ANEJO Nº 15 ANÁLISIS MULTICRITERIO

ÍNDICE

1.	II	NTRODUCCIÓN	1
2.	II	DENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	1
	2.1.	ALTERNATIVA A	1
	2.2.	ALTERNATIVA C	2
3.	D	ESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	3
	3.1.	DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE VALORACIÓN	3
	3.2.	OBTENCIÓN DE INDICADORES	3
	3.3.	Análisis multicriterio	5
4.	A	NÁLISIS DE ALTERNATIVAS	7
	4.1.	CONEXIÓN DE LA L.A.V. MADRID-SEVILLA CON LA L.A.V. CÓRDOBA-MÁLAGA.	7
5.	R	ESUMEN Y CONCLUSIONES	9
	5.1.	METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO	9
	5.1	1.1. Criterios	g
	5.1	1.2. Análisis y resultados 1	10
	5.2.	CONCLUSIONES Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	1

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objeto identificar y realizar un análisis comparativo de las distintas alternativas estudiadas, con el fin de seleccionar aquélla que presente un mayor nivel de cumplimiento de los objetivos de la actuación y que, en consecuencia, se propondrá 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 que se describirán en el presente anejo.

Con este fin, en el anejo se identifican en primer lugar, las alternativas consideradas en el Estudio Informativo para a continuación, pasar a describir la metodología empleada en el análisis a realizar, desarrollando de forma ordenada las fases del mismo.

Tras ello se procede al análisis de las alternativas consideradas mediante la generación de las tablas que recogen, por un lado sus valoraciones por criterios y por otro, el modelo final y el resultado de aplicarle los diferentes análisis.

Por último se exponen las conclusiones de la aplicación del análisis multicriterio a las alternativas consideradas, consecuencia de lo cual resultará la alternativa que se propondrá como solución óptima.

2. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Las actuaciones contempladas en el presente estudio, se enmarcan dentro del Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI), y tienen como objeto completar un triángulo de conexión entre las Líneas de Alta Velocidad Madrid-Sevilla y Córdoba-Málaga en el entorno de Almodóvar del Río (Córdoba).

Para ello, es necesario el planteamiento inicial de una serie de alternativas para la construcción de un nuevo ramal ferroviario que conecte las Líneas de Alta Velocidad mencionadas.

Las alternativas tendrán como objetivos, por un lado, la implantación de los servicios ferroviarios directos entre Sevilla y Málaga/Granada, sin necesidad de acceder a la estación de Córdoba, y por otro, minimizar en la medida de lo posible tanto la inversión a realizar como la afección a los intereses socioeconómicos en el entorno de Almodóvar del Río.

En base a estos objetivos, en una fase previa (Fase A) a la redacción del presente Estudio Informativo se analizaron varias alternativas (recogidas en el Anejo "Alternativas Previas. Fase A").

A partir del estudio precedente, se incluyen en este Estudio Informativo las siguientes alternativas:

2.1. ALTERNATIVA A

Esta alternativa, de aproximadamente 1,9 km de longitud, parte de la vía impar de la LAV Madrid-Sevilla, en el entorno del P.K. 363+239, y conecta con la vía par de la LAV Córdoba Málaga en el entorno del P.K. 5+270.

Consiste en una vía única de ancho internacional con velocidad máxima 100 km/h, banalizada y electrificada a 1x25 kV.

Como características principales de la alternativa cabe destacar la ejecución de una estructura para solventar el cruce con la línea de ancho convencional Alcázar de San Juan – Cádiz y la rectificación del trazado de dicha línea en una longitud aproximada de 1 km.

El trazado de la conexión comienza entre los escapes del Puesto de Banalización de Almodóvar, de modo que se aprovecha el escape situado más al oeste para conectar la LAV Madrid-Sevilla con la nueva vía. Para conectarse con la LAV Córdoba - Málaga se aprovecha el escape este del PB de La Marota, situado a unos 1,7 km hacia el sur.

