



MINISTERIO
DE TRANSPORTES,
Y MOVILIDAD SOSTENIBLE

SECRETARÍA DE ESTADO
DE TRANSPORTES Y
MOVILIDAD SOSTENIBLE
SECRETARÍA GENERAL
DE TRANSPORTE TERRESTRE

DIRECCIÓN GENERAL
DEL SECTOR FERROVIARIO



ESTUDIO INFORMATIVO DE LA DUPLICACIÓN DE LA LÍNEA
MONTCADA BIFURCACIÓ – PUIGCERDÁ FRONTERA FRANCESA.
TRAMO VIC - CENTELLES.

ANEJO 21. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

ANEJO 21. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	1
3.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	3
3.1	Descripción general de la metodología de análisis	3
3.1.1	Determinación de los criterios de valoración	3
3.1.2	Obtención de indicadores.....	4
3.1.2.1	Medio Ambiente.....	4
3.1.2.2	Inversión.....	4
3.1.2.3	Funcionalidad	4
3.1.2.4	Vertebración territorial.....	5
3.1.3	Obtención del modelo.....	5
3.1.4	Análisis multicriterio	5
3.1.4.1	Análisis de Robustez	5
3.1.4.2	Análisis de Sensibilidad	6
3.1.4.3	Análisis de Preferencias	6
3.2	Análisis de alternativas	6
3.2.1	Obtención de indicadores.....	6
3.2.1.1	Medio ambiente	6
3.2.1.2	Inversión.....	14
3.2.1.3	Funcionalidad	14
3.2.1.4	Vertebración territorial.....	15
3.2.2	Modelo numérico y análisis.....	15
4.	RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	16
4.1	Metodología del análisis multicriterio	16
4.1.1	Criterios.....	16
4.1.2	Análisis y resultados	17
4.2	Conclusiones del análisis	17

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se enmarca en el “ESTUDIO INFORMATIVO DE LA DUPLICACIÓN DE LA LÍNEA MONTCADA BIFURCACIÓ – PUIGCERDÀ FRONTERA FRANCESA. TRAMO VIC - CENTELLES” y tiene como objeto identificar y realizar un análisis comparativo de las distintas alternativas propuestas con el fin de seleccionar aquellas que presentan un mayor nivel de cumplimiento de los objetivos de la actuación y que, en consecuencia, se propondrán para su desarrollo en fases posteriores a nivel de proyecto de construcción.

Para llevar a cabo este análisis, se ha recurrido a técnicas de análisis multicriterio, aplicando los métodos descritos en el presente anejo.

El Estudio Informativo desarrolla **dos alternativas** de duplicación correspondiente a sendos trazados, diseñados para velocidades diferentes:

- ALTERNATIVA 1. Duplicación de vía para velocidad máxima 120 km/h
- ALTERNATIVA 2. Duplicación de vía para velocidad máxima 160 km/h

La alternativa “0”, correspondiente a no hacer ninguna actuación, no es incorporada al análisis comparativo debido a que la duplicación de vía del tramo Vic-Centelles se encuentra recogida en la Actualización del Plan de Rodalies 2020-2030.

Por tanto, el presente Análisis Multicriterio se centra en comparar entre sí las dos alternativas propuestas para la duplicación de vía del tramo Vic-Centelles.

2. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Se han estudiado dos alternativas de trazado denominadas alternativa 1 y alternativa 2, para diferentes velocidades de proyecto (120 Km/h y 160 Km/h respectivamente).

Alternativa 1: duplicación para velocidad 120 Km/h.

Alternativa 2: duplicación para velocidad 160 Km/h.

El esquema funcional del tramo es el mismo para las dos alternativas. El inicio de la duplicación de vía se ha diseñado para compatibilizarlo con la futura duplicación de vía del tramo La Garriga-Centelles y evitar afecciones a viviendas situadas en el pasillo ferroviario.

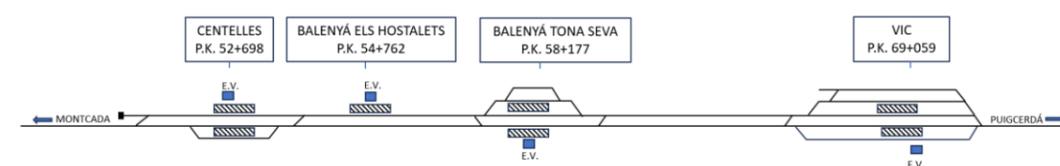


Figura 1. Esquema funcional en una primera fase.

Una vez que se duplique el tramo anterior La Garriga-Vic, se levantará el escape de entrada a Centelles y se sustituirá por uno simétrico. Este pasará a ser el esquema funcional:

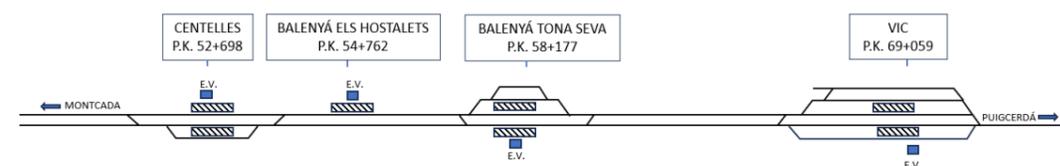


Figura 2. Esquema funcional definitivo una vez se duplique el tramo anterior.

Por lo tanto, la diferencia entre las dos alternativas de trazado obedece exclusivamente a la diferencia en la velocidad máxima de circulación admisible, pero no al esquema funcional.

La solución en las tres estaciones del tramo es la misma para las dos alternativas estudiadas.

Para la ejecución de las obras, ambas alternativas necesitan un corte del tráfico programado de 9 meses para poder ejecutar el tramo de duplicación en Els Hostalets de Balenyà, en el que es necesario ampliar un tramo en trinchera en un ámbito urbano, tramo que se ejecutará entre muros.

El corte del servicio tiene que ser desde la estación de Vic, ya que en el apeadero de Balenyà Els Hostalets no se puede plantear una situación provisional en la que los trenes reboten hacia Centelles.

Se podría realizar el corte únicamente entre Centelles y la estación de Balenyà Tona Seva, pero lo que se plantea en este estudio es el corte de todo el tramo entre la estación de Centelles y Vic. De esta forma, se simplifica la ejecución de las obras aprovechando el corte para realizar las estructuras de todo el tramo. La estación de Centelles, por lo tanto, permanecerá en servicio durante toda la obra.

Alternativa 1: Duplicación a 120 Km/h

Esta solución consiste en una estricta duplicación de vía entre Vic P.K. 67+660 y Centelles P.K. 52+200, con una longitud total aproximada de 15,4 km.

