



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DE LA LÍNEA FERROVIARIA 800: A CORUÑA-LEÓN EN EL TRAMO MONFORTE DE LEMOS-LUGO

Trabajo realizado por:  
*Adriana Gutiérrez-Liébana Mazo*

Dirigido:  
*Saúl Torres Ortega*

Titulación:  
**Máster Universitario en  
Ingeniería de Caminos, Canales y  
Puertos**

Santander, Julio 2022

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

## **RESUMEN**

### **“Análisis Coste-Beneficio de las alternativas para la mejora de la línea ferroviaria 800: A Coruña-León en el tramo Monforte de Lemos-Lugo”**

**Autor:** Adriana Gutiérrez-Liébana Mazo

**Directores:** Saúl Torres Ortega

**Convocatoria:** Santander, Julio de 2022

**Palabras clave:** Análisis Coste – Beneficio, rentabilidad, análisis de sensibilidad, análisis de escenarios, análisis de riesgo, líneas ferroviarias.

### **RESUMEN**

La interoperabilidad en el transporte, concretamente en el transporte ferroviario consiste en garantizar la circulación de los trenes de cualquier rincón perteneciente a la Unión Europea con el objetivo de que el tráfico ferroviario por Europa no tenga limitaciones.

Por ello dentro de las obras de mejora previstas en la Red Convencional de Galicia se plantea para la conexión Ourense – Monforte – Lugo una adecuación integral de la línea con el objetivo de mejorar la fiabilidad y competitividad de la misma, así como la modernización de instalaciones y electrificación a 25 kV c.a. que permitirá la conexión de Lugo con la línea de Alta Velocidad en Ourense.

La zona de estudio del presente documento se encuentra dentro de este tramo, concretamente en el subtramo Rubián-Sarria, es donde se encuentra el túnel de Oural, infraestructura sobre la que gira entorno este trabajo y para la que hay que encontrar cual es la mejor actuación posible en términos de rentabilidad económica, social y medioambiental.

La implantación del gálibo uniforme, así como el obligado cumplimiento de la “Especificación técnica de interoperabilidad relativa a la seguridad en los túneles ferroviarios del sistema ferroviario de la Unión Europea”, requiere que el túnel disponga, entre otros, de espacio suficiente para albergar la catenaria, así como acera de emergencia y galerías de evacuación. El actual túnel no posee espacio suficiente para implantar todas estas medidas, de donde resulta este Análisis Coste-Beneficio en el que analizaremos las soluciones de ejecución posibles para cumplir con la normativa existente y dar respuesta a las necesidades planteadas.

Por tanto, debido a la diferencia tipológica de elementos, antigüedad, trazado y características de explotación, se ha producido cierta degradación los materiales que hace necesaria la intervención, persiguiendo conseguir una doble finalidad: por un lado, mejorar el estado de la infraestructura y por otro la fiabilidad de las líneas y la disponibilidad del servicio.

Partiendo de esta situación se ha decidido contemplar una serie de alternativas que cumplan con los requisitos de la interoperabilidad de la línea. Las alternativas son las siguientes:

- Alternativa 0: supone la no actuación.
- Alternativa 1: contempla la posibilidad de construir un nuevo túnel de Oural paralelo al existente de manera que se cumpla con el gálibo establecido para la mejora.
- Alternativa 2: considera la posibilidad de realizar una ampliación de sección del túnel existente, así como un rebaje de plataforma para poder conseguir el gálibo necesario para albergar la catenaria.
- Alternativa 3: esta alternativa contempla la posibilidad de derribar el túnel existente mediante voladura para así, no tener que realizar actuaciones de ampliación de sección ni ejecutar una nueva infraestructura. Esta alternativa implica el establecimiento de dos pasos de fauna para poder garantizar el mínimo impacto en la zona.

Una vez definidas las alternativas se procede a realizar el análisis coste-beneficio, el cual tiene como objetivo identificar si dicha alternativas resultan viables o no, y en caso de serlo realizar una clasificación en función de cuales resultan más convenientes. El análisis coste-beneficio supone una herramienta muy útil de ayuda a la decisión y puede realizarse de manera que integre aspectos sociales y medioambientales, además de los aspectos económicos. Para la evaluación de inversiones de carácter privado es habitual considerar únicamente este último aspecto, pero dado que en este caso se trata de proyectos públicos cuyo fin beneficia al conjunto de la sociedad resulta adecuado incluir otra serie de efectos derivados del mismo, más allá de los posibles ingresos que pueda generar.

Para llevar a cabo el análisis es necesario estimar los costes y beneficios asociados a las distintas alternativas planteadas. Para ello, se identifican los principales impactos de las mismas, de manera cualitativa y cuantitativa. Los impactos monetarios resultan los más sencillos, mientras que con aquellos no monetarios es necesario llevar a cabo una valoración monetaria de los mismos, lo cual en ocasiones supone una tarea complicada. No obstante, existe abundante bibliografía y numerosos estudios relativos a aspectos como la valoración económica del tiempo, ya sea de trabajo o de ocio, el coste de los accidentes o la vida humana, el coste de



las emisiones de gases contaminantes, de las molestias ocasionadas por ruido, etc. Por otro lado, dado que la Alternativa 0 no resulta viable ya que es incompatible con el cumplimiento de las especificaciones de interoperabilidad, se realiza el análisis de manera que se evalúa el beneficio que supone cada una de ellas respecto a la no actuación.

Una vez que se cuenta con los datos mencionados en el párrafo anterior se procede al cálculo del indicador económico. Existen numerosos indicadores económicos: VAN, TIR, Ratio Coste – Beneficio, etc. En este trabajo se han calculado varios de ellos, pero se ha decidido tomar el valor del VAN como el principal de cara a seguir un criterio.

Los resultados obtenidos para el VAN de las distintas alternativas son los siguientes:

	<b>Valor Actualizado Neto (VAN)</b>
<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	<b>21.279.339,64 €</b>
<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	<b>- 20.834.372,00 €</b>
<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	<b>7.478.391,47 €</b>

Como puede observarse en la tabla anterior cualquiera de las actuaciones de mejora resulta rentable a excepción de la Alternativa 2, para la cual se obtiene un VAN negativo.

El orden de las alternativas según el criterio del VAN sería el siguiente:

- Alternativa 1
- Alternativa 3
- Alternativa 2

A continuación, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para estimar cuáles son los parámetros intervinientes en el análisis coste – beneficio cuya variación ocasiona cambios significativos en el resultado del VAN obtenido. Como resultado del análisis de sensibilidad se ha determinado que los factores que más influyen en el VAN, ordenados de mayor a menor influencia son: los costes de construcción, la tasa de descuento, y el número de viajes que realiza la línea (el primero es común a todas las alternativas mientras que los otros dos varían entre ellos en función del grado en que afectan al resultado de la alternativa considerada). La tasa de descuento a utilizar se ha decidido en base a la bibliografía existente y recomendaciones

existentes, con lo que apenas se tiene influencia sobre la misma, aunque podría escogerse otro valor algo diferente.

El Análisis de Escenarios se ha realizado modificando todas las variables críticas a la vez en unos porcentajes determinados en cada caso, obteniendo un escenario pesimista, uno optimista y el escenario base. El escenario más pesimista para la alternativa con mayor VAN sigue obteniendo un VAN positivo, por lo tanto, el proyecto seguiría siendo rentable, aunque en menor medida.

Por último, el análisis de riesgo tiene como objetivo analizar la incertidumbre asociada al cálculo del VAN, para el cual se han estimado una serie de flujos de caja durante la vida de la inversión hasta la llegada del año horizonte. Dichos flujos de caja se calculan a partir de la estimación del valor de los distintos parámetros intervinientes, la cual se realiza en base a una serie de criterios y recomendaciones, pero que tiene cierta incertidumbre, con la repercusión que ello conlleva en los resultados.

Para llevar a cabo el análisis de riesgo, en primer lugar, se ha asignado una distribución de probabilidad uniforme a las distintas variables intervinientes. A continuación, se lleva a cabo la simulación de Montecarlo, en la cual se simula 500 veces la obtención del Valor Actualizado Neto a partir de la generación aleatoria de los distintos parámetros que influyen en el mismo. De esta manera, al considerar un elevado número de escenarios aleatorios, se puede ampliar la perspectiva de los escenarios posibles, analizando la variabilidad de los parámetros que afectan al indicador económico, lo que permite valorar la incertidumbre que tienen las distintas alternativas planteadas.

El análisis de riesgo refleja que la función de densidad del VAN para todos los casos es estrecha en su base, por lo que la incertidumbre es muy baja y hay una alta probabilidad de que el VAN tome dicho valor. Teniendo en cuenta que las tres alternativas tienen una incertidumbre similar, se considera que la Alternativa 1 seguiría siendo la más conveniente a llevar a cabo.

Teniendo en cuenta todo lo anterior puede concluirse que, la solución más rentable en todos los términos es la Alternativa 1, con la que conseguimos cumplir con los requisitos de interoperabilidad en la zona de estudio y además nos garantiza conseguir la rentabilidad deseada.

## **ABSTRACT**

### **“Cost-Benefit Analysis of the alternatives for the improvement of the railway line 800: A Coruña-León in the Monforte de Lemos-Lugo section”**

**Author:** Adriana Gutiérrez-Liébana Mazo

**Directors:** Saúl Torres Ortega

**Date:** Santander, Julio de 2022

**Keywords:** Cost-Benefit Analysis, profitability, sensitivity analysis, scenario analysis, risk analysis, railways.

## **ABSTRACT**

Interoperability in transport, specifically in rail transport, consists of guaranteeing the circulation of trains from any corner belonging to the European Union with the aim that rail traffic in Europe has no limitations.

For this reason, within the improvement works planned in the Galician Conventional Network, a comprehensive adaptation of the line is proposed for the Ourense – Monforte – Lugo connection with the aim of improving its reliability and competitiveness, as well as the modernization of facilities and electrification at 25 kV a.c. that will allow the connection of Lugo with the High Speed line in Ourense.

The study area of this document is located within this section, specifically in the Rubián-Sarria subsection, where the Oural tunnel is located, an infrastructure on which this work revolves around and for which it is necessary to find which is the best action possible in terms of economic, social and environmental profitability.

The implementation of the uniform gauge, as well as the mandatory compliance with the "Technical Specification for Interoperability Regarding Safety in Rail Tunnels of the European Union Rail System", requires that the tunnel have, among other things, sufficient space to house the catenary, as well as emergency sidewalk and evacuation galleries. The current tunnel does not have enough space to implement all these measures, which results in this Cost-Benefit Analysis in which we will analyze the possible execution solutions to comply with existing regulations and respond to the needs raised.

Therefore, due to the typological difference of elements, age, layout and exploitation characteristics, there has been some degradation of the materials that makes intervention necessary, pursuing a dual purpose: on one hand, to improve the state of the infrastructure and, on the other, the reliability of the lines and the availability of the service.

Based on this situation, different possible alternatives have been contemplated in order to try to improve the interoperability in the area. The alternatives considered are the following:

- Alternative 0: do nothing
- Alternative 1: contemplates the possibility of building a new Oural tunnel parallel to the existing one so as to comply with the gauge established for the improvement.
- Alternative 2: considers the possibility of expanding the section of the existing tunnel, as well as lowering the platform in order to achieve the necessary gauge to house the catenary.
- Alternative 3: this alternative contemplates the possibility of demolishing the existing tunnel by blasting in order to avoid having to carry out actions to widen the section or build a new infrastructure. This alternative implies the establishment of two wildlife crossings in order to guarantee the minimum impact in the area.

Once the alternatives have been defined, a cost-benefit analysis is carried out, which aims to identify whether said alternatives are viable or not, and if so, to make a classification based on which are more convenient. The cost-benefit analysis is a very useful decision support tool and can be carried out in a way that does integrate social and environmental aspects, in addition to economic aspects. For the evaluation of private investments, it is customary to consider only this last aspect, but since in this case we are dealing with public projects whose purpose benefits society as a whole, it is appropriate to include another series of effects derived from it, beyond the possible income it can generate.

To carry out the analysis, it is necessary to estimate the costs and benefits associated with the different alternatives proposed. For this, the main impacts of the alternatives are identified, qualitatively and quantitatively. Monetary impacts are the simplest, while with non-monetary ones it is necessary to carry out a monetary valuation of them, which is sometimes a complicated task. However, there is abundant bibliography and numerous studies related to aspects such as the economic value of time, whether for work or leisure, the cost of accidents or human



life, the cost of polluting by gas emissions, the inconvenience caused due to noise etc. On the other hand, Alternative 0 is not viable since it is incompatible with compliance with the interoperability specifications, the analysis is carried out in such a way that evaluates the benefit that each of them entails with respect to not acting.

Once the data mentioned in the previous paragraph is available, the economic indicator is calculated. There are numerous economic indicators: NPV, IRR, Cost-Benefit Ratio, etc. In this work several of them have been calculated, but it has been decided to take the value of the NPV as the main one in order to follow a criterion.

The results obtained for the NPV of the different alternatives are as follows:

	<b>Net Present Value (NPV)</b>
<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	<b>21.279.339,64 €</b>
<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	<b>- 20.834.372,00 €</b>
<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	<b>7.478.391,47 €</b>

As can be seen in the table above, any of the improvement actions is profitable except for Alternative 2, for which a negative NPV is obtained.

The order of the alternatives according to the NPV criteria would be the following:

- Alternative 1
- Alternative 3
- Alternative 2

Next, a sensitivity analysis is carried out to estimate the parameters involved in the cost-benefit analysis, the variation of which causes significant changes in the result of the NPV obtained. As a result of the sensitivity analysis, it has been determined that the factors that most influence the NPV, ordered from greater to lesser influence are: construction costs, the discount rate, and the number of trips made by the line (the first is common to all alternatives while the other two vary between them depending on the degree to which they affect the result on the alternative considered).

The discount rate to be used has been decided based on the existing bibliography and existing recommendations, with which there is hardly any influence on it, although another somewhat different value could be chosen.



The Scenario Analysis has been carried out by modifying all the critical variables at the same time in certain percentages in each case, obtaining a pessimistic, an optimistic scenario and the base scenario. The most pessimistic scenario for the alternative with the highest NPV continues to obtain a positive NPV, therefore, the project would continue to be profitable, although to a lesser extent.

Finally, the risk analysis aims to analyze the uncertainty associated with the calculation of the NPV, for which a series of cash flows have been estimated during the life of the investment until the arrival of the horizon year. Said cash flows are calculated based on the estimation of the value of the different intervening parameters, which is carried out based on a series of criteria and recommendations, but which has some uncertainty, with the repercussion that this entails in the results.

To carry out the risk analysis, firstly, a uniform probability distribution has been assigned to the different intervening variables. Next, the Montecarlo simulation is carried out, in which the obtaining of the Net Present Value is simulated 500 times from the random generation of the different parameters that influence it. In this way, by considering a large number of random scenarios, the perspective of the possible scenarios can be broadened, analyzing the variability of the parameters that affect the economic indicator, which allows the uncertainty of the different proposed alternatives to be assessed.

The risk analysis reflects that the NPV density function for all cases is narrow at its base, so the uncertainty is very low and there is a high probability that the NPV will take that value. Taking into account that the three alternatives have a similar uncertainty, it is considered that Alternative 1 would continue to be the most convenient to carry out.

Taking into account all of the above, it can be concluded that the most profitable solution in all terms is Alternative 1, with which we manage to meet the interoperability requirements in the study area and also guarantee us to achieve the desired profitability.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
3. METODOLOGÍA: ANALISIS COSTE-BENEFICIO .....	7
3.1. Definición .....	7
3.2. Evolución histórica del método .....	8
3.3. Conceptos teóricos previos .....	9
3.4. Tipos de ACB .....	11
3.5. Procedimiento .....	13
3.5.1 Identificación del proyecto.....	14
3.5.2 Definición de parámetros básicos .....	15
3.5.3. Definición de los impactos.....	19
3.5.4 Valorización monetaria.....	19
3.5.5 Cálculo del indicador.....	20
3.5.6 Análisis de sensibilidad.....	26
3.5.7 Análisis de escenarios .....	27
3.5.8 Análisis de riesgo.....	28
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: ALTERNATIVAS .....	31
4.1. ALTERNATIVA 0: DO NOTHING .....	31
4.2. ALTERNATIVA 1: CONSTRUCCION DE UN NUEVO TUNEL .....	35
4.3. ALTERNATIVA 2: AMPLIACION DE TUNEL EXISTENTE .....	38
4.4. ALTERNATIVA 3: DERRIBO DEL TUNEL EXISTENTE.....	39
5. APLICACIÓN Y RESULTADOS .....	40
5.1. Identificación del proyecto.....	40
5.2 Definición de los parámetros básicos.....	40
5.3 Definición estudio y valorización monetaria de los impactos .....	42
5.3.1 Aspectos económicos.....	43
5.3.2 Aspectos sociales.....	49
5.3.3 Aspectos medioambientales .....	49
5.4 Cálculo del indicador de rentabilidad .....	55
5.4.1 Valor Actualizado Neto: VAN .....	58



5.4.2. Tasa Interna de Retorno: TIR .....	59
5.4.3. RATIO COSTE-BENEFICIO .....	60
5.5 Análisis de sensibilidad.....	61
5.6 Análisis de escenarios.....	67
5.7 Análisis de riesgo.....	71
7. CONCLUSIONES .....	76
8. BIBLIOGRAFIA.....	78
Anexo 1: Método de Montecarlo .....	81
Anexo 2: Planes para la modernización del Ferrocarril en España.....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de estaciones y apartaderos del tramo de estudio (Fuente: Adif)	3
Figura 2. Esquema de la alternativa propuesta en el Estudio Informativo de la “Nueva Línea de Alta Velocidad Orense – Monforte – Lugo”. (Fuente: INECO)	4
Figura 3. Representación gráfica de los criterios de Pareto y Kaldor-Hicks (Fuente: Torres Ortega)	10
Figura 4. Etapas del Análisis Coste-Beneficio (Fuente: Elaboración propia)	13
Figura 5. Horizonte temporal por sectores (Fuente: Guía para el Análisis Coste-Beneficio de Proyectos de Inversión)	16
Figura 6. Ejemplo de Capitalización (Fuente: Torres Ortega)	17
Figura 7. Ejemplo de Descuento (Fuente: Torres Ortega)	17
Figura 8. Etapas de un análisis de riesgo (Fuente: Torres Ortega)	28
Figura 9. Distribuciones de probabilidad	29
Figura 10. Distribución de probabilidad del VAN	29
Figura 11. Trazado de la línea de estudio	32
Figura 12. Horizonte temporal por sectores (Fuente: Guía para el Análisis Coste-Beneficio de Proyectos de Inversión)	41
Figura 13. Plano de ampliación de sección. (Fuente: Elaboración propia)	44
Figura 14. Sección tipo galería de evacuación. (Fuente: Proyecto Constructivo del Acceso Ferroviario al Puerto de A Coruña en Punta Langosteira)	45
Figura 15. Trazado de la línea de estudio. (Fuente: Proyecto de construcción del Nuevo Túnel de Oural)	54
Figura 16. Precios de Co2 a lo largo de los años (Fuente: Expansión)	55
Figura 17. Comparación de los resultados del VAN entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)	58
Figura 18. Comparación de los resultados de la TIR entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)	59
Figura 19. Comparación de los resultados Ratio Coste/Beneficio entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)	60
Figura 20. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para las alternativas consideradas (Fuente: Elaboración propia)	63
Figura 21. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 1- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)	64
Figura 22. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 2- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)	64
Figura 23. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 1- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)	65



Figura 24. Gráfica de barras resultante del análisis de sensibilidad para las alternativas consideradas (Fuente: Elaboración propia).....	66
Figura 25. Función de densidad de una distribución uniforme (Fuente: Elaboración propia).....	71
Figura 26. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 1-0 .....	73
Figura 27. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 2-0 .....	74
Figura 28. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 3-0 .....	75
Figura 29. Propuestas del Plan de Transporte Ferroviario. (Fuente: Ministerio de Fomento).....	85
Figura 30. Propuestas del Plan Director de Infraestructuras en líneas ferroviarias .....	86
Figura 31. Red ferroviaria de Alta Velocidad propuesta en el PIT 2000 - 2007. (Fuente: Ministerio de Fomento) .....	89
Figura 32. Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte. (Fuente: Ministerio de Fomento).....	91
Figura 33. Esquema de la modernización de la línea Lugo - Ourense planteada en el Estudio Informativo licitado por el Ministerio de Fomento.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración de proyectos según el VAN (Fuente: Elaboración propia).....	22
Tabla 2. Valoración de proyectos según la TIR (Fuente: Elaboración propia) .....	23
Tabla 3. Valoración de proyectos según Ratio Coste/Beneficio (Fuente: Elaboración propia).....	25
Tabla 4. Costes de construcción. (Fuente Elaboración propia) .....	47
Tabla 5. Costes de mantenimiento. (Fuente Elaboración propia) .....	48
Tabla 6. Costes de operación. (Fuente Elaboración propia) .....	48
Tabla 7. Grado de los impactos. (Fuente: Elaboración propia).....	53
Tabla 8. Relación consumo tracción Diésel y tracción eléctrica. (Fuente: GARCÍA ALVAREZ, A., Y MARTIN CAÑIZARES, M., (2008).....	54
Tabla 9. Costes de emisiones de CO2 anuales. (Fuente: Elaboración propia).....	55
Tabla 10. Costes-Beneficios de la Alternativa 1 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).....	56
Tabla 11. Costes-Beneficios de la Alternativa 2 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).....	56
Tabla 12. Costes-Beneficios de la Alternativa 3 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).....	56
Tabla 13. Flujos de caja resultantes de cada caso. (Fuente; elaboración propia).....	57
Tabla 14. Resultados del VAN para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia).....	58
Tabla 15. Resultados de la TIR para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia).....	59
Tabla 16. Resultados del Ratio Coste/Beneficio para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia).....	60
Tabla 17. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia).....	61
Tabla 18. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia).....	61
Tabla 19. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia).....	62
Tabla 20. Variación del VAN en función de cada parámetro para cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia).....	62
Tabla 21. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 22. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia).....	68
Tabla 23. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia).....	69



Tabla 24.Comparación VAN entre escenarios Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia).....	69
Tabla 25. Comparación TIR entre escenarios Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia).....	69
Tabla 26.Comparación VAN entre escenarios Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 27.Comparación TIR entre escenarios Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 28.Comparación VAN entre escenarios Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 29.Comparación TIR entre escenarios Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia).....	70
Tabla 30. Inversiones en Infraestructuras por sector. (Fuente: Ministerio de Fomento).....	88

## 1.INTRODUCCIÓN

La interoperabilidad en el transporte, concretamente en el transporte ferroviario garantiza la circulación de los trenes de cualquier rincón perteneciente a la Unión Europea con el objetivo de que el tráfico ferroviario por Europa no tenga limitaciones.

La Unión Europea crea especificaciones técnicas de Interoperabilidad con el fin de constituir un sistema ferroviario integrado. La política de la Unión Europea en materia ferroviaria tiene como objetivo la creación de un espacio sin fronteras, en el que se favorezca la interconexión y la interoperabilidad de las redes nacionales a través de normativas técnicas. Este nuevo sistema ferroviario debe permitir una redistribución entre los modos de transporte y por tanto un aumento de la competitividad del transporte ferroviario.

Dentro de las obras de mejora de la Red Convencional previstas en Galicia, el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias plantea para la conexión Ourense – Monforte – Lugo una adecuación integral de la línea con el objetivo de mejorar la fiabilidad y competitividad de la misma, así como la modernización de instalaciones y electrificación a 25 kV c.a. que permitirá la conexión de Lugo con la línea de Alta Velocidad en Ourense.

La zona de estudio del presente documento tiene lugar en la provincia de Lugo en Galicia, concretamente el tramo ferroviario objeto de este proyecto se encuentra entre Monforte de Lemos y Lugo, y pertenece a la línea León- La Coruña (línea 800). El trazado en el subtramo Rubián – Sarria, es donde se encuentra el túnel de Oural, infraestructura sobre la que gira entorno este trabajo y para el que hay que encontrar cual es la mejor actuación posible en términos de rentabilidad.

La implantación del gálibo uniforme, así como el obligado cumplimiento de la “Especificación técnica de interoperabilidad relativa a la seguridad en los túneles ferroviarios del sistema ferroviario de la Unión Europea”, requiere que el túnel disponga, entre otros, de espacio suficiente para albergar la catenaria, así como acera de emergencia y galerías de evacuación. El actual túnel no posee espacio suficiente para implantar todas estas medidas, de donde resulta este Análisis Coste-Beneficio en el que analizaremos las soluciones de ejecución posibles para cumplir con la normativa existente y dar respuesta a las necesidades planteadas.

Es objetivo de Adif la mejora en la conexión ferroviaria de ciudades y nodos logísticos, con el objeto de impulsar el transporte ferroviario de viajeros y de mercancías del ámbito de actuación.

El compromiso de Adif trasciende el propósito de rentabilidad económica y apunta hacia objetivos más ambiciosos de creación de valor compartido, a largo plazo, para la sociedad y el conjunto de los distintos grupos de interés. La nueva orientación estratégica de Adif se estructura en tres pilares básicos: Seguridad, Servicio y Sostenibilidad.

La longitud total del tramo Monforte-Lugo en donde se encuentra el objeto de este proyecto es de aproximadamente 71 km, y su construcción data de la últimas décadas del siglo XIX, lo que sin duda supuso una gran dificultad técnica debido a su abrupta orografía.

Gran parte de la línea se construyó entre 1850 y 1900 para unas características de tráfico, cargas y velocidades muy diferentes de las actuales. La antigüedad de las construcciones explica la gran variedad de tipologías de puentes, túneles, desmontes y terraplenes que se encuentran en la red, ya que en cada línea se empleaban materiales de la zona y las técnicas constructivas de cada compañía promotora no necesariamente tenían que ser similares.

De la misma forma, la acción de los agentes atmosféricos tiene especial incidencia en obras de infraestructura de tanta antigüedad.

Por tanto, debido a la diferencia tipológica de elementos, antigüedad, trazado y características de explotación, se ha producido cierta degradación los materiales que hace necesaria la intervención, persiguiendo conseguir una doble finalidad; por un lado, mejorar el estado de la infraestructura y por otro la fiabilidad de las líneas y la disponibilidad del servicio.

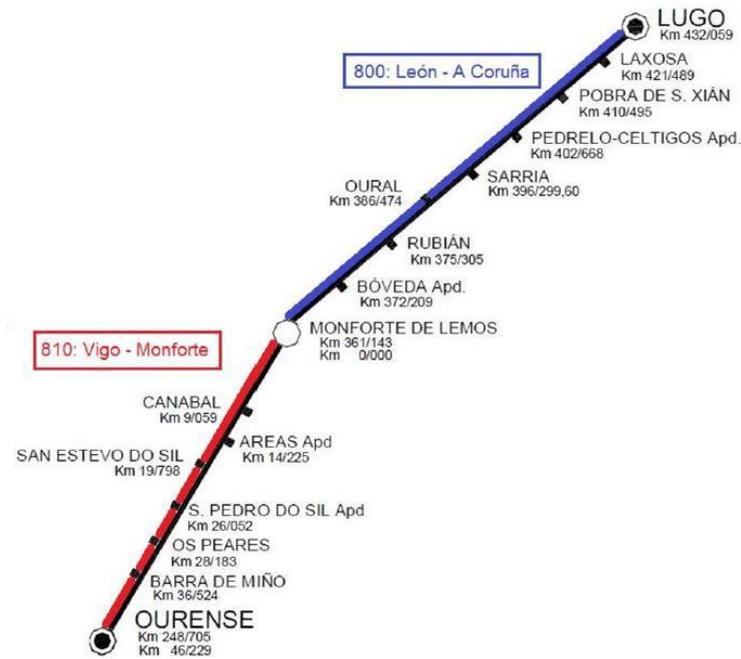


Figura 1. Esquema de estaciones y apartaderos del tramo de estudio (Fuente: Adif)

El Ministerio de Fomento junto con la Xunta de Galicia y RENFE elaboraron diversos documentos sobre la mejora de la Red Ferroviaria Gallega a lo largo de 1998 con objetivo de cumplir con los requerimientos de interoperabilidad del sistema ferroviario de Alta Velocidad incluidos en el Programa de Alta Velocidad del Plan de Infraestructuras 2000-2007.

En uno de dichos documentos se realizó un análisis de las posibles actuaciones ferroviarias a realizar en las líneas y trayectos de Orense-Santiago, Orense - Monforte, Monforte - Lugo - Betanzos - La Coruña, y Betanzos - Ferrol. Éstas se referían a actuaciones realizables a corto plazo y ejecutables en fases, facilitando su adecuación a las disponibilidades presupuestarias y permitiendo su puesta en servicio sucesivamente.

Como resultado de lo anterior, se desarrollaron dos estudios informativos en la línea Orense - Monforte - Lugo, que afectaban a la zona del trazado existente que discurre por los términos municipales de Canabal y de Pobra de San Xián. Más adelante, el Ministerio de Fomento encargó a Ineco en el año 2002 el desarrollo de un tercer Estudio Informativo denominado "Nueva Línea de Alta Velocidad Orense - Monforte - Lugo" con el objeto de analizar, con suficiente grado de definición y precisión, todas las alternativas posibles de acondicionamiento del trazado e instalaciones ferroviarias entre Orense, Monforte y Lugo, permitiendo elegir la alternativa idónea desde los puntos de vista económico, urbanístico y medioambiental.

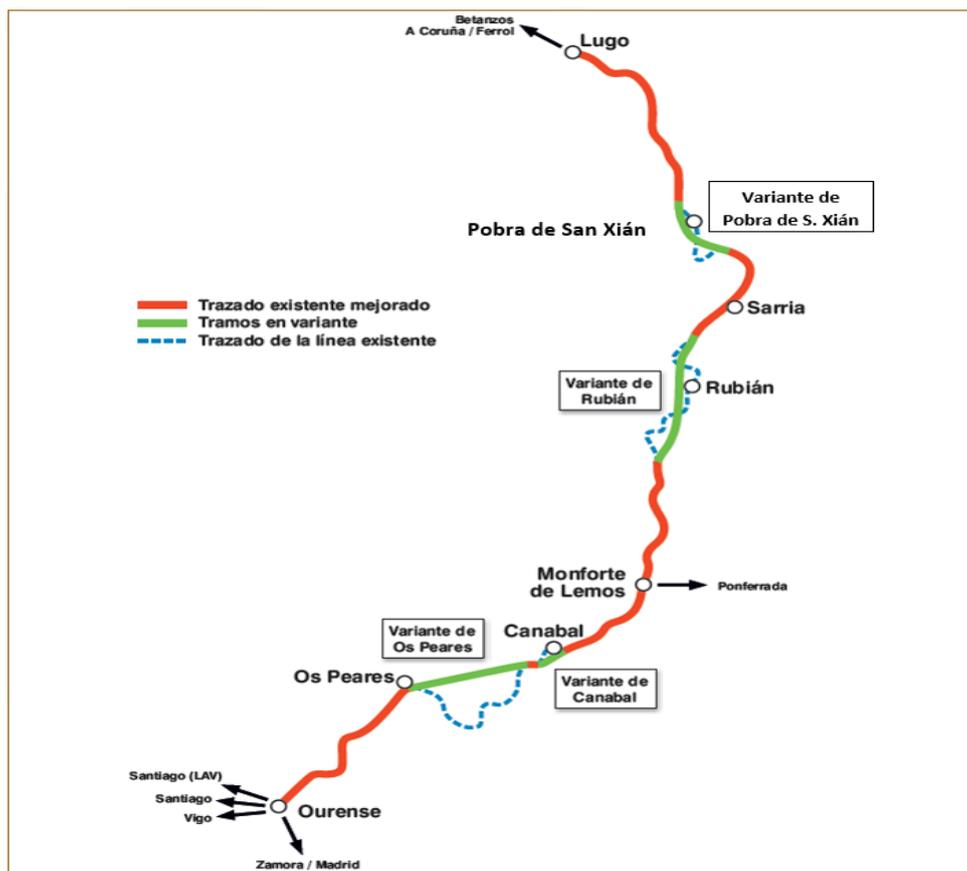


Figura 2. Esquema de la alternativa propuesta en el Estudio Informativo de la “Nueva Línea de Alta Velocidad Ourense – Monforte – Lugo”. (Fuente: INECO)

Entre el 2002 y el 2018 se anunciaron licitaciones para la redacción de Proyectos Constructivos de plataforma de la Línea de Altas Prestaciones Ourense-Monforte-Lugo. Estos proyectos se plantean como consecuencia de las nuevas especificaciones del Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte con el objeto de conseguir mejoras técnicas ferroviarias para la línea.

