que ya funcionaba con solidez. En 1973, Fernando y Delfina cedieron la gestión de la empresa a sus hijos Leonel, José Luís y Jorge.

Fue entonces cuando se definió un principio estratégico que marcaría la identidad del grupo: ante una demanda variable e impredecible, la clave no era poseer camiones, sino garantizar un servicio eficiente al cliente. Bajo esta filosofía, la empresa optó por subcontratar aproximadamente el 50 % de su flota, una estrategia que se mantiene hasta la actualidad. Durante los años sesenta, Portugal vivió el auge de las obras públicas impulsadas por el Estado Novo, junto con el desarrollo de la industria de alimentos compuestos para animales. En este contexto, Fernando Luís Simões se especializó en el transporte de cereales a granel y materiales de construcción, sin abandonar las actividades agrícolas ni el comercio minorista.

Tras la Revolución de Abril, la quiebra de su principal cliente que representaba cerca del 80 % de la facturación supuso un duro golpe. De esta experiencia, los socios extrajeron

su primera gran lección empresarial: no depender nunca de un único cliente. Durante esta década, la empresa realizó su primera experiencia de distribución a domicilio a nivel nacional con Tupperware. Asimismo, adquirió equipos para el transporte de cargas indivisibles e inició la prestación de servicios de transporte especial. En 1979 se dieron los primeros pasos hacia la informatización de la empresa. En 1981 se inauguró la primera filial en Oporto y, en 1982, se impartió la primera formación a conductores, centrada en la prevención y la seguridad vial.

En 1983, Portugal atravesó una profunda crisis económica que afectó gravemente al sector de la construcción, el cual representaba entonces cerca del 50 % del negocio. De este contexto adverso, los hermanos Simões obtuvieron su segunda gran lección: ningún sector de actividad debía superar el 20 % del volumen total de ventas.

La internacionalización hacia España marcó decisivamente la década de los ochenta. En 1985 se creó el departamento de transporte internacional, gestionado desde la sede de Loures, una apuesta estratégica que definiría el futuro de Luís Simões. Se establecieron por primera vez líneas estratégicas claras para la misión de la empresa, basadas en la segmentación de negocios y el liderazgo en el transporte de mercancías por carretera en Portugal, objetivos alcanzados en 1993.

Ese mismo año, Luís Simões constituyó una empresa bajo el derecho español con sede en Madrid y consolidó su presencia en el país mediante la apertura de delegaciones en Andalucía, Cataluña y Galicia. Anticipándose a las exigencias logísticas del mercado europeo, la empresa inició también su actividad logística en Portugal. A lo largo de los años noventa, los negocios se diversificaron hacia áreas como la gestión de flotas, la construcción de carrocías y la gestión inmobiliaria. Paralelamente, se logró la certificación de calidad conforme a la norma ISO 9002:1995 y se implantaron sistemas integrados de gestión de almacenes, transporte y distribución.

Coincidiendo con el 50.º aniversario de la empresa, se renovó la imagen institucional y se inauguró el centro de operaciones logísticas de Carregado, considerado en su momento una referencia en la Península Ibérica. Se creó la Red LS, un modelo de franquicia productiva destinado a profesionalizar el sector y garantizar niveles de servicio equivalentes a los de la flota propia. La innovación tecnológica continuó con la incorporación de informática embarcada, sistemas GPS, radiofrecuencia y lectura óptica por códigos de barras en los almacenes.

El portal LSnet se consolidó como una herramienta web avanzada para la gestión de las relaciones con clientes y proveedores. En 2008, Luís Simões se adhirió a la Carta Europea de Seguridad Vial, una iniciativa de la Comisión Europea orientada a reducir a la mitad las víctimas mortales en carretera.

Con motivo de su 60.º aniversario, se inauguró en Carregado un centro logístico de última generación, con almacenes automáticos que reforzaron la capacidad operativa y el carácter innovador de la empresa, acompañados de una actualización de la identidad corporativa. En la Figura 1, se presenta la distribución de los centros.

Figura 1 Distribución de los centros logísticos



En 2010 se implementó la plataforma E@sy7, un sistema de facturación electrónica que permitió a los transportistas subcontratados entregar la mercancía y recibir el pago en un plazo de siete días. A finales de ese año, la empresa llevó a cabo dos procesos de fusión que dieron lugar a Luís Simões Logística Integrada, S.A., en el área central del negocio, y a Reta Serviços Técnicos & Rent-a-Cargo, S.A., en las actividades complementarias.

Posteriormente, se incorporaron nuevos servicios, como la gestión de depósitos fiscales y la logística promocional. En 2011, la aplicación LS Mobile permitió ofrecer información en tiempo real a través de dispositivos móviles, optimizando la gestión de pedidos y el seguimiento de las entregas. Luís Simões orienta la gestión a partir de un sólido conjunto de valores y políticas que reflejan su misión y visión en un mercado dinámico y en constante evolución. Estos principios guían la toma de decisiones

estratégicas y operativas de la empresa, asegurando un crecimiento sostenible y responsable.

Misión

La misión de Luís Simões es garantizar soluciones eficientes y competitivas en los ámbitos del transporte, la logística y los servicios auxiliares, promoviendo la satisfacción de los clientes y contribuyendo positivamente a la sociedad desde una perspectiva económica, social y ambiental.

Visión

La empresa aspira a consolidarse como la referencia ibérica en calidad de servicio dentro del sector del transporte y la logística, destacándose por su excelencia operativa, innovación constante y compromiso con sus grupos de interés. Sobre la base de sus valores, Luís Simões asume una política corporativa que se traduce en compromisos claros y medibles. La empresa se compromete a cumplir rigurosamente con la legislación y las normativas vigentes, así como con otros requisitos voluntariamente asumidos, relacionados con el medio ambiente, la seguridad alimentaria, la seguridad y salud en el trabajo y su responsabilidad social.

Asimismo, promueve la sensibilización y participación activa de sus trabajadores en la implantación de la política corporativa, garantizando la comunicación transparente de los resultados a todas las partes interesadas. Para ello, impulsa el desarrollo continuo de las competencias y la motivación de sus colaboradores, alineándolos con los objetivos del negocio en materia de calidad, seguridad, higiene, salud laboral, medio ambiente y seguridad alimentaria, y proporciona los recursos necesarios para la mejora continua de sus procesos.

En el ámbito de la calidad y la seguridad alimentaria, Luís Simões prioriza la mejora continua de sus servicios y procesos, entendiendo la eficiencia y la eficacia como una ventaja competitiva y un valor añadido para el cliente. La empresa garantiza el cumplimiento de los requisitos de sus clientes, evalúa de forma permanente su nivel de satisfacción y gestiona sus expectativas, al tiempo que asegura la preservación de la calidad y la seguridad alimentaria en todas las operaciones, manteniendo una comunicación fluida con proveedores, trabajadores, clientes y autoridades competentes.

En materia de medio ambiente, la organización define e implementa medidas destinadas a minimizar los impactos ambientales derivados de su actividad. Estas acciones se alinean con objetivos y metas periódicamente revisados, basados en la identificación de los aspectos ambientales más significativos. Luís Simões trabaja de forma continua en la prevención de la contaminación, la reducción de residuos, la disminución de emisiones atmosféricas y del consumo energético, promoviendo el uso racional de los recursos naturales.

Respecto a la seguridad y salud en el trabajo, la empresa proporciona los recursos necesarios para la prevención de riesgos laborales y la mejora constante de las condiciones de trabajo. A través de acciones formativas y de concienciación, refuerza las competencias de sus trabajadores y protege su bienestar físico y mental mediante la vigilancia de la salud.

En el ámbito de la responsabilidad social, Luís Simões fomenta una relación transparente y ética con sus partes interesadas y con la sociedad en general. La empresa desarrolla iniciativas orientadas a la valorización personal, profesional y familiar de sus colaboradores, así como acciones de información, sensibilización y solidaridad dirigidas a entidades externas con las que interactúa.

Para cumplir con la misión y visión, Luís Simões promueve y comparte una serie de valores fundamentales. La orientación al cliente se traduce en la capacidad de responder a sus expectativas mediante servicios de valor añadido, soluciones flexibles, innovadoras y apoyadas en tecnología avanzada. El respeto por las personas se manifiesta en la formación continua de los colaboradores y en el desarrollo de competencias que permitan desempeñar las actividades con calidad y seguridad.

La sostenibilidad guía el crecimiento responsable de la organización, sustentado en una conducta ética y socialmente comprometida. La confianza y la lealtad rigen las relaciones internas y externas, promoviendo el respeto mutuo, la transparencia y la defensa de los valores corporativos por encima de los intereses individuales. La innovación impulsa la gestión basada en procesos estructurados y en sistemas tecnológicos modernos, generando ventajas competitivas en el mercado.

El compromiso con el medio ambiente se refleja en la adopción de buenas prácticas que reducen los impactos negativos de la actividad, mientras que la preocupación por la seguridad garantiza condiciones de trabajo seguras mediante acciones preventivas.

Finalmente, el valor del patrimonio se expresa en el cuidado de las instalaciones, los equipamientos y las marcas, dignificando los puestos de trabajo y reforzando el sentido de pertenencia de los colaboradores.

La dimensión de Luís Simões se refleja en sus principales indicadores operativos. La empresa cuenta con 2.431 colaboradores directos y dispone de 403.371 metros cuadrados de almacenes. La red logística está conformada por 23 centros de operaciones logísticas, 34 plataformas de *cross-docking*, 13 centros de *copacking* y 8 centros de operaciones de transporte.

En términos de actividad, gestiona mensualmente más de 7,8 millones de unidades de *picking* y más de 4,5 millones de unidades de *copacking*. Diariamente opera 1.744 rutas de reparto y transporta cerca de 8 millones de toneladas al año, recorriendo aproximadamente 101 millones de kilómetros. Todo ello se apoya en una flota gestionada de 1.712 vehículos, lo que consolida a Luís Simões como un referente ibérico en el sector del transporte y la logística.

1.2 Importancia de la sostenibilidad en el transporte de mercancías

La sostenibilidad en el transporte de mercancías constituye un elemento estratégico para el desarrollo económico, ambiental y social de las organizaciones y de los países. Este sector desempeña un papel fundamental en las cadenas de suministro y en el comercio internacional; sin embargo, también representa una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, consumo energético y contaminación atmosférica.

En este contexto, la incorporación de prácticas sostenibles permite reducir el impacto ambiental derivado de las operaciones logísticas, promoviendo un equilibrio entre eficiencia operativa y responsabilidad ecológica. Esto implica la implementación de estrategias orientadas a optimizar el consumo de combustible, disminuir las emisiones contaminantes y maximizar el aprovechamiento de la capacidad de carga de los vehículos, evitando recorridos innecesarios y reduciendo los costos asociados al transporte. Asimismo, la sostenibilidad impulsa la adopción de tecnologías más limpias, sistemas inteligentes de gestión de rutas y modelos de planificación logística que favorecen una utilización más eficiente de los recursos disponibles.

De igual manera, la integración de criterios sostenibles en el transporte de mercancías fortalece la capacidad de las empresas para adaptarse a las nuevas exigencias regulatorias y ambientales establecidas a nivel internacional, contribuyendo al cumplimiento de objetivos relacionados con la descarbonización y la transición hacia economías más verdes. En este sentido, la sostenibilidad deja de ser únicamente un enfoque ambiental para convertirse en un componente estratégico de competitividad, innovación y mejora continua dentro de las operaciones logísticas.

Además, la aplicación de prácticas sostenibles genera beneficios a largo plazo tanto para las organizaciones como para la sociedad, debido a que favorece la reducción de impactos negativos sobre los ecosistemas, mejora la calidad del aire y promueve una cultura empresarial basada en la responsabilidad social y ambiental. Por ello, la sostenibilidad en el transporte de mercancías representa una herramienta fundamental para alcanzar sistemas logísticos más eficientes, resilientes y compatibles con las necesidades actuales de desarrollo sostenible.

Desde la dimensión ambiental, la sostenibilidad en el transporte de mercancías contribuye a disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el consumo de combustibles fósiles y la generación de contaminantes que afectan la calidad del aire y aceleran el cambio climático. La implementación de tecnologías limpias, la optimización de rutas y cargas, así como el uso eficiente de los recursos energéticos, favorecen una movilidad más responsable y alineada con los objetivos globales de desarrollo sostenible.

En el ámbito económico, la adopción de estrategias sostenibles permite optimizar costos operativos mediante la reducción del consumo de combustible, el mejor aprovechamiento de la capacidad de carga y la disminución de recorridos innecesarios. Además, fortalece la competitividad empresarial, ya que las organizaciones que integran criterios ambientales en sus procesos logísticos mejoran su imagen corporativa, cumplen con regulaciones internacionales y responden a las crecientes exigencias del mercado y de los consumidores en materia de sostenibilidad.

Por otra parte, la sostenibilidad en el transporte de mercancías posee una dimensión social relevante, debido a que contribuye a mejorar la calidad de vida de la población mediante la reducción de la contaminación acústica y atmosférica, así como la promoción de condiciones más seguras y eficientes en las operaciones de transporte. Asimismo,

fomenta una cultura organizacional orientada hacia la responsabilidad social y ambiental, impulsando prácticas empresariales más éticas y sostenibles.

En Europa, la sostenibilidad en el transporte de mercancías se ha convertido en una prioridad estratégica dentro de las políticas de movilidad, logística y transición ecológica. La Unión Europea ha impulsado múltiples iniciativas orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector transporte, debido a que este representa una parte significativa de las emisiones totales de CO₂ del continente. En este contexto, los países europeos han desarrollado normativas, programas e inversiones enfocadas en promover sistemas logísticos más eficientes, sostenibles y tecnológicamente avanzados.

Uno de los principales enfoques en Europa ha sido la descarbonización del transporte de mercancías mediante la incorporación de vehículos con menores emisiones, el uso de combustibles alternativos y la transición hacia tecnologías limpias, como camiones eléctricos, híbridos y de hidrógeno. Asimismo, se han fortalecido políticas relacionadas con la eficiencia energética, incentivando la renovación de flotas y el desarrollo de infraestructuras sostenibles que permitan reducir el impacto ambiental de las operaciones logísticas.

De igual forma, la optimización de rutas y cargas constituye un aspecto fundamental dentro de la sostenibilidad logística europea. Muchas empresas han incorporado sistemas inteligentes de transporte, herramientas de análisis de datos y modelos matemáticos de optimización para minimizar recorridos innecesarios, reducir tiempos de entrega y disminuir el consumo de combustible. Estas estrategias no solo contribuyen a la reducción de emisiones contaminantes, sino que también generan importantes beneficios económicos asociados a la eficiencia operativa.

Europa también ha promovido el transporte intermodal como una alternativa sostenible, fomentando la combinación del transporte terrestre con el ferroviario y marítimo para disminuir la dependencia del transporte exclusivamente por carretera. Este enfoque busca reducir la congestión vial, optimizar los costos logísticos y disminuir considerablemente la huella de carbono del transporte de mercancías.

Además, la sostenibilidad en el transporte europeo está estrechamente vinculada con los objetivos del Pacto Verde Europeo (European Green Deal), cuyo propósito es alcanzar la neutralidad climática para el año 2050. En consecuencia, las empresas del sector logístico

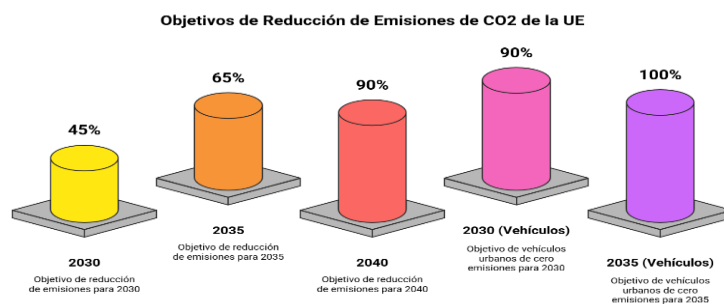
se encuentran cada vez más comprometidas con la medición y monitoreo de emisiones, la aplicación de indicadores ambientales y la implementación de estrategias de economía circular y responsabilidad corporativa.

En términos empresariales, las organizaciones europeas consideran la sostenibilidad un factor de competitividad y diferenciación en el mercado. Las compañías que integran prácticas sostenibles en sus procesos logísticos mejoran su reputación corporativa, cumplen con regulaciones ambientales más estrictas y responden a la creciente demanda de consumidores y socios comerciales que valoran cadenas de suministro responsables y ambientalmente sostenibles. Por lo tanto, Europa se posiciona como una de las regiones líderes en la transformación sostenible del transporte de mercancías, promoviendo un modelo logístico basado en la innovación tecnológica, la eficiencia operativa y la reducción progresiva del impacto ambiental.

La actividad operativa relacionada con el transporte fronterizo que desarrolla la empresa Luís Simões entre Portugal y España representa una conexión básica en la dinámica económica de la región, sin embargo, corresponde a una de los principales orígenes en la emisión de CO₂, en el transporte terrestre en la Unión Europea (UE) (Osorio Iriarte, 2022). Ante este contexto la perspectiva de la sostenibilidad trasciende de una condición ética a transformarse en un factor estratégico por regulaciones claras.

Ya que desde 2019, la UE ha establecido para vehículos pesados los primeros parámetros referentes a la emisión de CO₂: *heavy-duty vehicles* (HDVs) las cuales, fueron establecidas para camiones rígidos y tractores con capacidad mayor a 16 toneladas, con el objetivo de reducir el 15% de las emisiones generadas en el 2025, además de un 30% para el 2030, en relación con el período anterior 2019 al 2020 (Herrera Sanz, 2024). Seguidamente, y siendo parte del compendio legislativo *Fit for 55* (CE, Objetivo 55, 2021), fue aprobada una reforma normativa a partir de junio 2024, la cual, genera un alcance mayor en relación a los tipos de vehículos: camiones medianos, autobuses urbanos, autocares, remolques y vehículos profesionales y actualiza los objetivos a más largo plazo, presente en la Figura 2.

Figura 2 Objetivos de Reducción de Emisiones de CO₂ en UE



Fuente: (CE, Objetivo 55, 2021)

Esta estructura representa el compromiso asumido por la Unión Europea hacia la descarbonización progresiva del transporte terrestre, mediante la integración de tecnologías limpias y eficientes, a fin de promover alternativas de bajas o cero emisiones, como los vehículos eléctricos, el uso de hidrógeno verde, biocombustibles avanzados y sistemas logísticos optimizados orientados a la reducción del impacto ambiental en el transporte de mercancías.

Para fomentar la adopción de tecnologías bajas y cero emisiones, *Zero Emission Vehicles* (ZEV) y *Low Emission Vehicles* (LEV), las cuales son respuestas para solventar requerimientos de la movilidad con el enfoque hacia minimizar el impacto ambiental, considerando: vehículos eléctricos, híbridos y sistemas alternativos de propulsión, que tienen como valor agregado la mitigación de gases de efecto invernadero (Hernández et al. 2023).

Dentro de las acciones de apoyo se encuentran super créditos para que los fabricantes compensen de manera proporcional los resultados de emisiones con unidades vehiculares con alta eficiencia hasta el 2024 (Priego Adriano, 2022). A partir de 2025, será considerada una estructura de créditos basada en un *benchmark* del 2 %; de igual forma, serán consideradas acciones de *banking and borrowing*; de esta manera, se facilita equilibrio de los excedentes y déficits de acatamiento entre varios años. Los fabricantes que incumplen los estándares deben pagar multas de € 4.250,00 por cada gramo de CO₂ por tonelada-kilómetro (gCO₂/t.km) por encima del límite permitido (City, 2024).

La herramienta *Vehicle Energy Consumption Calculation Tool* (VECTO), es un *software* de simulación que fue desarrollada por la UE, que facilita el cálculo estandarizado de las emisiones y consumo de combustible. El uso de este se encuentra regulado por la norma

y garantiza que las emisiones sean consistentes y puedan ser comparadas entre los fabricantes (CE, 2024). Para una empresa de transporte como LS, con eje operativo en Portugal y España, la sostenibilidad representa un elemento estratégico en la dinámica empresarial. Inicialmente, el cumplimiento de la norma y la reducción de riesgos representan prioridad.

Por otra parte, considerar la norma ambiental en relación a las emisiones, además de los niveles de eficiencia y movilidad sostenible, protege a las organizaciones a ser punto de sanción económica o restricciones operativas y optimiza la planificación a largo plazo de las inversiones para flotas más limpias y modernas, garantizando la permanencia del negocio en el entorno regulatorio que se transforma de manera sistemática elevando los niveles de exigencia, que inclinan las acciones hacia la incorporación de un transporte con menor impacto ambiental.

De igual forma, la sostenibilidad representa una oportunidad para reducir los costos operativos, ya que integrar vehículos con tecnologías más eficientes, híbridas o de cero emisiones, reducen directa y significativamente el consumo de combustible, siendo este un factor medular en un mercado donde el precio fluctúa sistemáticamente hacia el alza. Es importante destacar que las acciones de transición hacia este tipo de tecnologías se encuentran respaldadas por apoyo, además de incentivos públicos para, de esta forma, mitigar el peso financiero de la inversión inicial, generando ahorros a medio y largo plazo.

Cuando una organización se orienta hacia la sostenibilidad, la imagen corporativa se fortalece abriendo nuevas puertas al mercado. En el mercado se presenta la preferencia de los clientes por trabajar con socios estratégicos que tengan el compromiso ambiental materializado. Por otra parte, se están registrando parámetros en licitaciones y programas de financiación en los que estén presentes los criterios de sostenibilidad para que sean aceptados en la participación. De esta manera se evidencia que la empresa fortalece la reputación institucional, además de aumentar las oportunidades de negocio, pues al homologarse con los valores de responsabilidad social y ambiental, forma parte de la consideración de la demanda existente.

Por último, al integrar prácticas sostenibles se promueve la innovación tecnológica, además de presentar una ventaja competitiva ante la competencia. Al considerar acciones en tendencia: electrificación de flotas, uso de hidrógeno o implementación de tecnologías digitales para que las rutas tengan una gestión eficiente, la empresa Luís Simões tiene una

posición de liderazgo frente a la competencia. Por lo tanto, desde esta perspectiva proactiva se cumple con la norma y la demanda de un transporte más responsable, que marque la diferencia estratégica donde la empresa se consolida como un punto focal en el sector logístico de la región. Ya que la sostenibilidad no solo es un requisito, pues trasciende hacia una oportunidad de crecimiento, innovación y fortalecimiento de la competitividad empresarial.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general del proyecto es analizar la sostenibilidad enfocada en las emisiones de CO₂ de los vehículos de la empresa Luís Simões entre el año 2023 y 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

Para materializar el objetivo general, inicialmente se diagnostica la situación actual de las emisiones de CO₂ mediante indicadores clave de desempeño (KPIs), que permitan establecer una cuantificación y monitoreo efectivo de las emisiones generadas. Seguidamente, se busca determinar metas de reducción de emisiones de CO₂, orientadas a minimizar progresivamente el impacto ambiental derivado de las operaciones de transporte.

