

---

**IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

**ANEJO  
17**

---

**ÍNDICE**


---

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS</b> .....	<b>2</b>
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	2
2.2. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE VALORACIÓN ...	2
2.3. OBTENCIÓN DE INDICADORES.....	3
2.4. OBTENCIÓN DEL MODELO .....	3
2.5. ANÁLISIS.....	4
2.5.1. Método PATTERN para la obtención de los índices de pertinencia .....	5
2.5.2. Análisis de robustez.....	5
2.5.3. Análisis de sensibilidad.....	5
<b>3. ANÁLISIS MULTICRITERIO</b> .....	<b>6</b>
3.1. FACTORES Y CONCEPTOS SIMPLES.....	6
3.1.1. Factores.....	6
3.1.2. Conceptos simples .....	6
3.2. JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS .....	6
3.3. JUSTIFICACIÓN DE LOS FACTORES Y CONCEPTOS SIMPLES .....	7
3.3.1. Afección Medio Ambiente .....	7
3.3.2. Vertebración territorial .....	7
3.3.3. Funcionalidad .....	10
3.3.4. Tiempo de viaje .....	11
3.3.5. Criterio económico.....	11
3.4. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	13
3.5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	16
3.5.1. Modelo.....	16
3.5.2. Análisis multicriterio .....	16
3.5.3. Conclusiones .....	17

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

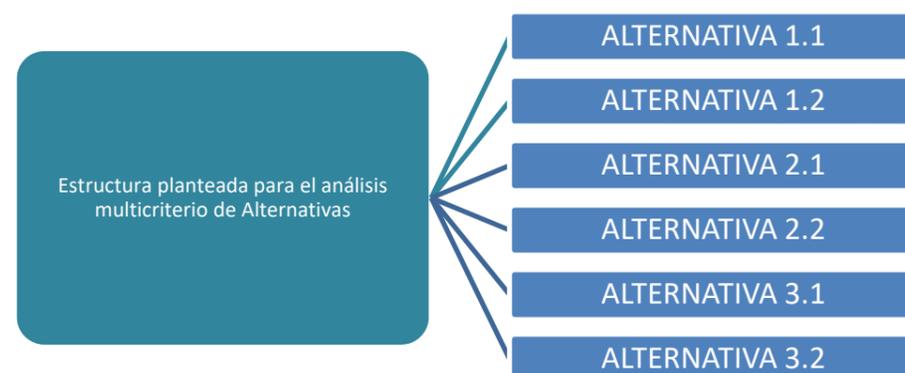
El presente anejo tiene como el análisis comparativo de las distintas alternativas estudiadas en la fase a escala 1:5.000 del Estudio de Informativo de la Línea de Alta Velocidad Sevilla - Huelva, con el fin de seleccionar aquella que presenta un mayor nivel de cumplimiento de los objetivos de la actuación y que, en consecuencia, se propondrá para su desarrollo en fases posteriores.

Partimos del Estudio Informativo del año 2002 y de los Proyectos Constructivos del año 2011, que no llegó a ejecutarse, como ayuda al Estudio actual para las posibles alternativas de trazado y que son estudiadas con mayor nivel de detalle en esta fase final de los trabajos.

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

El estudio de alternativas de trazado se ha estructurado en seis alternativas diferenciadas siguiendo el análisis multicriterio la misma filosofía:

- Alternativa 1.1
- Alternativa 1.2
- Alternativa 2.1
- Alternativa 2.2
- Alternativa 3.1
- Alternativa 3.2



Todas estas soluciones tienen un mismo punto inicial y un punto final común lo que facilita una comparación coherente de las mismas.

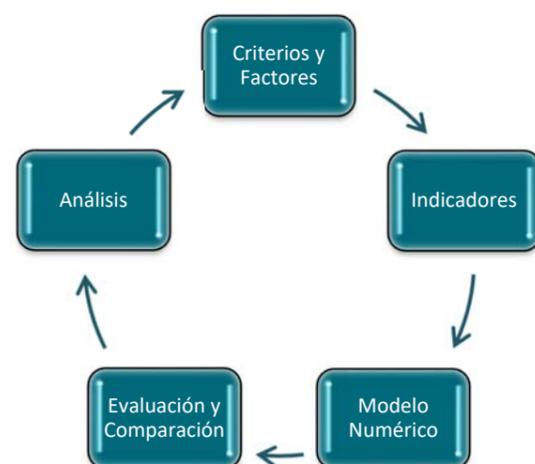
El punto inicial de las alternativas se encuentra en Majarabique, en el norte de la ciudad de Sevilla, y el punto final es coincidente en la entrada a la ciudad de Huelva.

## 2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

### 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología de análisis que conduce a la selección de la alternativa óptima en el Estudio Informativo de la línea de Alta Velocidad Sevilla – Huelva se ha basado en el desarrollo del siguiente proceso:

- Determinación de los criterios, factores y conceptos simples 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.

### 2.2. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE VALORACIÓN

Atendiendo a los objetivos fijados para la actuación y a las características del medio social y ambiental en el 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 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 las mismas mediante la obtención de una sola puntuación por alternativa para cada criterio. El esquema de gradación adoptado es:

- **Criterio** (Medioambiente, Vertebración territorial, Funcionalidad, Inversión)
- **Factor** (Planeamiento, criterios geotécnicos, Distancia a BIC, PEM, etc. cada uno dentro del criterio que le corresponda).
- **Concepto Simple** (m de trazado que discurre por suelo urbano, % de reutilización de excavaciones, etc. cada uno dentro del factor que le corresponda)

Por otro lado, a cada uno de los cuatro criterios anteriores se le asigna un peso entre 0 y 1 teniendo en cuenta la importancia de cada uno, de manera que la suma de todos los pesos debe ser 1. A su vez, a cada uno de los factores que componen los anteriores criterios, se les asigna también un peso entre 0 y 1, siendo la suma total de los mismos 1. Además, como se ha indicado anteriormente cada uno de esos factores puede ser medido mediante uno o varios conceptos simples, que también se ponderan con valores entre 0 y 1 sumando en conjunto 1.

### 2.3. 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 (conceptos simples), empleando cuando sea necesario pesos basados en factores objetivos para graduar el nivel de influencia de cada uno de estos factores compuestos.

