

Anejo VI

Análisis multicriterio

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DEFINICIÓN DE CRITERIOS.....	1
3	DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	3
2.1	Alternativa 0	4
2.2	Alternativa 1	4
2.3	Alternativa 2	5
2.4	Alternativa 3a	5
2.5	Alternativa 3b	5
3	VALORACIÓN DE LOS DIFERENTES OBJETIVOS	6
3.1	Indicadores empleados.....	6
3.2	Criterio funcional	6
3.2.1	Longitud de cada alternativa:	6
3.2.2	Tiempo de viaje.....	7
3.2.3	Valoración funcional	7
3.3	Criterio medioambiental	8
3.3.1	Alteraciones características físicas y químicas del suelo.....	8
3.3.2	Ruido y vibraciones.....	8

3.3.3	Patrimonio	9
3.3.4	Excedente de tierras	9
3.3.5	Valoración ambiental.....	10
3.4	Criterio social	10
3.5	Criterio económico	11

4 VALORACIÓN Y PONDERACION GLOBAL DE LAS ALTERNATIVAS 12

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA LA AMPLIACIÓN	3
FIGURA 2. VÍAS PECUARIAS EN EL ÁREA DE ACTUACIÓN. FUENTE: VISOR ICV	9

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PESOS ASIGNADOS SEGÚN OBJETIVO.....	3
TABLA 2. LONGITUD TOTAL Y VALOR DEL INDICADOR CORRESPONDIENTE PARA CADA ALTERNATIVA.....	6
TABLA 3. TIEMPOS DE VIAJE Y VALOR DEL INDICADOR DE CADA ALTERNATIVA.....	7
TABLA 4. INDICADOR FUNCIONAL PARA CADA ALTERNATIVA.....	7
TABLA 5. VALORACIONES PARA EL CRITERIO DE ALTERACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO	8
TABLA 6. VALORACIONES PARA RUIDO Y VIBRACIONES PARA CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS	8
TABLA 7. AFECCIÓN AL PATRIMONIO DE LA ZONA	9
TABLA 8. VALORACIONES PARA EXCEDENTE DE TIERRAS	10
TABLA 9. PESOS SEGÚN INDICADOR PARA CRITERIOS AMBIENTALES	10
TABLA 10. INDICADOR GLOBAL PARA EL CRITERIO AMBIENTAL.....	10
TABLA 11. VALORACIONES DEL CRITERIO SOCIAL PARA CADA ALTERNATIVA.....	11
TABLA 12. VALORACIÓN PRESUPUESTA.....	11
TABLA 13. INDICADORES TOTALES PARA CADA ALTERNATIVA.....	12

1 INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es definir las diferentes alternativas de trazado estudiadas y los resultados derivados de la realización del estudio multicriterio de las diferentes alternativas consideradas como válidas. El análisis multicriterio es una herramienta que permite evaluar las diferentes alternativas desarrolladas en función de unos criterios definidos a priori, que se consideran de fundamental importancia para el estudio. Los criterios que se tienen en cuenta en la comparación son representativos de la actuación y tratan de cubrir la totalidad de los posibles efectos que genera cada alternativa. Este método permite objetivar la toma de decisiones de forma numérica a la hora de decantarse por una solución en concreto, una vez comparadas todas las alternativas planteadas, con el fin de determinar la alternativa más conveniente para ampliación.

Se plantean 4 alternativas diferentes, las 4 serán alternativas deprimidas en vía doble.

2 DEFINICIÓN DE CRITERIOS

El primer paso debe ser el establecimiento de los objetivos que se pretenden alcanzar, y que vienen determinados, para el caso de una infraestructura pública como la contemplada, por las distintas expectativas o exigencias que la sociedad se plantea ante una inversión de este tipo.