Posteriormente, se pretende generar estrategias que contemplen la incorporación de tecnologías limpias y prácticas sostenibles que contribuyan a la reducción de emisiones contaminantes. Finalmente, se diseñará un sistema de monitoreo continuo que permita evaluar el cumplimiento de los objetivos de reducción de CO₂, facilitando la aplicación de ajustes y mejoras permanentes en el desempeño ambiental de la empresa.

1.4 Metodología

La presente investigación se desarrollará bajo el enfoque metodológico de investigación-acción, conocido también como *action-research*, debido a que el estudio se ejecuta directamente dentro de la empresa Luís Simões y contempla la participación activa en el análisis, evaluación y propuesta de mejoras orientadas a la sostenibilidad del sistema de transporte. Este enfoque metodológico permite integrar el estudio científico con la resolución práctica de problemáticas operativas reales, facilitando la generación de estrategias aplicables al contexto empresarial.

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo, sustentado en el análisis de datos operativos relacionados con el consumo de combustible, kilometraje recorrido, carga transportada y emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) de la flota vehicular. La información será recopilada a partir de registros internos de la empresa correspondientes a los años 2023 y 2024, incluyendo fichas técnicas de los vehículos, reportes de consumo de combustible, rutas operativas y datos logísticos asociados al transporte internacional entre Portugal y España.

Para el análisis de la información se emplearán indicadores clave de desempeño (KPIs), enfocados principalmente en la evaluación de la huella de carbono, intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_2\text{e/t}\cdot\text{km}$), consumo específico de combustible y eficiencia operativa del sistema de transporte. Asimismo, se utilizarán lineamientos metodológicos del *GHG Protocol*, factores de emisión establecidos por el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) y referencias técnicas de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), garantizando coherencia metodológica y alineación con estándares internacionales aplicables al cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.

De manera complementaria, se desarrollará un modelo de programación lineal orientado a la optimización de rutas y asignación de cargas, con el propósito de minimizar el consumo de combustible y las emisiones de CO_2 asociadas a las operaciones logísticas. Este modelo considerará restricciones operativas relacionadas con disponibilidad vehicular, capacidad de carga, distancias recorridas y requerimientos de servicio, permitiendo identificar configuraciones operativas más eficientes desde la perspectiva ambiental y logística.

1.5 Estructura

La presente investigación se encuentra estructurada en varios capítulos que permiten desarrollar de manera progresiva el análisis de la sostenibilidad y las emisiones de CO_2 en las operaciones de transporte de la empresa Luís Simões. En el primer capítulo se presenta la introducción general de la investigación, incluyendo la descripción de la empresa, la importancia de la sostenibilidad en el transporte de mercancías, el planteamiento de los objetivos y la metodología aplicada en el estudio.

El segundo capítulo desarrolla el análisis de la situación actual del sistema de transporte, considerando la caracterización técnica de la flota vehicular, la evaluación de la huella de carbono y el análisis de la intensidad de emisiones generadas por las operaciones

logísticas. Asimismo, se identifican los principales focos de ineficiencia ambiental y operativa dentro del sistema analizado.

En el tercer capítulo se presentan las estrategias de sostenibilidad propuestas para la reducción de emisiones de CO₂, enfocadas en la optimización operativa, incorporación de tecnologías más eficientes, gestión inteligente de rutas y mejora en la utilización de la capacidad de carga. Dentro de las que destaca el desarrollo del modelo de programación lineal aplicado a la optimización de las operaciones de transporte.

En el cuarto capítulo, se presenta el impacto ambiental de la reducción de las emisiones de carbono; en el capítulo cinco se presentan los beneficios económicos, realizando un análisis de ahorro en combustible y mantenimiento, las ventajas competitivas y la atracción de clientes, la igual que incentivos y subsidios disponibles.

En el capítulo seis, se presenta la afectación a nivel social, considerando el impacto en la comunidad y en las condiciones de trabajo de los conductores y las relaciones tanto con los proveedores como los colaboradores. El capítulo siete considera la medición y seguimiento con el apoyo de indicadores clave de desempeño, monitoreo constante de los procesos y los respectivos ajustes y mejoras continuas. Finalmente, la investigación termina con la presentación de las conclusiones y recomendaciones, donde se sintetizan los principales hallazgos del estudio y se proponen líneas de mejora orientadas al fortalecimiento de la sostenibilidad en el transporte terrestre de mercancías.

Análisis de la Situación Actual

El desarrollo de este capítulo se orienta al análisis del contexto que en la actualidad se presenta en el sistema de transporte de la empresa Luís Simões, partiendo desde la caracterización de la flota de camiones y la debida evaluación de la huella de carbono relacionada con las operaciones que ejecutan. Inicialmente, se presenta la forma en que se encuentra constituida, así como los principales aspectos técnicos de la flota, como tipo de vehículos, capacidad de carga, kilometraje recorrido y el nivel tecnológico de las unidades.

Seguidamente, se desarrolla el estudio de las emisiones de dióxido de carbono equivalente que son realizadas por la gestión del transporte (CO_{2e}), sustentado en los parámetros metodológicos presentes en el GHG *Protocol* para las emisiones de alcance 1, al igual que los factores de emisión que son recomendados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, Informe de Evaluación, 1990) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2016). De esta manera se presentan lineamientos con base ambiental que son altamente confiables en la identificación de patrones en el consumo de combustible al igual que, el nivel de intensidad de las emisiones (kg CO_{2e}/t·km). De esta forma se identifican las oportunidades de mejora con el enfoque hacia la eficacia energética, para de esta manera minimizar progresivamente la afectación ambiental del transporte.

2.1 Descripción de la flota de camiones de la empresa Luís Simões

La empresa Luís Simões tiene una flota de 1.712, de los cuales serán analizados 79 vehículos. De estos, 45% son del año 2023 y el restante del 2024; el consolidado de estas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Características técnicas de la flota de camiones

Variable clave	MAN TGX 18.480 2023 - 2024
Motor	MAN D2676LFAY
Cilindrada	12,4 L
Potencia	480 CV

Variable clave	MAN TGX 18.480 2023 - 2024
Par máximo	2.450 Nm
Norma emisiones	Euro VIe
Transmisión	TipMatic 12 vel.
Consumo carga completa	28–32 L/100 km
Consumo semirremolque vacío	26–29 L/100 km
Combustible	Diésel + AdBlue
Uso típico	España–Portugal

Fuente: Ficha técnica de los vehículos

Es importante destacar que se presenta de manera detallada el perfil de los vehículos según el año y, como se puede observar, mantienen las mismas características, sin embargo, para consultar mayor detalle se encuentra la información en el Anexo A.

2.2 Evaluación de la huella de carbono actual

La evaluación de la huella de carbono constituye una herramienta fundamental para determinar el impacto ambiental generado por las operaciones de transporte de mercancías (Torres Rojas, 2023), en este caso las desarrolladas por la empresa Luís Simões. A través de este análisis es posible cuantificar las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) asociadas al consumo de combustible de la flota vehicular, permitiendo identificar el nivel de contribución de las actividades logísticas al cambio climático y establecer una línea base para futuros procesos de mejora ambiental (Zevillanos Zea, 2023).

En el contexto actual de creciente exigencia normativa y de los compromisos europeos orientados a la descarbonización del transporte terrestre, resulta indispensable conocer el comportamiento real de las emisiones generadas por las unidades de transporte (Pérez Martínez Fresno, 2025). Esta evaluación no solo facilita el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad corporativa, sino que también proporciona información relevante para la toma de decisiones relacionadas con la eficiencia energética, la optimización operativa y la reducción progresiva del impacto ambiental (Coelho y Coelho, 2025).

Por ello, en el presente apartado se analiza la huella de carbono de la flota objeto de estudio mediante la cuantificación de las emisiones de CO_{2e} derivadas del consumo de

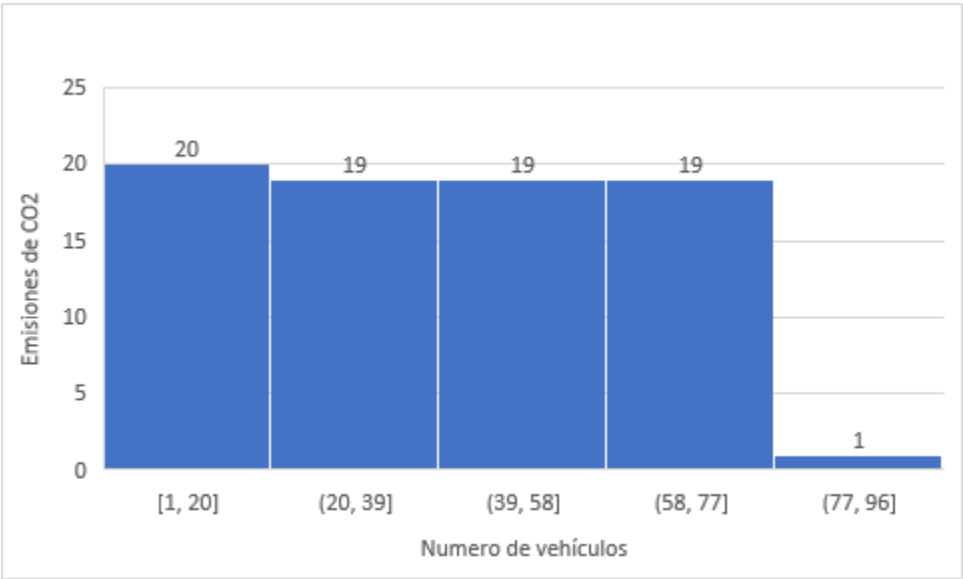
combustible y del kilometraje recorrido durante el período 2023–2024. Para ello, se aplican factores de emisión reconocidos internacionalmente y se utilizan indicadores estadísticos y ambientales que permiten caracterizar el comportamiento de las emisiones, identificar vehículos con desempeño crítico y establecer las bases para el diseño de estrategias de sostenibilidad orientadas a la reducción de emisiones en las operaciones de transporte de la empresa.

El compendio de datos resultante en la empresa Luís Simões corresponde a 79 registros individuales de emisiones de CO₂e, los cuales corresponden a las actividades operacionales del transporte pesado por carretera. Es importante señalar que las emisiones fueron calculadas según el consumo específico de cada vehículo y el correspondiente kilometraje recorrido, presentados en el Anexo B, empleando factores de emisión estandarizados, con la siguiente fórmula (IPCC, 1990).

$$\text{Emisiones totales (kg CO}_2\text{e)} = \text{Consumo de combustible (litros o m}^3\text{)} * \text{Factor de emisión (kg CO}_2\text{e/litro o m}^3\text{)}$$

Esta fórmula está sustentada en los parámetros establecidos en el *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, (1990), los cuales están homologados para Europa mediante la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y el manual EMEP/EEA para inventarios de emisiones (EEA, 2016), específicamente para el diésel o gasóleo. Y es desde esta óptica donde se garantiza la coherencia metodológica por los estándares utilizados en la UE para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. En la Figura 3, se presentan los niveles de concentración de los vehículos en relación con las emisiones generadas.

Figura 3 Niveles de concentración de emisiones de vehículos



La distribución de las emisiones presentada en la tabla 3 muestra una concentración importante de vehículos en los rangos intermedios, particularmente entre aproximadamente 40.000 y 80.000 kg CO_{2e}. Este comportamiento evidencia una relativa homogeneidad en las emisiones absolutas de gran parte de la flota durante el período analizado. Asimismo, se observa un grupo reducido de vehículos con emisiones totales superiores, alcanzando valores cercanos a 176.000 kg CO_{2e}.

Sin embargo, estos valores deben interpretarse conjuntamente con variables operativas como la distancia recorrida y la carga transportada, ya que emisiones absolutas elevadas no implican necesariamente un desempeño ambiental ineficiente. En algunos casos, las mayores emisiones están asociadas a operaciones de mayor intensidad logística, caracterizadas por recorridos extensivos y elevados volúmenes de carga transportada. Por ello, la evaluación posterior mediante indicadores relativos de intensidad de emisiones (kg CO_{2e}/t·km) permite una comparación más adecuada del desempeño ambiental entre vehículos.

La presencia de estos valores extremos genera una distribución asimétrica positiva, es decir, una concentración de datos en niveles medios y una prolongación hacia la derecha producto de emisiones más elevadas. Este comportamiento estadístico coincide con los resultados descriptivos previamente calculados, donde la media de 76.186,91 kg CO_{2e} es superior a la mediana de 64.674,06 kg CO_{2e}, lo que confirma la influencia de un grupo reducido de vehículos con emisiones absolutas elevadas.

El histograma presentado en la Figura 3 también permite evidenciar la heterogeneidad operativa del sistema de transporte, asociada a diferencias en kilometraje recorrido, intensidad de uso, carga transportada y eficiencia operativa de los vehículos. Desde la perspectiva ambiental, el gráfico permite identificar tendencias generales en el comportamiento de las emisiones; sin embargo, las emisiones absolutas por sí solas no permiten determinar el nivel real de eficiencia ambiental de cada unidad, debido a que algunas pueden presentar valores elevados asociados a mayores niveles de carga transportada y recorridos extensivos.

Por ello, los vehículos que combinan elevadas emisiones con una baja eficiencia relativa constituyen los principales focos de mejora dentro de la estrategia de sostenibilidad. Finalmente, el análisis gráfico complementa el estudio estadístico desarrollado en este

capítulo, proporcionando una representación visual de la dispersión de las emisiones y sirviendo como base para el análisis posterior mediante indicadores relativos de intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_{2e}/\text{t}\cdot\text{km}$), los cuales permiten evaluar comparativamente el desempeño ambiental de los vehículos analizados; por otra parte en la Tabla 2, se presenta la información consolidada.

Tabla 2 Información técnica de huella de carbono actual

Indicador estadístico	Valor
Número de registros (n)	79
Emisión mínima (kg CO_{2e})	7.751,33
Emisión máxima (kg CO_{2e})	176.174,54
Rango (kg CO_{2e})	168.423,21
Emisión media (kg CO_{2e})	76.186,91
Emisión mediana (kg CO_{2e})	64.674,06
Desviación estándar (kg CO_{2e})	41.448,87

La información presentada muestra que las emisiones registradas oscilaron entre 7.751,33 y 176.174,54 kg CO_{2e} , sin embargo, estos valores absolutos deben interpretarse considerando variables operativas como la distancia recorrida, la carga transportada y la intensidad de uso de cada vehículo, debido a que mayores emisiones no implican necesariamente un menor desempeño ambiental.

La media de emisiones fue de 76.186,91 kg CO_{2e} , mientras que la mediana correspondió a 64.674,06 kg CO_{2e} , lo que evidencia una distribución asimétrica positiva influenciada por un grupo reducido de vehículos con emisiones considerablemente superiores al comportamiento central de la muestra. Por otra parte, la desviación estándar de 41.448,87 kg CO_{2e} ratifica la heterogeneidad existente en el parque vehicular, asociada a diferencias en kilometraje recorrido, niveles de carga y condiciones operativas de las unidades analizadas. A razón de facilitar la interpretación de las emisiones fueron agrupadas en rangos operativos, identificando los patrones de desempeño y niveles de impacto ambiental. La Tabla 3, presenta los rangos de emisión.

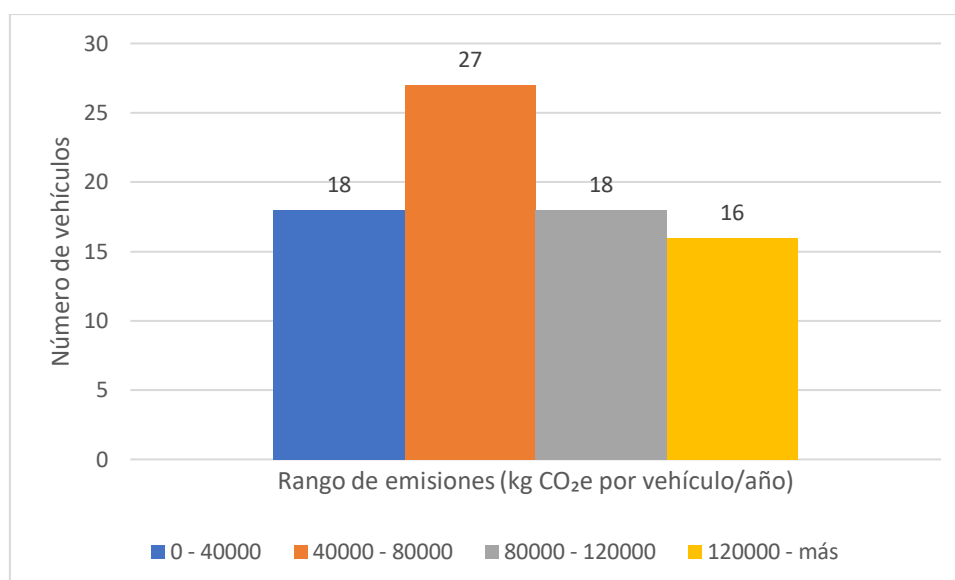
Tabla 3 Rangos de emisión

Rango (kg CO_{2e})	N.º de vehículos	Interpretación
< 40.000	18	Vehículos con bajo uso o trayectos cortos
40.000 – 80.000	27	Operación estándar

Rango (kg CO _{2e})	N.º de vehículos	Interpretación
80.000 – 120.000	18	Uso intensivo
> 120.000	16	Operación muy intensiva / críticos
Total	79	

La mayor concentración está entre los 40.000 y 80.000 kg CO_{2e}, demostrando un comportamiento homogéneo en la mayoría de las unidades analizadas. Sin embargo, el 20% del parque vehicular presenta emisiones que están por encima de los 120.000 kg CO_{2e}, como se observa en la Figura 4.

Figura 4 Histograma de distribución de emisiones de CO_{2e} por vehículo



Por esta razón fue necesario profundizar el análisis y determinar los vehículos críticos, los cuales están presentes en la Tabla 4. Partiendo del criterio de que esta calificación se otorga a los vehículos que están por encima del comportamiento central del grupo.

Tabla 4 Vehículos críticos

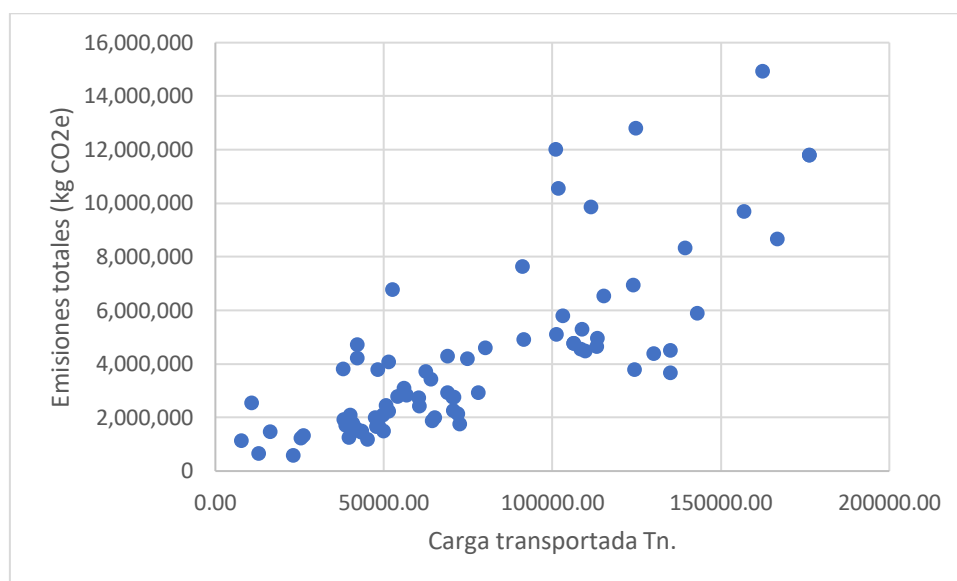
Emisión (kg CO_{2e})	N.º de dato (vehículo)	Observación
176.174,54	42 y 45	Valor máximo, aparece dos veces
166.632,62	12	Muy alto
162.427,81	40	Muy alto
156.915,50	23	Muy alto
142.879,42	44	Alto
135.079,03	47	Alto
135.030,84	43	Alto
130.061,56	48	Alto
124.686,98	36	Límite superior
124.372,58	49	Límite superior

Se puede observar que existe una concentración de los valores máximos de emisiones de CO_{2e} en un grupo reducido de vehículos: los registros n.º 12, 23, 36, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 48 y 49. Estos vehículos, corresponden a los principales focos de emisión del sistema analizado, por lo tanto, son la prioridad en la aplicación de parámetros de mejora operativa y minimizar las emisiones.

Con el propósito de profundizar en el análisis del comportamiento ambiental de la flota vehicular, resulta necesario evaluar la relación existente entre las emisiones de CO_{2e}, la carga transportada y la distancia recorrida. En este sentido, los diagramas de dispersión o *scatterplots* permiten identificar patrones de comportamiento, niveles de correlación y posibles valores atípicos entre las variables operativas del sistema de transporte.

Asimismo, este análisis gráfico facilita la comprensión de las diferencias en eficiencia entre los vehículos evaluados, constituyendo una base técnica para la posterior construcción e interpretación del indicador de intensidad de emisiones expresado en kg CO_{2e} por tonelada-kilómetro (kg CO_{2e}/t·km). En la Figura 5, se presenta la relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) y la carga transportada.

Figura 5 Relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) y la carga transportada



A partir del diagrama de dispersión en la Figura 5, se evidencia una tendencia general positiva, donde el incremento de la carga transportada se relaciona con un aumento de las emisiones totales de CO_{2e}, debido a la mayor demanda energética requerida para el desplazamiento de mercancías.

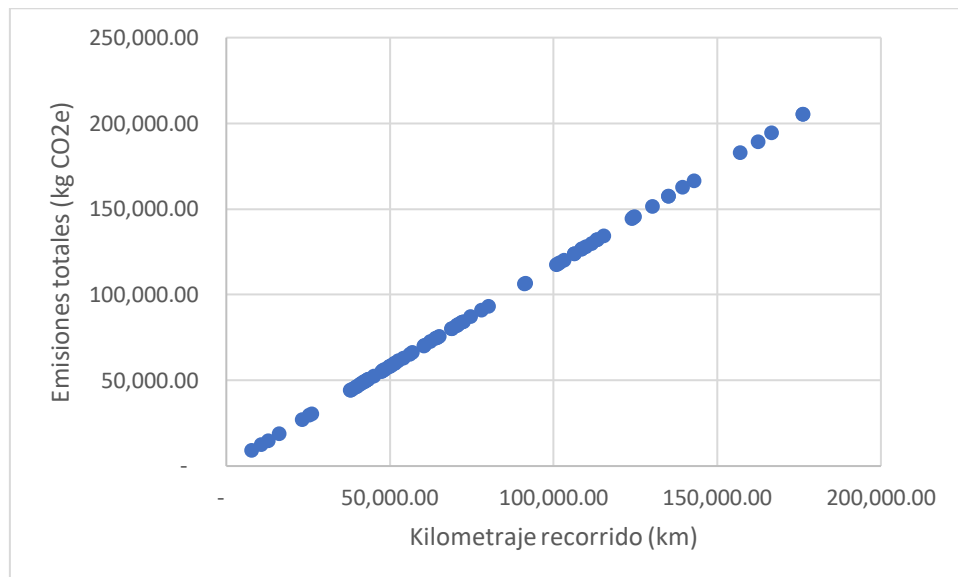
No obstante, la distribución de los datos demuestra que dicha relación no es completamente proporcional, ya que existen vehículos que presentan emisiones significativamente elevadas aun transportando niveles de carga similares a otras unidades con menor impacto ambiental. Este comportamiento evidencia diferencias en la eficiencia operativa de la flota, asociadas a factores como el consumo específico de combustible, antigüedad de los vehículos, condiciones operativas, planificación logística y kilómetros recorridos en vacío.

