

ANEJO N° 10

ANÁLISIS MULTICRITERIO

ANEJO N° 10.- ANÁLISIS MULTICRITERIO

		<u>ÍNDICE</u>		
	<u>Pág.</u>			<u>Pág.</u>
1.- INTRODUCCIÓN	2	4.- DEFINICIÓN EXPLÍCITA DE LAS VARIABLES DE VALORACIÓN		15
2.- PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO	2	4.1.- TRAMO I		15
2.1.- INTRODUCCIÓN	2	4.1.1.- Obtención de indicadores		15
2.2.- METODOLOGÍA DE ESTUDIOS MULTICRITERIO	2	4.1.2.- Escalado de las variables consideradas.....		16
2.2.1.- Descripción del problema.....	2	4.1.3.- Aplicación de la regla de decisión.....		16
2.2.2.- Planteamiento general de la solución propuesta	3	4.1.4.- Análisis de sensibilidad y robustez.....		17
3.- ANÁLISIS DETALLADO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	4	4.2.- TRAMO II		18
3.1.- SELECCIÓN DE LOS OBJETIVOS	4	4.2.1.- Obtención de indicadores		18
3.2.- DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN	4	4.2.2.- Escalado de las variables consideradas.....		18
3.3.- EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS.		4.2.3.- Aplicación de la regla de decisión.....		19
INDICADORES	5	4.2.4.- Análisis de sensibilidad y robustez.....		20
3.3.1.- Variables pertenecientes al objetivo medioambiental ...	5	ANEXO N° 1.- ANÁLISIS MULTICRITERIO TRAMO I		21
3.3.2.- Variables pertenecientes al objetivo económico.....	7	ANEXO N° 2.- ANÁLISIS MULTICRITERIO TRAMO II		30
3.3.3.- Variables pertenecientes al objetivo funcional	7			
3.3.4.- Variables pertenecientes al objetivo territorial	8			
3.4.- ESCALADO DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS	9			
3.4.1.- Variables pertenecientes al objetivo medioambiental ...	9			
3.4.2.- Variables pertenecientes al objetivo económico.....	10			
3.4.3.- Variables pertenecientes al objetivo funcional	10			
3.4.4.- Variables pertenecientes al objetivo territorial	11			
3.5.- DEFINICIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN A UTILIZAR.....	11			
3.5.1.- Método Pattern	12			
3.5.2.- Método de Electre I	13			
3.6.- COMPROBACIÓN DE LA SENSIBILIDAD				
Y ROBUSTEZ DE LAS ALTERNATIVAS.....	15			

1.- INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo consiste en, una vez realizado el análisis individual de cada una de las alternativas estudiadas, compararlas entre sí a fin de obtener una opción seleccionada.

Para la realización de esta comparación, y posterior selección, de una forma metódica y objetiva se lleva a cabo un proceso denominado *multicriterio*, en el que por medio de una valoración parcial de las afecciones que las distintas trazas efectúan sobre el entorno, se comparan las opciones estudiadas, seleccionando la de menor impacto.

Los cuatro grandes bloques que se analizan en este proceso son el ambiental, el funcional, el económico y el territorial.

A continuación se expone la metodología empleada.

2.- PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ESTUDIO

El objeto del presente apartado es exponer el modo como se ha acometido la tarea de comparar entre sí todas las alternativas definidas hasta el momento, las decisiones y consideraciones que se han adoptado y las fases y procesos que se han seguido para realizar la comparación.

2.1.- INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se especificará en primer lugar la metodología empleada para llevar a cabo la comparación de las diversas alternativas. A continuación se describirá como se ha aplicado la metodología descrita al caso particular del estudio que nos ocupa, realizando las consideraciones necesarias para adaptarla a las circunstancias que lo definen.

A continuación se describen en detalle la metodología empleada en la realización del presente estudio.

2.2.- METODOLOGÍA DE ESTUDIOS MULTICRITERIO

El objetivo de un análisis multicriterio es, no sólo seleccionar la mejor de las alternativas posibles, sino también aportar los argumentos objetivos que fundamenten tal conclusión, resaltando la importancia relativa de cada uno de los criterios adoptados para basar tal decisión mediante la generación de diferentes “pesos”.

Debido a la variedad de métodos empleados para la ejecución de los análisis multicriterio como el que aquí es necesario, se ha procedido a la adaptación y refundido de varios métodos y criterios bibliográficamente aceptados dando lugar a una metodología personalizada que será expuesta con detalle a continuación.

Esta descripción se divide en tres partes. En la primera de ellas se define el problema a resolver, en la segunda se presenta el planteamiento general de la solución propuesta, para, en el tercer y último apartado, proceder al análisis individualizado de cada uno de los pasos del proceso definido como solución genérica al problema.

2.2.1.- Descripción del problema

De forma concreta y plasmando las indicaciones concretas del Pliego de Prescripciones Técnicas que sirve como base para la elaboración del Estudio que nos ocupa, se trata de:

Obtener la mejor alternativa posible de entre todas las estudiadas teniendo en cuenta todos los aspectos estudiados y que además sea rentable desde el punto de vista económico social.

Así, a la hora de buscar una metodología adecuada para su resolución afrontamos el problema con el siguiente planteamiento genérico:

Buscar la mejor alternativa posible de entre todas las estudiadas a lo largo de todo el área de estudio, basándonos en el cumplimiento de un conjunto de objetivos prefijados y admitiendo que seguramente no existe una solución óptima al problema (es decir que no hay una solución que sea la mejor para todos los objetivos marcados).

2.2.2.- Planteamiento general de la solución propuesta

Ante el planteamiento genérico expresado en el punto anterior se presenta a continuación una propuesta metodológica para la resolución del problema presentado y que consiste básicamente en el siguiente proceso que ahora presentamos de forma general y que será analizado con detalle en el siguiente apartado:

- **Selección de los objetivos**

El problema planteado solicita la obtención de la mejor de las alternativas posibles, por lo que ante la necesidad de resolución del mismo necesitamos definir de forma explícita lo que entendemos en este caso por el término mejor. Es decir se definirán el conjunto de objetivos perseguidos.

- **Definición del conjunto de criterios de evaluación**

Una vez que contamos con todas las alternativas a comparar y con los objetivos que buscamos es necesaria la definición de un conjunto de variables que nos permitan evaluar el grado de cumplimiento de cada uno de los objetivos por parte de cada una de las alternativas. Estas variables se denominarán criterios de evaluación.

- **Identificación de los efectos de cada alternativa sobre cada criterio de evaluación**

Se trata de identificar el comportamiento de cada una de las variables con respecto a cada uno de los criterios de valoración definidos en el punto anterior.

- **Valoración de los efectos de cada alternativa sobre cada criterio de evaluación. Definición de los indicadores**

Se trata de trasladar los comportamientos identificados en el punto anterior a una escala numérica de tal forma que cada uno de los criterios definidos tenga un valor para cada una de las alternativas estudiadas, este proceso tiene básicamente dos etapas, la primera de ellas consiste en la definición de una variable denominada indicador que refleje de

forma cuantitativa el comportamiento, mientras que la segunda impone la definición de una regla de transformación que ponga todos los indicadores definidos en la misma escala de trabajo.

