



Análisis del transporte ferroviario como alternativa sostenible al tráfico pesado en los Pirineos: caso del eje logístico Zaragoza–Canfranc–Pau

Proyecto Final de Grado

Jose Palacios Beortegui

Bachelor in Business Management Level 6

25/07/2025

Resumen Ejecutivo

Este proyecto analiza la compatibilidad del transporte ferroviario como alternativa sostenible al tráfico pesado por carretera en el entorno montañoso de los Pirineos, centrándose en el eje logístico de Zaragoza-Canfranc-Pau. Desde el principio se destaca el bajo uso del ferrocarril en Europa y especialmente en España (aprox. 2% de mercancías) y el elevado nivel de emisiones y riesgos viales generados por el camión en zonas montañosas. El objetivo principal fue evaluar el impacto medioambiental y operativo de un modelo intermodal que se base en un tramo montañoso en tren mientras que se mantiene la carretera en primera y última milla. La investigación tuvo un enfoque mixto debido a las entrevistas y encuestas realizadas, con 40 encuestas a profesionales sobre el terreno y a 4 entrevistas a puestos clave en el desarrollo de la línea. Los resultados muestran que la carretera en el puerto del Somport tiene una elevada siniestralidad, mientras que el tren ofrece mayor eficiencia energética y menor huella de carbono. Estimando que cada viaje transferido al ferrocarril evitara entre 66 y 92 kg de Co₂, reduciendo el desgaste de estructura y la exposición a accidentes. En las conclusiones se expone que la intermodalidad es viable si Canfranc opera con dos frecuencias diarias, puntualidad máxima, servicios diarios y sistemas digitales de cita previa. Este modelo cumple con los objetivos europeos de descarbonización y consolidar a Canfranc como nodo estratégico entre Francia y España.

Palabras clave: cambio modal, intermodalidad, logística sostenible, transporte ferroviario, Zaragoza-Canfranc-Pau

Abstract

This project analyses the compatibility of rail transport as a sustainable alternative to heavy road traffic in the mountainous environment of the Pyrenees, focusing on the Zaragoza–Canfranc–Pau logistics corridor. From the beginning, it highlights the low use of railways in Europe and especially in Spain (around 2% of goods) and the high level of emissions and road risks caused by trucks in mountain areas. The main objective was to evaluate the environmental and operational impact of an intermodal model that uses rail for the mountain section, while keeping the road for the first and last mile. The research had a mixed approach thanks to interviews and surveys: 40 surveys with professionals in the field and 4 interviews with key actors in the development of the line. The results show that the road through the Somport pass has a high accident rate, while the railway offers better energy efficiency and a lower carbon footprint. It is estimated that each trip moved to rail could avoid between 66 and 92 kg of CO₂, reducing infrastructure wear and the exposure to accidents. The conclusions explain that intramodality is feasible if Canfranc operates with two daily frequencies, maximum punctuality, daily services and digital booking systems. This model meets the European objectives of decarbonization and strengthens Canfranc as a strategic node between France and Spain.

Keywords: modal shift, intermodally, sustainable logistics, rail transport, Zaragoza–Canfranc–Pau

Índice

Resumen Ejecutivo.....	2
1. Introducción.....	8
1.1 Planteamiento del problema.....	8
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Preguntas de Investigación.....	10
1.5 Antecedentes.....	10
1.6 Estructura del Proyecto.....	11
2. Revisión Literaria.....	12
2.1 Logística sostenible y cambio modal.....	12
2.1.1 Políticas europeas y globales que impulsan la logística sostenible.....	12
2.1.2 El cambio modal como herramienta de sostenibilidad.....	14
2.1.3 Evidencia académica del cambio modal sostenible en zonas montañosas.....	16
2.2 Comparativa carretera vs ferrocarril.....	17
2.2.1 Introducción.....	17
2.2.2 Eficiencia energética.....	17
2.2.3 Emisiones Co2.....	18
2.2.4 Seguridad vial.....	19
2.2.5 Costes externos.....	20
2.2.6 Conclusión.....	20
3. Metodología de la investigación.....	22
3.1 Tipo de investigación.....	22
3.2 Diseño de la investigación.....	22
3.3 Población y muestra.....	23
3.4 Instrumentos de recogida de datos.....	23
3.5 Técnicas de análisis de datos.....	24
3.5.1 Análisis cuantitativo.....	24
3.5.2 Análisis cualitativo.....	24
3.5.3 Integración de resultados.....	25
3.6 Fiabilidad y validez.....	25

3.6.1 Fiabilidad.....	25
3.6.2 Validez.....	25
3.7 Limitaciones de investigación.....	26
3.7.1 Limitaciones metodológicas.....	26
3.7.2 Limitaciones técnicas.....	26
3.7.3 Limitaciones de acceso a la información.....	27
3.8 La síntesis metodológica.....	27
4. Análisis de datos.....	27
4.1 Entrevistas.....	27
4.1.1 Análisis de las entrevistas realizadas.....	28
OG – Evaluar el impacto medioambiental derivado del impacto parcial de la logística de camiones a trenes en el Corredor de Zaragoza-Canfranc-Pau, con foco en el ahorro de emisiones y sostenibilidad operativa.....	30
OE1 – Estimar la huella de carbono actual del transporte de mercancías por carretera en el Eje Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza.....	30
OE2 – Calcular el potencial de reducción de emisiones mediante el uso ferroviario.....	30
OE3 – Comparar la eficiencia energética entre ambos modos.....	31
OE4 – Proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc.....	31
OE5 – Identificar barreras técnicas y estratégicas al cambio modal.....	31
4.2. Encuestas.....	32
OG – Evaluar el impacto medioambiental derivado del impacto parcial de la logística de camiones a trenes en el Corredor de Zaragoza-Canfranc-Pau, con foco en el ahorro de emisiones y sostenibilidad operativa.....	32
OE1 – Estimar la huella de carbono actual del transporte de mercancías por carretera en el Eje Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza.....	33
OE2 – Calcular el potencial de reducción de emisiones mediante el uso ferroviario.....	33
OE3 – Comparar la eficiencia energética entre ambos modos.....	34
OE4 – Proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc.....	34
OE5 – Identificar barreras técnicas y estratégicas al cambio modal.....	35
4.2.1 Análisis inferencial: Prueba Chi-cuadrado.....	36
5. Conclusiones.....	37
5.1 Conclusiones.....	37
5.2 Limitaciones del estudio y sugerencias futuras.....	38
5.3 Reflexión personal.....	39
5.4 Recomendaciones.....	39
Bibliografía.....	41



6. Anexos.....	43
6.1 Entrevista.....	43
6.1.1 Respuestas entrevistas.....	43
1. Respuestas de las entrevistas del C1:.....	43
2. Respuestas de las entrevistas del C2.....	44
3. Respuestas de las entrevistas del O1 (TransCanfranc).....	45
4. Respuestas de las entrevistas del P1 (Planificación/tráfico – Zaragoza).....	46
6.2 Encuesta.....	51
6.2.1 Ficha técnica encuesta.....	53
6.2.2 Respuestas de encuestas.....	54
6.2.2 Análisis Chi-Cuadrado.....	61

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz de las entrevistas en cumplimiento de los objetivos.....	28
Tabla 2. A1. Rol en el corredor.....	55
Tabla 3. A2. Viajes/mes en Zaragoza–Somport–Pau.....	55
Tabla 4. B1. Mis tiempos puerta-a-puerta en esta ruta son predecibles.....	55
Tabla 5. B2. Las ventanas horarias en carga/descarga me generan retrasos relevantes.....	56
Tabla 6. B3. La climatología (puertos/Somport) afecta a menudo mis tiempos.....	56
Tabla 7. C1. Los costes de espera (colas, papeleo, maniobras) son significativos en esta ruta.....	56
Tabla 8. C2. Esperaría que la tarifa del tramo ferroviario fuera competitiva frente a la carretera...57	
Tabla 9. D1. Los riesgos viales en Somport y puertos son elevados.....	57
Tabla 10. D2. La intermodalidad reduciría mi exposición a accidentes.....	58
Tabla 11. E1. Mi empresa valora explícitamente reducir emisiones.....	58
Tabla 12. E2. Aceptaría algo más de tiempo si reduce la huella de carbono.....	59
Tabla 13. F1. Adoptaría tren-camión si existieran garantía de plaza y tiempos comprometidos.....	59
Tabla 14. F2. Estoy dispuesto/a a ajustar mis ventanas de carga para acoplarme al tren.....	60
Tabla 15. F3. Volumen mínimo que «compensa» (t/viaje).....	60
Tabla 16. G1. Canfranc dispone/puede disponer de los servicios necesarios para ser nodo competitivo.....	61
Tabla 17. G2. Preferiría Canfranc frente a otro nodo si operara 24/7 y con tarifa integrada.....	61

Índice de Figuras

Figura 1. Túnel ferroviario de Somport

Figura 2. Principales empresas ferroviarias en España



1. Introducción

En España se utiliza la logística por tren en un 2% del total de mercancías en circulación por la Península, dejando ver una clara necesidad de aportar soluciones. Este trabajo se centra en el impacto medioambiental de sustituir el transporte por carretera en solitario, a una logística intermodal con la alternativa ferroviaria entre Zaragoza/Canfranc-estación/Pau. El tema engloba parte de la materia impartida a lo largo de la formación académica de Bachelor in Business Management en CESTE Escuela Internacional de Negocios, adscrita a University of Wales Trinity Saint David. En donde he priorizado y escogido la especialización en Logística debido al gran interés personal de trabajar en el futuro alrededor de este sector.

Para mí es un reto personal al conocer varios de los actores que influyen en este caso de estudio, tanto en la parte logística por camión, donde ha visto crecer y desarrollarse el día a día de empresas ubicadas a lo largo del territorio aragonés hasta la frontera con Francia, esta empresa se llama TRANSPORTES CALLIZO S.A. Por otro lado, en la otra modalidad de transporte por tren destacar la cercanía con la empresa TRANSCANFRAN, que actúa como intermediario en la estación de tren de Canfranc-Estación y que están apostando por la reactivación de la logística intermodal. Este último me va a permitir conocer de primera mano, tanto los problemas actuales como la propuesta a futuro y sus inconvenientes.

1.1 Planteamiento del problema

En las zonas de montaña, como en los Pirineos, se dificulta mucho la labor de los transportistas a la hora de atravesar puertos donde las condiciones de la carretera o del camión se ven afectadas por el excesivo volumen de este tipo de transporte creando situaciones como la vivida hace varios años, donde dos camiones se precipitaron por el lateral de una carretera pequeña después del túnel del Somport. La Agencia Europea del Medioambiente, hace años que lleva tomando medidas alrededor de este problema en crecimiento, por ello se ha fijado un objetivo del 30% de mercancías distribuidas por vías ferroviarias y acuáticas en 2030, con los conocidos Corredores TEN-T. Y más del 50% en

2050, dejando clara la necesidad y obligación de estudiar y analizar las causas y propuestas posibles para las zonas con mayor siniestralidad en el tránsito de mercancías.

En el caso de Canfranc-Estación, donde el transporte pesado recorre dos puertos y un túnel transfronterizo, se necesita de mayor inversión en infraestructuras para evitar las gravísimas consecuencias ocurridas en el pasado y no obligar a los camiones a transitar por vías sin la obligatoria seguridad. Por si ello fuera poco, este tipo de transporte es responsable del 71,7% del total de emisiones del Sector de transporte en la Unión Europea frente al 1,6% del ferrocarril. Esto añadido a los desafíos que presentan las zonas montañosas, como un mayor consumo energético en pendiente, riesgos climatológicos y vulnerabilidad de las infraestructuras viarias, hacen necesario el planteamiento de propuestas como la del ferrocarril (European Environment Agency, 2023).

Todo esto se ve reflejado en empresas de transporte logístico de media y larga distancia como en el caso de TRANSPORTES CALLIZO S.A., el cual lleva años sufriendo las diferentes problemáticas de la congestión de la vía, los tiempos de conducción y los costes marginales externos que la ruta conlleva. Esto crea una situación de inseguridad operativa dando pie al uso ineficaz de sus recursos y obligándose a prever dichas situaciones y trabajar con un sistema que se expone continuamente al perjuicio constante de los recursos propios, y a la constante emisión de Co2 en zonas de máxima protección como lo es el Parque Nacional de los Pirineos franceses.

1.2 Justificación

Desde una perspectiva académica, este proyecto permite aplicar conceptos de logística, sostenibilidad, análisis de datos y diseño estratégico. Partiendo de la necesidad de estudiar la intermodalidad e interoperabilidad, en el transporte de mercancías por zonas de alta montaña. Desde un enfoque práctico, éste estudio responde a la necesidad urgente de encontrar alternativas más limpias y eficientes al transporte por carretera, resultando imprescindible ofrecer una propuesta para este caso en concreto, siguiendo los pasos de zonas como los Alpes con la creación de Alpine City, que ofrece la conexión de cinco países y quince empresas con varias modalidades de transporte.

La Comisión Europea ha definido el ferrocarril como un objetivo prioritario para alcanzar el 30% de la cuota de transporte de mercancías dentro de la estrategia de movilidad sostenible e inteligente (European Parliament, 2021). A nivel nacional, el Ministerio de Transportes y Medioambiente destaca su estrategia de movilidad sostenible, con la necesidad de impulsar nodos logísticos intermodales y reducir la dependencia del camión en transporte de larga distancia (MITMA, 2023). Es por ello, que Canfranc representa una oportunidad estratégica singular para España y Europa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El principal objetivo de este trabajo es evaluar el impacto medioambiental derivado del impacto parcial de la logística de camiones a trenes en el Corredor de Zaragoza-Canfranc-Pau, con foco en el ahorro de emisiones y sostenibilidad operativa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estimar la huella de carbono actual del transporte de mercancías por carretera en el Eje Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza
- Calcular el potencial de reducción de emisiones mediante el uso ferroviario.
- Comparar la eficiencia energética entre ambos modos.
- Proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc.
- Identificar barreras técnicas y estratégicas al cambio modal.