Asimismo, el gráfico permite identificar valores atípicos u *outliers*, correspondientes a unidades que generan emisiones considerablemente superiores respecto al resto de la muestra. Estos casos representan focos críticos de ineficiencia ambiental y constituyen una referencia relevante para la implementación de estrategias de optimización operativa y renovación tecnológica.

En este sentido, el análisis de la relación entre emisiones y carga transportada demuestra que las emisiones absolutas no son suficientes para evaluar el desempeño ambiental del sistema de transporte, razón por la cual resulta necesario incorporar indicadores relativos de eficiencia, como la intensidad de emisiones expresada en kg CO_{2e} por tonelada-

kilómetro ($\text{kg CO}_2\text{e/t}\cdot\text{km}$), permitiendo una evaluación más precisa y comparable entre las distintas unidades vehiculares. Seguidamente, en la Figura 6, se presenta la relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente CO_2 y el kilometraje recorrido.

Figura 6 Relación entre las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) y el kilometraje recorrido



La Figura 6, permite evaluar el impacto que tiene la intensidad operativa sobre el comportamiento ambiental de la flota. Se observa una tendencia positiva entre ambas variables, evidenciando que, conforme a lo esperado, a medida que aumenta la distancia recorrida, también se incrementan las emisiones generadas por las unidades de transporte.

Este comportamiento responde a la relación matemática directa entre el kilometraje recorrido y las emisiones de CO_2e , dado que estas han sido estimadas a partir de un factor de emisión constante aplicado al consumo de combustible. En este sentido, la tendencia lineal observada es esperada y refleja una proporcionalidad directa entre las variables, más que una variabilidad empírica en el desempeño de los vehículos.

Por lo tanto, la ausencia de dispersión en los datos se debe a la metodología de cálculo utilizada, en la cual el consumo por kilómetro se asume constante para toda la flota. Esto implica que el gráfico no permite identificar diferencias reales en eficiencia operativa entre unidades, ya que dichas diferencias no están incorporadas en el modelo de estimación. En consecuencia, la interpretación del comportamiento ambiental de la flota debe complementarse con indicadores adicionales que incorporen variabilidad real en el consumo o en la carga transportada.

Adicionalmente, el cálculo de la intensidad de las emisiones fue desarrollado en base a la fórmula aplicada en el GHG *Protocol* y estándares similares como los de la EE, en la determinación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la cual, es:

$$Intensidad_i = \frac{Emisiones_i (kg CO_2e)}{Toneladas_i \times Kilómetros_i}$$

$$Intensidad_i = 0,000335 \text{ kg } CO_2e/t.km$$

El resultado generado está en el rango esperado para transporte pesado eficiente de larga distancia en Europa, siendo en este caso los rangos que le acompañan:

Mínimo: $5,7 \times 10^{-5} \text{ kg } CO_2e/t.km$

Máximo: $145,3 \times 10^{-5} \text{ kg } CO_2e/t.km$

Seguidamente se presenta el Rango, el cual, permite medir la amplitud total de la variación.

$$Rango = 0,0011453 - 0,000057$$

$$Rango = 0,001396 \text{ kg } CO_2e/t.km$$

Este resultado demuestra que existe una marcada diferencia entre el vehículo más eficiente y el menos eficiente, lo cual apoya el desarrollo de un análisis más detallado. Seguidamente al calcular la media se presenta el siguiente resultado:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Intensidad_i$$

$$\bar{x} = 0,000335 \text{ kg } CO_2e/t.km$$

Y al desarrollar el cálculo de la desviación estándar muestral se puede observar:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

s = desviación estándar muestral

x_i = cada dato individual (por ejemplo, cada emisión t·km)

$\bar{x}$ = media de la muestra

n = número total de datos

$n - 1$ = corrección de Bessel (para muestras)

A partir de los datos individuales de cada unidad vehicular, se calcularon las medidas de dispersión de la intensidad de emisiones (kg CO_{2e}/t·km), incluyendo el valor mínimo, máximo, rango y la desviación estándar muestral. Esta última fue estimada aplicando la fórmula correspondiente con corrección de Bessel ($n-1$), considerando el carácter muestral del conjunto de datos. Estos estadísticos permitieron evaluar la variabilidad del desempeño ambiental de la flota, así como identificar posibles diferencias entre unidades en términos de eficiencia operativa. En este sentido, la Tabla 5 presenta el cruce entre los vehículos con mayor criticidad y sus correspondientes niveles de intensidad de emisiones, facilitando el análisis comparativo del comportamiento ambiental.

Tabla 5 Cruce de vehículos críticos con la intensidad (kg CO_{2e} / t·km)

Vehículo (N.º dato)	Emisiones (kg CO_{2e})	Carga (t)	Km	Intensidad (kg CO_{2e}/t·km)	Diagnóstico
12	166.632,62	8.661,49	194.301,1	0,000099	Intensivo por uso
23	156.915,50	9.702,97	182.970,5	0,000088	Intensivo por uso
36	124.686,98	12.798,57	145.390,6	0,000067	Muy eficiente
40	162.427,81	14.934,76	189.398,1	0,000057	Muy eficiente
42	176.174,54	11.797,48	205.427,4	0,000073	Eficiente
45	176.174,54	11.797,48	205.427,4	0,000073	Eficiente
43	135.030,84	3.662,97	157.452,0	0,000234	Ineficiente
44	142.879,42	5.904,35	166.603,8	0,000145	Ineficiente
47	135.079,03	4.500,25	157.508,2	0,000191	Ineficiente
48	130.061,56	4.396,74	151.657,6	0,000195	Ineficiente
49	124.372,58	3.792,82	145.024,0	0,000226	Ineficiente

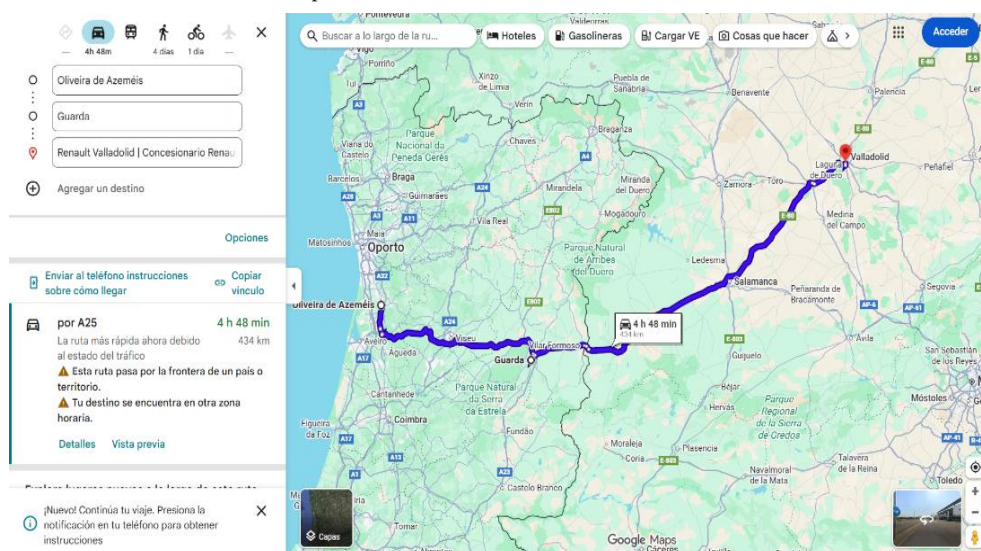
Al presentar el cruce entre las emisiones absolutas y la intensidad de emisiones kg CO_{2e}/t·km, se evidenció una clara diferenciación entre los vehículos con altas emisiones asociadas a una operación intensiva y aquellos con desempeño ambiental menos eficiente.

Para esta clasificación se estableció como criterio de referencia un umbral de 150.000 kg CO_{2e} de emisiones totales, considerando este valor como punto de separación entre operaciones de alta y baja intensidad. En este sentido, los vehículos n.º 12, 23, 36, 40, 42 y 45 presentan elevadas emisiones totales, pero registran intensidades bajas, lo que evidencia una operación eficiente asociada a mayores niveles de carga y kilometraje. En contraste, los vehículos n.º 43, 44, 47, 48 y 49 muestran intensidades significativamente superiores al promedio del sistema, lo que permite identificarlos como generadores de ineficiencia ambiental y priorizarlos dentro de las estrategias de mejora operativa.

2.3 Análisis contextual carros en duplas

La empresa, dentro del desarrollo de las actividades logísticas internacionales, contempla servicios de transporte terrestre relacionados con el sector automotriz, particularmente al cliente Automotivo Inplas Valladolid, en la modalidad de carros de duplas. Esta dinámica se desarrolló previo al establecimiento de parámetros enfocados a la sostenibilidad, entre los años 2023 y 2024, representa un punto de referencia importante dentro del análisis de las emisiones de CO₂ con respecto a la flota vehicular, en la Figura 2, se presenta la ruta señalada.

Figura 7 Ruta cliente Automotivo Inplas Valladolid



Configuración operativa inicial del servicio

Inicialmente, el servicio se desarrolló con el apoyo de un vehículo específico asignado a dos motoristas que desarrollaban las rutas directas diferenciadas. En este sentido el motorista 1, cubría la ruta: Guarda, Oliveira de Azeméis, Guarda y el motorista 2 recorría: Guarda, Valladolid, Guarda, con la alineación de viaje directo. Es importante destacar

que la planificación se sustentó para cumplir la norma relacionada con los tiempos de trabajo, siendo considerada una jornada mixta de 15 horas, siendo 10 horas las correspondientes a la conducción de la unidad.

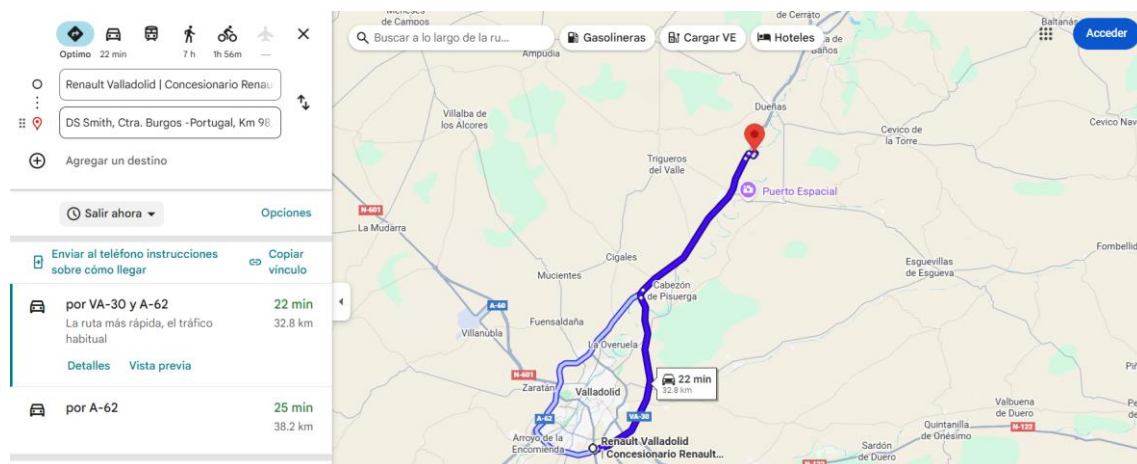
Ahora bien, desde la dimensión operativa, el modelo se orienta hacia la optimización del uso del recurso humano y operativo que en este caso es el vehículo, lo que garantiza la continuidad del servicio y el respeto a los parámetros legales establecidos. Sin embargo, la práctica demostró que este esquema tenía ineficiencias que afectaron directamente el desempeño ambiental del servicio; de manera puntual, el caso es por los kilómetros de recorrido vacío.

Restricciones de carga y retornos en vacío

De esta manera se logró determinar la restricción de la capacidad de retorno con carga, supeditada a la disponibilidad y a las limitaciones operativas de los clientes que están en la zona de Valladolid. En el caso de que el cliente no tuviera carga de retorno, los vehículos debían regresar sin carga útil, lo que aumentó significativamente los kilómetros recorridos en vacío. La razón de profundizar en lo planteado, existían clientes secundarios que tenían perfiles logísticos y restricciones específicas en la ruta analizada.

El cliente Dueñas se encuentra ubicado a una distancia promedio de 30 km, como se presenta en la Figura 8, con una carga semanal entre cero y 20 ton. adicionalmente tiene una restricción horaria, pues el máximo de hora de recepción de vehículos para la carga es 20 horas en España.

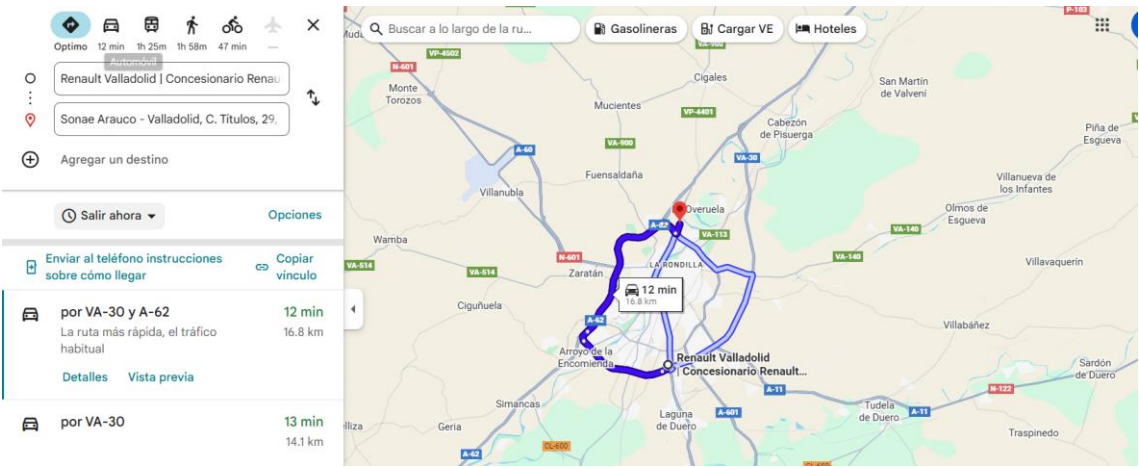
Figura 8 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Dueñas



Por otra parte, el cliente Sonae, figura 9, con 16,8 km de distancia, tiene carga fija desde el Concesionario Renault Valladolid a DS Smith Cetra Burgos, presente en la figura 8,

sin embargo, presenta la restricción de horario más ajustada, pues recibe vehículos hasta las 14 horas.

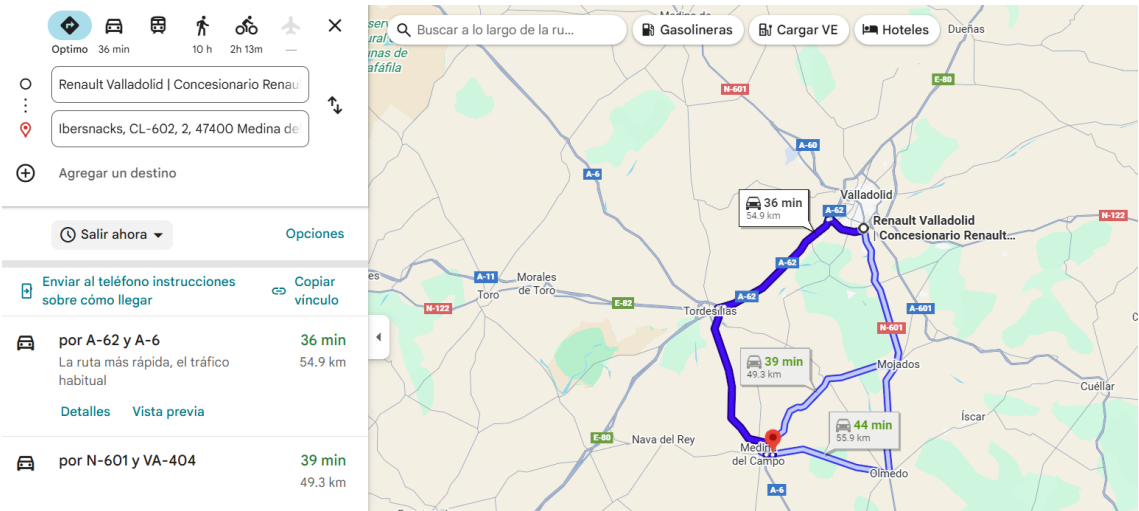
Figura 9 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Sonae



En la Figura 9, presenta el recorrido desde Concesionario Renault Valladolid hasta Sonae Arauco, Valladolid.

Finalmente, Ibersnacks ubicado a 55 km de distancia del Concesionario Renault Valladolid, como se presenta en la figura 10, tiene un promedio de carga semanal tiene disponibilidad las 24 horas, pero el flujo de carga es restringido.

Figura 10 Ubicación de los clientes de carga y distancias operativas desde Valladolid Ibersnacks



Bajo lo previamente expuesto nace una gran incertidumbre con respecto a la planificación, bien sea diaria o semanal, limitando la consolidación de retornos con carga y con una dependencia crítica de los horarios de carga en Valladolid.

Análisis de los horarios de descarga y su impacto operativo

La situación de los horarios de descarga en Valladolid era variable y no se podía determinar un patrón fijo; no obstante, se repetían rangos de horarios puntuales. Siendo el caso de que en proporción con el plan diario se podía descargar a las 12h30 un día y no tener una asignación similar al día siguiente. Dentro de los horarios detectados estaban las descargas y retornos: 01h00, 02h30, 07h30, 09h00, 12h30, 16h00 y 23h00, al igual que desplazamientos puntuales para cargas a Sonae a las 08h30, a las 14h y a las 18h30 para Dueñas.

Por lo tanto, la carencia de una planificación clara y eficiente de los horarios de descargas y las ventanas operativas de los clientes de carga generó que en diversas oportunidades el vehículo no llegara en el horario permitido, por lo que era necesario que el retorno fuera vacío. Por otra parte, existía la posibilidad de que no hubiese disponibilidad de carga fortaleciendo este patrón de ineficiencia. En este sentido, el resultante era de hasta 434 km de recorrido en vacío por ciclo operativo, representando un uso ineficiente del combustible y, por lo tanto, un aumento significativo de las emisiones de CO₂ relacionadas con el servicio.

Implicaciones en términos de sostenibilidad y emisiones de CO₂

Lo previamente señalado demuestra un escenario de divergencia total entre la planificación logística y los objetivos establecidos sobre la eficiencia ambiental, debido a que cada kilómetro que es recorrido sin carga representa consumo de combustible fósil sin la generación del valor logístico. Lo que incrementa la huella de carbono de la operación además minimiza la eficiencia energética del sistema de transporte.

Bajo este escenario se expone un desafío significativo porque el transporte terrestre es el principal contribuyente de emisiones de CO₂ en la cadena logística. Por lo tanto, la acumulación sistemática de los kilómetros vacíos aumenta los costos operativos y compromete las tareas operativas relacionadas con la sostenibilidad, optimización de recursos y minimización del impacto ambiental. La Tabla 6, consolida los datos correspondientes a la huella de carbono en el periodo referido.

Tabla 6 Resultados de la huella de carbono de los vehículos asignados al servicio Automotivo Inplas (2023–2024)

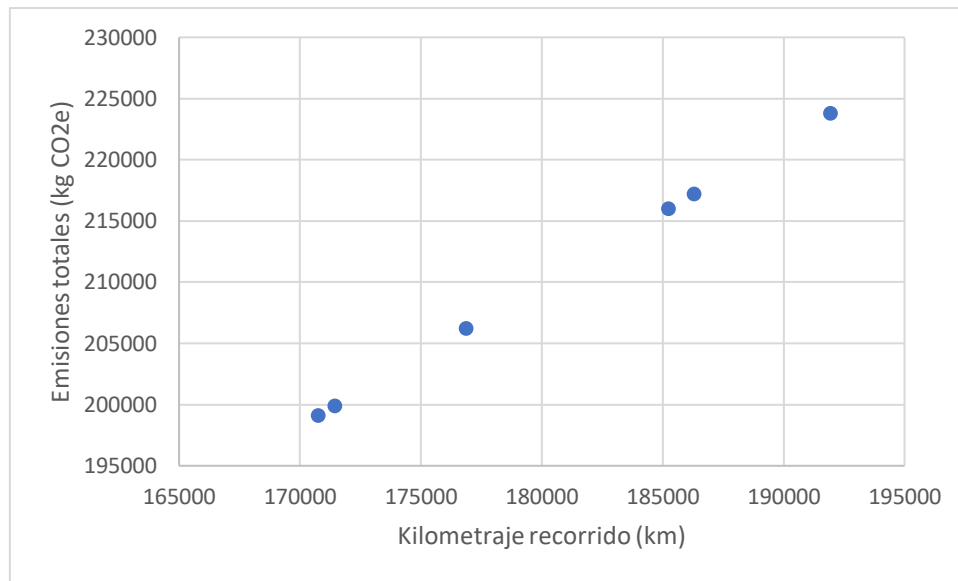
ID Vehículo	Kilometraje recorrido (km)	Consumo de combustible (litros o m³)	Factor de emisión (kg CO _{2e} /litro o m³)	Emisiones totales (kg CO _{2e})	Carga transportada (toneladas)
AUTOMOTIVO INPLAS					
12296 MAN	199912,1	63971,87	2,68	171444,62	4.898.000
12242 MAN	216003,6	69121,15	2,68	185244,69	5.138.000
12296 MAN	217214,1	69508,51	2,68	186282,81	5.296.000
12650 MAN	206243,7	65997,98	2,68	176874,60	1.500.000
12243 MAN	199096,7	63710,94	2,68	170745,33	3.500.000
12953 MAN	223786,7	71611,74	2,68	191919,47	4.780.000

Los datos presentados en la Tabla 6 proporcionan la identificación del impacto ambiental originado por el modelo operativo, evidenciando que los vehículos estudiados recorrieron distancias entre 199.096,7 km y 223.786,7 km, considerando los consumos de combustible entre los 63.710,94 y los 71.611,74 litros. Ahora bien, considerando el factor de emisión constante utilizado de 2,68 kg CO_{2e} por litro de combustible, se facilitó la determinación de las emisiones totales entre 170.745,33 kg CO_{2e} y 191.919,47 kg CO_{2e} por vehículo.

Estos valores representan un alto valor de emisiones relacionadas al transporte terrestre, particularmente al considerar que una parte importante del kilometraje total es recorrida sin carga útil. Aumentando el consumo de combustible, omitiendo el aporte logístico, incrementando la huella de carbono del servicio.