- **Definición de la regla de decisión a utilizar**

Una vez cuantificados los comportamientos de cada una de las alternativas con respecto a cada uno de los objetivos de valoración, debemos elegir la regla de decisión a utilizar. Gracias a esta regla de decisión podremos combinar de forma adecuada los distintos objetivos para, en función de su importancia relativa, obtener la alternativa que se acerque más al objetivo perseguido.

- **Comprobación de la robustez y sensibilidad de las alternativas**

Se trata de generar distintas variaciones de los pesos y de calcular en esos casos la decisión mediante el método mencionado en el apartado anterior. Gracias a este hecho podremos obtener el conjunto de soluciones más adecuado para cada conjunto de pesos aplicado.

- **Conclusiones**

El análisis del punto anterior debe permitir el establecimiento de un orden dentro del conjunto de alternativas que sirvió como hipótesis al problema.

3.- ANÁLISIS DETALLADO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

A continuación analizaremos paso a paso el proceso definido de forma somera en el apartado anterior.

3.1.- SELECCIÓN DE LOS OBJETIVOS

El objeto de este análisis se centra en la búsqueda de la mejor alternativa de entre las definidas.

El planteamiento, así presentado, no define de forma concreta el significado del término “mejor” por lo que el siguiente paso a seguir es el establecimiento del conjunto de objetivos que nos lleven a alcanzar el OBJETIVO BÁSICO definido en el presente documento.

En el caso de un Estudio como el que nos ocupa los objetivos marcados son cuatro:

- OBJETIVO AMBIENTAL: Se desea obtener la alternativa que menos impactos residuales tenga sobre el medio ambiente.
- OBJETIVO ECONÓMICO: Se desea obtener la alternativa que sea más rentable desde el punto de vista económico.
- OBJETIVO FUNCIONAL: Se desea obtener la alternativa que sea más funcional de cara al usuario.
- OBJETIVO TERRITORIAL: Se desea obtener la alternativa más beneficiosa para el desarrollo territorial del área por la que transcurre.

3.2.- DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Una vez definidos tanto el conjunto de alternativas que se van a comparar como el conjunto de objetivos que deseamos alcanzar, el siguiente paso es la definición de un conjunto de variables que se denominarán criterios de evaluación y que son el nexo de unión entre las hipótesis del problema (alternativas y objetivos) ya que nos permitirán valorar el grado de acercamiento de cada una de las alternativas a los objetivos marcados.

La elección de los criterios de evaluación es quizás la operación más delicada de todo el proceso y su validez se rige de forma estricta por el cumplimiento de un conjunto de propiedades, así:

1. Cada uno de los criterios de evaluación debe cumplir de forma individual dos propiedades:

- Comprensibilidad: El valor del atributo es un buen indicador del grado en que el correspondiente objetivo se realiza, es decir es una variable significativa.
- Medibilidad: La variable se mide con alguna escala de trabajo conocida.

2. El conjunto de criterios de evaluación debe cumplir las siguientes propiedades para que sea aceptado como tal:

- Completitud: Todos los aspectos pertinentes a la situación de decisión están presentes.
- Operatividad: Deben ser aplicables, es decir deben servir de forma significativa al análisis.
- Descomponibilidad: que permita la simplificación del proceso de evaluación mediante la desagregación del problema en partes. (Exhaustivo).
- Minimalidad: No debe existir un conjunto completo de criterios que determine el mismo problema con un menor número de variables.

Una vez definidas las condiciones que deben cumplir tanto de forma individual como colectiva nuestros criterios, pasamos a definir los considerados como representativos para la evaluación de las alternativas planteadas.

Dividiremos los criterios en cuatro grupos dependiendo del objetivo ya definido al que se encuentren asociados.

Comenzando por el **objetivo AMBIENTAL** se consideran variables significativas:

- **Hidrología Superficial.**
- **Vegetación.**

- **Fauna.**
- **Paisaje.**
- **Espacios de interés ambiental.**

Se desechan otras que no se ven afectadas por ninguna de las alternativas definidas o están incluidas en otros objetivos.

En cuando al **objetivo ECONÓMICO** se considera:

- **Coste (P.E.M.)**

En el caso que nos ocupa, el coste de primera inversión supone una de los principales criterios a la hora de comparar las alternativas planteadas. Se incluye además la variable de rentabilidad que tiene en cuenta además de todos los costes asociados, los beneficios producidos por cada alternativa, así como el momento de producirse éstos a lo largo de la vida útil del proyecto.

Dentro del **objetivo FUNCIONAL** se consideran:

- **Calidad de trazado.**
- **Afección al usuario durante la fase de construcción.**

Se desechan en este objetivo otros como la velocidad de proyecto, o la seguridad vial, que son sensiblemente iguales para todas las alternativas.

Por último, el **objetivo territorial** considera significativas las variables:

- **Socioeconomía.**
- **Permeabilidad territorial.**

No se han tenido en cuenta otras como la accesibilidad, la aceptación social o el planeamiento puesto que, o bien no van a dar como resultado ninguna diferencia apreciable entre las alternativas, o no resultan de aplicación en el ámbito territorial por el que discurren las alternativas planteadas.

Las variables escogidas y sus pesos relativos dentro del objetivo en que se plantean, se resumen en la siguiente tabla:

Objetivo Medioambiental		Objetivo económico		Objetivo funcional		Objetivo territorial	
Variable	Peso	Variable	Peso	Variable	Peso	Variable	Peso
Vegetación	0,25	P.E.M.	1	Calidad de trazado	0,30	Permeabilidad territorial	0,30
Paisaje	0,20			Afección al usuario	0,70	Socioeconomía	0,70
Fauna	0,20						
Hidrología	0,15						
Espacios de interés amb.	0,20						

3.3.- EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS. INDICADORES

En este apartado se recogen las descripciones de los cálculos realizados para la evaluación de las variables comentadas en el punto anterior.

3.3.1.- Variables pertenecientes al objetivo ambiental

Vegetación

Esta variable se representa a través de un único indicador que podríamos llamar Superficie equivalente de grado de calidad de vegetación I_{sev} y que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_{sev} = \frac{\sum_i \text{Calidad de la unidad de vegetación } i \times \text{Superficie afectada de la unidad de vegetación } i}{\sum_i \text{Calidad de la unidad de vegetación } i \times \text{Superficie total de la unidad de vegetación } i}$$

Para el cálculo del indicador propuesto se identificarán, en primer lugar, las diferentes unidades de vegetación presentes en el área de estudio y a cada uno de estas unidades se les asignará un índice de calidad.

Para calcular el valor del indicador correspondiente a cada alternativa se realizan mediciones de superficies de cada unidad de vegetación en el área de estudio y de superficies de estas mismas unidades afectadas por la alternativa de que se trate.

Fauna

Esta variable se representa a través de un único indicador que podríamos llamar Superficie equivalente de grado de calidad de fauna I_{sef} y que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_{sef} = \frac{\sum_i \text{Calidad de la unidad de fauna } i \times \text{Superficie afectada de la unidad de fauna } i}{\sum_i \text{Calidad de la unidad de fauna } i \times \text{Superficie total de la unidad de fauna } i}$$

Para el cálculo del indicador propuesto se identificarán, en primer lugar, las diferentes unidades de fauna presentes en el área de estudio y, posteriormente, se asignará un índice de calidad a cada una de ellas.