En este nivel se manejan tablas de este tipo:

	PONDERACIÓN	.....	ALTERNATIVA I	.....
Factor k	-	....	$\sum d_{ij} \cdot p'_j$	....
.....	..	..		..
Concepto simple j	$p'_j$	..	$d_{ij}$	..
.....	..	..	..	..

$p'_j$  = Peso otorgado al concepto simple j  
 $d_{ij}$  = Valor deducido o medido de la alternativa i para el factor k  
 $\sum d_{ij} \cdot p'_j$  = Puntuación sin homogeneizar de la alternativa i para el factor k

- **Nivel 1:** en él se produce la homogeneización de los valores obtenidos para cada factor, situándolos todos en la misma escala [0,1] mediante un escalado

proporcional. Después, aplicando los pesos para cada factor se calcula la puntuación final, cuyo valor también debe estar comprendido entre 0 y 1.

De esta forma, en este nivel se manejan tablas de este tipo:

	PONDERACIÓN	.....	ALTERNATIVA I	.....
CRITERIO h	-	....	$V_{ih}^{**}$	....
CRITERIO h	-	....	$\sum V_{ik} \cdot p'_k$	....
.....	..	..		..
Factor k	$p'_k$	..	$V_{ik}^*$	..
.....	..	..	..	..

$p'_k$  = Peso otorgado al factor k  
 $V_{ik}^*$  = Puntuación  $\sum d_{ij} \cdot p_j$  homogeneizada en el intervalo [0,1]  
 $\sum V_{ik} \cdot p'_k$  = Puntuación sin homogeneizar de la alternativa i para el criterio h  
 $V_{ih}^{**}$  = Puntuación  $\sum V_{ik} \cdot p'_k$  homogeneizada en el intervalo [0,1]

### 2.4. OBTENCIÓN DEL MODELO

Tras el análisis y evaluación de la aptitud de cada alternativa con respecto a los criterios fijados en el presente estudio, las puntuaciones comprendidas en el intervalo [0,1] reflejan dichas aptitudes. Esos valores se agrupan para formar el modelo numérico que se utilizará posteriormente como una herramienta básica del análisis multicriterio.

La homogeneización de los índices iniciales en intervalos [0,1] ha sido realizada con el fin de facilitar la comparación de las diferentes alternativas mediante la aplicación de métodos que hacen variables las ponderaciones de cada uno de los criterios. A su vez, para obtener dichos índices hubo que realizar una homogeneización a las puntuaciones parciales de los factores con los que se evalúa cada uno de los criterios.

La fórmula que permite la homogeneización de unas puntuaciones comprendidas en un intervalo [valor pésimo, valor óptimo] distinto para cada caso, es la siguiente:

$$\left. \begin{array}{l} A \cdot a + b = 1 \\ B \cdot a + b = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a = \frac{1}{A - B} \\ b = 1 - \frac{A}{A - B} \end{array}$$

Donde:

- A: "valor óptimo" del intervalo inicial
- B: "valor pésimo" del intervalo inicial
- 1: "valor óptimo" del intervalo [0,1]
- 0: "valor pésimo" del intervalo [0,1]

De forma que:

$$X \cdot a + b = Y$$

Donde:

- X: Puntuación en el intervalo inicial
- Y: Puntuación resultante en el intervalo homogeneizado

Con el modelo generado se pueden desarrollar distintos métodos de análisis, empleando criterios diferentes de ponderación, de manera que se alcancen los objetivos del proceso de análisis de alternativas. El modelo es como sigue:

	PONDERACIÓN	.....	ALTERNATIVA I	.....
.....	-	...	...	...
.....	-	...	...	...
CRITERIO h	-	...	Vih**	...
.....	-	...	...	...

Vih \*\* = Valoración de la alternativa i para el criterio h homogeneizada en el intervalo [0,1]

## 2.5. ANÁLISIS

Tras la obtención del modelo numérico se deben 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:

- **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 intenta ir acercando las ponderaciones de los criterios a las que el analista considera más apropiadas por las características de la zona de estudio. Se evita así tomar en consideración en el análisis ponderaciones extremas que podrían distorsionarlo. De esta forma se mantiene aún un gran nivel de objetividad en los resultados.
- **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.

Todos los análisis anteriores usan para la valoración de las alternativas los denominados ÍNDICES DE PERTINENCIA, que son las puntuaciones resultantes de operar los índices del modelo con diferentes combinaciones de pesos, tal y como se ha descrito, y homogeneizarlos en el intervalo [0,1]. En éste caso, y a diferencia de cuando se crearon los índices del modelo, la homogeneización se realiza empleando el Método Pattern, que otorga el valor 1 a la alternativa de mayor puntuación del análisis y el valor 0 a la de menor.

2.5.1. Método PATTERN para la obtención de los índices de pertinencia

El método PATTERN (Planning Assistance through Technical Evaluation of Relevance Numbers) permite sintetizar, en los análisis de sensibilidad y preferencias, las puntuaciones obtenidas por las alternativas para cada criterio, mediante la aplicación de pesos o coeficientes de ponderación variables, en un solo parámetro llamado IP (Índice de Pertinencia), cuyos valores están comprendidos en el intervalo [0,1]<sup>1</sup> (siendo 0 el valor pésimo y 1 el valor óptimo). Este método crea un modelo que permite la comparación directa de las alternativas. De esta forma, se obtiene una matriz de alternativas/criterios, de la que se deduce el IP de cada alternativa de la siguiente forma:

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

Donde:

- a<sub>ij</sub> es la puntuación obtenida por la alternativa i para el criterio j
- β<sub>j</sub> es el peso o coeficiente de ponderación del criterio j, cumpliéndose la condición de que  $\sum \beta_j = 1$
- MAX es el valor máximo de  $\sum \beta_j a_{ij}$  de entre los obtenidos por todas las alternativas
- MIN es el valor mínimo de  $\sum \beta_j a_{ij}$  de entre los obtenidos por todas las alternativas

2.5.2. 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 un programa informático que le aplica todas las posibilidades de combinación de pesos, con un salto de los mismos en cada aplicación. El valor de los pesos está en el intervalo [0,10] y el salto que se toma es de 1, cumpliendo siempre que la suma de las ponderaciones sea 10.