La alternativa 1 aprovecha la plataforma existente, realizando una duplicación de vía que mantiene el trazado de la línea actual. En función de los condicionantes existentes, la duplicación se realiza o bien por la derecha, o bien por la izquierda de la vía existente en diferentes tramos.

Con este trazado, la velocidad de proyecto del tramo es de 120 Km/h.

Alternativa 2: Duplicación a 160 Km/h

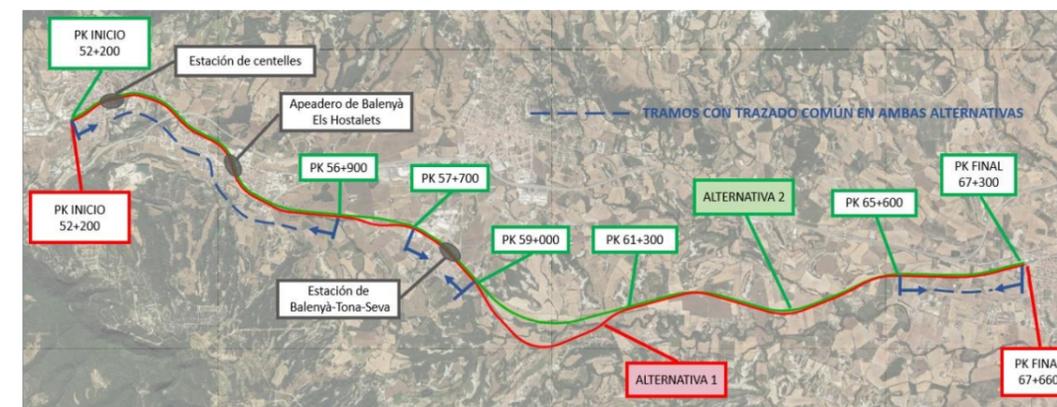
Esta alternativa consiste en una duplicación ferroviaria de vía doble de 15,1 kilómetros de longitud, que discurre a cielo abierto entre los PP.KK. 52+200 y el final del Estudio Informativo (P.K. 67+300).

Entre los PP.KK. 59+000 y 61+300, la plataforma de vía doble discurre en variante que se aleja considerablemente de la vía actual, llegando en un tramo a discurrir 400 metros al oeste. En este tramo, se proyectan dos nuevos viaductos y un nuevo paso inferior, además de varias obras de drenaje.

A partir del P.K. 61+300 y hasta el PK 65+600, el trazado de esta alternativa se desarrolla siguiendo el corredor ferroviario actual con ligeras modificaciones que permiten mejorar la velocidad máxima de paso por curva hasta los 160 km/h.

El desarrollo de la variante es 0,4 kilómetros inferior al de la alternativa 1.

En varios tramos, que están identificados en la imagen que se puede ver más abajo, la actuación consiste en la duplicación estricta de la vía actual tal y como se desarrolla en la alternativa 1.

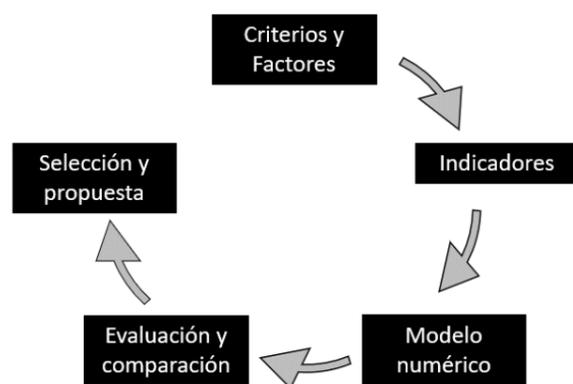


3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 Descripción general de la metodología de análisis

La metodología de análisis que conduce a la selección de la alternativa óptima se ha basado en el desarrollo del siguiente proceso:

- Determinación de los criterios, factores y conceptos más adecuados para valorar el nivel de cumplimiento de los objetivos de la actuación y del grado de integración en el medio de cada alternativa.
- Obtención de los indicadores que permitan la valoración cuantitativa de las alternativas con respecto a estos criterios.
- Obtención del modelo numérico que permite sintetizar las valoraciones parciales en un solo índice, aplicando coeficientes de ponderación o pesos que permitan graduar la importancia de cada criterio.
- Aplicación de procedimientos de análisis basados en el modelo numérico obtenido y que, empleando diversos criterios de aplicación de pesos, permitan la evaluación y comparación de alternativas.



Las actuaciones llevadas a cabo en cada una de las fases de este proceso se describen seguidamente.

3.1.1 Determinación de los criterios de valoración

Atendiendo a los objetivos fijados para la actuación y a las características del medio social y ambiental en que ésta se desarrolla, se ha estimado conveniente valorar las alternativas considerando los siguientes criterios:

- Medio Ambiente

- Inversión
- Funcionalidad
- Vertebración Territorial

Para valorar la idoneidad de cada alternativa con respecto a cada uno de estos criterios, se ha deducido un parámetro único, cuyos valores oscilan en todos los casos entre 0 y 1, deducidos a partir de la evaluación de diversos factores y (en algunos casos) conceptos simples escogidos por su representatividad, su importancia y la factibilidad de su valoración por métodos cuantitativos. Los factores y conceptos simples adoptados dentro de cada criterio se desarrollan en los apartados correspondientes para cada una de las soluciones analizadas. La gradación en criterios, factores y conceptos simples permite una aproximación progresiva a cada alternativa propuesta y a la vez una simplificación de la valoración de estas mediante la obtención de una sola puntuación por alternativa para cada criterio. El esquema de gradación adoptado es:

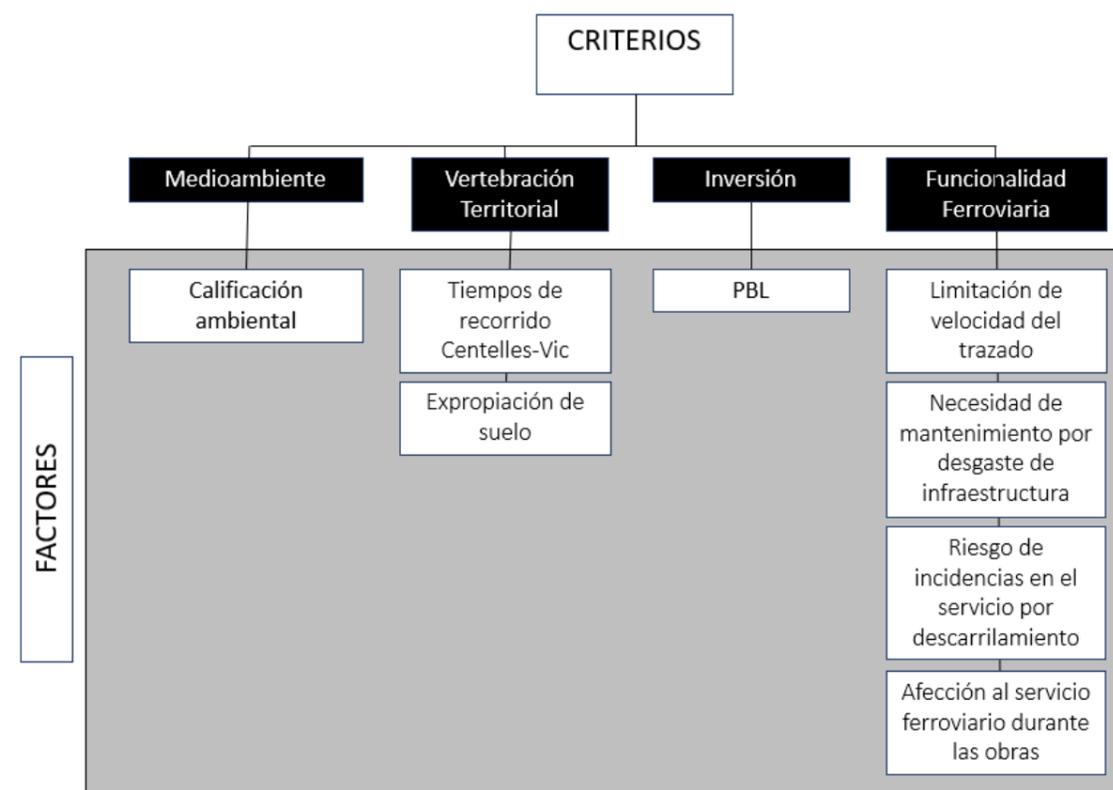


Figura 3. Ejemplo de factores para el análisis

A los criterios, factores y conceptos se les asigna unos pesos de ponderación entre 0 y 1, siendo la suma de todos ellos igual a la unidad, y cuyos criterios de cálculo son los siguientes:

- En los criterios valorados directamente con un solo indicador numérico no sintético (por ejemplo, la inversión), o en aquellos cuyo valor indicador no dé diferencias apreciables entre alternativas, se asigna valor 1 a la óptima y el valor de las demás se obtiene restando a 1 una cantidad proporcional (con o sin factor amplificador) a la diferencia porcentual que tienen con la óptima.
- En los criterios valorados con un indicador que no se corresponde de forma directa con una magnitud medible, puede alternativamente utilizarse el método anterior (adecuado si las alternativas presentan valores de indicador muy homogéneos), o un escalado que asigne valor 1 a la alternativa óptima, 0 a la pésima, y valores intermedios proporcionales al valor del indicador en el resto de las alternativas.

3.1.2 Obtención de indicadores

La modelización numérica requiere la utilización de unos índices desprovistos en la medida de lo posible de subjetividad, que definan cuantitativamente el comportamiento de las alternativas con respecto a cada criterio. Dado que estos índices suponen en algunos casos una síntesis de diversos factores que intervienen en la caracterización, se ha considerado necesario desarrollar la obtención de los indicadores en dos niveles:

- **Nivel 2:** en él se produce la caracterización de los factores a través de su valor deducido o medido y, cuando el factor sea compuesto, a través de un índice que sintetiza las aportaciones de sus componentes, empleando cuando sea necesario pesos basados en factores objetivos para graduar el nivel de influencia de cada uno de estos factores compuestos.
- **Nivel 1:** en él se produce la homogeneización de los valores obtenidos para cada índice, situándolos todos en la misma escala [0,1] mediante un escalado proporcional, de acuerdo con uno de los dos métodos descritos en el apartado anterior.

El proceso de modelización para cada criterio se describe seguidamente.

3.1.2.1 Medio Ambiente

La descripción detallada del proceso de obtención de los parámetros medioambientales se encuentra en el *Documento Nº 4 Estudio de Impacto Ambiental*. Los factores estudiados en el nivel 1 y 2 han sido:

- Calidad del aire y cambio climático
- Ruido y vibraciones
- Geología y geomorfología
- Suelos
- Hidrogeología

- Aguas superficiales
- Vegetación y hábitats de interés
- Fauna
- Espacios naturales de interés
- Medio perceptual
- Patrimonio cultural
- Vías pecuarias y caminos de interés
- Factores sociales y económicos

Con estos factores se ha obtenido una calificación final medioambiental, que representa más grado de afección medioambiental cuanto menor sea su valor.

En el Nivel 1 estos valores se han escalado, obteniendo valores finales comprendidos en el intervalo [0,1].

3.1.2.2 Inversión

Se ha considerado como indicador el Presupuesto Base de Licitación (PBL) por representar mejor la diferencia entre ambas alternativas.

Se ha descartado el empleo de factores de rentabilidad, dado que los resultados obtenidos hacen que ambas alternativas sean similares, tal y como se detalla en el *Anejo Nº 20 Estudio de rentabilidad*.

Por tanto, se centra el análisis de inversión en el corto plazo, es decir, la inversión inicial en infraestructura, que es un factor que no va a estar sujeto a variables que puedan hacer oscilar la valoración comparativa de alternativas.

En el nivel 1 se ha efectuado el escalado inverso, dado que la alternativa es tanto más favorable cuanto menor PBL implique.

3.1.2.3 Funcionalidad

Ambas alternativas responden a un esquema funcional idéntico en estaciones y trayecto. Los únicos parámetros que las diferencian desde el punto de vista no estrictamente de funcionalidad, sino más asociados a consumos, mantenimiento e incidencias:

- Limitación de velocidad del trazado.
- Necesidad de mantenimiento por desgaste de infraestructura.
- Riesgo de incidencias en el servicio por descarrilamiento.
- Afección al servicio ferroviario durante las obras.

En el nivel 1 se ha efectuado el escalado directo/inverso según el indicador sea favorable o desfavorable.

3.1.2.4 Vertebración territorial

Se emplean los indicadores que resultan más representativos respecto al cumplimiento de los objetivos del planeamiento y la afección en superficie de las alternativas. Particularmente, se establecen los siguientes factores de comparación:

- Tiempos de recorrido Centelles-Vic: segundos.
- Expropiación de suelo no propiedad de ADIF: m2.

3.1.3 Obtención del modelo

Los índices anteriores, que definen la valoración parcial de las alternativas con respecto a los cuatro criterios considerados, suponen el primer paso para la obtención de un modelo numérico que pueda emplearse como herramienta básica del análisis multicriterio.