El coste estimado que supondría la ejecución de las obras asociadas a esta alternativa es de unos 30 M€ (Presupuesto de licitación (IVA incluido)).

2.2. ALTERNATIVA C

En esta alternativa, el ramal de conexión se inicia mediante un nuevo desvío en el entorno del P.K. PK 368+914 de la vía impar de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Sevilla y se conecta con la LAV Córdoba Málaga en el entorno del PK 8+120 a través de otro nuevo desvío. El trazado de esta alternativa tiene una longitud aproximada de 5,5 km

Consiste en una vía única de ancho internacional con velocidad máxima 100 km/h, banalizada y electrificada a 1x25 kV.

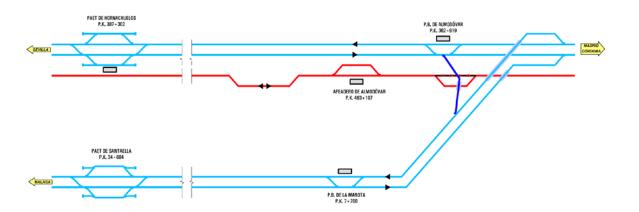
Como principal actuación en esta alternativa está la construcción de un nuevo viaducto de 1.261 m de longitud para salvar el cruce de la vía con el río Guadalquivir.

Con el fin de evitar las circulaciones a contravía y permitir el acceso al ramal de conexión por el sentido correcto lo antes posible, se ha previsto la instalación de un nuevo escape en el entorno del PK 372+000 aproximadamente de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Sevilla, rectificando la vía actual en la longitud necesaria, así como la instalación de otro nuevo escape en el entorno del 8+500 (después

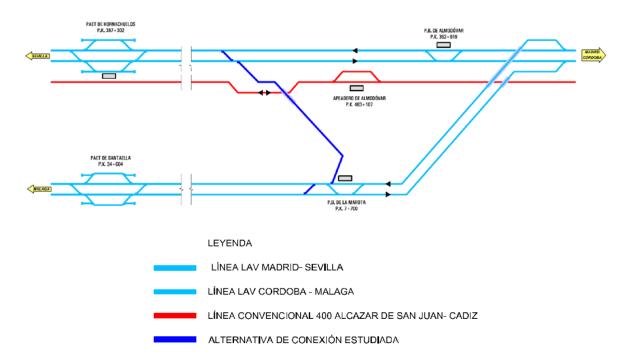
del desvío previsto en la conexión con la Línea de Alta Velocidad Córdoba – Málaga).

El coste estimado que supondría la ejecución de las obras asociadas a la alternativa C es de unos 54 M€ (Presupuesto de licitación (IVA incluido)).

Alternativa A



Alternativa C



3. 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 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 que se han llevado a cabo en cada una de las fases de este proceso se describen a continuación.

3.1. 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
- Vertebración territorial
- Funcionalidad
- Inversión

Para valorar la idoneidad de cada alternativa con respecto a cada uno de estos criterios, se ha deducido un parámetro único, cuyos valores oscilaban en todos los casos entre 0 y 1.

Como punto de partida para el cálculo de dichos valores, se han tomado como base las siguientes premisas:

- En los criterios que se puedan valorar directamente con un solo indicador numérico no sintético (por ejemplo, la inversión), o en aquellos cuyo valor indicador no presente diferencias apreciables entre alternativas, se asignará valor 1 a la óptima y el valor de las demás se obtendrá restando a 1 una cantidad proporcional a la diferencia porcentual que tengan con la óptima.
- En los criterios que se deban valorar a partir de un indicador que no se corresponda de forma directa con una magnitud medible, se puede utilizar el método anterior (adecuado si las alternativas presentaban 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 alternativas.