En este sentido, cuando se establece la relación entre las emisiones y la carga transportada, se puede identificar heterogeneidad en la eficiencia ambiental de los vehículos. Ya que al existir unidades que presentan mayor volumen de carga transportada por encima de las 5.000 toneladas, tienen una mejor relación entre las emisiones generadas y la carga movilizadas; mientras otras unidades con menor carga total como el vehículo que tiene 1.500 toneladas transportadas presentan una mayor intensidad de emisiones por tonelada, evidenciando ineficiencia operativa. Para analizar de manera más profunda lo expuesto se presenta en la Figura 11, la relación entre las emisiones y los kilómetros recorridos.

Figura 11 Relación entre las emisiones y los kilómetros recorridos en carros en duplas



La Figura 11 presenta la relación entre las emisiones de CO_{2e} y los kilómetros recorridos en la operación de carros en duplas, permitiendo analizar el comportamiento ambiental asociado a este modelo operativo de transporte. A partir del diagrama de dispersión se observa una tendencia positiva entre ambas variables, evidenciando que el incremento de la distancia recorrida genera un aumento proporcional de las emisiones contaminantes debido al mayor consumo de combustible requerido durante la operación logística.

Sin embargo, la distribución de los datos refleja diferencias significativas entre las unidades analizadas, ya que algunos vehículos presentan emisiones considerablemente superiores respecto a otros aun recorriendo distancias similares. Este comportamiento evidencia variabilidad en la eficiencia operativa del sistema, particularmente influenciada por factores como recorridos en vacío, restricciones de carga, tiempos de espera operativos y diferencias en el aprovechamiento de la capacidad de transporte.

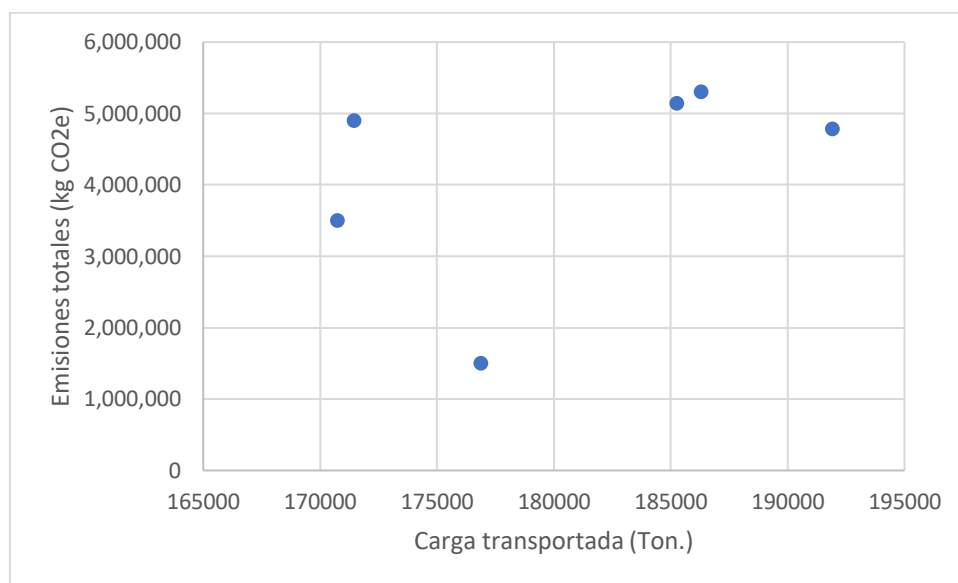
Asimismo, se pueden identificar posibles valores atípicos u *outliers*, correspondientes a operaciones con elevados niveles de emisiones en relación con el kilometraje recorrido. Estos casos representan focos críticos de ineficiencia ambiental y operativa, asociados principalmente a la imposibilidad de consolidar retornos con carga y a la dependencia de ventanas horarias restrictivas para carga y descarga en Valladolid y zonas cercanas.

De igual manera, se evidencia que algunas unidades mantienen niveles de emisiones relativamente controlados aun desarrollando recorridos extensivos, lo cual sugiere un mejor aprovechamiento logístico y una mayor eficiencia en la utilización de combustible. En este sentido, el análisis confirma que el kilometraje recorrido constituye un factor

determinante en la generación de emisiones de CO_{2e} dentro del sistema de carros en duplas, aunque su impacto se encuentra directamente condicionado por la planificación operativa y el nivel de ocupación de las unidades de transporte.

Por lo tanto, la relación observada refuerza la necesidad de implementar estrategias orientadas a la optimización de rutas, reducción de kilómetros recorridos en vacío y mejora en la consolidación de cargas, con el objetivo de disminuir la huella de carbono y fortalecer la sostenibilidad del servicio de transporte internacional. Adicionalmente, en la Figura 12, se presenta la relación entre las emisiones y la carga transportada.

Figura 12 Relación entre las emisiones y la carga transportada



La Figura 12 presenta la relación entre las emisiones de CO_{2e} y la carga transportada dentro del sistema operativo de carros en duplas, permitiendo evaluar el comportamiento ambiental de las operaciones en función del volumen de mercancía movilizada. Se evidencia una tendencia general positiva, donde el aumento de la carga transportada se asocia con un incremento de las emisiones generadas, debido a la mayor demanda energética requerida para el desplazamiento de mercancías.

No obstante, la distribución de los datos demuestra que esta relación no mantiene un comportamiento estrictamente proporcional, ya que existen operaciones con niveles de carga similares que presentan diferencias importantes en las emisiones de CO_{2e}. Este comportamiento refleja variaciones en la eficiencia operativa de las unidades, influenciadas por factores como recorridos en vacío, planificación logística, tiempos de espera, condiciones de conducción y aprovechamiento de la capacidad de carga.

Asimismo, se permite identificar operaciones con elevadas emisiones aun transportando cargas relativamente bajas, lo que evidencia escenarios de ineficiencia ambiental asociados principalmente a desplazamientos sin carga útil o a limitaciones operativas relacionadas con la disponibilidad de retornos. Estos casos constituyen puntos críticos dentro del análisis de sostenibilidad, debido a que incrementan el consumo de combustible sin generar valor logístico proporcional.

Por otra parte, también se observan operaciones que, aun movilizand mayores volúmenes de carga, mantienen emisiones relativamente controladas, lo que sugiere un mejor desempeño operativo y una utilización más eficiente de los recursos de transporte. Este comportamiento confirma que el nivel de carga transportada influye directamente en la eficiencia ambiental del sistema, particularmente cuando existe un adecuado aprovechamiento de la capacidad vehicular.

3 Estrategias de sostenibilidad

La implementación de estrategias de sostenibilidad en el transporte de mercancías ha adquirido una relevancia creciente debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia en las cadenas logísticas. Según el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible, en inglés *World Business Council for Sustainable Development* WBCSD, (2023) las organizaciones del sector transporte desempeñan un papel fundamental en la transición hacia una economía baja en carbono, debido a que las operaciones representan una proporción significativa del consumo energético mundial y de las emisiones asociadas al uso de combustibles fósiles. En este sentido, la sostenibilidad no solo responde a exigencias ambientales, sino que constituye un factor estratégico para fortalecer la competitividad y la resiliencia empresarial.

Por su parte, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, (2023)) señala que la reducción de emisiones en el sector transporte requiere la aplicación combinada de mejoras tecnológicas, optimización operativa y adopción de combustibles alternativos, debido a que ninguna medida aislada resulta suficiente para alcanzar los objetivos de mitigación climática establecidos a nivel internacional. De manera similar, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, (2024)) sostiene que la modernización de flotas, la optimización de rutas y el incremento de la eficiencia energética constituyen algunas de las acciones con mayor potencial para disminuir la huella de carbono del transporte terrestre.

Asimismo, autores como Mejía Salazar y Ayala Soto, (2023) argumentan que la sostenibilidad logística debe abordarse desde una perspectiva integral que combine la reducción de emisiones, la optimización del uso de recursos y la mejora continua de los procesos operativos. Bajo este enfoque, las empresas de transporte pueden generar beneficios ambientales y económicos simultáneamente, mediante la disminución del consumo de combustible, la reducción de costos operativos y el fortalecimiento de su imagen corporativa frente a clientes y grupos de interés (Hernández Guzmán, 2025).

En consecuencia, una vez identificadas las características de la flota vehicular y evaluada la huella de carbono de las operaciones de transporte de Luís Simões, resulta necesario establecer estrategias de sostenibilidad que permitan corregir las ineficiencias detectadas,

reducir progresivamente las emisiones de CO₂ y contribuir al cumplimiento de los objetivos ambientales y empresariales de la organización. En el presente capítulo se desarrolla la propuesta de estrategias de sostenibilidad considerando los insumos presentes en el análisis de la situación actual del sistema de transporte, siendo en este caso el epicentro la evaluación de la huella de carbono, así como la medida de emisiones, la cual resultó en 0,000335 kg CO_{2e} por tonelada-kilómetro.

Mediante este diagnóstico se podrían establecer las diferencias significativas en el desempeño ambiental de la flota, de igual manera la eficiencia de unidades vehiculares que están por debajo del promedio del sistema. Bajo estas circunstancias las estrategias expuestas se enfocarán en la reducción sistemática y progresiva de las emisiones de CO_{2e}, con la mejora de la eficiencia energética, optimizando la gestión operativa al igual que la integración progresiva en innovación tecnológica y energética más sostenible. Las cuales reducirán el impacto ambiental relacionado con las gestiones propias del transporte, fortalecerán la competitividad en la empresa y garantizarán la sostenibilidad a largo plazo, homologando la gestión operativa con los restantes de la actualidad a nivel ambiental y normativo.

Al desarrollar un estudio de las emisiones de CO_{2e}, al igual que de la intensidad de emisiones por tonelada-kilómetro (kg CO_{2e}/t·km), se evidenció que no todos los vehículos del parque analizado convergen en el mismo comportamiento ambiental. Y este resultado es por las características técnicas de cada unidad, así como por los aspectos operativos: nivel de carga, antigüedad de la flota, tipo de combustible utilizado y condiciones en las que se desarrollan las operaciones. Por lo tanto, estos factores determinan de forma directa la huella de carbono asociada al transporte.

En sustento de lo previamente expuesto se proponen estrategias de sostenibilidad donde se prioriza la reducción gradual de las emisiones de gases de efecto invernadero. Siendo el objetivo principal de estas, la disminución de la huella de carbono del sistema de transporte sin causar impacto sobre la eficiencia operativa, ni la capacidad de respuesta del servicio. De esta manera se garantiza la continuidad y competitividad de la gestión logística, sistemática y equilibradamente por un modelo de transporte más sostenible.

A razón de calcular el nivel del potencial de minimización de las emisiones, el punto de referencia es la intensidad media actual del sistema, calculada en 0,000335 kg CO_{2e} por tonelada-kilómetro. Es importante referir que este dato representa el punto de inicio para

el estudio del desempeño de toda la flota foco de estudio, para que sean determinadas las oportunidades específicas hacia la optimización a nivel de eficiencia energética y ambiental.

De igual manera, son identificados los vehículos que presentan un desempeño ambiental por debajo de la media, presentando intensidades de emisión superiores a 0,000145 kg CO_{2e}/t·km. Siendo estas unidades la prioridad en el establecimiento de medidas correctivas como la mejora en las operaciones, fortalecer la planificación de mantenimiento o sustituir de manera progresiva por tecnologías más eficientes y limpias.

Por último, el estudio se sustenta en valores de referencia europeos para el transporte pesado eficiente, permitiendo contextualizar el desempeño del sistema evaluado en un contexto internacional. Estos *benchmarks* permiten facilitar la definición de metas de reducción de emisiones realistas, graduales, coherentes y homologadas con las políticas actuales de descarbonización del transporte, así como, con los compromisos ambientales asumidos.

En este sentido, la reducción potencial se enfoca en la disminución de las emisiones de CO_{2e}, conservando constante el nivel de actividad. De esta manera se evalúa de manera puntual la afectación de las mejoras tecnológicas y operativas, además se evitan alteraciones originadas por el cambio en la demanda o el volumen transportado, y establece un sustento sólido para la toma de decisiones estratégicas que se encuentran presentes para la sostenibilidad del transporte.

3.1 Implementación de vehículos más eficientes en el consumo de combustible

Al presentarse un grupo de vehículos con altas emisiones absolutas y por lo tanto presentan un desempeño ambiental deficiente, porque varios de ellos tienen bajas emisiones (kg CO_{2e}/t·km), relacionadas con una alta carga transportada y el uso intensivo. No obstante, fue identificado un grupo de vehículos con intensidades por encima del promedio del sistema, señalando ineficiencia en el consumo de combustible por unidad transportada.

Por lo que es recomendable que renueve progresivamente el parque vehicular, haciendo énfasis en los vehículos que resultaron los menos eficientes desde el punto de vista ambiental. Esta acción es una oportunidad estratégica en la reducción sostenida de las

emisiones de CO_{2e}, optimizando el rendimiento energético de la flota y fortaleciendo la competitividad operativa de la empresa.

De esta manera, al integrar unidades con motores de última generación, que consideran la normativa Euro VI (EUR, 2023) o superior, se reducen de manera significativa las emisiones contaminantes y se optimiza el consumo de combustible. AL hacer una combinación de estos motores con sistemas avanzados de gestión electrónica, se presenta un mejor control del rendimiento del vehículo en relación con las condiciones reales de operación.

De igual manera, considerar transmisiones automatizadas permite que la conducción sea más eficiente y homogénea; esto minimiza los errores humanos en el cambio de marchas y beneficia el manejo racional del motor. Además, considerar mejoras aerodinámicas para la cabina y el semirremolque facilitan la reducción de la resistencia al avance, particularmente en trayectos de larga distancia, sumando al ahorro energético de manera relevante.

Definitivamente, al considerar tecnologías de asistencia para la conducción enfocadas en la eficiencia energética: sistemas de control de velocidad adaptativo, asistencia predictiva o indicadores de conducción eficiente, se optimiza el consumo de combustible, se mejora la seguridad vial y el *confort* del conductor. Por lo tanto, estos parámetros se inclinan por un modelo de transporte eficiente, sostenible y en concordancia con los objetivos de reducción de la huella de carbono a mediano y largo plazo. De esta manera, al sustituir las unidades que presenten mayor intensidad de emisiones, el consumo específico de combustible se reducirá y, de igual forma, las emisiones de CO_{2e} por tonelada-kilómetro transportada.

Los datos resultantes demuestran que los vehículos identificados como realmente ineficientes presentan intensidades entre 0,000145 y 0,000234 kg CO_{2e}/t·km, y los vehículos eficientes del sistema operan en rangos de 0,000057 a 0,000099 kg CO_{2e}/t·km, por lo que la Tabla 7 presenta los indicadores que serán desarrollados, para la estrategia.

Tabla 7 Indicador cuantitativo de reducción potencial

Acción	Reducción estimada
Sustitución de vehículos ineficientes por unidades eficientes	15 % – 25 %
Renovación progresiva del parque vehicular (Euro VI optimizado)	10 % – 18 %

Esta reducción se sustenta en el consumo específico de combustible por tonelada transportada, reflejada directamente en la reducción de la intensidad $\text{kg CO}_2\text{e/t}\cdot\text{km}$.

3.2 Uso de tecnología para la gestión de rutas y la optimización de cargas

El análisis realizado demuestra que la eficiencia ambiental del transporte está estrechamente relacionada con la relación entre carga transportada y distancia recorrida. Vehículos con baja carga relativa presentan mayores intensidades de emisión, aun cuando el consumo total de combustible no sea el más elevado. En este contexto, se propone la implementación de herramientas tecnológicas que permitan optimizar de manera integral la gestión de las operaciones de transporte.

El uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y software especializado en planificación logística facilita la definición de rutas más eficientes, reduciendo distancias recorridas, tiempos de viaje y consumo de combustible, sin afectar los niveles de servicio al cliente. Asimismo, estas tecnologías contribuyen a minimizar los recorridos innecesarios y los tiempos de ralentí, factores que influyen directamente en el aumento de las emisiones y en el desgaste de los vehículos. Una mejor planificación y control operativo permiten aprovechar de forma más racional los recursos disponibles, mejorando la productividad y reduciendo costos operativos.

Otro aspecto clave es la asignación eficiente de las cargas, orientada a maximizar el uso de la capacidad de transporte de cada vehículo. Al optimizar el nivel de ocupación y evitar desplazamientos con baja carga, se logra una disminución significativa de la intensidad de emisiones por tonelada-kilómetro, reforzando la eficiencia energética del sistema. Finalmente, el monitoreo en tiempo real del desempeño de los vehículos, incluyendo variables como consumo de combustible, velocidad y estilo de conducción, permite identificar oportunidades de mejora inmediatas.

Esta información facilita la toma de decisiones operativas, promueve prácticas de conducción más eficientes y seguras, y contribuye a una gestión del transporte más sostenible, basada en datos objetivos y actualizados. Estas medidas contribuyen directamente a disminuir la intensidad de emisiones ($\text{kg CO}_2\text{e/t}\cdot\text{km}$), al incrementar la cantidad de carga transportada por kilómetro recorrido y reducir el consumo de combustible por operación.

El análisis muestra que parte de las ineficiencias se asocian a baja carga relativa respecto al kilometraje recorrido. La literatura técnica y experiencias operativas en Europa indican que la optimización logística tiene un impacto directo en la intensidad de emisiones. La Tabla 8 presenta los indicadores para hacer seguimiento a esta estrategia.

Tabla 8 Indicador cuantitativo de reducción potencial

Medida	Reducción estimada
Optimización de rutas (reducción de km innecesarios)	5 % – 10 %
Optimización de cargas (mayor ocupación por viaje)	8 % – 15 %
Uso combinado de tecnologías de gestión	10 % – 20 %

Incrementar las toneladas transportadas por kilómetro reduce el denominador del indicador $\text{kg CO}_2/\text{t}\cdot\text{km}$, mejorando la eficiencia ambiental sin requerir cambios estructurales en la flota. Adicionalmente, para abordar la optimización del consumo de combustible y la reducción de la huella de carbono en las operaciones de transporte, se desarrolló un modelo de optimización mediante la herramienta *Microsoft Excel Solver*, aplicado a una muestra representativa de 20 vehículos y 10 servicios logísticos correspondientes a una semana del año 2026 de la empresa Luís Simões.

Este modelo tiene como objetivo principal mejorar la asignación de rutas y la distribución de cargas, considerando restricciones operativas y capacidades vehiculares, con el fin de minimizar las emisiones de CO_2 asociado a cada operación. A través de la formulación de variables de decisión, función objetivo y restricciones, se busca establecer una configuración óptima que permita un uso más eficiente de las unidades de transporte, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia operativa dentro del marco de la gestión logística moderna.

3.2.1 Modelo matemático de optimización para la reducción de emisiones de CO_2

El transporte pesado de mercancías constituye uno de los principales componentes de las cadenas logísticas modernas y, al mismo tiempo, una de las actividades con mayor consumo de combustibles fósiles y generación de emisiones de CO_2 . Debido a la creciente presión regulatoria y a los objetivos de sostenibilidad establecidos por la Unión Europea, las empresas de transporte se enfrentan al desafío de mejorar su eficiencia operativa mientras reducen su impacto ambiental.

En este contexto, la aplicación de modelos matemáticos de optimización se ha convertido en una herramienta estratégica para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planificación de rutas, la asignación de vehículos y la utilización eficiente de los recursos logísticos. La optimización matemática aplicada al transporte pesado permite seleccionar rutas con menor consumo de combustible, reducir los kilómetros recorridos en vacío, maximizar la capacidad utilizada de los vehículos y disminuir tanto los costos operativos como las emisiones contaminantes.

Estas mejoras contribuyen directamente al fortalecimiento de las estrategias de logística verde y sostenibilidad empresarial, favoreciendo una gestión más eficiente de la flota y una reducción progresiva de la huella de carbono asociada a las operaciones de transporte. En el caso de la empresa Luís Simões, el diagnóstico realizado evidenció la existencia de recorridos sin carga útil que incrementan el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. Ante esta situación, se propone un modelo matemático de programación lineal cuyo objetivo es optimizar la asignación de vehículos a los servicios de transporte, minimizando las emisiones generadas durante la operación.

La resolución del modelo se realiza mediante la herramienta *Microsoft Excel Solver*, la cual permite identificar la combinación óptima de asignaciones bajo las restricciones operativas existentes. Para representar matemáticamente el problema se definen los conjuntos, índices, parámetros y variables de decisión que intervienen en el sistema. Posteriormente, se presenta la función objetivo orientada a minimizar las emisiones de dióxido de carbono y las restricciones que garantizan la viabilidad operativa de la solución propuesta.

3.2.2 Conjuntos e índices

Para la formulación matemática se consideran los siguientes conjuntos e índices:

Conjuntos

- I : conjunto de vehículos disponibles.
- J : conjunto de servicios de transporte.

Índices

- $i \in I$: índice asociado a los vehículos.
- $j \in J$: índice asociado a los servicios.

3.2.3 Parámetros conocidos

Los parámetros utilizados en el modelo son:

- d_j : distancia asociada al servicio j (km).
- e_i : factor de emisión del vehículo i (kg CO₂/km).
- c_j : carga requerida por el servicio j (toneladas).
- a_i : disponibilidad operativa del vehículo i .

A partir de estos parámetros se calcula el nivel de emisiones asociado a la asignación del vehículo i al servicio j :

$$E_{ij} = e_i \times d_j \times c_j \quad (1)$$

donde:

- E_{ij} : emisiones estimadas de CO₂ cuando el vehículo i realiza el servicio j (kg CO₂) veces el peso de la mercancía transportada en el servicio j .

3.2.4 Variables de decisión

Se define la siguiente variable de decisión binaria:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el vehículo } i \text{ es asignado al servicio } j, \\ 0, & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

3.2.5 Función objetivo

El objetivo del modelo consiste en minimizar las emisiones totales de dióxido de carbono (CO₂) generadas por las operaciones de transporte.

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} E_{ij} X_{ij}$$

La función objetivo puede escribirse directamente como:

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} e_i d_j c_j X_{ij}$$

La función objetivo busca determinar la asignación de vehículos a los servicios que minimice las emisiones totales de dióxido de carbono durante la operación de transporte.

3.2.6 Restricciones del modelo

Para garantizar la factibilidad operativa de la solución obtenida, el modelo incorpora las siguientes restricciones:

Restricción 1. Asignación única de servicios

Cada servicio de transporte debe ser atendido por un único vehículo:

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in J$$

Esta restricción asegura que todos los servicios programados sean cubiertos y evita asignaciones múltiples para una misma operación de transporte.

Restricción 2. Disponibilidad de vehículos

Un vehículo únicamente puede ser asignado a servicios para los cuales se encuentre disponible:

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I$$

donde:

- a_{ij} : disponibilidad operativa del vehículo i .

Restricción 3. Naturaleza de las variables

Las variables de decisión son binarias:

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

Esta condición garantiza que la decisión de asignación sea de carácter discreto, es decir, que un vehículo sea asignado o no a un determinado servicio, sin admitir valores intermedios.