Se definen los siguientes cuatro objetivos a satisfacer por la actuación:

1. Objetivo funcional: se basa en obtener la alternativa que ofrezca un mejor servicio al usuario teniendo en cuenta los siguientes factores: captación de viajeros, longitud del recorrido y tiempo de recorrido.
2. Criterio ambiental: obtener la alternativa que produzca menor impacto residual sobre el medio. A falta de Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la afección al entorno se realizará de forma aproximada, cuantificando las mejoras tipo.
3. Criterio económico: el coste monetario de la mejora es un criterio de gran importancia ya que, es necesario intentar, en la medida de lo posible, que la solución que se adopte sea lo más económica posible. Aunque, no hay que descuidar la calidad

y eficacia del resto de alternativas, por lo que este no es el único criterio a tener en cuenta, pero si con un peso mayor

4. Objetivo territorial / social: consiste en seleccionar la alternativa que aporte una mejora más significativa de la oferta de transporte en la zona por la que transcurre, y en consecuencia alcance la mayor demanda ferroviaria.

Cada objetivo equivale a un criterio de valoración, al cual se le asigna un parámetro único denominado indicador, con valores que oscilan entre 1 y 5, como ya se verá en los siguientes puntos. Este parámetro único es el resultado de la evaluación de diversos factores, y conceptos simples escogidos por su representatividad, su importancia y la factibilidad de su valoración mediante métodos cuantitativos.

A cada uno de los criterios establecidos se le asigna un peso con el fin de reflejar su importancia relativa a la hora de escoger la mejor alternativa. Los pesos están comprendidos entre 0 y 1, de manera que la suma de todos debe ser 1.

La elección de estos pesos para cada uno de los criterios descritos anteriormente se ha propuesto de acuerdo con las siguientes pautas:

- Importancia: se pretende minimizar la afección al medio ambiente y su vez ofrecer una propuesta funcional. Por otro lado. el coste de las obras también es de gran importancia ya que, si el presupuesto de las actuaciones fuera muy elevado se encontraría en clara desventaja respecto a las otras si la valoración en el resto de los objetivos fuera similar.
- Precisión: el hecho de cuantificar algunos de los criterios resulta difícil y, por ende, impreciso. Por ello, se ponderará con un peso menor aquellos criterios que resultan más imprecisos, aunque su importancia en este estudio sea muy grande. Este es el caso del objetivo social, al cual se le ha aplicado un peso menor que al resto.

Se pueden ver los pesos de cada objetivo en la Tabla 1.

Como paso final, aplicando los pesos a los objetivos se obtiene una valoración de cada una de las alternativas mediante la obtención de una sola puntuación por alternativa para cada objetivo. Este valor varía de 1 a 5, siendo el 5 el mejor y el 1 el peor.

Objetivo	Peso
Funcional	0,30
Ambiental	0,25
Económico	0,30
Social	0,15

Tabla 1. Pesos asignados según objetivo

3 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

Se consideran 3 alternativas en el estudio. En este punto se procederá a resumir brevemente cada una de ellas.

A continuación, se presentan en la Figura 1. Alternativas propuestas para la ampliación las alternativas propuestas. La alternativa 1 será la que discurre más al sur, de color verde. La alternativa 2 corresponde a la traza coloreada en rojo y por último se encuentran las alternativas 3a (amarilla) y 3b (azul).

Se puede observar también las estaciones propuestas para cada alternativa y que todas ellas cuentan con un punto en común, la ubicación de la estación en el C.C Bonaire que corresponde al final de las trazas.

La ubicación de la estación se ha proyectado en ese lugar específicamente como solución de compromiso entre la viabilidad de una posible ampliación de la línea en un futuro y la capacidad de captación de la estación.

*Figura 1. Alternativas propuestas para la ampliación*

2.1 Alternativa 0

La alternativa 0 consiste en no realizar ninguna intervención. No se considerará de aquí en adelante ya que carece de sentido, puesto que supondría no realizar el estudio previo para la ampliación de la línea c-4 de cercanías hasta el C.C. Bonaire y por tanto no se desarrollaría el presente trabajo académico.