Para calcular el valor del indicador correspondiente a cada alternativa se realizarán mediciones de superficies de cada unidad de fauna en el área de estudio y de superficies de estas mismas unidades afectadas por la alternativa de que se trate.

Paisaje

Si bien hay más indicadores que de forma genérica puedan medir la afección de una alternativa al paisaje del área de estudio, se considera como más importante la fragilidad.

Definimos, por tanto, la Superficie equivalente de fragilidad I_{sef} que se calcula según la fórmula siguiente:

$$I_{sef} = \frac{\sum_i \text{Superficie unidades de paisaje } "i" \times \text{Coeficiente de fragilidad } "i"}{\sum_i \text{Superficie unidades de paisaje } "i" \times \text{coeficiente de fragilidad } "i" \text{ en la situación de partida}}$$

Para este indicador referente a las unidades paisajísticas se identificarán las diferentes unidades presentes en el área de estudio y se les asignará un índice de fragilidad atendiendo a sus características.

Posteriormente, de modo similar al utilizado en el cálculo de los indicadores previos, se realizarán mediciones de superficies de cada unidad de paisaje en el área de estudio y de superficies de estas mismas unidades afectadas por la alternativa de que se trate.

Hidrología

En el cruce de una infraestructura lineal con un cauce de agua el impacto producido se puede analizar en función del punto de cruce y el esviate del mismo, y del tipo de obra con la que se salva el curso de agua, así como de la calidad ecológica del cauce afectado.

Así, el impacto se minimiza en la elección del punto de cruce menos lesivo del entorno y en un cruce perpendicular a la dirección del río o barranco, pues se reduce la longitud de cauce afectada. Por contra, cuanto más esviado sea el cruce a la dirección del agua mayor es la afección por la presencia irreversible de la estructura.

Por otro lado, la luz libre de paso debe ser tanto mayor cuanto menor se pretenda el impacto, ya que una luz de paso insuficiente, además de afectar (estribos, pilas, aletas o boquillas) a la vegetación de ribera, objeto de otro apartado, influye decisivamente en la dinámica fluvial, especialmente activa en situaciones de crecida. Por ello, se minimizará el impacto cuando el cruce se realice mediante estructura, y se maximizará cuando sea mediante obra de fábrica de dimensiones insuficientes.

Para poder cuantificar y determinar un impacto dentro de las cuatro categorías preestablecidas en la introducción del presente capítulo, se establecen una serie de coeficientes con los que se operará, en cada cauce afectado, para establecer el impacto final de cada alternativa. Un coeficiente que refleje la importancia ecológica y el caudal del río o arroyo, otros que cuantifique la afección debida a la obra de paso, y finalmente otro que refleje la cuantía (en longitud, generalmente) de la afección.

No obstante, esta metodología, presentada hasta aquí de forma genérica, tiene algunas simplificaciones de aplicación en el caso en estudio, pues la longitud del tramo y la orografía por la que transcurre permiten reducir los coeficientes a considerar.

Por un lado, en esta clase de análisis el primer coeficiente mencionado distingue la importancia y calidad ecológica de los cauces afectados, con la intención de dar mayor relevancia a la incidencia sobre ríos o arroyos importantes frente a la que se produce en regatas o barrancos de menor entidad. Como en este caso todos los cauces afectados son de este segundo tipo, sin que exista afección a ríos ni arroyos de relevancia, este coeficiente carece de valor comparativo, por lo que no se va a considerar.

Por otro lado, ocurre algo similar con el coeficiente que discrimina la afección de las diferentes obras de paso con las que se salvan los cauces. Como en este caso todas las obras de drenaje transversal van a ser ampliaciones de las pequeñas obras de drenaje existentes en la carretera actual, la afección a los cauces va a ser equiparable en ambas alternativas, por lo que también este parámetro carecerá de valor comparativo.

Finalmente, en cuanto a cruces con los cauces se refiere, se establece el llamado coeficiente de afección, en función de la longitud de cauce afectada por el cruce con la nueva infraestructura.

Longitud de cauce afectada	Coefficiente de afección (C _a)
0-10 m	0,15
10-50 m	0,25
50-100 m	0,50
> 100 m	1,00

En este tipo de estudios, también se suele considerar como parámetro para cuantificar y comparar las afecciones al sistema hidrológico la necesidad de encauzamientos en los cauces afectados, que los desnaturalizan. En estos encauzamientos se debe valorar la longitud y la calidad ecológica de los barrancos o regatas canalizadas, al igual que en las afecciones por obra de drenaje. No obstante, en los tramos que se analizan, únicamente se hace necesario reponer, en circunstancias casi idénticas en ambas alternativas, un encauzamiento ya existente junto al edificio de control a la salida del túnel de Belate, por lo que este parámetro tampoco es un factor discriminador entre las alternativas.

Espacios de interés ambiental

El cálculo de este indicador se realiza de modo similar a los de vegetación, fauna y paisaje ya descritos.

$$I_{sef} = \frac{\sum calidad\ de\ la\ unidad\ de\ espacios\ de\ int\ erés\ ambiental_i \cdot Superficie\ afectada\ de\ la\ unidad_i}{\sum calidad\ de\ la\ unidad_i \cdot Superficie\ total\ de\ la\ unidad_i}$$

Para ello, se identificarán los diferentes espacios de interés ambiental en el área de estudio y se les asignará un índice de calidad para, posteriormente, realizar mediciones de superficie de cada uno de los espacios identificados en el área de estudio y de superficies de esos mismos espacios afectados por la alternativa de que se trate.

3.3.2.- Variables pertenecientes al objetivo económico

Continuando con las variables significativas dentro del objetivo económico, consideramos como tales el Coste de primera inversión y la Rentabilidad.

Coste de primera inversión (P.E.M.)

Igual al presupuesto final obtenido en el estudio para cada una de las alternativas.

3.3.3.- Variables pertenecientes al objetivo funcional

Se exponen a continuación las metodologías de cálculo de los indicadores correspondientes al objetivo funcional.

Calidad de trazado

Este criterio se evalúa mediante el cálculo de un sólo indicador que podríamos denominar exceso medio de visibilidad disponible. Es este un indicador que combina los aspectos del trazado correspondientes a planta y alzado. Se realiza un cálculo del exceso de distancia

de visibilidad sobre aquel que fija la instrucción de trazado de carreteras. Este cálculo se desarrolla discretizando la vía en segmentos de 20 metros de longitud y promediando las distancias obtenidas a lo largo de todo el trazado y en ambos sentidos.

Afección al usuario durante las obras

Este criterio se cuantifica mediante un indicador que podríamos denominar "indicador de parada de tráfico durante la ejecución de las obras".

Para calcularlo vamos a tener en cuenta la severidad de la obra en cuanto al retraso que provoca en el tráfico que circula por un determinado punto (s_i) y el número estimado de usuarios diarios que se verán afectados por la circunstancia desfavorable (n_i) y sumaremos el producto de estas dos cantidades para el conjunto de puntos donde se prevé se pueda afectar al tráfico durante el desarrollo de la obra.

Se obtiene la siguiente expresión para el indicador:

$$I_{AUO} = \sum_i s_i \cdot n_i$$

Para calcular el indicador propuesto se deben identificar, en primer lugar, todos los puntos donde el nuevo trazado es susceptible de interferir con el tráfico en la red existente.