Una vez desarrollada la formulación matemática general, el modelo fue aplicado a una semana representativa de operaciones de transporte entre Portugal y España. Para ello se utilizaron datos reales relacionados con distancias recorridas, disponibilidad vehicular, capacidad de carga y requerimientos de servicio. En los apartados siguientes se presentan los valores específicos de los parámetros utilizados en la prueba piloto, diferenciando los servicios desarrollados en Portugal y España. Posteriormente, se expone la

implementación del modelo en *Microsoft Excel Solver* y los resultados obtenidos en términos de reducción de emisiones y mejora de la eficiencia operativa.

3.2.7 Parámetros usados en la prueba piloto

Tabla 9 Día 1. Vehículos en Portugal

Vehículo	e_i	a_i
6485 MAN	0,000000174862	1
6591 MAN	0,000000225582	1
6563 MAN	0,000000088385	1
13055 MAN	0,000000186043	1
6473 MAN	0,000000168295	1
6594 MAN	0,000000643287	1
6478 MAN	0,000000112206	1
6631 MAN	0,000000230734	1
6673 MAN	0,000000302826	1
8187 MAN	0,000000071366	1
6644 MAN	0,000000210395	1
8221 MAN	0,000001453333	1
6675 MAN	0,000000517829	1
6638 MAN	0,000000311249	1
6642 MAN	0,000000310170	1
8188 MAN	0,000000067007	1
8185 MAN	0,000000081254	1
14123 MAN	0,000000574868	1
6622 MAN	0,000000086974	1
6612 MAN	0,000000057423	1

Subtítulo: $a_i = 1$:unidad disponible/ $a_i = 0$:unidad no disponible // e_i : huella de carbono

Tabla 10 Día 1. Servicios en Portugal

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (toneladas)	c_j	10	10	10	10	10	5	13	20	24	24
Distancia (km)	d_j	433	437	766	1175	192	481	614	1158	758	855

Subtítulo: **J:** Número de servicio// c_j : toneladas// d_j : kilómetros recorridos

Tabla 11 Día 1. Modelo Portugal

Variables	Servicios j										Total de viajes	Max	Vehículos	Emisiones de los vehículos
X_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0,00042054405
Vehículos i	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0,000000000000

6527 MAN	0,000000276459	1
6531 MAN	0,000000409902	1
6529 MAN	0,000000678941	1
6551 MAN	0,000000399751	1
6593 MAN	0,000000701844	1
6562 MAN	0,000000099013	1
6592 MAN	0,000000203203	1
6509 MAN	0,000001321833	1
6596 MAN	0,000000181845	1
6517 MAN	0,000000335664	1
6510 MAN	0,000000763007	1
6590 MAN	0,000000226902	1
6512 MAN	0,000000585310	1
6557 MAN	0,000000126558	1

Subtítulo: 1:unidad disponible/**0:**unidad no disponible.// **e:** huella de carbono

Tabla 13 Día 1. Servicios en España

Servicios j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga c _j	5	5	10	15	20	20	24	15	24	10
Distancia d _j	424	192	1158	1182	1137	1124	887	862	880	809

Nota: J: Número de servicio// **c_j:** toneladas// **d_j:** kilómetros recorridos

Tabla 14 Día 1. Modelo España

Variables		Servicios j											Total de viajes	Max	Vehículos	Emisiones de los vehículos
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0				
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	2	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<	1	3	0,000832147
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	4	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<	1	5	0,002611338
	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<	1	6	0,002788407
	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<	1	7	0,006214793
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	8	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	9	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	10	0
vehículos i	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<	1	11	0

											<								
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	=	1	12			0,001280238	
													<						
	13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1	13			0,000195075	
													<						
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	14			0	
													<						
	15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1	15			0,00210576	
													<						
	16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	=	1	16			0,007632993	
													<						
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	17			0	
													<						
	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1	18			0,000481032	
													<						
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	19			0	
													<						
	20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	=	1	20			0,002243879	
Total de vehículos que hacen el servicio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				Obj. Tota l			0,026385662	
		=																	
min		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								

Tabla 15 Consolidación de los resultados del modelo

En el día 1, Portugal registró una disponibilidad de 20 vehículos para la operación logística, con una emisión mínima de $5,7423 \times 10^{-8}$ y una máxima de $1,45333 \times 10^{-6}$, alcanzando un promedio de emisiones de $3,19885 \times 10^{-7}$. Durante esta jornada se ejecutaron 10 servicios de transporte, movilizandando un total de 136 toneladas y recorriendo 6.869 kilómetros. Estos resultados evidencian una operación estable en términos de capacidad logística, aunque con diferencias importantes en el desempeño ambiental de las unidades disponibles, particularmente debido a la presencia de vehículos con niveles elevados de emisiones.

En contraste, España presentó igualmente 20 vehículos disponibles y 10 servicios ejecutados; sin embargo, la carga total transportada alcanzó 148 toneladas y la distancia acumulada fue de 8.655 kilómetros, superando los valores registrados en Portugal. Además, el promedio de emisiones fue de $2,88206 \times 10^{-7}$, superior al observado en Portugal, lo que refleja una mayor intensidad operativa y una demanda energética más elevada asociada al transporte de mercancías en rutas de mayor distancia.

Durante el día 2, Portugal mantuvo la misma cantidad de vehículos disponibles y de servicios realizados, registrando un promedio de emisiones de $2,6974 \times 10^{-7}$, inferior al del día anterior. Este comportamiento sugiere una mejora relativa en la eficiencia ambiental de la flota utilizada, asociada probablemente a la disponibilidad de vehículos con menores factores de emisión. Asimismo, la carga transportada y la distancia recorrida permanecieron constantes, lo que evidencia estabilidad en las condiciones operativas del sistema logístico.

Por su parte, España presentó en el día 2 un promedio de emisiones de $3,37663 \times 10^{-7}$, inferior al registrado el día 1, aunque manteniendo los mismos niveles de carga total y distancia recorrida. Esto indica una optimización relativa en el desempeño ambiental de la flota disponible, aun cuando las exigencias operativas continuaron siendo superiores a las observadas en Portugal.

En el día 3, Portugal experimentó un incremento en el promedio de emisiones hasta $3,67108 \times 10^{-7}$, registrando además una emisión máxima de $1,321833 \times 10^{-6}$. Aunque el número de servicios, la carga transportada y la distancia recorrida se mantuvieron constantes, el aumento del promedio refleja una composición de flota menos eficiente ambientalmente, influenciada por la disponibilidad de vehículos con mayores niveles de emisión de CO_{2e}.

En España, el día 3 mostró el promedio de emisiones más bajo de todo el período analizado, con un valor de $2,52943 \times 10^{-7}$. Este resultado evidencia una mejora significativa en la eficiencia ambiental de la operación, posiblemente derivada de la utilización de vehículos con menor huella de carbono. A pesar de mantener la misma cantidad de servicios, carga y kilómetros recorridos, la reducción del promedio de emisiones demuestra la relevancia de la asignación eficiente de vehículos dentro del modelo logístico.

Durante el día 4, Portugal registró un promedio de emisiones de $2,74600 \times 10^{-7}$, inferior al observado el día anterior, manteniendo nuevamente estabilidad en la operación con 20 vehículos disponibles, 10 servicios ejecutados, 136 toneladas transportadas y 6.869 kilómetros recorridos. Estos resultados evidencian una recuperación en la eficiencia ambiental de la flota, atribuida a una menor incidencia de vehículos con altos factores de emisión.

De manera similar, España alcanzó en el día 4 un promedio de emisiones de $3,30598 \times 10^{-7}$, manteniendo constantes los indicadores operativos de carga y distancia. Aunque el promedio fue superior al de Portugal, los resultados muestran una mejora respecto al día 1 y una estabilidad relativa en la gestión ambiental de las operaciones de transporte internacional.

Finalmente, en el día 5, Portugal presentó nuevamente un promedio de emisiones de $3,19885 \times 10^{-7}$, replicando prácticamente las condiciones registradas en el día 1. Este comportamiento evidencia consistencia en la disponibilidad de la flota y en las condiciones operativas del sistema, aunque persiste la presencia de vehículos con altos niveles de emisiones máximas.

En el caso de España, el día 5 registró un promedio de emisiones de $3,88206 \times 10^{-7}$, igual al observado en el día 1 y constituyendo uno de los valores promedio más elevados del análisis. Esto confirma que, aunque la operación española presenta mayores niveles de carga transportada y distancia recorrida, también enfrenta mayores desafíos en términos de sostenibilidad ambiental y control de emisiones de CO_{2e} dentro de la actividad logística internacional.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los resultados permiten inferir que la implementación de modelos de optimización basados en herramientas cuantitativas contribuye de manera directa a la reducción de emisiones de CO₂ en el sector logístico.

En particular, se evidencia que la adecuada asignación de vehículos, considerando su eficiencia ambiental (e_i), junto con la optimización de rutas y cargas, permite minimizar el impacto ecológico sin comprometer la operatividad del sistema.

Por lo tanto, la aplicación del modelo evidencia que la integración de tecnologías de optimización en la gestión logística constituye una práctica clave para avanzar hacia sistemas de transporte más eficientes, competitivos y ambientalmente responsables, alineados con los principios del desarrollo sostenible y la reducción de la huella de carbono en las operaciones empresariales.

El análisis de los resultados evidencia que el modelo de programación lineal prioriza de manera recurrente aquellos vehículos con menores niveles de emisiones de CO_2e , particularmente unidades como 6612 MAN, 8188 MAN, 8185 MAN y 6563 MAN, las cuales fueron utilizadas en múltiples jornadas operativas. En contraste, varios vehículos de la flota nunca fueron seleccionados por el modelo, especialmente aquellos asociados a mayores coeficientes de emisión, como las unidades 8221 MAN, 6509 MAN, 6510 MAN, 6593 MAN y 6679 MAN, lo previamente expuesto se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16 Resumen de los resultados del modelo de optimización por día y país

Día	País	Valor óptimo de la función objetivo	Cantidad de servicios	Vehículos utilizados
1	Portugal	0,00832599879	10	6473, 6478, 6563, 13055, 8188, 8185, 6622, 6612
1	España	0,026385662	10	6564, 6566, 6565, 6527, 6562, 6592, 6596, 6590
2	Portugal	0,01029077155	10	6622, 6612, 6683, 6603, 6598, 6604, 6605, 6606
2	España	0,025246329	10	6611, 6614, 6558, 6630, 6610, 6581, 6575, 6661
3	Portugal	0,01281188140	10	6562, 6592, 6596, 6591, 6563, 13055, 6473, 6478
3	España	0,01096283	10	8187, 8188, 8185, 6612, 6683, 6603, 6604, 6598
4	Portugal	0,00846353819	10	8188, 8185, 6622, 6612, 6603, 6604, 6605, 6606
4	España	0,025599758	10	6660, 6611, 6614, 6558, 6630, 6610, 6581, 6575
5	Portugal	0,00832599879	10	6473, 6478, 6563, 13055, 8188, 8185, 6622, 6612
5	España	0,019639572	10	6564, 6566, 6527, 6562, 6592, 6596, 6590, 6557

La Tabla 16, correspondiente a los resultados del modelo de optimización, evidencia un comportamiento diferenciado entre las operaciones realizadas en Portugal y España durante los cinco días analizados. En términos generales, se observa que el modelo logra mantener la atención completa de los servicios programados, asignando en todos los casos un total de 10 servicios diarios mediante la selección estratégica de vehículos con menores coeficientes de emisión de CO_2e . Esto demuestra la capacidad del modelo de

programación lineal para garantizar eficiencia operativa sin comprometer el criterio de sostenibilidad ambiental.

En el caso de Portugal, los valores óptimos de la función objetivo se mantienen relativamente bajos y estables durante el período de análisis, oscilando entre 0,00832599879 y 0,01281188140. Los días 1 y 5 presentan el menor valor óptimo, lo que indica una asignación más eficiente desde el punto de vista ambiental. En ambos días se utilizaron los mismos vehículos: 6473, 6478, 6563, 13055, 8188, 8185, 6622 y 6612, lo que evidencia que el modelo identifica consistentemente estas unidades como las más adecuadas para minimizar emisiones. Por otro lado, el día 3 registra el mayor valor de la función objetivo en Portugal, situación que puede asociarse a la necesidad de incorporar vehículos con mayores niveles relativos de emisión debido a la disponibilidad operativa de la flota.

En España, los resultados muestran una mayor variabilidad en los valores de la función objetivo. El día 1 presenta el valor más elevado de todo el estudio (0,026385662), seguido de valores también altos en los días 2 y 4. Esto sugiere que, en determinados escenarios, la flota disponible en España presenta mayores coeficientes de emisión promedio en comparación con Portugal, obligando al modelo a seleccionar vehículos menos eficientes ambientalmente para cumplir con la totalidad de los servicios. No obstante, el día 3 evidencia una mejora significativa, alcanzando un valor óptimo de 0,01096283, muy cercano a los niveles observados en Portugal. Este resultado se relaciona con la utilización de vehículos de muy bajas emisiones, como las unidades 8187, 8188 y 8185.

Otro aspecto relevante corresponde a la recurrencia de ciertos vehículos dentro de las soluciones óptimas. Unidades como 6612, 8188, 8185, 6473 y 6478 aparecen repetidamente en diferentes días y países, lo cual permite inferir que poseen mejores indicadores ambientales y operativos. En contraste, varios vehículos disponibles en las tablas originales nunca fueron seleccionados por el modelo, lo que sugiere que sus niveles de emisiones son considerablemente superiores o que presentan menor eficiencia en relación con la función objetivo planteada. Esta situación resulta especialmente importante desde una perspectiva estratégica, ya que permite identificar qué unidades podrían ser priorizadas en procesos futuros de renovación de flota o mantenimiento sostenible.

En términos globales, los resultados confirman que el modelo de programación lineal constituye una herramienta eficaz para optimizar la asignación de vehículos bajo criterios de sostenibilidad ambiental. Además de minimizar las emisiones de CO_{2e}, el modelo permite identificar patrones de eficiencia dentro de la flota, facilitando la toma de decisiones orientadas a la reducción progresiva de la huella de carbono en las operaciones de transporte internacional de mercancías entre Portugal y España.

Por otra parte, la Tabla 17, presenta el resumen de utilización y desempeño ambiental de los vehículos.

Tabla 17 Resumen de utilización y desempeño ambiental de los vehículos

Vehículo	Nº de días utilizado	Carga total transportada (t)	Distancia total recorrida (km)	Emisiones acumuladas
6612 MAN	4	68	3.989	Baja
8188 MAN	3	53	2.949	Baja
8185 MAN	3	58	2.530	Baja
6473 MAN	3	30	1.299	Baja
6478 MAN	3	33	1.665	Baja
6563 MAN	3	30	2.298	Baja
13055 MAN	3	34	2.030	Media
6622 MAN	3	34	1.395	Baja
6592 MAN	3	54	2.892	Media
6596 MAN	3	54	2.892	Media
6603 MAN	3	68	3.521	Baja
6604 MAN	3	39	2.357	Media
6611 MAN	2	29	1.311	Media
6614 MAN	2	29	1.072	Media
6558 MAN	2	20	2.316	Media
6630 MAN	2	20	1.618	Media
6610 MAN	2	40	2.248	Media
6581 MAN	2	40	2.274	Baja
6575 MAN	2	25	1.724	Media
6564 MAN	2	20	1.967	Baja
6566 MAN	2	48	2.024	Baja
6527 MAN	2	44	2.011	Media
6562 MAN	2	44	2.020	Baja
6590 MAN	2	20	1.233	Media
6557 MAN	1	10	809	Baja
6683 MAN	2	29	1.673	Media
6605 MAN	2	15	918	Media
6606 MAN	2	34	1.608	Media
6661 MAN	1	15	1.182	Media

La Tabla 17, evidencia diferencias significativas en la frecuencia de uso, capacidad operativa y desempeño ambiental de las unidades analizadas durante el período de estudio. En términos generales, el modelo de programación lineal priorizó aquellos vehículos con menores niveles de emisiones acumuladas, favoreciendo especialmente las unidades clasificadas con emisiones bajas, incluso cuando estas debían recorrer mayores distancias o transportar volúmenes considerables de carga.

El vehículo 6612 MAN destaca como la unidad con mayor frecuencia de utilización, siendo seleccionado durante cuatro días de operación. Además, transportó un total de 68 toneladas y recorrió 3.989 km, manteniendo un nivel de emisiones clasificado como bajo. Este comportamiento confirma que el modelo identifica esta unidad como una de las alternativas más eficientes dentro de la flota, combinando capacidad operativa y sostenibilidad ambiental. De manera similar, el vehículo 6603 MAN también presenta un alto desempeño, movilizándolo 68 toneladas en 3.521 km durante tres días, con bajas emisiones acumuladas.

Por otra parte, las unidades 8188 MAN y 8185 MAN fueron utilizadas en tres ocasiones cada una, registrando también bajos niveles de emisiones. Particularmente, el vehículo 8185 MAN movilizó 58 toneladas, mientras que el 8188 MAN transportó 53 toneladas, lo que evidencia que ambos poseen una elevada eficiencia ambiental sin comprometer la capacidad logística requerida para las operaciones. En el mismo grupo destacan las unidades 6566 MAN y 6562 MAN, las cuales lograron transportar importantes volúmenes de carga manteniendo emisiones reducidas, situación que refuerza la efectividad del modelo en la selección de vehículos sostenibles.

En contraste, algunos vehículos clasificados con emisiones medias fueron utilizados con menor frecuencia, pese a presentar capacidades similares de transporte. Este comportamiento se observa en unidades como 6611 MAN, 6614 MAN, 6558 MAN y 6630 MAN, que únicamente fueron seleccionadas en dos días operativos. De igual manera, vehículos como 6557 MAN y 6661 MAN solo fueron utilizados una vez durante toda la semana analizada, lo cual sugiere que el modelo los considera alternativas secundarias frente a otras opciones más eficientes desde el punto de vista ambiental.

Otro aspecto relevante es la relación entre distancia recorrida y nivel de emisiones. Algunos vehículos con bajas emisiones, como el 6612 MAN y el 6603 MAN, fueron capaces de cubrir trayectos extensos sin incrementar significativamente la función

objetivo. Esto demuestra que la eficiencia ambiental no depende exclusivamente de la distancia recorrida, sino también de las características técnicas y del coeficiente de emisiones asociado a cada unidad.

Asimismo, el análisis permite inferir que existen vehículos disponibles en la flota que nunca fueron seleccionados por el modelo durante el horizonte de planificación. Esta situación probablemente se relaciona con coeficientes elevados de emisión de CO_{2e} , lo que los convierte en opciones poco eficientes dentro del proceso de optimización. En consecuencia, el modelo tiende a excluir automáticamente aquellas unidades más contaminantes, priorizando vehículos con menores impactos ambientales y mejor desempeño operativo.

Es importante destacar que las tablas resumen de los datos del problema permitieron identificar un comportamiento operativo estable en cuanto al número de servicios y disponibilidad de vehículos, tanto en Portugal como en España, evidenciándose que cada jornada contó con 20 vehículos disponibles y 10 servicios programados. Sin embargo, se observaron diferencias relevantes en la magnitud de la operación logística entre ambos países, debido a que España registró mayores volúmenes de carga transportada y distancias recorridas, alcanzando 148 toneladas y 8.655 km diarios, mientras que Portugal mantuvo 136 toneladas y 6.869 km. Asimismo, el análisis de emisiones mostró variaciones en los valores mínimos, máximos y promedios de huella de carbono entre los días analizados, reflejando la heterogeneidad ambiental de la flota disponible y la necesidad de optimizar la asignación de vehículos para reducir emisiones contaminantes.

Por otra parte, los resultados del modelo de optimización demostraron que la programación lineal permitió seleccionar estratégicamente los vehículos con menor impacto ambiental para cubrir la totalidad de los servicios requeridos. Los valores óptimos de la función objetivo evidenciaron menores niveles de emisiones acumuladas en Portugal respecto a España en la mayoría de los días evaluados, aunque ambos escenarios mostraron reducciones importantes al priorizar vehículos más eficientes. De igual forma, el modelo confirmó que no fue necesario utilizar la totalidad de la flota disponible, ya que únicamente se seleccionaron los vehículos con mejores indicadores ambientales y operativos, optimizando simultáneamente las distancias recorridas, la capacidad de carga y las emisiones de CO_{2e} generadas por cada servicio.

Finalmente, el análisis de utilización y desempeño ambiental de los vehículos permitió identificar patrones claros de eficiencia dentro de la flota. Vehículos como el 6612 MAN, 8188 MAN, 8185 MAN y 6603 MAN presentaron una mayor frecuencia de uso debido a sus bajas emisiones y adecuada capacidad operativa, convirtiéndose en unidades estratégicas para la planificación logística sostenible. En contraste, varios vehículos con mayores factores de emisión no fueron utilizados o tuvieron una participación mínima dentro del modelo, lo que sugiere que el sistema de optimización penaliza naturalmente a las unidades más contaminantes. Este comportamiento confirma que la incorporación de tecnologías de gestión de rutas y modelos de optimización matemática constituye una herramienta eficaz para mejorar la sostenibilidad del transporte, disminuir el impacto ambiental de las operaciones y fortalecer la toma de decisiones orientadas a una logística más eficiente y ecológicamente responsable.

En términos estratégicos, los resultados obtenidos permiten identificar qué vehículos presentan mayores niveles de eficiencia y cuáles podrían requerir procesos de mantenimiento, modernización o sustitución futura. De esta manera, la aplicación del modelo matemático no solo contribuye a minimizar emisiones contaminantes, sino que también constituye una herramienta útil para apoyar decisiones relacionadas con la gestión sostenible de la flota y la reducción progresiva de la huella de carbono en las operaciones de transporte internacional de mercancías.

3.3 Uso de combustibles alternativos y energías limpias

Si bien el análisis se basa en el uso de diésel convencional, la adopción progresiva de combustibles alternativos y energías limpias constituye una estrategia clave para la descarbonización del transporte pesado.

Entre las alternativas más viables para avanzar hacia un transporte más sostenible, destaca en primer lugar el uso de biocombustibles, como las mezclas B7, B10 o el biodiésel avanzado. Estas opciones permiten reducir las emisiones netas de CO_{2e} de forma inmediata, sin requerir cambios significativos en la infraestructura existente ni en la operativa habitual, lo que las convierte en una solución práctica y de rápida implementación.

De manera complementaria, se plantea la incorporación progresiva de vehículos propulsados por gas natural licuado (GNL) o gas natural comprimido (GNC), especialmente adecuados para operaciones de larga distancia. Este tipo de tecnologías

ofrece una reducción relevante de emisiones contaminantes y sonoras, además de mejoras en la eficiencia energética, contribuyendo a un equilibrio entre sostenibilidad ambiental y viabilidad operativa.