El modelo obtenido está basado en la matriz numérica que se emplea en el **método PATTERN** (Planning Assistance through Technical Evaluation of Relevance Numbers), que permite sintetizar las valoraciones obtenidas por las alternativas para cada criterio en un sólo parámetro llamado **IP (Índice de Pertinencia)**, cuyos valores están comprendidos en el intervalo [0,1], correspondiendo el 1 a la óptima y un valor entre 0 y 1 a la otra alternativa, proporcional a su diferencia con la óptima, mediante la aplicación de pesos o coeficientes de ponderación, creando un modelo que permite la comparación directa. De esta forma, se obtiene una matriz alternativas – criterios con la que se obtiene el IP para cada alternativa de la siguiente forma:

$$IP_i = \frac{MAX - \sum_j \beta_j a_{ij}}{MAX - MIN}$$

Donde:

- a_{ij} es la calificación obtenida por la alternativa i para el criterio j
- β_j es el coeficiente de ponderación del criterio j , cumple la condición $\sum \beta_j = 1$
- MAX es el valor máximo de $\sum \beta_j \cdot a_{ij}$ de entre los obtenidos por todas las alternativas.
- MIN es el valor mínimo de $\sum \beta_j \cdot a_{ij}$ de entre los obtenidos por todas las alternativas.

Con este modelo se pueden desarrollar diversos métodos de análisis multicriterio que, empleando diferentes criterios de aplicación de pesos, permitan alcanzar los objetivos del proceso de análisis de alternativas.

3.1.4 Análisis multicriterio

Tras la obtención del modelo numérico se plantea la necesidad de evaluar las alternativas de forma global, empleando procedimientos que permitan aplicar los coeficientes de ponderación necesarios sin distorsionar los resultados. Estos procedimientos son los siguientes:

- **ANALISIS DE ROBUSTEZ:** consiste en aplicar todas las combinaciones posibles de pesos a todos los criterios comprendidos en el modelo numérico anterior, obteniéndose el número de veces que cada alternativa resulta ser óptima. Este procedimiento es el más desprovisto de componentes subjetivos, y pone de relieve qué alternativas presentan mejor comportamiento general con los criterios marcados. Para este análisis se ha empleado una aplicación informática desarrollada por SAITEC.
- **ANALISIS DE SENSIBILIDAD:** consiste en aplicar el mismo procedimiento que en el análisis de robustez, pero limitando los valores posibles de cada peso a un cierto rango, de manera que se evita tomar en consideración en el análisis ponderaciones extremas que podrían distorsionarlo. Para el presente análisis se ha establecido un rango de ponderaciones comprendida entre el 10 % y el 50 %.
- **ANALISIS DE PREFERENCIAS:** es el método PATTERN tradicional, y consiste en aplicar pesos a cada criterio de tal forma que respondan a un orden de preferencias relativas que se propone como más adecuado para evaluar la actuación según una prelación establecida.

La metodología aplicada en cada procedimiento se describe a continuación:

3.1.4.1 Análisis de Robustez

Para efectuar el análisis de robustez se ha partido del modelo numérico desarrollado anteriormente, sin coeficientes de ponderación. Este modelo se ha tratado con una aplicación informática que le aplica todas las posibilidades de combinación de pesos (es decir, aquellas cuya suma es 10), en incrementos de una unidad.

En este caso establecemos que los pesos (β_j) cumplirán:

$$\begin{cases} \beta_i \in [0,10] \\ \Delta\beta_i = 1 \\ \sum_i \beta_i = 10 \end{cases}$$

El resultado que se obtiene es el número de veces que cada alternativa obtiene la máxima calificación.

3.1.4.2 Análisis de Sensibilidad

Al igual que en el análisis de robustez, se han aplicado todas las combinaciones posibles de pesos a los diferentes criterios, pero limitando el rango de variación de éstos al intervalo [1,5], de manera tal que se evitan las valoraciones en las cuales algún criterio recibe peso 0 y aquellas en las que algún criterio tiene una ponderación superior al 50 %.

En este caso establecemos que:

$$\begin{cases} \beta_i \in [1,5] \\ \Delta\beta_i = 0,2 \\ \sum_i \beta_i = 10 \end{cases}$$

El incremento aplicado a las combinaciones de pesos ha sido 0,2.

3.1.4.3 Análisis de Preferencias

El último procedimiento de análisis aplicado, llamado habitualmente **método PATTERN**, tiene en cuenta el orden de importancia relativa entre criterios más apropiados para las características de la actuación, señalado al principio de este apartado. Al igual que en otros casos, se aplican al modelo numérico los pesos que se deducen de los siguientes niveles de prioridad:

- Funcionalidad..... 1 (0,48)
- Inversión 2 (0,24)
- Medio ambiente 3 (0,16)
- Vertebración territorial.....4 (0,12)

Los pesos se obtienen de aplicar la fórmula:

$$W_i = \frac{\frac{1}{r_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}}$$

siendo r_i el nivel de prioridad de cada criterio.

El resultado permite asegurar el diagnóstico dado para cada alternativa por los demás análisis con respecto al grado de cumplimiento de los objetivos de la actuación y su nivel de integración en el entorno.

3.2 Análisis de alternativas

3.2.1 Obtención de indicadores

3.2.1.1 Medio ambiente

Para la valoración de los impactos, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones, en función del grado de definición existente en esta fase del estudio de todos los elementos asociados al presente proyecto de duplicación de la línea Montcada Bifurcació – Puigcerdá Frontera Francesa. Tramo Vic – Centelles.

En la construcción se realizarán una serie de actuaciones ligadas, tanto a la fase de construcción (obras), como a la fase de explotación. Estas acciones pueden generar impactos sobre los factores ambientales anteriormente identificados.

Dentro de cada fase de proyecto, las acciones potencialmente impactantes serán principalmente:

Fase de Construcción:

- Desbroce y despeje de vegetación.
- Movimientos de tierras y excavaciones.
- Demoliciones y levantes.
- Funcionamiento, mantenimiento y movimiento de maquinaria.
- Construcción de la plataforma ferroviaria.
- Remodelación de estaciones ferroviarias.
- Construcción y/o prolongación de infraestructuras de paso (viaductos, pasos inferiores, obras de drenaje, etc.).
- Ejecución y reposición de caminos de servicio.
- Zonas de instalaciones auxiliares de obra.
- Implantación de la catenaria.
- Zona de acopio de materiales (residuos, tierras, etc.).
- Canteras y vertederos.