1.4 Preguntas de Investigación

- ¿Qué nivel de emisiones actuales produce el transporte de mercancía por camión en esta zona?
- ¿Cuánto se reducirían estas emisiones si se sustituyera por transporte ferroviario?
- ¿Es viable este cambio desde el punto de vista económico y operativo?
- ¿qué volumen mínimo de carga justificaría la reactivación de la línea?
- ¿Qué papel puede jugar Canfranc-Estación como nodo sostenible en el futuro?

1.5 Antecedentes

La línea ferroviaria internacional entre Pau-Canfranc, inaugurada en 1928 y cerrada en 1970, ha sido objeto de múltiples proyectos de reapertura desde principios del siglo XXI. El Gobierno de Aragón y la Región francesa NOUVELLE-AQUITAINE, han trabajado en su rehabilitación con inversiones ambientadas a convertir Canfranc en un punto estratégico ferroviario entre España y Francia. Esto queda reflejado en casos europeos como en Alpino Brenner, que demuestra cómo la logística ferroviaria en montaña es viable cuando existe inversión, planificación y una oferta competitiva. En este caso que nos concierne se han entrevistado varios de los actores políticos y económicos, explicando las grandes cantidades de inversión desde 300 millones debería aportar Francia por su lado. Sin dejar de invertir España en el lado peninsular de 200 a 500 millones, deja clara la opción para realizar concesiones privadas agilizando su puesta en marcha durante las próximas décadas (Gobierno de Aragón, 2009).

La Escuela Europea Intermodal de Transporte, refleja unos datos bastante críticos entorno a la implementación del transporte por ferrocarril. Desde mayores trazados debido a la fricción del metal y a la necesidad de mayor potencia para la misma carga remolcable que en el camión, además del diseño de vías con menor inclinación debido a que el tren no está

capacitado para rampas muy fuertes. Aun con estos datos, este transporte representa el 35% de global de los tipos de redes construidas en Europa para las diferentes modalidades. Con esto se demuestra la falta de competitividad y la necesidad de ir dando pasos hacia una regulación homogénea y coherente, buscando mayor interoperabilidad a partir de las próximas decisiones a largo plazo.

La regulación europea tiene como principal objetivo en el entorno logístico la liberación, armonización y eliminación de barreras nacionales como el diferente ancho de vía, la dificultad de trazados debido a la orografía y la regulación en la construcción de las líneas. Estos objetivos europeos se establecen con el fin de poner fin a las cifras pasadas donde solo se veía elementos privados en la interoperabilidad de la logística, potenciando un cambio de paradigma que lleva desde el 1970 con un 15% más de uso privado que de participación pública, lo que significa unas 4000 toneladas al año solo a través de operadoras privadas. Siendo hoy en día las mismas cifras incluso con caídas más bruscas como casi el 11% de toneladas netas (Escola Europea, 2024).

1.6 Estructura del Proyecto

En el capítulo de revisión de la literatura se desarrollan conceptos como sostenibilidad, huella de carbono, intermodalidad, cambio modal, carretera a ferrocarril, logística en entornos montañosos e intermediarios. Se describe todo aquello que engloba la práctica de la logística intermodal en condiciones montañosas y que toman parte en el desarrollo de la actividad.

A continuación, se detalla la metodología de investigación para analizar la propuesta de estructura multimodal atendiendo a los diferentes elementos. Primero, se definen las bases que permiten dar forma a este proyecto a través de los estudios ya realizados en esta materia desde organizaciones institucionales a través de reglamentos a los diferentes dosieres de información que utilizan las empresas para formar a sus empleados y directivos en este sector. Seguidamente, creare una encuesta a realizar entre los participantes de las diferentes fases de la estructura propuesta en el proyecto, desde camioneros en lugares de montaña como pueden ser los autónomos que llevan materia prima al silo de Canfranc a operarios de la plataforma logística de plaza. Además, se realizarán entrevistas a los diferentes directores de operaciones que son responsables de cada fase dentro de la cadena de distribución.

Después en el capítulo de análisis de datos, realizare una comparativa de los resultados obtenidos de entrevistas y encuestas, con el fin de responder a los objetivos planteados. Con esto se obtendrá un mapa claro que permita ofrecer un planteamiento de estructura sostenible multimodal.

Y para finalizar en el capítulo de conclusiones y recomendaciones se desarrollará cada una de las posibles conclusiones que favorezcan a la creación de un servicio ferroviario de transporte de mercancías a pleno rendimiento en el futuro, junto con los pasos más detallados en el caso de Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza.

A red decorative graphic consisting of a curved, flame-like shape pointing towards the right, located in the upper left corner of the page.

2. Revisión Literaria

Este capítulo tiene como principal finalidad la revisión de la literatura sobre logística sostenible y el cambio modal en el transporte de mercancías enfocado a las rutas de montaña con especial atención en los Pirineos. Esto resulta fundamental para el análisis posterior, ya que permite comprender los conceptos más importantes tanto académicos como normativos, identificando las limitaciones y oportunidades que ofrece el ferrocarril frente a la logística por carretera. Se abordarán los principios de la logística sostenible, el impacto del cambio modal, las diferencias entre carretera y ferrocarril en materia sobre eficiencia y emisión de carbono, y los pasos a futuro que ofrece la intermodalidad en estas áreas de montaña. Se señalará cualquier brecha de investigación que apoyan la causa del trabajo, situando el caso de estudio Zaragoza-Canfranc-Pau dentro de las tendencias y debates en la actualidad en el sector logístico.

2.1 Logística sostenible y cambio modal

Este concepto se conoce también como logística verde, es un enfoque de la cadena de suministro que busca generar el mínimo impacto ambiental, a través de prácticas como la reducción del consumo de recursos, control sobre las emisiones de gases efecto invernadero, evitando generar residuos para el medio ambiente y la sociedad. Para ello se ponen en práctica políticas de optimización de rutas de transporte, uso de vehículos menos contaminantes como los eléctricos o híbridos, e incluso fomentar el transporte conjunto y multimodal. Esto genera beneficios descongestionando rutas con grandes volúmenes de tráfico de vehículos y reduciendo el consumo de cada vehículo significativamente. Todo esto tiene una relación directa con los objetivos de la UE para la sostenibilidad, que explica la

comisión al parlamento europeo, fijando una reducción del 55% de los costes en energía y emisiones que permita de aquí al 2030, permitiendo ahorrar 100 000 millones EUR en la factura de importación energética, consiguiendo la neutralidad del clima y hasta 3 billones en 2050 (Comisione Europea, 2020).

2.1.1 Políticas europeas y globales que impulsan la logística sostenible

Desde varios puntos de vista reconocidos por los políticos europeos, existe una gran preocupación por la reactivación del ferrocarril, siendo uno de los transportes que se ha tenido menos en cuenta, es por ello por lo que esta última década numerosos expertos apuestan por un modelo de transporte sostenible intermodal completo. En el “World Conference on Transport Resarch” de Montreal en 2023 se redactan las conclusiones de la creación de 18 corredores “cross-border” más conocidos como “TEN-T corridors”, en donde se muestra la satisfacción sobre el ferrocarril dando conexión entre puertos, aeropuertos y ciudades. Siendo estos corredores un problema a la hora de establecer conexiones entre países debido a causas recogidas en estudios por memorizados relacionados con el estado de las estructuras (anticuadas, bobinadas, de vía única, etc.). Como en España donde los estudios nos ofrecen soluciones para la diferencia de ancho de vía existente entre Europa y el ancho ibérico, para poder transitar sin problemas entre fronteras. Esto se puede comprobar en proyectos como GPSO (Bordeaux- Spain) y el Corredor Atlántico. (Bairras and Ardaiz, 2025)

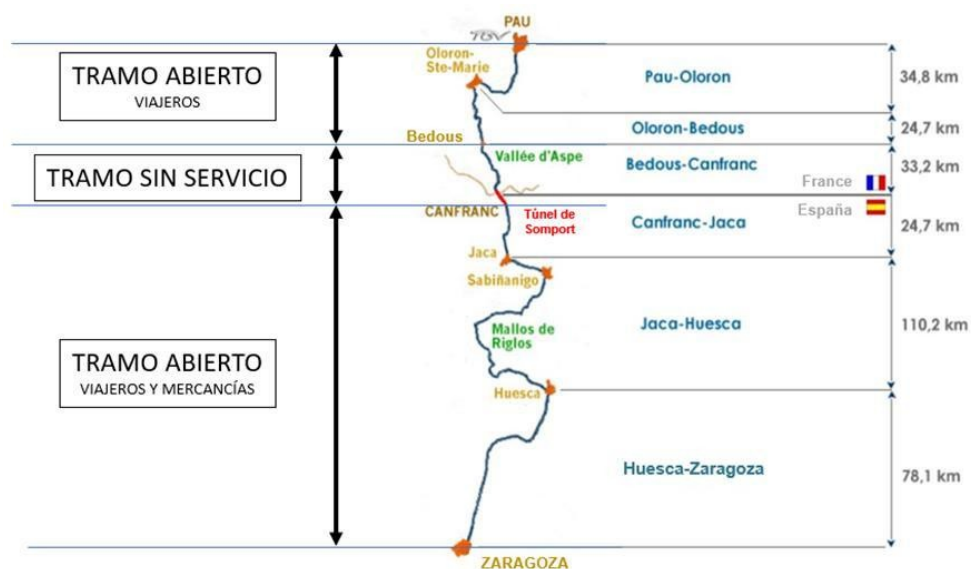
La planificación de la movilidad es un objetivo político de primer orden. Según el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2021) afirma que el sistema de transporte debe dejar de centrarse en construir infraestructuras y pasar a planificar la movilidad, con una apuesta por vehículos eléctricos e hidrógeno y un transporte público vertebrador. Esta estrategia se estructura en cuatro pilares seguridad, sostenibilidad, conectividad e inclusión y subraya la digitalización como eje transversal.

En Europa se complementa este marco. La Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente de la Comisión Europea (2020) aspira a reducir un 90% las emisiones del transporte en 2050. El Pacto Verde Europeo impulsa la expansión de la red transeuropea TEN-T y revisa la Directiva de Transporte Combinado para promover servicios intermodales competitivos. Estas políticas tienen un fuerte componente digital: el plan europeo de digitalización del ferrocarril pretende eliminar barreras de interoperabilidad y crear plataformas de reserva y seguimiento, aunque hoy se reconoce un retraso respecto a otros sectores. (Comisión Europea, 2020)

Otro punto importante de las políticas es la inversión en proyectos concretos. Una nota de prensa del Ministerio de Transportes (2023) anuncia la licitación de 2,76M€ para redactar el proyecto de reacondicionamiento del túnel de Somport (Figura 1), con una inversión prevista de 93M€ para reabrir la conexión internacional y mejorar la seguridad (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2025). Este proyecto se coordina con el Gobierno de Aragón y la Región de Nueva Aquitania en el marco del programa europeo de infraestructuras. A nivel regional, la Estrategia Aragonesa de Movilidad se centra en nodos

como la Plataforma Logística de Zaragoza (PLAZA) para integrarlos en los corredores transeuropeos.

Figura 3. *Túnel ferroviario de Somport*



Fuente: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2025)

Las políticas también responden a la presión social. La Comisión Europea (2020) indica que nueve de cada diez europeos consideran el cambio climático un problema serio. Ese respaldo legitima medidas drásticas en la fiscalidad, la regulación y la financiación. Por último, iniciativas como la estrategia alpina *Smart Clean Logistics and Combined Transport* identifican más de veinte tipos de actores desde gobiernos hasta empresas logísticas y proponen acciones coordinadas para fomentar el cambio modal. Estas políticas crean un entorno favorable, pero exigen reformas estructurales para que el ferrocarril compita con la carretera.

2.1.2 El cambio modal como herramienta de sostenibilidad

Este concepto se describe la combinación de al menos dos modelos de transporte con un transbordo en una terminal intermodal donde los contenedores pueden viajar por tren, barco, camión o avión. En el caso de tren-camión, se realiza la parte más extensa por vías, combinando con el menor uso posible de las carreteras, aumentando los beneficios de cada viaje. Por lo tanto, esta técnica siempre estará pensada para ahorrar costes en largas distancias con estructuras modales más sostenibles.

Gleser y Elbert (2024) definen el transporte combinado como el uso de al menos dos modos en la misma unidad de carga con transbordos en terminales intermodales. Esta configuración aprovecha la flexibilidad del camión para el primer y último tramo y la eficiencia del ferrocarril en distancias medias o largas. Además, refieren que el transporte combinado resulta competitivo en recorridos de 300 a 900 km.

Los beneficios y desventajas son similares, mientras se presenta una opción que usa menos recursos, con mayor sostenibilidad y capacidad de transporte con menores costes, esto a su vez requiere de más transferencias de mercancías con lo que mayor inversión en infraestructuras. En el caso del tren del corredor vasco construido hasta Burdeos, la línea tiene que estar en activo en 2030 y en torno a 2047 se conseguirá sacar beneficio ambiental de este corredor siendo esencial cuidar todos los costes de mantenimiento y organización logística. (Kortazar, Bueno and Hoyos, 2023)

Las ventajas del ferrocarril según Ferrer (2025) un tren puede sustituir entre treinta y cuarenta camiones, opera 24 horas al día sin restricciones festivas y admite cargas de gran volumen, lo que reduce el coste por kilómetro y la huella de carbono. La baja fricción acero-acero permite arrastrar numerosos vagones con un consumo energético moderado, aunque alarga la distancia de frenado. Si la electricidad procede de fuentes renovables, el ferrocarril prácticamente elimina emisiones directas y mejora la calidad del aire. Estas ventajas se potencian con la digitalización de la gestión y la interconexión de terminales y empresas del sector (Figura 2).