3.2. 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 suponían en algunos casos una síntesis de diversos factores que intervenían en la caracterización, se consideró necesario desarrollar la obtención de los indicadores en dos niveles:

 Nivel 2: en él se producía la caracterización de los factores a través de su valor deducido o medido y, cuando el factor era compuesto, a través de un índice que sintetizaba las aportaciones de sus componentes, empleando cuando fuera necesario pesos basados en factores objetivos para graduar el nivel de influencia de cada uno de estos factores compuestos. Nivel 1: en él se producía 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 que se utilizó para cada criterio se describe seguidamente.

MEDIO AMBIENTE

La descripción detallada del proceso de obtención del parámetro medioambiental se encuentra en el Estudio de Impacto Ambiental del presente Estudio Informativo. Los factores estudiados en el nivel 1 y 2 han sido:

- Calidad del aire
- Ruido
- Geología
- Suelo
- Hidrología superficial
- Hidrología subterránea
- Vegetación
- Fauna
- Espacios de interés natural
- Paisaje
- Patrimonio cultural
- Planeamiento
- Población

Impactos sinérgicos

Con estos factores se obtuvo una calificación final medioambiental, que representaba más grado de afección medioambiental cuanto menor era su valor.

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

El escalado se llevó a cabo suponiendo como valor óptimo (correspondiente con valor 1 en el nivel 1) era aquél en el que no se produce ningún impacto en la fase de explotación, y el valor pésimo (correspondiente con valor 0 en el Nivel 1) aquél en el que los impactos en fase de explotación fueran severos para todos los factores considerados.

VERTEBRACIÓN Y AFECCIÓN TERRITORIAL

Dentro de este criterio se incluyen los factores que afectan por un lado a la ocupación territorial de cada alternativa (ligada a la expropiación que dicha ocupación supone) y por otro, a la vertebración que se produce en base a la superficie que queda cautiva entre infraestructuras.

Debido a que ambas alternativas se desarrollan en zonas en las que la clasificación del suelo es similar, se consideraba como indicador fundamental la superficie ocupada por cada alternativa. Igualmente, aunque con menor incidencia (debido a que ambas alternativas garantizan la permeabilidad transversal), se ha considerado como indicador la superficie que quedaba cautiva entre las Líneas de Alta Velocidad existentes y el nuevo ramal de conexión).

En el nivel 1 se efectuó el escalado inverso (dado que la alternativa era tanto más desfavorable cuanto más superficie de ocupación requería y más superficie quedaba cautiva).

FUNCIONALIDAD

Se emplearon indicadores que resultaban representativos de los rasgos diferenciadores de cada alternativa en cuanto a funcionalidad. Entre estos factores pueden mencionarse:

Velocidad de proyecto y tiempo de recorrido de las alternativas

Afección a la línea de ancho convencional Alcázar de San Juan - Cádiz.

Aprovechamiento de enclavamientos y dependencias existentes.

Longitud de circulaciones a contravía

Con estos factores se obtuvo una calificación final, que representaba peor funcionalidad cuanto menor era su valor.

Tanto en el Nivel 2 como en el Nivel 1 estos valores se habían escalado, obteniendo valores finales comprendidos en el intervalo [0,1].

INVERSIÓN

Se consideró como indicador fundamental el volumen de inversión, medido a través de la estimación realizada de su Presupuesto para Conocimiento de la Administración (PCA). Se prefirió este indicador frente a otros como la TIR o el VAN, que requerían un mayor conocimiento de previsión de tráficos y de modelización de la demanda.

En el nivel 1 se efectuó el escalado inverso (dado que la alternativa era tanto más desfavorable cuanto más volumen de inversión requería).

OBTENCIÓN DEL MODELO

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

El modelo que se obtuvo está basado en la matriz numérica que se emplea en el método PATTERN1, que permite sintetizar las valoraciones obtenidas por las alternativas para cada criterio en un sólo parámetro llamado IP (Indice de Pertinencia), cuyos valores están comprendidos en el intervalo [0,1]2, correspondiendo el 1 a la óptima y el 0 a la pésima, 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_i es el coeficiente de ponderación del criterio j, cumple la condición $\Sigma \beta_i = 10$

MAX es el valor máximo de Sbj-aij de entre los obtenidos por todas las alternativas.