Hace unos años, con el objetivo de analizar nuevamente las posibles alternativas de mejora de tiempos entre Ourense y Lugo, el Ministerio de Fomento desarrolló en 2018 el estudio Preliminar de Alternativas del tramo Ourense – Monforte de Lemos – Lugo. En paralelo a los Estudios del Ministerio, como se ha citado en la introducción, ADIF ha encargado la redacción de diversos proyectos constructivos cuyo objetivo es la electrificación a 25 kV entre Monforte de Lemos y Lugo (línea 800 todos ellos cumpliendo con el gálibo límite de implantación a obstáculos GEB16 y adaptándolos a las nuevas condiciones de explotación.

En la actualidad uno de estos Proyectos es el “PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN NUEVO TÚNEL DE OURAL” y que, aunque se encuentre en ejecución mientras se redacta este documento, servirá de pilar fundamental para determinar cuál de las alternativas de estudio es la óptima en términos de rentabilidad.

## 2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es analizar la rentabilidad de las distintas alternativas que se plantean a través de un Análisis Coste-Beneficio que nos proporcionará la información necesaria para ayudarnos en la toma de decisiones.

Para conseguir este objetivo principal se han determinado una serie de objetivos secundarios:

- Estudio de la metodología Análisis Coste-Beneficio para su aplicación al caso de estudio.
- Análisis del caso de estudio: en el que se expone la situación actual de la zona y se plantean una serie de alternativas que serán evaluadas mediante el Análisis Coste- Beneficio.
- Aplicación del Análisis a las alternativas planteadas.
- Ejecución de análisis de sensibilidad, análisis de escenarios y análisis de riesgo asociado al Análisis Coste-Beneficio para determinar que parámetros influyen más en el caso de estudio, así como la discusión de los resultados obtenidos.
- Extracción de conclusiones.

Para la obtención de dichos objetivos se ha estructurado el documento como se describe a continuación:

En primer lugar, se estudiará la metodología del análisis coste-beneficio, donde se incluye su evolución histórica, las tipologías existentes de ACB, etapas del proyecto en las que es posible su realización, así como conceptos teóricos asociados al método y el procedimiento a seguir para obtener resultados adecuados.

En segundo lugar, se expone el caso de estudio y cuáles son las motivaciones que llevan a realizar algún tipo de actuación en la zona, a su vez se plantean las alternativas que tratan de cubrir las necesidades de la zona y dar solución al problema.

A continuación, se realizará el Análisis Coste-Beneficio del proyecto en cuestión, donde se encuentra el grueso del trabajo. Se irán analizando las distintas etapas del método, como la identificación del proyecto, definición de los parámetros básicos, definición y valoración monetaria de los impactos económicos, sociales y ambientales, así como el cálculo de los indicadores de rentabilidad y la realización de los análisis de sensibilidad, análisis de escenarios y análisis de riesgo. Todo ello necesario para el correcto estudio del método.



Finalmente, se valorarán los resultados obtenidos por el Análisis Coste-Beneficio, así como el análisis de sensibilidad, análisis de escenarios y el análisis de riesgo para poder finalizar el trabajo con una conclusión clara sobre la rentabilidad de cada una de las alternativas.

### 3. METODOLOGÍA: ANALISIS COSTE-BENEFICIO

En el presente apartado se hará una revisión del estado del arte en lo que se refiere al análisis coste – beneficio (ACB), y su aplicación a proyectos de obras de ingeniería y arquitectura.

El ACB surge como una ayuda a la decisión. Los órganos de decisión, públicos o privados son los encargados de ordenar la realización de una determinada inversión y, por tanto, son responsables de la misma. Existen diversos ámbitos de inversión: educación, ciencia, investigación, infraestructuras, tejido industrial, etc.; y con frecuencia los beneficios de dichas inversiones no se perciben en un corto periodo de tiempo sino a largo plazo.

En el ámbito de las infraestructuras, que es en el que este trabajo se encuentra, además, una única actuación supone un gasto importante para el Estado y, por consiguiente, para el conjunto de ciudadanos. El creciente interés de la ciudadanía por conocer los proyectos a los cuales van destinados sus impuestos hace que cada vez sea más habitual la utilización de los ACB.

Actualmente es frecuente la realización de un ACB previo a la ejecución del proyecto (ACB ex ante), como una manera de justificar el gasto que supone la inversión. Por otro lado, en algunos casos se realiza un análisis posterior a la construcción y puesta en funcionamiento (ACB ex post), para comprobar si las premisas y previsiones que se tuvieron en cuenta al realizar el primer estudio se han cumplido o no.

Así mismo, cabe considerar el ACB en relación con los objetivos que se ha fijado la Unión Europea para 2030, en lo que respecta a la inversión de capital en una serie de sectores determinados que suponen, y el análisis de la idoneidad de dichas inversiones.

#### 3.1. Definición

El ACB es una herramienta financiera que mide la relación entre los costes y los beneficios asociados a un proyecto de inversión con el objetivo de evaluar su rentabilidad. Teniendo en cuenta esto, un determinado proyecto será rentable cuando la relación coste – beneficio sea menor que uno, es decir, cuando los beneficios superen a los costes.

Dentro del ACB no se van a considerar únicamente aspectos meramente económicos, sino que se van a tener en cuenta como beneficios y costes aquellos aspectos sociales y medioambientales que puedan tener relevancia. Para ello, al



contrario de lo que sucede con los factores económicos, va a ser necesario valorar económicamente aquellos aspectos que no sean monetarios.

Por otro lado, cabe recordar que el valor del dinero no es el mismo a lo largo del tiempo, y al tratarse de proyectos con una vida útil de unos 25 o 50 años dependiendo del tipo de infraestructura, será necesario expresar todos los valores en el mismo año de referencia.

Para ello, se recurre al VAN (Valor Actual Neto), que es un indicador que se obtiene al calcular el valor actual de un determinado número de flujos de caja futuros.

### 3.2. Evolución histórica del método

Las primeras ideas sobre el Análisis Coste-Beneficio aparecieron en Francia en el año 1708 de la mano del Abad Saint-Pierre, en su obra “Memoire sur la Réparation des Chemins”, en la que hace referencia a la anchura exigida a los Caminos Reales franceses, exponiendo los beneficios sociales que tendría el desarrollo de dicho proyecto y realizando una estimación de los costes del mismo. De esta manera emplea el argumento del beneficio como elemento de toma de decisión.

No fue hasta 100 años después que tenemos evidencias de que Albert Gallatin, Secretario del Tesoro de EE.UU. utiliza la comparación de costes y beneficios como método de selección de proyectos de ingeniería hidráulica.

Más adelante, Dupuit (1844) enuncia la ley de decrecimiento de la utilidad marginal. Para el ingeniero francés la utilidad es subjetiva y varía en función de los individuos, desde este pensamiento aplica un criterio en el que los ingresos deben ser mayores que los gastos para seleccionar un proyecto.

Antes de dar comienzo la Segunda Guerra Mundial (1936) se produce un desarrollo importante de la metodología y el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos enuncia un criterio fundamental que se ha de seguir para diferenciar los proyectos hidráulicos que han de llevarse a cabo o no: “los beneficios, cualesquiera que sean, de quien quiera que devengue, deberán exceder los costes estimados”.

En 1958, Nicholas Kaldor y John Hicks, ambos economistas, establecen que únicamente son justificables aquellos proyectos cuyos beneficios compensan las pérdidas, independientemente de quien soporta los beneficios y quien los costes.

Por otro lado, Otto Eickstein en su publicación “Water and Resource Development” publicada ese mismo año, estudio las diferentes técnicas orientadas a la estimación de los ingresos que era posible obtener a través de la información de los mercados.



Junto con John Krutilla propuso la aplicación de estas nuevas técnicas a la gestión de los recursos hídricos.

Fue en esta época cuando se introdujo por primera vez el empleo de computadoras para la realización de estos análisis.

No fue hasta 1980 que a través de la NEPA (National Environmental Policy Act) se hace obligatoria la inclusión del ACB medioambiental en Estados Unidos para la clasificación de proyectos.

En 1990 la Comisión Europea lanza la primera versión de la “Guía para el Análisis Coste – Beneficio de proyectos de inversión”, cuyo objetivo es el de servir de ayuda en la valoración económica de los proyectos que se llevan a cabo en países pertenecientes a la Unión Europea. La versión más actual de la misma se publicó en 2014, y en ella se definen los requisitos necesarios para realizar un análisis coste-beneficio, incluso se describe un análisis individualizado en función de la rama de ingeniería en la que se encuentre dicho proyecto.

El desarrollo en España del método avanza según lo hace en la Unión Europea, a día de hoy existen algunos manuales publicados por Instituciones Públicas como son el manual “Evaluación Pública de Grandes Proyectos de Inversión” publicado en 1987 por Vergara i Carrió y el “Manual de Valoración de Contingente” publicado en 1994 por Riera.

### 3.3. Conceptos teóricos previos

Para entender el análisis Coste-Beneficio se explicarán a continuación una serie de conceptos implícitos al método que son los siguientes:

**Coste de oportunidad.** Se utiliza en el Análisis Coste-Beneficio para dar un valor monetario de los recursos necesarios para implementar un proyecto. Se define como el beneficio potencial de la mejor alternativa a la que se renuncia, cuando se elige entre varias alternativas excluyentes entre sí.

**Perspectiva a largo plazo:** para realizar un correcto análisis es necesario hacerlo a largo plazo, para ello se introduce el parámetro de horizonte temporal que puede ir desde los 10 años hasta los 30 años o más dependiendo del sector de estudio, así como una tasa de descuento adecuada para calcular el valor presente que tendrán los costes y beneficios futuros. También es de vital importancia evaluar los riesgos que conlleva el proyecto.

**Criterio de Pareto:** Según el criterio de Pareto una situación es eficiente cuando no es posible encontrar ninguna otra situación que mejore el bienestar sin que nadie empeore el suyo, esto es lo que se denomina como “Pareto Óptima”.

Estas situaciones óptimas son siempre las más recomendables, aunque en la realidad es difícil dar con una solución en la que todos ganen y nadie pierde (situaciones win-win), por lo que puede favorecer a ciertos grupos. Por lo tanto, a menudo los proyectos que se evalúan suponen beneficios para unos provocando así perjuicios para otros. Además, este criterio no establece nada sobre la redistribución de costes y beneficios, por lo que surge el criterio de Kaldor-Hicks.

**Criterio de Kaldor-Hicks:** Según este criterio de eficiencia una situación es socialmente más aceptable que otra cuando los beneficios de la nueva situación compensan las pérdidas independientemente de quien soporta los beneficios y quien los costes.

La principal diferencia entre ambos criterios es el principio de compensación. En este caso encontramos que si habrá sujetos que soporten ciertas pérdidas, pero se considera eficiente siempre y cuando los sujetos que salgan beneficiados puedan compensar a los afectados, aunque dicha compensación no tiene que ser real, solo potencial.

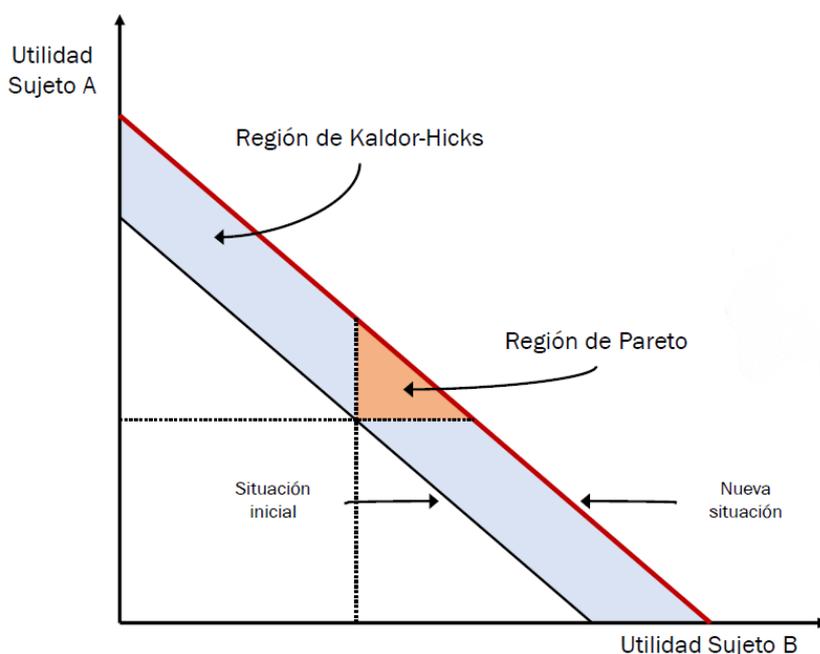


Figura 3. Representación gráfica de los criterios de Pareto y Kaldor-Hicks (Fuente: Torres Ortega)

Encontramos que cualquier mejora en el Criterio de Pareto es una mejora en el Criterio de Kaldor-Hicks, pero no ocurre lo mismo en el caso contrario. Además, en el Criterio de Kaldor-Hicks nos surge un problema de equidad social entre individuos.

### 3.4. Tipos de ACB

Encontramos distintos tipos de ACB en función del caso de estudio, o de los aspectos que se quieran tener en cuenta para evaluar la inversión. En lo que se refiere a los impactos que genera una inversión podemos diferenciar principalmente entre el económico, financiero, social y medioambiental.

Este último ámbito de estudio es el más novedoso, ya que como se explica en la evolución histórica del método décadas atrás únicamente se contemplaba para la evaluación de los proyectos de inversión el ámbito económico.

Sin embargo, a raíz de la obligatoriedad de la inclusión del análisis medioambiental en los proyectos de estudio en EE. UU. seguido de la agenda de Desarrollo Sostenible de la Unión Europea, hacen que este análisis sea un aspecto de vital importancia en la toma de decisiones, así como lo es el social ya que no se concibe este término sin los objetivos de igualdad y bienestar social.

Es por ello por lo que, a diferencia de años antes el análisis medioambiental, así como el social hayan cogido peso en el ACB y se requiera de un estudio lo más completo posible, teniendo en cuenta todos los ámbitos para cumplir con los objetivos de desarrollo.

El Análisis Coste-Beneficio se puede clasificar en cuatro tipos dependiendo de su enfoque:

#### **Análisis Coste-Beneficio Económico**

Sólo estudia los impactos que se puedan cuantificar directamente en unidades monetarias. Dentro de esta tipología de análisis se contemplan todos los costes y las consecuencias de las intervenciones, valoradas según la disponibilidad a pagar, con independencia de su imputación al usuario o beneficiario, a la empresa u otras instituciones. Este análisis se articula desde la óptica del inversor público que busca la maximización del bienestar social.

#### **Análisis Coste-Beneficio Financiero**

Analiza los movimientos financieros. Este análisis compara los costes y consecuencias de dos o más alternativas, pero el cálculo del valor monetario de las consecuencias se limita a estimar a precios de mercado los cambios en los gastos y

utilidades, así como determinar la rentabilidad financiera de cada alternativa para la empresa. Dicho análisis se articula desde la óptica del inversor privado e informa sobre la rentabilidad del proyecto y es la evaluación privada empresarial más común.

### **Análisis Coste-Beneficio Socioeconómico**

Está enfocado al cálculo de costes y beneficios sociales, que hay que transformar en unidades monetarias. Dentro de esta categoría de análisis se comparan los costes e ingresos de una determinada actuación desde una perspectiva enfocada al cálculo del beneficio social. En muchos casos, los impactos generados por la actuación serán impactos no monetizados y, por tanto, resulta necesaria una transformación a unidades monetarias.

### **Análisis Coste-Beneficio Medioambiental**

Es aquel enfocado al cálculo de costes y beneficios sociales y medioambientales, que habrá que monetizar posteriormente. Como sucedía en el apartado anterior, los impactos generados por la actuación son no monetarios, con lo que es preciso llevar a cabo una transformación de las unidades del modelo a unidades monetarias, de manera que se utilice una única unidad.

En nuestro caso analizaremos principalmente el análisis Coste-Beneficio Económico, así como el socioeconómico y medioambiental los cuales transformaremos en unidades monetarias más adelante.

Existen varios tipos de Análisis Coste-beneficio en función de en qué momento del ciclo de vida del proyecto se realiza el análisis, nos encontramos con varios escenarios:

#### **Ex ante**

Se analiza antes de tomar la decisión de implementar un proyecto. Este análisis previo a la actuación nos proporciona información sobre si se han o no de invertir recursos en llevar a cabo dicho proyecto.

#### **Ex post**

Por el contrario, este análisis se realiza una vez se ha completado el proyecto. Aunque en el caso de no resultar rentable, los recursos ya estén invertidos, el análisis ex post nos proporciona un beneficio potencial de manera que podemos utilizar nuestro análisis en proyectos similares para hacernos una idea de cuáles serán los costes y beneficios. En el campo de los proyectos sociales, la evaluación ex post es la más desarrollada metodológicamente.

La diferencia principal entre ambas reside en que la evaluación ex ante busca mejorar la eficiencia operacional del proyecto mientras que la ex post, desde un punto de vista social, determina los cambios que el proyecto ha producido en la población beneficiaria, es decir busca medir el grado en el que los objetivos iniciales fueron alcanzados.

### **In Media Res**

Este análisis intenta dar solución a la pregunta de si la continuación de un proyecto en proceso de implementación es una buena idea o no. En este caso el análisis puede realizarse en cualquier momento desde que se toma la decisión de implementarlo hasta completar el proyecto. Un mal resultado de este análisis podría implicar la terminación o modificación del proyecto.

### 3.5. Procedimiento

Existen diversas fuentes que explican el procedimiento para realizar un Análisis Coste-Beneficio, por lo que es posible realizar el análisis siguiendo distintos procedimientos al no existir una metodología única y universal. El presente documento seguirá la metodología expuesta por “Guía para el Análisis Coste – Beneficio de proyectos de inversión” publicado por la Comisión Europea.

La metodología a seguir consta de las siguientes etapas:



Figura 4. Etapas del Análisis Coste-Beneficio (Fuente: Elaboración propia)

Las etapas en las que se divide el ACB son: identificación y definición del proyecto, definición de los parámetros básicos, definición y estudio de los impactos, valoración monetaria de los impactos sociales y medioambientales, cálculo del indicador de rentabilidad, análisis de sensibilidad y análisis de riesgo.

En los epígrafes siguientes se realiza una descripción más exhaustiva de las diferentes etapas.

### 3.5.1 Identificación del proyecto

Es necesario identificar claramente el proyecto y obtener un profundo conocimiento de cómo se va a ejecutar. Esto implica una precisa definición de sus objetivos socioeconómicos y de la población cuyo bienestar debe ser considerado. Este paso es muy importante para asegurar la viabilidad técnica del proyecto y también para presentar las alternativas relevantes al mismo.

La identificación del proyecto supone el conocimiento de todos aquellos aspectos referentes a la planificación, ejecución y mantenimiento de la actuación. En este sentido se estudiará la planificación de la ejecución de la obra y la asignación de recursos monetarios y materiales para la construcción y mantenimiento de la infraestructura. Así mismo, habrán de tenerse en cuenta los factores que afectan tanto al territorio como a la población (sociales y medioambientales).

Para identificar brevemente, aunque de manera clara e inequívoca, la infraestructura, hemos de conocer la tipología de la inversión. Puede ser útil comenzar por describir sus funciones, las cuales han de ser coherentes con los objetivos de la inversión. Seguidamente, se presentará el tipo de medida propuesto, como puede ser la construcción de una línea completamente nueva, o de una conexión dentro de una infraestructura más amplia, o la extensión o modificación de una línea de ferrocarril ya existente (por ejemplo, la electrificación y automatización de una línea ferroviaria existente).

Por otro lado, es importante conocer el ámbito territorial de referencia ya que el proyecto puede formar parte de programas nacionales, regionales o locales de transporte o ser promovidos por organismos de diversa naturaleza. En ambos casos, la incorporación funcional de la infraestructura prevista al sistema de transporte existente o proyectado ya sea urbano, regional, interregional o nacional, facilitará, sin duda, el examen de los efectos de red.

Un segundo aspecto importante es la coherencia con las políticas de transporte nacional y europea: fiscalidad (p.ej., sobre el carburante), interoperabilidad, limitaciones u objetivos medioambientales, otras políticas de incentivos o transferencias en el sector, normas tecnológicas.

Otro factor que conviene tomar en consideración es el grado de coherencia con cualquier otro proyecto y/o programa de desarrollo que haya podido elaborarse en relación con la zona de la inversión, tanto dentro del propio sector del transporte como en sectores que puedan tener una incidencia en la demanda de transporte.

Hay que tener en cuenta el marco normativo del proyecto ya que la reglamentación del sector del transporte ha evolucionado considerablemente en los diez últimos años, debido a la necesidad de corregir la ineficiencia de los sistemas monopolísticos mediante la apertura a la competencia de los servicios de transporte y la regulación de los «monopolios naturales», es decir, de las infraestructuras.

A nivel comunitario, y desde la década de los noventa, la Unión Europea viene adoptando medidas específicas y formulando recomendaciones dirigidas a los Estados miembros. En lo que respecta a las medidas, las intervenciones comunitarias se centran principalmente en la regulación y el desarrollo de la red de infraestructuras, en el problema de las tarifas cobradas por las infraestructuras y en la internalización de costes externos.

La percepción y expectativas de la población con relación al servicio a prestar, etc.

### 3.5.2 Definición de parámetros básicos

Es necesario definir una serie de parámetros básicos para la realización de un Análisis Coste-Beneficio, los cuales afectan en gran medida al resultado final. Por ello se trata de una etapa crucial en el ACB, ya que los resultados pueden variar en gran medida en función de los parámetros que se estimen.

Los parámetros más importantes a fijar en esta etapa son:

- Año de referencia
- Horizonte temporal
- Tasa de descuento

#### **Año de referencia**

Es necesario tomar un año de referencia para el análisis en tanto en cuanto se desee proporcionar unos resultados reales que se ajusten a las condiciones actuales de mercado. Por ello lo que mejor ajustará los resultados a lo real será tomar el año de referencia como:

- El año en el que tendrá lugar la inversión en los proyectos cuyo análisis se realice ex ante.
- El año actual en los proyectos que el ACB sea realizado In Media Res.



- El año en el que se realizó la inversión en los proyectos que se analicen ex post.

### Horizonte temporal

Es el plazo en años que se tiene en cuenta para el análisis de los costes e ingresos producidos por el proyecto bajo evaluación. Los pronósticos del análisis han de cubrir el periodo económico apropiado para la vida útil del proyecto y sus probables impactos a largo plazo. Este horizonte temporal no es el mismo para todos los proyectos, dándose un valor concreto por sector. Para el plazo de tiempo establecido, tendremos en cuenta todos los impactos que afectan a la implementación del proyecto.

Los periodos de referencia propuestos por la Comisión Europea en la Guía para el Análisis Coste-Beneficio según el tipo de proyecto son los siguientes:

Sector	Reference period (years)
Railways	30
Roads	25-30
Ports and airports	25
Urban transport	25-30
Water supply/sanitation	30
Waste management	25-30
Energy	15-25
Broadband	15-20
Research and Innovation	15-25
Business infrastructure	10-15
Other sectors	10-15

*Figura 5. Horizonte temporal por sectores (Fuente: Guía para el Análisis Coste-Beneficio de Proyectos de Inversión)*

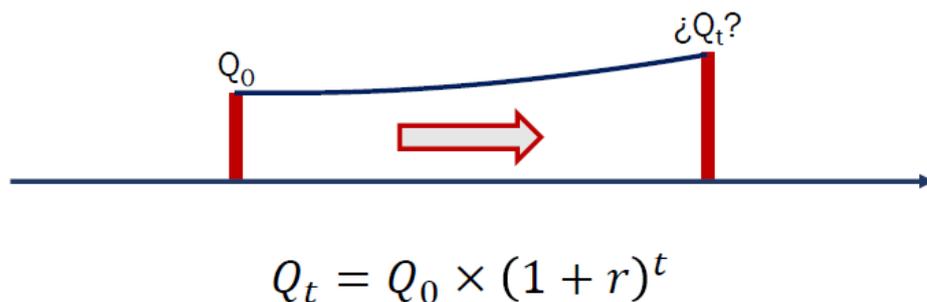
### Tasa de descuento

La tasa de descuento es el coste de capital que se aplica para determinar el valor presente de un pago futuro, es decir, un indicador de cuánto vale ahora el dinero que se recibirá en un futuro. Consiste, por tanto, en unir valores monetarios los cuales se dan en diferentes momentos temporales, en un único valor llevado a un año de referencia, el cual dependerá como se ha explicado anteriormente, del tipo de análisis que se esté realizando en relación al tiempo de ejecución del proyecto.

La tasa de descuento al contrario que la tasa de interés (que sirve para aumentar el valor del capital actual), resta valor al dinero futuro cuando se traslada al presente, a no ser que sea negativa, con lo que se entendería que el capital futuro tiene más valor que el actual.

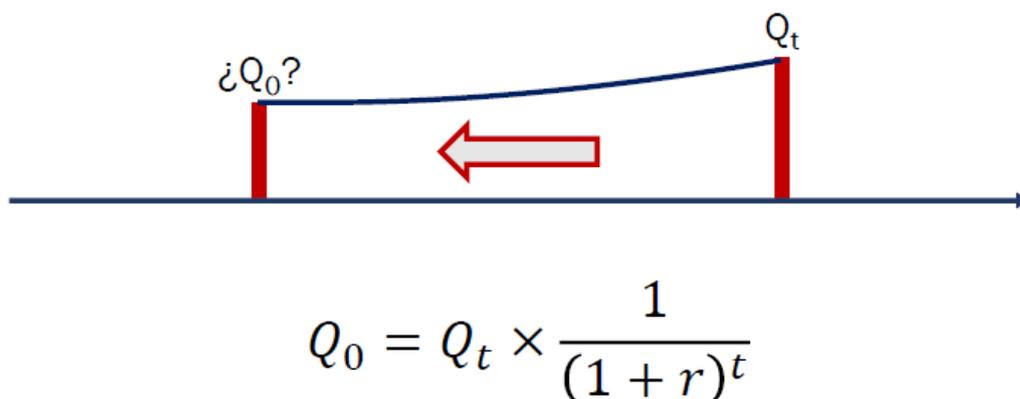
Ya que no podemos realizar la comparación de dos cantidades monetarias que tienen referencias temporales distintas podemos encontrarnos ante dos situaciones:

El cálculo del valor futuro en una cantidad presente (capitalización) o calcular el valor presente de una cantidad futura (descuento), pero en ambos casos hemos de tener en cuenta el efecto que los mercados financieros tienen en las cantidades.



*Figura 6. Ejemplo de Capitalización (Fuente: Torres Ortega)*

A través de la capitalización calculamos el valor futuro ( $Q_t$ ) de una cantidad presente ( $Q_0$ ) a través de un tipo de interés ( $r$ ). El proceso de capitalizar lleva consigo implícitamente un tipo de interés. De manera que el capital proyectado a futuro depende con qué tipo de interés proyectemos el capital inicial. Por lo tanto, el capital final, es función del inicial y del tipo de interés.



*Figura 7. Ejemplo de Descuento (Fuente: Torres Ortega)*

Por otro lado, a través del descuento o la actualización calculamos el valor presente ( $Q_0$ ) de una cantidad futura ( $Q_t$ ) a través de una tasa de descuento ( $r$ ). El proceso de

actualización lleva consigo implícitamente una tasa de descuento de manera que el capital proyectado al presente depende de esta tasa y del capital final.

El descuento surge al tener que analizar inversiones cuyos beneficios serán obtenidos muchos años después del gasto inicial, esto supone reducir el valor monetario de los beneficios y costes a medida que se alejan en el tiempo del año de referencia. El descuento no tiene que ver con la inflación del mercado, sino que está relacionado con la productividad del capital y las relaciones personales.

Supone sin embargo introducir en el análisis un punto de desequilibrio intergeneracional, puesto que no se valora igual el coste y beneficio actual que el de las generaciones futuras.

La tasa de descuento se toma por lo general como uno de los siguientes valores:

- El tipo de interés de mercado.
- La tasa marginal de preferencia temporal.
- La tasa marginal de productividad del capital

Los tres valores coinciden cuando el mercado de capitales es perfecto. La realidad dista notablemente de este supuesto y la sola presencia de impuestos sobre los beneficios de las empresas y sobre el rendimiento del ahorro hace que las tres tasas tomen valores diferentes.

Existen distintas maneras según la bibliografía de calcular la tasa de descuento, siendo la más común la Tasa Social de Descuento que se calcula de la manera siguiente:

$$s = \rho + \mu \times g$$

Donde:

$s$ : la Tasa de descuento Social o “Consumption rate preference”

$\rho$ : la “Pure rate of time Preference” que refleja la preferencia por los beneficios en el momento actual.

$\mu$ : la elasticidad de la utilidad marginal de consumo, entendida como el porcentaje de cambio en el bienestar al cambiar el consumo.

$g$  la “Tasa de crecimiento del consumo”, que depende del desarrollo tecnológico, los recursos disponibles, el funcionamiento global de la economía, etc.

La tasa de descuento social para países desarrollados oscila entre los valores de 3% al 7% y se encuentra entre el 6% y el 12% para países en vías de desarrollo.

### 3.5.3. Definición de los impactos

El siguiente paso es proceder a identificar aquellos impactos que se derivan de la realización del proyecto. Es necesario en esta etapa enumerar y tener en consideración en una primera aproximación todos aquellos efectos que afecten a la población del área de estudio, tanto en su fase de puesta en marcha y realización, como a más largo plazo una vez el proyecto esté finalizado.

“Cualquier ganancia o coste que se produzca por una política o proyecto, independientemente de a quién afecte o quién lo devengue, o en qué momento del proyecto ocurra, debe ser considerado en el ACB”

En resumen, se puede decir que un impacto es relevante si afecta al menos a una persona.