Figura 4. *Principales empresas ferroviarias en España*



Fuente: Ferrer (2025)

Por otra parte, el cambio modal afronta importantes barreras. Como, el transporte combinado requiere terminales equipadas y depende de horarios y frecuencias regulares, lo que encarece la operación. Ferrer (2025) subraya que la menor capilaridad de la red ferroviaria obliga a realizar el primer y último tramo por carretera y que solo es rentable cuando existe una masa crítica de volumen y distancia. Además, el transporte combinado apunta a una carencia de plataformas digitales de reserva y a una interoperabilidad limitada en la red europea.

En el caso de España, las dificultades son estructurales. Según el informe de la Escola Europea (s.f.) la periferia geográfica, la coexistencia de anchos de vía distintos, las rampas pronunciadas y la baja densidad de la red reducen la competitividad ferroviaria. El ferrocarril soporta también barreras regulatorias y fiscales, un papel residual frente al camión y un nivel bajo de intermodalidad. A ello se suma que el 43% de la red administrada por ADIF no está electrificada, lo que obliga a recurrir a locomotoras diésel y disminuye la ventaja ambiental.

Las inversiones representan otro reto. Coloma y García (2016), calculan que actualizar el corredor Sines–Badajoz–Puertollano para trenes de 750 m requiere 161 M€ en infraestructura y 80 M€ en electrificación, con un coste medio de 640.000 €/km. La construcción de una línea de alta velocidad supera los 8 M €/km.

2.1.3 Evidencia académica del cambio modal sostenible en zonas montañosas

A la hora de analizar estudios sobre este concepto hay que añadir la diferencia entre la investigación literaria y la práctica. La primera ofrece una visión mayor de las agendas de los diferentes elementos tanto de los estudios actuales sobre las políticas a implementar.

Como también la capacidad de análisis sobre el terreno con datos de actualidad ofreciendo contrastar ciertas acciones referidas en trabajos de investigación y como serán desarrolladas en el futuro. Un informe actual describe ciertas barreras como la falta de inversión, resistencia empresarial y beneficios en eficiencia energética, mayor seguridad vial y menores emisiones en las vías de tránsito (Gleser and Elbert, 2024).

Según Coloma y García (2016) destacan que modernizar un corredor existente es mucho más barato que construir uno nuevo de alta velocidad: el coste de rehabilitar la línea Sines–Badajoz–Puertollano se estima en 640 000 €/km frente a 8,51 M €/km de una línea de alta velocidad. Esta diferencia indica que, en regiones con orografía compleja, la renovación de infraestructuras existentes pendientes, radio de curvatura, electrificación puede ser la estrategia más eficiente.

Por otra parte, según la revisión de estudios sobre el corredor Zaragoza–Canfranc–Pau muestran una gran dispersión de presupuestos. Según el Gobierno de Aragón (2025) las estimaciones que van desde 87,6 M € hasta 299 M € para reabrir la línea, dependiendo del alcance del proyecto y de si se incluyen mejoras integrales. Asimismo, el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2021) confirma la voluntad política de ejecutar la modernización del túnel de Somport y de reabrir la conexión con Francia. Por ello, la decisión de inversión no es puramente técnica, sino que incorpora consideraciones de retorno social y geoestratégico.

El proyecto alpino, según Rosa, et al. (2025) subraya que se deben identificar y coordinar más de veinte tipos de agentes desde autoridades regionales y empresas ferroviarias hasta cargadores y puertos para que el cambio modal funcione.

2.2 Comparativa carretera vs ferrocarril

2.2.1 Introducción

Ambos modos de transporte tienen una relevancia significativa en Europa y España de manera que se deben complementar y es necesario su estudio. El transporte de mercancías por carretera ha sido siempre el modelo predeterminado representando el 70% del volumen de la UE mientras que el ferrocarril un 2%, incluso siendo menor en España. En términos más específicos, en el 2021 las toneladas por kilómetro, el tren mueve 400tn/km por año y el transporte por carretera unos 1800tn/km por año (Comisión Europea, no date).

La comparativa entre estas dos modalidades de logística este dividida en factores de eficiencia energética, emisiones de Co2, seguridad vial y costes externos.

Según estudios, entre 1985 y 2021, la carretera acaparó un 65,2% de los tonelajes por kilómetro en la UE, mientras que el ferrocarril solo alcanzó un 9,7%. Esta disparidad refleja la flexibilidad, capilaridad y rapidez del camión, pero también sus externalidades negativas.

España presenta cifras aún más extremas: un estudio sobre el corredor transpirenaico calcula que la cuota ferroviaria española no supera el 4%, frente al 17% de la media europea.

Las razones de la pérdida de cuota ferroviaria son múltiples y están bien documentadas. La Escola Europea (s.f.) indica que la posición periférica de España, la coexistencia de anchos de vía distintos, las pendientes pronunciadas y la baja densidad de la red limitan la competitividad del ferrocarril. Además, subraya que la predominancia de la carretera, el papel residual del ferrocarril, la escasa intermodalidad, las barreras fiscales y regulatorias y la fragmentación empresarial son obstáculos estructurales. Además, un 43% de la red administrada por ADIF carece de electrificación, lo que obliga a emplear tracción diésel y reduce la eficiencia (Escola Europea Intermodal Transport, 2024).

La estructura de la red explica parte de estas limitaciones. ADIF gestiona 15.519 km de vías, de los cuales 12.333 km son de ancho ibérico convencional y 3.352 km de alta velocidad. Más del 70% es de vía única, lo que reduce la capacidad. Las redes autonómicas de Cataluña (FGC), Valencia (FGV) y el País Vasco (GiFE/ETB) suman cerca de 800 km adicionales. Estas cifras confirman una red fragmentada y parcialmente electrificada que condiciona la oferta de servicios y la calidad operativa (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2025). En cambio, la red viaria se ha expandido de manera continua y ofrece acceso directo a polígonos y nodos logísticos.

2.2.2 Eficiencia energética

El ferrocarril destaca por su eficiencia energética. La interacción entre rueda de acero y carril produce una fricción muy baja, lo que permite arrastrar largos trenes con un consumo moderado de energía. Esta eficiencia se refleja en la estructura de costes del transporte ferroviario español: la energía representa un 23,1% del coste total, mientras que el material rodante y el personal de conducción suman más del 60%. En un tren de mercancías la energía se concentra en una o dos locomotoras, a diferencia del camión donde cada unidad necesita su propio motor (Martín-Urbano, et al., 2020).

Un informe de la Comisión Europea (2020) señala factores de coste destaca que la distancia, la velocidad, las pendientes, las características de la vía, la longitud aceptada del tren y los sistemas de seguridad determinan el consumo energético. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2025) indica que en España las pendientes elevadas (hasta 23 milésimas) y las curvas reducen la capacidad de arrastre y obligan a dividir las composiciones. La posibilidad de operar trenes de 750m como propone la modernización del corredor Sines–Badajoz–Puertollano ayuda a mejorar la eficiencia a escala.

La electrificación es clave para maximizar el ahorro energético. Sin embargo, cerca del 43% de la red española no está electrificada, lo que obliga a utilizar locomotoras diésel y limita la reducción de emisiones. La expansión de la electrificación y la adopción de tecnologías de freno regenerativo permitirían reducir aún más el consumo energético. Además, la instalación de sistemas de señalización avanzados y el uso de plataformas digitales de

gestión optimizan el consumo y la ocupación de las vías (Consejo Económico y Social de Aragón, 2009).

En comparación, el camión presenta un consumo energético elevado debido al contacto neumático-asfalto y al peso relativo de la carga. Los costes de combustible son volátiles y las mejoras en la eficiencia dependen de la renovación del parque y de las tecnologías de motor. Por tanto, desde la perspectiva energética el ferrocarril tiene un potencial claro para reducir el consumo, siempre que las infraestructuras y el material rodante estén adaptados a trenes largos y electrificados (Ferrer, 2025).

2.2.3 Emisiones Co2

En Europa, el transporte de mercancías es responsable del 73% de las emisiones de gases de efecto invernadero, ante dicho dato el único que ha reducido sus cifras es el ferrocarril, un 68% entre 1990 y 2019 a pesar del aumento de tráfico ferroviario (European Environment Agency, 2024). Además, hay que destacar el 25% que representa el camión en comparación con el 5,5% en el 2023, mostrando la marginación del ferrocarril (Eurostat, 2026).

La reducción de emisiones es una prioridad de la política climática europea. La Comisión Europea (2020) plantea que el sector del transporte debe reducir sus emisiones en un 90% para 2050. Esta meta responde a la creciente preocupación ciudadana por el cambio climático. El ferrocarril puede contribuir a este objetivo porque emite menos CO₂ por tonelada-kilómetro, especialmente cuando la tracción es eléctrica y la energía proviene de fuentes renovables. Al respecto Ferrer (2025) enfatizan que los trenes tienen una huella de carbono notablemente inferior a la del camión.

En comparación, el transporte por carretera depende casi exclusivamente de combustibles fósiles. Además, según el informe de EcoTransIT World (2023) el transporte de mercancías utiliza mayoritariamente diésel, queroseno y fueloil pesado y que el sector contribuye de manera significativa al calentamiento global. Las emisiones se incrementan con la congestión, las paradas y los trayectos en vacío. Aunque la electrificación del transporte por carretera avanza en el ámbito urbano, las distancias interurbanas siguen dominadas por el diésel.

El cambio modal puede aportar reducciones de emisiones significativas. La modernización del túnel de Somport y la reapertura de la línea Zaragoza-Canfranc-Pau pretenden desviar parte del tráfico pesado hacia el ferrocarril. Las experiencias de la región alpina indican que una combinación de incentivos económicos, mejora de infraestructuras y simplificación administrativa puede lograr una transferencia sustancial de mercancías. Además, Aróstegui (2015) proponen un eje central que conecte Sines, Algeciras y París, lo que permitiría absorber tráfico procedente de los pasos saturados y reducir las emisiones en la red pirenaica.

Por tanto, el ferrocarril no es solo una alternativa técnica sino una herramienta esencial para cumplir los objetivos climáticos. Su potencial depende de la electrificación de la red, de la

mejora de los intercambiadores y del desarrollo de servicios regulares y fiables que atraigan la demanda empresarial.

2.2.4 Seguridad vial

La seguridad vial difiere notablemente entre carretera y ferrocarril. En el transporte por carretera los riesgos se derivan de la congestión, las condiciones meteorológicas y el factor humano. Al respecto Navarro (2024) sobre restricciones a la carretera subraya que los peajes, las limitaciones de conducción y la legislación sobre tiempos de descanso pretenden reducir accidentes, pero la escasez de conductores y la presión comercial elevan el riesgo. En rutas montañosas como las del Somport, las pendientes y curvas cerradas multiplican la siniestralidad.

El ferrocarril ofrece un entorno más seguro porque circula por vías segregadas y dispone de sistemas de señalización y control centralizado. La baja fricción limita la aceleración y la frenada, pero la modernización de la señalización y los sistemas de control reduce los errores humanos. Un estudio de Boby (2023) sobre interoperabilidad destaca que la armonización de los sistemas de seguridad y comunicaciones en Europa facilitará la circulación de locomotoras entre países y aumentará la seguridad.

El proyecto de reacondicionamiento del túnel de Somport incluye estudios aerológicos, mejoras de ventilación y revestimientos que garantizan la seguridad en un entorno ferroviario y carretero compartido. Estas actuaciones muestran cómo la infraestructura ferroviaria puede alcanzar niveles de seguridad muy altos si se adapta a los estándares actuales (Ministerio de Transportes, 2023).

La intermodalidad también mejora la seguridad al transportar camiones sobre vagones en tramos críticos. La llamada «autopista rodante» permite que los conductores descansen mientras cruzan áreas montañosas, reduciendo la fatiga y el riesgo de accidente. Los ejemplos suizos y austriacos inspiraron propuestas similares para los Pirineos y refuerzan la idea de que el ferrocarril puede asumir un papel clave en la gestión segura del tráfico pesado (Liberal & Lorenzo, 2021).

2.2.5 Costes externos

Los costes externos son aquellos impactos que no se reflejan en el precio que paga el usuario: emisiones, ruido, accidentes, congestión y deterioro de infraestructuras. Las presentaciones sobre restricciones a la carretera mencionan que las autopistas aplican peajes, se imponen restricciones de conducción y se intenta internalizar los costes marginales (Villa & Monzón, 2021). Estas medidas encarecen el transporte por carretera, pero no compensan completamente los daños ambientales y sociales. La escasez de conductores y la congestión

prolongan los tiempos de viaje y aumentan el consumo de combustible, lo que eleva las externalidades.

El ferrocarril genera menores costes externos por tonelada-kilómetro. Su estructura de costes internos revela que la mayor partida se concentra en el material rodante y el personal (más del 60%), mientras que la energía supone un 23,1% y los cánones apenas un 2,9%. Esta composición indica que los costes variables se reducen con el aumento del volumen transportado. Sin embargo, la ausencia de observatorios de costes y la dispersión de datos obligan a recalcular los costes de cada corredor (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024).

Las inversiones en infraestructura son una parte sustantiva de los costes totales. La reapertura del Somport se estima entre 87,6 M € y 299 M €, mientras que modernizar líneas para trenes de 750 m cuesta unos 640.000 €/km. Estos montos tienen un retorno a largo plazo, ya que el ferrocarril ofrece menores emisiones, mayor seguridad y una menor ocupación del suelo. La financiación y la distribución de los costes entre administraciones y usuarios son temas abiertos en las políticas públicas (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024).