Finalmente, se considera la evaluación a mediano y largo plazo de tecnologías emergentes, como los camiones eléctricos o aquellos impulsados por hidrógeno verde. Si bien estas alternativas presentan un alto potencial de descarbonización, su adopción dependerá de factores clave como la disponibilidad de infraestructura de recarga o abastecimiento, la madurez tecnológica y su viabilidad económica. En este sentido, su análisis continuo permitirá a la empresa anticiparse a futuras transiciones energéticas y posicionarse estratégicamente en un escenario de transporte de bajas y cero emisiones. La combinación de estas alternativas con una operación eficiente permitiría reducir de manera significativa la huella de carbono del sistema de transporte analizado.

El factor de emisión del combustible tiene un impacto directo sobre las emisiones absolutas. La adopción de combustibles con menor contenido de carbono permite reducciones inmediatas sin alterar el kilometraje ni la carga transportada, en la Tabla 18, se presentan los indicadores para esta estrategia.

Tabla 18 *Indicador cuantitativo de reducción potencial*

Combustible / tecnología	Reducción estimada de CO₂e
Diésel B7 – B10	3 % – 7 %
Biodiésel avanzado (B20–B30)	15 % – 25 %
Gas natural (GNL/GNC)	20 % – 30 %
Transición a tecnologías cero emisiones (largo plazo)	> 60 %

Estas reducciones se refieren exclusivamente a CO₂e, no a contaminantes locales (NO_x, PM). Por otra parte, las estrategias no se suman linealmente, pero pueden combinarse de forma progresiva.

Tabla 19 *Escenario técnicamente viable a corto–medio plazo:*

Estrategia combinada	Reducción global estimada
Vehículos eficientes + optimización logística	20 % – 30 %
Logística optimizada + combustibles alternativos	25 % – 35 %
Estrategia integral (las tres medidas)	30 % – 45 %

La aplicación de las estrategias de sostenibilidad propuestas permitiría alcanzar reducciones potenciales de emisiones de CO_{2e} comprendidas entre el 30 % y el 45 %, considerando un escenario combinado de renovación del parque vehicular, optimización de rutas y cargas, y adopción progresiva de combustibles alternativos. Estos porcentajes se estiman a partir de la comparación entre la intensidad media actual del sistema y los valores de referencia de vehículos eficientes, manteniendo constante el nivel de actividad del transporte.

Las estrategias de sostenibilidad propuestas se fundamentan en los resultados del análisis de emisiones y de intensidad de emisiones del parque vehicular. La implementación de vehículos más eficientes, el uso de tecnologías de gestión logística y la adopción progresiva de combustibles alternativos constituyen acciones complementarias que permitirían mejorar el desempeño ambiental del transporte, priorizando la reducción de emisiones potencialmente sin afectar la competitividad operativa.

3.4 Caso carro en duplas

Al desarrollar un análisis puntual a la situación del servicio Automotivo Inplas Valladolid, demostró la existencia de una problemática significativa tanto operativo como ambiental directamente relacionadas con la generación sistemática de recorrido en vacío de hasta 434 km por ciclo operativo. Siendo esto la consecuencia de factores exógenos como: restricciones horarias de los clientes, variabilidad en los horarios de descarga y limitaciones derivadas de los tiempos máximos de conducción, forzando a que los vehículos retornen sin carga útil. Aumentando tanto el consumo de combustible como de las emisiones de CO₂ sin aportación del valor logístico.

A razón de materializar una solución, la empresa Luís Simões, estableció una redimensión de la estrategia del modelo operativo enfocada en la optimización de la gestión de los tiempos de conducción y descanso de los motoristas. Por lo que fue asignada la operación a conductores que realizaban viaje directo hasta Valladolid, que arriban al destino con una conducción efectiva de un promedio de 7 horas y media, en relación a la jornada cercada a las 10 horas de trabajo. Por lo tanto, en vez de iniciar el retorno de forma inmediata, el conductor tiene un tiempo de descanso reglamentario en el destino conservando la permanencia en las instalaciones de los clientes o en zonas habilitadas.

De esta manera se facilita al conductor el inicio de una nueva jornada con disponibilidad horaria absoluta, eliminando así las restricciones temporales que en el escenario analizado

condicionaban las opciones de carga. Por esta razón el vehículo está en el destino hasta tener una carga confirmada, eliminando los 434 kilómetros de recorrido en vacío originando un cambio en el flujo logístico para un proceso más eficiente y con mayor sostenibilidad.

Este ajuste impacta directamente sobre la reducción de las emisiones de CO_{2e}, además son cuantificables al considerarse un promedio de 0,32 litros de combustible por kilómetro y un factor de emisión de 2,68 kg CO_{2e} por litro, ya que los 434 km en vacío son un promedio de consumo de 138,88 litros de combustible, lo que en proporción representa a 372,2 kg de CO_{2e} generados por ciclo operativo. Al suprimir estos valores se genera una reducción directa en más de 370 kg de CO_{2e} por ciclo, sin impactar sobre la continuidad y calidad del servicio.

Al comparar el escenario anterior con el modelo reconfigurado se evidencia mejoras importantes en los principales indicadores ambientales del servicio, a que los recorridos en vacío creaban un consumo de combustible improductivo, reducción de la eficiencia en la capacidad de carga y aumento innecesario de la huella de carbono. No obstante, el modelo reconfigurado elimina desplazamientos sin carga mejorando la relación entre los kilómetros recorridos y la carga transportada en la Tabla 20, se presenta la información consolidada.

Tabla 20 Comparativo aplicado a cada carro en duplaas

Indicador	Modelo operativo inicial (antes)	Modelo reconfigurado (después)
Kilómetros en vacío por ciclo	434 km	0 km
Consumo de combustible en vacío	138,88 litros	0 litros
Emisiones de CO _{2e} asociadas	372,2 kg CO _{2e}	0 kg CO _{2e}
Aprovechamiento de la capacidad de carga	Bajo	Alto
Eficiencia ambiental del servicio	Limitada	Optimizada

Si se considera la repetición de este flujo operativo a lo largo del año, la reducción acumulada de emisiones puede alcanzar varias toneladas de CO_{2e} anuales, consolidando esta reconfiguración como una estrategia de alto impacto ambiental. Asimismo, la mejora en la eficiencia del transporte contribuye indirectamente a la reducción de costos operativos y al fortalecimiento del desempeño sostenible de la empresa.

Por lo tanto, la reconfiguración del modelo operativo implementada por la empresa Luís Simões demuestra que la optimización de la planificación logística y la gestión del factor humano constituye una herramienta clave para la reducción de la huella de carbono en el transporte terrestre. El análisis comparativo antes y después evidencia que la eliminación de los kilómetros en vacío no solo resuelve una problemática operativa, sino que se consolida como una solución sostenible, eficiente y replicable, alineada con los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental de la organización.

4. Impacto Ambiental, Económico y Social

En las últimas décadas, la sostenibilidad se ha consolidado como uno de los principales ejes de transformación de las organizaciones, impulsada por la necesidad de responder a desafíos globales como el cambio climático, la eficiencia en el uso de los recursos y las crecientes demandas de responsabilidad social por parte de gobiernos, clientes y la sociedad en general (Santos Reyes et al. 2025). En este contexto, las empresas han evolucionado desde modelos tradicionales centrados exclusivamente en el rendimiento económico hacia enfoques de gestión que consideran de manera simultánea los efectos que sus actividades generan sobre el medio ambiente, la economía y el bienestar social (Puigvert Romia, 2025).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas ONU, (2023), el desarrollo sostenible requiere equilibrar el crecimiento económico, la protección ambiental y el progreso social, garantizando que las necesidades actuales sean satisfechas sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras. Por lo tanto, la sostenibilidad empresarial contemporánea se fundamenta en la integración equilibrada de las dimensiones ambiental, económica y social, enfoque ampliamente conocido como Triple Bottom Line (Barragán Codina et al. 2024).

Aunque este concepto fue originalmente desarrollado por Elkington, (1999), investigaciones recientes continúan validando su importancia en la gestión organizacional y logística. En este sentido, Ramírez Cortés et al. (2025) señalan que las organizaciones sostenibles deben generar valor simultáneamente en las tres dimensiones para garantizar su competitividad y permanencia a largo plazo. De manera complementaria, (Moreria Cañarte et al. (2024) sostienen que los resultados ambientales, económicos y sociales son elementos interdependientes que deben ser gestionados de forma estratégica para alcanzar un desarrollo sostenible efectivo. Asimismo, Guijarro Urueña, (2025) destacan que, en el ámbito logístico, la evaluación conjunta de estas dimensiones permite identificar beneficios integrales derivados de las iniciativas de sostenibilidad.

Bajo esta perspectiva, el análisis de las estrategias propuestas para la empresa Luís Simões no debe limitarse exclusivamente a la reducción de emisiones de dióxido de carbono, sino que debe considerar también los efectos económicos asociados a la

eficiencia operativa y los beneficios sociales generados sobre trabajadores, clientes y demás grupos de interés. Por ello, en los siguientes apartados se evalúan los impactos ambientales, económicos y sociales derivados de la implementación de las acciones de sostenibilidad planteadas en la presente investigación.

4.1 Impacto ambiental

A partir del análisis de la huella de carbono del sistema de transporte, se determinó una intensidad media de emisiones de 0,000335 kg de CO_{2e} por tonelada-kilómetro, evidenciándose además una marcada diferencia en el desempeño ambiental entre los distintos vehículos de la flota. Esta heterogeneidad pone de manifiesto que existen márgenes claros de mejora, especialmente a través de intervenciones focalizadas en las unidades menos eficientes y en la forma en que se gestionan las operaciones de transporte.

La aplicación conjunta y progresiva de diversas estrategias de sostenibilidad permitiría avanzar de manera significativa en la reducción de las emisiones asociadas al transporte. En un escenario conservador, medidas como la renovación parcial del parque vehicular, la optimización de rutas y cargas, y la incorporación de combustibles alternativos más limpios podrían generar una disminución global de las emisiones de CO_{2e} estimada entre el 30 % y el 45 %, sin necesidad de reducir el volumen de actividad logística ni afectar la capacidad de servicio.

Este enfoque resulta especialmente relevante, ya que demuestra que es posible mejorar el desempeño ambiental del sistema sin comprometer la eficiencia operativa ni la competitividad de la empresa. Al mantener constante el nivel de actividad, las reducciones alcanzadas reflejan directamente el impacto positivo de las mejoras tecnológicas y operativas implementadas, y no cambios externos en la demanda o en la producción.

En conjunto, esta reducción progresiva de las emisiones contribuye de forma directa al cumplimiento de los objetivos climáticos establecidos a nivel europeo, al tiempo que fortalece el desempeño ambiental corporativo. Asimismo, permite avanzar hacia una gestión del transporte más responsable, reduciendo la huella de carbono de la actividad logística y posicionando a la organización como un actor comprometido con la sostenibilidad y la transición hacia modelos de movilidad de menor impacto ambiental.

4.2 Beneficios Económicos

Además de los beneficios ambientales, las estrategias propuestas generan impactos económicos positivos, derivados principalmente de la reducción del consumo de combustible, la optimización del uso de los activos y la mejora de la competitividad empresarial.

La incorporación de criterios de sostenibilidad en la gestión del transporte y la logística no solo responde a exigencias ambientales y regulatorias, sino que también genera oportunidades concretas de mejora económica para las organizaciones. En un contexto marcado por la volatilidad de los precios de la energía, la creciente competencia y la necesidad de optimizar recursos, resulta fundamental analizar cómo las estrategias orientadas a la eficiencia pueden traducirse en beneficios financieros sostenibles.

Este capítulo tiene como objetivo examinar los beneficios económicos derivados de la implementación de las medidas propuestas en el sistema de transporte analizado. A partir de la mejora en la eficiencia energética, la optimización de rutas y cargas, la modernización del parque vehicular y la adopción de tecnologías de gestión, se evalúa su impacto en la reducción de costos operativos, tales como el consumo de combustible, el mantenimiento de la flota y los tiempos improductivos.

Asimismo, el análisis considera los efectos indirectos asociados a estas mejoras, como el aumento de la productividad, la prolongación de la vida útil de los vehículos, la disminución de incidencias operativas y el fortalecimiento de la competitividad de la empresa en el mercado. En este sentido, los beneficios económicos se entienden no solo como ahorros inmediatos, sino como una contribución estratégica al desempeño financiero y a la sostenibilidad a largo plazo de la organización.

De este modo, el capítulo pone de relieve la estrecha relación entre sostenibilidad y rentabilidad, demostrando que las decisiones orientadas a reducir el impacto ambiental del transporte pueden, al mismo tiempo, generar valor económico, mejorar la eficiencia del negocio y reforzar la capacidad de adaptación de la empresa frente a los desafíos actuales y futuros del sector logístico.

4.2.1 Análisis de ahorros en combustible y mantenimiento

La mejora en la eficiencia del consumo de combustible, asociada a la incorporación de vehículos más eficientes y a una gestión logística optimizada, permite reducir significativamente los costos operativos. Se estima que la optimización del consumo de combustible puede traducirse en ahorros económicos significativos, situados en un rango aproximado de entre el 10 % y el 25 %. Esta reducción responde principalmente a una mejor gestión de las rutas, al uso más eficiente de los vehículos y a la adopción de prácticas de conducción orientadas al ahorro energético, lo que impacta directamente en uno de los principales costos operativos del transporte.

Por otro lado, la renovación progresiva del parque vehicular permite disminuir de forma considerable los costos asociados al mantenimiento correctivo. La incorporación de vehículos más modernos y tecnológicamente avanzados reduce la frecuencia de averías, el desgaste prematuro de componentes y los tiempos de inactividad, lo que se traduce en una mayor disponibilidad operativa y en menores gastos imprevistos.

Asimismo, la promoción de una conducción más eficiente, combinada con una planificación adecuada de las rutas, contribuye a prolongar la vida útil de los vehículos. Al reducir esfuerzos innecesarios del motor, frenadas bruscas y recorridos poco eficientes, se logra no solo un menor consumo de combustible, sino también una utilización más racional de los activos, generando beneficios económicos sostenidos en el mediano y largo plazo. Estos ahorros compensan parcialmente la inversión inicial requerida para la implementación de las medidas propuestas.

4.2.2 Ventajas competitivas y atracción de clientes sostenibles

La reducción de la huella de carbono y la adopción de prácticas sostenibles fortalecen la imagen corporativa de la empresa, generando ventajas competitivas en un mercado cada vez más exigente en términos ambientales. Entre los principales beneficios derivados de la implementación de estrategias de sostenibilidad destaca, en primer lugar, el aumento del atractivo de la empresa para clientes comprometidos con la reducción del impacto ambiental. Cada vez más organizaciones priorizan proveedores que demuestran una gestión responsable de sus emisiones, por lo que contar con un desempeño ambiental sólido se convierte en un factor clave en la toma de decisiones comerciales.

Asimismo, la mejora del posicionamiento en procesos de licitación y en la adjudicación de contratos que incorporan criterios ambientales representa una ventaja competitiva relevante. La capacidad de acreditar acciones concretas de reducción de emisiones y eficiencia energética permite a la empresa cumplir con los requisitos exigidos por clientes públicos y privados, aumentando sus posibilidades de acceso a nuevos mercados y oportunidades de negocio.

De igual forma, la adopción de estrategias orientadas a la reducción de emisiones contribuye a una clara diferenciación frente a competidores que aún no han incorporado prácticas sostenibles en su gestión operativa. Esta diferenciación refuerza la imagen corporativa, fortalece la reputación de la empresa y consolida su posicionamiento como un actor responsable e innovador dentro del sector. En este sentido, la sostenibilidad deja de ser únicamente un compromiso ambiental para convertirse en un verdadero factor estratégico de valor añadido, capaz de generar ventajas competitivas, fortalecer las relaciones comerciales y contribuir de manera directa al crecimiento y la proyección a largo plazo de la organización.

4.2.3 Consideración de incentivos y subsidios disponibles

En el contexto europeo, existen diversos programas de incentivos y subsidios destinados a promover la eficiencia energética y la reducción de emisiones en el transporte. Entre los beneficios económicos asociados a la implementación de estrategias de sostenibilidad se encuentra el acceso a distintos mecanismos de apoyo e incentivos públicos. Entre ellos destacan las subvenciones destinadas a la adquisición de vehículos de bajas emisiones, las cuales permiten reducir de forma significativa la inversión inicial necesaria para la renovación del parque vehicular y facilitan la incorporación de tecnologías más limpias.

Asimismo, existen incentivos fiscales orientados al uso de combustibles alternativos, que contribuyen a disminuir los costos operativos recurrentes y hacen más atractiva la transición hacia fuentes de energía con menor impacto ambiental. Este tipo de beneficios fiscales refuerza la viabilidad económica de las medidas sostenibles y favorece su adopción progresiva por parte de las empresas del sector.

De manera complementaria, los programas de apoyo a la digitalización y a la optimización logística ofrecen oportunidades para mejorar la eficiencia operativa mediante la implementación de herramientas tecnológicas avanzadas. Estas iniciativas

permiten optimizar procesos, reducir ineficiencias y mejorar la toma de decisiones, generando ahorros tanto económicos como ambientales.

El aprovechamiento conjunto de estos mecanismos de apoyo no solo contribuye a reducir el costo de implementación de las estrategias de sostenibilidad, sino que también acelera el retorno de la inversión. De este modo, la sostenibilidad se consolida como una opción económicamente viable y estratégicamente favorable para la empresa, alineando los objetivos financieros con los compromisos ambientales a mediano y largo plazo.

4.3 Impacto Social

El impacto social de las actividades de transporte y logística constituye un componente fundamental dentro de un enfoque integral de sostenibilidad. Más allá de los efectos ambientales y económicos, las decisiones operativas y estratégicas de una organización influyen directamente en las personas, en las comunidades donde desarrolla su actividad y en la red de actores con los que interactúa. Por ello, analizar el impacto social permite comprender cómo la gestión del transporte puede contribuir al bienestar colectivo, a la mejora de las condiciones laborales y al fortalecimiento de relaciones responsables a lo largo de la cadena de valor.

Este capítulo tiene como objetivo evaluar el impacto social derivado del sistema de transporte analizado, poniendo especial atención en dos ámbitos clave. En primer lugar, se examina el impacto en la comunidad y en las condiciones de trabajo de los conductores, considerando aspectos como la seguridad vial, la salud y el bienestar laboral, la estabilidad del empleo y la calidad de las condiciones en las que se desarrollan las operaciones. La mejora de estos factores no solo repercute positivamente en los trabajadores, sino que también contribuye a una convivencia más segura y responsable con la comunidad.

En segundo lugar, el capítulo aborda las relaciones con proveedores y colaboradores, analizando la forma en que la empresa promueve prácticas éticas, transparentes y sostenibles en su red de suministro. El establecimiento de relaciones basadas en la confianza, el cumplimiento normativo y la mejora continua resulta esencial para garantizar un desempeño social responsable y para extender los principios de sostenibilidad más allá de la propia organización.

En conjunto, este capítulo busca poner de manifiesto que el impacto social del transporte no se limita a un ámbito interno, sino que se proyecta hacia el entorno y la cadena de valor. De este modo, se destaca la importancia de integrar criterios sociales en la gestión del transporte como un elemento clave para el desarrollo sostenible, la responsabilidad corporativa y la generación de valor a largo plazo para todos los grupos de interés.

Las estrategias de sostenibilidad no solo generan beneficios ambientales y económicos, sino que también producen efectos positivos en el ámbito social, especialmente en relación con los trabajadores y la comunidad.

4.3.1 Impacto en la comunidad y en las condiciones de trabajo de los conductores

La reducción de emisiones y del consumo de combustible contribuye a una menor contaminación ambiental, beneficiando directamente a las comunidades ubicadas en los corredores de transporte. Asimismo, la modernización del parque vehicular, junto con la incorporación de tecnologías de asistencia a la conducción, contribuye de manera significativa a mejorar las condiciones de trabajo de los conductores. Estos avances no solo optimizan el desempeño operativo, sino que también tienen un impacto directo en el bienestar y la seguridad de quienes desarrollan su labor diaria al volante.

La incorporación de vehículos más modernos permite ofrecer un mayor nivel de confort y seguridad, gracias a sistemas avanzados de asistencia, cabinas mejor insonorizadas y dispositivos de apoyo a la conducción. Estos elementos reducen la exposición a riesgos y favorecen una experiencia de trabajo más segura y controlada. Además, el uso de tecnologías orientadas a la eficiencia y a la conducción asistida contribuye a disminuir la fatiga laboral, al facilitar una conducción más estable y predecible, especialmente en trayectos largos.

A ello se suman mejoras en las condiciones ergonómicas y operativas, como asientos adaptables, controles más accesibles y sistemas automatizados, que permiten reducir el esfuerzo físico y mental del conductor. En conjunto, estas mejoras refuerzan la calidad del entorno laboral, favorecen la salud y el bienestar de los conductores y contribuyen a una operación de transporte más segura, eficiente y socialmente responsable.

4.3.2 Relaciones con proveedores y colaboradores

La adopción de criterios de sostenibilidad contribuye de manera significativa a fortalecer las relaciones con proveedores y colaboradores, promoviendo el desarrollo de una cadena

de suministro más responsable y alineada con los valores de la organización. Este enfoque permite extender el compromiso ambiental más allá de las operaciones propias, generando un impacto positivo a lo largo de toda la red de valor.

En este sentido, la selección de proveedores comprometidos con prácticas ambientales responsables se convierte en un elemento clave. Priorizar socios comerciales que adopten medidas de eficiencia energética, reducción de emisiones y cumplimiento normativo favorece una gestión más coherente y sostenible del conjunto de las operaciones.

Asimismo, el fomento de la colaboración con proveedores y aliados estratégicos orientada a la reducción conjunta de emisiones permite compartir buenas prácticas, optimizar procesos y desarrollar soluciones comunes frente a los desafíos ambientales. Esta cooperación refuerza las relaciones a largo plazo y contribuye a mejorar el desempeño ambiental global de la cadena de suministro.

Por otro lado, la integración de la sostenibilidad en la gestión cotidiana mejora el clima organizacional y fortalece el compromiso del personal con los objetivos ambientales de la empresa. Cuando los colaboradores perciben que la organización actúa de forma responsable y coherente, se incrementa el sentido de pertenencia, la motivación y la implicación en la consecución de metas compartidas, consolidando una cultura corporativa orientada a la sostenibilidad.

5 Medición y Seguimiento

La implementación de estrategias orientadas a la sostenibilidad y a la mejora del desempeño ambiental, económico y social del sistema de transporte requiere, de manera indispensable, de mecanismos adecuados de medición y seguimiento (Sabando Dender y Delgado Chávez, 2025). Sin un control sistemático de los resultados, las acciones emprendidas carecen de una base objetiva que permita evaluar su efectividad, identificar desviaciones y orientar oportunamente la toma de decisiones.

En este contexto, el presente capítulo tiene como finalidad establecer un marco metodológico para la medición y el seguimiento continuo de los indicadores clave asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero, la eficiencia operativa, los costos logísticos y los impactos sociales derivados de la actividad de transporte. La utilización de indicadores claros, medibles y comparables en el tiempo permite transformar la sostenibilidad en un proceso gestionable, basado en datos y evidencias.