### 3.5.4 Valorización monetaria

En esta etapa se llevará a cabo la valorización monetaria de los impactos monetarios y los no monetarios ya que para poder realizar el análisis es necesario que todos los impactos se midan en una unidad común, debido a que de lo contrario la comparación entre ellos y el análisis de riesgo no serían acertados. La tarea de monetización de los impactos resulta de gran complejidad ya que no existe un factor de conversión exacto, sino que se procederá mediante estimaciones.

Existen diversos problemas a la hora de monetizar los impactos, los principales que encontramos en esta etapa son los siguientes:

Las unidades monetarias han de ser constantes y homogéneas independientemente del periodo de tiempo en el que se produzcan. Por ello se aplica la tasa de descuento hasta el año de referencia.

Se plantea de nuevo el problema de la incertidumbre, dada la dificultad en la estimación de predicciones futuras, por lo que habrá que poner especial atención en esta etapa

En cuanto a la valorización económica de los impactos a tener en consideración, se podrá recurrir a la información proporcionada por los mercados en cuanto al precio de ciertos bienes, y teniendo en cuenta que esos precios han podido ser fijados bajo ciertas irregularidades.

Cuando el mercado no establezca un valor de un determinado bien, habrá que desarrollar un mecanismo que calcule su valor, ya sea directamente, o preguntando

a individuos afectados (preferencias declaradas) o indirectamente analizando sus preferencias (preferencias reveladas).

### 3.5.5 Cálculo del indicador

Una vez cuantificados los diferentes impactos que afectan al proyecto y expresados en una misma unidad, en este caso euros, se procederá a calcular el indicador de rentabilidad, el cual nos sirve para identificar si el proyecto de análisis resulta o no rentable.

Antes de realizar una inversión, se busca tener un cierto indicador que nos pueda asesorar sobre la conveniencia de llevar a cabo la misma (o de compararla con otras posibles inversiones (ordenar alternativas)

Los modelos clásicos de evaluación se pueden dividir en dos grupos:

- Métodos estáticos: no tienen en cuenta la cronología de los flujos de caja. Es el caso del PayBack.
- Métodos dinámicos: tienen en cuenta la estructura temporal de los flujos de tesorería, de modo que no se consideran compatibles las cantidades obtenidas en distintos momentos del tiempo. Entre ellos encontramos el VAN y el TIR, entre otros.

Los indicadores de económicos son considerados una herramienta útil a la hora de evaluar la rentabilidad de distintos proyectos de inversión ya que su cálculo es poco complejo. Los más empleados habitualmente son el Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Ratio Coste/Beneficio.

A continuación, se procederá a describir algunos de los indicadores:

#### – Valor actualizado neto

Se define como la suma algebraica de los valores actualizados de todos los flujos de caja, ya sean positivos o negativos, asociados a la posesión de un activo, menos el desembolso inicial necesario para la realización del mismo.

Se trata de un método dinámico de selección de inversiones ya que al contrario que los métodos estáticos, tiene en cuenta el momento en el que se produce el flujo neto de caja, es decir, tiene en cuenta aspectos como el interés y la posible inflación.

La utilización de este indicador es muy común para comparar distintos proyectos de inversión. Ya que calculando el VAN de cada uno de ellos por separado podemos determinar cuál de los proyectos de estudio nos dará una mayor rentabilidad.

El Valor Actualizado Neto se calcula de la siguiente manera:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+r)^i} = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{(b_i - c_i)}{(1+r)^i}$$

Donde:

**$I_0$** : es la inversión del momento inicial, es decir  $t=0$ .

**$n$** : es el horizonte temporal.

**$F_i$** : los flujos de caja para cada periodo  $i$ .

**$r$** : el tipo de interés o descuento asociado a la inversión.

**$b_i$** : beneficios o ingresos obtenidos en el periodo  $i$ .

**$c_i$** : costes en el periodo  $i$ .

El VAN, a través de su resultado da lugar a dos decisiones, la primera si la inversión de estudio es rentable, y la siguiente saber cuál de las inversiones de estudio es más rentable en términos absolutos, es decir, la que genera mayor valor.

El valor del indicador puede resultar negativo, lo cual hace presagiar que los costes del proyecto ya sean debidos a la inversión inicial o a los gastos generados a lo largo de su vida útil, superan los beneficios del mismo. En este caso el proyecto estará destruyendo valor y desde el punto de vista de la rentabilidad deberá ser rechazado.

En el caso contrario, el indicador puede resultar positivo, lo que supone que a pesar del desembolso inicial los flujos de caja positivos a lo largo de la vida útil superaran a los flujos de caja negativos por lo que el proyecto generara valor y será rentable. En este caso, cuanto mayor sea el índice de rentabilidad, mayor rentabilidad tendrá el proyecto.

Otra de las posibilidades, aunque la menos probable, es que el valor que resulte del cálculo sea igual a cero. Esto quiere decir que es indiferente si se realiza el proyecto no desde el punto de vista monetario, ya que ni se crea ni se destruye valor. En este caso, para poder tomar una decisión en base a la ejecución o no del proyecto habrán de tenerse en cuenta otros criterios de decisión.



*Tabla 1. Valoración de proyectos según el VAN (Fuente: Elaboración propia)*

VALOR	RESUTADO	DECISIÓN
<b>VAN &lt; 0</b>	El valor actualizado de los cobros y pagos futuros generará pérdidas superiores a la rentabilidad exigida $r$	El proyecto ha de ser rechazado
<b>VAN &gt; 0</b>	El valor actualizado de los cobros y pagos futuros generará beneficios superiores a la rentabilidad exigida $r$	El proyecto puede ser aceptado
<b>VAN = 0</b>	La inversión no generará ni ganancias ni pérdidas	La realización del proyecto es indiferente desde el punto de vista de rentabilidad

El empleo del VAN para el análisis de la rentabilidad de proyectos es muy utilizado debido a las ventajas que supone, entre las cuales destacan:

- Sirve como criterio de ordenación de alternativas.
- Puede ser utilizado como criterio de selección, estableciendo un umbral de rentabilidad mínimo a mantener por el proyecto a evaluar.
- Simplicidad en el cálculo.
- Contabiliza la variación del valor del dinero en el tiempo.
- Se trata de un indicador cuyo entendimiento y aplicación se encuentra ampliamente extendido.

El VAN es un indicador que viene expresado en unidades monetarias, por lo que es habitual que el cálculo del mismo venga acompañado con el uso de otros indicadores adimensionales, tales como la Tasa Interna de Retorno (TIR) o el Ratio Coste/Beneficio.

- **Tasa interna de retorno**

Se trata, al igual que el VAN, de un método de cálculo dinámico ya que tiene en cuenta que el capital tiene distintos valores en función del momento del tiempo en el que nos encontremos. Se define como el máximo coste de oportunidad que el proyecto puede soportar sin que se anule su rentabilidad.

En la práctica se define como el valor de “ $r$ ” que hace que el VAN sea igual a cero.

$$r = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+r)^i} = 0$$



Donde:

**$I_0$**  es la inversión inicial.

**$F_i$**  representa los flujos de caja del periodo  $i$ , y se calcula como diferencia entre ingresos y costes.

**$r$**  tasa de interés o de descuento.

*Tabla 2. Valoración de proyectos según la TIR (Fuente: Elaboración propia)*

VALOR	RESULTADO	DECISIÓN
<b><math>TIR &lt; r</math></b>	El proyecto no resulta rentable	El proyecto ha de ser rechazado
<b><math>TIR &gt; r</math></b>	El proyecto resulta rentable	El proyecto puede ser aceptado
<b><math>TIR = r</math></b>	El proyecto puede resultar rentable	El proyecto puede ser aceptado

Al igual que ocurre con el VAN, la TIR nos proporciona el poder de decisión para elegir entre varios proyectos ya que cuanto mayor sea la Tasa Interna de Retorno mayor será la rentabilidad del proyecto, esto permite la comparación entre varias alternativas, así como saber si un único proyecto resulta rentable o no.

El cálculo de la TIR presenta problemas en el caso de proyectos no convencionales, es decir, aquellos que cuentan con flujos de caja positivos y negativos a lo largo de la vida del proyecto. En dichas ocasiones suelen producirse problemas de inconsistencia de la TIR, dando lugar a múltiples TIR o a la inexistencia de TIR. Por ello, en el caso de proyectos no convencionales se recomienda utilizar en VAN como indicador de la viabilidad de los mismos.

– **Índice de rentabilidad**

Se define como el cociente entre la suma algebraica de los valores actualizados de todos los flujos de caja asociados a la posesión de un activo, y el desembolso inicial necesario para la realización del mismo.

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1+r)^i}}{I_0}$$

Donde:

**$I_0$** : es la inversión del momento inicial, es decir  $t=0$ .

**$n$** : es el horizonte temporal.

**$F_i$** : los flujos de caja para cada periodo  $i$ .



$r$ : el tipo de interés o descuento asociado a la inversión.

Resultarán rentables aquellos proyectos cuyo índice de rentabilidad sea mayor que 1 ya que crearán valor y por tanto entrarán en el rango de posible aceptación, mientras que si el proyecto cuenta con un índice de rentabilidad menor que 1 destruirá valor y por ello no podrá ser aceptado. En el caso de que el IR sea igual a 1 ni creará ni destruirá valor por lo que será indiferente llevar a cabo el proyecto o no. Cuanto mayor sea el índice de rentabilidad mayor será la rentabilidad que presenta un proyecto.

Por otro lado, cuando se trata de proyectos mutuamente excluyentes, el índice de rentabilidad puede dar lugar a error. Por ejemplo, si nos encontramos ante una situación en la que dos proyectos tienen un índice de rentabilidad por encima de 1, ambos resultan rentables, y podríamos pensar que el que mayor índice de rentabilidad tiene es el más rentable, sin embargo, si tenemos en cuenta el VAN puede resultar que esto no sea así. Esto reafirma la idea de que el VAN es uno de los indicadores principales más fiables a la hora de realizar un Análisis Coste-Beneficio.

#### – Ratio Beneficio/Coste

El VAN es un indicador con unidades monetarias, mientras que éste último, la ratio beneficio/coste, es un indicador adimensional que proporciona una medida relativa de la eficiencia socioeconómica, es decir, indica la cantidad de dinero que se gana por cada unidad monetaria invertida.

Este indicador pretende determinar si el proyecto es beneficioso o no mediante la enumeración y posterior valoración en términos monetarios de todos los costes y beneficios de dicho proyecto.

El Ratio Coste/Beneficio es el resultado obtenido tras la división del valor actualizado de los costes entre el valor actualizado de los beneficios del proyecto. Los beneficios actualizados son todos los ingresos actualizados obtenidos, siendo los costes actualizados los egresados actualizados.

$$\frac{C}{B} = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+d)^i}}{\sum_{i=0}^n \frac{B_i}{(1+d)^i}}$$

Donde:

$B_i$ : es el valor de los beneficios actualizados (ingresos).

$C_i$ : es el valor de los costes actualizados (egresos).



Si la relación Coste/Beneficio es menor que 1 se considera que la rentabilidad de la inversión es aceptable, mientras que, si esta es mayor que 1 el proyecto no es rentable, ya que la inversión a realizar no podrá recuperarse en el periodo de tiempo evaluado. En el caso de que el Ratio Coste/Beneficio sea igual a 1, esto significa que la inversión inicial se recuperó satisfactoriamente después de haber sido evaluada a una tasa determinada y, por tanto, el proyecto es viable.

*Tabla 3. Valoración de proyectos según Ratio Coste/Beneficio (Fuente: Elaboración propia)*

VALOR	RESULTADO	DECISIÓN
<b>Ratio C/B &lt; 1</b>	El proyecto no resulta rentable	El proyecto ha de ser rechazado
<b>Ratio C/B &gt; 1</b>	El proyecto resulta rentable	El proyecto puede ser aceptado
<b>Ratio C/B = 1</b>	El proyecto puede resultar rentable	El proyecto puede ser aceptado

– **Payback**

El PayBack es un método estático para la evaluación de inversiones ya que no tiene en cuenta la cronología de los flujos de caja. Se trata de un criterio para evaluar inversiones que se define como el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión.

A través de este método sabemos cuál es el tiempo estimado de recuperación de una inversión, algo importante en la toma de decisiones.

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

Donde:

**a**: es el número del periodo inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso.

**I<sub>0</sub>**: es la inversión inicial.

**b**: suma de los flujos de caja hasta el final del periodo a.

**F<sub>t</sub>**: es el valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión.

Aunque su cálculo sea sencillo, este indicador tiene algunos inconvenientes como, por ejemplo, que no tiene en cuenta cualquier beneficio o pérdida que pueda surgir posterior al periodo de recuperación y no tiene en cuenta la inflación.

### 3.5.6 Análisis de sensibilidad

El desarrollo de las etapas previas permite obtener un resultado sobre la idoneidad o no de llevar a cabo el proyecto en función del valor que resulta de calcular el indicador, habitualmente el VAN. Este análisis de sensibilidad se lleva a cabo para solucionar el problema de la incertidumbre en cuanto a los impactos predichos durante la vida útil del proyecto. Haciendo un buen uso de la metodología nos permite profundizar en el estudio identificando aquellas variables que se consideran “críticas” que afectan al análisis.

Dentro de los parámetros que intervienen en el ACB podemos destacar como más susceptibles a la incertidumbre la tasa de descuento y el horizonte temporal. La tasa de descuento debido a que afecta directamente a la actualización monetaria que se hace de los impactos del proyecto, y el horizonte temporal ya que en el análisis coste-beneficio el estudio se realiza a muy largo plazo, lo que provoca un aumento en la incertidumbre acerca del comportamiento de los distintos escenarios planteados en las alternativas a estudiar.

Las variables que se consideran críticas se definen como aquellas cuyas variaciones tienen un impacto relevante en el desarrollo económico del proyecto.

El análisis de sensibilidad se lleva a cabo variando de una en una las variables que intervienen en el proyecto y determinando que variación producen a su vez en el en el indicador de rentabilidad (VAN).

Según el criterio seguido existen distintos valores para determinar si una variable es crítica o no, pero según la Guía para el Análisis Coste-Beneficio publicada por la Comisión Europea se consideran críticas aquellas variables para las que una variación del  $\pm 1\%$  adoptado en el caso base da lugar a una variación de más del 1% en el indicador de rentabilidad.

Por otro lado, se recomienda que las variables sean lo más independientes posibles ya que la relación entre ellas daría lugar a resultados distorsionados y a contabilizarlas el doble.

Para llevar a cabo el análisis de sensibilidad adecuado es necesario realizar los siguientes pasos:

#### **Identificación de variables**

Consiste en determinar todas las variables utilizadas para calcular el indicador de rentabilidad, agrupándolas en categorías como, por ejemplo: Precios, Costes de Inversión, Costes de operación...

#### **Eliminación de variables dependientes**

Debido a que las variables dependientes entre sí pueden distorsionar el resultado del análisis de sensibilidad, se procederá a eliminar las variables dependientes de manera que el análisis se realice de la manera más desagregada posible.

### **Análisis de elasticidad**

Se recomienda realizar un análisis cuantitativo de las variables de manera que se pueda limitar el estudio a aquellas variables que resulten más significativas. Para ello se determinarán los valores máximos y mínimos del análisis, así como las diferencias observadas en el indicador de rentabilidad.

### **Determinación de variables características**

Una vez realizados los pasos previos se obtendrán una serie de variables que serán las consideradas críticas para el Análisis Coste-Beneficio.

Finalmente, el análisis de sensibilidad debe completarse con un análisis de escenarios, que estudia el impacto de las combinaciones de valores que toman las variables críticas. A diferencia del análisis general en el que se estudia cada variable por separado, se analiza el impacto de las variables críticas como conjunto. En particular, se recurre a escenarios optimistas y pesimistas. Para definir estos escenarios, se elige para cada una de las variables críticas sus valores extremos en función de la distribución más probable. Una vez calculado esto, se procede a calcular el resultado del indicador de rentabilidad para cada combinación.

### **3.5.7 Análisis de escenarios**

El análisis de escenarios en la valoración de inversiones se basa en considerar que una o más de las variables que intervienen en el cálculo de los flujos netos de caja no son variables ciertas e inamovibles, sino que pueden tomar varios valores, lo que da lugar a la consideración de varios escenarios.

Por tanto, esta técnica permite introducir el riesgo en la valoración de los proyectos de inversión. Esto se debe a que los flujos netos de caja que se generan para el análisis de un proyecto de inversión o incluso la duración de dichas variables en el tiempo, no son verdades absolutas si no que se trata de estimaciones y por tanto el análisis de alternativas en condiciones de certeza no es suficiente y resulta necesario introducir el riesgo.

La definición de los escenarios posibles se hace en base a las distintas concreciones que puedan tomar una serie de variables a lo largo del horizonte temporal del proyecto, mientras el resto se mantienen constantes.

Se pueden definir tantas variables como se desee, al igual que escenarios. Solo es necesario hacer variaciones en las hipótesis de las variables que intervienen en el valor de los flujos de caja. Lo habitual es llevar a cabo el análisis de escenarios llevando a cabo el escenario más probable o “caso base” y dos escenarios adicionales “escenario optimista” y “escenario pesimista”.

**Escenario más probable o caso base:** Es aquel que se espera que tenga lugar con mayor probabilidad. La hipótesis para la estimación de las variables intervinientes en la determinación de los flujos de caja se hace tratando de ajustar los valores lo máximo posible a lo que pueda acontecer a lo largo del horizonte temporal.

**Escenario optimista:** Se considera que alguna o todas las variables que intervienen en la determinación del caso base puedan concretarse a lo largo del horizonte temporal de manera que tomen un valor más favorable y por lo tanto se incremente la rentabilidad del proyecto.

**Escenario pesimista:** de forma análoga al escenario anterior, en este caso las variables que nos sirven de referencia a la hora de confeccionar el caso base se estiman de manera que toman valores más desfavorables a lo largo del horizonte temporal y reducen la rentabilidad del proyecto.

### 3.5.8 Análisis de riesgo

El análisis de riesgo consiste en el estudio de la probabilidad que tiene un proyecto de llevarse a cabo de una forma satisfactoria desde el punto de vista de su rentabilidad.

La probabilidad deberá ser entendida como un índice, tomando distintos valores según el grado de certeza de que se dispone. Dicho índice tomará el valor unidad cuando se tiene la certeza absoluta sobre la rentabilidad del proyecto, y que toma el valor cero cuando la certeza de que la predicción no está confirmada, y valores intermedios para el resto de las situaciones posibles.

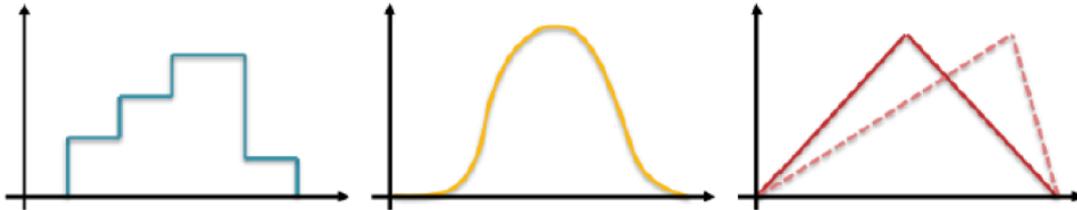
Tras la realización del análisis de sensibilidad se procede a llevar a cabo el análisis de riesgo, para lo cual pueden distinguirse las siguientes etapas, que se describirán más adelante:



*Figura 8. Etapas de un análisis de riesgo (Fuente: Torres Ortega)*

### Distribución probabilística de las variables críticas

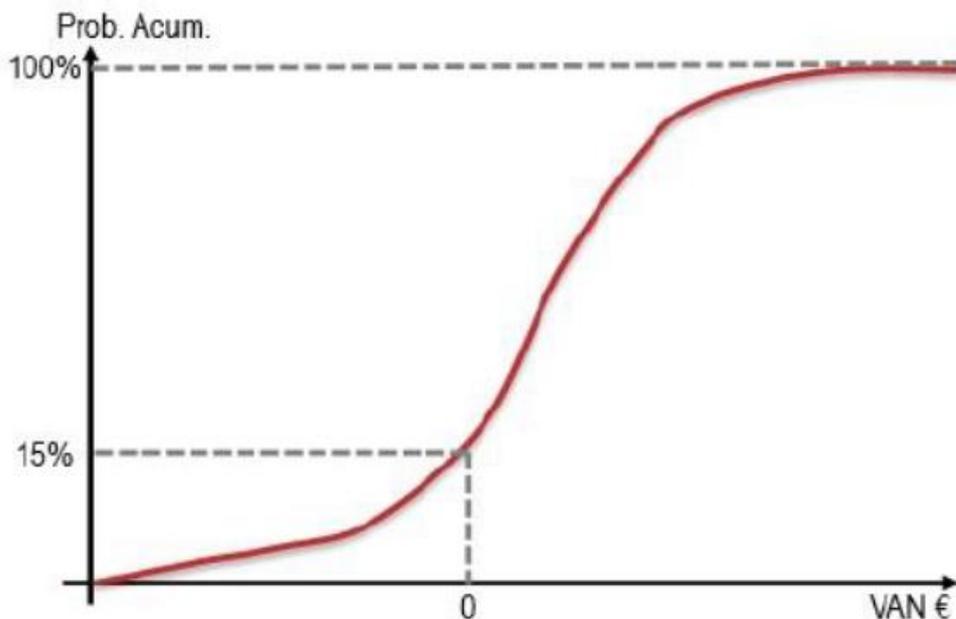
A cada una de las variables críticas se le asigna una distribución de probabilidad, existiendo diversas fuentes de las cuales se puede obtener dicha distribución de probabilidad. La distribución de probabilidad más habitual es la distribución normal, pero también son frecuentes las distribuciones escalonada y triangular.



*Figura 9. Distribuciones de probabilidad.*

### Análisis de riesgo

Una vez que se ha decidido la distribución probabilística a utilizar, se calculará la distribución de probabilidad del indicador de rentabilidad del proyecto, para lo cual se utilizará el Método de Montecarlo (en cual se describirá con mayor detalle en el Anexo 1: del presente trabajo).



*Figura 10. Distribución de probabilidad del VAN*

La función de distribución permite conocer la probabilidad de que el indicador de rentabilidad adopte un valor igual o inferior a uno determinado. Esto tiene especial importancia a la hora de considerar la probabilidad asociada al VAN cuando éste adopta un valor igual o inferior a cero, es decir, cuando determina el umbral de rentabilidad del proyecto.

### **Evaluación de los niveles de riesgo aceptables**

Esta etapa permite vincular el indicador de rentabilidad con la probabilidad de ocurrencia asociada, de manera que no solo se podrá tomar decisiones en función del valor del indicador, sino que también se podrán tomar decisiones en función de su probabilidad y de su valor esperado más probable.

$$\text{Valor esperado} = \sum \text{valor} * \text{probabilidad}$$

### **Mitigación del riesgo**

Esta última etapa consiste en llevar a cabo acciones que buscan reducir la incertidumbre en el resultado final, ya que uno de los fallos que se suelen cometer durante la realización de Análisis Coste – Beneficio es la de presentar valores demasiado optimistas. Este apartado tiene como objetivo reducir los niveles de optimismo considerados durante el estudio con el fin de tratar de mitigar el posible riesgo.

## 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: ALTERNATIVAS

En el presente apartado se va a hacer una descripción de las distintas alternativas a considerar para tratar de resolver el problema de seguridad e interoperabilidad de la zona. La aplicación de cada una de dichas alternativas conllevaría una serie de consecuencias, que han de ser valoradas y evaluadas durante la realización del ACB.

De esta manera se lleva a cabo una previsión o estimación de los impactos generados por la inversión, hasta reducir cada alternativa a un único indicador, en nuestro caso el VAN, lo que nos permite comparar las distintas alternativas. Esto supone una importante ayuda a la toma de decisión y, por otro lado, se trata de un estudio que refuerza la validez de la decisión tomada en caso de que ésta coincida con los resultados arrojados por el análisis.

### 4.1. ALTERNATIVA 0: DO NOTHING

La alternativa 0 es aquella que se corresponde con la situación actual de la zona, no implica ningún tipo de actuación y recoge como evolucionaria la situación en el caso de no tomar ninguna medida para solucionar las necesidades existentes.

La zona de estudio se encuentra en la provincia de Lugo en Galicia, concretamente en el tramo ferroviario objeto de este proyecto se encuentra entre Monforte de Lemos y Lugo, y pertenece a la línea León- La Coruña (línea 800). El trazado en el subtramo Rubián – Sarria asciende hacia el Alto de Oural con rampas del orden de 20‰ acompañadas de radios en planta casi todos ellos inferiores a 500 m, y gran parte de estos no superando los 350 m. Consta de una vía única que tiene una longitud de 21 km y no se encuentra electrificada.

El túnel actual presenta una longitud de 1903 m formado por un revestimiento de sillería, sección en herradura con arco de medio punto y hastiales inclinados. La distancia entre hastiales oscila entre los 4,75 m en el emboquille de entrada y los 4,64 m del emboquille de salida, y un gálibo vertical de 4,97 m y 5,07 m respectivamente.

El túnel existente tiene fecha de construcción 1882, es debido a su antigüedad que requiere de actuaciones para mitigar riesgos de seguridad. Muchas de las trincheras y terraplenes del trazado cuentan con una limitación de velocidad para evitar el riesgo que supone en estado de sus elementos, lo que condiciona severamente el

estado de circulación. De la misma manera los agentes atmosféricos juegan un gran papel en la incidencia de obras de tanta antigüedad.

En la figura se muestra el recorrido que lleva a cabo el tramo de la línea existente entre Monforte de Lemos y Lugo, así como la zona de estudio que nos ocupa que actualmente se encuentra sin electrificar.



Figura 11. Trazado de la línea de estudio.

Por otro lado, como se ha explicado en el apartado anterior y se muestra en el plano adjunto a este apartado, la sección actual no cuenta con el espacio suficiente para albergar la catenaria ni las aceras de seguridad, y es por ello por lo que si no se realiza ningún tipo de actuación el tren quedara sin electrificar, lo que no cumple con las Especificaciones de Interoperabilidad redactadas por la Unión Europea.

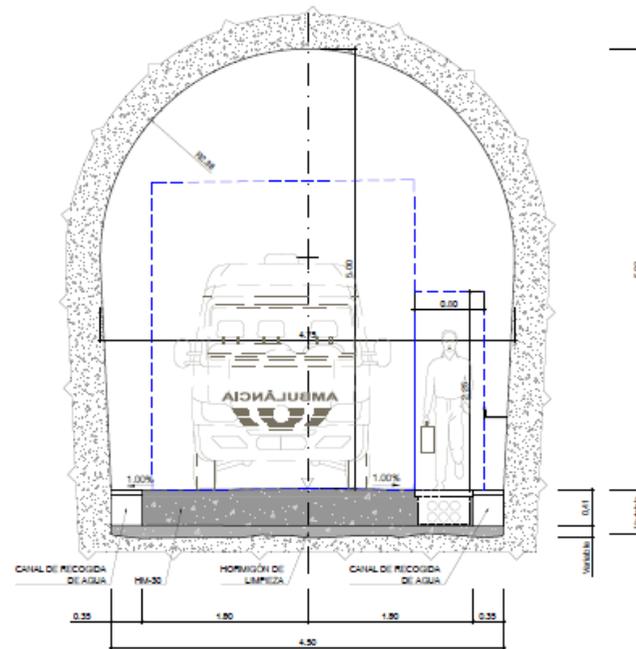
Debido a las condiciones actuales de trazado y la tipología de los elementos es inevitable la actuación en dicho tramo por lo que el Análisis Coste-Beneficio se estudiará en base al beneficio que suponen el resto de las alternativas frente a la Alternativa 0 de no actuación.



En esta alternativa se considerarán por tanto los costes de construcción, mantenimiento, operación, costes generados por la contaminación, la no reducción del tiempo de viaje que genera la no actuación en el tramo.

Aunque por otro lado como se ha descrito en la motivación de dicho proyecto y dado que se están realizando actuaciones paralelas en distintos tramos de la línea con el fin de electrificar la vía, no sería lógico analizar esta alternativa por separado ya que no cabe la posibilidad de que pueda ser el caso propuesto al no cumplir con las especificaciones mínimas de seguridad que establece la ETI.

SECCIÓN TIPO  
TÚNEL EXISTENTE 21 m<sup>2</sup>



## 4.2. ALTERNATIVA 1: CONSTRUCCION DE UN NUEVO TUNEL

La presente alternativa, como las sucesivas surgen de la necesidad de implantar un gálbo uniforme para poder electrificar la línea y cumplir con la seguridad a la hora de albergar la catenaria dentro del túnel.

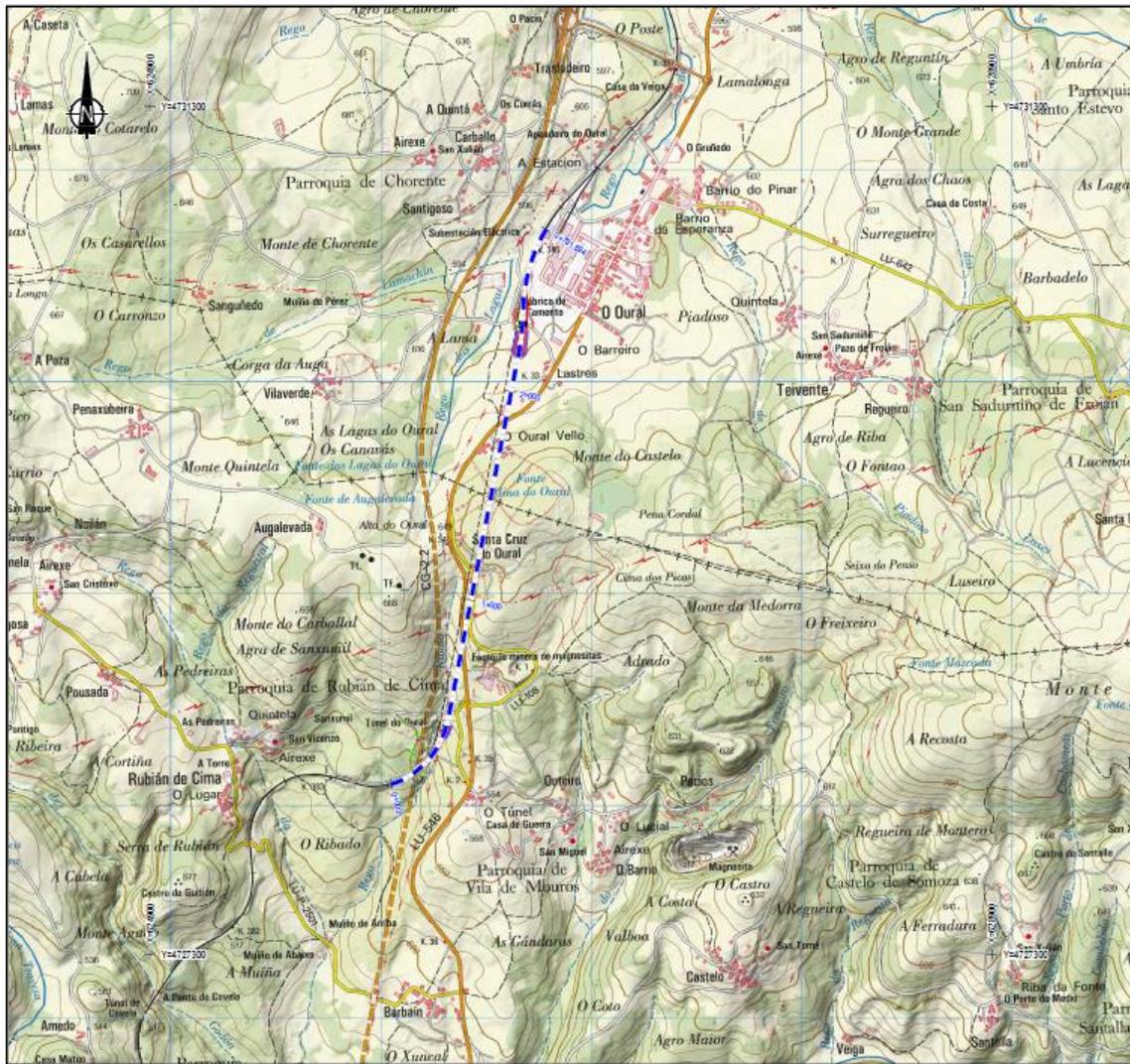
Para esta alternativa existe un precedente impulsado por Adif, “PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE OURAL SITUADO EN EL TRAMO MONFORTE – LUGO DE LA LÍNEA 800: A CORUÑA-LEÓN”

Para esta alternativa, el trazado se separa del existente paulatinamente hasta el emboquille del nuevo túnel, que queda separado del existente por una distancia de 25m. El trazado continúa paralelo al túnel existente durante 1804 m donde se ubica el emboquille de salida del nuevo túnel. La longitud total del eje de proyecto teniendo en cuenta los enlaces es de 2792,89 metros.