A cada uno de estos puntos se le asigna un valor representativo de la severidad de la afección según sus características.

Con estos datos y conociendo el número de vehículos diarios que pasan por el punto pertinente se puede calcular el indicador propuesto.

3.3.4.- Variables pertenecientes al objetivo territorial

Por último se describen las metodologías de cálculo de los indicadores correspondientes al objetivo territorial.

Socioeconomía

A pesar de existir dentro de este epígrafe un innumerable conjunto de variables que nos indiquen tendencias en su comportamiento global, dada la naturaleza del estudio de referencia se ha considerado reducir el análisis de este factor de evaluación a la consideración del uso del suelo como un porcentaje de la superficie expropiada y afectada según calidad del suelo y productividad, en relación con la superficie total de la misma categoría.

El indicador de afección a superficie productiva equivalente de calidad 1= I_{sp} se calculará mediante la expresión:

$$I_{sp} = \frac{\sum_i \text{Productividad del suelo tipo } i \times \text{Superficie afectada de la unidad } i}{\text{Productividad total en el ámbito de referencia}}$$

Para calcular el valor del indicador correspondiente a cada alternativa se realizarán mediciones de superficies de cada tipo de suelo en el área de estudio y de superficies de estos mismos tipos afectadas por la alternativa de que se trate. A cada uno de los tipos de suelo identificados se les asignará un índice de calidad que representa el impacto producido al colocar en él la nueva vía.

Permeabilidad territorial

Este criterio se evaluará mediante un indicador que mida el aumento de distancias necesarias para desplazarse entre ambas márgenes de la nueva vía.

Para calcular este indicador debemos proceder a identificar todas y cada una de las vías y caminos que atravesaban en sentido transversal la línea imaginaria del eje de la vía antes

de la construcción de esta y su nuevo emplazamiento una vez repuestos tras dicha construcción.

Esta nueva disposición implicará en la mayoría de los casos un aumento en distancias que debe sumarse para todos estos caminos, obteniendo así el aumento global.

Sin embargo, a fin de relacionar este aumento de distancias con la longitud de vías existentes se evalúa también la suma de distancia de todos los caminos identificados inicialmente y este valor se toma como referencia para calcular un porcentaje.

Esto proporciona la siguiente expresión para el indicador:

$$I_{PT} = \frac{\sum_i \delta_i}{\sum_j \delta_j}$$

donde el subíndice i describe las vías nuevas, siendo δ_i el aumento en distancias y el subíndice j describe las vías existentes, siendo d_j las distancias originales.

3.4.- ESCALADO DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS

Una vez realizada la valoración de los indicadores correspondientes a cada una de las variables el paso siguiente consiste en transformar dichos valores a una escala homogénea. En el caso del estudio que nos ocupa se empleará el rango de valores 0 a 10. A continuación se describen las funciones de transformación empleadas para el escalado de cada variable.

3.4.1.- Variables pertenecientes al objetivo medioambiental

Dentro del objetivo medioambiental se exponen a continuación las funciones de escalado empleadas para sus indicadores:

Vegetación

La función que transforma los valores obtenidos en las variables en un rango de 0 a 10 se ha escogido atendiendo a las siguientes consideraciones:

Será mas negativa la alternativa que afecte a mayor cantidad de vegetación, por lo que se otorgaría el valor de 10 a aquella alternativa que, hipotéticamente, no afectara en medida alguna a la vegetación existente.

Para el cálculo de la afección máxima se ha considerado una hipotética situación en la que la alternativa con mayor área de ocupación afectará únicamente a la superficie de mayor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna un valor 0. Del mismo modo, para obtener la afección mínima se ha considerado la posibilidad de que la alternativa con menor área de ocupación afectara únicamente a la superficie de menor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna el valor 10. El resto de valores se interpolan linealmente entre estos máximos y mínimos obtenidos.

Fauna

El indicador referente a la variable fauna es similar al de vegetación con lo que efectuaremos iguales consideraciones a la hora de escoger la función de escalado.

Será mas negativa la alternativa que afecte a mayor cantidad de fauna, por lo que se otorgaría el valor de 10 a aquella alternativa que, hipotéticamente, no afectara en medida alguna a la fauna existente.

Para el cálculo de la afección máxima se ha considerado una hipotética situación en la que la alternativa con mayor área de ocupación afectará únicamente a la superficie de mayor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna un valor 0. Del mismo modo, para obtener la afección mínima se ha considerado la posibilidad de que la alternativa con menor área de ocupación afectara únicamente a la superficie de menor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna el valor 10. El resto de valores se interpolan linealmente entre estos máximos y mínimos obtenidos.

Paisaje

Para el indicador de unidades paisajísticas se considera que será mas negativa la alternativa que afecte a mayor cantidad de las mismas, por lo que se otorgaría el valor de 10 a aquella alternativa que, hipotéticamente, no afectara en medida alguna a las unidades paisajísticas existentes.

Para el cálculo de la afección máxima se ha considerado una hipotética situación en la que la alternativa con mayor área de ocupación afectará únicamente a la superficie de mayor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna un valor 0. Del mismo modo, para obtener la afección mínima se ha considerado la posibilidad de que la alternativa con menor área de ocupación afectara únicamente a la superficie de menor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna el valor 10. El resto de valores se interpolan linealmente entre estos máximos y mínimos obtenidos.

Espacios de interés ambiental

Para este indicador se considera que será mas negativa la alternativa que afecte a una mayor superficie de espacios de interés ambiental, por lo que se otorgaría el valor de 10 a aquella alternativa que, hipotéticamente, no afectara a ninguno de los espacios presentes.

Para el cálculo de la afección máxima se ha considerado una hipotética situación en la que la alternativa con mayor área de ocupación afectará únicamente a la superficie de mayor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna un valor 0. Del mismo modo, para obtener la afección mínima se ha considerado la posibilidad de que la alternativa con menor área de ocupación afectara únicamente a la superficie de menor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna el valor 10. El resto de valores se interpolan linealmente entre estos máximos y mínimos obtenidos.

Hidrología superficial

Para el escalado de la variable hidrología se ha utilizado una función lineal que otorga el valor 10 a un hipotético valor 0 del indicador, que representaría una afección nula según la definición realizada.

Para el cálculo del valor máximo de afección al que se atribuye un valor 0 en la valoración, se tendrán en cuenta las características del estudio actual. Al valor máximo de afección a los cauces en conjunto se le asignará el valor 0 en la función de escalado.

3.4.2.- Variables pertenecientes al objetivo económico

Continuando con las variables significativas dentro del objetivo económico se describen a continuación las funciones de escalado adoptadas.

Coste

Se adoptará una función de escalado lineal de forma que se asigne la mínima valoración (valor 0) a un presupuesto que se supere en un 25% al mínimo obtenido y 10 puntos (máxima valoración) al presupuesto mínimo de entre las alternativas consideradas.

3.4.3.- Variables pertenecientes al objetivo funcional

Se exponen a continuación las funciones de escalado de los indicadores correspondientes al objetivo funcional.