2.2 Alternativa 1

Esta alternativa (representada por la traza verde en la Figura 1) comienza en el PK 1+550 m de la línea C-4. Se toma este punto como partida y no otro ubicado en un PK anterior ya que este se encuentra justamente sobre el estribo del puente, es decir, aunque se seleccione un punto con PK anterior no se podría modificar el trazado existente ya que para ello debería modificarse también el puente sobre el río Turia, lo cual es inviable.

Se define este punto como PK 0+000 de la alternativa. La cota en este punto es de 31,9 m de altura sobre nivel del mar. El trazado comienza en la rampa de acceso al soterramiento, la cota de plataforma de la vía desciende desde el terraplén hasta una cota de aproximadamente -12 en el PK 0+355 m. Con esto se consigue el paso por debajo de la edificación existe, permitiendo dejar un resguardo entre el túnel y la cimentación de 4 m para evitar afecciones. A continuación, el túnel continúa por debajo del núcleo urbano de Xirivella hasta el PK 1+800, donde se propone la ubicación de la estación. La línea continua hasta el PK 3+950 m donde se encuentra la estación de Aldaia. La línea prosigue su trazado por debajo del núcleo urbano de Aldaia hasta llegar a la estación de Bonaire, hito que corresponde con el término de la línea, en el PK 6+762 m.

Cabe mencionar que el túnel en esta alternativa, al atravesar tanto los núcleos urbanos de Xirivella y Aldaia se encuentra a mayor profundidad que el resto de las alternativas. Por lo tanto, el túnel se debe ejecutar en mina mientras que en el resto de las alternativas se discurre a una cota superior por lo que se pueden ejecutar los túneles de forma superficial, como se verá más adelante.

2.3 Alternativa 2

La alternativa 2 (representada por la traza roja en la Figura 1) parte del término de la actual línea C-4 en Xirivella. Desde su origen desciende de forma paralela a la autovía V-30 hasta alcanzar la plataforma una cota de aproximadamente -12 m sobre el terreno para no afectar a la tienda de Lidl, en el PK 0+680. Una vez superado la cimentación de esta estructura el trazado asciende hasta la cota de -9 m. Más adelante, en el PK 3+ 640 se encuentra la estación de Aldaia y en el PK 6+392 m la estación de Bonaire.

Este trazado sigue los ejes de los viales existentes al paso por los núcleos de población por lo que se puede ejecutar un túnel superficial, excepto en el tramo del PK 0+680 donde se debe superar una estructura existente. Además, dado que parte de la estación de Xirivella L'Alter se mantiene la misma para dar servicio.

2.4 Alternativa 3a

Esta alternativa (representada por la traza amarillo en la Figura 1) comienza en el PK 9+050 m de la línea Madrid - Utiel. El trazado realiza un giro a derechas para enfilarse el eje de la Avenida Virgen de los Desamparados y al final de esta, en el PK 0+870 se ubica la estación que dará servicio al municipio de Xirivella. A continuación, cambia la orientación mediante una gira para dirigirse hacia el Barrio del Cristo, donde se encuentra la siguiente estación, en el PK 4+090. Finalmente, en el PK 5+886 se halla la estación de Bonaire.

2.5 Alternativa 3b

Esta alternativa (representada por la traza azul en la Figura 1) es idéntica hasta el PK 0+870 a la alternativa 3a y comparten la ubicación de la estación. A partir de este punto esta alternativa en lugar de dirigirse hacia el Barrio del Cristo, lo hace hacia el municipio de Aldaia, donde cuenta con una estación en el PK 3+150 m. En el PK 5+996m se sitúa la estación terminal de Bonaire.