MIN es el valor mínimo de Sbj·aij 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.

¹ Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers

² Esto supone una modificación con respecto al método PATTERN clásico, en el cual el índice IP no se limita al intervalo mencionado; con esto se facilita la comparación de alternativas.

3.3. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Tras la obtención del modelo numérico se planteó la necesidad de evaluar las alternativas de forma global, empleando procedimientos que permitían aplicar los coeficientes de ponderación necesarios sin distorsionar los resultados. Para este análisis se empleó una aplicación informática desarrollada por INECO Estos procedimientos fueron los siguientes:

- Análisis 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.
- Análisis 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 estableció un rango de ponderaciones comprendida entre el 10 % y el 50 %.
- Análisis 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. Este orden de prelación ha sido: Medio Ambiente – Vertebración y Afección Territorial – Funcionalidad – Inversión.

La metodología aplicada en cada procedimiento se describe a continuación.

ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

Para efectuar el análisis de robustez se partió 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.

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

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 %.

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

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 este planteamiento, que son:

•	Medio Ambiente:4
•	Vertebración y Afección Territorial:3
•	Funcionalidad:2
	Inversión:1

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.

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

4.1. CONEXIÓN DE LA L.A.V. MADRID-SEVILLA CON LA L.A.V. CÓRDOBA-MÁLAGA

MEDIO AMBIENTE

Después de la realización de la valoración de impactos, se comprobó que ninguna de las alternativas analizadas presenta impactos severos ni críticos, lo que es importante a la hora de considerarlas viables ambientalmente.

Tras el análisis se comprobó durante la fase de construcción y de explotación será más favorable al Alternativa A, al tener un comportamiento mejor valorado frente a la Alternativa C.

Destacar que, a diferencia con la Alternativa C, la Alternativa A no discurre sobre espacios protegidos y que no se esperan afecciones directas ni indirectas sobre ninguno de los objetivos de conservación de espacios protegidos.

Las ventajas ambientales que ofrece la Alternativa A respecto la Alternativa C se fundamentan básicamente en dos aspectos. Por un lado se trata de una alternativa que presenta menor longitud, lo que se traduce en la necesidad de menor movimiento de tierras que afecta a numerosos factores ambientales. Por otra parte, la Alternativa A transcurre lejos del Río Guadalquivir, mientras que la Alternativa C lo atraviesa, aunque no se espera que se produzca una afección significativa ya que lo salva a través de un viaducto.

Como se ha comentado en epígrafes anteriores, el escalado se llevó a cabo suponiendo como valor óptimo era aquél en el que no se produce ningún impacto en la fase de explotación, y el valor pésimo aquél en el que los impactos en fase de explotación fueran severos para todos los factores considerados.

A continuación se presentan los valores obtenidos en el Nivel 2 a partir de los obtenidos en la fase de explotación, y su trasformación al intervalo [1;0] en el Nivel 1.

Nivel 1	Alternativa A	Alternativa C
Medio Ambiente	0,930	0,790
Nivel 2	\diamondsuit	
Medio Ambiente	-5,0	-15,0

La justificación de los valores asignados para medir los impactos de cada alternativa se encuentran detallados en el Estudio de Impacto Ambiental.

VERTEBRACIÓN Y AFECCIÓN TERRITORIAL

Desde el punto de vista de la vertebración territorial, la Alternativa A generaba un menor impacto sobre el territorio existente, ya que por un lado, las expropiaciones a realizar eran de menor entidad que en la Alternativa C, y por otro, la superficie que quedaba en el "triangulo" delimitado por las líneas de alta velocidad existentes y el ramal considerado, también era menor en la alternativa A.