Calidad de trazado

Para escoger la función de escalado de este indicador se realizan las siguientes consideraciones:

Debido a que el indicador empleado para esta variable representa un exceso sobre el valor fijado en la norma se entiende que la función de escalado debe arrojar como mínimo un valor de cinco.

Por otro lado se entiende que disponer de una visibilidad media superior en más de 500 metros al valor fijado en la instrucción no aumenta la calidad del trazado, por lo que este valor y los superiores se calificarán con un valor de 10.

Entre ambos valores, se asigna un valor de 8 a visibilidad media superior en 200 metros a la fijada por la misma.

Afección al usuario durante las obras

Se estimará en función de los tráficos de la vía un número de usuarios afectados por debajo del cual la valoración sea máxima. Del mismo modo, se estimará un número máximo de usuarios afectados que supondría una situación completamente negativa al que se le asignará el valor 0. Los valores obtenidos entre ambos límites se interpolarán linealmente.

3.4.4.- Variables pertenecientes al objetivo territorial

Por último se presentan a continuación las funciones de escalado correspondientes a los indicadores correspondientes al objetivo territorial.

Socioeconomía y aprovechamientos

La variable socioeconomía está representada por el indicador de aprovechamiento del suelo.

Para este indicador se considera que será mas negativa la alternativa que afecte a mayor cantidad de suelo, por lo que se otorgaría el valor de 10 a aquella alternativa que, hipotéticamente, no afectara en medida alguna a los aprovechamientos existentes.

Para el cálculo de la afección máxima se considerará una hipotética situación en la que la alternativa con mayor área de ocupación afectará únicamente a la superficie de mayor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna un valor 0. Del mismo modo, para obtener la afección mínima se ha considerado la posibilidad de que la alternativa con menor área de ocupación afectara únicamente a la superficie de menor valor. Al porcentaje obtenido se le asigna el valor 10. El resto de valores se interpolan linealmente entre estos máximos y mínimos obtenidos.

Permeabilidad territorial

El escalado de este indicador se ha realizado mediante una función que asigna valores mínimos a los valores más altos del indicador que representarían un aumento excesivo de las distancias necesarias para atravesar la obra respecto a la situación actual. Así, se considera un valor 0 para un valor de indicador igual a 300. A partir de ahí se asignan valores superiores hasta alcanzar el valor 10 para un hipotético valor del indicador de 0 que supondría una situación igual a la existente antes de ejecutar la obra.

3.5.- DEFINICIÓN DE LA REGLA DE DECISIÓN A UTILIZAR

Una vez que se dispone de todos los valores necesarios para efectuar la toma de decisión, tan solo se necesita seleccionar el método a utilizar para obtener la alternativa elegida a partir de la optimización de los objetivos prefijados y gracias a la evaluación de los criterios definidos.

Existen dos grandes grupos de métodos o reglas de decisión a tal efecto:

- De agregación total.
- De agregación parcial.

Debido a la importancia de la decisión a tomar se ha determinado la utilización de dos métodos, enmarcados cada uno de ellos dentro de uno de los dos grupos expuestos, habiéndose seleccionado por su adecuación para este caso los métodos denominados PATTERN y ELECTRE I como los más representativos.

A continuación se presenta de forma somera la forma de aplicación de cada uno de los métodos en el análisis que nos ocupa.

3.5.1.- Método Pattern

Tal y como se ha mencionado el método Pattern pertenece al grupo de los métodos de agregación total, siendo el de utilización más frecuente dentro de esta familia en razón de su fiabilidad y su claridad.

Al ser de agregación total se tiene, pues, en cuenta tanto el peso o importancia que el decisor atribuye a los diferentes criterios como las valoraciones que el analista da a cada solución en función de los criterios.

Uno de los aspectos decisivos a la hora de aplicar el método Pattern consiste en fijar los pesos que se asignan a cada uno de los objetivos que participan en el cálculo. La importancia de los valores otorgados es relativa puesto que existen otros análisis que tratan de obviar las desventajas del método en su aplicación. Sin embargo si conviene que la asignación realizada refleje, hasta un cierto punto, la situación real detectada por el decisor.

De este modo se propone dotar de mayor importancia a los objetivos medioambiental y económico, por entenderse que representan dos aspectos en los que, habitualmente, se hace especial hincapié en los estudios de carreteras y pensando también que son los que condicionan de una manera más significativa las decisiones a tomar.

Con estas consideraciones, la asignación de pesos realizada para el presente estudio es la siguiente:

Asignación de pesos – Método Pattern	
Objetivo	Peso
Medioambiental	0,35
Económico	0,35
Funcional	0,20
Territorial	0,10

El grado de subjetividad que evidentemente tiene la adopción cerrada de estos pesos, se resuelve con los análisis de robustez y de sensibilidad, de los que se trata más adelante y

que básicamente consisten en ir modificando los pesos y observar los resultados en cada caso.

A continuación se incluye un ejemplo de aplicación del método Pattern a un conjunto ficticio de alternativas para aclarar el funcionamiento de dicho método.

Supongamos que deseamos comparar entre sí tres alternativas de un determinado estudio o proyecto. Supongamos que se ha realizado sobre dichas alternativas el proceso de decisión multicriterio expuesto hasta ahora. Supongamos que en dicho proceso se han tenido en cuenta cuatro objetivos que numeraremos del uno al cuatro. Se habrán obtenido a lo largo de tal proceso las puntuaciones de cada alternativa con respecto a cada uno de los cuatro objetivos. Sean los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla ejemplo de puntuaciones – Método Pattern				
Alternativas	Objetivos			
	Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4
Alternativa 1	8	3	7	9
Alternativa 2	5	4	6	6
Alternativa 3	2	6	6	5

Supongamos que el decisor ha establecido para los diversos objetivos unos pesos, de acuerdo a su importancia relativa y sean estos 0,3 para el objetivo 1, 0,2 para el objetivo 2 y 0,25 para los objetivos 3 y 4.

La aplicación del método Pattern a esta situación consistiría ahora en multiplicar los pesos expuestos por las puntuaciones correspondientes para cada alternativa y sumarlas, obteniéndose de este modo un valor o puntuación final para cada una de las alternativas así:

$$\text{Alternativa 1. Puntuación} = 0,3 \cdot 8 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 7 + 0,25 \cdot 9 = 7$$

$$\text{Alternativa 2. Puntuación} = 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 6 + 0,25 \cdot 6 = 5,3$$

$$\text{Alternativa 3. Puntuación} = 0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 6 + 0,25 \cdot 6 + 0,25 \cdot 5 = 4,55$$

De lo que podríamos concluir que la alternativa preferible es la 1.

3.5.2.- Método de Electre I

Es el método de agregación parcial más utilizado. Es el primero de una serie de métodos desarrollados por investigadores franceses a partir de 1968.

Su fundamento estriba en la comparación de todas las alternativas 2 a 2 de forma ordenada ($a-b \neq b-a$). Por último, se obtiene una síntesis de conjunto sobre un grafo.

Para la aplicación de este método se definen, para cada par de alternativas, dos índices, de cuyos valores dependerá la decisión de preferibilidad entre ambas.

ÍNDICE DE CONCORDANCIA: Suma de los pesos para los cuales la primera alternativa es igual o superior a la segunda, dividido por la suma total de los pesos.