3 VALORACIÓN DE LOS DIFERENTES OBJETIVOS

3.1 Indicadores empleados

La valoración de cada uno de los criterios se ha realizado utilizando indicadores definidos a través de la siguiente expresión:

$$I = 3 \pm \frac{2}{V_{\max} - V_{\min}} \cdot (V_{\text{med}} - V)$$

Donde V es el parámetro de evaluación de cada una de las variables consideradas. El indicador “I” tomará valores entre 1 y 5, siendo mejor cuanto mayor sea.

3.2 Criterio funcional

Para evaluar la funcionalidad de cada alternativa, de cara a proporcionar a los usuarios de la vía una circulación cómoda y segura, se han considerado una serie de indicadores que evalúan ciertos aspectos que intervienen directamente en la funcionalidad de los trazados estudiados. Tras el cálculo del valor de estos indicadores, el objetivo funcional se determina mediante la ponderación de los valores de cada uno de ellos, que será en este caso del 0.6 para el tiempo de viaje y 0.4 para la longitud de la alternativa.

3.2.1 Longitud de cada alternativa:

Uno de los aspectos a valorar es la longitud de las alternativas planteadas. Se considera que una alternativa con menor longitud de recorrido cumple mejor el objetivo de unir los puntos inicial y final del ámbito de estudio, y por tanto la puntuación asociada será mayor.

El valor óptimo, se corresponde en este caso con la distancia mínima entre el punto de origen (varía en función de la alternativa) y el punto final, la estación en el C.C. Bonaire, siendo la alternativa 3a la que menor longitud presenta, como se muestra en la Tabla 2.

	Longitud de la línea	I _{LONG}
Alternativa 1	6762,24 m	1,9
Alternativa 2	6396,20 m	2,7
Alternativa 3a	5886,07 m	3,9
Alternativa 3b	5996,93 m	3,6

Tabla 2. Longitud total y valor del indicador correspondiente para cada alternativa

3.2.2 Tiempo de viaje

El tiempo de viaje se corresponde con el tiempo de recorrido de toda la línea con la ampliación, es decir, entre la estación de Valencia - San Isidro hasta la estación del C.C Bonaire. Dentro del tiempo de recorrido, se considera el tiempo de marcha sin paradas y el tiempo de paradas para toda la línea. El tiempo de parada será la media para del tiempo de parada en el servicio cercanías, que es aproximadamente 2 min en cada estación. Suponiendo una velocidad comercial de 80 km/h se obtienen los siguientes resultados.

	Longitud total	Tiempo trayecto	Número paradas	Tiempo en paradas	Tiempo total	I_t
Alternativa 1	8202,24 m	6,2 min	2	4 min	10,2 min	3,4
Alternativa 2	8412,20 m	6,3 min	3	6 min	12,3 min	1,6
Alternativa 3a	7940,68 m	6,0 min	2	4 min	10,0 min	3,6
Alternativa 3b	8051,54 m	6,0 min	2	4 min	10,0 min	3,5

Tabla 3. Tiempos de viaje y valor del indicador de cada alternativa¹

El valor óptimo, se corresponde con la alternativa que emplea un menor tiempo para realizar su recorrido, en este caso la alternativa 3a.

3.2.3 Valoración funcional

Como ya se ha mencionado anteriormente, se asigna un peso del 0.6 para el tiempo de viaje y 0.4 para la longitud de la alternativa ya que se considera más importante el factor tiempo de viaje y además dentro de este último se incluye indirectamente la longitud total. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

	I_{fun}
Alternativa 1	2,8
Alternativa 2	2,0
Alternativa 3a	3,7
Alternativa 3b	3,5

Tabla 4. Indicador funcional para cada alternativa

¹ Este no es el tiempo de viaje real, simplemente es un modo de comparar el tiempo entre alternativas pero sin considerar aceleraciones y frenadas del tren entre parada y parada.

3.3 Criterio medioambiental

En lo referente a este criterio, cabe destacar que, en general, el orden de magnitud de los parámetros ambientales valorados es similar entre las alternativas, por los condicionantes de la actuación.