Por otro lado, el túnel actual sufrirá actuaciones de refuerzo que servirán para que su uso futuro sirva como galería de evacuación del nuevo túnel de Oural.

En dicho proyecto la alternativa que se propone referente al trazado y a la sección del túnel son los que se adjuntan en los planos que se encuentran al final de este apartado.

Asimismo, los aspectos relativos a esta alternativa se encuentran recogidos con mayor detalle en el epígrafe 5 de este documento, donde se analiza la estimación de costes que intervienen en los cálculos.



MAPA DE SITUACIÓN  
1:10.000



SITUACIÓN GEOGRÁFICA  
SIN ESCALA



MAPA DE ACTUACIÓN  
1:150.000



TÍTULO  
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DE OURAL SITUADO EN EL TRAMO  
MONFORTE-LUGO DE LA LÍNEA 800: A CORUÑA-LEÓN



AUTOR DEL PROYECTO  
INECO  
ANIL BLANCO PARRAS

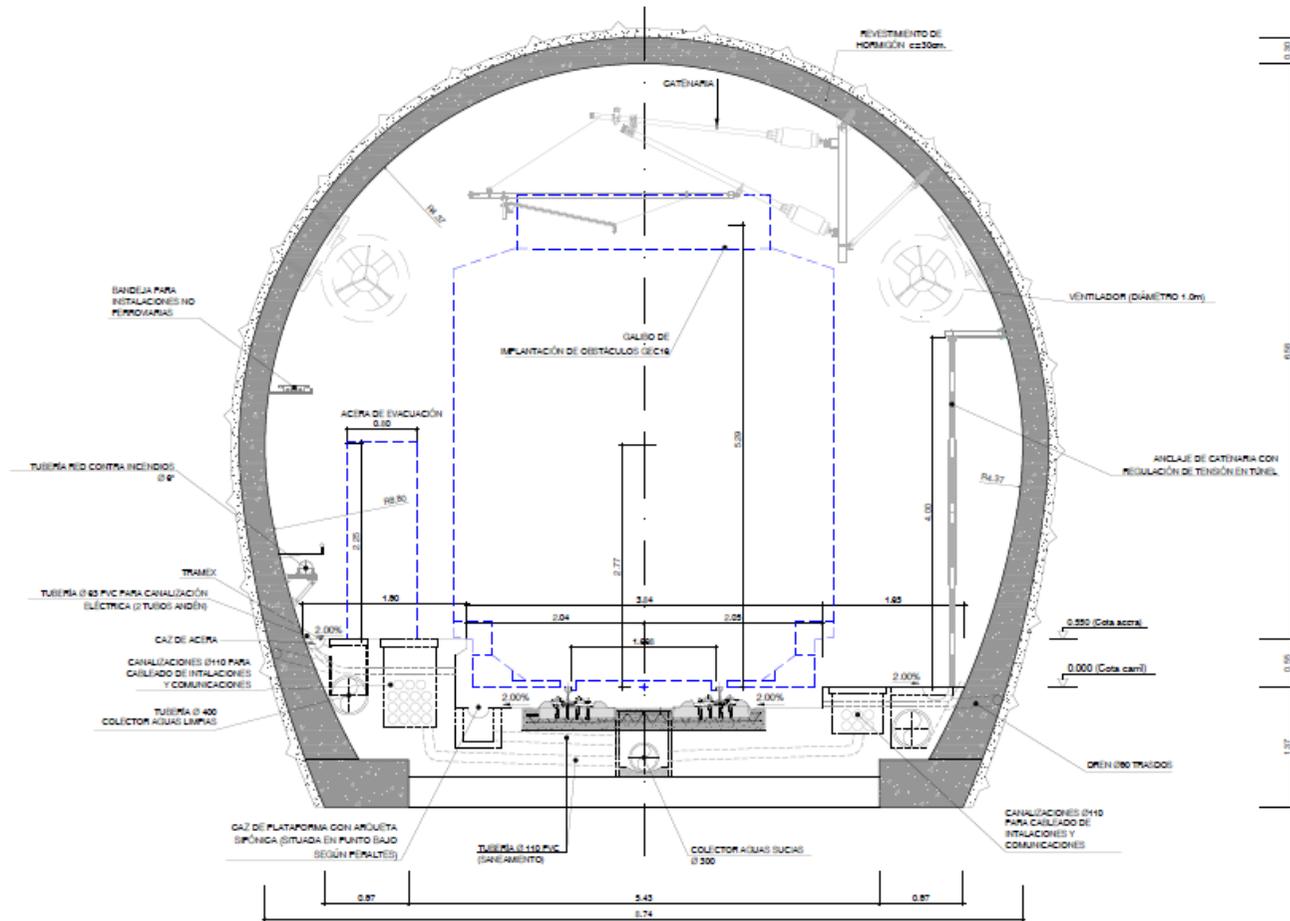
ESCALA  
1:150.000  
1:10.000  
Númérica  
Original LINEA-3  
0 200 400 600m

FECHA  
ABRIL  
2019

TÍTULO DEL PLANO  
PLANO DE SITUACIÓN  
TÚNEL DE OURAL

Nº DE PLANO  
2  
Hoja 2 de 1

SECCIÓN TIPO 52m<sup>2</sup>  
EXCAVACIÓN POR MÉTODOS CONVENCIONALES CON SOLERA PLANA



2. PROYECTO MEMORIA PARA LA LÍNEA DE DOCUMENTACIÓN, PLANOS Y LIBRO DEL TUNEL EN EL MEDIO SUBTERRANEO

	<p>TÍTULO PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE OURAL SITUADO EN EL TRAMO MONFORTE-LUGO DE LA LINEA 800: A CORUÑA-LEÓN</p>	<p>AUTOR DEL PROYECTO  ANSEL BLANCO PARRIS</p>	<p>ESCALA 1/50 Números Original LINEAS Gráfica</p>	<p>FECHA ABRIL 2019</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO SECCIONES TIPO TUNEL EN MNA</p>	<p>Nº DE PLANO 10.1.2 Hoja 1 de 7</p>
--	--	--	--	-----------------------------	---	---

### 4.3. ALTERNATIVA 2: AMPLIACIÓN DE TUNEL EXISTENTE

Esta alternativa se basa al igual que la Alternativa 1 en dar una solución factible para resolver el problema de electrificación de la línea, así como distintas cuestiones de seguridad como las aceras.

En este sentido se plantean dos actuaciones principales. La primera se trata de una ampliación de sección del túnel de Oural existente, lo que conlleva una ampliación en la zona de hastiales y en la clave del túnel, así como rebaje de plataforma hasta alcanzar la cota necesaria para cumplir con el galibo GEC16 y poder albergar los postes de catenaria y las distintas instalaciones de servicios de manera que el tren pueda circular de manera segura cumpliendo las especificaciones técnicas.

Por otro lado, esta alternativa incluye la necesidad de ejecutar un nuevo tubo a modo de galería de evacuación dado que la normativa establece que ha de haber una salida de emergencia a la superficie, lateral o vertical, como mínimo cada 1000 metros o en su defecto galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos del túnel que permitan utilizar el tubo contiguo del túnel de zona segura como mínimo cada 500m.

El trazado de la línea continuaría siendo el existente incluyendo algunas modificaciones relativas al rebaje y protección de taludes.

Los aspectos relativos a esta alternativa se encuentran recogidos con mayor detalle en el epígrafe 5 de este documento, donde se analiza la estimación de costes que intervienen en los cálculos.

#### 4.4. ALTERNATIVA 3: DERRIBO DEL TÚNEL EXISTENTE

Al igual que las anteriores la presente propuesta tiene como finalidad conseguir la electrificación del túnel.

Se estudia la posibilidad de derribar el túnel existente de manera que la solución pase por dejar la vía a cielo abierto.

Para conseguir esto las actuaciones principales son las siguientes: Utilización de explosivos para volar la estructura del túnel así como el desmonte de toda la montera que se encuentra en la superficie, Tratamiento de taludes de la futura trinchera de manera compatible con la seguridad, pendientes lo más tendidas posibles, sostenimiento... Habrá de incluirse en este caso una partida de expropiaciones que comprenderá la superficie de los terrenos a volar así como un margen de seguridad a cada lado de la trinchera .

Por otro lado dado que el tramo del túnel tiene más de 2 kilómetros, se plantea la necesidad de incluir dos pasos de fauna para garantizar que el impacto ambiental sea el mínimo posible.

El trazado de la línea en este caso al igual que la alternativa anterior continuara siendo el mismo que el del caso base ya que la vía discurre por el mismo lugar.

Los aspectos relativos a esta alternativa se encuentran recogidos con mayor detalle en el epígrafe 5 de este documento, donde se analiza la estimación de costes que intervienen en los cálculos.

## 5. APLICACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se pretende exponer los distintos pasos llevados a cabo en el análisis coste – beneficio aplicado al caso de estudio y las distintas alternativas que se plantean en el presente trabajo.

Para ello, se expondrán de la manera más clara posible todos aquellos aspectos a considerar de cara a la realización del análisis, tales como la definición de los parámetros básicos y la estimación de costes e ingresos derivados de la actuación.

### 5.1. Identificación del proyecto

La identificación del proyecto es el primer paso que llevar a cabo en la realización de un análisis coste – beneficio. Tiene como objetivo la descripción del mismo, así como la asignación de recursos necesarios para la ejecución: económicos, materiales, mano de obra y maquinaria.

Para la realización del presente trabajo se ha tomado como base el proyecto de construcción del nuevo túnel de Oural. Dicho proyecto nos aporta detalles clave a la hora de realizar el estudio, así como presupuesto de construcción y unidades intervinientes en el proyecto constructivo.

Por otro lado, el resto de las alternativas no disponen de un proyecto constructivo, aunque para la alternativa 2 se toma como proyecto de apoyo el Proyecto de tratamiento de elementos de infraestructura que se está realizando también en la misma línea ferroviaria con objetivo de actualizar el trazado y la seguridad a la normativa actual. La estimación de costes, impactos ambientales y sociales se ha llevado a cabo basándose en estos dos proyectos ya que forman parte de la misma línea ferroviaria.

### 5.2 Definición de los parámetros básicos

Uno de los aspectos más importantes a la hora de realizar el Análisis Coste – Beneficio es la determinación de los principales parámetros del mismo y la forma en que el valor de éstos afecta al resultado final del análisis.

Los parámetros básicos a fijar son:

## Año de referencia

El análisis coste-beneficio del caso de estudio se está realizando In Media Res por lo que se toma como año de referencia el 2022. Se elige el año actual como año de referencia ya que el proyecto se encuentra en estado de ejecución en la actualidad. Además de esta manera se puede estimar de manera más exacta la repercusión que tendrán las actuaciones en base a las condiciones actuales.

## Horizonte temporal

En cuanto al horizonte temporal del análisis del Análisis Coste – Beneficio, éste es el plazo de años que se han de tener en cuenta para el análisis de los costes e ingresos producidos por el proyecto a evaluar. En este sentido, para llevar a cabo el presente proyecto se ha tenido en cuenta la recomendación recogida en la Guía para el Análisis Coste – Beneficio de Proyectos de Inversión de 2014, de la cual se ha extraído la siguiente tabla:

Sector	Reference period (years)
Railways	30
Roads	25-30
Ports and airports	25
Urban transport	25-30
Water supply/sanitation	30
Waste management	25-30
Energy	15-25
Broadband	15-20
Research and Innovation	15-25
Business infrastructure	10-15
Other sectors	10-15

*Figura 12. Horizonte temporal por sectores (Fuente: Guía para el Análisis Coste-Beneficio de Proyectos de Inversión)*

Al tratarse nuestro proyecto de un túnel ferroviario, adoptaremos un horizonte temporal de 30 años, pudiéndose ampliar en el caso de que el proyecto de construcción tenga un plazo alto de ejecución, pero este no es nuestro caso.

Como el año de referencia es el 2022, el análisis de nuestro proyecto finalizará en el año 2052.

En lo que respecta a la tasa de descuento, la necesidad de su utilización surge al tener que analizar inversiones cuyos beneficios y parte de los costes se presentan a lo largo de distintos años durante la vida útil del proyecto. Se ha decidido tomar el valor del 4% para la tasa de descuento social. Esto se debe a que la Comisión Europea recomienda una tasa de descuento social del 5% para proyectos a realizar en los países del Fondo de Cohesión, y del 3% para el resto de los países miembros de la Unión Europea. En el periodo 2014 – 2022 España no se encuentra dentro de los

países del Fondo de Cohesión, no obstante, se ha optado por tomar un valor intermedio.

En cuanto a la tasa de descuento, se plantea una cuestión importante, que es si se debe aplicar la tasa de descuento seleccionada tanto para los años futuros como para los años que ya han pasado. En este sentido, debería utilizarse un valor de tasa diferente para los dos casos comentados. Sin embargo, este estudio lo realizaremos neto de inflación suponiendo precios constantes durante toda la vida útil dado que la estimación de costes ya es una tarea compleja y la estimación de la inflación en el futuro complicaría mucho los cálculos pudiendo inducir a error y no representando la realidad.

### 5.3 Definición estudio y valorización monetaria de los impactos

En el presente apartado se lleva a cabo la identificación y estudio de los impactos que derivan de la realización del proyecto. Esta fase comprende una serie de tareas, en primer lugar, la identificación de los posibles impactos que afecten a la población, economía y medio natural del área de estudio, tanto durante la fase de construcción como durante toda la vida útil de la infraestructura, con lo que se prolonga en el largo plazo.

Los impactos que afectan a la estructura podrán tener carácter positivo o negativo, y distintos grados de importancia o afección. Para llevar a cabo el análisis no pueden tenerse en cuenta todos los impactos que podrían producirse, ya que ello conllevaría una complejidad excesiva del estudio. Por ello, una vez identificado el conjunto de los impactos, es necesario realizar un estudio de los mismos para determinar cuáles de ellos tienen mayor importancia y, por tanto, deben incluirse en el Análisis Coste – Beneficio.

Por último, dado que existen impactos monetarios y otros no monetarios, será necesario realizar una valoración monetaria de los impactos no monetarios, con el fin de contar con todos los impactos expresados en una misma unidad. De esta manera será posible su comparación, así como la utilización de los mismos para la realización del Análisis Coste – Beneficio.

Los impactos a considerar pueden agruparse en las siguientes categorías en función de su naturaleza:

Aspectos económicos: son aquellos que afectan de manera directa a la economía de la zona donde se localiza la actuación. Dentro de ellos se encuentran:

- **Costes de construcción.**
- **Costes de operación**

- **Costes de mantenimiento.**

Aspectos sociales:

- **Ahorro de tiempo de desplazamiento.**

Aspectos medioambientales: se trata de aquellos impactos que afectan al medio natural en la zona de estudio. Dependiendo de la actuación a considerar, los impactos que se producirían podrán ser positivos o negativos, con lo que será necesario tener en cuenta el signo, así como la magnitud del impacto. En esta categoría se incluye:

- **Afección ocasionada durante la construcción.**
- **Afección por contaminación atmosférica.**

### 5.3.1 Aspectos económicos

En este apartado se incluyen todos aquellos aspectos a considerar que tienen un impacto meramente económico. Se llevará a cabo una valoración directa en términos monetarios sin tener que recurrir a una monetización de los mismos.

Por otro lado, hemos de tener en cuenta que principalmente los impactos que intervienen en este aspecto y que por tanto se contabilizarán de cara a los resultados del Análisis Coste-Beneficio serán costes, ya que no se prevé ningún ingreso derivado de la ejecución de la infraestructura.

A continuación, se va a realizar una exposición de los distintos costes que intervienen, y además se realizará una estimación del valor que se considera que pueden alcanzar para cada una de las alternativas.

#### **Costes de construcción**

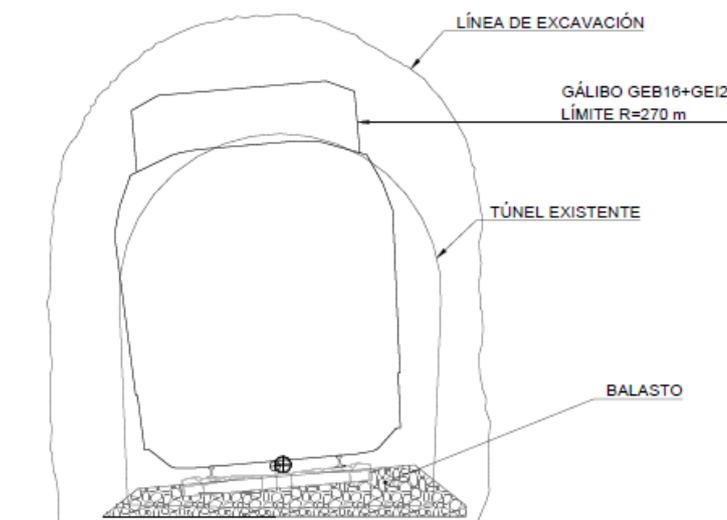
En este apartado se incluyen, dentro de los aspectos económicos, aquellos que se refieren a la construcción de la alternativa a considerar. Dependiendo de la envergadura de la actuación, el gasto que habrá de llevarse a cabo podrá variar considerablemente. Dentro de los costes de construcción se engloban los gastos relacionados con la compra de materiales, el alquiler de maquinaria y la contratación de personal necesaria para la realización de la obra.

Los costes de construcción de las distintas alternativas consideradas pueden estar estimados para la unidad monetaria del año de referencia del análisis, es decir, el año 2022.

Para la alternativa 0, encontramos que el coste es cero ya que la alternativa se basa en la no actuación.

En la alternativa 1 se toma como costes de construcción el presupuesto del proyecto constructivo del Túnel de Oural, dado que se trata de la construcción de un nuevo túnel paralelo al existente como se ha explicado en el apartado del caso de estudio.

En el caso de la alternativa 2, se toma como precios de referencia para calcular el coste del rebaje y la ampliación de sección los que se incluyen en el Proyecto de Tratamientos de Infraestructura que pertenece a otro tramo de la misma línea que el caso de estudio y además cuenta con dos túneles con características similares a las del túnel de Oural existente, en los que se han ejecutado actuaciones de rebaje y ampliación de sección. Se calcula solapando las secciones en AutoCAD de manera que podamos obtener un volumen que será el necesario excavar para cumplir con las especificaciones de interoperabilidad requeridas por la UE que se incluyen en el Anexo 1.



*Figura 13. Plano de ampliación de sección. (Fuente: Elaboración propia)*

Esta solución implica además de la ampliación de la sección del túnel la ejecución de una galería de evacuación. La obligatoriedad de zona segura se aplica para todos los túneles de más de 1 km de longitud. Para el acceso del tren hasta la zona segura se puede optar por una de las siguientes soluciones:

- Salida de emergencia a la superficie lateral o vertical. Una salida de este tipo como mínimo cada 1000m.

- Galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos al túnel que permitan utilizar el túnel como zona segura. Esta solución se dispone como mínimo cada 500m.

Se opta por la primera opción siendo la galería de evacuación necesariamente paralela al túnel ya que los volúmenes de desmorte a realizar para ejecutar una galería transversal serían incluso mayores que los costes de ampliación de sección. Dicha galería tendrá una longitud de 1000m dado que ha de colocarse en mitad del túnel y se ejecutara de manera paralela al túnel existente. Para estimar los costes de ejecución de dicha galería se toma como referencia una sección tipo del “Proyecto Constructivo del Acceso Ferroviario al Puerto de A Coruña en Punta Langosteira”. En el que se incluyen 3 galerías de evacuación al exterior y para el que se ha realizado un estudio de coste de ejecución de dichas galerías en función de su sostenimiento y revestimiento.

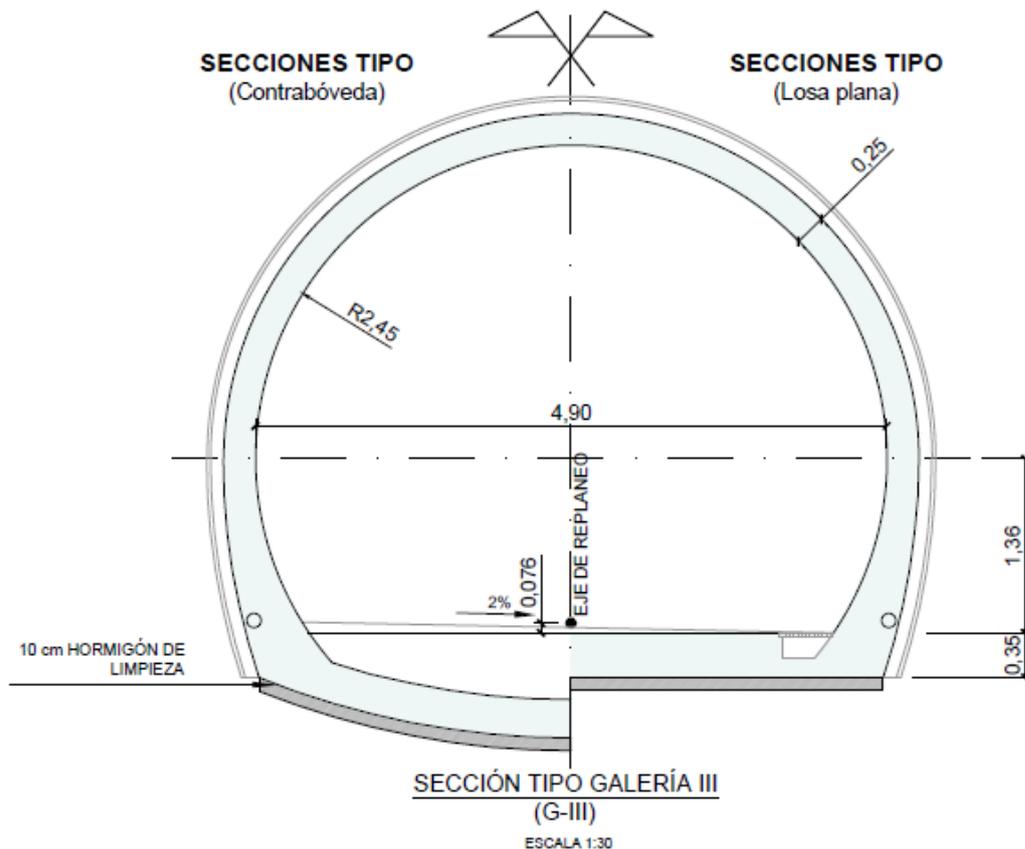


Figura 14. Sección tipo galería de evacuación. (Fuente: Proyecto Constructivo del Acceso Ferroviario al Puerto de A Coruña en Punta Langosteira)

El coste de excavación y sostenimiento asciende a 3.063.981,65, mientras que el coste del revestimiento asciende a 2.394.840,27.

Por lo que el coste total de la galería supone un total de 5.458.821,92€

Para estimar los costes de construcción de la alternativa 3 se cuenta con el presupuesto del Proyecto de Construcción del Túnel de Oural, obviando las partidas del capítulo de túneles. Para la estimación del coste de ejecución de la trinchera, se utilizan los costes de excavación con explosivo del proyecto multiplicados por el volumen total de desmante necesario para transformar el túnel en trinchera.

Para ello contamos con secciones y perfiles reales del túnel existente que, junto con su longitud, nos facilitan los metros cúbicos de montera a excavar en el desmante.

Tras los cálculos pertinentes se estima que el incremento de coste asciende a 31.110.000,00€

Con el fin de mantener el rigor y dado que se han detectado distintas partidas necesarias y que no se encuentran dentro del presupuesto del Túnel de Oural. Tendremos que añadir distintos precios tramitados en el modificado a causa de que el material de los emboquilles del túnel se encuentra contaminado por materiales pesados. Un buen tratamiento y transporte de las tierras excavadas es fundamental para el medio ambiente y la fauna y flora de la zona por lo que supone también un alto coste dentro de los costes de construcción que asciende a 6.171.000,00 €

Al tratarse la obra final de una trinchera y no de un túnel serán necesarias diversas actuaciones para garantizar el paso de fauna. Entre ellas se encuentran el tendido de taludes para garantizar el paso de grandes vertebrados por lo que es necesaria una revegetación, además de la plantación de especies que resulten atractivas a los mismos que se plantaran en el entorno de paso formando un embudo que guíe a los animales hacia él. Se garantizará la eficiencia de este paso extendiendo también una capa de tierra vegetal y se realizará hidrosiembra.

Debido a la dificultad de estimar dichos costes, ya que no existen estudios informativos sobre esta alternativa se recurre nuevamente al proyecto del Proyecto Constructivo del Acceso Ferroviario al Puerto de A Coruña en Punta Langosteira” que cuenta con estas actuaciones en su memoria constructiva e incluye las unidades en el presupuesto. Según las estimaciones pertinentes las actuaciones requeridas para garantizar los pasos de fauna ascenderán a 2.891.266,00 €.

En general, el coste de expropiación se suele valorar aparte porque es bastante considerable pero dado que parte de los terrenos y fueron expropiados por Adif hace años con la previsión de realizar actuaciones en la línea se asume que se incluyen dentro de los costes de construcción para las alternativas 1 y 2.

En el caso de la alternativa 3 habrá que tener en cuenta las expropiaciones pertinentes ya que todo el suelo que en la actualidad se encuentra en la superficie

del túnel desaparecerá para dejar la vía a cielo abierto que se ha estimado en base a otros proyectos realizados por ADIF en 190.258,00 €.

Es necesario tener en cuenta que los costes de construcción para las 3 alternativas dividirán en los tres primeros años del horizonte temporal, dado que es lo que se estima que dure la ejecución de las actuaciones.

A continuación, se muestra modo síntesis una tabla en la que se recogen los costes de construcción para cada alternativa. Dichos costes son de ejecución material por lo que no incluyen IVA:

*Tabla 4. Costes de construcción. (Fuente Elaboración propia)*

ALTERNATIVAS	COSTES DE CONSTRUCCIÓN (€)
Alternativa 0	0 €
Alternativa 1	56.201.847,52 €
Alternativa 2	90.852.809,54 €
Alternativa 3	67.557.202,16 €

### **Costes de mantenimiento**

Los gastos de mantenimiento de la infraestructura incluyen tanto las operaciones ordinarias para garantizar la continuidad del servicio, como aquellas de carácter más extraordinario que han de producirse más espaciadas en el tiempo, pero con la misma finalidad de mantenimiento del servicio de la obra ejecutada.

Según el ministerio de Fomento el coste de mantenimiento de líneas convencionales asciende a 100.000€/km cada año por lo que podemos estimar el coste de mantenimiento para las longitudes de trazado de cada una de las alternativas.

El Porcentaje que se aplica sobre el valor patrimonial a la hora de realizar el cálculo de la necesidad de inversión en conservación de las estructuras ferroviarias es como mínimo el 2%, tomando como referencia el objetivo del Ministerio de Fomento según se recoge en el Plan Estratégico de Infraestructuras (PEIT) 2005-2020.

Asumimos como valor patrimonial el coste de construcción de cada alternativa por la dificultad de cálculo del valor patrimonial y en sí y porque suponemos que en cualquier caso se trata de valores próximos por lo que los costes de mantenimiento de las alternativas 1, 2 y 3 se calculan como el 2% de este valor. En el caso de la alternativa 0 ya que no contamos con costes de construcción se estima con el dato que dicta el Ministerio de Fomento. A continuación, se muestra una tabla donde se incluyen los resultados de estos cálculos:

*Tabla 5. Costes de mantenimiento. (Fuente Elaboración propia)*

<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>COSTES DE MANTENIMIENTO (€/año)</b>
Alternativa 0	3.550.000,00 €
Alternativa 1	1.124.036,95 €
Alternativa 2	1.817.056,19 €
Alternativa 3	1.351.144,04 €

### **Costes de operación**

En los costes de operación se incluyen los necesarios para planificación y adjudicación de la capacidad, y los de gestión del tráfico. Estos costes son fundamentalmente los del personal encargado de estas tareas y, en mucha menor medida, las de los equipos que utilizan en su trabajo.

Para la estimación de estos costes se establece una relación entre los kilómetros de Red Ferroviaria de Interés General (RFIG) que gestiona Adif y los kilómetros con los que cuenta nuestra línea, así como las estaciones y los cánones ferroviarios que la empresa pública gestora establece para la utilización de dichas líneas en el caso de locomotoras para tracción eléctrica de manera que obtenemos un coste de 461.930,51 €/anuales.

Para calcular los costes de operación de una locomotora con tracción Diesel se estima un factor que relaciona €/t\*km entre tracción Diesel y tracción eléctrica dependiendo de la carga transportada y los perfiles del trazado y obtenemos un coste para la tracción Diesel de 613.767,52 €/anuales.

Por lo que nuestros costes de operación resultan de la siguiente manera:

*Tabla 6. Costes de operación. (Fuente Elaboración propia)*

<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>COSTES DE MANTENIMIENTO (€/año)</b>
Alternativa 0	613.767,52 €
Alternativa 1	461.930,51 €
Alternativa 2	461.930,51 €
Alternativa 3	461.930,51 €

### 5.3.2 Aspectos sociales

En este apartado se tienen en cuenta los impactos sociales que afectan a la zona tras la ejecución de las distintas alternativas. Se considera que aquel que puede tener una mayor repercusión en la sociedad de la zona es el ahorro de tiempo de viaje.

Al tratarse de una zona rural poco poblada y con población dispersa, rodeado de núcleos poblacionales del mismo carácter la zona cuenta en su núcleo más cercano con los servicios mínimos básicos (centro de salud, supermercado, farmacia...) no cuenta con infraestructuras de gran envergadura, así como diversos servicios primarios como hospitales, o centros de ocio como podría ser un centro comercial, cines...

Por ello para estimar el beneficio que supone el ahorro de tiempo en la población de la zona se estudia mediante el tiempo que tarda un tren en atravesar de Lugo a Madrid, por ser el núcleo poblacional más importante de España y dado que la línea que conecta Lugo- Monforte continua hasta Orense para más tarde llegar a la capital.