ÍNDICE DE DISCORDANCIA: Es la diferencia mayor de puntuación asignada a las alternativas para aquellos criterios en los que la primera es inferior a la segunda, dividido por el tamaño de la escala de puntuación.

El índice de concordancia mide el grado de acuerdo de las puntuaciones con la afirmación "La primera alternativa es superior a la segunda". El índice de discordancia mide el grado de desacuerdo con esa misma afirmación.

Para que una alternativa sea superior a otra debe, cualitativamente, "superarla en muchos criterios". Para que una alternativa sea superior a otra no debe, cualitativamente, "existir mucha diferencia en contra de ella en ningún criterio"

Lo expuesto en el párrafo anterior se asegura cuando se cumplen las condiciones de concordancia (el peso de los criterios para los que es igual o superior es suficientemente grande) y de discordancia (no existe ningún criterio para el que sea demasiado peor).

Estableciendo para cada par de alternativas sus índices de concordancia y de discordancia, se obtienen sendas matrices de concordancia y de discordancia.

Muchas veces evaluar el índice de discordancia empleando la mayor de las diferencias de puntuación en sentido negativo es demasiado restrictivo y se suele acudir a la introducción de un parámetro de severidad.

Este parámetro indica cual de las diferencias se toma en cuenta a la hora de calcular el índice de discordancia. Así, se habla de severidad uno cuando empleamos la mayor de las diferencias, de severidad dos cuando empleamos no la mayor sino aquella que le sigue en importancia y así sucesivamente. Si sólo existiera un objetivo para el cual la primera alternativa es inferior a la segunda, los valores del índice de discordancia para severidad superior a uno serían 0.

Las decisiones que permite adoptar el método Electre vienen dadas en función de dos nuevos parámetros llamados umbrales de concordancia y de discordancia y que se representan por p y q respectivamente. Antes hemos expuesto el criterio para preferir una alternativa a otra y se hablaba en términos de "suficientemente grande" y "no demasiado peor". El establecimiento de los umbrales aludido pretende fijar cuanto de grande es suficiente y cuanto de peor no es demasiado.

Habitualmente los valores empleados para los umbrales p y q suelen ser 0,7 y 0,3 respectivamente. Sin embargo, se debe hacer notar que estos valores influyen en la cantidad y calidad de las decisiones adoptadas.

Si se establece un umbral de concordancia demasiado bajo, p. ej. 0,5, se corre el peligro que una alternativa sea considerada superior a otra aún existiendo poca diferencia a favor de la primera. Si, por el contrario este es demasiado alto, p.ej. 0,9 o 1, puede suceder que no sea posible establecer que ninguna alternativa es superior a ninguna otra, ya que podría no existir la suficiente diferencia entre sus puntuaciones.

Si se establece un umbral de discordancia demasiado bajo, p. ej. 0, se corre el peligro de no poder alcanzar ninguna decisión porque siempre suelen existir algunas diferencias en sentido negativo. Si, por el contrario, es demasiado alto, p. ej., puede suceder que se decida la superioridad de una alternativa sobre otra aún cuando la alternativa preferida sea muy negativa al menos para uno de los objetivos.

En resumen, se dirá que una alternativa a es superior a otra b cuando el índice de concordancia $I_{c_{a-b}}$ sea mayor o igual que p, umbral de concordancia y cuando, además, el índice de discordancia $I_{d_{a-b}}$ sea menor o igual que q, umbral de discordancia.

A continuación se incluye un ejemplo de aplicación del método Electre I al mismo conjunto ficticio de alternativas empleado para el ejemplo del método Pattern.

Tabla ejemplo de puntuaciones – Método Pattern				
Alternativas	Objetivos			
	Objetivo 1	Objetivo 2	Objetivo 3	Objetivo 4
Alternativa 1	8	3	7	9
Alternativa 2	5	4	6	6
Alternativa 3	2	6	6	5

La asignación de pesos sigue siendo 0,3 para el objetivo 1, 0,2 para el objetivo 2 y 0,25 para los objetivos 3 y 4. El rango de puntuaciones va desde 0 hasta 10.

El cálculo de los índices de concordancia se realiza del siguiente modo:

Par de alternativas 1 y 2.

Objetivos para los que la alternativa 1 es superior a la 2: objetivos 1, 3 y 4.
 Suma de los pesos asociados = $0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$
 Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 2: objetivo 2.
 Diferencia de puntuaciones = $4 - 3 = 1$
 Índice de discordancia = $1 / 10 = 0,1$.

Par de alternativas 1 y 3.

Objetivos para los que la alternativa 1 es superior a la 3: objetivos 1, 3 y 4.
 Suma de los pesos asociados = $0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$
 Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 3: objetivo 3.
 Diferencia de puntuaciones = $6 - 3 = 3$
 Índice de discordancia = $3 / 10 = 0,3$.

Par de alternativas 2 y 3.

Objetivos para los que la alternativa 2 es superior a la 3: objetivos 1, 3 y 4.
 Suma de los pesos asociados = $0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$
 Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 3: objetivo 3.
 Diferencia de puntuaciones = $6 - 4 = 2$
 Índice de discordancia = $2 / 10 = 0,2$.

Par de alternativas 2 y 1.

Objetivos para los que la alternativa 2 es superior a la 1: objetivo 2.
 Suma de los pesos asociados = $0,2$
 Objetivos para los que la alternativa 2 es inferior a la 1: objetivos 1, 3 y 4.
 Máxima diferencia de puntuaciones = $9 - 6 = 3$
 Índice de discordancia = $3 / 10 = 0,3$.

Par de alternativas 3 y 1.

Objetivos para los que la alternativa 3 es superior a la 1: objetivo 2.
 Suma de los pesos asociados = $0,2$
 Objetivos para los que la alternativa 3 es inferior a la 1: objetivos 1, 3 y 4.
 Máxima diferencia de puntuaciones = $8 - 2 = 6$
 Índice de discordancia = $6 / 10 = 0,6$.

Par de alternativas 3 y 2.

Objetivos para los que la alternativa 3 es superior a la 2: objetivos 2 y 3.
 Suma de los pesos asociados = $0,2 + 0,25 = 0,45$
 Objetivos para los que la alternativa 3 es inferior a la 2: objetivos 1 y 4.
 Máxima diferencia de puntuaciones = $5 - 2 = 3$
 Índice de discordancia = $3 / 10 = 0,3$.

Elaboración de la matriz de concordancias:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	0	0,8	0,8
Alternativa 2	0,2	0	0,8
Alternativa 3	0,2	0,45	0

Elaboración de la matriz de discordancias:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	0	0,1	0,3
Alternativa 2	0,3	0	0,2
Alternativa 3	0,6	0,3	0

Elaboración de la matriz de preferencias, con umbrales $p=0,7$ y $q=0,3$

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1		X	X
Alternativa 2			X
Alternativa 3			

donde una X indica que se prefiere la alternativa fila a la alternativa columna.

3.6.- COMPROBACIÓN DE LA SENSIBILIDAD Y ROBUSTEZ DE LAS ALTERNATIVAS

Una vez definido el método o los métodos a utilizar para mezclar los distintos valores obtenidos para cada uno de los criterios de evaluación, el último paso antes de la propuesta de alternativas consiste en la generación de un conjunto de ejecuciones de los métodos anteriores a partir de la variación de los pesos a definir sobre cada uno de los distintos criterios de evaluación; esta variación se hará en dos etapas distintas, correspondiendo una a la sensibilidad y otra a la robustez. La sensibilidad implica examinar el resultado de pequeñas variaciones alrededor de los pesos asignados en principio mientras que la robustez implica variar los pesos a lo largo y ancho de todo su dominio de variación.