2.2.6 Conclusión

La comparación entre carretera y ferrocarril evidencia un *trade-off* entre flexibilidad y sostenibilidad. La carretera domina por su capilaridad, la rapidez del servicio puerta-a-puerta y la adaptación a cargas pequeñas, pero genera altos costes externos y presenta riesgos de seguridad y emisiones. El ferrocarril por otra parte ofrece eficiencia energética, menores emisiones y mayor seguridad, aunque su competitividad depende de la inversión en infraestructura, la electrificación y la creación de servicios regulares. Las causas estructurales de la baja cuota ferroviaria en España posición periférica, distintos anchos de vía, pendientes, baja electrificación ha sido ampliamente documentadas.

Las políticas europeas y nacionales van por un cambio modal ambicioso. La modernización del túnel de Somport y la reapertura de la línea Zaragoza-Canfranc-Pau forman parte de una estrategia para desviar tráfico pesado hacia el ferrocarril y cumplir los objetivos climáticos. Las experiencias en los Alpes demuestran que con incentivos y cooperación es posible transferir un volumen significativo de mercancías. Sin embargo, la viabilidad económica exige una masa crítica de volumen y distancia y una gobernanza que coordine a los numerosos actores involucrados.

En la era de la descarbonización, el éxito de la logística sostenible en los Pirineos dependerá de la capacidad de integrar infraestructuras transfronterizas, armonizar normativas y movilizar a los sectores público y privado en torno a un objetivo común. Los ciudadanos europeos respaldan la ambición climática, y documentos como la Estrategia española de movilidad destacan la importancia de planificar la movilidad de forma sistémica. El corredor

Zaragoza–Canfranc–Pau puede convertirse así en un modelo de transición hacia una logística multimodal, segura y sostenible.

3. Metodología de la investigación

3.1 Tipo de investigación

El presente trabajo tiene un enfoque mixto, combinando metodologías cuantitativas y cualitativas. La parte cuantitativa se centra en la encuesta realizada a 40 profesionales de la línea logística Zaragoza-Canfranc Estación-Pau. El objetivo es conseguir datos medibles como seguridad, costes, percepción de la fiabilidad, sostenibilidad y condiciones de aceptación intermodal. La parte cualitativa se desarrolla en 4 entrevistas semiestructuradas con trabajadores clave del sector (conductores, operador ferroviario y responsable de operaciones). Estas entrevistas permiten contextualizar los resultados de la encuesta y comprender en profundidad las ventajas y desventajas de la propuesta.

El diseño no es experimental y transversal, debido a que los datos se recogen en un periodo de tiempo sin variables independientes, observando y analizando percepciones y comportamientos existentes.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación se estructura en diferentes fases. La primera es la revisión documental, donde se recopila literatura científica, normativa europea y española, y estudios de casos de corredores montañosos. Segundo, el diseño de instrumentos, creando la encuesta tipo Likert (1-5) que ofrece opiniones estructuradas y el guion de las entrevistas con seis bloques centrados en cada uno de los elementos de control de logística: fiabilidad, costes, seguridad, aceptación, volumen mínimo y rol de Canfranc.

En tercer lugar, el trabajo de campo con el que se realizan las encuestas y entrevistas, algunas de manera presencial y otras de forma telemática, se realizan durante el mes de agosto. Esto se detallará en los siguientes párrafos con mayor claridad, dando detalle de las características de cada una en este caso.

En cuarto lugar, con los datos obtenidos, se realizará una depuración y transcripción de las entrevistas y respuestas cualitativas. La aplicación de estadística descriptiva, con tablas cruzadas y posterior prueba de Chi-cuadrado, permitirá realizar un análisis completo del proceso de investigación de este Proyecto. Finaliza con una síntesis de triangulación de resultados cuantitativos y cualitativos, que responden a cada uno de los objetivos generales y específicos planteados.

La población son dos colectivos que operan o influyen en el eje: (a) conductores que realizan la ruta Zaragoza–Somport–Pau y (b) personal de intermediación/operación ferroviaria (p. ej., TransCanfranc, silo/terminal de Canfranc-Estación, logística en Zaragoza). Se trabajará con muestreo intencional por disponibilidad y acceso profesional. Tamaños: encuesta n=40 (28 conductores y 12 intermediarios/operación) (ver Anexo 02) y entrevistas 4 (dos conductores con perfiles distintos, un operador de terminal/intermediación y un responsable de planificación/tráfico) (ver Anexo 01).

Las variables son: fiabilidad (previsibilidad de tiempos, efecto de ventanas horarias y clima), coste-operación (esperas, frecuencia/horarios, expectativa tarifaria del tramo ferroviario), seguridad (riesgo vial percibido y reducción esperada con intermodalidad), sostenibilidad (valor empresarial de reducción de CO₂ y tolerancia a trade-offs de tiempo), aceptación del tren-camión (condiciones mínimas para adoptarlo), volumen mínimo (t/palés que “compensan”) y rol de Canfranc (servicios necesarios, preferencia como nodo).

3.3 Población y muestra

Para describir la población objetivo de esta investigación, he elegido los principales actores que influyen en el Corredor, del que estoy tratando. En el Sector del Ferrocarril todos los

operadores e intermediarios son parte de la Línea, como por ejemplo los trabajadores de la Terminal de Canfranc, además de los responsables y controladores de cada uno de los trenes en funcionamiento. En la parte del transporte pesado existen actores como los conductores y peones de las Empresas, dueñas de los camiones que realizan el transporte de primera y última milla. También existen Agentes encargados de la planificación del tráfico, que pertenecen a diferentes terminales y empresas, que proporcionan una visión general de los problemas o incompatibilidades de la “vida” del Corredor.

El muestreo que he seleccionado se dirige a perfiles específicos con amplia experiencia. Las encuestas se han realizado a 28 conductores y 12 Operadores, tanto en la Terminal de Canfranc como en la Plataforma Logística de Plaza. Las entrevistas se han realizado a dos conductores con perfiles distintos dadas las características de su servicio, un representante de TransCanfranc y un responsable de Planificación de Transportes Callizo S.A.

3.4 Instrumentos de recogida de datos

Las encuestas contienen 17 conceptos agrupados en 7 bloques (fiabilidad, costes, seguridad, sostenibilidad, aceptación, volumen mínimo y competitividad de Canfranc. Se aplica la escala Likert, a fin de obtener una medición de grados consensuada donde uno representa el valor mínimo y 5 el máximo. Se ha realizado en formato digital a través de la plataforma Google Forms, tanto en las realizadas en la Estación de Canfranc, como en la Plataforma Logística Plaza.

Las entrevistas se realizaron al principio del mes de agosto con una duración media por entrevista de cuarenta minutos, con transcripción literal, incluidos los anexos, de cada una de las respuestas y con el consentimiento de los participantes para el uso de la información en mi Proyecto de investigación. Esto permite exponer las barreras y condiciones mínimas de las expectativas de los distintos actores involucrados.

3.5 Técnicas de análisis de datos

El análisis de datos es una de las más relevantes de este estudio, permitiendo transformar la información de las encuestas y entrevistas en evidencia para responder a los objetivos planteados. Un enfoque mixto en la investigación con aplicación de técnicas de análisis cuantitativo y cualitativo dará una visión integral del caso logístico estudiado.

3.5.1 Análisis cuantitativo



Los datos obtenidos en las 40 encuestas se procesaron con un esquema estadístico e inferencial. Los datos descriptivos se calcularon a través de frecuencias absolutas y relativas, porcentajes, medias y desviaciones de cada variable, Identificando tendencias como la falta de previsibilidad de los tiempos, o la opinión favorable de las empresas a reducir emisiones y costes medioambientales, esto es fundamental para garantizar y comparar los resultados en el posterior análisis. Se han creado tablas cruzadas para relacionar las variables clave. Por ejemplo, la relación entre el rol de participante y la valoración de los riesgos viales, o entre el número de viajes y la aceptación de la intermodalidad de la línea. Se buscan patrones diferenciales dentro de la muestra y constituye una herramienta útil para segmentar los resultados. También la prueba de Chi-cuadrado con el objetivo de determinar si las observaciones eran estadísticamente significativas, siendo apropiada para la encuesta que realizo con variables de naturaleza categórica y en escala. Esto permite validar que ciertos patrones de respuesta no son aleatorios, sino que reflejan comportamientos consistentes en la muestra estudiada.

3.5.2 Análisis cualitativo

Las 4 entrevistas semiestructuradas realizadas a actores clave con un procedimiento de codificación temática: transcripción literal, codificación inicial, matriz de evidencias y análisis temático. Cada entrevista fue transcrita íntegramente para extraer con mayor claridad los datos para posterior análisis. De éstos se identifican las categorías alineadas con los objetivos de investigación y se construye una matriz que relaciona cada categoría con las citas más relevantes de cada entrevista. El análisis telemático permite elaborar interpretaciones que conectan la experiencia práctica con los datos relevantes de la encuesta. Como entre conductores y operadores en que el tramo montañoso encuentra los mayores riesgos y sobrecostes que aporta la necesidad de transferir ese tramo al ferrocarril. Esto explica el porqué opinan lo que opinan y ofrece una mayor profundidad en este contexto.

3.5.3 Integración de resultados

Al combinar ambos análisis se establece un principio de triangulación metodológica, donde las encuestas proporcionan datos estadísticos de un conjunto de profesionales, las entrevistas aportan testimonios en profundidad enriqueciendo las tendencias y la comparación de ambos métodos reforzando la validez de los resultados: cuando las dos coinciden las conclusiones se deben de considerar más robustas, en cambio, cuando son opuestas generan hipótesis opuestas.

3.6 Fiabilidad y validez

Cualquier investigación depende de que sean fiables y válidos aquellos datos que se obtienen, fiables por la consistencia de los resultados mientras que válidos para medir aquello que realmente se pretende estudiar, prestando atención a ambos criterios con el fin de garantizar que las conclusiones sobre el Corredor Zaragoza-Canfranc-Pau estuvieran comprobadas y fueran útiles desde el punto de vista académico y práctico.

3.6.1 Fiabilidad

A la hora de asegurar que los datos son fiables, se adoptaron medidas como la prueba piloto donde 4 participantes del sector ayudaron a identificar ambigüedades en la redacción de preguntas y ajustes de la escala, comprobando cada una de las respuestas con el bloque temático al que respondía. Se eliminan los datos de respuesta atípica como por ejemplo aquellas observaciones fuera del ámbito de la investigación. Las entrevistas siguieron el mismo guión y se realizaron con las mismas condiciones, lo que favorecen la estandarización del procedimiento y reduce el riesgo de variaciones.

3.6.2 Validez

La validez del contenido se demuestra a través de la comprobación de un profesional del sector ferroviario en la Zona y que confirma que las preguntas cubren de manera suficiente los conceptos clave (huella de carbono, viabilidad, seguridad, costes externos e intermodalidad). Las preguntas se organizaron de manera que las variables teóricas están claramente definidas por ejemplo la variable aceptación se midió a través del ajuste de ventanas de carga, variable recogida en la literatura sobre el cambio modal.

La triangulación metodológica permite verificar que las conclusiones derivadas de la encuesta coincidían con los testimonios de las entrevistas comprobando la coherencia de ambos métodos, esto refuerza la credibilidad de los hallazgos. Hay que tener en cuenta que, aunque el tamaño de la muestra es limitado, los diferentes perfiles incluidos en el estudio, como conductores, operadores y planificadores, son los principales actores que otorgan un grado razonable de claridad para otros casos.

3.7 Limitaciones de investigación

El presente Proyecto como en todo proceso de investigación conlleva una serie de limitaciones, que condicionan el alcance de las conclusiones y orientan el diseño de futuras investigaciones.

3.7.1 Limitaciones metodológicas

La primera limitación proviene del tamaño de la muestra ya que cumple con el mínimo de un Proyecto de investigación de grado con 40 encuestas y 4 entrevistas, esta cantidad resulta reducida a falta de la utilización de los datos técnicos que amplían cada una de las teorías y ayudan a cumplir con los objetivos de la investigación. Es necesaria la ampliación de la muestra si el objetivo es marcar unas conclusiones definitivas que reduzcan el sesgo de la selección a otras zonas con el mismo problema y Proyecto. También la muestra está formada por aquellos que aceptaron colaborar y que tenían disponibilidad durante el periodo de la muestra (agosto), todos ellos mostraron disponibilidad ante el tema, lo que hace probable su conocimiento sobre la investigación y que permite influir en la interpretación de los resultados.

3.7.2 Limitaciones técnicas

La limitación técnica refiere a técnicas estadísticas como tables cruzadas y pruebas de Chi-cuadrado, donde el tamaño de la muestra aun siendo reducido limita la potencia de estas pruebas, siendo necesario replicarlas con una base de datos más amplia para confirmar su validez. El instrumento de encuesta es autogestionado lo que puede conllevar a fallos de comprensión por parte de los encuestados y afectar a la precisión de las respuestas.

3.7.3 Limitaciones de acceso a la información

Durante el trabajo de campo he tenido restricciones de acceso a ciertos agentes como l Autoridades francesas vinculadas al tramo Pau-Canfranc, ni a operadores internacionales ferroviarios, lo que delimita la perspectiva transfronteriza y obliga a dar una versión española del análisis.

Hay que tener en cuenta que la información de la bibliografía en mayor medida proviene de informes institucionales (Ministerio de Transportes, Comisión Europea, Escola Europea). Estas fuentes son fiables y reconocidas, aunque tienen influencia política o estratégica. La ausencia de datos independientes es una limitación a tener en cuenta.