Antes de las mejoras en la línea el tiempo estimado de viaje Lugo-Madrid es de 6 horas y lo que se estima que tarde tras las mejoras en la línea es de aproximadamente 4 horas 25 minutos. Lo que supone un ahorro de 1 hora y 45 minutos.

Para transformar esto en unidades monetarias utilizaremos el ahorro de salario en base al salario medio español que asciende a 2.236€. Lo que en la situación actual supone un coste de 612.105,00€ reduciendo el tiempo de viaje supone un coste de 450.917,35€. Es decir, ahorramos un 161.187,65 €.

### 5.3.3 Aspectos medioambientales

A lo largo de los últimos años, el concepto de sostenibilidad ha adquirido mayor relevancia en la sociedad por lo que el factor medioambiental es algo a tener en cuenta para tratar de lograr los objetivos de desarrollo sostenible. En línea con la concienciación medioambiental, surgen una serie de costes y beneficios medioambientales que habrá de ser cuantificados y valorados de cara a la correcta realización del Análisis Coste- Beneficio.

Dentro de los costes medioambientales cabe distinguir entre aquellos que tendrán un impacto negativo, como puede ser la afección ocasionada durante la fase de construcción y la que se produce a lo largo de la vida útil de la infraestructura y aquellos que tendrá un impacto positivo, es decir, los beneficios ambientales que se esperan de la implantación de las diferentes alternativas. Dentro de estos impactos negativos cabe además distinguir entre los impactos generados en la fase de

construcción o aquellos que se producen a lo largo de la vida útil de la infraestructura. Los primeros, dado que son puntuales supondrán cambios de mayor entidad que los segundos, que, además, aunque duren años estarán contemplados en la estela del proyecto y lo más seguro es que se incluyan medidas correctoras para paliarlos.

Además, Dentro de los impactos medioambientales a tener en cuenta es bastante significativo el derivado de la contaminación debida a las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, por ello será valorado de manera independiente y monetizado acorde con los cánones que establece la Unión Europea.

Una vez identificados los impactos ambientales que afectan a las distintas alternativas se valoraran, debido a la dificultad de monetizarlos, de manera cualitativa según los siguientes rangos:

- Impacto ambiental compatible: aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa de prácticas correctoras o protectoras.
- Impacto ambiental moderado: aquel cuya recuperación no precisa de prácticas correctoras o protectoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.
- Impacto ambiental severo: aquel en el que la recuperación de las condiciones ambientales del medio exige la adecuación de medidas correctoras o protectoras y en el que, aún con esas medidas, aquella recuperación precisa un periodo de tiempo dilatado.
- Impacto ambiental crítico: aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente en la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas correctoras o protectoras

### **Afección ocasionada durante la construcción**

Se consideran en este apartado los impactos ambientales que conllevan la construcción de una nueva infraestructura, todos ellos bastante significativos teniendo en cuenta que se encuentra el cauce del rio a pocos metros de la vía por lo que las actuaciones se encuentran dentro de la zona de dominio público hidráulico y se requerirá un permiso específico de Confederación Hidrográfica para la ejecución de los trabajos pertinentes.

Durante la ejecución del proyecto se producirán también otros impactos negativos como la contaminación atmosférica producida generalmente por la maquinaria que es necesaria para la ejecución de la obra. En cualquier caso, la empresa constructora será la responsable de tomar las medidas pertinentes para garantizar unas buenas prácticas ambientales y reducir al mínimo posible el impacto sobre el medio natural.

Se recogen a continuación una serie de impactos que podrían producirse en las zonas de trabajo y alrededores.

Alternativa 0: no existe afección sobre el medio ya que no requiere construcción.

Alternativas 1, 2 y 3.

**Edafología:** en este apartado consideramos la ocupación del suelo permanente, ya que se trata de un impacto irreversible, el movimiento de tierras y el paso de maquinaria pesada que provoca alteraciones en caminos, aumento de la compactación, destrucción de pavimentos y aumento de la erosión.

Al tratarse de suelos de carácter rural, que no tienen gran riqueza podría considerarse que los impactos son compatibles para todas las alternativas ya que las fincas de las que se trata en las diferentes alternativas serán lindantes unas con otras pero en el caso de la alternativa 3, al convertir el túnel en trinchera será necesario además un correcto tratamiento de los taludes, y al no solo ocuparse el suelo de manera permanente sino que desaparece ese suelo, para esta alternativa lo consideramos un impacto de carácter moderado.

En cualquier caso, cualquier alteración en el suelo requerirá de unas buenas prácticas como la retirada y acopio debido de la tierra vegetal y la revegetación una vez terminadas las obras.

**Hidrología:** la afección a la hidrología puede producirse de distintas maneras durante la duración de la obra.

**Hidrología superficial:** Para recoger las aguas provenientes del cambio de curso de caudales debido a las obras o la filtración de agua de los taludes en el caso de las Alternativas 1 y 3 conllevará la necesidad de establecer elementos de drenaje longitudinal y transversal capaces de derivar el agua correctamente al curso natural más cercano y así reducir en la mayor medida posible la afección causada.

**Procesos de erosión:** el cambio en los procesos de erosión o sedimentación asociado al movimiento de tierras y al tránsito de maquinaria por la zona se estima como un impacto compatible dado que la erosión y sedimentación son procesos naturales de larga duración y la ejecución de las obras no será tan larga por lo que este impacto desaparecerá tras el cese de la actividad.

**Contaminación del agua:** la posibilidad de vertidos accidentales de sustancias contaminantes como puede ser el hidráulico hace que pueda contaminarse los ríos y regatos próximos a la ejecución de las obras por otro lado los sólidos en suspensión pueden generar un aumento de la turbidez.

Contaminación de aguas subterráneas: es posible que esto ocurra debido a una mala ejecución de las actividades o al empleo de materiales potencialmente contaminantes.

Lo consideramos un impacto ambiental compatible dado que es un riesgo potencial y hay certeza de que se produzca. En cualquier caso, Para paliar estos efectos se tomarán las medidas provisionales correspondientes como zonas habilitadas para limpieza de maquinaria con su posterior tratamiento, y en el caso de que el impacto se produzca la ejecución de balsas, colocación de alpacas y sepiolita con el fin de limpiar las aguas lo máximo posible antes de que entren en contacto con el curso natural del río.

**Geología y geotecnia:** Este aspecto es algo importante a la hora de construir un túnel/destruir un túnel. La ejecución de las voladuras, así como el resto de construcción de obra nueva o rehabilitación trae consigo un riesgo generado por el aumento de la inestabilidad de los taludes y el posible movimiento del túnel.

Al ser un riesgo potencial elevado en obras que incluyen elementos subterráneos se toman las medidas necesarias para evitar el riesgo controlando los movimientos o vibraciones del túnel a lo largo de toda la ejecución de la obra midiendo convergencias, realizando auscultaciones periódicas... Así mismo en el caso de la alternativa 3 una vez realizada la voladura del túnel la trinchera habrá de ser saneada y protegida correctamente, por ejemplo, con malla de triple torsión y bulones inyectados para garantizar la estabilidad del talud y así evitar desprendimientos futuros.

**Vegetación:** es necesario analizar la vegetación que se vería afectada debido a la construcción de las distintas alternativa. En este sentido se trata principalmente de especies con bajo valor de conservación: praderías, tierras de cultivo, las cuales tienen escaso valor ecológico. No se trata de impactos significativos por lo que se considera un impacto ambiental compatible.

**Fauna:** la principal afección de la fauna que puede producirse sería el efecto barrera que supone la ejecución de la trinchera en la Alternativa 3, se ha tenido en consideración por lo que se han dispuesto dos pasos de fauna por lo que podemos considerar el impacto compatible.

**Paisaje:** el impacto paisajístico supone un cambio en las formas de relieve y la estructura, así como la alteración e intrusión visual de la nueva obra a ejecutar en el medio. Se considera un impacto de mayor calibre el relacionado con las alternativas que implican construcción/destrucción de elementos como son la Alternativa 1 debido a la construcción del Nuevo Túnel de Oural y la Alternativa 3 al cambiar el túnel existente por Trinchera. Teniendo en cuenta que se trata de introducir un elemento nuevo dentro del paisaje no podemos asumir cuál será su acogida por lo que se opta por considerar este impacto moderado. En lo que se refiere a la



alternativa 2 se considera un impacto compatible ya que solo se realizaran mejoras en la estructura ya construida.

Por otro lado, una de las medidas para contrarrestar estos efectos al realizar la mejora de la línea es que se consigue una mayor distancia entre subestaciones lo que implica un menor número de las mismas, de esta manera se reduce el impacto.

A continuación, se refleja la evaluación en función de la intensidad de los impactos medioambientales detectados en fase de construcción para las diferentes alternativas.

*Tabla 7. Grado de los impactos. (Fuente: Elaboración propia)*

	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Edafología</b>	-	Compatible	Compatible	Moderado
<b>Hidrología</b>	-	Compatible	Compatible	Compatible
<b>Geología</b>	-	Compatible	Compatible	Compatible
<b>Vegetación</b>	-	Compatible	Compatible	Compatible
<b>Fauna</b>	-	Compatible	Compatible	Compatible
<b>Paisaje</b>	-	Compatible	Compatible	Moderado

Se observa que la Alternativa 3 es la que podría producir impactos más intensos, pero ninguna de la ejecución cuatro ha de ser un problema a tener en cuenta en el análisis dado que todos los impactos resultan dentro del umbral aceptable.

Dada la dificultad que entraña la monetización de dichos impactos y dado que la repercusión de los mismos es baja dado que tienen una duración limitada en el tiempo, se considera dichos impactos de forma cualitativa únicamente de acuerdo con las indicaciones de la guía coste beneficio.

### **Contaminación**

En el sector de transporte por ferrocarril se produce un consumo de energía especialmente intensivo y sobre todo muy variable, es decir dependiendo de la carga que se transporta, el tipo de tracción utilizado, el número de trayectos que se realizan en vacío y el perfil de línea, se producen consumo y emisiones de CO2 de diferente magnitud. Por ello un aspecto relevante a tener en consideración en los impactos ambientales que puedan tener los cambios en la línea son las emisiones de CO2 a la atmosfera.

A la hora de considerar la contaminación, tendremos en cuenta las emisiones de CO2 de una locomotora con tracción Diesel, así como una locomotora con tracción

eléctrica. Para la estimación de estos valores se tomará como base el documento “Estimación del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en trenes de mercancías” realizado por la Fundación de Ferrocarriles Españoles.

En la tabla siguiente encontramos las distintas diferencias entre el consumo y las emisiones de una locomotora Diesel y una eléctrica con relación al perfil del trazado y la carga del vagón.

Tabla 8. Relación consumo tracción Diésel y tracción eléctrica. (Fuente: GARCÍA ALVAREZ, A., Y MARTIN CAÑIZARES, M., (2008)

Toneladas netas = 200 t	Eléctrico		Diésel	
	kWh/tnetas.km	CO <sub>2</sub> (g/tnetas.km)	kW/Tnetas.km	CO <sub>2</sub> (g/tnetas.km)
Petroquímico perfil suave	0,04	11,27	0,102	26,8
Petroquímico perfil montañoso	0,08	22,64	0,224	58,78
Relación Montaña/ perfil suave	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2,2</b>	<b>2,2</b>
Portaautomoviles perfil suave	0,14	35,13	0,32	84,89
Portaautomoviles perfil montañoso	0,25	63,34	0,58	152,14
Relación Montaña/ perfil suave	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>

Tomaremos como referencia los datos de perfil montañoso debido a la diferencia de cotas que existen en el trazado de la línea y la carga de porta automoviles ya que tiene un coeficiente mayor entre la locomotora diesel y la electrica llegando a ser de 2,4 puntos. De esta manera seremos mas conservadores en el analisis.

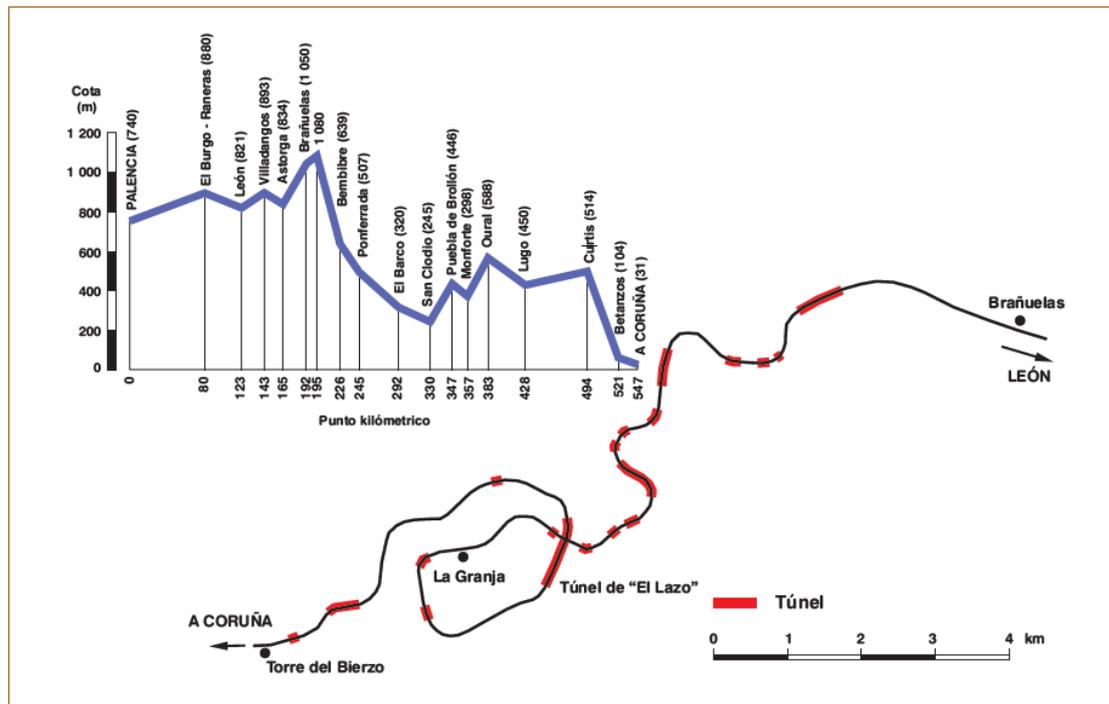


Figura 15. Trazado de la línea de estudio. (Fuente: Proyecto de construcción del Nuevo Túnel de Oural)

Por otro lado, la frecuencia diaria en el transporte de pasajeros es de 6 viajes dirección Monforte Lugo y 6 viajes dirección Lugo Monforte, es decir, 12 viajes al día, mientras que el transporte de mercancías asciende solo a 6 viajes diarios, lo que supone un total de 18 viajes. Si tenemos en cuenta la longitud de la línea que cuenta con 71 kilómetros la distancia recorrida anualmente ascenderá a 466470 kilómetros.

Para transformar estos valores a unidades monetarias basándonos en el precio que tienen los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> para las empresas por tonelada impuestos por la Unión Europea. Si bien es cierto que el precio se ha incrementado considerablemente tras la pandemia del Covid-19, pero en vista de que la tendencia de estos precios es a la alza (en el 2022 se ha alcanzado un coste de 60€/t), debido a la tendencia hacia la sostenibilidad y la reducción de las limitaciones de estos derechos de emisiones por parte de la UE año a año tomaremos como precio base 55,72€/t como se muestra en la siguiente figura:



Figura 16. Precios de Co2 a lo largo de los años (Fuente: Expansión)

Por lo que el coste del impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> anual será el siguiente:

Tabla 9. Costes de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales. (Fuente: Elaboración propia)

Locomotora	Emisiones Co2(g)/km	CO <sub>2</sub> (g)/anuales	€ CO <sub>2</sub> /t	€CO <sub>2</sub> / anual
Tracción Diésel	152,14	70968745,8	55,72	3.954.378,52 €
Tracción Eléctrica	63,34	29546209,8	55,72	1.646.314,81 €

## 5.4 Cálculo del indicador de rentabilidad

Tal y como se explica en el correspondiente apartado existen una serie de indicadores para calcular la rentabilidad que tiene un proyecto. A continuación, se describirá el procedimiento que se ha elegido para calcular el VAN, así como una síntesis de los costes y beneficios intervinientes en cada alternativa para el cálculo de este.

Para llevar a cabo este cálculo del indicador previamente es necesario estimar la inversión inicial y los flujos de caja esperados a lo largo del horizonte temporal. Al basarse el análisis en la construcción de una infraestructura no podrá ejecutarse en un año únicamente, por lo que se ha estimado que el plazo de ejecución para las tres alternativas sea de tres años, como indica el proyecto de construcción del Túnel de Oural. Por ello los costes de construcción se repartirán en los tres primeros años del horizonte temporal.

Dado que la Alternativa 0 no es una solución viable desde ninguna perspectiva ya que no cumple con los estándares de seguridad e interoperabilidad que se adjuntan en el anexo 2 y que la renovación del tramo se ha ido realizando por tramos para cumplir con dichos estándares, no tendría sentido mantener una parte de la línea sin actuación. Por ello se realizará un análisis comparativo tomando como caso base la alternativa 0 y comparando el resto de las alternativas con esta, con el fin de estudiar cual resulta la solución más rentable a la hora de realizar la actuación.

A continuación, se presentarán los distintos impactos que intervienen en este análisis a modo de tabla:

*Tabla 10. Costes-Beneficios de la Alternativa 1 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)*

<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	
Costes de construcción	<b>56.201.847,52 €</b>
Costes Mantenimiento	<b>-2.425.963,05 €</b>
Costes de operación	<b>- 151.837,01 €</b>
Emisiones	<b>- 2.308.063,71 €</b>
Ahorro de tiempo	<b>- 161.187,65 €</b>

*Tabla 11. Costes-Beneficios de la Alternativa 2 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)*

<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	
Costes de construcción	<b>90.852.809,54 €</b>
Costes Mantenimiento	<b>- 1.732.943,81 €</b>
Costes de operación	<b>- 151.837,01 €</b>
Emisiones	<b>- 2.308.063,71 €</b>
Ahorro de tiempo	<b>- 161.187,65 €</b>

*Tabla 12. Costes-Beneficios de la Alternativa 3 sobre Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia)*

<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	
Costes de construcción	<b>67.557.202,16 €</b>
Costes Mantenimiento	<b>- 2.198.855,96 €</b>
Costes de operación	<b>-151.837,01 €</b>
Emisiones	<b>- 2.308.063,71 €</b>
Ahorro de tiempo	<b>-161.187,65 €</b>

Como se puede observar en las tablas que componen los impactos los costes de mantenimiento, los costes de operación, los relacionados con las emisiones y el ahorro de tiempo resultan negativos, por lo que son un beneficio. Representan el beneficio que supone cada alternativa respecto de la Alternativa 0.

En base a estos costes y beneficios calcularemos los flujos de caja:

*Tabla 13. Flujos de caja resultantes de cada caso. (Fuente; elaboración propia)*

	<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	<b>Alternativa 2- Alternativa 0</b>	<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>
<b>FC 1</b>	- 18.733.949,17 €	- 30.284.269,85 €	- 22.519.067,39 €
<b>FC 2</b>	- 18.733.949,17 €	- 30.284.269,85 €	- 22.519.067,39 €
<b>FC 3</b>	- 18.733.949,17 €	- 30.284.269,85 €	- 22.519.067,39 €
<b>FC 4</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 5</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 6</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 7</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 8</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 9</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 10</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 11</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 12</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 13</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 14</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 15</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 16</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 17</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 18</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 19</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 20</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 21</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 22</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 23</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 24</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 25</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 26</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 27</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 28</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 29</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €
<b>FC 30</b>	5.047.051,41 €	4.354.032,17 €	4.819.944,32 €

Una vez obtenidos todos los flujos de caja se procede al cálculo de los indicadores.

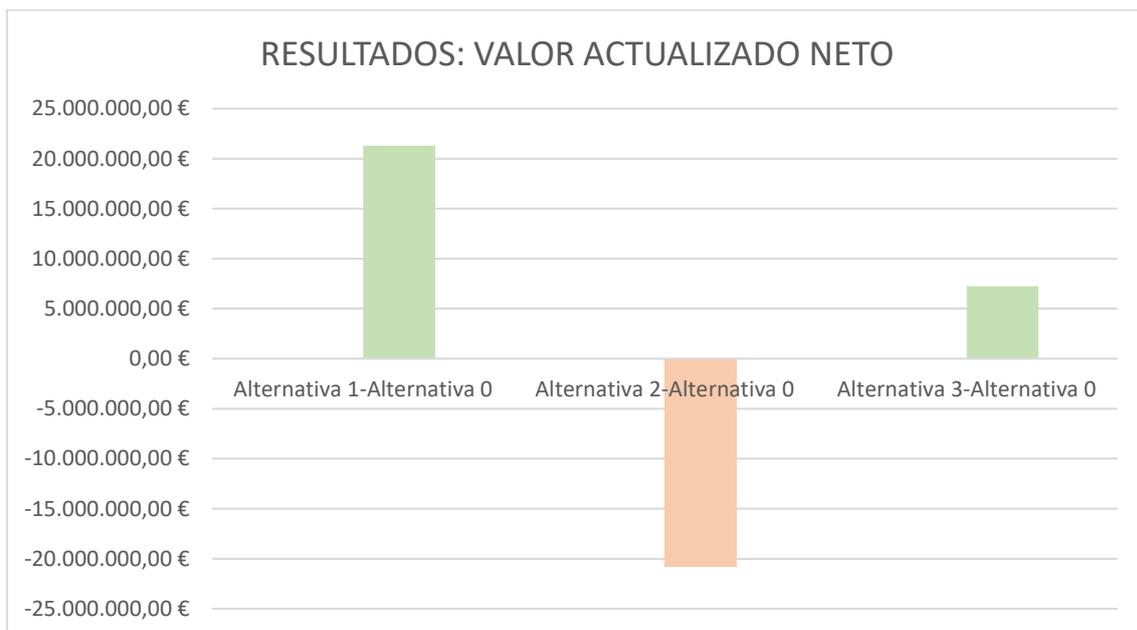
### 5.4.1 Valor Actualizado Neto: VAN

Una vez calculado el VAN obtenemos los siguientes resultados:

*Tabla 14. Resultados del VAN para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia)*

	VAN
<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	<b>21.279.339,64 €</b>
<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	<b>- 20.834.372,00 €</b>
<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	<b>7.478.391,47 €</b>

Se observa, por un lado, que dos de los casos cuentan con un VAN positivo por lo que cualquiera de esas dos alternativas sería susceptible de ser llevada a cabo frente al caso de no actuación y por otro que la alternativa más rentable es la Alternativa 1 (la construcción del Túnel de Oural). En el caso de la alternativa 2 los resultados muestran que la alternativa no supone beneficio respecto a la no actuación, lo que puede deberse a que el coste de ejecución es muy elevado.



*Figura 17. Comparación de los resultados del VAN entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)*

Según este indicador el orden de rentabilidad de las alternativas frente al caso de no actuación es el siguiente:

- Alternativa 1: Construcción del Nuevo Túnel de Oural
- Alternativa 3: Derribo del túnel existente y transformación en trinchera
- Alternativa 2: Ampliación de sección y rebaje de plataforma del túnel existente.

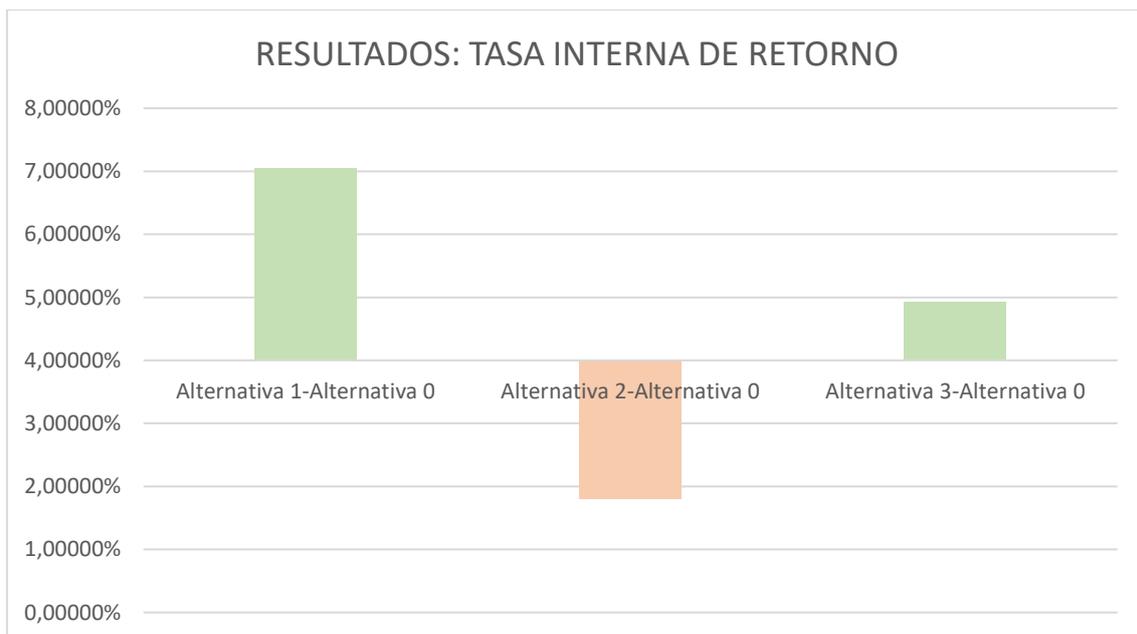
#### 5.4.2. Tasa Interna de Retorno: TIR

Una vez calculada la TIR obtenemos los siguientes resultados:

*Tabla 15. Resultados de la TIR para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia)*

	TIR
<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	<b>7,04293%</b>
<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	<b>1,79729%</b>
<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	<b>4,94969%</b>

Se observan resultados similares a los obtenidos con el VAN, las Alternativas 1 y 3 resultarían rentables frente a la alternativa 0, lo que no ocurre con la Alternativa 2 que habría de ser rechazada ya que no supera el 4%, que es la rentabilidad mínima exigida para llevar a cabo el proyecto.



*Figura 18. Comparación de los resultados de la TIR entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)*

Según este indicador el orden de rentabilidad de las alternativas frente al caso de no actuación es el siguiente:

- Alternativa 1: Construcción del Nuevo Túnel de Oural
- Alternativa 3: Derribo del túnel existente y transformación en trinchera
- Alternativa 2: Ampliación de sección y rebaje de plataforma del túnel existente.

Utilizando este indicador también resulta que la Alternativa 1 sería la más favorable en términos de rentabilidad. Por otro lado, el orden de elección sigue siendo el

mismo dado que la alternativa 2 no cumple los requisitos mínimos de rentabilidad para ninguno de los indicadores anteriores.

### 5.4.3 RATIO COSTE/BENEFICIO

Una vez calculado el ratio Coste/Beneficio obtenemos los siguientes resultados:

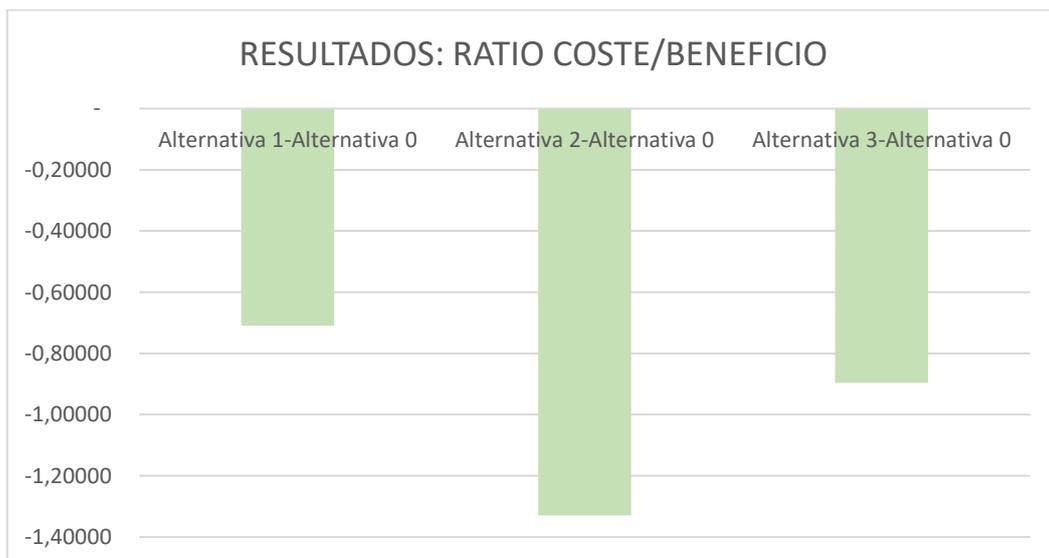
*Tabla 16. Resultados del Ratio Coste/Beneficio para las diferentes alternativas (Fuente: Elaboración propia)*

	<b>RATIO COSTE/BENEFICIO</b>
<b>Alternativa 1-Alternativa 0</b>	- <b>0,70957</b>
<b>Alternativa 2-Alternativa 0</b>	- <b>1,32962</b>
<b>Alternativa 3-Alternativa 0</b>	- <b>0,89312</b>

En este caso para que el proyecto sea aceptado el ratio coste/beneficio a de resultar un valor menor que 1, lo cual en este caso cumplen todas las soluciones, por lo que todas ellas cuentan una rentabilidad de la inversión aceptable.

La preferencia de orden de alternativas respecto a este indicador es la siguiente:

- Alternativa 2: Ampliación de sección y rebaje de plataforma del túnel existente.
- Alternativa 3: Derribo del túnel existente y transformación en trinchera.
- Alternativa 1: Construcción del Nuevo Túnel de Oural.



*Figura 19. Comparación de los resultados Ratio Coste/Beneficio entre alternativas. (Fuente: Elaboración propia)*

En este caso la alternativa 2 sería la más rentable ya que es valor menor, en cambio en los anteriores indicadores resultaba una alternativa no rentable respecto al caso 0.

## 5.5 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un estudio que analiza el impacto que tiene la variación de una variable independiente sobre una variable dependiente de un modelo. En este caso se trata de analizar qué impacto tiene la variación de distintos parámetros de manera independiente en la variación del VAN.

Para calcular dicha variación se varía en este caso cada uno de los parámetros en  $\pm 1\%$  por separado y se analiza la variación que producen en el indicador de rentabilidad.

Una vez realizadas estas variaciones obtenemos un Valor “shock” de cada parámetro, y un valor “shock” del VAN, comparando estos valores con los del caso base podemos determinar si un parámetro es crítico o no.