Tras la observación de esos resultados tan solo queda definir la propuesta de la alternativa más preponderante.

4.- DEFINICIÓN EXPLÍCITA DE LAS VARIABLES DE VALORACIÓN

4.1.- TRAMO I

4.1.1.- Obtención de indicadores

Aplicando el método descrito en los puntos precedentes, se han obtenido los siguientes valores para cada uno de los indicadores considerados:

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Variable	Valor	Valor
	Hidrología Superficial	0,15	0,15
AMBIENTAL	Vegetación	4,35%	5,17%
	Paisaje	8,07%	8,44%
	Fauna	5,81%	6,51%
	Espacios de interés ambiental	13,39%	13,25%
ECONÓMICO	Coste de 1ª Inversión	0,00	0,00
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	322	322
	Afección al usuario	0,837	0,615
TERRITORIAL	Usos del suelo	3,04%	3,61%
	Permeabilidad Territorial	0,00%	0,00%

4.1.2.- Escalado de las variables consideradas

Una vez obtenidos los valores individuales de los indicadores, y mediante la aplicación de las funciones de escalado descritas, se obtienen los siguientes valores unificados en una escala de 0 a 10:

TRAMO 1. RESUMEN DE INDICADORES ESCALADOS				
			ALTERNATIVAS	
Objetivo	Variable	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2
			Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,15	9,25	9,25
	Vegetación	0,25	7,88	7,48
	Paisaje	0,2	7,83	7,49
	Fauna	0,2	7,87	7,48
	Espacios de interés ambiental	0,2	4,75	4,91
	Promedio			7,45
ECONÓMICO	P.E.M.	1	9,93	10,00
	Promedio		9,93	10,00
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	0,3	8,81	8,81
	Afección al usuario	0,7	1,63	3,85
	Promedio		3,78	5,34
TERRITORIAL	Usos del suelo	0,7	9,02	8,56
	Permeabilidad Territorial	0,3	10,00	10,00
	Promedio		9,31	8,99

4.1.3.- Aplicación de la regla de decisión

En las tablas siguientes se incluyen los valores obtenidos al aplicar el método Pattern a las puntuaciones de cada alternativa. Posteriormente se muestran los resultados de la aplicación del método Electre I, incluyendo las matrices de concordancia y discordancia y la matriz de preferencias.

TRAMO 1. MÉTODO PATTERN				
			ALTERNATIVAS	
Objetivo	Peso		Alternativa 1	Alternativa 2
			Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35		7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35		9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20		3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10		9,31	8,99
TOTAL PATTERN			7,77	8,00

TRAMO 1. MÉTODO ELECTRE I

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35	9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20	3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10	9,31	8,99

MATRIZ DE CONCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0	0,45
Alternativa 2	0,55	0

MATRIZ DE DISCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0,00	0,16
Alternativa 2	0,03	0,00

MÉTODO ELECTRE I. MATRIZ DE PREFERENCIAS

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1		
Alternativa 2		

índice de concordancia	0,7
índice de discordancia	0,3

4.1.4.- Análisis de sensibilidad y robustez

Los resultados obtenidos al aplicar los análisis de sensibilidad y robustez a las alternativas consideradas en este tramo son:

TRAMO 1. MÉTODO PATTERN

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35	9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20	3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10	9,31	8,99
TOTAL PATTERN		7,77	8,00
ANÁLISIS SENSIBILIDAD		17,31%	82,71%
ANÁLISIS ROBUSTEZ		0,00%	100,00%

4.2.- TRAMO II

4.2.1.- Obtención de indicadores

Aplicando el método descrito en los puntos precedentes, se han obtenido los siguientes valores para cada uno de los indicadores considerados:

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Variable	Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,00	0,25
	Vegetación	2,55%	4,90%
	Paisaje	6,75%	10,34%
	Fauna	4,51%	6,72%
	Espacios de interés ambiental	11,27%	14,71%
ECONÓMICO	Coste de 1ª Inversión	0,00	0,01
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	237	237
	Afección al usuario	0,571	0,423
TERRITORIAL	Usos del suelo	1,50%	2,90%
	Permeabilidad Territorial	40,53%	32,51%

4.2.2.- Escalado de las variables consideradas

Una vez obtenidos los valores individuales de los indicadores, y mediante la aplicación de las funciones de escalado descritas, se obtienen los siguientes valores unificados en una escala de 0 a 10:

			ALTERNATIVAS	
			Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Variable	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,15	10,00	9,38
	Vegetación	0,25	9,19	8,45
	Paisaje	0,2	9,05	6,64
	Fauna	0,2	9,21	8,43
	Espacios de interés ambiental	0,2	4,37	0,73
	Promedio			8,32
ECONÓMICO	P.E.M.	1	10,00	9,50
	Promedio		10,00	9,50
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	0,3	8,25	8,25
	Afección al usuario	0,7	4,29	5,77
	Promedio		5,48	6,52
TERRITORIAL	Usos del suelo	0,7	9,73	8,94
	Permeabilidad Territorial	0,3	8,65	8,92
	Promedio		9,41	8,94

4.2.3.- Aplicación de la regla de decisión

En las tablas siguientes se incluyen los valores obtenidos al aplicar el método Pattern a las puntuaciones de cada alternativa. Posteriormente se muestran los resultados de la aplicación del método Electre I, incluyendo las matrices de concordancia y discordancia y la matriz de preferencias

TRAMO 2. MÉTODO PATTERN				
		ALTERNATIVAS		
		Alternativa 1	Alternativa 2	
Objetivo	Peso	Valor	Valor	
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68	
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50	
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52	
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94	
TOTAL PATTERN		8,45	7,86	

TRAMO 2. MÉTODO ELECTRE I

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94

MATRIZ DE CONCORDANCIA		
	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0	0,8
Alternativa 2	0,2	0

MATRIZ DE DISCORDANCIA		
	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0,00	0,10
Alternativa 2	0,16	0,00

MÉTODO ELECTRE I. MATRIZ DE PREFERENCIAS		
	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1		X
Alternativa 2		

índice de concordancia	0,7
índice de discordancia	0,3

4.2.4.- Análisis de sensibilidad y robustez

Los resultados obtenidos al aplicar los análisis de sensibilidad y robustez a las alternativas consideradas en este tramo son:

TRAMO 2. MÉTODO PATTERN			
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94
TOTAL PATTERN		8,45	7,86
ANÁLISIS SENSIBILIDAD		82,44%	17,56%
ANÁLISIS ROBUSTEZ		100,00%	0,00%

ANEXO N° 1

ANÁLISIS MULTICRITERIO TRAMO 1

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO AMBIENTAL

HIDROLOGÍA

Tramo 1. Valoración de Hidrología Superficial					
Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2		Indicador
	Coef. Afección		Coef. Afección		
	Long.	Coef.	Long.	Coef.	
	9	0,15	8	0,15	