Debido a que las magnitudes obtenidas presentaban valores que no se encontraban en el mismo rango de magnitudes, se asignó 1 a la alternativa que menor ocupación suponía y 0 a la alternativa que más superficie ocupaba.

Nivel 1		Alternativa A	Alternativa C
		1,000	0,000
Nivel 2		÷	\diamondsuit
Vertebracion territorial (m²)		150.361	1.437.654
	Pesos	Ĉ.	
m² de superficie a expropiar	8	64.538	241.185
m² de superficie cautiva	2	493.654	6.223.530

FUNCIONALIDAD

Desde el punto de vista de la funcionalidad, tanto la alternativa A como la alternativa C tienen características similares en cuanto a velocidades y tiempos de recorrido, ya que en ambas alternativas la velocidad máxima permitida en el ramal de conexión es de 100 km/h y el tiempo de recorrido también es similar. Asimismo, la longitud a contravía de las circulaciones para cada alternativa también presenta valores muy homogéneos. En estos dos aspectos se ha realizado un escalado de forma que en el Nivel 2 los valores queden comprendidos entre uno y cero:

Nivel 2		Alternativa A	Alternativa C		Nivel 2	Alternativa A	Alternativa C
	Tiempo de recorrido	1,000	0,969	Ī	Long. Contravía	0,500	1,000
		Ĉ.	Ĉ.			Ĉ.	Ĉ-
	Tiempo de recorrido (min)	5,12	5,28	I	Long. Contravía (km)	3,00	2,00

Por otro lado, se ha considerado la afección durante la ejecución de las obras a la línea de ancho convencional Alcázar de San Juan – Cádiz, que, si bien en la Alternativa C es inexistente, en la Alternativa A se produce afección a la citada línea al rectificarse su trazado en una longitud cercana al kilómetro. En el nivel 2 se han proporcionado los valores dependiendo si la alternativa afecta o no a la línea convencional de manera que se ha asignado el valor más alto a la alternativa que no produce afección a la línea convencional.

Se ha actuado de igual manera en el último de los factores considerados, que es el aprovechamiento de los enclavamientos y dependencias existentes, asignando el valor más alto a la alternativa que menor afección produce.

Nivel 2	Alternativa A	Alternativa C
Afeccion línea convenc.	0,000	1,000

Nivel 2	Alternativa A	Alternativa C
Afección enclav. y depend.	1,000	0,000

De los valores anteriormente asignados se ha obtenido un valor global para el nivel 2, a partir del cual se ha calculado un valor comprendido entre 0 y 1 en el Nivel 1.

Nivel 1	Alternativa A	Alternativa C
	1,000	0,813
Nivel 2	Ĉ.	\Diamond
Funcionalidad	2,500	2,969
	\triangle	☆
Tiempo de recorrido	1,000	0,969
Afección a línea convencional	0,000	1,000
Aprovechamiento de enclavamientos y dependencias actuales	1,000	0,000
Longitud a contravía	0,500	1,000

INVERSIÓN

Una vez se realizó la comparativa económica entre las alternativas A y C se llegó a la conclusión de que la Alternativa C era un 80 % más cara que la alternativa A.

Nivel 1	Alternativa A	Alternativa C
Inversión	1,000	0,199
Nivel 2	¢	¢
Inversión (€)	32.062.010,02	57.752.300,38

En los siguientes epígrafes se muestran los resultados obtenidos en los distintos análisis realizados a partir del modelo numérico descrito anteriormente.