Asimismo, la medición y el seguimiento facilitan la evaluación del grado de cumplimiento de los objetivos planteados, así como la verificación del avance hacia las metas de reducción de emisiones y optimización de recursos. Este enfoque favorece la mejora continua del sistema, al permitir la detección temprana de oportunidades de optimización y la corrección de prácticas que no generan los resultados esperados.

Finalmente, este capítulo busca consolidar una cultura organizacional orientada a la gestión responsable y transparente del desempeño, proporcionando herramientas que respalden la rendición de cuentas y la comunicación de resultados a los distintos grupos de interés. De este modo, la medición y el seguimiento se constituyen en pilares fundamentales para asegurar la sostenibilidad y la competitividad del sistema de transporte a largo plazo. La sostenibilidad requiere un sistema continuo de medición, evaluación y mejora, que permita verificar el cumplimiento de los objetivos y ajustar las estrategias cuando sea necesario.

5.1. Establecimiento de indicadores clave de desempeño (KPIs)

Para garantizar un seguimiento efectivo del desempeño ambiental y operativo del sistema de transporte, resulta fundamental definir y monitorear un conjunto de indicadores clave que permitan evaluar, de manera objetiva y periódica, los avances alcanzados a partir de la implementación de las estrategias de sostenibilidad. Estos indicadores transforman la información operativa en datos cuantificables, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia y el control de la mejora continua. En la Tabla 21, se presentan los indicadores desarrollados.

Tabla 21 Indicadores de seguimiento

Indicador	Descripción	Unidad de medida	Fórmula de cálculo	Objetivo del indicador
Emisiones totales de CO₂e	Cuantifica el volumen total de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad de transporte en un periodo determinado, a partir del consumo de combustible.	kg CO ₂ e	$\text{Emisiones CO}_2\text{e} = \sum (\text{Consumo de combustible} \times \text{Factor de emisión})$	Medir el impacto ambiental global del sistema y evaluar la reducción absoluta de emisiones.
Intensidad de emisiones	Relaciona las emisiones generadas con el nivel de actividad logística, permitiendo comparar el desempeño entre vehículos, rutas o periodos.	kg CO ₂ e/t·km	$\text{Intensidad} = \frac{\text{Emisiones CO}_2\text{e}}{(\text{Toneladas transportadas} \times \text{Kilómetros recorridos})}$	Evaluar la eficiencia ambiental del transporte independientemente del volumen de actividad.
Consumo específico de combustible	Mide la eficiencia energética de los vehículos en función de la distancia recorrida.	l/100 km	$\text{Consumo específico} = \frac{(\text{Consumo de combustible} / \text{Kilómetros recorridos}) \times 100}{100}$	Identificar oportunidades de mejora en conducción, mantenimiento y planificación de rutas.
Utilización de la capacidad de carga	Evalúa el grado de aprovechamiento de la capacidad máxima de los vehículos durante las operaciones de transporte.	%	$\text{Utilización (\%)} = \frac{(\text{Carga transportada} / \text{Capacidad máxima del vehículo}) \times 100}{100}$	Reducir viajes con carga parcial y optimizar la asignación de cargas.
Kilómetros por tonelada transportada	Analiza la eficiencia logística relacionando la distancia recorrida con la carga efectivamente transportada.	km/t	$\text{Km por tonelada} = \frac{\text{Kilómetros recorridos}}{\text{Toneladas transportadas}}$	Detectar recorridos innecesarios y mejorar la planificación logística.

5.2. Monitoreo constante de los progresos

El seguimiento periódico de los KPIs constituye una herramienta fundamental para garantizar una gestión eficiente y sostenible del sistema de transporte. A través del monitoreo continuo de estos indicadores, la organización puede identificar de manera temprana posibles desviaciones respecto a los objetivos ambientales y operativos previamente establecidos, lo que permite actuar de forma oportuna antes de que dichas desviaciones se consoliden o generen impactos negativos más significativos.

Asimismo, el análisis sistemático de los KPIs facilita la detección de oportunidades de mejora en la operación diaria, ya sea en la planificación de rutas, en el aprovechamiento de la capacidad de carga, en los hábitos de conducción o en el desempeño energético de la flota. Este enfoque basado en datos objetivos contribuye a optimizar los procesos, reducir ineficiencias y reforzar la toma de decisiones fundamentadas en evidencias cuantificables.

Por otro lado, el seguimiento de los indicadores permite evaluar la efectividad real de las medidas de sostenibilidad implementadas, verificando si las acciones adoptadas generan los resultados esperados en términos de reducción de emisiones, ahorro de combustible y mejora del desempeño global. De esta manera, los KPIs no solo funcionan como instrumentos de control, sino también como mecanismos de aprendizaje y mejora continua.

En este contexto, el uso de herramientas digitales y plataformas de gestión logística y ambiental adquiere un papel clave, ya que facilitan la recopilación automática de datos, su análisis en tiempo real y la generación de reportes periódicos. Estas soluciones tecnológicas fortalecen la transparencia del proceso de seguimiento, reducen la carga administrativa y permiten una gestión más ágil, precisa y alineada con los objetivos estratégicos de sostenibilidad de la organización.

5.3. Ajustes y mejoras continuas

El enfoque de mejora continua se basa en la revisión sistemática y periódica de los resultados obtenidos, con el fin de evaluar si las estrategias implementadas están generando los efectos esperados en el desempeño ambiental y operativo del sistema de transporte. Este análisis constante permite comprender la evolución del desempeño, identificar fortalezas y detectar áreas que requieren ajustes o intervenciones adicionales,

evitando que las acciones de sostenibilidad se limiten a iniciativas aisladas o de corto plazo.

Dentro de este proceso, resulta fundamental la actualización permanente de los planes de acción, adaptándolos a los cambios en el entorno operativo, a los avances tecnológicos y a los nuevos objetivos estratégicos de la organización. De manera complementaria, la capacitación continua del personal desempeña un papel clave, ya que fortalece las competencias técnicas, promueve una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y asegura que las buenas prácticas se apliquen de forma consistente en la operación diaria.

Asimismo, la incorporación progresiva de nuevas tecnologías y de buenas prácticas permite mejorar de forma gradual la eficiencia energética, la seguridad y el desempeño ambiental del sistema de transporte. Estas innovaciones, integradas de manera planificada, contribuyen a consolidar los avances alcanzados y a potenciar nuevas oportunidades de mejora.

De esta forma, la sostenibilidad deja de entenderse como un objetivo puntual para convertirse en un proceso dinámico y permanente dentro de la organización, sustentado en la evaluación continua, el aprendizaje organizacional y la capacidad de adaptación frente a los desafíos económicos, sociales y ambientales del entorno.

6 Conclusiones y Recomendaciones

El presente capítulo presenta de manera integrada las conclusiones, limitaciones y recomendaciones que se derivan del análisis desarrollado a lo largo del estudio, recogiendo los principales resultados obtenidos en los ámbitos ambiental, económico y social del sistema de transporte evaluado. A partir del examen de la huella de carbono, del desempeño operativo y de los efectos asociados a la aplicación de estrategias de sostenibilidad, se sintetizan los hallazgos más relevantes, permitiendo una visión clara y global del funcionamiento del sistema y de su grado de alineación con los objetivos planteados.

Las conclusiones se plantean como una reflexión final que pone en valor los efectos reales de las medidas analizadas, resaltando tanto los avances alcanzados como aquellas áreas donde aún existen oportunidades de mejora. Este proceso de síntesis facilita comprender el impacto efectivo de las estrategias propuestas, evidenciando su potencial para reducir emisiones, optimizar el uso de recursos y fortalecer la competitividad empresarial, sin afectar la calidad del servicio ni las condiciones de trabajo del personal involucrado.

Si bien la presente investigación permitió alcanzar los objetivos propuestos y generar resultados relevantes para la reducción de las emisiones de CO₂ en las operaciones de transporte de la empresa Luís Simões, es importante reconocer algunas limitaciones que condicionan el alcance de los resultados obtenidos. Estas limitaciones no comprometen la validez de la investigación, sino que delimitan su ámbito de aplicación y constituyen oportunidades para el desarrollo de futuras investigaciones.

Una de las principales limitaciones de esta investigación fue la necesidad de considerar un valor medio de consumo de combustible para los vehículos analizados. En la práctica, el consumo real varía en función de numerosos factores operacionales, como el tipo de carretera, la altitud, la pendiente, las condiciones del tráfico, el estilo de conducción, las condiciones meteorológicas, la carga transportada y las aceleraciones y frenadas. Por tanto, los resultados obtenidos representan una aproximación razonable del comportamiento medio de la flota, pero no reflejan todas las variaciones que se producen durante la operación real.

Otra limitación del estudio consiste en que la evaluación cuantitativa se centró principalmente en la dimensión ambiental de la sostenibilidad, mediante indicadores relacionados con las emisiones de CO_{2e}. Las dimensiones económica y social fueron analizadas de forma cualitativa y conceptual, sin el desarrollo de indicadores cuantitativos que permitieran medir objetivamente aspectos como la rentabilidad económica de las inversiones propuestas, el retorno financiero o los impactos sociales derivados de las estrategias de sostenibilidad. Futuras investigaciones podrían incorporar un conjunto de indicadores específicos para evaluar de forma integrada las tres dimensiones de la sostenibilidad.

Por otra parte, las recomendaciones se formulan desde un enfoque práctico y orientado al futuro, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones estratégicas y guiar la implementación gradual de acciones de mejora. Estas propuestas se sustentan en los resultados obtenidos y en buenas prácticas del sector, buscando consolidar un modelo de gestión del transporte que sea más eficiente, responsable y sostenible en el largo plazo.

En conjunto, este capítulo cierra el análisis realizado, aportando orientaciones claras y aplicables que permiten transformar los resultados del estudio en acciones concretas. De este modo, se refuerza el compromiso de la organización con la sostenibilidad, la mejora continua y la generación de valor económico, social y ambiental.

6.1 Conclusiones

Para desarrollar el análisis de la sostenibilidad enfocada en las emisiones de CO₂ de los vehículos de la empresa Luís Simões entre el año 2023 y 2024. Fue necesario desarrollar objetivos específicos que sirvieron de apoyo y materializaron el objetivo general. En concordancia con los parámetros metodológicos establecidos para este estudio.

Inicialmente fue diagnosticada la situación actual de las emisiones de CO₂ mediante indicadores clave de desempeño KPIs que establezcan la cuantificación y monitoreo efectivo. A través del uso de KPIs, como las emisiones totales de CO_{2e}, la intensidad de emisiones por tonelada-kilómetro y el consumo específico de combustible, se estableció una línea base clara y cuantificable del impacto ambiental de la operación. Los resultados evidenciaron una intensidad media de emisiones de 0,000335 kg CO_{2e}/t·km, así como una marcada heterogeneidad entre vehículos, atribuida a factores como la antigüedad de la flota, el tipo de tecnología empleada, el nivel de carga y las condiciones operativas. Este análisis confirmó la utilidad de los KPIs como herramientas efectivas para el monitoreo

continuo del desempeño ambiental y para la identificación de unidades con menor eficiencia, las cuales requieren atención prioritaria.

Seguidamente fueron determinadas metas de reducción de emisiones de CO₂ minimizando el impacto en el ambiente de forma progresiva, alineadas con estándares europeos y con los objetivos de descarbonización del transporte. El análisis demostró que, manteniendo constante el nivel de actividad logística, la empresa puede aspirar a reducciones globales de emisiones en un rango estimado entre el 30 % y el 45 %, mediante la aplicación combinada de mejoras tecnológicas y operativas. Estas metas permiten minimizar el impacto ambiental de manera gradual, evitando afectaciones negativas en la eficiencia operativa y en la calidad del servicio. De este modo, se concluye que la sostenibilidad ambiental y la continuidad del negocio no son objetivos contrapuestos, sino complementarios cuando se planifican adecuadamente.

Además, fueron generadas estrategias en las que se consideren tecnologías limpias que contribuyan en la reducción de emisiones, orientadas a la incorporación progresiva de tecnologías más limpias y eficientes, como la renovación del parque vehicular con unidades Euro VI o superiores, el uso de biocombustibles, y la adopción gradual de vehículos propulsados por GNL, GNC y, a futuro, tecnologías eléctricas o de hidrógeno verde. Estas estrategias demostraron un alto potencial de contribución a la reducción de emisiones de CO₂, al tiempo que generan beneficios colaterales, como la disminución del consumo de combustible, la reducción de costos de mantenimiento y la mejora de las condiciones de trabajo de los conductores. En este sentido, se concluye que la transición hacia tecnologías limpias representa una oportunidad estratégica para fortalecer la competitividad y la imagen corporativa de la empresa.

Finalmente fue diseñado un sistema de monitoreo continuo que permita la evaluación en la reducción de emisiones de CO₂ y aplicando los ajustes necesarios, basado en KPIs constituye un elemento clave para garantizar la efectividad de las estrategias de reducción de emisiones. En conjunto con el uso de herramientas digitales de gestión y análisis de datos, permite evaluar de forma periódica el desempeño ambiental, detectar desviaciones respecto a los objetivos establecidos y aplicar ajustes oportunos. Este enfoque de seguimiento permanente y mejora continua consolida la sostenibilidad como un proceso dinámico dentro de la organización, asegurando que la reducción de emisiones de CO₂ no sea una acción puntual, sino una práctica integrada en la gestión operativa y estratégica de la empresa Luís Simões.

6.3 Recomendaciones

En concordancia con cada una de las conclusiones planteadas es importante considerar la consolidación del uso de los KPIs definidos en el estudio como parte integral del sistema de gestión ambiental y operativa de la empresa. Estos indicadores deben ser incorporados de manera sistemática en los procesos de planificación, control y evaluación del desempeño del parque vehicular. Asimismo, se sugiere establecer una periodicidad fija para la medición y análisis de los KPIs, garantizando la disponibilidad de información actualizada y confiable. Esto permitirá identificar de forma temprana desviaciones en el consumo de combustible y en las emisiones de CO₂, así como priorizar la intervención en los vehículos con menor eficiencia ambiental. De igual forma se recomienda capacitar al personal técnico y operativo en la interpretación de los indicadores, de modo que los resultados obtenidos no solo se limiten a un control numérico, sino que sirvan como base para la toma de decisiones operativas y estratégicas orientadas a la sostenibilidad.

Se recomienda formalizar metas de reducción de emisiones de CO₂ a corto, mediano y largo plazo, alineadas con los rangos de reducción identificados en el estudio y con los compromisos climáticos europeos. Estas metas deben ser realistas, medibles y revisadas periódicamente en función del desempeño alcanzado y de la evolución tecnológica del sector. Adicionalmente, se sugiere integrar estas metas en la planificación estratégica de la empresa, vinculándolas con indicadores económicos y operativos, de manera que la reducción de emisiones se perciba como un factor de eficiencia y no como un costo adicional. Este enfoque facilitará la asignación de recursos y el compromiso de las distintas áreas de la organización. Y, se recomienda comunicar de forma transparente los avances logrados en la reducción de emisiones, tanto a nivel interno como externo, fortaleciendo la cultura organizacional orientada a la sostenibilidad y mejorando la imagen corporativa de la empresa.

Se recomienda priorizar la renovación progresiva del parque vehicular, comenzando por las unidades identificadas como más ineficientes, mediante la incorporación de vehículos con tecnologías de bajas y cero emisiones, como motores Euro VI, unidades propulsadas por GNL o GNC, y el uso de biocombustibles certificados. Asimismo, se sugiere realizar estudios piloto para evaluar la viabilidad técnica y económica de tecnologías emergentes, como camiones eléctricos o de hidrógeno verde, considerando la disponibilidad de infraestructura, los costos de operación y el tipo de rutas utilizadas por la empresa.

Adicionalmente, se recomienda complementar la adopción de tecnologías limpias con programas de formación continua para los conductores, enfocados en conducción eficiente y uso óptimo de los sistemas de asistencia, maximizando así los beneficios ambientales y económicos de las inversiones realizadas.

Se recomienda implementar un sistema digital integrado de monitoreo que permita recopilar, procesar y analizar en tiempo real la información relacionada con el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ y el desempeño operativo de los vehículos. Este sistema debe facilitar la generación de reportes periódicos y comparables en el tiempo. Asimismo, se sugiere establecer un mecanismo de revisión y mejora continua, en el cual los resultados del monitoreo sirvan para actualizar los planes de acción, ajustar las estrategias de reducción de emisiones y definir nuevas medidas correctivas o preventivas cuando sea necesario. Finalmente, se recomienda asignar responsabilidades claras dentro de la organización para la gestión del sistema de seguimiento, garantizando la continuidad y efectividad en el tiempo, y consolidando la sostenibilidad ambiental como un eje transversal en la gestión del transporte de la empresa Luís Simões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barragán Codina, J. N., Guerra Rodríguez, P., & Vizcaíno González, J. N. (2024). Integración de la Responsabilidad Social en los Modelos de Negocios Sostenibles: Estrategias, Herramientas y Tendencias Emergentes para el Éxito Empresarial. *Revista Daena: International Journal of Good Conscience*, 19(2), 1-21. <https://acortar.link/Wag1on>
- CE. (2021). Objetivo 55. *Consilium Europa*. <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/fit-for-55/>
- CE. (2024). Vehículos Pesados. Comisión Europea. *Comisión Europea*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/road-transport/lorries-buses-and-coaches_en
- City, C. (2024). Zonas de Bajas Emisiones: Guía Esencial. Soluciones Prácticas para Autoridades Locales. https://spain.cleancitiescampaign.org/wp-content/uploads/2024/10/Zonas-de-Bajas-Emisiones-la-guia-esencial_v3.pdf
- Coelho, C. S., & Coelho, C. E. (2025). Sostenibilidad empresarial: descifrando el código para el nuevo estándar en la toma de decisiones. *Actas Iberoamericanas en Ciencias Sociales*, 30(1), 120-136. <https://doi.org/10.69821/AICIS.v3i1.84>
- EEA. (2016). Manual EMEP/EEA para inventarios de emisiones. <https://www.ccacoalition.org/es/resources/air-pollutant-emission-inventory-guidebook>
- EEA. (2024). Tendencias y proyecciones en Europa 2024. *European Environment Agency (EEA)*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-2024>
- Elkington, J. (1999). Triple bottom line revolution-reporting for. *Australian CPA*, 69(11). <https://acortar.link/yzFopj>
- EUR. (2023). Normativa VI o Euro 6. *Reglamento (CE) n.º 595/2009*. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/emissions-from-heavy-duty-vehicles-euro-vi-certification-rules.html>

- GHG. (2008). GHG Protocol. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/protocolo_spanish.pdf
- Guijarro Urueña, O. (2025). Integración de sostenibilidad y economía circular en la logística: retos y oportunidades. *Repositorio Universidad Complutense de Madrid*. Master's Universidad Complutense de Madrid. <https://docta.ucm.es/entities/publication/032fa862-779f-4700-af18-8960eb2f2913>
- Hernández Guzmán, I. D. (2025). Estrategias para la Gestión Energética Limpia: impulsando empresas y ciudades sostenibles a través de la innovación y el conocimiento. *Revista GESTA*(34). <https://www.itm.edu.co/wp-content/uploads/facultad-ciencias-economicas/gesta/Revista-GESTA-34.pdf#page=4>
- Hernández, C. E., Jaramillo, A. F., Bocarejo, J. P., Wilmsmeier, G., Tello, G. A., & Jaime, C. F. (2023). Incentivos para la adopción de tecnologías de cero emisiones alrededor del mundo. *GIRO ZERO*. https://girozero.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2025/04/Incentive_Schemes.pdf
- Herrera Sanz, L. (. (2024). Emisiones de CO2 y huella de carbono en el transporte de mercancías. *Repositorio documental Universidad de Valladolid*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/71289>
- IPCC. (1990). Informe de Evaluación. *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. https://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- IPCC. (2023). Informe de síntesis del AR6: Cambio climático 2023. IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Mejía Salazar, I., & Ayala Soto, S. (2023). Revisión de literatura sobre gestión de cadenas de suministro sostenibles e innovaciones disruptivas en Pymes. *Revista Universidad y Empresa*, 24(44). <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12734>
- Moreria Cañarte, C. Y., Alvarez Chamorro, N. N., Chicaiza Tenorio, M. R., Choez Castro, J. E., DElgado Casquete, D. S., Masa Campoverde, P. A., & Robles Lopez,

- G. M. (2024). El rol de la planificación estratégica en el desarrollo sostenible. *Ciencia y desarrollo*, 27(4), 683-692. <https://doi.org/10.21503/cyd.v27i4.2778>
- ONU. (2023). Sostenibilidad. *Organización de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>
- Osorio Iriarte, C. (2022). Evolución de las emisiones CO2 en países de la UE. *Repositorio Universidad Complutense de Madrid*. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/116ac932-18ab-4906-a1b8-44fa7fcb55f9/content>
- Pérez Martínez Fresno, C. (2025). Impacto De La Normativa Medioambiental De La Unión Europea En La Competitividad Del Sector Del Transporte. *Repositorio Universidad de la Laguna*. Masters Tesis Universidad de la Laguna. <https://acortar.link/zqAmt5>
- Priego Adriano, M. (2022). Simulaciones del precio social del carbono en el sector del transporte público de América Latina y el Caribe (No. 48103). *Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*. <https://ideas.repec.org/p/ecr/col022/48103.html>
- Puigvert Romia, M. A. (2025). Los costes y los beneficios de la economía circular: hacia un nuevo modelo de gestión empresarial. *Repositorio Universitat Abat Oliba*. Disertacion Doctoral Universitat Abat Oliba. <https://www.tdx.cat/handle/10803/695697#page=1>
- Ramírez Cortés, V., Hernández Bonilla, B. E., & Sandoval Trujillo, S. J. (2025). La gerencia estratégica como base estructural en la sostenibilidad y competitividad de las MIPYMES. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 16(31), 1-24. <https://doi.org/10.23913/ride.v16i31.2619>
- Sabando Dender, L. C., & Delgado Chávez, M. I. (2025). La Gestión de Procesos como Herramienta de Sostenibilidad Financiera de las Empresas de Transporte de Manta. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 9(16), 1834-1855. <http://www.editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/808>
- Santos Reyes, R. I., Rodríguez Pareja, B. M., : Rodríguez Marcillo, W. A., Burgos Rodríguez, D. S., & Peñafiel Del Rosario, T. M. (2025). Sostenibilidad

empresarial como eje de la planificación estratégica. *Ciencia y Desarrollo*, 28(1), 377-385. <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/view/2832>

Torres Rojas, M. C. (2023). Cálculo de Huella de Carbono Corporación Colombiana de Logística. *Repositorio Universidad El Bosque*. <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/4eb9e16d-c938-4a5e-8093-3c000b4ee921>

WBCSD. (2023). Transport and Mobility. *World Business Council for Sustainable Development*. <https://www.wbcsd.org/actions/transport-and-mobility/>

Zevillanos Zea, D. L. (2023). Determinación de la huella de carbono en las actividades de transporte de la empresa TDEM SCRL. *Repositorio Universidad San Ignacio de Loyola*. MAster's Tesis Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/c299f807-235a-4d72-b55a-b2a063c0b2d6>

7 Anexos

Anexo A Fichas técnicas vehículos

FICHA TÉCNICA – MAN TGX 18.480 2023

Uso típico: Transporte pesado de larga distancia (España – Portugal)

Característica	Especificación
Modelo	MAN TGX 18.480 2023
Configuración	Tractora 4x2
Motor	MAN D2676LFAY – 6 cilindros en línea
Cilindrada	12,4 litros
Potencia máxima	480 CV (353 kW)
Par máximo	2.450 Nm
Normativa de emisiones	Euro VIe
Transmisión	MAN TipMatic automática, 12 velocidades
Consumo medio (carga completa)	≈ 28–32 litros / 100 km
Consumo medio (semirremolque vacío)	≈ 26–29 litros / 100 km
Peso bruto vehicular	18.000 kg
Cabina	GX (alta, larga distancia)
Sistema de frenos	Discos con ABS y ASR
Sistemas de asistencia	ACC, EBA, LGS, ESP
Suspensión	Neumática trasera / Parabólica delantera
Combustible	Diésel + AdBlue

Nota sobre consumo: los consumos indicados son valores promedio realistas para transporte internacional en España y Portugal, considerando semirremolque cargado (~40 t) y semirremolque vacío (~10–15 t). El consumo real puede variar según topografía, carga, estilo de conducción y configuración aerodinámica.