Fase de Explotación:

- Presencia de la infraestructura ferroviaria.
- Presencia de la catenaria.
- Explotación ferroviaria.
- Labores de mantenimiento de la infraestructura ferroviaria.

Una vez conocidos los impactos que las distintas alternativas de trazado producen sobre los distintos elementos del medio identificados, tanto en fase de construcción, como en fase de

explotación, se procede a comparar los trazados analizados, con el fin de seleccionar la alternativa óptima desde el punto de vista ambiental.

Se presenta a continuación la tabla resumen correspondiente a las alternativas de trazado, donde se refleja el valor global del impacto para cada una de ellas, según la metodología empleada, explicada en el Estudio de Impacto Ambiental.

	FASE DE CONSTRUCCIÓN		FASE DE EXPLOTACIÓN	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1. CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO				
Calidad del aire	COMPATIBLE	MODERADO	POSITIVO	POSITIVO
Huella de carbono	COMPATIBLE	COMPATIBLE	POSITIVO	POSITIVO
2. RUIDO Y VIBRACIONES				
Calidad acústica	MODERADO	MODERADO	COMPATIBLE	COMPATIBLE
Calidad vibratoria	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	MODERADO	MODERADO
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA				
Riesgos geológicos y geotécnicos	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
Cambio en las formas del relieve	COMPATIBLE	MODERADO	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
4. SUELOS				
Cantidad de suelo: pérdida de suelo	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
Composición del suelo: contaminación, artificialización y otros	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
5. HIDROGEOLOGÍA				
Impactos sobre la hidrogeología	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
6. AGUAS SUPERFICIALES				
Hidrología superficial: escorrentía, drenaje, etc.	COMPATIBLE	MODERADO	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
Calidad de las aguas superficiales, contaminación, etc.	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
7. VEGETACIÓN				
Abundancia, densidad y productividad	COMPATIBLE	MODERADO	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
Hábitats de Interés Comunitario	MODERADO	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
8. FAUNA				
Modificación de hábitat y/o dispersión y aislamiento de poblaciones	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE
Mortalidad directa o inducida	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE	COMPATIBLE

	FASE DE CONSTRUCCIÓN		FASE DE EXPLOTACIÓN	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Especies protegidas y/o amenazadas	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
9. ESPACIOS NATURALS DE INTERÉS				
Afección a Espacios Naturales de Interés	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
10. MEDIO PERCEPTUAL				
Calidad intrínseca del paisaje	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
Visibilidad (cuenca visual)	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	COMPATIBLE	MODERADO
11. PATRIMONIO CULTURAL				
Patrimonio arqueológico, paleontológico, arquitectónico y etnológico	MODERADO	MODERADO	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
12. VÍAS PECUARIAS Y CAMINOS DE INTERÉS				
Vías pecuarias y caminos de interés	COMPATIBLE	COMPATIBLE	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO
13. FACTORES SOCIALES Y ECONÓMICOS				
Nivel/Calidad de vida	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO
Efectos sobre la salud y molestias a la población	MODERADO	MODERADO	COMPATIBLE	COMPATIBLE
Compatibilidad con la estructura del territorio	NO SIGNIFICATIVO	NO SIGNIFICATIVO	COMPATIBLE	COMPATIBLE

Matriz resumen de valoración de impactos en las alternativas analizadas.

De la valoración realizada, en primer lugar, hay que indicar que el presente proyecto se encuentra en una zona con una capacidad de acogida elevada, dado el notable nivel de antropización y transformación de su entorno, donde ya existe una línea ferroviaria en servicio. Por ello, la potencial afección que puede producir el proyecto sobre el medio ambiente del entorno se verá minimizada.

Globalmente, cabe concluir que las dos alternativas planteadas son viables desde el punto de vista ambiental, siendo más favorable a nivel ambiental la Alternativa 1 frente a la Alternativa 2.

Los impactos identificados se concentran principalmente en fase de obras y la mayoría de ellos, pasan a ser positivos o nulos en fase de explotación. Cabe señalar que no existen impactos severos en ninguna fase.

Durante la fase de construcción, la alternativa 2 presenta unos impactos mayores que la alternativa 1, en algunos de los factores ambientales analizados.

En primer lugar, el impacto producido por la contaminación de la calidad del aire será moderado, mientras que en la alternativa 1 será compatible, ya que el volumen total de movimiento de tierras de fuera de la obra será casi el doble (668.740,47 m³ frente a 345.404,16 m³ en la alternativa 1). En segundo lugar, respecto a la geomorfología, el impacto generado por los cambios en las formas del relieve se valora como moderado para la alternativa 2 y compatible para la alternativa 1, ya que los terraplenes y desmontes a ejecutar serán de mayor envergadura en la alternativa 2.

En tercer lugar, la modificación de la hidrología superficial se considera un impacto moderado en la alternativa 2, mientras en la alternativa 1, se considera compatible. Esto es debido a que en la alternativa 1, únicamente se propone la prolongación de infraestructuras de paso existentes, y no la ejecución de nuevas infraestructuras de paso. En cambio, en la alternativa 2, además de la prolongación de las infraestructuras de paso existentes de la línea actual, será necesario la ejecución de nuevas obras de drenaje y viaductos, así como un mayor número de desvíos permanentes de cauces.

En cuarto lugar, el impacto sobre la abundancia, diversidad y productividad vegetal a consecuencia de los desbroces, despejes y movimientos de tierras será mayor que en la alternativa 2, ya que la superficie de afección a formaciones vegetales será mayor en esta alternativa. No obstante, el impacto sobre los Hábitats de Interés Comunitario será mayor en la alternativa 1 (moderado frente a compatible en la alternativa 2), ya que, aunque ambas afectarán de la misma manera al HIC no prioritario 3290, la alternativa 1 podría afectar además al HIC prioritario 91E0*. En cualquier caso, mencionar que ninguno de estos hábitats está ubicado dentro de espacios pertenecientes a la Red Natura 2.000.

Por otro lado, en ambas alternativas se ha detectado un impacto moderado por el incremento de los niveles sonoros durante las obras, ya que ambas atraviesan zonas residenciales y urbanizadas donde existe un elevado número de edificaciones (mayoritariamente residenciales), que potencialmente resultarán afectadas por la ejecución de las actuaciones más ruidosas de la obra (movimientos de tierras, demoliciones y levantes, tránsito de vehículos, etc.).

La acumulación de los impactos por ruido y vibraciones, así como por el incremento de la contaminación del aire, alteraciones del tráfico, etc., y la demolición de un edificio de uso residencial, hace que las molestias a la población usuaria y residente durante las obras, se considere también un impacto moderado para ambas alternativas.