La valoración del objetivo ambiental se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores: alteraciones características físicas del suelo, ruido y vibraciones, afección al patrimonio y excedencia de tierras. Sólo se emplean estos 4 criterios debido a que otros criterios como fauna, vegetación, medio hídrico, etcétera, son similares en las 4 alternativas.

3.3.1 Alteraciones características físicas y químicas del suelo

Se trata de averiguar qué alternativa produce una mayor superficie de zonas desnudas, es decir, no pavimentadas. Se valora en una escala del 1 al 5 este criterio y como resultado se obtiene el valor del indicador que contra más elevado sea mejor será la alternativa.

	Valoración	I _{AC}
Alternativa 1	1	4,3
Alternativa 2	3	3,0
Alternativa 3a	4	2,3
Alternativa 3b	4	2,3

Tabla 5. Valoraciones para el criterio de alteración de las características físicas del suelo

3.3.2 Ruido y vibraciones

Dentro de los aspectos medioambientales que pueden suponer un elemento diferenciador en la comparativa de las soluciones planteadas, se considera que la afección por ruido constituye un aspecto relevante por el carácter urbano del ámbito en el que se desarrolla la actuación. En este aspecto se asignará una mayor valoración a aquellas alternativas en las que se atravesase un menor número de edificios y zonas de desplazamiento de peatones tales como aceras y pasos peatonales.

Ruido		
	Valoración	I _R
Alternativa 1	5	2,0
Alternativa 2	4	2,7
Alternativa 3a	2	4,0
Alternativa 3b	3	3,3

Tabla 6. Valoraciones para ruido y vibraciones para cada una de las alternativas

3.3.3 Patrimonio

Se valora la afección a elementos patrimoniales tanto histórico cultural (en este caso La Huerta de Xirivella) y al patrimonio pecuario (ver Figura 2). Además, se debe tener en cuenta que entre el municipio de Aldaia y Xirivella se encuentra La Huerta de Xirivella. Se trata de un espacio natural de 140.000 m² aproximadamente que se considera patrimonio del municipio. La alternativa 1 es la que menor superficie afecta seguida de la alternativa 2 y posteriormente por la 3a y 3b.



Figura 2. Vías pecuarias en el área de actuación. Fuente: Visor ICV

	Valoración	I _R
Alternativa 1	3	3,5
Alternativa 2	3	3,5
Alternativa 3a	4	1,5
Alternativa 3b	3	3,5

Tabla 7. Afección al patrimonio de la zona

3.3.4 Excedente de tierras

Otro aspecto ambiental que considerar por su repercusión es la generación de excedentes de tierras que hay que ubicar en otro lugar y que puede provocar un impacto.

El vertido del material sobrante está previsto que se realice en canteras o vertederos controlados, sin generar nuevas zonas de vertido. Aun así, es un aspecto que considerar, no sólo por el volumen en sí que deben acoger estos enclaves sino por el impacto ocasionado por el transporte de material desde la obra hasta su destino.

Este excedente de tierra está directamente relacionado con la longitud de cada alternativa.

	Valoración	I_R
Alternativa 1	5	1,9
Alternativa 2	3	2,9
Alternativa 3a	1	3,9
Alternativa 3b	2	3,4

Tabla 8. Valoraciones para excedente de tierras

3.3.5 Valoración ambiental

Para obtener el indicador global relacionado con el medioambiente se aplicarán los siguientes pesos:

Indicador	Peso
Alteraciones características físicas y químicas del suelo	0,25
Patrimonio	0,2
Ruido y vibraciones	0,25
Excedente de tierras	0,3

Tabla 9. Pesos según indicador para criterios ambientales

El resultado final se muestra en la Tabla 10.