3.8 La síntesis metodológica

La metodología de este Proyecto se diseñó para dar respuesta a los objetivos de investigación, buscando el rigor académico y aplicabilidad práctica el caso del Corredor Zaragoza-Canfranc-Pau. El enfoque mixto permitió capturar datos cuantitativos que identificaran patrones generales con información que aporta profundidad y contexto. El diseño descriptivo y explicativo de la investigación caracteriza el funcionamiento del Corredor en términos logísticos para su posterior explicación de relaciones entre las variables con el fin de aceptar un modelo de transporte intermodal tre/camión que responde a la pregunta de investigación y ofrece una visión integral del problema.

La recogida de datos se articuló a través de instrumentos como la encuesta estructurada y entrevistas semiestructuradas con una revisión exhaustiva y validada adecuándose a los objetivos del estudio. Los datos se analizaron con técnicas estadísticas, tablas cruzadas, porcentajes y prueba de Chi-cuadrado. La integración de ambos enfoques, codificación y triangulación permitió construir una estrategia definitiva y sólida

4. Análisis de datos

4.1 Entrevistas

Para realizar las entrevistas se ha pedido la colaboración de cuatro profesionales del Sector a los que se les solicitó el consentimiento para realizar la entrevista adjunta en el Anexo 6.1, junto al documento firmado por cada uno.

Para simplificar el desarrollo del trabajo se ha codificado a los 4 entrevistados con los siguientes códigos: C1 conductor autónomo (Javier Sanchez Martín), C2 conductor de flota agroalimentaria (Luis Fernandez Ortega), O1 Operador en Terminal TransCancranc (Eduardo Garcés Vázquez), P1 Responsable de planificación y tráfico (Carlos Navarro García).

4.1.1 Análisis de las entrevistas realizadas

Tabla 1.

Matriz de las entrevistas en cumplimiento de los objetivos.

Preguntas	Evidencia C1	Evidencia a C2	Evidencia O1	Evidencia P1	Cumplimiento de objetivos
P1	7h30–8h	Restricci	Cola si llegan 3	Replanifica	OG/OE3: Tren

Preguntas	Evidencia C1	Evidencia C2	Evidencia O1	Evidencia P1	Cumplimiento de objetivos
Fiabilidad/operativa	ZGZ–Pau; Somport y RN-134 añaden ±45 min por meteo/obra s.	dominical yFR condicion ±45 a porpernocta; colas 30–60 min en obras.	–4 camiones en 30 min; cita previa evita picos.	si avisa D-2; ventanas de entrega mandan.	en tramo montañoso estabiliza tiempos; carretera mantiene capilaridad.
P2 Costes ocultos	Peajes Sobreconsumo +25–35 €/viaje, aparcamiento seguro.	Peajes alternativos, penalizaciones por ventana, desgaste.	Incertidumbre es el mayor coste; manipulación/al macenaje aparecen.	Variabilidad dispara horas extra y reprogramaciones.	OE1/OE2: Intermodal reduce consumo y variabilidad; hay coste terminal que exige volumen.
P3 Seguridad	Hielo/nieve, desprendimientos, fauna; menor exposición si tren hace montaña.	Menos fatiga y freno; baja siniestro mecánico.	Riesgos operativos mitigables (SOPs/EPIs/kit invierno).	Riesgo pasa a puntualidad baja; ferroviaria y coordinación.	OG: Riesgo vial mejora sostenibilidad operativa (menos incidentes).
P4 Aceptación (condiciones)	≥2 frecuencias/día; 15% máx. sobre todo-carretera; plan B < 6 h.	SLA con penalizaciones; integración TMS.	Puntualidad ≥95%; cita previa confirmación.	Malla estable 08:15/19:45; contingencias a todo-camión.	OE4: Requisitos de diseño del modelo Canfranc (frecuencia, SLA, TI, contingencias).
P5 Volumen mínimo	20–24 palés/semana; semis/semana.	1 tráiler/día (ideal 5/semana).	200–300 t/semanas agregadas; 15–20 palés/cliente.	≥250 t/mes por cuenta o 3–5 semis/semana.	OE4/OE5: Masa crítica necesaria; sin volumen se diluye el ahorro y la puntualidad.

Preguntas	Evidencia C1	Evidencia a C2	Evidencia O1	Evidencia P1	Cumplimiento de objetivos
P6 Rol de Canfranc (servicios)	Báscula, 24/7 depicos, enchufes frigo, zona segura, cita previa.	en Zona fría, escaneo palés, tiempo de suelo <90 min.	Cross-dock, almacén, ADR, EDI/API, redundancia, kit invierno.	Visibilidad tiempo real, avisos, playa amplia, SOPs meteo.	OE4: Canfranc como nodo integral (infra+TI+procesos) para sostener el modelo.

De acuerdo con la matriz presentada, los cuatro entrevistados coinciden: el tramo montañoso (Jaca–Somport–RN-134) es el foco de variabilidad operativa (meteo, obras, geometría) y de riesgo vial. La propuesta con transbordo en Canfranc desplaza al tren la parte menos eficiente y más insegura para el camión, manteniendo la capilaridad de la carretera en origen y destino. En ese sentido, se presenta un análisis conforma los objetivos del presente estudio:

OG – Evaluar el impacto medioambiental derivado del impacto parcial de la logística de camiones a trenes en el Corredor de Zaragoza-Canfranc-Pau, con foco en el ahorro de emisiones y sostenibilidad operativa.

C1 y C2 reportan sobreconsumos de +25–35 l/viaje en días adversos. Trasladar el tramo montañoso al ferrocarril reduce litros consumidos, ralenti por colas y desgaste (frenos/neumáticos), lo que impacta directamente en emisiones y siniestralidad. Operativamente, O1 y P1 señalan que la predictibilidad ferroviaria (si $\geq 95\%$ puntualidad) evita reprogramaciones y horas extra; esto es sostenibilidad operativa tangible (menos fallos en cadena).

OE1 – Estimar la huella de carbono actual del transporte de mercancías por carretera en el Eje Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza

Los entrevistados indican alto consumo en pendientes, paradas por obra/meteo y restricciones dominicales en Francia que alargan el viaje. Tomando como referencia un factor estándar de diésel (aprox 2,64 kg CO₂/l), solo el sobreconsumo reportado por C1/C2 (+25–35 l en condiciones adversas) implica ~66–92 kg CO₂ extra por viaje, sin contar el resto del trayecto. Esto da contexto empírico a la huella actual en la sección crítica.

OE2 – Calcular el potencial de reducción de emisiones mediante el uso ferroviario.

Si el tren asume el tramo de montaña, C1 estima -25/-30 l por viaje en días normales (más en días duros). Eso equivale a 66–79 kg CO₂ evitados por viaje (solo por combustible directo), a lo que se suma la mejor eficiencia energética t-km del tren y la reducción de ralentí en accesos. A escala semanal (p. ej., 3–5 tráileres), el ahorro se vuelve material; a escala de corredor, con 200–300 t/semana (O1), el impacto agregado es relevante.

OE3 – Comparar la eficiencia energética entre ambos modos.

Además de las entrevistas, según la revisión de estudios (Ferrer, 2025; Aróstegui, 2015 y Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2025) lo respalda: el tren es más eficiente por t-km en montaña, mientras el camión es imbatible en primera/última milla. La combinación mixta (tren en montaña + camión en extremos) mejora el consumo total sin perder servicio. Además, baja fatiga y siniestro mecánico (C2, P1).

OE4 – Proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc.

Conforme a las entrevistas, se pueden destacar los siguientes requisitos:

- Malla: 2 frecuencias/día (p. ej., 08:15 y 19:45) y refuerzos en campaña.
- SLA: puntualidad $\geq 95\%$, tiempo de suelo < 90 min por unidad, confirmación D-1, plan B < 6 h.
- TI: cita previa, EDI/API con TMS, visibilidad en tiempo real y avisos automáticos.
- Infra/servicios: cross-dock, almacén cubierto, báscula, ADR, enchufes frigo, playa amplia, zona segura.
- Meteo: protocolo de invierno (quitanieves, sal, turnos reforzados, equipos redundantes).
- Este paquete Canfranc ata la fiabilidad y reduce el riesgo de cuello de botella en terminal.

OE5 – Identificar barreras técnicas y estratégicas al cambio modal.

- Volumen: sin masa crítica (O1: 200–300 t/semanas agregadas; P1: ≥ 250 t/mes por cuenta), el coste de terminal diluye el ahorro.

- Puntualidad ferroviaria: si cae bajo el 95%, regresan colchones y penalizaciones en destino.
- Integración TI: sin cita previa + EDI/API, suben errores de slot y tiempos muertos.
- Meteo/accesos: sin plan invierno, el cuello se traslada a Canfranc.
- Cultura/aceptación: conductores valoran la flexibilidad del todo-camión; necesitan ver tiempos puerta-a-puerta y contingencias claras.

Por lo tanto, según los entrevistados C1–C2–O1–P1 se puede sostener que el esquema tren-camión con transbordo en Canfranc es viable y ventajoso si se cumplen frecuencia (2/día), puntualidad ($\geq 95\%$), tiempos de suelo (< 90 min), TI integrada y volumen suficiente. El efecto directo es menos combustible y riesgo en la sección montañosa, más previsibilidad en la cadena y, por tanto, reducción medible de emisiones en el eje Zaragoza–Canfranc–Pau. Con el «paquete Canfranc» (infra + TI + SOPs + plan invierno), el modelo no solo funciona, sino que escala.

4.2. Encuestas

OG – Evaluar el impacto medioambiental derivado del impacto parcial de la logística de camiones a trenes en el Corredor de Zaragoza-Canfranc-Pau, con foco en el ahorro de emisiones y sostenibilidad operativa.

Según las encuestas analizadas participaron 40 personas del corredor, con 28 conductores (70%) y 12 profesionales de intermediación u operación (30%). Se puede ver que la mayoría son conductores, útil porque los conductores conocen más sobre la puntualidad real, los riesgos del Somport y los costes en ruta, mientras que los intermediarios las ventanas, coordinación y capacidades de la terminal. La intensidad de uso también es clara: la mayoría realiza entre cinco y nueve viajes al mes por el eje, un cuarto hace hasta cuatro, y un grupo pequeño alcanza diez o más. Esto quiere decir que existe demanda suficiente para pensar en servicios regulares de tren, pero con picos y valles que exigen flexibilidad en plazas y acopios.

El conjunto de respuestas muestra un patrón operativo que empuja al alza la huella de carbono en carretera: tiempos poco predecibles, ventanas que generan colas y meteorología adversa en el tramo de montaña. La predictibilidad puerta a puerta es baja, con predominio del desacuerdo; más de la mitad indica que las ventanas de carga/descarga les causan retrasos relevantes; y dos de cada tres afirman que la climatología afecta a menudo sus tiempos. A esto se suman costes de espera significativos para tres cuartas partes de la muestra. Todo ese tiempo muerto implica más motor al ralentí, más maniobras y más consumo del que sería necesario en un flujo estable. En paralelo, la seguridad es una preocupación real: el 65% percibe riesgos altos en Somport y puertos y el 70% cree que la intermodalidad reduciría su

exposición a accidentes, lo cual tiene un reflejo operativo y ambiental, porque cada incidente evita o minimiza consumos extra y reprogramaciones.

Por ello, el cambio parcial camión al tren centrado en el tramo montañoso busca reducir emisiones por dos vías: por un lado, el mejor rendimiento energético por tonelada-kilómetro del tren en una sección dura para el camión; por otro, la eliminación de esperas y sobreconsumos asociados a cuellos de botella y clima. Así, se puede ver que hay intención de adopción si se garantizan plaza y tiempos: el 72,5% adoptaría el tren-camión bajo garantías contractuales; además, dos tercios preferirían Canfranc si operara 24/7 y con tarifa integrada. El impacto medioambiental, por tanto, no depende solo del «modo tren», sino del diseño del servicio: malla, tiempos de suelo, digitalización de citas y visibilidad en tiempo real. Hecha esta lectura, pasamos a cada objetivo específico con los mismos datos.

OE1 – Estimar la huella de carbono actual del transporte de mercancías por carretera en el Eje Pau/Canfranc-Estación/Zaragoza

Para estimar la huella actual, la encuesta muestra indicadores de ineficiencia que aumentan el consumo del camión en esta ruta. Con 28 conductores encuestados, la percepción mayoritaria es que el tiempo puerta a puerta no es predecible; esta falta de regularidad obliga a márgenes de seguridad y a mantener el motor encendido en esperas. Más de la mitad reporta retrasos por ventanas en muelles, silos y almacenes, lo que genera colas y maniobras adicionales. El 62,5% señala que el clima en Somport y en los puertos afecta a menudo sus tiempos, especialmente en invierno. Estas tres piezas se traducen en más minutos al ralentí, más recorridos a baja velocidad y más rehacer itinerarios para no perder citas, todo lo cual incrementa el consumo por tonelada transportada.

A este patrón se suma el peso típico por viaje que declara la muestra. El umbral operativo que «compensa» se concentra en 16–20 toneladas por viaje, seguido de 11–15 y 21–25. Es decir, muchas expediciones no van a plena capacidad del tráiler. Cuando se mueve ese rango de tonelaje en un tramo de montaña con paradas, arranques y pendientes, el consumo unitario se resiente. Además, como la mayoría hace entre cinco y nueve viajes al mes, estas ineficiencias se repiten semana tras semana. La huella de carbono actual, por tanto, no solo depende de la distancia y del combustible estándar de un Euro VI, sino del perfil operativo del corredor: ventanas rígidas, clima y geometría de la ruta.

OE2 – Calcular el potencial de reducción de emisiones mediante el uso ferroviario.