En cuanto al patrimonio cultural, el impacto producido por la alteración del patrimonio cultural se ha valorado como moderado para ambas alternativas, ya que, en primer lugar, la ejecución de ambas alternativas supondrá la pérdida del bien etnológico “Mas Illa l’Aguilar” y el bien arqueológico “Pont de Ferro”, será recolocado en otro lugar. Además, en el área de afección de ambas alternativas, se sitúa el yacimiento arqueológico “Camp del Nasí”, aunque actualmente se encuentra completamente edificado (excepto una pequeña franja al lado de la vía actual), no habiéndose documentado ninguna evidencia arqueológica durante la prospección arqueológica realizada. Durante la prospección, en el área de afección de ambas alternativas, también se documentó una posible zona de expectativa arqueológica denominada “Campo 2”, no obstante, no se observó material arqueológico relacionado con la posible estructura existente en esta zona. Por último, señalar también que en el área de afección de la alternativa 2, se ubica el bien etnológico “Molí de la Torre”, no obstante, durante la prospección, no se localizaron los restos de este molino.

Durante la fase de explotación, la mayoría de los impactos son compatibles o nulos, excepto el impacto producido por el incremento en los niveles vibratorios producidos por el funcionamiento de los trenes futuros, que se ha valorado como moderado para ambas alternativas, ya que de acuerdo con el Estudio de vibraciones incluido como *Apéndice 3* del Estudio de Impacto Ambiental, existen puntos del trazado donde se superarán los objetivos de calidad vibratoria en base a lo establecido en la legislación vigente, siendo necesario la adopción de medidas antivibratorias (colocación de mantas antivibratorias) para reducir estos niveles.

Además, al respecto de la alternativa 2, se ha detectado un impacto moderado sobre la visibilidad paisajística, al ser la alteración del paisaje mayor debido a que existen ciertos tramos del trazado proyectado (sobre todo el tramo central desde el P.k. 59+100 al 61+200) que discurren más separados de la línea actual, y por tanto, generarán una mayor intrusión visual desde diferentes puntos de interés paisajístico (natural, cultural y visual).

En esta fase, también aparecen magnitudes positivas ya que la duplicación de la vía supondrá una mejora efectiva en la red de infraestructuras de la que se beneficiará principalmente la población

al modernizar y mejorar las comunicaciones con los núcleos urbanos de la comarca de Osona. Esto supondrá una mejora en las comunicaciones que redundará de manera positiva en la calidad de vida de la población, tanto residente como usuaria de la vía.

Igualmente, el impacto sobre la calidad del aire y cambio climático se considera positivo para ambas alternativas, ya que con el aumento de la capacidad de los trenes que circulen por la línea ferroviaria objeto de estudio, un mayor número de pasajeros podrá utilizar este modo de transporte, lo que redundaría en una disminución del tráfico rodado de carretera, y consecuentemente, en una mejora de la calidad del aire. Además, considerando que un mayor número de pasajeros podrá utilizar este modo de transporte, se considera que la ejecución de cualquiera de las alternativas propuestas supondrá una mejora de la huella de carbono, respecto al escenario que no se ejecute la duplicación de la línea, ya que estos viajeros en vez de ser transferidos al transporte por carretera podrán ser transferidos a un transporte ferroviario colectivo y menos contaminante, que generará una menor huella de carbono.

Como conclusión final, hay que señalar que, aunque las dos alternativas generarían impactos sobre el medio de la zona, los impactos detectados pueden ser minimizados o corregidos mediante la puesta en marcha de las medidas protectoras y correctoras propuestas en el Estudio de Impacto Ambiental.

Los valores establecidos en cada caso son los siguientes:

MAGNITUD DEL IMPACTO	VALOR ASIGNADO
POSITIVO	1
NO SIGNIFICATIVO	0
COMPATIBLE	-1
MODERADO	-3
SEVERO	-5

Con estos valores se trata de penalizar los impactos severos y moderados frente a los compatibles, ponderando además los factores valorados.

Se adjunta tabla con las puntuaciones de los valores globales:

	PONDERACIÓN	FASE DE CONSTRUCCIÓN				PONDERACIÓN	FASE DE EXPLOTACIÓN			
		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2			ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO	VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO		VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO	VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO
1. CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO										
Calidad del aire	2	-1	-2	-3	-6	3	1	3	1	3
Huella de carbono	2	-1	-2	-1	-2	3	1	3	1	3
2. RUIDO Y VIBRACIONES										
Calidad acústica	3	-3	-9	-3	-9	3	-1	-3	-1	-3
Calidad vibratoria	2	0	0	0	0	2	-3	-6	-3	-6
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA										
Riesgos geológicos y geotécnicos	2	-1	-2	-1	-2	3	-1	-3	-1	-3
Cambio en las formas del relieve	3	-1	-3	-3	-9	3	0	0	0	0
4. SUELOS										
Cantidad de suelo: pérdida de suelo	1	-1	-1	-1	-1	1	0	0	0	0
Composición del suelo: contaminación, artificialización y otros	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
5. HIDROGEOLOGÍA										
Impactos sobre la hidrogeología	2	-1	-2	-1	-2	1	0	0	0	0
6. AGUAS SUPERFICIALES										
Hidrología superficial: escorrentía, drenaje, etc.	3	-1	-3	-3	-9	1	0	0	0	0
Calidad de las aguas superficiales, contaminación, etc.	3	-1	-3	-1	-3	1	0	0	0	0
7. VEGETACIÓN Y HÁBITATS DE INTERÉS										
Abundancia, densidad y productividad	2	-1	-2	-3	-6	1	0	0	0	0
Hábitats de Interés Comunitario	2	-3	-6	-1	-2	1	0	0	0	0
8. FAUNA										
Modificación de hábitat y/o dispersión y aislamiento de poblaciones	2	-1	-2	-1	-2	3	-1	-3	-1	-3
Mortalidad directa o inducida	2	-1	-2	-1	-2	3	-1	-3	-1	-3

	PONDERACIÓN	FASE DE CONSTRUCCIÓN				PONDERACIÓN	FASE DE EXPLOTACIÓN			
		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2			ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO	VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO		VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO	VALOR IMPACTO	VALOR PONDERADO
Especies protegidas y/o amenazadas	2	-1	-2	-1	-2	3	0	0	0	0
9. ESPACIOS NATURALES DE INTERÉS										
Afección a espacios naturales de interés	3	-1	-3	-1	-3	1	0	0	0	0
10. MEDIO PERCEPTUAL										
Calidad intrínseca del paisaje	2	-1	-2	-1	-2	3	0	0	0	0
Visibilidad (cuenca visual)	2	0	0	0	0	3	-1	-3	-3	-9
11. PATRIMONIO CULTURAL										
Patrimonio arqueológico, paleontológico, arquitectónico y etnológico	3	-3	-9	-3	-9	1	0	0	0	0
12. VÍAS PECUARIAS Y CAMINOS DE INTERÉS										
Vías pecuarias y caminos de interés	3	-1	-3	-1	-3	1	0	0	0	0
13. FACTORES SOCIALES Y ECONÓMICOS										
Nivel/Calidad de vida	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
Efectos sobre la salud y molestias a la población	3	-3	-9	-3	-9	3	-1	-3	-1	-3
Compatibilidad con la estructura del territorio	1	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1
TOTAL			-66		-82			-18		-24

Matriz de valoración de impactos con la ponderación en las alternativas analizadas.