A continuación, se muestran las tablas donde se encuentran los valores base y los valores shock de los parámetros que intervienen en el análisis de sensibilidad y su VAN correspondiente:

*Tabla 17. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia)*

Alternativa 1-0						
Parámetro	Valor base	Valor Shock	Variacion %	VAN Base	VAN Shock	Variacion %
Costes de construcción	56.201.847,52 €	56.763.866,00 €	1%	21.279.339,64 €	20.759.455,49 €	-2,44%
Costes de mantenimiento	- 2.425.963,05 €	- 2.450.222,68 €	1%	21.279.339,64 €	21.631.515,29 €	1,66%
Coefficiente diesel/eléctri	1,328700977	1,341987987	1%	21.279.339,64 €	21.368.439,91 €	0,419%
Salario base	2.236,00 €	2.258,36 €	1%	21.279.339,64 €	21.302.739,15 €	0,11%
Nº de viajes	18	18,18	1%	21.279.339,64 €	21.614.399,91 €	1,575%
Ahorro de tiempo (h)	4,42	4,4642	1%	21.279.339,64 €	21.213.880,23 €	-0,308%
Tasa de descuento	4,000%	4,0400%	1%	21.279.339,64 €	20.907.104,44 €	-1,749%

*Tabla 18. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia)*

Alternativa 2-0						
Parámetro	Valor base	Valor Shock	Variacion %	VAN Base	VAN Shock	Variacion %
Costes de construcción	90.852.809,54 €	91.761.337,63 €	1%	- 20.834.372,00 €	- 21.674.788,05 €	4,03%
Costes de mantenimiento	- 1.732.943,81 €	- 1.750.273,25 €	1%	- 20.834.372,00 €	- 20.582.801,54 €	-1,21%
Coefficiente diesel/eléctri	1,328700977	1,341987987	1%	- 20.834.372,00 €	- 20.745.271,72 €	-0,428%
Salario base	2.236,00 €	2.258,36 €	1%	- 20.834.372,00 €	- 20.810.972,48 €	-0,11%
Nº de viajes	18	18,18	1%	- 20.834.372,00 €	- 20.499.311,72 €	-1,608%
Ahorro de tiempo (h)	4,42	4,4642	1%	- 20.834.372,00 €	- 20.899.831,41 €	0,314%
Tasa de descuento	4,000%	4,0400%	1%	- 20.834.372,00 €	- 21.125.760,37 €	1,399%

Tabla 19. Análisis de sensibilidad: Variación del VAN. Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa 3-0						
Parámetro	Valor base	Valor Shock	Variación %	VAN Base	VAN Shock	Variación %
Costes de construcción	67.747.460,16 €	68.424.934,76 €	1%	7.247.157,76 €	6.620.473,19 €	-8,65%
Costes de mantenimiento	- 2.195.050,80 €	- 2.217.001,30 €	1%	7.247.157,76 €	7.565.812,01 €	4,40%
Coefficiente diesel/eléctri	1,328700977	1,341987987	1%	7.247.157,76 €	7.336.258,03 €	1,229%
Salario base	2.236,00 €	2.258,36 €	1%	7.247.157,76 €	7.270.557,28 €	0,32%
Nº de viajes	18	18,18	1%	7.247.157,76 €	7.582.218,03 €	4,623%
Ahorro de tiempo (h)	4,42	4,4642	1%	7.247.157,76 €	7.181.698,35 €	-0,903%
Tasa de descuento	4,000%	4,0400%	1%	7.247.157,76 €	6.901.860,52 €	-4,765%

A continuación, se muestra una tabla con los resultados obtenidos de todas las alternativas:

Tabla 20. Variación del VAN en función de cada parámetro para cada alternativa. (Fuente: Elaboración propia)

PARAMETROS	PORCENTAJE DE VARIACIÓN VAN		
	Alternativa 1- 0	Alternativa2-0	Alternativa3-0
Costes de construcción	±2,44%	±4,03%	±8,65%
Costes de mantenimiento	±1,66%	±1,21%	±4,40%
Coefficiente diésel/eléctrico	±0,42%	±0,43%	±1,23%
Salario base	±0,11%	±0,11%	±0,32%
N.º de viajes	±1,57%	±1,61%	±4,62%
Ahorro de tiempo	±0,31%	±0,31%	±0,90%
Tasa de descuento	±1,75%	±1,40%	±4,76%

Para representar estos resultados de manera más visual se ha elegido el siguiente gráfico radial:

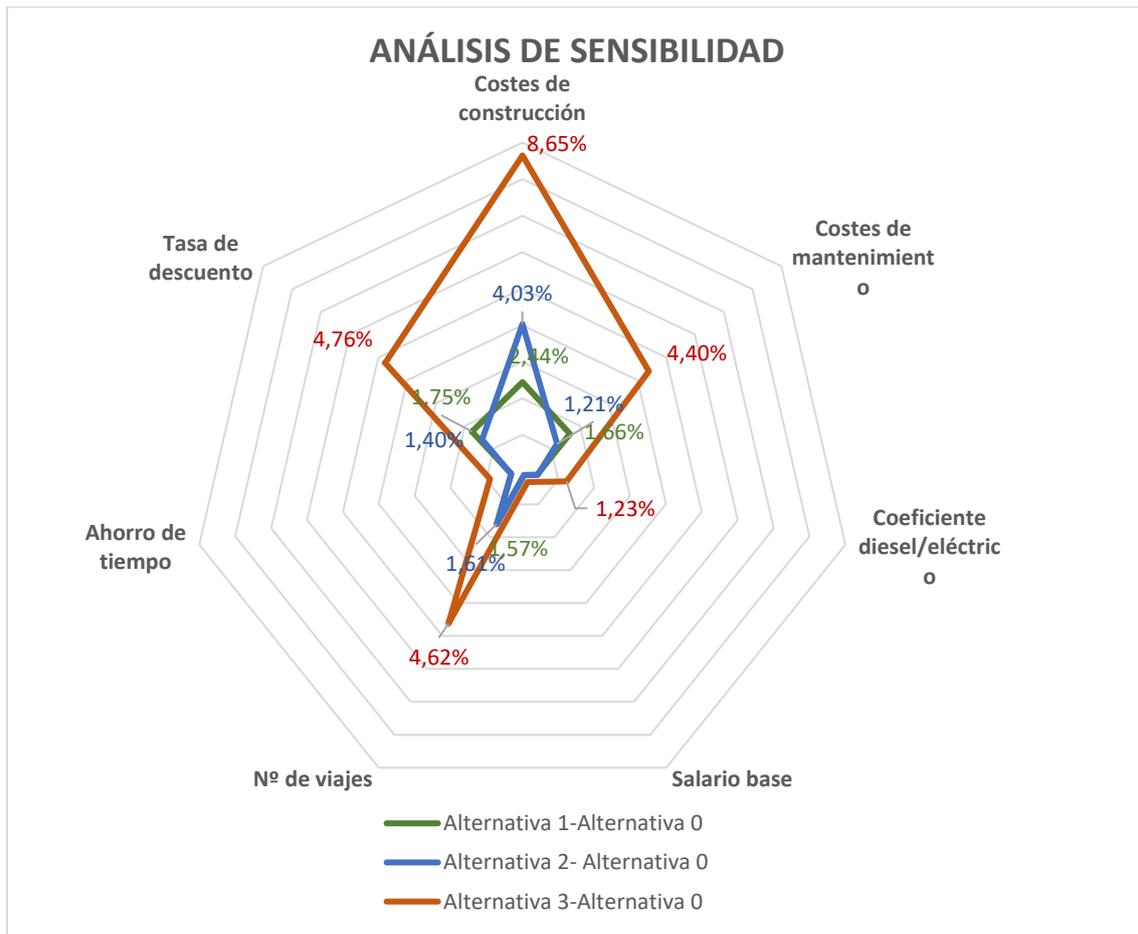


Figura 20. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para las alternativas consideradas (Fuente: Elaboración propia).

Para que un parámetro sea crítico la variación porcentual del VAN ha de ser mayor que la variación porcentual que se aplica a dicho parámetro. En este caso como podemos observar en la tabla y a través de la gráfica los parámetros críticos del estudio son por orden de magnitud:

- Costes de construcción
- Tasa de descuento
- Costes de mantenimiento
- N.º de viajes

Con el fin de poder observar mejor los datos ya que entre alternativas surge solape entre los valores de los parámetros críticos, se procede a separar el análisis por alternativas:

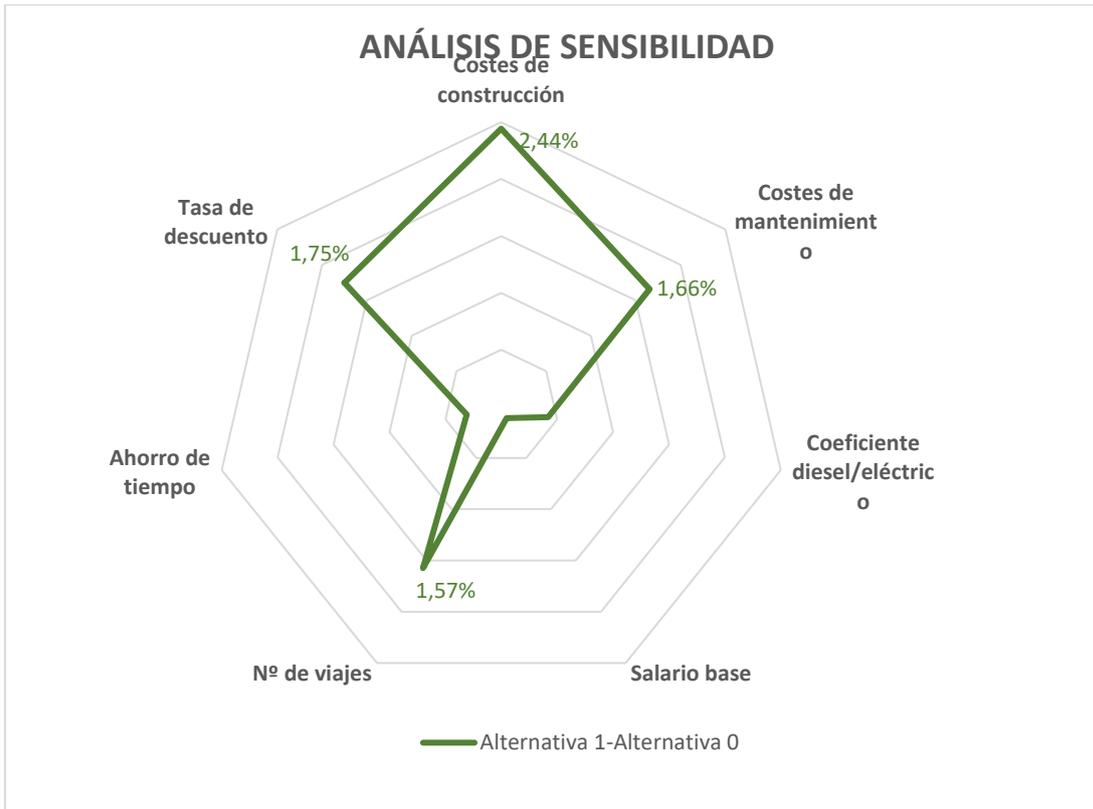


Figura 21. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 1- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).

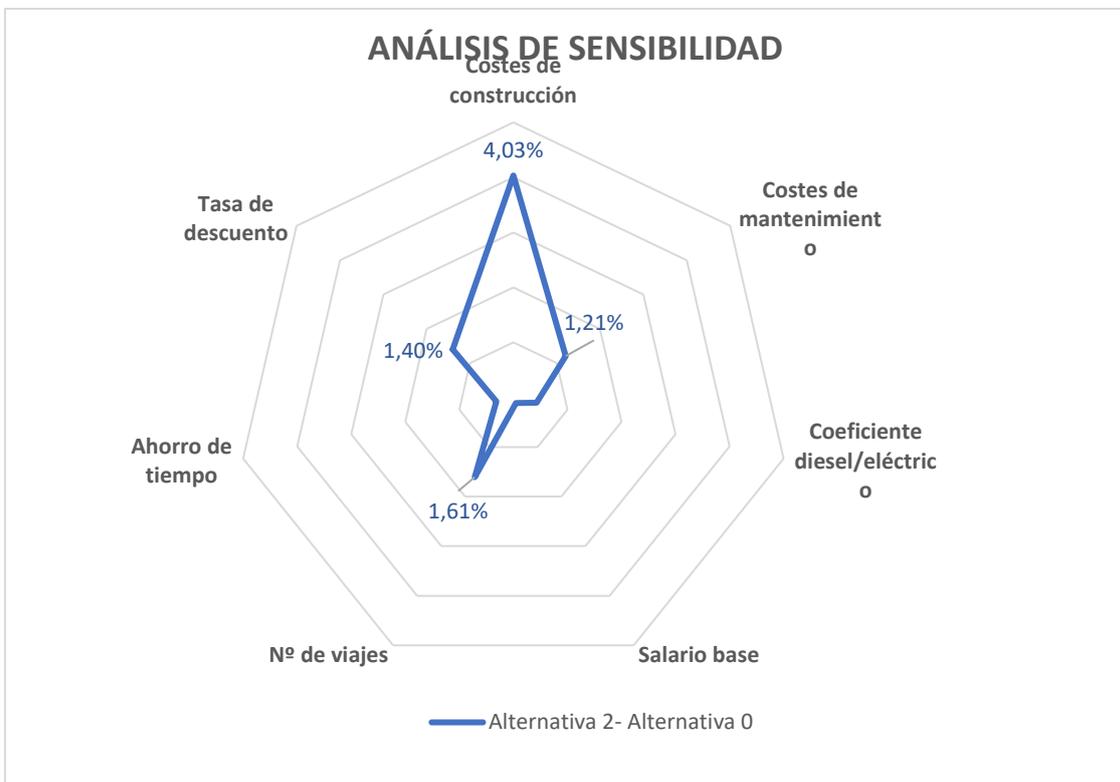


Figura 22. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 2- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).

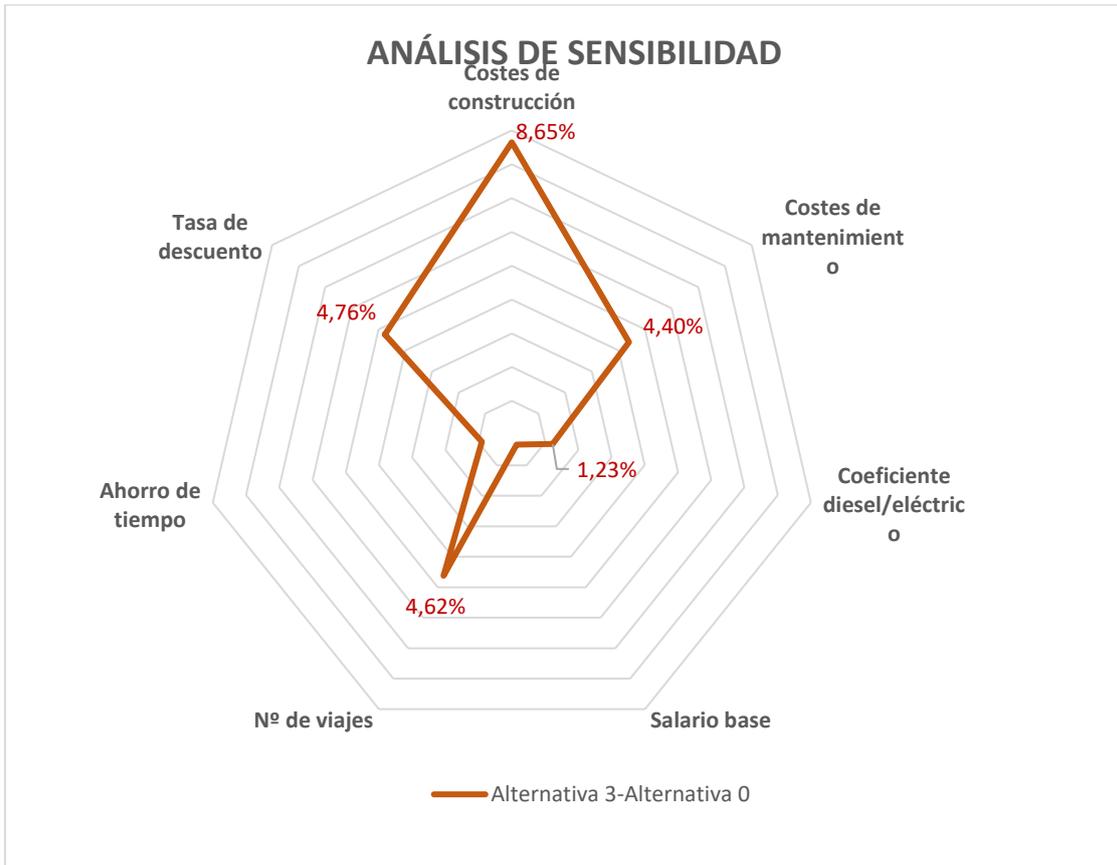


Figura 23. Gráfica resultante del análisis de sensibilidad para la Alternativa 1- Alternativa 0 (Fuente: Elaboración propia).

Resulta algo lógico ya que dichos parámetros conforman el grosso de los costes de los flujos de caja, y son los que tienen un impacto más significativo a la hora de calcular el VAN, por lo que al aumentar o reducir su valor el VAN también cambia de manera significativa.

En el caso de los costes de construcción, al ser la partida de coste más elevada del análisis se observa que a su vez es el parámetro más crítico en todas las alternativas. En el caso 3 la variación del VAN es la más elevada respecto a los otras dos lo que puede deberse a que existe una gran diferencia entre los costes de construcción asociados a cada caso, siendo este tercero el más elevado.

La tasa de descuento se sitúa como el siguiente parámetro crítico el estudio algo que tiene sentido dado que este porcentaje afecta directamente a todos los parámetros una vez que los flujos de caja son actualizados para calcular el VAN.

La reducción en los costes de mantenimiento conforma la segunda partida más elevada en lo que a ingresos se refiere y por ello su variación tiene un impacto significativo en el cálculo del VAN.

De la misma manera El número de viajes está relacionado directamente con la reducción de emisiones de CO2 las cuales conforman la partida principal de ingresos de nuestro estudio, el hecho de que este parámetro no se encuentre en orden de magnitud por delante de los reducción costes de mantenimiento es debido a que la variación no se aplica directamente sobre el valor monetario de la reducción de emisiones sino sobre un parámetro que se encuentra dentro del cálculo de este ingreso. En cualquier caso, también resulta lógico que se trate de un parámetro crítico dado que la cifra respecto a los flujos de caja es significativa.

Por último, encontramos que el coeficiente que relaciona el consumo de la locomotora tracción diésel respecto a la locomotora de tracción eléctrica en función de la carga que transporta también es un parámetro crítico para el caso 3 (Alternativa 3-Alternativa 0) esto puede deberse a que este caso, al tener un VAN bastante inferior con relación a los otros casos, cualquier variación supone un porcentaje mayor respecto al total.

Con el fin de poder un hacer un análisis más exhaustivo se presentan los datos se presentan los datos bajo la misma escala, ya que las gráficas anteriores contaban cada una con la suya propia. De esta manera podemos apreciar la magnitud de las variaciones en función del valor del VAN:

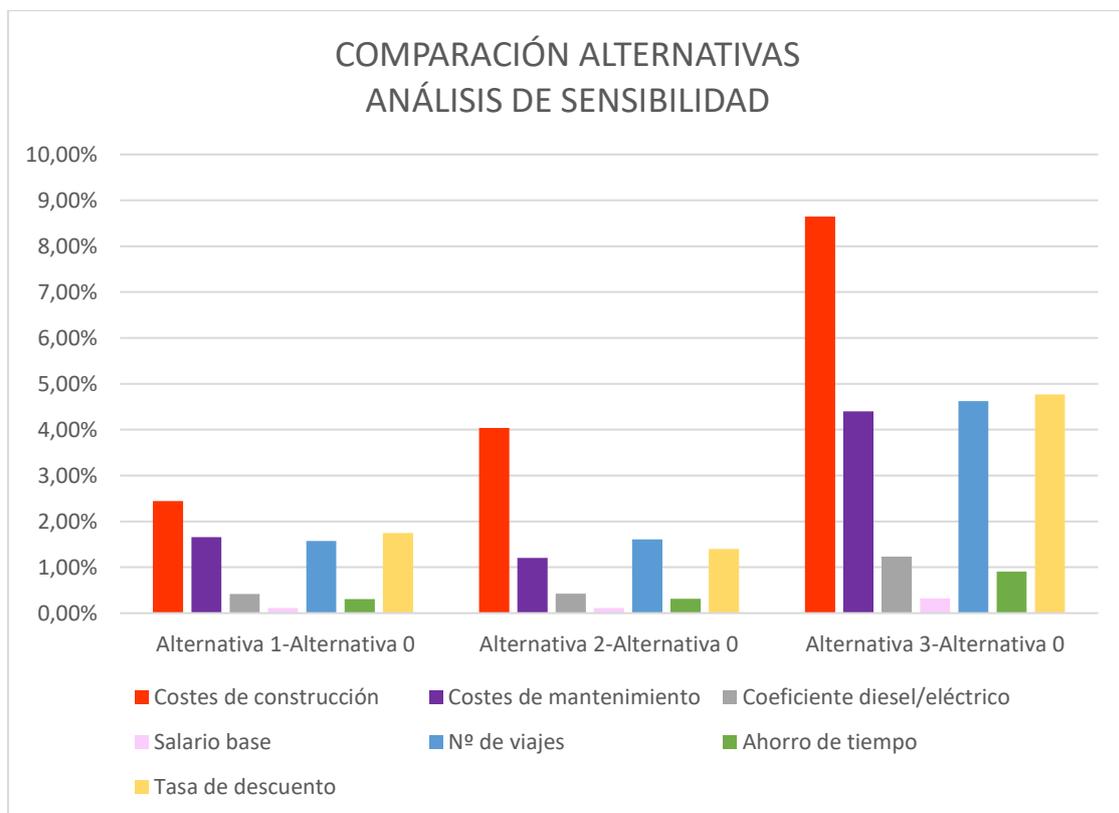


Figura 24. Gráfica de barras resultante del análisis de sensibilidad para las alternativas consideradas (Fuente: Elaboración propia).

Como se ha explicado anteriormente el caso 3 es el que tiene un VAN inferior en términos absolutos por lo que el mismo valor representa un porcentaje mayor de variación, es justamente lo que se observa en esta grafica comparativa entre los 3 casos, en la que los parámetros críticos de la Alternativa 3-Alternativa 0 destacan sobre los demás, tanto los críticos como los que no lo son.

Esto sucede también con la Alternativa2-Alternativa 0 ya que, aunque su VAN del caso base sea negativo, en términos absolutos es ligeramente superior al VAN del caso base de la Alternativa 1-Alternativa 0 y por ello la variación porcentual del VAN shock respecto a cada parámetro es ligeramente superior en el primer caso.

## 5.6 Análisis de escenarios

El análisis de escenarios surge de la necesidad de ampliar la perspectiva del análisis considerando diferentes situaciones en las que el proyecto podría desarrollarse.

Para el estudio de estos escenarios se ha elegido un escenario optimista, en el cual todas las variables independientes que intervienen varían de forma que tienden a ser lo más favorable posibles para la rentabilidad del proyecto y un escenario pesimista en el que dichas variables varían respecto al caso base de forma que reduzcan la rentabilidad de cada alternativa. Ambos escenarios se analizarán en conjunto con el caso base.

La variación de estos parámetros resulta positiva o negativa en función de cómo afecte su crecimiento al VAN, esto lo hemos analizado en el apartado anterior, en el análisis de sensibilidad donde se muestra que variables afectan más o menos al indicador de rentabilidad.

El crecimiento de algunas de las variables que intervienen en el análisis de sensibilidad resulta positivo en términos de rentabilidad para el escenario optimista de cada una de las alternativas. Dichas variables son las siguientes: Costes de mantenimiento, coeficiente que relaciona Diesel/eléctrico, salario base y número de viajes.

Al incrementar reducción que suponen los costes de mantenimiento de cada alternativa respecto a la alternativa 0 se aprecia un beneficio mayor de cada alternativa respecto a la alternativa 0, al ser una partida importante dentro de los flujos de caja de estudio tendrá gran peso en el cálculo del VAN shock. Además, el coeficiente que relaciona la tracción Diesel con la tracción eléctrica, así como el número de viajes influyen también en la reducción de emisiones por lo que cuanto mayor sea este coeficiente y mayor número de viajes se prevean en la línea mayor será también la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que supone una alternativa respecto a otra.

Por otro lado las variables que varían porcentualmente de forma decreciente son los costes de construcción, dado que en la alternativa 0 no intervienen los costes de construcción cuanto más se reduzca este valor en las Alternativas 1, 2 y 3 más se reducirá el coste de esta partida, el ahorro de tiempo de viaje respecto a la locomotora Diesel, esto va de la mano del salario base ya que como el cálculo depende de ambas variables cuanto más se reduzca el tiempo y más alto sea el salario base más ahorro supondrá reducir el tiempo de trabajo y por último la tasa de descuento un parámetro importante ya que influye en todos los flujos de caja y su variación negativa, es decir su reducción influye positivamente en los flujos de caja actualizados.

A continuación, se exponen unas tablas en las que se muestra la variación porcentual que se aplica a cada parámetro, así como el valor que resulta de esta variación para cada alternativa tanto para el caso pesimista como para el optimista:

*Tabla 21. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia)*

<b>Alternativa 1-0</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Valor base</b>	<b>Variación %</b>	<b>Valor Shock Caso Optimista</b>	<b>Valor Shock Caso Pesimista</b>
<b>Costes de construcción</b>	56.201.847,52 €	±4%	53.953.773,62 €	58.449.921,42 €
<b>Costes de mantenimiento</b>	-2.425.963,05 €	±4%	- 2.523.001,57 €	- 2.328.924,53 €
<b>Coefficiente diésel/eléctrico</b>	1,3287010	±4%	1,3818490	1,2755529
<b>Salario base</b>	2.236,00 €	±4%	2.325,44 €	2.146,56 €
<b>N.º de viajes</b>	18,00	±4%	18,72	17,28
<b>Ahorro de tiempo (h)</b>	4,42	±4%	4,24	4,60
<b>Tasa de descuento</b>	4,000%	±4%	3,840%	4,160%

*Tabla 22. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia)*

<b>Alternativa 2-0</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Valor base</b>	<b>Variación %</b>	<b>Valor Shock Caso Optimista</b>	<b>Valor Shock Caso Pesimista</b>
<b>Costes de construcción</b>	90.852.809,54 €	±4%	87.218.697,16 €	94.486.921,92 €
<b>Costes de mantenimiento</b>	-1.732.943,81 €	±4%	-1.802.261,56 €	-1.663.626,06 €
<b>Coefficiente diésel/eléctrico</b>	1,3287010	±4%	1,3818490	1,2755529
<b>Salario base</b>	2.236,00 €	±4%	2.325,44 €	2.146,56 €
<b>N.º de viajes</b>	18,00	±4%	18,72	17,28
<b>Ahorro de tiempo (h)</b>	4,42	±4%	4,24	4,60
<b>Tasa de descuento</b>	4,000%	±4%	3,840%	4,160%

Tabla 23. Variación del VAN en función de los escenarios para Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia)

Alternativa 3-0				
Parámetro	Valor base	Variación %	Valor Shock Caso Optimista	Valor Shock Caso Pesimista
Costes de construcción	67.747.460,16 €	±4%	65.037.561,75 €	70.457.358,57 €
Costes de mantenimiento	-2.195.050,80 €	±4%	-2.282.852,83 €	-2.107.248,76 €
Coefficiente diésel/eléctrico	1,3287010	±4%	1,3818490	1,2755529
Salario base	2.236,00 €	±4%	2.325,44 €	2.146,56 €
N.º de viajes	18,00	±4%	18,72	17,28
Ahorro de tiempo (h)	4,42	±4%	4,24	4,60
Tasa de descuento	4,000%	±4%	3,840%	4,160%

Estos valores de parámetros base nos arrojan los siguientes valores del VAN y de la TIR:

Tabla 24. Comparación VAN entre escenarios Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia)

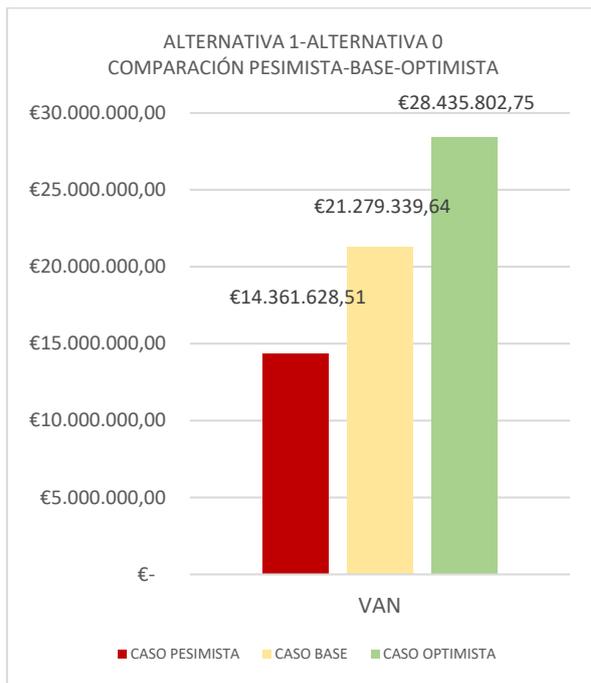
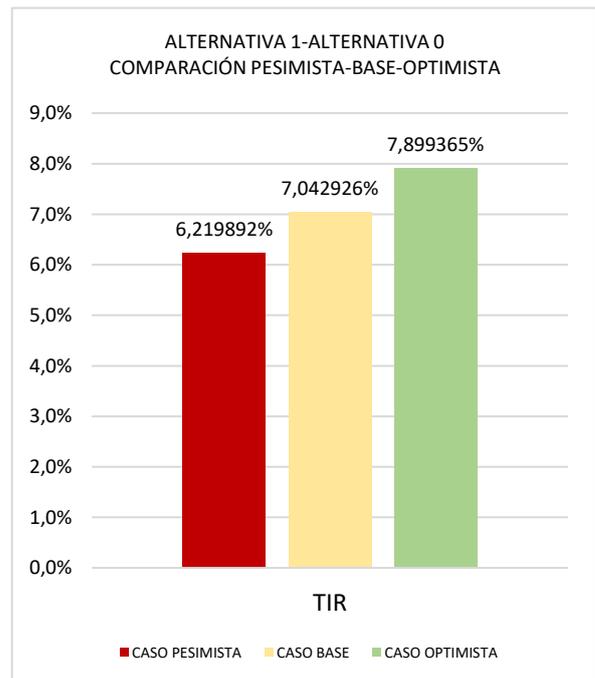


Tabla 25. Comparación TIR entre escenarios Alternativa 1-0. (Fuente: Elaboración propia)



Se observa una variación respecto al caso base del caso optimista del 33.63% mientras que del caso base al caso optimista se reduce un 32.51% lo que significa que para la misma variación del valor de los parámetros tienes más influencia el escenario optimista respecto al caso base que el pesimista, aunque la diferencia es mínima.