De esta forma resultan combinaciones de ponderaciones en cada aplicación y para cada criterio del tipo [(10,0,0,0); (9,1,0,0); (9,0, 1,0); .....; (0,0, 1, 9); (0,0,0,10)]. El resultado a que se llega es el número de veces que cada alternativa obtiene la máxima calificación y el porcentaje de dichos casos respecto al total de posibilidades tanteadas, función del intervalo y salto seleccionados.

2.5.3. 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 a los siguientes intervalos:

CRITERIO	RANGO DE PESOS
Medio Ambiente	[2.0 – 4.0]
Vertebración Territorial	[1.0 – 3.0]
Inversión	[0.0 – 4.0]
Funcionalidad	[0.0 – 4.0]

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.

<sup>1</sup> Esto supone una modificación con respecto al método de Pattern clásico, en el cual el índice IP no se limita al intervalo mencionado, con esto se facilita la comparación de alternativas.

### 3. ANÁLISIS MULTICRITERIO

#### 3.1. FACTORES Y CONCEPTOS SIMPLES.

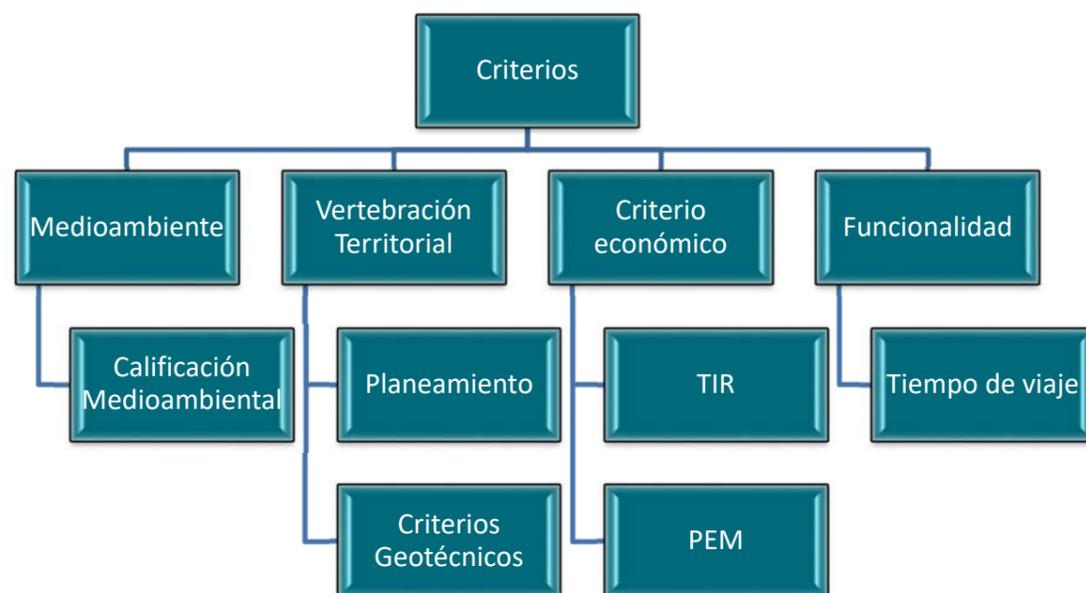
El ámbito Sevilla-Huelva comprende el estudio de los distintos trazados proyectados entre Sevilla (punto de inicio en el nudo de ramales de Majarabique) y Huelva. Dichas alternativas tienen una longitud entre 94.20 y 96.4 km aproximadamente:

- Alternativa 1.1 (350 km/h)
- Alternativa 1.2 (350 km/h)
- Alternativa 2.1 (350 km/h)
- Alternativa 2.2 (350 km/h)
- Alternativa 3.1 (350 km/h)
- Alternativa 3.2 (350 km/h)

##### 3.1.1. Factores

Se definen a continuación los factores que se han analizado para cada uno de los criterios principales, así como los pesos adjudicados a cada uno de ellos.

En el estudio de alternativas, los pesos por criterio, factores y conceptos a considerar son los que se exponen a continuación:



##### 3.1.2. Conceptos simples

CRITERIOS		FACTORES	
Medioambiente	0,30	Calificación Medioambiental	1,0
Vertebración Territorial	0,20	Planeamiento	0,8
		Criterios Geotécnicos	0,2
Inversión	0,25	Tasa Interna de Retorno (TIR)	0,6
		PEM (Millón €)	0,4
Funcionalidad	0,25	Con parada en Palma del Condado (h)	0,5
		Sin parada en Palma del Condado (h)	0,5

La justificación de cada uno de los factores y criterios adoptados se incluye en el apartado 3.3.

#### 3.2. JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS

Se han analizado cuatro criterios principales, que se adaptan a las zonas de estudio y a los principales aspectos que se persigue para evaluar las alternativas.

CRITERIOS SEVILLA-HUELVA	
Medioambiente	0.30
Vertebración territorial	0.20
Inversión	0.25
Funcionalidad	0.25

Los pesos asignados obedecen a la importancia de cada uno de los criterios seleccionados teniendo en cuenta el tipo de estudio que se está llevando a cabo, la zona donde se desarrolla y la experiencia en estudios similares; así, el criterio al que se la ha dado mayor relevancia es el Medioambiental debido al impacto que

tienen en la selección de la alternativa idónea, seguido de la Inversión y Funcionalidad y el criterio Vertebración territorial.

Dentro de cada Criterio se analizan aquellos Factores cuantificables de especial importancia que sirvan para valorar, puntuar y diferenciar cada una de las alternativas estudiadas. Además, en algún caso es necesario descomponer el análisis de algún factor en Conceptos simples que son conceptos cuya cuantificación nos sirva para valorar con mayor facilidad los Factores que son más complejos.

Se describen a continuación los factores que se han ido analizando en las diferentes alternativas.