Una vez conocidos los impactos que las distintas alternativas producen sobre los distintos elementos del medio identificados, tanto en fase de construcción, como en fase de explotación, se procede a compararlas, con el fin de seleccionar la alternativa óptima desde el punto de vista ambiental.

Se presenta a continuación la tabla resumen correspondiente a cada alternativa, donde se refleja el valor global del impacto para cada una de ellas, según la metodología descrita.

ALTERNATIVA	VALOR GLOBAL
Alternativa 1	-84
Alternativa 2	-106

Tras la normalización de estos valores se obtienen estos resultados:

FACTOR	MEDIOAMBIENTE		SUMA PONDERADA	VALORACIÓN
	UNIDAD	PESO		
	VALOR MA	1		
NIVEL	NIVEL 2	NIVEL 1		
ALTERNATIVA 1	-84,00	1,00	1,00	1,00
ALTERNATIVA 2	-106,00	0,74	0,74	0,74

Como se puede observar, tanto durante la fase de construcción como explotación, el valor de los impactos de la Alternativa 2 será ligeramente mayor. Consecuentemente, analizando el valor global de cada alternativa, desde el punto de vista medioambiental, la Alternativa 1 es más favorable que la Alternativa 2.

3.2.1.2 Inversión

A la vista del PBL obtenido para cada alternativa, se considera que resulta más favorable la alternativa 1 que la alternativa 2.

FACTOR	INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA		SUMA PONDERADA	VALORACIÓN
	UNIDAD	PESO		
	PBL M€	1		
NIVEL	NIVEL 2	NIVEL 1		
ALTERNATIVA 1	104,50	1,00	1,00	1,00
ALTERNATIVA 2	119,20	0,86	0,86	0,86

3.2.1.3 Funcionalidad

Se han considerado los siguientes factores e indicadores:

- Limitación de velocidad del trazado. Se considera como indicador directo la posibilidad de explotar la línea a mayor velocidad máxima en km/h.
- Necesidad de mantenimiento por desgaste de infraestructura. Se considera como indicador inverso la Velocidad máxima del trazado en km/h.
- Riesgo de incidencias en el servicio por descarrilamiento. Se considera como indicador inverso la Velocidad máxima del trazado en km/h.
- Afección al servicio ferroviario durante las obras. Se considera como indicador directo el porcentaje de nuevo trazado de plataforma de vía doble en variante respecto a la longitud total de duplicación.

Según los factores e indicadores elegidos para la valoración de la funcionalidad, y aplicando unos pesos que se consideran representativos de la importancia de estos indicadores en el total de la funcionalidad, se obtienen los siguientes resultados:

FACTOR	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD DEL TRAZADO		NECESIDAD DE MANTENIMIENTO POR DESGASTE DE INFRAESTRUCTURA		RIESGO DE INCIDENCIAS EN EL SERVICIO POR DESCARRILAMIENTO		AFECCIÓN AL SERVICIO FERROVIARIO DURANTE LAS OBRAS		SUMA PONDERADA	VALOR DE INDICADOR
	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO		
	km/h	0,48	km/h	0,16	km/h	0,12	km de vía afectada	0,24		
NIVEL	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1		
ALTERNATIVA 1	120	0,75	120	1,00	120	1,00	5,75	0,4784483	0,53	0,58

FACTOR	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD DEL TRAZADO		NECESIDAD DE MANTENIMIENTO POR DESGASTE DE INFRAESTRUCTURA		RIESGO DE INCIDENCIAS EN EL SERVICIO POR DESCARRILAMIENTO		AFECCIÓN AL SERVICIO FERROVIARIO DURANTE LAS OBRAS		SUMA PONDERADA	VALOR DE INDICADOR
	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO		
	km/h	0,48	km/h	0,16	km/h	0,12	km de vía afectada	0,24		
NIVEL	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1		
ALTERNATIVA 2	160	1,00	160	0,67	160	0,67	2,32	1	0,91	1,00

A la vista de lo indicado y de los resultados obtenidos se considera que desde el punto de vista funcional la alternativa más ventajosa es la alternativa 2.

3.2.1.4 Vertebración territorial

En la vertebración territorial se han valorado estos factores e indicadores:

- Tiempos de recorrido Centelles-Vic: segundos.
- Expropiación de suelo no propiedad de ADIF: m2.

Según los factores e indicadores elegidos para la valoración de la vertebración territorial, y aplicando unos pesos que se consideran representativos de la importancia de estos indicadores en el total de la funcionalidad, se obtienen los siguientes resultados:

FACTOR	TIEMPOS DE RECORRIDO CENTELLES-VIC		EXPROPIACIÓN DE SUELO NO PROPIEDAD DE ADIF		SUMA PONDERADA	VALORACIÓN
	UNIDAD	PESO	UNIDAD	PESO		
	segundos	0,34	metros cuadrados	0,66		
NIVEL	NIVEL 2	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 1		
ALTERNATIVA 1	755	0,99	342.048	1,00	0,99	1,00
ALTERNATIVA 2	744	1,00	412.457	0,79	0,86	0,87

A la vista de lo indicado y de los resultados obtenidos se considera que, desde el punto de vista de vertebración territorial, la alternativa más ventajosa es la alternativa 1.