Nota general: Las especificaciones corresponden a configuraciones estándar del MAN TGX 18.480 utilizadas en transporte internacional. El equipamiento puede variar según pedido y mercado.

FICHA TÉCNICA – MAN TGX 18.480 2024

Uso típico: Transporte pesado de larga distancia (España – Portugal)

Característica	Especificación
Modelo	MAN TGX 18.480 2024
Configuración	Tractora 4x2
Motor	MAN D2676LFAY – 6 cilindros en línea
Cilindrada	12,4 litros
Potencia máxima	480 CV (353 kW)
Par máximo	2.450 Nm
Normativa de emisiones	Euro VIe
Transmisión	MAN TipMatic automática, 12 velocidades
Consumo medio (carga completa)	≈ 28–32 litros / 100 km
Consumo medio (semirremolque vacío)	≈ 26–29 litros / 100 km
Peso bruto vehicular	18.000 kg
Cabina	GX (alta, larga distancia)
Sistema de frenos	Discos con ABS y ASR
Sistemas de asistencia	ACC, EBA, LGS, ESP
Suspensión	Neumática trasera / Parabólica delantera
Combustible	Diésel + AdBlue

Nota sobre consumo: los consumos indicados son valores promedio realistas para transporte internacional en España y Portugal, considerando semirremolque cargado (~40 t) y semirremolque vacío (~10–15 t). El consumo real puede variar según topografía, carga, estilo de conducción y configuración aerodinámica.

Nota general: Las especificaciones corresponden a configuraciones estándar del MAN TGX 18.480 utilizadas en transporte internacional. El equipamiento puede variar según pedido y mercado.

Anexo B Base de datos de parque vehicular

ID Vehículo	Kilometraje recorrido (km)	Consumo de combustible (litros o m3)	Factor de emisión (kg CO2e/litro o m3)	Emisiones totales (kg CO2e)	Carga transportada (toneladas)
6659 MAN	82205,3	26305,70	2,68	70499,27	2.247.328
6686 MAN	48284,9	15451,17	2,68	41409,13	1.621.881
6564 MAN	162590,7	52029,02	2,68	139437,78	8.337.452
6595 MAN	59803,3	19137,06	2,68	51287,31	2.233.498
6566 MAN	144500,9	46240,29	2,68	123923,97	6.936.105
6565 MAN	134454,2	43025,34	2,68	115307,92	6.547.318
6527 MAN	65265,5	20884,96	2,68	55971,69	3.102.090
6531 MAN	57998	18559,36	2,68	49739,08	2.092.207
6529 MAN	46231,1	14793,95	2,68	39647,79	1.263.144
6551 MAN	83903	26848,96	2,68	71955,21	2.145.335
6593 MAN	29597,2	9471,10	2,68	25382,56	1.221.924
6562 MAN	194301,1	62176,35	2,68	166632,62	8.661.490
6592 MAN	48990,4	15676,93	2,68	42014,17	4.220.400
6509 MAN	14953,3	4785,06	2,68	12823,95	648.796
6596 MAN	49153,4	15729,09	2,68	42153,96	4.716.115
6517 MAN	12452,7	3984,86	2,68	10679,44	2.554.938
6510 MAN	9038,4	2892,29	2,68	7751,33	1.123.974
6590 MAN	56027,2	17928,70	2,68	48048,93	3.779.605
6512 MAN	18826,1	6024,35	2,68	16145,26	1.465.206
6557 MAN	61311,8	19619,78	2,68	52581,00	6.776.324
6485 MAN	106580,1	34105,63	2,68	91403,09	4.904.428
6591 MAN	44190,5	14140,96	2,68	37897,77	3.801.720
6563 MAN	182970,5	58550,56	2,68	156915,50	9.702.968
13055 MAN	93334,7	29867,10	2,68	80043,84	4.609.692
6473 MAN	117925,2	37736,06	2,68	101132,65	5.095.828
6594 MAN	30473,6	9751,55	2,68	26134,16	1.333.154
6478 MAN	106168,9	33974,05	2,68	91050,45	7.643.092
6631 MAN	72698,5	23263,52	2,68	62346,23	3.716.836
6673 MAN	66218,7	21189,98	2,68	56789,16	2.831.989
8187 MAN	117636	37643,52	2,68	100884,63	12.016.920
6644 MAN	59979,8	19193,54	2,68	51438,68	4.076.135
8221 MAN	26919,7	8614,30	2,68	23086,33	590.092
6675 MAN	56678	18136,96	2,68	48607,05	1.656.144
6638 MAN	82017,3	26245,54	2,68	70338,04	2.755.347
6642 MAN	82601,5	26432,48	2,68	70839,05	2.764.932
8188 MAN	145390,6	46524,99	2,68	124686,98	12.798.570
8185 MAN	118607,3	37954,34	2,68	101717,62	10.554.574
14123 MAN	58205,2	18625,66	2,68	49916,78	1.491.820
6622 MAN	130019,5	41606,24	2,68	111504,72	9.860.375
6612 MAN	189398,1	60607,39	2,68	162427,81	14.934.759

6683 MAN	80303,5	25697,12	2,68	68868,28	4.292.033
6603 MAN	205427,4	65736,77	2,68	176174,54	11.797.478
6597 MAN	157452	50384,64	2,68	135030,84	3.662.969
6598 MAN	166603,8	53313,22	2,68	142879,42	5.904.346
6603 MAN	205427,4	65736,77	2,68	176174,54	11.797.478
6604 MAN	131909,5	42211,04	2,68	113125,59	4.643.562
6605 MAN	157508,2	50402,62	2,68	135079,03	4.500.248
6606 MAN	151657,6	48530,43	2,68	130061,56	4.396.738
6617 MAN	145024	46407,68	2,68	124372,58	3.792.824
6627 MAN	90925,6	29096,19	2,68	77977,79	2.933.652
6657 MAN	70448,4	22543,49	2,68	60416,55	2.422.556
6660 MAN	87088,7	27868,38	2,68	74687,27	4.191.795
6663 MAN	84405,4	27009,73	2,68	72386,07	1.754.470
6670 MAN	58943,5	18861,92	2,68	50549,95	2.443.579
6672 MAN	75010,1	24003,23	2,68	64328,66	1.877.298
6677 MAN	50561,7	16179,74	2,68	43361,71	1.436.254
6679 MAN	52542,7	16813,66	2,68	45060,62	1.183.098
6685 MAN	45039,5	14412,64	2,68	38625,88	1.708.512
6611 MAN	132201	42304,32	2,68	113375,58	4.955.796
6614 MAN	123992,7	39677,66	2,68	106336,14	4.777.010
6558 MAN	127969,2	40950,14	2,68	109746,39	4.490.233
6639 MAN	70235,1	22475,23	2,68	60233,62	2.734.694
6630 MAN	74456,6	23826,11	2,68	63853,98	3.436.765
6621 MAN	75815,6	24260,99	2,68	65019,46	1.994.063
6680 MAN	46670,7	14934,62	2,68	40024,79	2.092.634
6632 MAN	80246,8	25678,98	2,68	68819,66	2.922.888
6610 MAN	126763	40564,16	2,68	108711,95	5.301.976
6656 MAN	55203,1	17664,99	2,68	47342,18	1.987.944
6581 MAN	120255,9	38481,89	2,68	103131,46	5.791.136
6575 MAN	126401,5	40448,48	2,68	108401,93	4.552.390
6647 MAN	49843,6	15949,95	2,68	42745,87	1.491.068
14120 MAN	50592,5	16189,60	2,68	43388,13	1.489.024
6688 MAN	47585,3	15227,30	2,68	40809,15	1.779.246
6614 MAN	123992,7	39677,66	2,68	106336,14	4.777.010
6636 MAN	55754,6	17841,47	2,68	47815,14	1.659.119
6661 MAN	62998,6	20159,55	2,68	54027,60	2.782.712
6676 MAN	44310,3	14179,30	2,68	38000,51	1.920.101
6647 MAN	49843,6	15949,95	2,68	42745,87	1.491.068

Anexo C Datos del día 2 al 5

Tabla 22 Día 2. Vehículo Portugal

Vehículo	ei	Disponible
6622 MAN	0,000000086974	1
6612 MAN	0,000000057423	1
6683 MAN	0,000000199812	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6597 MAN	0,000000234127	1
6598 MAN	0,000000145249	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6604 MAN	0,000000184686	1
6605 MAN	0,000000190567	1
6606 MAN	0,000000195054	1
6617 MAN	0,000000226111	1
6627 MAN	0,000000292332	1
6657 MAN	0,000000354006	1
6660 MAN	0,000000204590	1
6663 MAN	0,000000488809	1
6670 MAN	0,000000350961	1
6672 MAN	0,000000456827	1
6677 MAN	0,000000597109	1
6679 MAN	0,000000724877	1
6685 MAN	0,000000501957	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// ei: huella de carbono

Tabla 23 Día 2. Servicios Portugal

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (toneladas)	cj	10	10	10	10	10	5	13	20	24	24
Distancia (km's)	dj	433	437	766	1175	192	481	614	1158	758	855

Nota: J: Número de servicio// cj: toneladas// dj: kilómetros recorridos

Tabla 24 Día 2. Modelo Portugal

Variables		Servicios j										Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00102194896
	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<=	1	0,00132991875
	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	0,00048054803
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	0,00132244020
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,00000000000
Vehículos i	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	0,00115937704

7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	7	0,00149167068
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	8	0,00141469329
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	9	0,00083277899
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	10	0,00084458251
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	11	0,00000000000
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	12	0,00000000000
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	13	0,00000000000
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	14	0,00039281310
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	15	0,00000000000
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	16	0,00000000000
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	17	0,00000000000
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	18	0,00000000000
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	19	0,00000000000
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	20	0,00000000000
Total de vehículos que hacen el servicio											1	Obj total			
=															
min											1				

Tabla 25 Día 2. Vehículos España

Vehículo	ei	Disponible
6611 MAN	0,000000173050	1
6614 MAN	0,000000179527	1
6558 MAN	0,000000190992	1
6639 MAN	0,000000313600	1
6630 MAN	0,000000249537	1
6621 MAN	0,000000430077	1
6680 MAN	0,000000409818	1
6632 MAN	0,000000293408	1
6610 MAN	0,000000161751	1
6656 MAN	0,000000431400	1
6581 MAN	0,000000148088	1
6575 MAN	0,000000188385	1
6647 MAN	0,000000575158	1
14120 MAN	0,000000575948	1
6688 MAN	0,000000482002	1
6614 MAN	0,000000179527	1
6636 MAN	0,000000516901	1
6661 MAN	0,000000308189	1
6676 MAN	0,000000446643	1
6647 MAN	0,000000575158	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// ei: huella de carbono

Tabla 26 Día 2. Servicios España

Servicios j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga cj	5	5	10	15	20	20	24	15	24	10

Distancia dj 424 192 1158 1182 1137 1124 887 862 880 809

Nota: J: Número de servicio// cj: toneladas// dj: kilómetros recorridos

Tabla 27 Día 2. Modelo España

Variables		Servicios j										Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	0,003683886
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	0,0037916
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,002211691
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	0,002018754
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,000622026
	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	0,003636163
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00336753
	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<=	1	0,002435812
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,003183005
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,000295861
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
Vehículos i	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0
Total de vehículos que hacen el servicio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			Obj Total	0,025246329
=															
min		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Tabla 28 Día 3. Vehículos Portugal

Vehículo	ei	Disponible
6551 MAN	0,000000399751	1
6593 MAN	0,000000701844	1
6562 MAN	0,000000099013	1
6592 MAN	0,000000203203	1
6509 MAN	0,000001321833	1
6596 MAN	0,000000181845	1
6517 MAN	0,000000335664	1
6510 MAN	0,000000763007	1
6590 MAN	0,000000226902	1

6512 MAN	0,000000585310	1
6557 MAN	0,000000126558	1
6485 MAN	0,000000174862	1
6591 MAN	0,000000225582	1
6563 MAN	0,000000088385	1
13055 MAN	0,000000186043	1
6473 MAN	0,000000168295	1
6594 MAN	0,000000643287	1
6478 MAN	0,000000112206	1
6631 MAN	0,000000230734	1
6673 MAN	0,000000302826	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// **ei:** huella de carbono

Tabla 29 Día 3. Servicios Portugal

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (toneladas)	cj	10	10	10	10	10	5	13	20	24	24
Distancia (km's)	dj	433	437	766	1175	192	481	614	1158	758	855

Nota: J: Número de servicio// **cj:** toneladas// **dj:** kilómetros recorridos

Tabla 30 Día 3. Modelo Portugal

Variables		Servicios j										Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
												<			
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	=	1	0,00203174650
												<			
	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	=	1	0,00048870439
												<			
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,00079466086
												<			
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,000000000000
												<			
	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,00148705995
												<			
Vehículos i	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	=	1	0,00133944590

[illegible]

Vehículo	ei	Disponible
8187 MAN	0,000000071366	1
6644 MAN	0,000000210395	1
8221 MAN	0,000001453333	1
6675 MAN	0,000000517829	1
6638 MAN	0,000000311249	1
6642 MAN	0,000000310170	1
8188 MAN	0,000000067007	1
8185 MAN	0,000000081254	1
14123 MAN	0,000000574868	1
6622 MAN	0,000000086974	1
6612 MAN	0,000000057423	1
6683 MAN	0,000000199812	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6597 MAN	0,000000234127	1
6598 MAN	0,000000145249	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6604 MAN	0,000000184686	1
6605 MAN	0,000000190567	1
6606 MAN	0,000000195054	1
6617 MAN	0,000000226111	1

Tabla 32 *Día 3. Servicios España*

Carga	cj	5	5	10	15	20	20	24	15	24	10
Distancia	dj	424	192	1158	1182	1137	1124	887	862	880	809

Nota: J: Número de servicio// **cj:** toneladas// **dj:** kilómetros recorridos

Tabla 33 Día 3. Modelo España

Variables		Servicios j												Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	1	0,00151924
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	2	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	3	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	4	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	5	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	6	0
	7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	7	0,001506328
	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	8	0,001050613
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	9	0
	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	10	0,001007163
	11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	11	0,001305801
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	12	0
	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	13	0,001288856
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	14	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	15	0,001175064
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	16	0,001535287
	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	17	0,000391534
	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	18	0,000182945
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	19	0
Vehículos i	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	20	0
Total de vehículos que hacen el servicio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			Obj total	0,01096283
=																	
min		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Tabla 34 Día 4. Vehículos Portugal

Vehículo	ei	Disponible
6644 MAN	0,000000210395	1
8221 MAN	0,000001453333	1
6675 MAN	0,000000517829	1
6638 MAN	0,000000311249	1
6642 MAN	0,000000310170	1
8188 MAN	0,000000067007	1
8185 MAN	0,000000081254	1
14123 MAN	0,000000574868	1

6622 MAN	0,000000086974	1
6612 MAN	0,000000057423	1
6683 MAN	0,000000199812	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6597 MAN	0,000000234127	1
6598 MAN	0,000000145249	1
6603 MAN	0,000000072694	1
6604 MAN	0,000000184686	1
6605 MAN	0,000000190567	1
6606 MAN	0,000000195054	1
6617 MAN	0,000000226111	1
6627 MAN	0,000000292332	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// ei: huella de carbono

Tabla 35 Día 4. Servcios Portugal

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
carga (toneladas)	cj	10	10	10	10	10	5	13	20	24	24
distancia (km's)	dj	433	437	766	1175	192	481	614	1158	758	855

Nota: J: Número de servicio// cj: toneladas// dj: kilómetros recorridos

Tabla 36 Día 4. Modelo Portugal

Variables		Servicios j										Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	0,00137499361
	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	0,00064856840
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00066622375
	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<=	1	0,00132991875
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00085414866
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00063473787
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	0,00132244020
	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00079968955
	17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	0,00045831430
	18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	0,00037450310
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000
Vehículos i	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	0,000000000000

Total de vehículos que hacen el servicio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		Obj total	0,00846353819
=													
min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			

Tabla 37 Día 4. Vehículos España

Vehículo	ei	Disponible
6657 MAN	0,000000354006	1
6660 MAN	0,000000204590	1
6663 MAN	0,000000488809	1
6670 MAN	0,000000350961	1
6672 MAN	0,000000456827	1
6677 MAN	0,000000597109	1
6679 MAN	0,000000724877	1
6685 MAN	0,000000501957	1
6611 MAN	0,000000173050	1
6614 MAN	0,000000179527	1
6558 MAN	0,000000190992	1
6639 MAN	0,000000313600	1
6630 MAN	0,000000249537	1
6621 MAN	0,000000430077	1
6680 MAN	0,000000409818	1
6632 MAN	0,000000293408	1
6610 MAN	0,000000161751	1
6656 MAN	0,000000431400	1
6581 MAN	0,000000148088	1
6575 MAN	0,000000188385	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// ei: huella de carbono

Tabla 38 Día 4. Servicios España

Servicios j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga cj	5	5	10	15	20	20	24	15	24	10
Distancia dj	424	192	1158	1182	1137	1124	887	862	880	809

Nota: J: Número de servicio// cj: toneladas// dj: kilómetros recorridos

Tabla 39 Día 4. Modelo España

Variable	Servicios j
----------	-------------

xij	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	1	0
	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1 <=	1	2	0,002369154
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	3	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	4	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	5	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	6	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	7	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	8	0
	9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1 <=	1	9	0,003683886
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 <=	1	10	0,0037916
	11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1 <=	1	11	0,002469531
	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1 <=	1	12	0,000301056
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 <=	1	13	0,002018754
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	14	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	15	0
	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1 <=	1	16	0,000622026
	17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1 <=	1	17	0,003636163
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 <=	1	18	0
	19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1 <=	1	19	0,00336753
Vehículos i	20	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1 <=	1	20	0,003340058
total de vehículos que hacen el servicio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			Obj total	0,025599758
=														
min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

Tabla 40 Día 5. Vehículos Portugal

Vehículo	ei	Disponible
6485 MAN	0,000000174862	1
6591 MAN	0,000000225582	1
6563 MAN	0,000000088385	1
13055 MAN	0,000000186043	1
6473 MAN	0,000000168295	1
6594 MAN	0,000000643287	1
6478 MAN	0,000000112206	1
6631 MAN	0,000000230734	1
6673 MAN	0,000000302826	1
8187 MAN	0,000000071366	1
6644 MAN	0,000000210395	1
8221 MAN	0,000001453333	1
6675 MAN	0,000000517829	1
6638 MAN	0,000000311249	1

6642 MAN	0,000000310170	1
8188 MAN	0,000000067007	1
8185 MAN	0,000000081254	1
14123 MAN	0,000000574868	1
6622 MAN	0,000000086974	1
6612 MAN	0,000000057423	1

Nota: 1:unidad disponible/0:unidad no disponible.// **ei:** huella de carbono

Tabla 41 Día 5. Servicios Portugal

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (toneladas)	cj	10	10	10	10	10	5	13	20	24	24
Distancia (km's)	dj	433	437	766	1175	192	481	614	1158	758	855

Nota: J: Número de servicio// **cj:** toneladas// **dj:** kilómetros recorridos

Tabla 42 Día 5. Modelo Portugal

Variables		Servicios j												Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
Vehículos i	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	1	0,00042054405	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	2	0,000000000000	
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	3	0,00067703161	
	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	4	0,00035720217	
	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	5	0,00072871533	
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	6	0,000000000000	
	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	7	0,00049033977	
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	8	0,000000000000	
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	9	0,000000000000	
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	10	0,00129829101	
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	11	0,000000000000	
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	12	0,000000000000	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	13	0,000000000000	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	14	0,000000000000	
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	15	0,000000000000	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	16	0,00137499361	
	17	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	17	0,00095473299	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	18	0,000000000000	
	19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	19	0,00069422950	
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<=	1	20	0,00132991875		
Total de vehículos que hacen el servicio		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Obj total			0,00832599879		
=																	
min		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						

Tabla 43 Día 5. Vehículos España

Vehículo	ei	Disponible
6659 MAN	0,000000381609	1
6686 MAN	0,000000528769	1
6564 MAN	0,000000102861	1
6595 MAN	0,000000383972	1
6566 MAN	0,000000123643	1
6565 MAN	0,000000130985	1
6527 MAN	0,000000276459	1
6531 MAN	0,000000409902	1
6529 MAN	0,000000678941	1
6551 MAN	0,000000399751	1
6593 MAN	0,000000701844	1
6562 MAN	0,000000099013	1
6592 MAN	0,000000203203	1
6509 MAN	0,000001321833	1
6596 MAN	0,000000181845	1
6517 MAN	0,000000335664	1
6510 MAN	0,000000763007	1
6590 MAN	0,000000226902	1
6512 MAN	0,000000585310	1
6557 MAN	0,000000126558	1

Nota: 1:unidad disponible/**0:**unidad no disponible.// **ei:** huella de carbono

Tabla 44 Día 5. Servicios España

Servicios	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga	cj	5	5	10	15	20	20	24	15	24	10
Distancia	dj	424	192	1158	1182	1137	1124	887	862	880	809

Nota: J: Número de servicio// **cj:** toneladas// **dj:** kilómetros recorridos

Tabla 45 Día 5. Modelo España

Variables		Servicios j											Total de viajes	Max	Vehículos	Función Objetivo	
xij		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
Vehículos i	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	1	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	2	0
	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	<=	1	3	0,002312319
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	4	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	<=	1	5	0,00263211
	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	6	0,002322363
	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	7	0,000586093
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	8	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	9	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	10	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	11	0

	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	<=	1	12	0,002251555
	13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	13	0,002353096
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	14	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<=	1	15	0,002351251
	16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	<=	1	16	0,000322237
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	17	0
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	<=	1	18	0,001835637
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1	19	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	<=	1	20	0,002672911
Total de vehículos que hacen el servicio																
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				obj total	0,019639572
		=														
	min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					