### 3.3. JUSTIFICACIÓN DE LOS FACTORES Y CONCEPTOS SIMPLES

#### 3.3.1. Afección Medio Ambiente

La descripción detallada del proceso de obtención del parámetro medioambiental se encuentra en el Estudio de Impacto Ambiental de esta fase. La metodología seguida se adapta a la Ley 21/2013 de 9 de diciembre que indica que el estudio de impacto ambiental incluirá la identificación, cuantificación y valoración de los efectos significativos previsibles de las actividades proyectadas sobre los aspectos ambientales, para cada alternativa examinada.

En la tabla siguiente se muestra el resumen de la valoración contenida en el Estudio de Impacto Ambiental en detalle.

LAV SEVILLA-HUELVA	
ALTERNATIVA 1.1	-158
ALTERNATIVA 1.2	-158
ALTERNATIVA 2.1	-150
ALTERNATIVA 2.2	-144
ALTERNATIVA 3.1	-136
ALTERNATIVA 3.2	-136

#### 3.3.2. Vertebración territorial

El criterio de vertebración territorial se ha analizado conforme a dos Factores:

<b>Vertebración Territorial</b>	0,20	Planeamiento	<b>0,8</b>
		Criterios Geotécnicos	<b>0,2</b>

Para el estudio de la Vertebración territorial se han establecido dos Factores de estudio como indicadores del impacto de las soluciones analizadas en el territorio. Estos factores son el Planeamiento existente en los territorios atravesados, y los Criterios geotécnicos.

Para el Planeamiento se ha tenido en cuenta el tipo de suelo que atraviesa el trazado, y para los Criterios Geotécnicos se han analizado tres Conceptos Simples: Indicador de Riesgo geológico del trazado, indicador de riesgo hidrogeológico y el % de reutilización de los terrenos atravesados.

Se justifican y analizan los diferentes factores y en su caso los diferentes Conceptos Simples.

##### 3.3.2.1. Planeamiento

Con el objeto de establecer unos factores que aseguren el establecimiento de las alternativas que menos impacto y más adecuación al planeamiento supongan, se plantean unos rangos cuantitativos que permiten el análisis multicriterio unificado. En concreto, se ha establecido como factor clave a estudiar:

- La clase de suelo establecida por los diferentes instrumentos de ordenación del territorio, o de planeamiento urbanístico en su caso, que están en vigor en los municipios presentes en el ámbito de estudio, por la que discurre cada alternativa. De acuerdo al Anejo nº 09 de Planeamiento urbanístico y Expropiaciones se han clasificado los diferentes terrenos de paso en función del tipo de uso de suelo:

Descripción de afecciones	
SUELO RÚSTICO	Agrios
	Árboles de ribera
	Dominio Público
	Frutales
	Improductivo
	Labor de regadío
	Labor de Secano
	Matorral
	Monte alto
	Monte bajo
	Olivos
	Pastos
	Viñedos y parrales
	SUELO URBANO
Industrial	
Residencial	
Suelo sin edif.	

<b>PLANEAMIENTO</b>	0,8	(m2) Suelo urbano	0,5	Óptimo el mínimo
		(m2) Monte Alto	0,3	Óptimo el mínimo
		(m2) Labor regadío	0,2	Óptimo el mínimo

A continuación, se incluye una tabla resumen de los terrenos atravesados por alternativa. En el Anejo nº 09 Planeamiento urbanístico y Expropiaciones se incluye el detalle de los cálculos realizados, así como planos justificativos de cada una de las alternativas.

Se han calculado las diferentes superficies ocupadas por todas las alternativas estudiadas. En alguno de los casos no resulta significativa la comparación al no suponer diferencias cuantificables. Finalmente se han adoptado estos factores:

- o Suelo urbano (m<sup>2</sup>): la menor superficie de trazado que discurra sobre suelo cuyo uso sea Residencial, Suelo urbano sin edificar, Industrial y deportivo por las alternativas en estudio.
- o Monte Alto (m<sup>2</sup>): la menor superficie de trazado que discurra por las alternativas en estudio.
- o Labor de regadío (m<sup>2</sup>): para suelo rústico, la menor superficie de trazado que discurra por las alternativas en estudio.

En el caso del trazado Sevilla Huelva, el factor labor de regadío es el menos relevante comparativamente a la superficie de monte alto en caso de suelo rústico y en mucho menor consideración con suelo urbano, siendo este último el de mayor impacto.

ALTERNATIVA	Agrios (m2)	Árboles de ribera (m2)	Deportivo (m2)	Dominio Público (m2)	Frutales (m2)	Improductivo (m2)	Industrial (m2)	Labor de regadío (m2)	Labor de secano (m2)	Matorral (m2)	Monte alto (m2)	Monte bajo (m2)	Olivos (m2)	Pastos (m2)	Residencial (m2)	Suelo sin edif (m2)	Viñedos y parrales (m2)	TOTAL (m2)
1.1	10.656	2.061		846.206	9.052	42.748	115.173	11.676	3.569.403	55.447	618	6.663	300.852	236.470	410	43.263	11.251	5.261.949
1.2	10.055	2.062		763.009	9.052	40.492	61.537	13.409	3.675.503	44.747	618	6.712	288.096	239.877	410	43.263	20.621	5.219.463
2.1	80.734		9.368	547.790	32.159	47.423	95.056	15.990	3.603.407	23.471	119.450		667.117	117.752	411	45.318	40.428	5.445.874
2.2	79.759		9.368	409.942	32.159	48.019	26.845	12.884	3.822.020	16.242	118.135		654.815	117.894	5.110	44.446	52.274	5.449.912
3.1	80.669	254		450.968	9.052	15.718	72.197	12.067	4.144.160	29.541	29.121		458.709	111.939	410	43.263	14.941	5.473.009
3.2	82.149	254		369.311	9.052	23.501	22.501	35.120	4.178.544	20.057	29.461		436.725	111.071	22.882	44.432	24.275	5.409.335
NUDO	13.793			114.543			1.032	10.045	204.079				3.267					346.759

### 3.3.2.2. Criterios geotécnicos

Los aspectos que mayor influencia puedan tener en la ejecución de cada una de las alternativas en referencia al Factor Criterios Geotécnicos y que por lo tanto se han considerado como Conceptos Simples son los siguientes:

Las alternativas 1.1, 1.2, 2.1 y 2.2, presentan unas características geológico geotécnicas muy similares por lo que no existe ninguna alternativa destacable.