Tabla 26. Comparación VAN entre escenarios Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia)

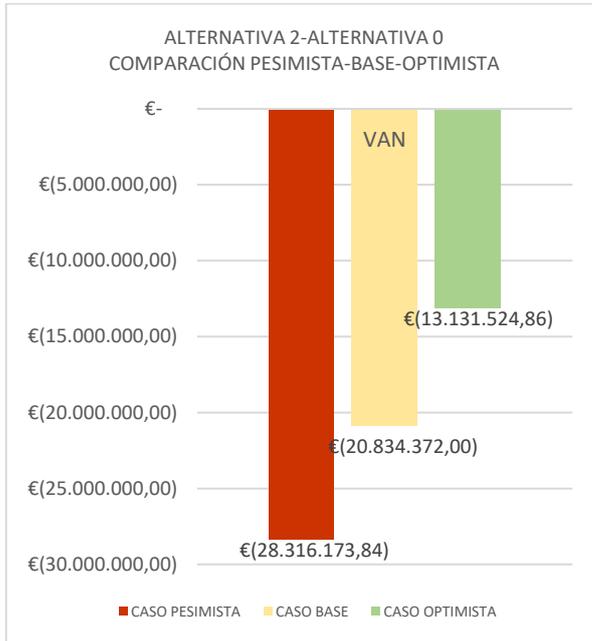
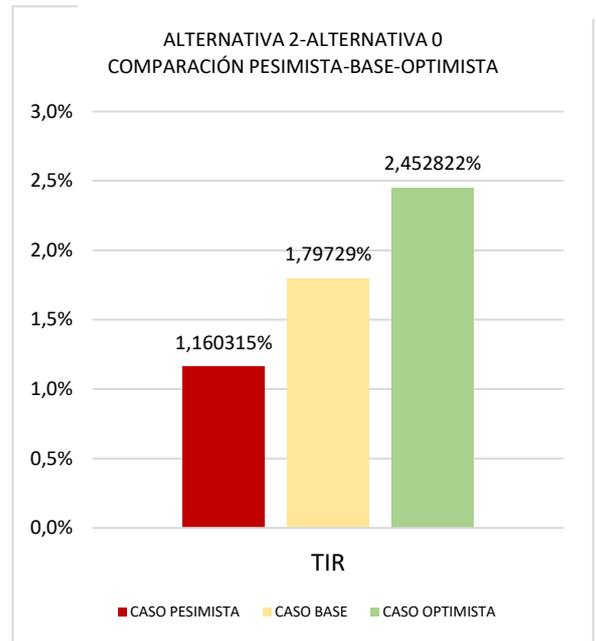


Tabla 27. Comparación TIR entre escenarios Alternativa 2-0. (Fuente: Elaboración propia)



En este caso la variación respecto al caso base del escenario optimista es de 36,97% mientras que la del caso pesimista es de 35,91%, también muy similar al igual que ocurre con la Alternativa 1

Tabla 28. Comparación VAN entre escenarios Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia)

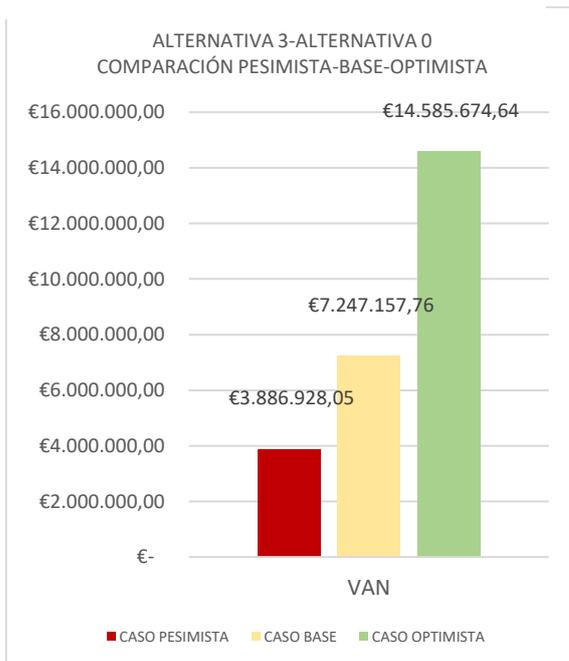
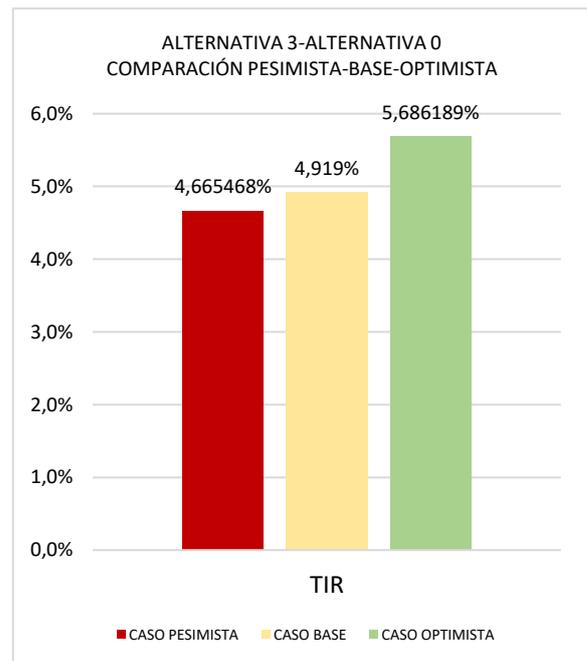


Tabla 29. Comparación TIR entre escenarios Alternativa 3-0. (Fuente: Elaboración propia)



En el caso de la alternativa 3 los resultados resultan más extremos tanto que se alcanza una variación del 101,26% para el caso optimista respecto al caso base y casi un 50% del escenario pesimista al caso base.

Se demuestra, por tanto, como predecía el análisis de sensibilidad que las mayores variaciones del indicador de rentabilidad las experimenta la Alternativa 3-0, y que a mayor variación de los parámetros críticos mayor será la variación del VAN.

### 5.7 Análisis de riesgo

El análisis de riesgo tiene como objetivo analizar la incertidumbre de las distintas variables intervinientes en el Análisis Coste – Beneficio, ya que condicionan el resultado obtenido en el mismo. Para el cálculo del VAN y del resto de indicadores utilizados en el presente trabajo se han estimado una serie de flujos de caja durante la vida de la inversión hasta la llegada del año horizonte. Dichos flujos de caja se calculan a partir de la estimación del valor de los distintos parámetros intervinientes, la cual se realiza en base a una serie de criterios y recomendaciones, pero que tiene cierta incertidumbre, con la repercusión que ello conlleva en los resultados.

Para llevar a cabo el análisis de riesgo se ha utilizado EXCEL, para lo cual, en primer lugar, se asigna una distribución de probabilidad a las distintas variables intervinientes. Se ha decidido considerar una distribución de probabilidad uniforme. Dicha distribución supone que un elemento seleccionado en la extracción vuelve a incluirse en la población antes de realizar la nueva extracción, con lo que puede ser extraído nuevamente. Así, todos los elementos de la muestra tienen la misma probabilidad de aparición, como puede verse en la función de distribución indicada a continuación:

$$P_x(x) = 1/n \text{ para } a \leq x \leq b$$

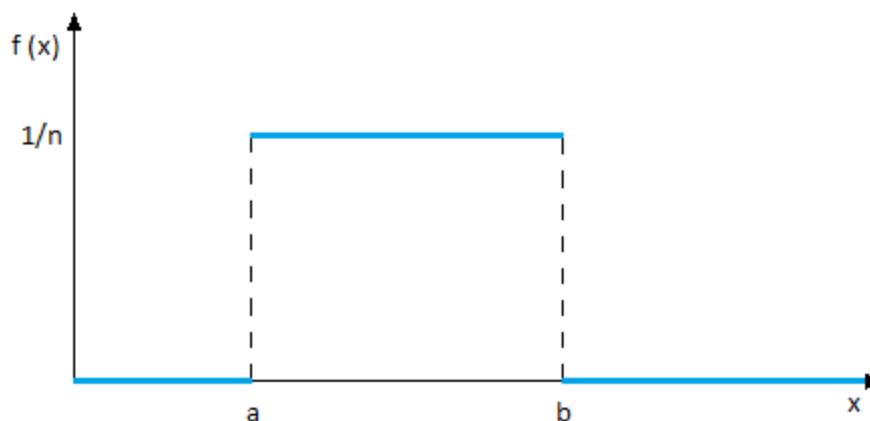
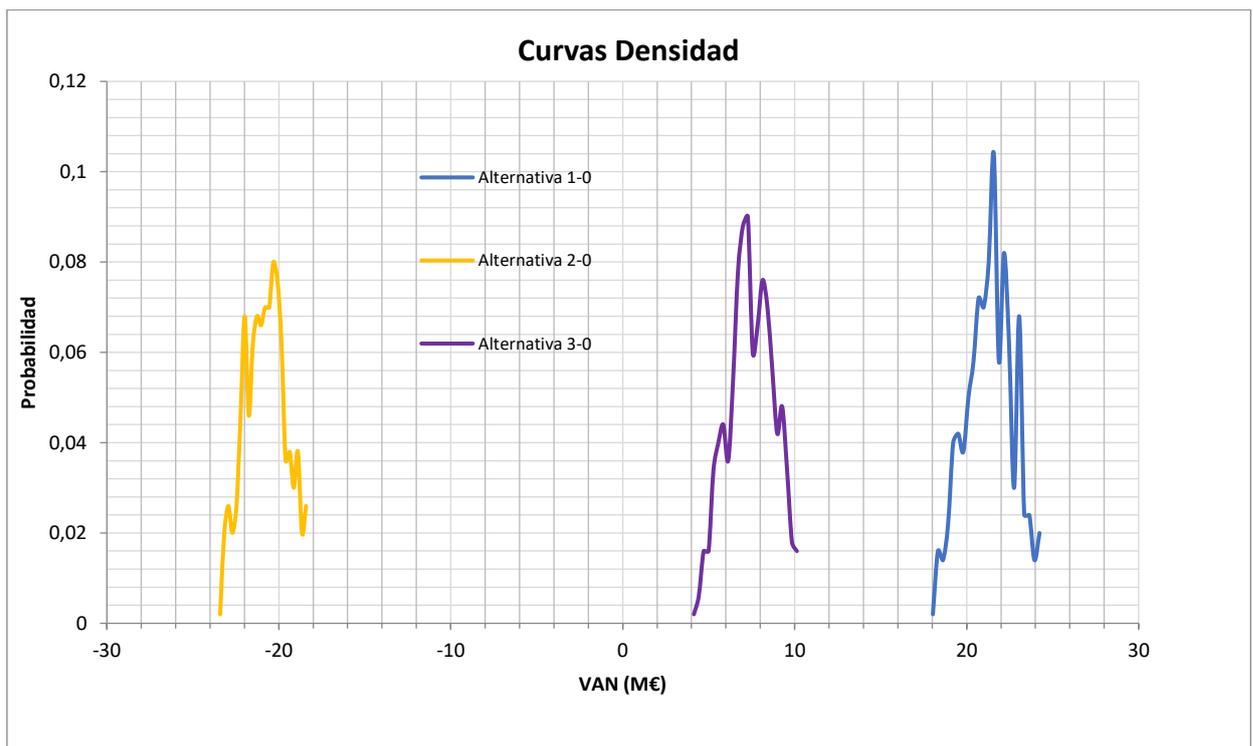


Figura 25. Función de densidad de una distribución uniforme (Fuente: Elaboración propia)

Una vez determinada la función de probabilidad de los parámetros intervinientes se procede a llevar a cabo la simulación de Montecarlo. En ella, se simula 500 veces la obtención del Valor Actualizado Neto a partir de la generación aleatoria de los distintos parámetros que influyen en el mismo. Los valores que toman dichos parámetros habrán de encontrarse dentro del rango previamente definido, que se encontrará entre 0,95 y 1,05 veces el valor base del parámetro.

De esta manera, al considerar un elevado número de escenarios aleatorios, se puede ampliar la perspectiva de los escenarios posibles, analizando la variabilidad de las variables que afectan al indicador económico, lo que permite valorar la incertidumbre que tienen las distintas alternativas planteadas.

A continuación, se incluye la gráfica resultado del análisis de riesgo, que muestra las funciones de densidad del VAN para las distintas alternativas consideradas en el Análisis Coste – Beneficio.



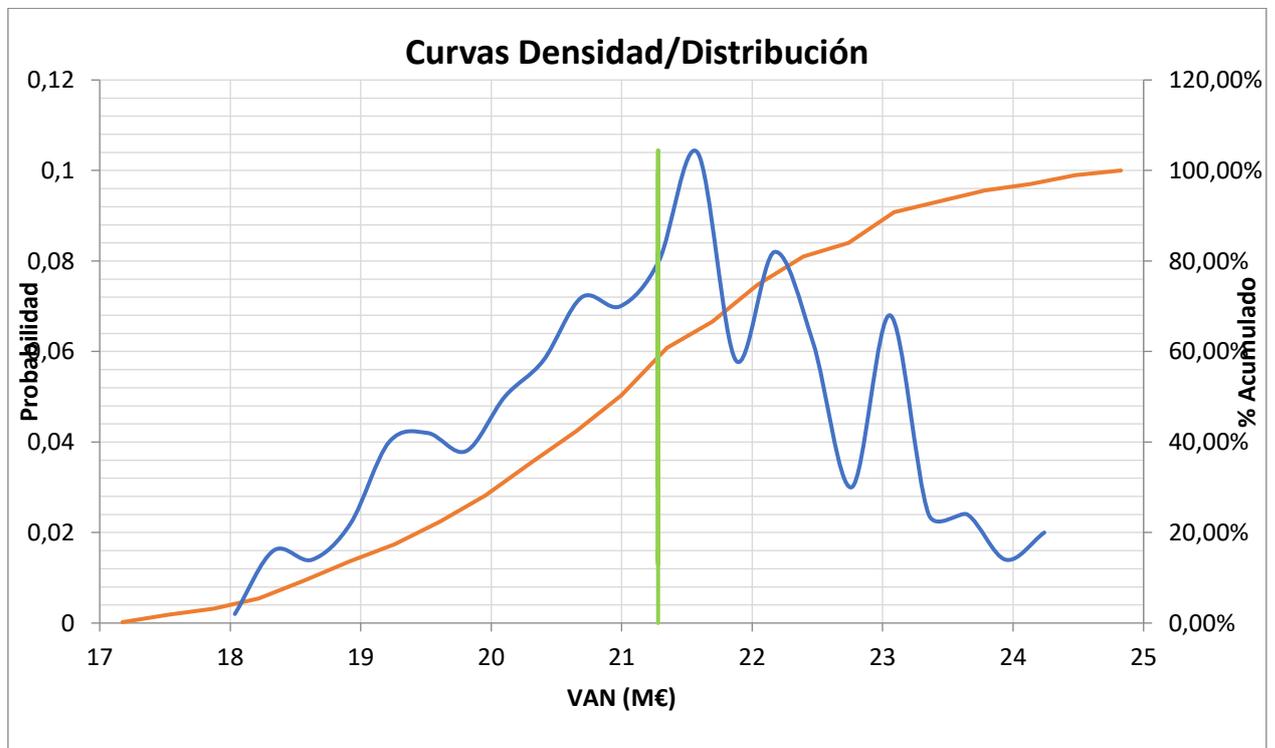
La grafica refleja los resultados obtenidos para el cálculo del VAN cuyo criterio indicaba que el orden de preferencia de las alternativas sería la construcción del túnel de Oural (Alternativa 1-0), el derribo del túnel existente y ejecución de

trinchera (Alternativa 3-0) y por último la ampliación de sección del túnel existente (Alternativa 2-0).

El análisis de riesgo muestra que todas las alternativas tienen aproximadamente la misma incertidumbre, una incertidumbre baja, ya que el ancho de su función de densidad es similar y reducido, por lo que resulta la probabilidad de obtener el valor medio valor del VAN sea elevada.

A continuación, analizaremos cada alternativa por separado para conseguir obtener unas conclusiones más claras de cada caso.

Los resultados de la alternativa 1-0 son los siguientes:



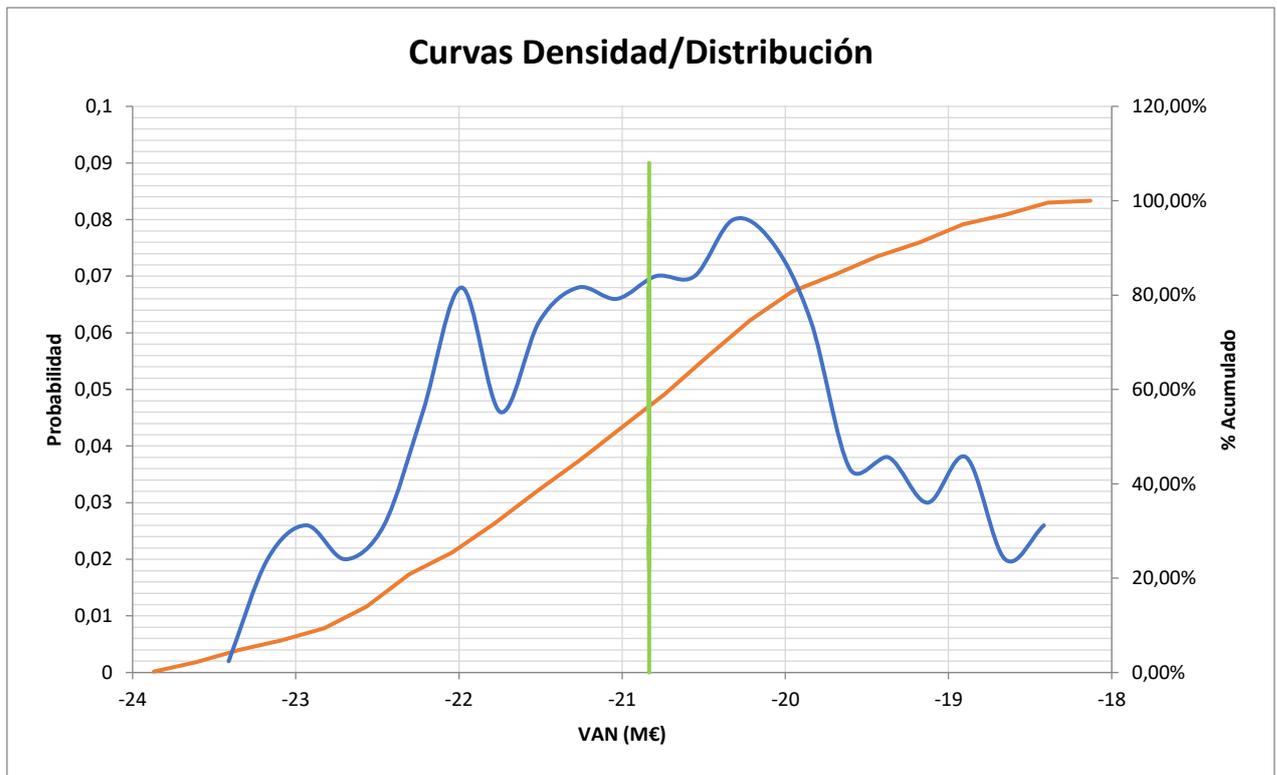
*Figura 26. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 1-0*

Se observa que el valor del VAN obtenido en el caso base de nuestro análisis (21.279.339,6€) se sitúa cerca del pico de nuestra función densidad, y por otro lado que el pico de la función determina un valor del VAN más elevado, lo que es un resultado positivo.

Respecto a la función de distribución observamos que la probabilidad de obtener un VAN mayor o igual al de nuestro caso base es del 60% lo cual no es un valor muy alto pero lo importante es que no existe dentro del análisis probabilidad de que el VAN

sea negativo por lo que el riesgo de llevar a cabo esta alternativa es bajo y perfectamente asumible.

Los resultados de la Alternativa 2-0 son los siguientes:



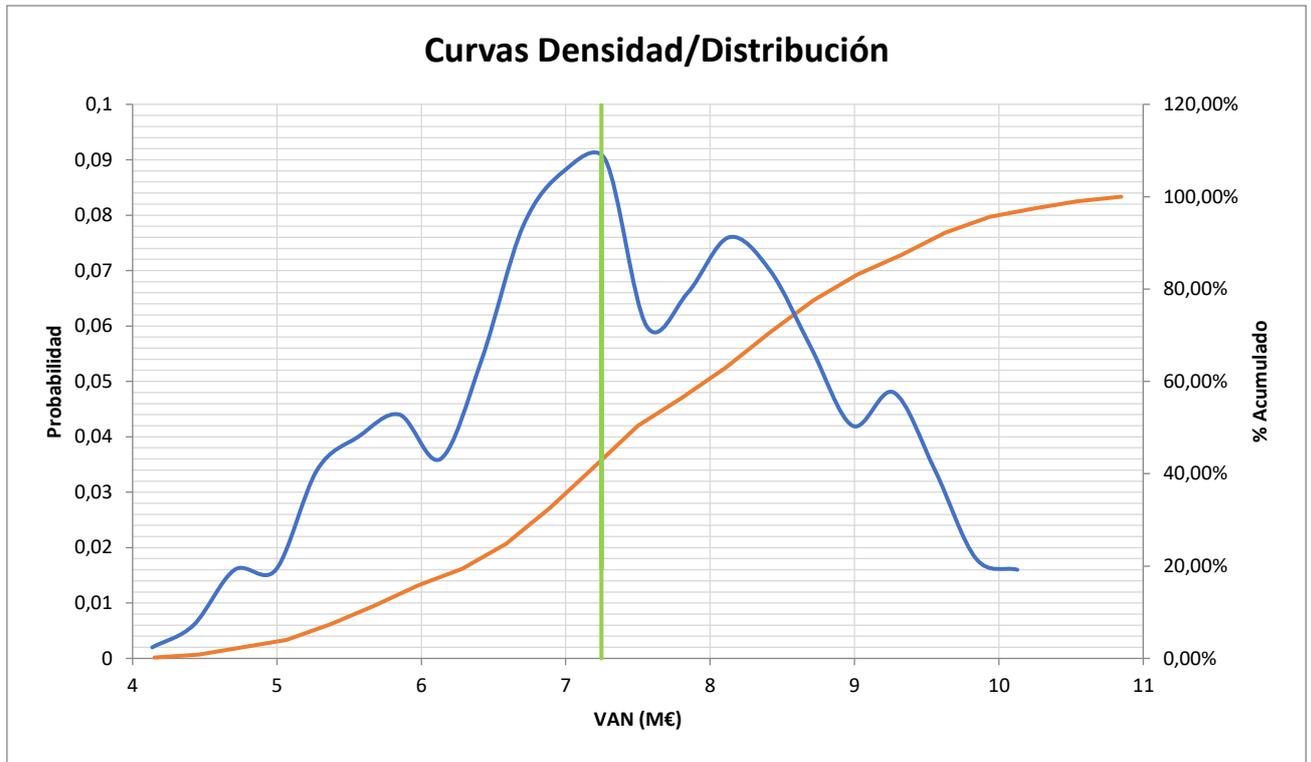
*Figura 27. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 2-0*

En este caso se observa que el valor del VAN obtenido en el caso base de nuestro análisis (-20.834.372€) se sitúa cerca del pico de nuestra función densidad, y por otro lado que el pico de la función determina un valor del VAN más elevado, lo mismo que nos ocurre en el caso anterior, es un resultado positivo.

Respecto a la función de distribución observamos que la probabilidad de obtener un VAN mayor o igual al de nuestro caso base es del 55%, lo cual no es un valor muy elevado, sin embargo, el resultado es bastante negativo ya que la probabilidad de

que la rentabilidad sea negativa es del 100% lo que nos indica que el proyecto no sería rentable bajo ninguna circunstancia.

Y por último los resultados de la Alternativa 3-0:



*Figura 28. Curvas Densidad/Distribución de la Alternativa 3-0*

En el tercer caso, donde el valor del VAN base que se extrajo del análisis fue 7.247.157,76€ observamos que este valor se encuentra en el pico de nuestra función densidad por lo que las probabilidades de obtener el valor medio del VAN resultan muy elevadas.

En lo referente a la función de distribución nos indica que la probabilidad del VAN mayor o igual a nuestro caso base es de un 35% un valor más bajo que el de la Alternativa 1-0, pero en cualquier caso la probabilidad de que la rentabilidad resulte negativa es nula, por lo que esta alternativa será rentable, en cualquier caso.

## 7. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este proyecto fue expuesto al inicio como el análisis de la rentabilidad de las alternativas que se planteaban para el tramo de la línea 800 Monforte de Lemos-Lugo. Para ello se ha basado el trabajo en la consecución de los siguientes objetivos secundarios: estudio de la metodología del análisis coste-beneficio, descripción del caso de estudio y planteamiento de alternativas, aplicación del ACB al caso de estudio y finalmente la obtención de resultados.

En el epígrafe tercero de este trabajo se ha explicado detalladamente la metodología que ha de seguirse para la realización de un análisis ACB, la evolución del método desde su aparición hasta la actualidad, los tipos de ACB que existen en función del momento del proyecto en el que se realice el análisis y el procedimiento a seguir para obtener unos resultados fidedignos.

En el epígrafe cuarto se expone el caso de estudio en el que se parte de una alternativa inicial, que es la no actuación y se describen las alternativas que se plantean para dar solución al problema, de manera que se consiga una visión general del caso de cara a la realización del análisis.

Por último, en el epígrafe quinto se aplica el procedimiento descrito en el epígrafe tercero al caso de estudio haciendo una descripción detallada de los impactos económicos sociales y medioambientales que conlleva cada alternativa y de manera conjunta a medida que se calculan los diferentes indicadores, siendo el predominantes los resultados que arroja el VAN, se exponen los resultados y se comparan unas alternativas con otras.

En vista de lo comentado anteriormente y con la finalidad de que estas conclusiones faciliten la toma de decisión se expone lo siguiente:

La Alternativa 0 no resulta viable en ningún caso debido a la incoherencia que supondría realizar actuaciones en todos los tramos de la línea para ampliar el galibo exceptuando el caso de estudio.

A raíz de esto se considera que la alternativa más rentable a realizar en el alto de Oural, es la ejecución del nuevo Túnel de Oural, alternativa de la que obtenemos el mayor VAN con un valor 21.279.339,64 €. No obstante, cabe destacar que la ejecución de cualquiera de las alternativas no prevé la entrada de ingresos económicos, sino que suponen una reducción de coste en mayor o menor medida con respecto a la no actuación.

De Análisis de Sensibilidad se extrae la conclusión de que de las distintas variables intervinientes los costes de construcción y la tasa de descuento son las variables más críticas, teniendo una mayor influencia en el cálculo del VAN aun teniendo todas ellas que variar en un porcentaje alto para hacer que la alternativa no resulte rentable.

Con el Análisis de escenarios reforzamos esta idea de forma que, modificando los valores de las variables intervinientes, el escenario más pesimista no consigue reducir el valor del VAN de la Alternativa 1 hasta resultar no rentable. Se puede asumir el riesgo en este caso ya que la variación del caso pesimista respecto al caso optimista no es tan relevante.

Y por último con los resultados obtenidos del Análisis de riesgo concluimos que dentro de las tres alternativas la que mejor resultados nos ofrece es la Alternativa 1, ya que el pico de su función densidad se sitúa en un valor más elevado que el VAN base y que la probabilidad de obtener un valor igual o superior al VAN base es del 60%, que, aunque no sea muy elevado, es el más elevado entre los tres.

Estas conclusiones no hacen más que reforzar la idea de que las actuaciones en la línea resultan rentables en términos de ahorro, siempre y cuando se realicen los estudios económicos pertinentes para invertir el dinero público de la manera más segura y fiable.

Por último, sería interesante la posibilidad de someter las inversiones de carácter público a un análisis coste-beneficio, preferiblemente ex ante, de manera que se asegure la rentabilidad de la inversión antes de poner en marcha cualquier proyecto. Así como una evaluación ex post a lo largo de la vida útil del proyecto para evaluar si realmente se cumplieron los objetivos de rentabilidad y en el caso de que eso no suceda, evaluar los porqué para poder corregirlos en futuras inversiones de manera que los fondos públicos a los que todos contribuimos con nuestros impuestos tengan de verdad un beneficio económico, social o medioambiental que los haga viables.

## 8. BIBLIOGRAFIA

European Commission (2014), *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects – Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. (Directorate General for Regional and Urban policy).

TORRES ORTEGA, S. (2016), *Módulo 2. Aplicaciones a proyectos de ingeniería*. (Apuntes de la Asignatura: Evaluación de Proyectos y Servicios Públicos del Máster en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria).

TORRES ORTEGA, S. (2014), *Nuevos problemas en la evaluación de proyectos de ingeniería*. DÍAZ SIMAL, P., Director. Tesis doctoral. (Universidad de Cantabria).

TORRES ORTEGA, S. y DÍAZ SIMAL, P. (2014), *El análisis coste – beneficio aplicado al medioambiente: repaso metodológico, críticas y problemática asociada*. (Publicaciones Académicas UFVJM).

DE RUS, G. (2010): *Introduction to Cost-Benefit Analysis. Looking for Reasonable Shortcuts*, Cheltenham, Inglaterra, Edward Elgar.

EUROPEAN COMMISSION (2008): *Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects*, Bruselas, European Commission, Regional Policy.

LOOMIS, J.B. (2011): «Incorporating distributional issues into Benefit Cost Analysis: why, how, and two empirical examples using non-market valuation», *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 2 (1), article 5. (<http://www.bepress.com/jbca/vol2/iss1/5>).

PEARCE, D. W. & NASH, C. A. (1981): *The social appraisal of projects: A text in Cost-Benefit Analysis*, Macmillan.

ESTERAS GONZALEZ, M. (2014), *Analisis Coste-Beneficio de Líneas Ferroviarias de Alta Velocidad*. (Ministerio de Fomento)

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, (2018), *Norma ADIF Plataforma Túneles (NAP 2-3-1.0+M1)*. (<http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf>)

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, (2020), *Norma ADIF Inventario Túneles (NAP 2-5-0.1)*. (<http://descargas.adif.es/ade/u18/GCN/NormativaTecnica.nsf>)

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias, (2014), *Memoria Económica 2014* (<https://www.adif.es/sobre-adif/transparencia/informacion-economicansf>)

Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (2018) *Proyecto básico de los centros de autotransformación asociados del tramo Pedralba de la Pradería – Ourense de la línea de alta velocidad Madrid Galicia*

Reglamento (UE) 1303/2014, de 18 Noviembre, *sobre la especificación técnica de interoperabilidad relativa a la «seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario de la Unión Europea*, 12 de diciembre de 2014, p.25

Reglamento (UE) 2019/776, de 16 de Mayo, *que modifica los Reglamentos (UE) n.o 321/2013, (UE) n.o 1299/2014, (UE) n.o 1301/2014, (UE) n.o 1302/2014 y (UE) n.o 1303/2014 y (UE) 2016/919 de la Comisión y la Decisión de Ejecución 2011/665/UE de la Comisión en lo que se refiere a la armonización con la Directiva (UE) 2016/797 del Parlamento Europeo y del Consejo y la implementación de los objetivos específicos establecidos en la Decisión Delegada (UE) 2017/1474 de la Comisión*, 27 de mayo de 2019, p.204

ZORRILLA MARTINEZ, G., (2017), *Análisis coste – beneficio medioambiental de alternativas para la mejora de la circulación del tráfico entre Requejada y Suances* (Trabajo Fin de Master, Universidad de Cantabria)

MARABINI MESONES, P., (2020), *Caracterización de la exposición y vulnerabilidad para análisis de riesgos de inundación costera: aplicación al caso de de San Vicente de la Barquera* (Trabajo Fin de Master, Universidad de Cantabria)

SERRANO FERRER, A., (2017), *análisis coste-beneficio medioambiental del nuevo “Crossrail” de Londres* (Trabajo Fin de Master, Universidad de Cantabria)

COHEN, E. y FRANCO, R. (1992), *Evaluación de proyectos sociales*. (Grupo Editor Latinoamericano)

DE RUS, G., CAMPOS, J., SOCORRO, P., VALIDO, J., ORTUNO, A., (2020) *Evaluación Económica de Proyectos y Políticas de Transporte: Metodología y Aplicaciones. Parte 2: Análisis coste-beneficio de proyectos ferroviarios: líneas de alta velocidad y suburbanas*, (FEDEA)

GONZALEZ FRANCO, I., *Estimación del consumo de energía y emisiones de CO2 en trenes de mercancías y análisis de la variabilidad* (Fundación de los Ferrocarriles Españoles)

MARTINEZ AGUADO, T., CALDERON MILÁN, M., MURO RODRIGUEZ, A., (2008) *Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de Infraestructuras*, ([https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/10-EnerTrans\\_Construcción\\_Infraestructuras.pdf](https://www.tecnica-vialibre.es/documentos/Libros/10-EnerTrans_Construcción_Infraestructuras.pdf))

GARCÍA ALVAREZ, A., Y MARTIN CAÑIZARES, M., (2008) *Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril*. ([https://tecnicavialibre.es/documentos/Libros/16-EnerTrans\\_Consumos\\_ferrocarril.pdf](https://tecnicavialibre.es/documentos/Libros/16-EnerTrans_Consumos_ferrocarril.pdf))

RODRIGUEZ BURGARIN, M., (2016), *Informe sobre el Ferrocarril en la provincia de Lugo*, (Documentos do Eixo Atlántico)

Fundación de los Ferrocarriles Españoles, (2012), *Informe 2011: Observatorio del ferrocarril en España*, (MINISTERIO DE FOMENTO)

Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, (2021), *Informe Anual 2021*, (MINISTERIO DE FOMENTO)

ACOSTA, S., (2021). El precio del CO2 se duplica en un año y amenaza con subir la electricidad. *El Economista* (27/08/2021)

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020, 16 de Marzo) *Sergio Vázquez Torrón e Isabel Pardo de Vera muestran el compromiso inversor del Gobierno con la provincia de Lugo*. (<https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/sala-de-prensa/noticias/vie-12032021-1409>)

LOPEZ GARCIA, M., (1998) *El valor patrimonial del ferrocarril Español: sus singularidades y Condicionantes*. (<http://www.docutren.com/HistoriaFerroviaria/Alicante1998/pdf/58.pdf>)

AIREF (2020) *Infraestructuras de Transporte: Evaluación del Gasto Público 2019*, (AiRef)

## Anexo 1: Método de Montecarlo

El método de Montecarlo es un método de simulación que permite calcular estadísticamente el valor final de una secuencia de sucesos no deterministas, es decir, sujetos a variabilidad, como pueden ser los distintos factores que afectan al desarrollo y, por tanto, al coste de un proyecto.