El potencial de reducción aparece cuando se transfiere al tren la sección que hoy más castiga al camión: el tramo Jaca–Somport–RN-134 hasta Pau. La encuesta muestra tres señales que cuantitativamente no son litros, pero sí palancas medibles. La primera es la intención de adopción condicionada: el 72,5% de los encuestados adoptaría el modelo tren-camión si hay

garantía de plaza y tiempos comprometidos. Si esa adopción se materializa siquiera en una fracción de los cinco a nueve viajes/mes que hace el grupo mayoritario, se podrían trasladar al tren decenas de viajes de montaña cada mes, recortando minutos de ralentí, arranques en pendiente y frenadas largas que disparan consumos. La segunda señal es la disposición ambiental: más de la mitad indica que su empresa valora reducir emisiones y un 40% aceptaría algo más de tiempo si baja la huella. Esto abre espacio para diseñar una malla que no penalice el servicio, pero que sí capture ahorros ambientales en el tramo ferroviario. La tercera señal es la preferencia por Canfranc bajo condiciones claras: dos tercios elegirían Canfranc si opera 24/7 y con tarifa integrada, lo que facilitaría transferencias constantes sin interrupciones de fin de semana.

Al desplazar la montaña al tren se ataca de raíz la causa de los sobreconsumos que describe la muestra: meteorología y ventanas. El tren tiene menor sensibilidad a la pendiente y puede explotar mallas repetibles, lo que, combinado con tiempos de suelo controlados en Canfranc, recorta minutos improductivos del camión y, con ello, emisiones por viaje. Además, al disminuir los incidentes y la exposición a riesgos en la carretera (percibidos altos por el 65%), se evita el consumo asociado a desvíos, asistencias y reprogramaciones. Por tanto, el potencial de reducción no es solo teórico por eficiencia modal; es operativo por la eliminación de cuellos de botella que hoy engordan la huella.

OE3 – Comparar la eficiencia energética entre ambos modos.

La comparación de eficiencia se puede ver que por tonelada-kilómetro y en regularidad operativa. En el primer eje, el tren es intrínsecamente más eficiente moviendo toneladas en pendiente y en trayectos largos con perfiles estables. En el segundo, la encuesta muestra que el camión en este corredor sufre variabilidad: la predictibilidad baja (distribución centrada en 1–3), las ventanas generan retrasos relevantes y la climatología afecta a menudo. Esa combinación hace que, en la práctica, la energía consumida por tonelada sea mayor que la que veríamos con tráfico llano y sin esperas.

Frente a esa realidad, el tren ofrece mallas regulares y menor sensibilidad a meteorología en túnel y tramos protegidos, siempre que se asegure la operación continua o extendida en el nodo. Que seis de cada diez encuestados vean competitiva la tarifa ferroviaria frente a la carretera es un proxy de que esperan mejor productividad energética trasladada al precio. Además, la seguridad es un factor energético indirecto: menos riesgo y menos incidentes significan menos consumos imprevistos. Con veintiocho conductores declarando retrasos por ventanas y afectación del clima, y doce operadores señalando cuellos operativos en citas, el balance comparado favorece al tren en el tramo de montaña, mientras que la carretera mantiene su ventaja en primera y última milla por capilaridad y velocidad de reacción.

OE4 – Proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc.

La demanda mensual se concentra en cinco a nueve viajes por operador; el peso típico por expedición se sitúa en 16–20 t. Esto invita a un diseño con consolidación y *cross-dock* en Canfranc para que el tren salga con buena ocupación. Para la aceptación, hay dos condiciones explícitas. La primera es garantía de plaza y tiempos comprometidos: el 72,5% adoptaría el tren-camión con ese marco. La segunda es operación 24/7 y tarifa integrada en el nodo: dos tercios preferirían Canfranc en ese escenario. A esto se suma la flexibilidad limitada de ventanas: solo un 45% está dispuesto a ajustar horarios para acoplarse al tren y un 30% se mantiene neutral. Por tanto, el sistema debe ofrecer alternativas de franja sin exigir grandes sacrificios al cliente.

Con estos datos, el modelo para Canfranc debería incluir frecuencias diarias en dos franjas útiles para cubrir planificación de mañana y tarde y dar plan B si se pierde una cita. Debería operar con cita previa digital, confirmación y visibilidad en tiempo real para reducir colas, y con tiempos de suelo objetivo que eviten que la terminal se convierta en un nuevo cuello de botella. La percepción actual del nodo es intermedia: el potencial «está», pero la competitividad depende de servicios reales. Por eso es clave demostrar con datos que el nodo puede mantener horarios, manipular dentro de límites y coordinar ventanas sin fricciones. Si se logra, la preferencia declarada por dos tercios bajo condiciones 24/7 y tarifa integrada se transformará en tráfico efectivo.

OE5 – Identificar barreras técnicas y estratégicas al cambio modal.

La primera barrera es el volumen. Aunque el corredor tiene actividad, solo un 7,5% declara quince o más viajes al mes y el peso que «compensa» se concentra en 16–20 t por viaje. Esto significa que, si no se agrega carga de varios remitentes o rutas, el coste de terminal puede diluir el ahorro modal. La solución es trabajar con acuerdos marco que garanticen un mínimo mensual por empresa y un agregado semanal suficiente para sostener la malla.

La segunda barrera es la puntualidad y la disciplina de ventanas. La encuesta muestra que las ventanas son hoy un cuello y que la predictibilidad es baja. Si el tren no mantiene niveles altos de cumplimiento, los clientes volverán a meter colchones y preferir el todo-camión. Por eso el contrato de servicio debe incluir tiempos comprometidos y penalizaciones simétricas y, operativamente, la terminal debe controlar el tiempo de suelo para que no se generen nuevas esperas.

La tercera barrera es la flexibilidad limitada por parte de los clientes. Solo un 45% declara estar dispuesto a mover sus ventanas para encajar con el tren. Esto obliga a que la infraestructura ponga la flexibilidad: dos franjas diarias, refuerzos en campaña, operación extendida y tarifa integrada que reduzca fricción comercial. Cuanta más comodidad ofrezca el sistema, menor será la resistencia cultural.

La cuarta barrera es la percepción de capacidades del nodo. Con respuestas repartidas en torno al punto medio, Canfranc no parte con una ventaja clara. Para convertirse en preferencia, debe probar que puede operar 24/7 en picos, que tiene integración TI para reservas y seguimiento, y que cumple un tiempo de suelo objetivo. Cuando se planteó ese paquete completo, dos tercios dijeron que sí lo preferirían. La barrera, por tanto, es condicional y se levanta con hechos.

La quinta barrera es la cultura de decisión en parte del mercado. Aunque el 55% dice que su empresa valora reducir emisiones, hay un 20% que aún muestra baja prioridad ambiental. Esto no invalida el cambio modal; solo implica que el argumento principal no debe ser el CO₂, sino el servicio y el coste total. La disposición a aceptar algo más de tiempo si baja la huella es moderada (alrededor del 40% en 4–5), lo que marca un límite: el puerta a puerta intermodal debe mantenerse muy cerca del camión en condiciones normales, y usar el beneficio ambiental como valor extra, no como sustituto de la fiabilidad.

4.2.1 Análisis inferencial: Prueba Chi-cuadrado

A la hora de complementar el análisis descriptivo, se aplica la prueba de Chi-cuadrado de independencia (χ^2) con el objetivo de identificar si existe relación entre el entrevistado y su aceptación del modelo tren-camión bajo garantías contractuales.

Se analiza la relación entre:

- Rol del encuestado (conductor o operador)
- Nivel de aceptación del modelo tren-camión

Hipótesis planteadas:

- H0: No existe relación significativa entre el rol y la aceptación del tren-camión.
- H1: Sí existe relación significativa entre el rol y la aceptación del tren-camión.

Tabla 2 Tabla de contingencia (rol vs aceptación del tren-camión)

Rol	Baja/Media (1–3)	Alta (4–5)	Total
Conductores	9	19	28
Operadores	2	10	12
Total	11	29	40

A partir de esta tabla se calcularon las frecuencias esperadas y el estadístico χ^2 :

- χ^2 calculado = **1,01**
- gl (grados de libertad) = 1
- χ^2 crítico ($p = 0,05$) = 3,84

Dado que $x^2_{\text{calculado}} < x^2_{\text{crítico}}$, se **no se rechaza H_0** . (Anexo 6.3)

Interpretación: No se observan diferencias significativas entre conductores y operadores en cuanto a la aceptación del modelo tren–camión. Esto indica que la disposición a adoptar el cambio modal es **transversal a ambos grupos** y no depende de su rol en el corredor, sino de factores comunes como la puntualidad, la fiabilidad y la digitalización del nodo de Canfranc.

5. Conclusiones

5.1 Conclusiones

De acuerdo con el objetivo general del presente proyecto, se concluye que el cambio parcial de camión a tren en el corredor Zaragoza–Canfranc–Pau es ambientalmente positivo y operativamente viable siempre que el tren asuma el tramo de montaña y el camión conserve la primera y última milla. Esta conclusión responde a la evidencia de estudios revisados y la propia del estudio: participaron 40 personas, con 28 conductores (70%) y 12 profesionales de intermediación/operación (30%), lo que permite mostrar la visión de ruta (tiempos reales, riesgos y costes) con la de terminal (ventanas, plazas y coordinación). La mayoría realiza 5–9 viajes/mes, patrón que indica demanda suficiente para servicios regulares, aunque con picos y valles que exigen flexibilidad en plazas y acopios. Los resultados cuantitativos y cualitativos coinciden en que la parte montañosa añade variabilidad (meteorología, obras y geometría) y riesgo vial, por lo que desplazar ese tramo al tren reduce consumos, incidentes y reprogramaciones, mejorando la sostenibilidad operativa del corredor.

De acuerdo con el objetivo específico 1 (estimar la huella de carbono actual por carretera), se concluye que la huella está sobrecargada por ineficiencias operativas repetidas: los tiempos puerta a puerta no son predecibles (predomina el desacuerdo), más de la mitad señala retrasos por ventanas de carga/descarga y dos de cada tres afirman que la climatología afecta a menudo sus tiempos. Tres de cada cuatro califican como significativos los costes de espera (colas, papeleo, maniobras). Además, el volumen típico por expedición se concentra en 16–20 t/viaje, de modo que muchas cargas no van a plena capacidad y sufren más el consumo en pendientes, arranques y frenadas. Todo ello implica más minutos al ralentí, más kilómetros a baja velocidad y más rehacer rutas para no perder citas, lo que incrementa el consumo por tonelada y, en consecuencia, la huella de carbono de la ruta en su configuración actual.

De acuerdo con el objetivo específico 2 (calcular el potencial de reducción de emisiones con ferrocarril), se concluye que el potencial es alto si el tren cubre la sección Jaca–Somport–RN-134. La propia base de encuestados muestra intención de adopción condicionada: el 72,5% adoptaría tren-camión si hay garantía de plaza y tiempos comprometidos; además, dos tercios preferirían Canfranc si opera 24/7 y con tarifa integrada. Al trasladar al tren el tramo más sensible al clima y a las ventanas, se eliminan sobreconsumos y minutos improductivos del camión (ralentí, arranques en pendiente y frenadas prolongadas) y se reduce la exposición a accidentes (el 70% cree que la intermodalidad reduce su exposición). Por tanto, la reducción de emisiones no procede solo del mejor rendimiento energético del tren por t-km, sino también de evitar tiempos muertos y desvíos que hoy inflan la huella del camión.

De acuerdo con el objetivo específico 3 (comparar eficiencia energética), se concluye que el tren es más eficiente por tonelada-kilómetro en la sección montañosa, mientras que el camión es insustituible por su capilaridad en origen y destino. La encuesta respalda esta lectura: el mercado espera que la tarifa ferroviaria sea competitiva (60% de acuerdo), lo que refleja la confianza en su productividad energética si la operación es regular. En contraste, la carretera en este corredor sufre variabilidad por clima, obras y ventanas, lo que, en la práctica, aumenta la energía consumida por tonelada respecto a un tráfico llano y fluido. La combinación tren en montaña + camión en extremos es, por tanto, la opción más eficiente y realista para este caso.

De acuerdo con el objetivo específico 4 (proponer un modelo de intermodalidad sostenible para Canfranc), se concluye que el modelo debe incluir, como mínimo, dos frecuencias diarias en franjas útiles (mañana/tarde), puntualidad $\geq 95\%$, tiempo de suelo < 90 min por unidad, plaza garantizada D-1 y plan B < 6 h cuando haya incidencias. La digitalización es condición habilitadora: cita previa, visibilidad en tiempo real, EDI/API con TMS de clientes y avisos automáticos. En servicios, Canfranc debe operar como nodo integral: *cross-dock*, almacén cubierto, báscula, zona ADR, enchufes para frigo, playa de maniobras amplia y seguridad 24/7 en picos.

De acuerdo con el objetivo específico 5 (identificar barreras técnicas y estratégicas), se concluye que la masa crítica de volumen es la primera barrera: sin agregación de cargas hasta umbrales semanales consistentes, el coste de terminal diluye el ahorro. La segunda barrera es la puntualidad: si cae por debajo del nivel objetivo, vuelven los colchones y la flexibilidad del todo-carretera se impone. La tercera es la integración TI: sin cita previa y sistemas interoperables, aumentan errores de slot y tiempos muertos. La cuarta es meteorológica y de accesos: sin plan de invierno, el riesgo se desplaza a la terminal.

5.2 Limitaciones del estudio y sugerencias futuras

Encontramos limitaciones a la hora de limitar la muestra ya que ofrecen una base significativa, aunque sería necesario ampliar la muestra. Los datos se recogieron en un mes en condiciones

meteorológicas favorables por lo que es necesario incluir encuestas de invierno para mayor precisión. Para extrapolar el estudio a otros casos es necesario hacer con cautela ya que solo se centra en el Eje Zaragoza-Canfranc-Pau. Las limitaciones de disponibilidad de dato de emisiones y costes provienen de factores standard y no de mediciones directas sobre el terreno debido al alto costo de estas.