Las alternativas 1.1 y 1.2, atraviesan un mayor porcentaje de terrenos margo-arcillosos, pero los desmontes son de menor altura que en las alternativas 2.1, 2.2, 3.1 y 3.2. En cambio, en la zona final junto al Río tinto los rellenos se apoyan sobre terrazas, próximas a zonas de marisma, por lo que su cimentación será muy costosa y problemática.

Las alternativas 2.1 y 2.2 en su zona inicial, se excavan en desmontes de mayor altura y hay que construir un túnel, por lo que son más costosas y de mayor complejidad en su construcción. En cambio, en la zona final, cruzado el Río Tinto, discurren por terrenos competentes, que permiten construir desmontes con mejor geometría y "a priori" más estables, además de poderse reutilizar estos materiales en obra.

La mejor combinación son las alternativas 3.2 y especialmente la 3.1, que combinan la zona inicial con desmontes de menor altura de las alternativas 1.1 y 1.2, con el paso por terrenos geotécnicamente de mejor calidad geotécnica en su zona final, cruzado el Río Tinto, como en las alternativas 2.1 y 2.2. La alternativa 3.1 desde el punto de vista hidrogeológico, al atravesar un entorno urbano, en La Palma del Condado, con respecto a la 3.2, afecta menos la posibilidad de explotación de pozos de aprovechamiento agrícola.

- Riesgos geológicos trazado

Se valora la existencia de riesgos geológicos que se derivan del tipo de terreno atravesado de manera que se penalicen aquellas alternativas que atraviesan zonas con riesgos altos. Se ha obtenido una valoración del riesgo en función de la longitud atravesada de cada terreno y la valoración del riesgo asociado a dicha litología/riesgo atravesado. Se han distinguido diferentes riesgos con el fin de alcanzar un calificador de riesgo:

- Suelos/rocas agresivas
- Posibles suelos/rocas agresivas
- Suelos/rocas expansivas
- Posibles suelos/rocas expansivas
- Suelos/rocas evolutivos
- Karstificación
- Posible karstificación
- Suelos blandos
- Asientos diferenciales
- Posibles deslizamientos/Caída de bloques
- Erosión/acarcavamiento
- Arenización en dolomías
- Posible arenización en dolomías
- Otros riesgos (Lignitificación, sifonamiento, manantiales...)

Para la valoración de Nivel 2 se ha considerado como valor óptimo el valor mínimo de la valoración de Riesgos y como valor pésimo el mayor valor obtenido en esta valoración de riesgos.

- Riesgos Hidrogeológicos

Se valora la existencia de riesgos hidrogeológicos que se derivan de las zonas donde se ubican los diferentes túneles de forma que se penalicen aquellas

alternativas que disponen túneles en zonas con riesgos alto. Se ha obtenido una valoración del riesgo en función de las longitudes de túneles y de los terrenos donde se ubican:

- Permeabilidad media a alta – muy alta
- Permeabilidad baja a media – media
- Permeabilidad baja
- Zona saturada
- Perímetros de protección

Para la valoración de Nivel 2 se ha considerado como valor óptimo el valor mínimo obtenido en la valoración de Riesgos y como valor pésimo el mayor valor obtenido en esta valoración de riesgos.

- Reutilización

Se valora si el material que va a ser excavado se puede reutilizar en la construcción de los rellenos proyectados. Se estima el porcentaje de material del que se excave que podrá ser reutilizado.

Para la valoración de Nivel 2 se ha considerado como valor óptimo la alternativa que presenta un mayor porcentaje de reutilización y como valor pésimo el menor porcentaje de reutilización.

Los pesos que se han considerado para cada uno de estos Conceptos Simples son 40% para los Riesgos geológicos del trazado, dada la importancia en este caso de los riesgos a valorar, 30% para la Reutilización, en base a la importancia económica de la reutilización, y 30% los riesgos hidrogeológicos.

<b>CRITERIOS GEOTÉCNICOS</b>	0,20	Riesgos Geológicos Trazado	0,4	Óptimo mínimo
		Riesgos hidrogeológicos	0,3	Óptimo mínimo
		% Reutilización de excavaciones	0,3	Óptimo máximo

A continuación, se adjunta la tabla de valoración de las diferentes alternativas, en la que se indican los criterios de valoración de cada alternativa en función de la

longitud de cada una de ellas comparada con la longitud de los conceptos anteriormente mencionados.

	Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2
LONGITUD DE ALTERNATIVAS (Km)	94,30	94,20	95,40	95,70	96,40	96,30
REUTILIZACIÓN (Km)	20,00	25,00	40,00	45,00	35,00	30,00
RIESGO GEOLÓGICO (Km)	60,00	60,00	50,00	50,00	40,00	40,00
RIESGO HIDROGEOLÓGICO (Km)	0,00	0,00	10,00	10,00	10,00	10,00

ALTERNATIVA	LONGITUD DE ALTERNATIVA	REUTILIZACIÓN DE MATERIALES	RIESGO GEOLÓGICO TRAZADO EN SUPERFICIE	RIESGO HIDROGEOLÓGICO
Alternativa 1.1	1,0	0,20	0,40	1,00
Alternativa 1.2	1,0	0,20	0,40	1,00
Alternativa 2.1	1,0	0,40	0,65	0,80
Alternativa 2.2	1,0	0,40	0,60	0,90
Alternativa 3.1	1,0	0,40	0,60	0,80
Alternativa 3.2	1,0	0,40	0,70	0,80

### 3.3.3. Funcionalidad

Se pretende medir en esta opción la funcionalidad de la obra, valorando por tanto en mayor medida aquellas que mejor resuelven el funcionamiento de la misma. En este caso uno de los aspectos más relevantes desde el punto de vista funcional es el tiempo de viaje. A escala nacional forma parte del Plan de Infraestructura, Transporte y Vivienda (PITVI) definido para un horizonte 2012-2024 dando continuidad en el territorio español a la línea Madrid-Sevilla, por tanto, este

aspecto influye no solo en las relaciones entre Sevilla y Huelva sino en la conexión de Madrid con la ciudad y provincia de Huelva.