	I_{amb}
Alternativa 1	2,8
Alternativa 2	3,0
Alternativa 3a	3,0
Alternativa 3b	3,1

Tabla 10. Indicador global para el criterio ambiental

3.4 Criterio social

Las 4 alternativas se han planteado soterradas por lo que en todas ellas se gana espacios abiertos y se mejora la conexión en la red viaria y peatonal. Por tanto, este criterio sería igual para las 4 alternativas. En caso de existir una alternativa superficial esta se encontraría en desventaja con la soterrada

Por ello, para evaluar este objetivo se analiza para cada alternativa la respuesta ante la demanda ferroviaria, así como la posibilidad de intercambio con otros modos de transporte y la conectividad urbana con las nuevas estaciones.

De esta forma se ha dado una valoración ordinal a las alternativas, poniendo en primer lugar a la alternativa que se adapta mejor a la demanda global. En el municipio de Xirivella las 4 alternativas tienen prácticamente el mismo impacto en lo referente a este criterio.

Es en el municipio de Aldaia donde se observa que la alternativa 1 presentará una mayor respuesta ante la demanda debido a que se encuentra en una ubicación más céntrica de l municipio que la alternativa 2 y 3b. Por su parte, la alternativa 3ª pasa por el barrio Cristo, captando gran parte de la demanda de este y además conectando un municipio cuyo único transporte público es la línea 106 del autobús interurbano.

	Valoración	I _s
Alternativa 1	2	4,0
Alternativa 2	4	2,0
Alternativa 3a	2	4,0
Alternativa 3b	4	2,0

Tabla 11. Valoraciones del criterio social para cada alternativa

3.5 Criterio económico

Por último, se debe considerar el criterio económico. Se han tomado como dato valores generales del coste aproximado de la ejecución de una vía ferroviaria soterrada por km. La información se ha obtenido a partir de diferentes proyectos y estudios informativos adjudicados por el Ministerio de Fomento y con condiciones similares al presente, en relación con su desarrollo en ámbito urbano como los siguientes:

- Estudio informativo del proyecto de integración del ferrocarril en la ciudad de Vitoria-Gasteiz.
- Estudio informativo de integración del ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat. (Barcelona)

Además, se debe tener en cuenta que aquellas alternativas con tramos donde el túnel se encuentre a mayor profundidad tendrán un coste de ejecución mayor.

	Presupuesto	I _{pre}
Alternativa 1	274.616.888	1,8
Alternativa 2	198.348.383	2,8
Alternativa 3a	156.200.000	3,6
Alternativa 3b	146.000.000	3,8

Tabla 12. Valoración presupuesta

4 VALORACIÓN Y PONDERACION GLOBAL DE LAS ALTERNATIVAS

Para concluir este anejo se obtiene el indicador global para cada alternativa aplicando los pesos para cada criterio, mencionados al comienzo del anejo (Tabla 1). Con ellos se obtienen las siguientes valoraciones para cada alternativa:

	I_{fun}	I_{amb}	I_s	I_{pre}	I_{TOT}
Alternativa 1	2,8	2,8	4,0	1,8	2,9
Alternativa 2	2,0	3,0	2,0	2,8	2,4
Alternativa 3a	3,7	3,0	4,0	3,6	3,6
Alternativa 3b	3,5	3,1	2,0	3,8	3,1

Tabla 13. Indicadores totales para cada alternativa

Cabe recordar que la escala de valoración se encontraba entre 1 y 5, siendo 1 el peor valor posible y 5 el mejor. Con ello, se obtiene que la alternativa que presenta un mayor valor es la alternativa 3a.

Las 4 alternativas están muy igualadas en cuanto al criterio medioambiental, dándose las mayores diferencias en el criterio económico, debido a que la alternativa se encarece contra mayor sea la profundidad por la que pase la traza, y también en el funcional.

Por tanto, la alternativa 3a será la seleccionada para la prolongación de la línea puesto que es la que mayor valor obtiene sobre el resto de las alternativas en el análisis multicriterio.