Como sugerencia a futuro destacar la ampliación de la muestra con cargadores internacionales y Autoridades francesas, los estudios Inter estacionales durante distintas épocas del año para cuantificar el impacto de la climatología en el Corredor, la comparación con otros Corredores europeos como el de Brenner o el Túnel del Montblanc, modelización del costes externos para monetizar de forma más precisa los impactos ambientales y sociales de la carretera vs ferrocarril, son necesarios para la mejora de los datos obtenidos y conclusiones. Como modernización se sugiere la simulación de distintos escenarios para comprobar el impacto ambiental de estos procesos en la vida del Corredor. Las limitaciones y sugerencias no delimitan la investigación, sino que ofrecen transparencia y un abanico de oportunidades para trabajos futuros.

5.3 Reflexión personal

La realización de este Proyecto ha sido un aprendizaje significativo a nivel académico, metodológico y personal. Primero he puesto en práctica los conocimientos adquiridos en la asignatura de logística, investigación de mercados y gestión de operaciones. Crear encuestas, redactar entrevistas y aplicar técnicas estadísticas me ha ayudado a consolidar competencias de investigación para fortalecer mi desarrollo profesional. El contacto directo con profesionales del Sector me ha mostrado la realidad de la operativa en el transporte internacional, con sus limitaciones y sus posibilidades de mejora.

Por último, este Proyecto me ha demostrado la importancia de la sostenibilidad aplicada: reducir emisiones es una oportunidad de diferenciación para las empresas y competitividad. En definitiva, considero esta experiencia muy motivadora para seguir investigando en el ámbito de la logística y el transporte intermodal. Todo esto me sirve para construir las bases de una estructura logística y operativa con la que trabajar en mi día a día, desde las políticas institucionales las instrucciones que deben cumplir los operadores de Terminales,

En el ámbito personal, el Sector de la Logística me afecta a nivel familiar siendo característico de generaciones pasadas en mi familia, cuando mi abuelo Jose Beortegui fundó en los años 4º la empresa Transportes Beortegui, que ofrecías sus servicios en el entorno de Zaragoza ca empresas como Coca Cola y Pikolín, por citar las más importantes, con vehículos de gran tonelaje y para rutas nacionales. Hoy en día la empresa es propiedad de mi padre Victor Palacios.

5.4 Recomendaciones

Se recomienda implantar el cambio modal por fases, empezando por un piloto operativo en temporada con mayor riesgo meteorológico, donde el tren cubra de forma estable la sección de montaña y el camión mantenga los extremos. Además, se ha de implantar con dos frecuencias diarias ferroviarias, servicios digitales de cita previa y coordinación entre operadores.

Se recomienda crear una línea base de huella con datos reales de combustible y tiempos del tramo Zaragoza–Somport–Pau, distinguiendo días normales y días con afectación meteorológico o de ventanas. Este registro debe recoger minutos de ralentí, paradas por ventana, kilómetros en pendiente y toneladas por viaje (frecuentes en 16–20 t), porque son los factores que más elevan la huella en este corredor. También recogiendo consumos de combustible, tiempos de espera y emisiones en distintos escenarios.

Se recomienda focalizar la reducción de emisiones en dos palancas: trasladar al tren la parte crítica (Jaca–Somport–RN-134) y eliminar esperas con cita previa digital y tiempos de suelo objetivo en Canfranc. El diseño debe mantener “el puerta a puerta” intermodal muy cercano al del camión (regla práctica: no más de +10–15% en días normales) para no perder tracción comercial. A la vez, debe comunicarse a los clientes la mejora ambiental como valor adicional, mostrando resultados del piloto (envíos y CO₂ por semana) para reforzar la adopción.

Se recomienda promover incentivos públicos y marcos regulatorios, que comparen las condiciones entre el ferrocarril y la carretera, siguiendo el ejemplo de los corredores alpinos. Con esto, establecer protocolos invernales, evitando crear “cuellos de botella” en las terminales.

Bibliografía

Aróstegui, B. (2015). *La transformación de las grandes estaciones europeas con la llegada de la Alta Velocidad. El caso de Atocha*. Disponible en: https://oa.upm.es/39978/1/BORJA_AROSTEGUI_CHAPA.pdf [Consultado 30-08-2025].

Bairras, P. y Ardaiz, I. A. (2025). ‘The slow and difficult implementation of high speed rail interoperability in Europe: the case of the Atlantic Corridor’. *Transportation Research Procedia*, pp. 2454–2466. DOI: 10.1016/j.trpro.2024.12.204.

Boby, J. (2023). *Análisis del efecto de las políticas de intervención y descentralización en la seguridad vial: el caso de España en la Unión Europea*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=322682&orden=0&info=link> [Consultado 30-08-2025].

Coloma, J. y García, M. (2016). ‘Adaptation of conventional railway lines to upgraded freight rail corridor. Application to the manchegan-extremaduran corridor’. *Transportation Research Procedia*, 18, pp. 148–155.

Comisión Europea (2020). *Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones*. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF [Consultado 30-08-2025].

Comisión Europea (s. f.). *Performance of freight transport*. [s. l.: s. n.].

Consejo Económico y Social de Aragón (2009). *Posibilidad y viabilidad para la reapertura del Canfranc*. [s. l.: s. n.].

EcoTransIT World (2023). *Environmental Methodology and Data Update 2023*. Disponible en: https://www.ecotransit.org/wp-content/uploads/20230612_Methodology_Report_Update_2023.pdf [Consultado 30-08-2025].

Escola Europea (s. f.). *Introduction to Intermodal Logistics*. [s. l.: s. n.].

European Environment Agency (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: Guidebook—Railways*. [Preprint]. [s. l.: European Environment Agency].

European Parliament (2021). *EPRS Briefing*. [s. l.: European Parliamentary Research Service].

Eurostat (2026). *Freight transport statistics – modal split*. Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split [Consultado 30-08-2025].

Ferrer, M. (2025). *Contratación Transporte Ferroviario Nacional e Internacional*. [s. l.: s. n.].

Gleser, M. y Elbert, R. (2024). ‘Combined rail-road transport in Europe – A practice-oriented research agenda’. *Research in Transportation Business and Management*, 53. DOI: 10.1016/j.rtbm.2024.101101.

Gobierno de Aragón (2025). *Las plataformas logísticas de Aragón como elemento dinamizador de la economía*. [s. l.: Gobierno de Aragón].

Kortazar, A., Bueno, G. y Hoyos, D. (2023). ‘Is high-speed rail a sustainable mobility option? A life-cycle assessment of the Basque Y project in Spain’. *Environmental Impact Assessment Review*, 103. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107276.

Liberal, J. y Lorenzo, L. (2021). *Seguridad en pasos a nivel y factor humano: la experiencia del proyecto europeo SAFER-LC*. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=857823&orden=0&info=open_link_libro [Consultado 30-08-2025].

Martín-Urbano, P., Ruiz-Rúa, A. y Sánchez-Gutiérrez, J. (2020). ‘Los ferrocarriles suburbanos europeos: enfoque económico sobre el nuevo entorno general y operativo’. *Cuadernos de Economía*, 39(81).

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2025a). *El ferrocarril español en cifras*. Disponible en: <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/campanas-de-publicidad/2021-anio-europeo-del-ferrocarril/conociendo-el-ferrocarril/el-ferrocarril-espanol-en-cifras> [Consultado 30-08-2025].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2025b). ‘Transportes licita por 2,76 millones de euros el proyecto para reabrir el túnel ferroviario de Somport y la conexión internacional’. *Sala de Prensa*. Disponible en: <https://www.transportes.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-17012025-1122> [Consultado 30-08-2025].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2024). *Informe de la Comisión técnico-científica para el estudio de mejoras en el sector ferroviario*. Disponible en: https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/informecomisiontecnicocientificasectorferroviario1.pdf [Consultado 30-08-2025].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2023). *Power BI Desktop. Transporte internacional de mercancías por carretera realizado por los vehículos pesados españoles*. [s. l.: Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2021). *Estrategia de movilidad segura, sostenible y conectada 2030*. Disponible en:

https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/esmovilidad/20211203_Esmovilidad_Completo.pdf
[Consultado 30-08-2025].

Navarro, J. (2024). *Análisis de la relación entre inversión en carreteras y seguridad vial*. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=369920&orden=0&info=link> [Consultado 30-08-2025].

Rosa, A., Mauro, S. y Cecere, S. (2025). ‘Stakeholders mapping for promoting road-to-rail modal shift of freight transport’. *Transportation Research Procedia*, 90, pp. 352–359.

Villa, R. y Monzón, A. (2021). Logística urbana ferroviaria y e-commerce: análisis de costes externos del modelo M4G (Metro For Goods). *R-evolucionando el transporte*, 12(3), pp. 1043–1074.

6. Anexos

6.1 Entrevista

FIABILIDAD / OPERATIVA

1. Describa un viaje tipo Zaragoza–Somport–Pau: tramos críticos, esperas, controles y factores que más alteran los tiempos.

COSTE-OPERACIÓN / VIABILIDAD

2. ¿Qué costes ocultos (esperas, maniobras, papeleo, desvíos por clima) son más determinantes y cómo cambiarían con un transbordo en Canfranc?

SEGURIDAD

3. ¿Qué riesgos viales identifica en la ruta y en qué medida la intermodalidad podría reducir su exposición?

ACEPTACIÓN

4. ¿Qué condiciones mínimas (frecuencia, horarios, garantía de plaza, tiempos comprometidos) necesita para adoptar tren-camión de forma regular?

VOLUMEN MÍNIMO

5. ¿Cuál sería, para su operación, un volumen mínimo (t/palés por viaje o semana) a partir del cual “compensa” el cambio modal?

ROL DE CANFRANC

6. ¿Qué servicios debe ofrecer Canfranc (24/7, manipulación, almacenaje, aduanas, integración TI) para ser su nodo preferente?

6.1.1 Respuestas entrevistas

1. Respuestas de las entrevistas del C1:

P1. Viaje tipo y tramos críticos.

- Salgo de PLAZA sobre las 06:00 con carga de palé mixto. Hasta Huesca voy rápido. Entre Jaca–Canfranc baja mucho el ritmo por curvas y camiones lentos. Si hay nieve o viento, se nota enseguida en el consumo y en los tiempos. En el Somport, si está en mantenimiento, he estado parado 30–60 min. Ya en Francia, la RN-134 tiene obras puntuales y pasos urbanos; el reloj corre. El viaje a Pau-Lescar me sale entre 7h30 y 8h aprox, con una parada de tacógrafo.

P2. Costes ocultos y efecto del transbordo en Canfranc.

- El sobreconsumo en subida lo noto: entre +25 y +35 litros en días malos. También pierdes tiempo buscando aparcamientos seguros si se te hace tarde. Con transbordo en Canfranc, gastaría menos gasóleo y menos freno en bajadas, pero pago manipulación y me debo ajustar a ventanas.

P3. Riesgos viales e intermodalidad.

- El riesgo es hielo, nieve, desprendimientos en madrugadas. Si el tren se come la montaña, a mí me baja la exposición. Conduzco Zaragoza hasta Canfranc y última milla en Francia, todo más sencillo.

P4. Condiciones mínimas para adoptar tren-camión.

- Necesito dos horarios (mañana/tarde), plaza garantizada D-1, y que el puerta-a-puerta no se dispare: como mucho +10–15% respecto a todo-carretera. Si pierdo la ventana, que haya plan B < 6 h.

P5. Volumen mínimo.

- Para que me compense la coordinación y esperas: 20–24 palés/semana, ideal 1–2 semis/semanas estables.

P6. Servicios en Canfranc.

- Báscula, zona segura, enchufes para frigo si llevo frío, atención extendida (mejor 24/7 en picos), y cita previa por app con confirmación.

2. Respuestas de las entrevistas del C2

P1. Viaje tipo y tramos críticos.

- Llevo frigorífico a plataformas agro en Pau. Lo que más me condiciona es la restricción dominical en Francia: si no planificas, te comes el domingo parado. El Somport en obra te mete colas de 30–60 min. En invierno, cadenas un par de días fuertes.

P2. Costes ocultos y transbordo.

- Peajes cuando usamos alternativas francesas para recuperar tiempo, penalizaciones si fallas ventanas en destino, y sobrecoste en gasóleo en pendiente. Con tren, bajas gasóleo y desgaste, pero si te retrasas en primera milla, puedes perder tren y todo el ahorro.

P3. Riesgos e intermodalidad.

- Riesgo de fatiga si la jornada se alarga por mal tiempo. Si el tren hace la montaña, no llego tan cansado y el camión sufre menos de frenos y neumáticos.

P4. Condiciones mínimas.

- Horarios fijos (por ejemplo 08:15 y 19:45), refuerzos en campaña, SLA con penalizaciones razonables si falla la puntualidad, y integración con nuestro TMS para ver todo en tiempo real.

P5. Volumen mínimo.

- Con 1 tráiler/día ya notas orden en la planificación. Ideal 5/semana para cuadrar turnos.

P6. Servicios en Canfranc.

- Zona fría o enchufe para frigos, escaneo de palés para trazabilidad, y tiempos de suelo claros: si me prometen <90 min por unidad, firme.

3. Respuestas de las entrevistas del O1 (TransCanfranc)

P1. Viaje tipo y puntos críticos desde terminal.

- El cuello de botella es cuando llegan 3–4 camiones en la media hora previa a la salida del tren. En invierno, si no se limpia acceso con quitanieves y sal, se monta cola. Con cita previa y ventanas de 30 min, la cosa fluye.