### 3.3.4. Tiempo de viaje

Los parámetros de diseño de trazado son los de una línea de alta velocidad para 350 km/h apta para tráfico de viajeros. En la salida de Sevilla-Nudo de Majarabique y la entrada a Huelva se produce una limitación de velocidad debido a la geometría del trazado y a la cercanía con las estaciones; así como en La Palma del Condado (en las alternativas que lo contemplen) por cercanía a núcleo urbano.

Por lo tanto, el factor que se ha adoptado en el multicriterio es el tiempo de recorrido, para lo que se han realizado simulaciones de las diferentes alternativas con circulaciones tipo con salida desde los ramales del Nudo de Majarabique. Las simulaciones se realizaron para dos tipos de material rodante y para ambos sentidos de circulación previstos.

No se consideró ninguna parada intermedia. Sin embargo, para las alternativas 1.1, 2.1 y 3.1 se incluyó una parada en la estación de La Palma del Condado, con un minuto de espera, considerándose el mismo peso para ambas simulaciones.

FUNCIONALIDAD	0,25	Con parada en La Palma del Condado (h)	Óptimo mínimo
		Sin parada en La Palma del Condado (h)	Óptimo mínimo

Como se puede ver en la tabla siguiente, todas las alternativas presentan tiempos muy similares, la mayor diferencia se produce debido a la consideración de parámetros geométricos propios de una línea de alta velocidad a la hora de diseñar el trazado de las mismas, independientemente de la inclusión o no de una parada intermedia en la estación de La Palma del Condado.

Se puede observar en la siguiente tabla los tiempos de las 6 alternativas.

ALTERNATIVA		LONGITUD TRAYECTO	TIEMPO	
			TALGO 350	ALVIA S-120
ALTERNATIVA 1.1	VUELTA	99,484	0:27:14	0:31:33
	IDA	99,941	0:27:35	0:31:42
ALTERNATIVA 1.2	VUELTA	99,388	0:24:39	0:28:24
	IDA	99,850	0:25:05	0:28:43
ALTERNATIVA 2.1	VUELTA	100,582	0:26:03	0:30:52
	IDA	101,039	0:26:16	0:30:48
ALTERNATIVA 2.2	VUELTA	100,845	0:23:31	0:28:06
	IDA	101,302	0:24:01	0:28:34
ALTERNATIVA 3.1	VUELTA	101,558	0:26:22	0:31:08
	IDA	102,015	0:26:37	0:31:05
ALTERNATIVA 3.2	VUELTA	101,463	0:23:38	0:28:06
	IDA	101,920	0:24:07	0:28:34

### 3.3.5. Criterio económico

Como indicador del criterio económico se incluye la Tasa Interna de Retorno (TIR) de cada una de las alternativas. Se considera un valor T.I.R. por encima del 4.5% sería un resultado óptimo y que uno por debajo del 2.5% sería indeseable. De ahí que a estos valores se les dé puntuaciones de 0 y 1, interpolándose para el resto.

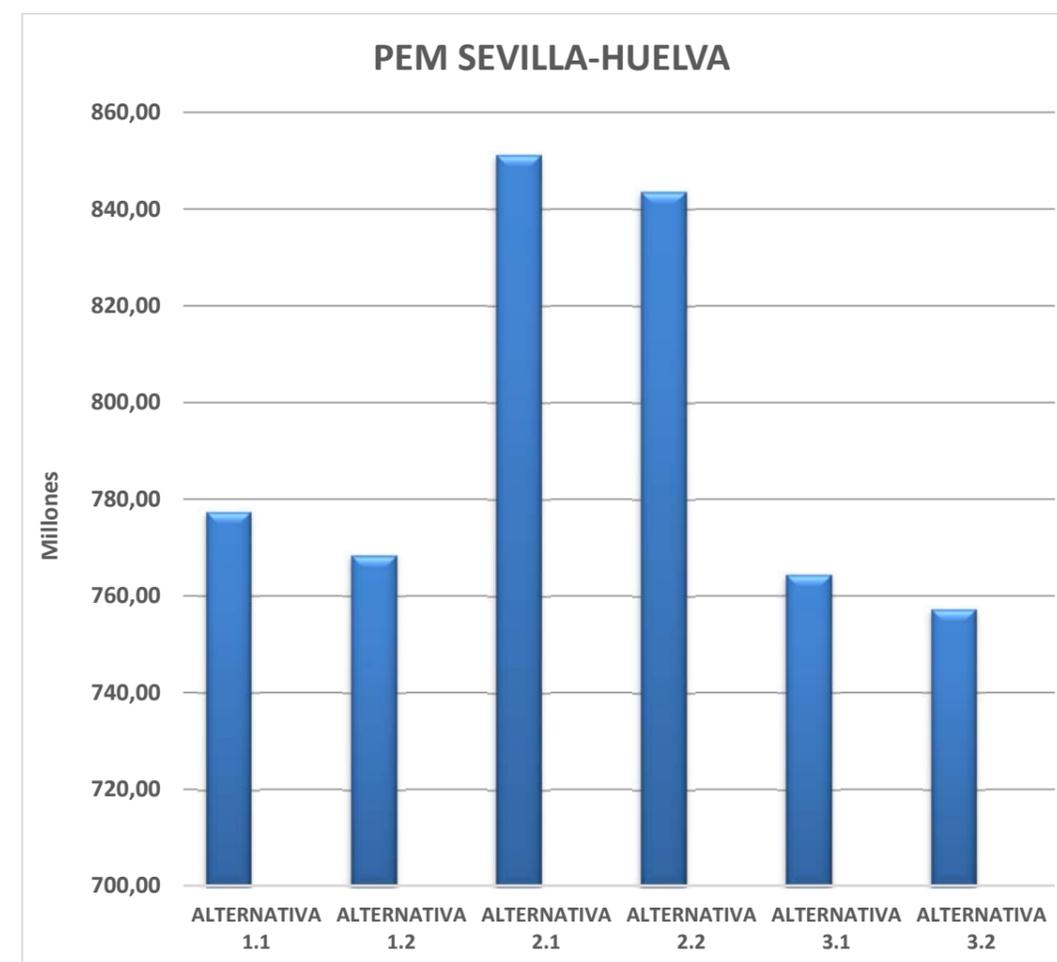
En el análisis multicriterio también se valora el coste de inversión de cada una de las alternativas planteadas. El factor analizado es el Presupuesto de Ejecución Material.