La simulación permite abordar desde problemas sencillos hasta problemas de importante complejidad; pudiendo solucionarse algunos problemas “a mano” aunque la mayoría de los casos requieren el uso de ordenadores.

Algunas ventajas de la simulación son las siguientes:

- Es un método directo y flexible.
- Existe un amplio abanico de programas y lenguajes destinados a simular.
- En el caso de que el modelo matemático sea demasiado complicado la simulación permite obtener una aproximación.
- La simulación permite formular condiciones extremas con riesgos nulos.
- La simulación no interfiere con el mundo real, con lo que resulta posible experimentar.
- Permite estudiar la interacción entre las distintas variables del problema.
- La simulación permite resolver problemas que no tienen solución analítica.

Por otro lado, existen ciertas desventajas a considerar:

- Una buena simulación puede resultar muy complicada debido al gran número de variables involucradas.
- La simulación no genera soluciones óptimas globales.
- No proporciona la decisión a tomar, sino que resuelve el problema mediante aproximación para unas condiciones iniciales.
- Cada simulación es única ya que interviene el azar.

En la práctica, el análisis consiste en ejecutar varias veces los diferentes sucesos variando aleatoriamente su valor en función de la función estadística que los define, dando como resultado un conjunto de valores finales, que permitirá calcular el valor medio y la variabilidad para el conjunto.

La utilidad de este método surge del hecho de que los diversos factores que intervienen en el proyecto, como pueden ser los costes, los recursos empleados o el plazo, están sujetos a variabilidad y, por tanto, únicamente se pueden hacer estimaciones o predicciones. Dicha variabilidad es debida tanto a la variabilidad intrínseca de las estimaciones, ya que una determinada tarea no cuesta o dura

siempre lo mismo, como a los riesgos asumidos, los cuales tienen una determinada probabilidad de ocurrir y un impacto.

El método de Montecarlo va a permitir calcular el valor del coste y plazo del proyecto en base a un determinado grado de confianza, y de esta manera determinar en qué medida la planificación realizada es realista o no, y si se va a conseguir alcanzar los objetivos del proyecto. Esto supone determinar en qué porcentaje de las simulaciones ejecutadas el plazo y costes totales serán inferiores a los objetivos fijados en el proyecto. En caso de que dicho porcentaje sea inferior al grado de confianza que el órgano decisor considera como aceptable, es posible determinar que el proyecto no es factible y no procede su ejecución.

Así mismo, cabe la posibilidad de analizar un determinado grupo de tareas pertenecientes al proyecto, de manera análoga a como se ejecutaría el estudio del proyecto completo. Esto nos permite apreciar cuáles son las tareas más críticas, así como la fiabilidad de las previsiones hechas con respecto a los factores que intervienen en ellas y, por consiguiente, la validez o no de las mismas.

Por otro lado, esta metodología no solo es útil durante la planificación del proyecto, sino que el método de Montecarlo permite estudiar los efectos que tengan los cambios o contramedidas que se implementen o se prevea implementar sobre el proyecto.

Todos los proyectos constan de dos tipos de elementos que tienen un comportamiento no determinista:

- Las tareas: las cuales tienen un valor medio y una variabilidad de acuerdo con una distribución estadística, que permite relacionar un determinado valor de plazo o coste a un porcentaje de representatividad.
- Los riesgos: sujetos a una probabilidad de ocurrencia y a un impacto, entendiendo el impacto como las consecuencias que derivarán en caso de que el riesgo finalmente llegue a convertirse en una realidad.

Una vez definidas las distribuciones estadísticas de todas las tareas y riesgos, es posible calcular un valor determinado para cada tarea o riesgo mediante la generación de múltiples números aleatorios, asemejando el número aleatorio al porcentaje de representatividad del valor de la tarea, o a la probabilidad de ocurrencia del riesgo. Esto permitirá calcular la duración o coste total del proyecto para cada valor aleatorio.

Si el cálculo comentado se realiza un número suficientemente alto de veces, es posible obtener varios valores de plazo y costes para el proyecto, los cuales podrán representarse en un gráfico de Pareto para mostrando el número de veces que ha aparecido en el análisis un determinado valor de plazo o coste. A partir de dicho gráfico se puede calcular la distribución estadística que sigue el proyecto en su

conjunto y, por tanto, determinar el porcentaje de las veces que éste va a cumplir una determinada restricción.

A partir de ese momento, el criterio para determinar si una planificación es factible es comprobar si el porcentaje de veces que se cumple la restricción es superior o inferior al margen de confianza definido por la organización. Si es inferior, significa que la planificación no es factible y, por consiguiente, deberá modificarse hasta conseguir un valor que sí lo sea o finalizar determinando que el proyecto no resulta factible para las restricciones que han sido impuestas.

## Anexo 2: Planes para la modernización del Ferrocarril en España

### Plan de Transporte Ferroviario (PTF)

El Plan de Transporte Ferroviario fue elaborado por el Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones en el año 1987. Hacía referencia únicamente a la red ferroviaria de vía ancha que por aquel entonces administraba Renfe y tenía como objetivo de cumplimiento el año 2000. Los objetivos que este Plan pueden resumirse en lo siguiente:

- Inversión para modernizar las infraestructuras ferroviarias, concentrada prioritariamente en la conocida como Red Básica de Renfe, al objeto de elevar sus características de diseño a un nivel competitivo con otros modos de transporte (figura 29).
- Potenciación de los servicios de viajeros, a través de aumentos de la velocidad (especialmente en los servicios Intercity), y frecuencia (en servicios de ámbito regional). Por lo que se refiere a los servicios de cercanías, se plantea la construcción de nuevas infraestructuras para favorecer su crecimiento.
- Fomento del transporte de mercancías. Se proponía orientarlas hacia el transporte de grandes masas (flujos superiores a 100000 t/año) y de masas transportadas a grandes distancias (más de 10 000 t transportadas a más de 150 km). Para ello, se pretendía potenciar el tráfico entre apartaderos y la utilización de trenes puros y trenes bloque. También se planteaba promover los tráficos intermodales, mediante el desarrollo de técnicas adecuadas y de centros de intercambio modal.

El PTF constataba una inversión de 2,1 billones de pesetas en el horizonte temporal estimado, o lo que es lo mismo aproximadamente 902 millones € anuales.

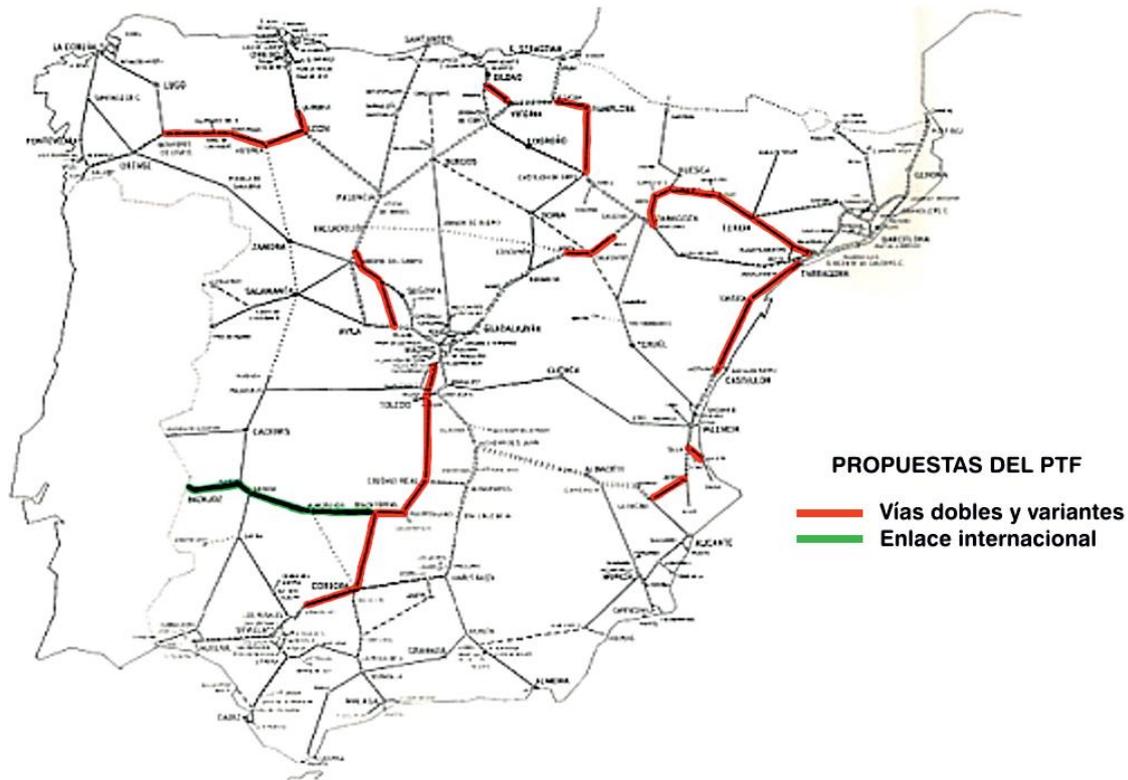


Figura 29. Propuestas del Plan de Transporte Ferroviario. (Fuente: Ministerio de Fomento)

Por lo que se refiere a Galicia, el Plan de Transporte Ferroviario prácticamente no planteaba ninguna actuación en su territorio, con la salvedad de la eliminación de pasos a nivel. De forma más concreta, en lo que concierne a la provincia de Lugo, el PTF planteaba únicamente la construcción de vía doble y posibles variantes en el tramo entre León y Monforte, línea que se consideraba prioritaria para comunicar Galicia con el resto de España y, en particular, para el establecimiento de una red de servicios Intercity.

### Plan Director de Infraestructuras (PDI)

El Plan director de Infraestructuras (PDI) fue aprobado por el gobierno en el año 1994 y comprendía su horizonte temporal desde entonces hasta el año 2007.

Relativo a Ferrocarriles el plan comprendía como principal objetivo la optimización de las infraestructuras ferroviarias existentes y explotación con la finalidad de lograr la optimización del ferrocarril y la optimización del servicio. En línea con este objetivo se planteaba concentrar la oferta para el transporte de viajeros en los corredores congestionados donde existiera una demanda suficiente como para recurrir a este transporte. En el ámbito de transporte de mercancías se planteaba

mejorar la accesibilidad a los nodos principales, como son los puertos además de desarrollar centros de almacenamiento y regulación de cargas.

Una de las decisiones que tuvo mayor impacto fue el establecimiento de un programa de reconversión de la red ferroviaria por el que se sustituía el ancho existente de 1668mm al ancho estándar de 1435mm.

Las actuaciones sobre la red ferroviaria explotada por Renfe comprendían los siguientes objetivos:

- Alta velocidad.
- Grandes accesos y variantes.
- Modernización de líneas.
- Actuaciones complementarias.
- Conservación y mantenimiento.
- Seguridad.



*Figura 30. Propuestas del Plan Director de Infraestructuras en líneas ferroviarias*

*de Alta Velocidad y actuaciones estructurantes sobre la red. (Fuente: Ministerio de Fomento)*

También se consideraron un conjunto de actuaciones puntuales sobre la red de vía estrecha explotada por Feve.

El volumen total de inversión en infraestructura ferroviaria interurbana a lo largo del Plan Director de Infraestructuras ascendía a unos 2,9 billones de pesetas de 1992 (17 429 millones €), lo que suponía una inversión media anual del orden de 195000 millones de pesetas (1172 millones €).

En lo que se refiere a Galicia, y más concretamente a la provincia de Lugo, no existía en el PDI ninguna actuación planteada sobre su red ferroviaria dentro de los programas de Alta Velocidad o en el de grandes accesos y variantes. Con respecto al programa de modernización de líneas para permitir la circulación a 160 km/h, se planteó la mejora de la línea León – Monforte de Lemos (figura 30), con lo que una vez más se consideraba como corredor ferroviario prioritario de entrada y salida de Galicia este tramo, tal y como ya se había sugerido a partir de las intervenciones planteadas por el PTF.

### **Plan de Infraestructuras Ferroviarias (PIF)**

El Plan de Infraestructuras Ferroviarias fue elaborado por la Dirección General de Infraestructuras del Transporte Ferroviario del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, y se presentó en diciembre de 1995. Su horizonte de planificación estaba definido en el año 2000.

El Plan de Infraestructuras Ferroviarias se inscribió dentro del PDI, respondiendo, entre otras, a dos cuestiones básicas:

- Definir con mayor precisión las actuaciones previstas en el PDI desde un punto de vista técnico y presupuestario.
- Programar las actuaciones teniendo en cuenta diferentes escenarios presupuestarios y establecer, en consecuencia, la prioridad de su realización.
- Con respecto a Galicia, el Plan de Infraestructuras Ferroviarias volvió a recoger, al igual que lo habían hecho el PTF y el PDI, la construcción de la variante Norte para el paso de la Sierra de Guadarrama (presupuestada en 200000 Mpts). No obstante, esta actuación se complementa con la mejora de su acceso ferroviario a la Meseta, que fue presupuestado en 160000 Mpts.

No obstante, el PIF manifestaba reservas sobre cuál era el acceso más idóneo a Galicia (el acceso norte que, desde León, atraviesa el Bierzo, llegando a Monforte de Lemos o el sur, que desde Zamora llega a Ourense a través de Puebla de Sanabria). Por ello, el PIF quedaba a la espera de los resultados de los estudios que permitieran definir con claridad las ventajas, inconvenientes y costes de cada una de estas opciones.

En el programa de actuaciones complementarias, que tenía como objetivo extender al territorio peninsular las mejoras obtenidas a través de las actuaciones estructurantes, en la provincia de Lugo se planteó la mejora de la línea Monforte de

Lemos – Ourense, con una inversión de 6900 millones de pesetas (alrededor de 41,5 millones €).

### **Plan de Infraestructuras de Transporte 2000-2007**

El Plan de Infraestructuras fue aprobado por el gobierno en el año 2000. Su horizonte temporal era de 10 años con una inversión prevista de 105.000 millones € con el objetivo de dotar al país de unas modernas y completas redes de transporte que lograsen la integración plena en las redes transeuropeas de transporte.

Una de las decisiones más importantes de este plan es la apuesta del ferrocarril como el transporte del futuro. Se consideraba la alta velocidad como la alternativa al transporte aéreo en las distancias medias. Como consecuencia de esto, la mayor partida de transporte dentro de este plan se la llevaban las infraestructuras ferroviarias como veremos en el siguiente cuadro.

*Tabla 30. Inversiones en Infraestructuras por sector. (Fuente: Ministerio de Fomento)*

<b>Partida</b>	<b>Inversión M€</b>	<b>%</b>
Carreteras	39835,1	38%
Ferrocarriles	40496,2	62%
Aeropuertos	11419,2	47%
Puertos	9450	72%
Correos y otros	3606,1	100%

En lo que se refiere al transporte ferroviario, los objetivos del Plan de Infraestructuras 2000 - 2007 fueron:

- Reducir los tiempos de recorrido: todas las capitales debían quedar a menos de 4 horas de Madrid y ninguna provincia estaría a más de 6 horas y media de Barcelona.
- Aumentar la participación del ferrocarril en la demanda global del transporte y hacerle competitivo frente a la carretera y al avión, de tal manera que fuera capaz de captar el 30% del tráfico que se generase entre puntos de origen y destino.
- Incrementar la demanda de viajeros, tanto en los servicios de larga distancia como en los regionales, alcanzándose los 68 millones de viajeros/año a la finalización del Plan.
- Mejorar el resultado económico de la explotación en los servicios ferroviarios.

El Plan de Infraestructuras 2000-2007, en materia de Ferrocarriles, se articulaba en tres programas:

Dentro del programa de Alta Velocidad, la primera actuación clave que afectaba a Galicia, al igual que a otras comunidades del Noroeste, era la construcción de la variante de Guadarrama, actuación principal del corredor Norte -Noroeste de Alta Velocidad. La construcción y gestión de esta obra se encomendó al Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF), como parte de la nueva línea de Alta Velocidad Madrid – Segovia – Valladolid/Medina del Campo, diseñada para una velocidad de 300 km/h. Esta obra se presupuestó en 1 800 millones €.



Figura 31. Red ferroviaria de Alta Velocidad propuesta en el PIT 2000 - 2007. (Fuente: Ministerio de Fomento)

La línea de Alta Velocidad Madrid -Valladolid será el tronco común del que se deriven los ramales al País Vasco, Cantabria, Asturias y Galicia, al igual que ocurrió a mediados del siglo XIX (figura 31). Precisamente, es en el Plan de Infraestructuras 2000-2007 donde aparece por primera vez recogida la conexión a Galicia mediante una línea de Alta Velocidad, cuya penetración en Galicia se realizaría a través del acceso sur (Zamora).

Las relaciones entre Lugo y Madrid se encauzarían a través de Ourense, mediante la mejora de la línea actual. El coste de esta actuación fue estimado por el Ministerio de Fomento en torno a 364 millones €.

## Plan Galicia

Con motivo del desastre medioambiental originado por el hundimiento del petrolero Prestige, el Consejo de Ministros celebrado en A Coruña el 24 de enero del 2003 aprobó una serie de inversiones en infraestructuras conocido como Plan Galicia. De esta manera, se reconocía el extraordinario impacto que el accidente del Prestige había supuesto para las economías de los territorios afectados, que no se podía solucionar limitándose a limpiar las consecuencias de la marea negra e indemnizar. Precisamente por ello, el gobierno precisó que este Plan no era paliativo, sino de impulso y expansión de las regiones afectadas.

A partir de estos principios, el Plan Galicia se articulaba en cinco objetivos:

- La regeneración medioambiental de las zonas afectadas.
- El impulso de la inversión productiva privada.
- La diversificación sectorial de la economía.
- La búsqueda de la cohesión territorial interna.
- La convergencia con España.
- Potenciar la imagen de la Comunidad Autónoma.

El Plan contaba con un presupuesto de 248892 millones € distribuidos en siete grandes líneas de actuación. Las mayores inversiones del Plan se dirigen al ferrocarril, que concentra cerca del 50% del total (incluyendo las actuaciones urbanas). Destacan las inversiones de 83450 millones € (un 33,5% del total) destinadas a Altas Prestaciones, es decir, a la extensión por todo el territorio de la red de Alta Velocidad y tráfico mixto. Otro de los puntos básicos es la supresión y mejora de pasos a nivel, para lo que se destinaron 3560 millones €.

## Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)

El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020 (PEIT), fue elaborado por el Ministerio de Fomento y fue aprobado por el Consejo de Ministros de 15 de julio de 2005. Dentro del Plan se contemplaban actuaciones con una inversión total de 241 392 millones €.

Los objetivos principales del PEIT eran:

- Impulsar la competitividad y el desarrollo económico.
- Fortalecer la vertebración y la cohesión territorial y social, garantizando la accesibilidad homogénea en todo el territorio.
- Asegurar la sostenibilidad del sistema de transportes.
- Incrementar la seguridad de los distintos modos de transporte.
- Lograr un sistema de transportes eficiente que satisfaga con calidad las necesidades de movilidad.
- Restablecer el equilibrio entre los distintos modos de transporte.

- Lograr una adecuada inserción del sistema español de transporte en el ámbito europeo, incluyendo la mejora de las conexiones con los países vecinos.

Las actuaciones en líneas ferroviarias suponían el 43% del presupuesto para el conjunto del Plan, lo que representaba un desembolso de 103410 millones € a lo largo de 15 años. Se apostaba por el desarrollo de corredores de altas prestaciones de tráfico mixto, por los que circularían tanto trenes de viajeros como de mercancías. Este mapa ferroviario contempla cuatro corredores radiales de uso exclusivo para viajeros (figura 32):

- El corredor Madrid -Andalucía, ya en funcionamiento en el momento de redactar el Plan.
- El corredor Madrid -Barcelona (que se concluyó en febrero de 2008, en pleno desarrollo del Plan).
- El corredor Madrid -Levante, inaugurada el 18 de diciembre de 2010.
- La línea de acceso a Galicia que unirá Madrid con Santiago de Compostela.

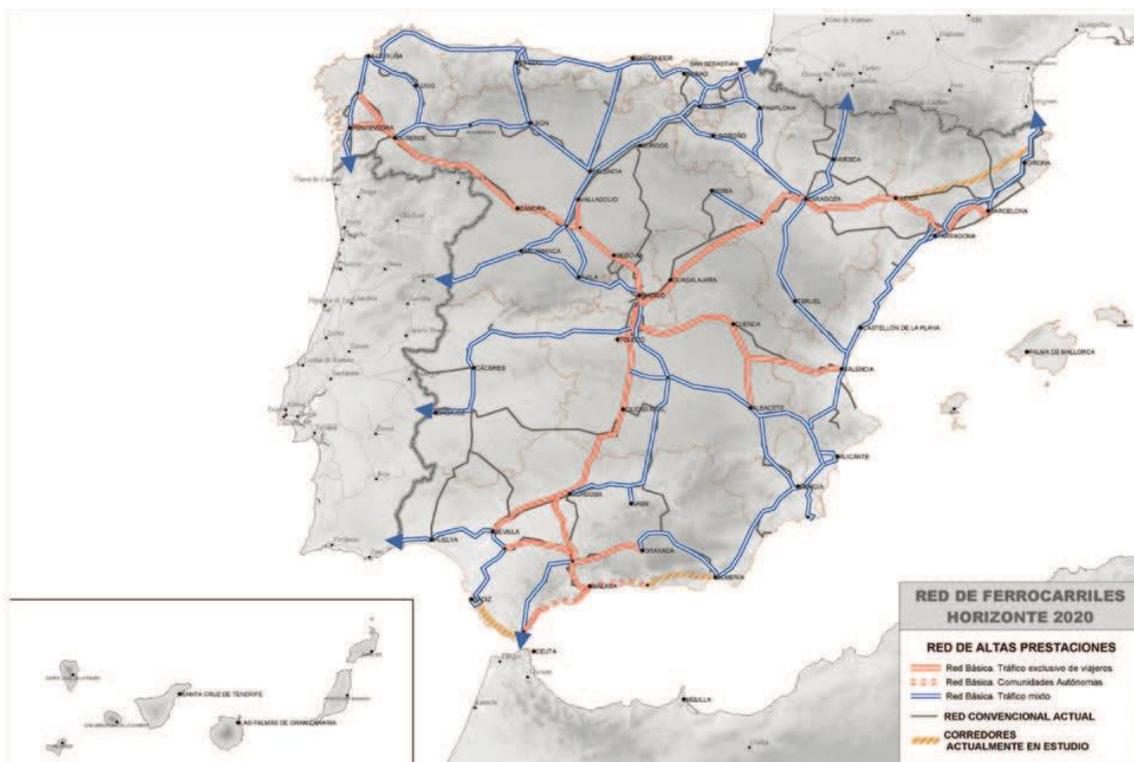


Figura 32. Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte. (Fuente: Ministerio de Fomento)

En el horizonte del Plan, las actuaciones que se habrían desarrollado en materia de ferrocarriles permitirían:

- Alcanzar una red de más de 10 000 km de líneas de altas prestaciones.

- Una red de altas prestaciones extendida al conjunto del territorio nacional.
- Todas las capitales de provincia tendrían acceso a servicios ferroviarios de altas prestaciones.
- El 90% de la población peninsular se situaría a menos de 50 km de una estación de la red de altas prestaciones.

Por lo que se refiere a Galicia, el PEIT mantiene el conjunto de actuaciones programadas en el Plan de Infraestructuras del año 2000 y en el Plan Galicia, modificando, en su caso, el uso programado de las nuevas infraestructuras para trenes exclusivamente de viajeros o trenes de viajeros y mercancías (tráfico mixto).

De forma precisa, y por lo que atañe a la provincia de Lugo, destacan las siguientes actuaciones (figura 32):

- Línea A Coruña – Lugo – Monforte – Ourense de Altas Prestaciones. Esta actuación permite mejorar la conexión ferroviaria de Lugo con Ourense y A Coruña.
- Línea Monforte – Ponferrada. El interés de esta actuación se basa en la articulación de un corredor ferroviario Subcantábrico de Altas Prestaciones, que enlazaría Galicia con el norte de la meseta castellana, hacia León.
- Línea de Altas Prestaciones del Cantábrico. Se busca establecer una línea ferroviaria que facilite la movilidad de personas y mercancías a lo largo de toda la cornisa cantábrica, conectada al Eje Atlántico y, en su momento, con servicios hacia Lisboa, por una parte, y a la frontera francesa por otra, a través de la Y vasca. Esta línea prevé conectar Ferrol con Bilbao, atravesando Asturias, Cantabria y el País Vasco.

### ***Línea Lugo - Monforte - Ourense***

En el marco del Plan de Infraestructuras 2000-2007, la modernización de la línea ferroviaria que une Lugo, Monforte de Lemos y Ourense se planteó inicialmente con una filosofía similar a la que se adoptó en la transformación del Eje Atlántico ferroviario: aprovechar en lo posible el trazado existente y construir variantes en aquellas zonas en las que éste no permitiera mejoras significativas. Con ello se pretendía elevar la velocidad de circulación de los trenes, incrementar la calidad de los servicios y reducir significativamente los tiempos de viaje, mejorándose de esta manera la oferta de transporte.

El estudio informativo que analizó esta modernización del trazado entre Lugo y Ourense se licitó el 15 de diciembre de 2000, siendo adjudicado a INECO en mayo de 2001.

Dicho estudio informativo planteaba un trazado de 104,5 km, que reducía en 12,5 km el existente (tramo Lugo -Monforte, de 71 km, y el tramo Monforte -Ourense, de 46 km). Se proponía una línea de vía única que permitía la circulación simultánea de

trenes en ancho estándar (1435 mm) y ancho ibérico (1668 mm) mediante la adopción de traviesas de tres carriles. Se contemplaba su electrificación a 3000 V en corriente continua, transformable a  $2 \times 25000$  V y 50 Hz.

En el estudio se planteaba la construcción de cuatro variantes: A Pobra de San Xiao, Rubián, Canabal y Os Peares (figura 33). La infraestructura de dichas variantes estaba diseñada para albergar una vía doble, aunque inicialmente sólo se montaría una de las dos vías. El trazado en estas variantes, junto con dos rectificaciones de trazados, debía permitir alcanzar una velocidad máxima de 220 km/h.

La variante de Os Peares comenzaba, en sentido Ourense -Lugo, tras el puente que salva el río Miño en Os Peares, con un túnel de 8750 m de longitud que finalizaba en la ribera derecha del río Cabe, que sería salvado mediante un viaducto de 340 m. Esta variante, de 9780 m, conectaba con la variante de Canabal. La variante de Rubián tenía una longitud de 12720 m, requiriendo la construcción de tres túneles de 5350, 600 y 400 m de longitud, y tres puentes sobre el río Barbadelo. Los túneles proyectados eran del tipo monotubo, con una sección libre de 52 m<sup>2</sup>, en vía única.

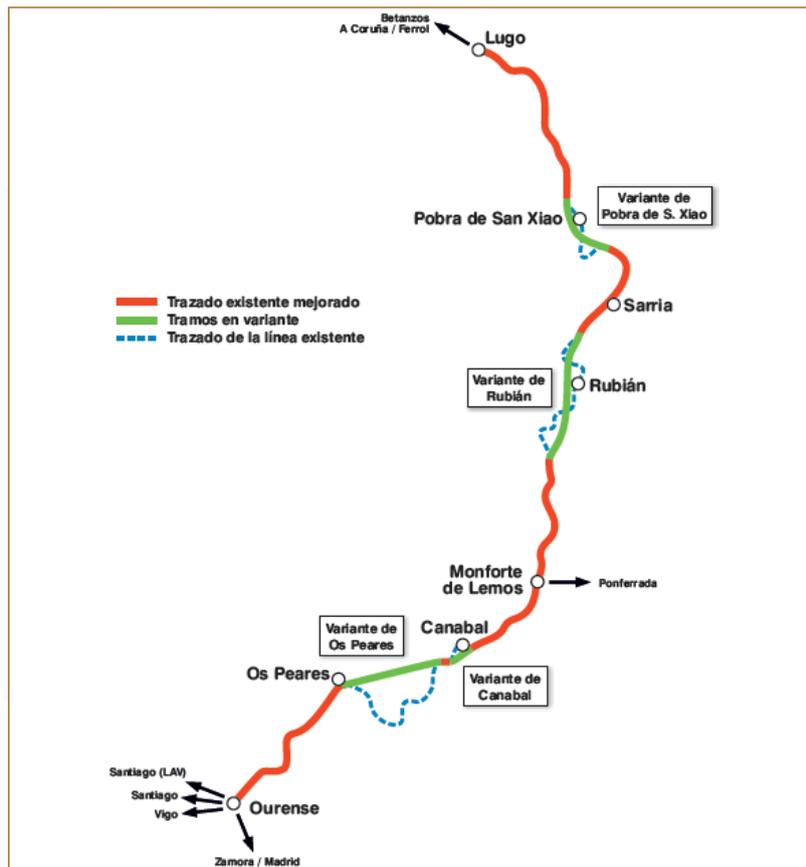


Figura 33. Esquema de la modernización de la línea Lugo - Ourense planteada en el Estudio Informativo licitado por el Ministerio de Fomento en 2000.