P2. Costes ocultos y cambios con transbordo.

- El mayor coste oculto del cliente es la incertidumbre. La reducimos con confirmación D-1 y un overbooking prudente (muy medido). Aparece coste de manipulación y almacenaje corto, pero bajan combustible y variabilidad.

P3. Riesgos viales vs. riesgos de terminal.

- En carretera, la montaña concentra el riesgo. En terminal, el riesgo es operativo (maniobras, meteo, equipos). Se limita con SOPs, EPIs, señalización, y redundancia de equipos en invierno.

P4. Condiciones mínimas para adopción.

- Con 1 tren/día ya hay base, pero lo óptimo es 2/día. Objetivo $\geq 95\%$ de puntualidad y cita previa con confirmación automática.

P5. Volumen mínimo.

- Para sostener costes y puntualidad: 200–300 t/semana agregadas. Por cliente, con 15–20 palés/semana ya entra en rango si es estable.

P6. Servicios que debe ofrecer Canfranc.

- Cross-dock, almacén cubierto, báscula, ADR, enchufes frigo, playa de maniobras amplia, EDI/API con clientes, y kit invierno. Meta: tiempo de suelo < 90 min por unidad.

4. Respuestas de las entrevistas del P1 (Planificación/tráfico – Zaragoza)

P1. Viaje tipo y factores de alteración.

- Planificamos por ventanas de entrega en Pau. Lo que rompe el plan es mantenimiento/meteorológico en Somport o restricciones francesas. Si lo sabemos D-2, ajustamos turnos y no cascada de retrasos.

P2. Costes ocultos y transbordo.

- El coste grande es la variabilidad: si un viaje cae, se reprograma todo y salen horas extra. Con tren predecible, los slots de destino se cumplen. Cambiamos flexibilidad por fiabilidad, pero ganamos en cadena.

P3. Riesgos y reducción por intermodalidad.

- Menos horas en montaña = menos siniestros mecánicos y humanos. El riesgo se mueve a la puntualidad ferroviaria y a coordinar transbordo; eso se gobierna con KPIs y SOPs.

P4. Condiciones mínimas.

- Malla estable (ej. 08:15/19:45), confirmación D-1, KPIs mensuales, y cláusulas de contingencia: si el tren falla, tiramos de todo-carretera sin penalizar al cliente final.

P5. Volumen mínimo.

- Para dedicar un planificador, necesitamos ≥ 250 t/mes por cuenta o 3–5 tráileres/semanas constantes.

P6. Servicios en Canfranc.

- Visibilidad en tiempo real, avisos automáticos, redundancia de equipos, playa suficiente y protocolos meteorológico. Sin eso, el cuello de botella se nos mueve a terminal.

▲ DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del Proyecto Final: Análisis del transporte ferroviario como alternativa sostenible al tráfico pesado en los Pirineos: caso del eje logístico Zaragoza–Canfranc–Pau

Programa: Bachelor in Business Management Level 6

Yo, D/D^a **Carlos Navarro García**, expongo que:

- Se me ha pedido permiso para ser entrevistado.
- He podido hacer preguntas sobre el estudio y he recibido suficiente información sobre el mismo.
- He hablado con (autor del trabajo)
- Comprendo que mi participación es voluntaria.
- Presto libremente mi conformidad para participar en la investigación y para que la información dada en la entrevista pueda reflejarse en el Proyecto Fin de Grado arriba mencionado.
- He recibido una copia firmada de este Consentimiento Informado.

Fecha: 25/08/2025

Fecha: 25/08/2025

Firma del participante:
Carlos Navarro García

Firma del investigador:
José Palacios Beortegui

Fecha: 23/08/2023

Fecha: 23/08/2023

Firma del participante:
Luis Fernandez Ortega

Firma del investigador:
| José Palacios Beortegui

Firma del participante:
Eduardo Garcés Vázquez

Firma del investigador:
José Palacios Beortegui

Cuestionario para 40 personas (Likert 1–5: 1=Totalmente en desacuerdo; 5=Totalmente de acuerdo).

Código	Pregunta	Escala / tipo					Variable/Indicador
A1	Indique su rol en el corredor (Conductor / Intermediario-operación)	Opción única					Control de perfil
A2	¿Cuántos viajes/mes realiza en la ruta Zaragoza–Somport–Pau?	Numérica					Intensidad operativa
Código	Pregunta	Likert					Variable/Indicador
		1	2	3	4	5	
B1	Mis tiempos puerta-a-puerta en esta ruta son predecibles .						Fiabilidad (índice)
B2	Las ventanas horarias en carga/descarga me generan retrasos relevantes .						Fiabilidad (índice)
B3	La climatología (puertos/Somport) afecta a menudo mis tiempos.						Fiabilidad (índice)
C1	Los costes de espera (colas, papeleo, maniobras) son significativos en esta ruta.						Coste-operación
C2	Esperaría que la tarifa del tramo ferroviario fuera competitiva frente a la carretera.						Coste-operación
D1	Los riesgos viales en Somport y puertos son elevados .						Seguridad
D2	La intermodalidad reduciría mi exposición a accidentes.						Seguridad
E1	Mi empresa valora explícitamente reducir emisiones.						Sostenibilidad
E2	Aceptaría algo más de tiempo si reduce la huella de carbono .						Sostenibilidad
F1	Adoptaría tren-camión si existieran garantía de plaza y tiempos comprometidos .						Aceptación

Firma del participante:
Javier Sanchez Martin

Firma del investigador:
José Palacios Beortegui

	al tren.							
F3	¿Cuál es el volumen mínimo que hace que compense? (indique t/viaje o palés/viaje)	Numérica						Volumen mínimo
G1	Canfranc dispone/puede disponer de los servicios necesarios para ser nodo competitivo .							Rol Canfranc
G2	Preferiría Canfranc frente a otro nodo si operara 24/7 y con tarifa integrada .							Rol Canfranc

Leyenda:

Fiabilidad = media (B1_invertido, B2, B3). Coste-operación = media (C1, C2). Seguridad = media (D1_invertido, D2). Sostenibilidad = media (E1, E2). Aceptación = media (F1, F2). El volumen mínimo (F3) se usa como variable numérica independiente y de contraste.

6.2.1 Ficha técnica encuesta

Ficha técnica de la encuesta

Universo	Conductores y operadores/intermediarios que trabajan en el corredor Zaragoza Canfranc-Pau.
Objetivo del estudio	Encuesta para el desarrollo de PFG
Tipo de muestra	Aleatoria
Tiempo de realización	Se realizó en dos días
Técnica de recolección de datos	Encuesta mediante formulario de Google
Tamaño de la muestra	Se envió la encuesta a 50 personas de las que respondieron 40
Nivel de confianza	95%
Margen de error	5%
Encuesta realizada por	José Palacios Beortegui
Motivo por el cual se indaga	Evaluar el impacto ambiental y operativo del cambio modal en el eje Zaragoza-Canfranc-Pau como parte del proyecto final de grado
Fecha de realización	Agosto de 2025

Fuente: elaboración propia

6.2.2 Respuestas de encuestas

Tabla 2.

A1. Rol en el corredor

Rol	n	%
-----	---	---

Conductor	28	70.0
Intermediario–operación	12	30.0

De acuerdo con la Tabla 2, se puede ver que la mayoría son conductores (70%), que son quienes mejor perciben puntualidad, riesgos y costes operativos en Somport; el 30% de intermediarios aporta la visión de terminales, ventanas y coordinación intermodal.

Tabla 3.

A2. Viajes/mes en Zaragoza–Somport–Pau

Tramo (viajes/mes)	n	%
0–4	10	25.0
5–9	18	45.0
10–14	9	22.5
≥15	3	7.5

La mayoría opera entre 5 y 9 viajes/mes, con pocos flujos muy intensivos (≥15). Esto indica demanda suficiente para trenes regulares semanales, pero con variabilidad que requiere flexibilidad en plazas y acopios.

Tabla 4.

B1. Mis tiempos puerta-a-puerta en esta ruta son predecibles.

Respuesta	n	%
1	6	15.0
2	14	35.0
3	12	30.0
4	6	15.0
5	2	5.0

Se puede ver que predomina el desacuerdo con la predictibilidad, coherente con la orografía y el paso del Somport; existe dispersión media, lo que complica compromisos estrictos de hora de llegada.

Tabla 5.

B2. Las ventanas horarias en carga/descarga me generan retrasos relevantes.

Respuesta	n	%
1	2	5.0

Respuesta	n	%
2	6	15.0
3	10	25.0
4	15	37.5
5	7	17.5

Según la Tabla 5, casi el 55 % está de acuerdo (4–5 ítems). Las ventanas en muelles y silos son un cuello de botella recurrente que alimenta retrasos acumulados.

Tabla 6.

B3. La climatología (puertos/Somport) afecta a menudo mis tiempos.

Respuesta	n	%
1	1	2.5
2	5	12.5
3	9	22.5
4	16	40.0
5	9	22.5

El 62.5% indica afectación frecuente (4–5). La meteorología es una fuente clara de incertidumbre y respalda la búsqueda de alternativas intermodales

Tabla 7.

C1. Los costes de espera (colas, papeleo, maniobras) son significativos en esta ruta.

Respuesta	n	%
1	1	2.5
2	5	12.5
3	9	22.5
4	15	37.5
5	10	25.0

La mayoría sitúan los costes de espera en 3–5; el 62.5 % en 4–5. Hay espacio para ahorro si se redistribuyen maniobras hacia terminales ferroviarias eficientes.

Tabla 8.

C2. Esperaría que la tarifa del tramo ferroviario fuera competitiva frente a la carretera.

Respuesta	n	%
1	2	5.0
2	4	10.0
3	10	25.0
4	14	35.0
5	10	25.0

Se ve que la mayoría es optimista respecto a competitividad tarifaria del tren (60 % en 4–5), condición clave para cambiar hábitos de contratación.

Tabla 9.

D1. Los riesgos viales en Somport y puertos son elevados.

Respuesta	N	%
1	1	2.5
2	4	10.0
3	9	22.5
4	15	37.5
5	11	27.5

El 65 % percibe riesgos altos (4–5). Este resultado da soporte a argumentos de seguridad a favor del cambio modal parcial.

Tabla 10.

D2. La intermodalidad reduciría mi exposición a accidentes.

Respuesta	N	%
1	1	2.5
2	3	7.5
3	8	20.0
4	16	40.0
5	12	30.0

Un 70% está de acuerdo (4–5), alineado con la menor exposición en tramos críticos si se transfiere parte del recorrido al tren.

Tabla 11.

E1. Mi empresa valora explícitamente reducir emisiones.

Respuesta	N	%
1	2	5.0
2	6	15.0
3	10	25.0
4	13	32.5
5	9	22.5

La mayoría señala políticas ambientales explícitas (55% en 4–5), pero aún hay un 20% con baja prioridad (1–2).

Tabla 12.

E2. Aceptaría algo más de tiempo si reduce la huella de carbono.

Respuesta	N	%
1	4	10.0
2	8	20.0
3	12	30.0
4	10	25.0
5	6	15.0

En la Tabla 22, la disposición existe, pero es moderada (media 3.15); prima el servicio, aunque un 40% aceptaría cierta dilatación si hay beneficios ambientales claros.

Tabla 13.

F1. Adoptaría tren-camión si existieran garantía de plaza y tiempos comprometidos.

Respuesta	N	%
1	1	2.5
2	3	7.5
3	7	17.5
4	16	40.0
5	13	32.5

Se observa fuerte intención de adopción condicionada (72.5% en 4–5), siempre que exista fiabilidad operativa contractual.

Tabla 14.

F2. Estoy dispuesto/a a ajustar mis ventanas de carga para acoplarme al tren.

Respuesta	N	%
1	3	7.5
2	7	17.5
3	12	30.0
4	11	27.5
5	7	17.5

La flexibilidad existe, pero no es universal; un 45% está dispuesto (4–5), y otro 30% se mantiene neutro a la espera de más detalles operativos.

Tabla 15.

F3. Volumen mínimo que «compensa» (t/viaje).

Tramo (t/viaje)	n	%
≤10	6	15.0
11–15	12	30.0
16–20	13	32.5
21–25	6	15.0
≥26	3	7.5

El umbral operativo se concentra en 16–20 t/viaje, lo que orienta el dimensionamiento de trenes y la agregación de carga por servicio.

Tabla 16.

G1. Canfranc dispone/puede disponer de los servicios necesarios para ser nodo competitivo.

Respuesta	n	%
1	3	7.5
2	8	20.0
3	12	30.0
4	11	27.5
5	6	15.0

Se puede observar una percepción intermedia; el potencial existe, pero la competitividad depende de servicios 24/7, integración tarifaria y coordinación de ventanas.

Tabla 17.

G2. Preferiría Canfranc frente a otro nodo si operara 24/7 y con tarifa integrada.

Respuesta	n	%
1	2	5.0
2	4	10.0
3	8	20.0
4	13	32.5
5	13	32.5

Finalmente según la Tabla 17, la preferencia por Canfranc es alta si se garantiza operación continua y una tarifa integrada; dos tercios se sitúan en 4–5.

6.2.2 Análisis Chi-Cuadrado

Tabla A.1 Calculo de chi-cuadrado entre rol y aceptación

Rol / Aceptación	Observado (O)	Esperado (E)	(O–E) ² /E
Conductores–Baja	9	7,7	0,220
Conductores–Alta	19	20,3	0,083
Operadores–Baja	2	3,3	0,512
Operadores–Alta	10	8,7	0,195
Total χ^2			1,01

- $\chi^2 = 1,01$
- $gl = 1$
- $p > 0,05$

Conclusión: No existe relación significativa entre el rol del participante y la aceptación del tren–camión.