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) se analiza en todas las alternativas estudiadas para todos los tramos de manera que se considerará el valor óptimo para su puntuación con el valor 1 aquella alternativa cuyo presupuesto sea el menor y se penalizará con la menor puntuación (valor=0) aquella que tenga el presupuesto más alto de las alternativas comparadas.

<b>Inversión</b>	0,25	Tasa Interna de Retorno (TIR)	Óptimo por encima del 4,5% y pésimo por debajo del 2,5%
		PEM (Millón €)	Óptimo el menor

En la tabla adjunta puede observarse las valoraciones a nivel de PEM mostrando que las alternativas 3 (3.1 y 3.2) son las más ventajosas desde el punto de vista presupuestario de la inversión, seguidas de las alternativas 1 (1.1 y 1.2), siendo en este aspecto las más desfavorables las alternativas 2 (2.1 y 2.2).

	IMPORTE P.E.M.	IMPORTE P.B.L.
SEVILLA-HUELVA		
ALTERNATIVA 1.1	777.333.476,65 €	1.119.282.473,03 €
ALTERNATIVA 1.2	768.381.486,00 €	1.106.392.501,70 €
ALTERNATIVA 2.1	851.237.983,93 €	1.225.697.573,06 €
ALTERNATIVA 2.2	843.618.468,51 €	1.214.726.232,81 €
ALTERNATIVA 3.1	764.322.382,53 €	1.100.547.798,61 €
ALTERNATIVA 3.2	757.129.142,80 €	1.090.190.252,72 €



### 3.4. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

A continuación, se incluyen las tablas resumen donde se incluyen los resultados del multicriterio con los valores cuantificados de los distintos factores y conceptos simples (nivel 2) y los valores homogeneizados en el intervalo (0:1).

Los valores cuantificados de los diversos factores y conceptos simples se encuentran recogidos en sus respectivos anejos y documentos (Integración ambiental, Geología y geotecnia, Planeamiento, Valoración, Análisis funcional).

				Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2	
Medioambiente	0,30	Calificación Medioambiental	1,00	Valores	-158,00	-158,00	-150,00	-144,00	-136,00	-136,00
				Valores Hom.	0,00	0,00	0,36	0,64	1,00	1,00
		SUBTOTAL			0,00	0,00	0,36	0,64	1,00	1,00
		HOM. SUBTOTAL			0,00	0,00	0,36	0,64	1,00	1,00
Vertebración Territorial	0,20	Planeamiento	0,80	Valores	0,50	0,85	0,22	0,69	0,72	0,70
				Valores Hom.	0,44	1,00	0,00	0,75	0,79	0,76
		Criterios Geotécnicos	0,20	Valores	0,40	0,40	0,67	0,58	0,73	0,45
				Valores Hom.	0,00	0,00	0,80	0,55	1,00	0,15
		SUBTOTAL			0,35	0,80	0,16	0,71	0,83	0,64
		HOM. SUBTOTAL			0,29	0,95	0,00	0,82	1,00	0,71
Inversión	0,25	Tasa Interna de Retorno (TIR)	0,60	Valores	3,75%	2,11%	3,34%	1,77%	3,87%	2,16%
				Valores Hom.	0,63	-0,20	0,42	-0,37	0,69	-0,17
		PEM (Millón €)	0,40	Valores	777,33	768,38	851,24	843,62	764,32	757,13
				Valores Hom.	0,79	0,88	0,00	0,08	0,92	1,00
		SUBTOTAL			0,69	0,24	0,25	-0,19	0,78	0,30
		HOM. SUBTOTAL			0,91	0,44	0,45	0,00	1,00	0,50
Funcionalidad	0,25	Con parada en La Palma del Condado (h)	0,50	Valores	0:31:33	-	0:30:48	-	0:31:05	-
				Valores Hom.	0,00	-	1,00	-	0,62	-
		Sin parada en La Palma del Condado (h)	0,50	Valores	0:27:14	0:24:39	0:26:03	0:23:31	0:26:22	0:23:38
				Valores Hom.	0,00	0,69	0,32	1,00	0,23	0,97
		SUBTOTAL			0,00	0,35	0,16	0,50	0,12	0,48
		HOM. SUBTOTAL			0,00	0,69	0,32	1,00	0,23	0,97

CRITERIOS GEOTECNICOS: CONCEPTOS SIMPLES

				Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2	
Criterios Geotécnicos	0,2	Riesgos Geológicos trazado	0,4	Valores	0,40	0,40	0,65	0,60	0,60	0,70
				Valores Hom.	1,00	1,00	0,17	0,33	0,33	0,00
		Riesgos Hidrogeológicos	0,3	Valores	1,00	1,00	0,80	0,90	0,80	0,90
				Valores Hom.	0,00	0,00	1,00	0,50	1,00	0,50
		% Reutilización de materiales	0,3	Valores	20,00%	20,00%	40,00%	40,00%	40,00%	40,00%
				Valores Hom.	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		SUBTOTAL				0,40	0,40	0,67	0,58	0,73

PLANEAMIENTO: CONCEPTOS SIMPLES

				Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2	
Planeamiento	0,8	(m <sup>2</sup> ) Labor regadío	0,2	Valores	11.676,00	13.409,00	15.990,00	12.884,00	12.067,00	35.120,00
				Valores Hom.	1,00	0,93	0,82	0,95	0,98	0,00
		(m <sup>2</sup> ) Monte Alto	0,3	Valores	618,00	618,00	119.450,00	118.135,00	29.121,00	29.461,00
				Valores Hom.	1,00	1,00	0,00	0,01	0,76	0,76
		(m <sup>2</sup> ) Suelo urbano	0,5	Valores	158.846,00	105.210,00	150.153,00	85.769,00	115.870,00	89.815,00
				Valores Hom.	0,00	0,73	0,12	1,00	0,59	0,94
		SUBTOTAL				0,50	0,85	0,22	0,69	0,72