3.2.2 Modelo numérico y análisis

Según la metodología descrita anteriormente, se ha elegido los siguientes criterios y factores en el modelo, con sus correspondientes pesos:

CRITERIOS	PESO	FACTORES	PESO
MEDIOAMBIENTE	0,16	CALIFICACIÓN MEDIOAMBIENTAL	1
INVERSIÓN	0,24	INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA	1
FUNCIONALIDAD	0,48	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD DEL TRAZADO	0,48
		NECESIDAD DE MANTENIMIENTO POR DESGASTE DE INFRAESTRUCTURA	0,16
		RIESGO DE INCIDENCIAS EN EL SERVICIO POR DESCARRILAMIENTO	0,12
		AFECCIÓN AL SERVICIO FERROVIARIO DURANTE LAS OBRAS	0,24
VERTEBRACIÓN TERRITORIAL	0,12	TIEMPOS DE RECORRIDO CENTELLES-VIC	0,66
		EXPROPIACIÓN DE SUELO NO PROPIEDAD DE ADIF	0,33

Asimismo, se han obtenido las siguientes valoraciones de los indicadores definidos y valores normalizados (intervalo entre 0 y 1, asignando 1 a la mejor alternativa):

	MEDIOAMBIENTE	INVERSIÓN	FUNCIONALIDAD	VERTEBRACIÓN TERRITORIAL
ALTERNATIVA 1	1,00	1,00	0,58	1,00
ALTERNATIVA 2	0,74	0,86	1,00	0,94

Con los valores de los indicadores y pesos asignados se obtienen los siguientes análisis de robustez, sensibilidad y preferencias:

ROBUSTEZ	Nº MÁXIMOS	%
Alternativa 1	169	59,09%

ROBUSTEZ	Nº MÁXIMOS	%
Alternativa 2	117	40,91%
Total	286	100%
Combinaciones usadas	286	

SENSIBILIDAD	Nº MÁXIMOS	%
Alternativa 1	2710	59,22%
Alternativa 2	1866	40,78%
Total	4576	100%
Combinaciones usadas	4576	

PERTINENCIA	MEDIOAMBIENTE	INVERSIÓN	FUNCIONALIDAD	VERTEBRACIÓN TERRITORIAL	VALORACION	VALORACION (0,1)
PESO	0,16	0,24	0,48	0,12		
ALTERNATIVA 1	1,00	1,00	0,58	1,00	0,798	0,87
ALTERNATIVA 2	0,74	0,86	1,00	0,94	0,9172	1,00

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

4.1 Metodología del análisis multicriterio

La metodología de análisis se ha basado en el desarrollo del siguiente proceso:

- Determinación de los criterios más adecuados para valorar el nivel de cumplimiento de los objetivos de la actuación y del grado de integración en el medio de cada alternativa.
- Obtención de los indicadores numéricos que permitan la valoración cuantitativa de las alternativas con respecto a estos criterios.
- Obtención del modelo numérico que permite sintetizar las valoraciones parciales en un solo índice aplicando coeficientes de ponderación o pesos que permitan graduar la importancia de cada criterio.
- Aplicación de procedimientos de análisis basados en el modelo numérico obtenido y que, empleando diversos criterios de aplicación de pesos, permitan la evaluación y comparación de alternativas.

4.1.1 Criterios

Se ha estudiado el comportamiento de cada alternativa atendiendo a los siguientes criterios:

- **Medio Ambiente** (calidad del aire, ruido y vibraciones, geología y geomorfología, suelos, hidrogeología, aguas superficiales, vegetación y hábitats de interés, fauna, espacios naturales de interés, medio perceptual, patrimonio cultural, vías pecuarias y caminos de interés, y factores sociales y socioeconómicos).
- **Inversión:**
 - Inversión en infraestructura.
- **Funcionalidad:**
 - Limitación de velocidad del trazado
 - Necesidad de mantenimiento por desgaste de infraestructura
 - Riesgo de incidencias en el servicio por descarrilamiento
 - Afección al servicio ferroviario durante las obras
- **Vertebración territorial:**
 - Tiempos de recorrido Centelles-Vic
 - Expropiación de suelo no propiedad de ADIF

Los componentes del análisis han sido escogidos por su representatividad, su importancia y la factibilidad de su valoración por métodos cuantitativos.

4.1.2 Análisis y resultados

La herramienta principal de análisis ha sido el modelo numérico matricial empleado habitualmente en el método PATTERN, que permite sintetizar las valoraciones obtenidas por las alternativas para cada criterio en un sólo parámetro llamado IP (Índice de Pertinencia), cuyos valores están comprendidos en el intervalo [0,1] (siendo 0 el pésimo y 1 el óptimo) mediante la aplicación de pesos o coeficientes de ponderación.

Con este modelo se han llevado a cabo los siguientes análisis:

- **ANÁLISIS DE ROBUSTEZ:** consiste en aplicar todas las combinaciones posibles de pesos a todos los criterios, obteniéndose el número de veces que cada alternativa resulta ser óptima. Este procedimiento es el más desprovisto de componentes subjetivos, y pone de relieve qué alternativas presentan mejor comportamiento general con los criterios marcados, aunque incluye en el análisis combinaciones extremas de valoración.

El análisis de robustez pone de relieve que no hay diferencias relevantes entre las alternativas 1 y 2, si bien la 1 presenta más combinaciones en las que resulta con mayor puntuación.

- **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD:** Consiste en aplicar combinaciones de pesos válidas, restringidas a un rango determinado para cada criterio, de manera que queden fuera del análisis combinaciones que sobre ponderan o infra ponderan excesivamente algún factor, distorsionando el análisis. En este caso los pesos de cada criterio han oscilado en el rango que va del 10% al 50%.

El análisis de sensibilidad pone de relieve que no hay diferencias relevantes entre las alternativas 1 y 2, si bien la 1 presenta más combinaciones en las que resulta con mayor puntuación.

- **ANÁLISIS DE PREFERENCIAS:** Es el método PATTERN habitual, consiste en aplicar pesos a cada criterio de tal forma que respondan a un orden de preferencias relativas que se propone como más adecuado para evaluar la actuación. Este orden de prelación ha sido: Funcionalidad – Inversión - Medio Ambiente - Vertebración territorial.

El análisis de preferencias o PATTERN otorga la calificación óptima a la Alternativa 2 respecto de la alternativa 1.

4.2 Conclusiones del análisis

Según las valoraciones obtenidas en los cuatro criterios aplicados, se observa que la alternativa 1 es mejor en términos medioambientales, implica una menor inversión en infraestructura, requiere menor mantenimiento, implica menor riesgo por incidencias y genera menor ocupación de suelo.

Por otro lado, la alternativa 2 es mejor en tiempos de recorrido e implica menor afección al tráfico ferroviario durante las obras.

En relación con lo anterior, puede concluirse que las dos alternativas planteadas resultan viables y que, según el presente análisis de los criterios funcionales, de inversión, medioambientales y de vertebración territorial, la alternativa que resulta mejor valorada es la **ALTERNATIVA 2**, sobre todo porque permite poder prestar servicio en el futuro con trenes que alcancen mayores velocidades de circulación.