MODELO NUMÉRICO

	Alternativa A	Alternativa C
Medio Ambiente	0,930	0,790
Vertebración Territorial	1,000	0,000
Funcionalidad	1,000	0,813
Inversión	1,000	0,199

ANÁLISIS DE ROBUSTEZ

	Alternativa A	Alternativa C
Medio Ambiente	0,930	0,790
Vertebración territorial	1,000	0,000
Funcionalidad	1,000	0,813
Inversión	1,000	0,199

Número de máximos	10000	0
	100%	0%

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

	Alternativa A	Alternativa C
Medio Ambiente	0,930	0,790
Vertebración territorial	1,000	0,000
Funcionalidad	1,000	0,813
Inversión	1,000	0,199

Número de máximos	625	0
	100%	0%

ANÁLISIS DE PREFERENCIAS

	Peso	Alternativa A	Alternativa C
Medio Ambiente	4	0,930	0,790
Vertebración territorial	3	1,000	0,000
Funcionalidad	2	1,000	0,813
Inversión	1	1,000	0,199

Valoración Valoración (0,1)

9,720	4,984
4 000	0.000

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

5.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

La metodología de análisis se basó 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 permitían la valoración cuantitativa de las alternativas con respecto a estos criterios.
- Obtención del modelo numérico que permitía 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, habiendo empleado diversos criterios de aplicación de pesos, permitían la evaluación y comparación de alternativas.

5.1.1. Criterios

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

- Medio Ambiente (considerando calidad del aire, ruido, geología, suelo, hidrología superficial, hidrología subterránea, vegetación, fauna, espacios de interés cultural, paisaje, patrimonio cultural, planeamiento, población, impactos sinérgicos).
- Inversión (considerando el volumen de inversión estimado para cada alternativa).

- Funcionalidad (considerando velocidades de paso, tiempo de recorrido, afecciones a línea de ancho convencional y circulaciones a contravía)
- Vertebración y Afección Territorial (considerando las expropiaciones a realizar sobre el territorio existente y la superficie que queda entre las infraestructuras ferroviarias).

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

5.1.2. Análisis y resultados

La herramienta principal de análisis fue el modelo numérico matricial empleado habitualmente en el método PATTERN³, que permite sintetizar las valoraciones obtenidas por las alternativas para cada criterio en un sólo parámetro llamado IP (Indice 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 llevaron 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 resultados respecto a la Conexión de la L.A.V Madrid-Sevilla con la L.A.V. Córdoba - Málaga puso de relieve una superioridad de la alternativa A sobre la alternativa C.

El análisis de resultados respecto a la Conexión de la L.A.V Madrid-Sevilla con la L.A.V. Córdoba - Málaga puso de relieve una superioridad de la alternativa A sobre la alternativa C

Respecto al análisis de sensibilidad de la Conexión de la L.A.V Madrid-Sevilla con la L.A.V. Córdoba - Málaga otorgaba el 100% de óptimos a la alternativa A, lo que permitía calificar a esta alternativa como óptima en el rango medio de ponderación de los criterios.

• 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: Medio Ambiente – Vertebración Territorial – Funcionalidad – Inversión. Los pesos relativos de cada factor son:

•	MEDIO AMBIENTE40 %	,
•	VERTEBRACIÓN TERRITORIAL30 %	,
•	FUNCIONALIDAD20 %	,
,	INVERSIÓN10 %	

El análisis de preferencias o PATTERN para la Conexión de la L.A.V Madrid-Sevilla con la L.A.V. Córdoba - Málaga otorgaba la calificación óptima a la Alternativa A respecto de la C.

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 sobreponderan o infraponderan 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%.

³ Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers

5.2. CONCLUSIONES Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Si bien las dos alternativas planteadas para la Conexión de la L.A.V Madrid-Sevilla con la L.A.V. Córdoba - Málaga resultaban viables y adecuadas a los objetivos de la actuación, las distintas técnicas de análisis multicriterio que se aplicaron pusieron de manifiesto la superioridad de una opción sobre otra.

En las alternativas, los tres análisis realizados (robustez, sensibilidad y preferencias) dieron como **óptima la alternativa A** frente a la alternativa C, atendiendo a criterios medioambientales, funcionales, económicos y territoriales.