TIEMPOS DE VIAJE: CONCEPTOS SIMPLES

				Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2	
Tiempo de viaje	0,25	Con parada en La Palma del Condado (h)	0,5	Valores	0:31:33	-	0:30:48	-	0:31:05	-
				Hom.Valores	0,00	-	1,00	-	0,62	-
		Sin parada en La Palma del Condado (h)	0,5	Valores	0:27:14	0:24:39	0:26:03	0:23:31	0:26:22	0:23:38
				Hom.Valores	0,00	0,69	0,32	1,00	0,23	0,97
		SUBTOTAL				0,00	0,35	0,16	0,50	0,12

### 3.5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

#### 3.5.1. Modelo

	Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2
Medioambiente	0,00	0,00	0,36	0,64	1,00	1,00
Vertebración Territorial	0,29	0,95	0,00	0,82	1,00	0,71
Inversión	0,91	0,44	0,45	0,00	1,00	0,50
Funcionalidad	0,00	0,69	0,32	1,00	0,23	0,97

#### 3.5.2. Análisis multicriterio

##### 3.5.2.1. Preferencias

PREFERENCIAS		Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2
Medioambiente	0,30	0,00	0,00	0,36	0,64	1,00	1,00
Vertebración Territorial	0,20	0,29	0,95	0,00	0,82	1,00	0,71
Inversión	0,25	0,91	0,44	0,45	0,00	1,00	0,50
Funcionalidad	0,25	0,00	0,69	0,32	1,00	0,23	0,97
Valoración		0,28	0,47	0,30	0,60	0,81	0,81
Valoración (0,1)		0,35	0,58	0,37	0,75	1,00	1,00

##### 3.5.2.2. Robustez

	Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2
Número de máximos	0	6	0	16	159	106
	0%	2%	0%	6%	55%	37%

### 3.5.2.3. Sensibilidad

	Alternativa 1.1	Alternativa 1.2	Alternativa 2.1	Alternativa 2.2	Alternativa 3.1	Alternativa 3.2
Número de máximos	0	0	0	0	212	133
	0%	0%	0%	0%	61%	39%

### 3.5.3. Conclusiones

Se ha realizado un análisis multicriterio con el objetivo de definir la solución óptima a desarrollar en las siguientes etapas. Un resumen de los resultados de este análisis multicriterio se exponen a continuación.

#### 3.5.3.1. Robustez

Este método consiste en la aplicación de todas las combinaciones posibles de pesos para todos los criterios. El resultado obtenido es el número de veces que cada alternativa resulta ser la óptima en esa combinación de pesos.

Este procedimiento es el que tiene menor subjetividad y muestra claramente que alternativas tienen un mejor comportamiento.

En este caso la que obtiene un mayor porcentaje de máximos es la alternativa 3.1 con un 55% (159 máximos), seguida de la alternativa 3.2 con un 37% (106 máximos) y de las alternativas 2.2 y 1.2 con porcentajes del 6% (16 máximos) y 2% (6 máximos), respectivamente.

#### 3.5.3.2. Sensibilidad

Este método consiste en la aplicación de todas las posibles combinaciones de pesos para todos los criterios, pero entre unos intervalos determinados de acuerdo con la importancia que el análisis estime para cada criterio. De esta forma se obtienen el número de veces que cada alternativa es óptima entre los rangos definidos. Este método es una combinación de parámetros objetivos y subjetivos, con el objeto de obtener la mejor alternativa, pero de acuerdo al comportamiento de esta en los criterios considerados más relevantes.

En este caso la alternativa 3.1 obtiene un 61% de los máximos y la alternativa 3.2 el 39% restante, con un total de 345 combinaciones de pesos.

#### 3.5.3.3. Preferencias

Este método consiste en la aplicación de pesos para cada criterio de acuerdo a preferencias subjetivas consideradas como las más apropiadas por el equipo de diseño para obtener aquella que presenta un mejor comportamiento.

En este caso las alternativas 3 (3.1 y 3.2) son las que obtienen mejores puntuaciones en el análisis, debido al mayor número de valores óptimos, seguida por la alternativa 2.2.

Desde el punto de vista medioambiental las alternativas 1 (1.1 y 1.2) son las que presentan un peor comportamiento, al discurrir su trazado próximo al BIC de San Juan del Puerto, así como a las marismas del Río Tinto, lo cual justifica el mayor número de impactos severos en relación al resto de las alternativas, siendo las alternativas 3 (3.1 y 3.2) las que mejores puntuaciones obtienen en este aspecto.

También, es reseñable que la alternativa 2.1 tiene la peor puntuación en el análisis de la vertebración territorial, seguida de la alternativa 1.1, debido a la mayor superficie de suelo urbano afectado a lo largo de sus respectivos trazados. En lo referente a la inversión, las alternativas 2 (2.1 y 2.2) reflejan la peor puntuación fundamentalmente por la presencia del túnel de La Muela, con una longitud de 1.850 m, exclusivo de estas, siendo en este aspecto la mejor valorada la alternativa 3.1 seguida de la alternativa 1.1.

Desde el punto de vista de la funcionalidad (tiempos de viaje), las alternativas cuyo trazado discurre por La Palma del Condado y tienen parada en la estación

---

intermedia (1.1, 2.1 y 3.1) presentan tiempos de recorrido más elevados, por lo que obtienen peores valores en comparación con las alternativas (1.2, 2.2 y 3.2) cuyo trazado se desarrolla al norte de dicha población, evitando, por tanto, el paso (mayor desarrollo) y la parada prevista en La Palma del Condado. En este aspecto, la mejor valorada es la alternativa 2.2 debido a que no considera parada en la estación intermedia de La Palma del Condado y su trazado, más adecuado para una línea de alta velocidad, permite obtener tiempos de recorrido menores al del resto de alternativas, seguido muy de cerca por la alternativa 3.2, que tampoco realiza parada, con una puntuación de 0,97.

#### 3.5.3.4. Alternativa seleccionada

Como se puede observar de los resultados obtenidos en el ámbito **entre Sevilla y Huelva** se observa que el análisis de preferencias indica que hay dos alternativas que destacan por encima del resto y son las Alternativas 3 (3.1 y 3.2). El análisis de robustez y sensibilidad confirma este extremo, estando el resto de alternativas más alejadas de estas dos.