VEGETACIÓN

Tramo 1. Valoración de Vegetación				
Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada
Hayedo	11581	13768		
Haya+Espino	0	0		
Castano+Roble pedunculado+Sauce	0	0		
Hederales+Brezal-argomal+Pastizal	0	0		
Praderas	0	0		
Hederales+Pastizal	0	0		
Improductivo	43012	40230		

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Hayedo	1	11581	243082	13768	243082
Haya+Espino	1	0	0	0	0
Castano+Roble pedunculado+Sauce	1	0	0	0	0
Hederales+Brezal-argomal+Pastizal	0,6	0	0	0	0
Praderas	0,5	0	46591	0	46591
Hederales+Pastizal	0,5	0	0	0	0
Improductivo	0	43012	114909	40230	114909
Suma		Indicador	4,35%	Indicador	5,17%

PAISAJE

Tramo 1. Valoración de Paisaje				
Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada
Paisaje forestal de frondosas	11581	13768		
Paisaje forestal no arbolado	0	0		
Paisajes urbanos	43012	40230		

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Paisaje forestal de frondosas	1	11581	243082	13768	243082
Paisaje forestal no arbolado	1	0	46591	0	46591
Paisajes urbanos	0,35	43012	114909	40230	114909
Suma		Indicador	8,07%	Indicador	8,44%

FAUNA

Tramo 1. Valoración de Fauna				
Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada
Superficie forestal arbolada	11581	13768		
Superficie forestal no arbolada	0	0		
Praderas	0	0		
Improductivo	43012	40230		

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Superficie forestal arbolada	1	11581	243082	13768	243082
Superficie forestal no arbolada	0,6	0	0	0	0
Praderas	0,4	0	46591	0	46591
Improductivo	0,1	43012	114909	40230	114909
Suma		Indicador	5,81%	Indicador	6,51%

ESPACIOS

Tramo 1. Valoración de Espacios de interés ambiental				
Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada	Sup. afectada
Red Natura 2000	33117	32351		
Habitat 9120	38192	38192		
Paisaje protegido	21476	21476		

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Red Natura 2000	1	33117	219890	32351	219890
Habitat 9120	0,7	38192	255167	38192	255167
Paisaje protegido	0,5	21476	257282	21476	257282
Suma		Indicador	13,39%	Indicador	13,25%

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO ECONÓMICO

TRAMO 1. RESUMEN DE INDICADORES DEL OBJETIVO ECONÓMICO

Variable	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Valor	índice	Valor	índice
P.E.M.	47.052.149,33	0,002	46.970.608,53	0,000

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO FUNCIONAL

TRAZADO

Tramo 1. Valoración de Visibilidad

ALTERNATIVA	CALZADA DERECHA			
	DIST. NECESARIA MEDIA	DIST. DISPONIBLE MEDIA	DIFERENCIA MEDIA	DESV. TIPICA MEDIA
Alternativa 1	115,45	437,36	321,91	101,71
Alternativa 2	115,32	437,05	321,73	101,82

AFECCIÓN

Tramo 1. Valoración de Afección al usuario

Tramo	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Longitud	Índice de severidad	Longitud	Índice de severidad
Inicio - Entrada Túnel Belate	970	1	970	1
Túnel Belate	2900	0,8	2880	0,5
Salida Túnel Belate - Final Tramo	149	0,5	127	0,5
INDICADOR	0,837		0,615	

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO TERRITORIAL

USOS

Tramo 1. Valoración de Usos del suelo

Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Área forestal	11581	13768
Área forestal no arbolada	0	0
Praderas naturales o pastizales	0	0
Área improductiva	0	0

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Área forestal	1	11581	243082	13768	243082
Área forestal no arbolada	0,5	0		0	0
Praderas naturales o pastizales	0,5	0	46591	0	46591
Área improductiva	1	0	114909	0	114909
Suma		Indicador	3,04%	Indicador	3,61%

PERMEABILIDAD

Tramo 1. Valoración de la Permeabilidad Territorial

Tipo	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Distancias antes de la obra	Distancias después de la obra	Distancias antes de la obra	Distancias después de la obra
Caminos	0	0	0	0
INDICADOR	0,00%		0,00%	

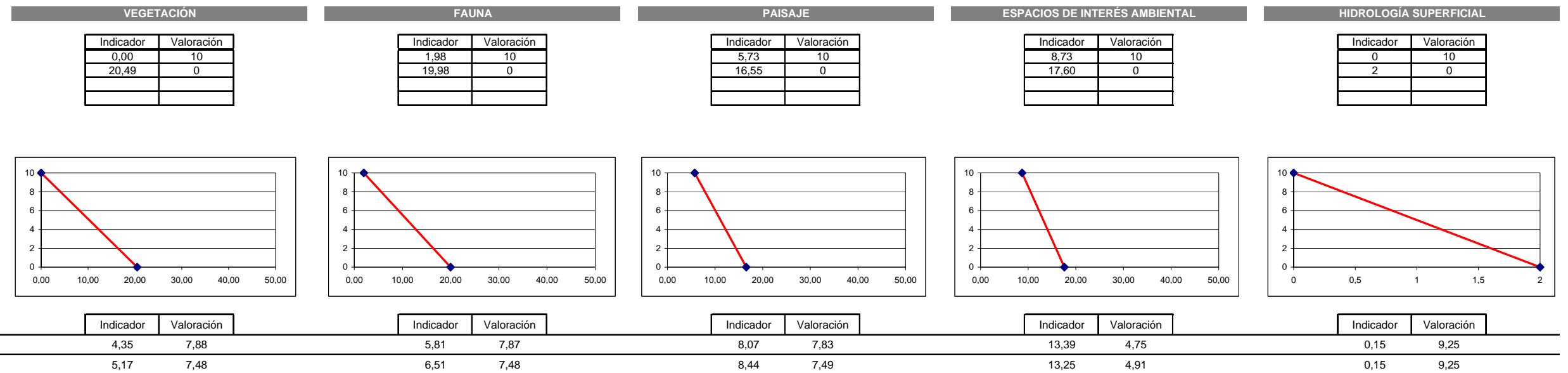
RESUMEN DE INDICADORES

TRAMO 1. RESUMEN DE INDICADORES

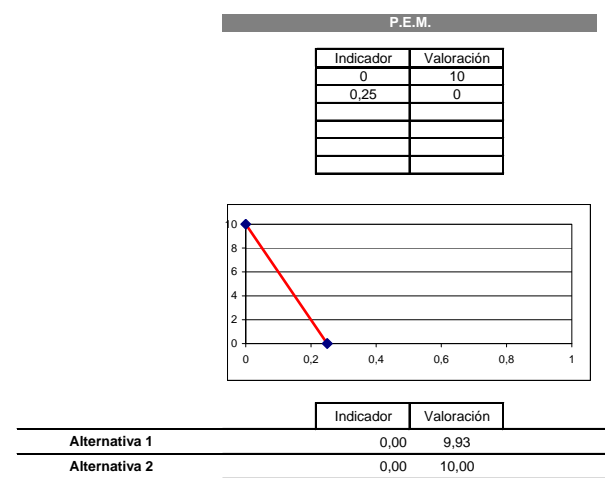
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Variable	Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,15	0,15
	Vegetación	4,35%	5,17%
	Paisaje	8,07%	8,44%
	Fauna	5,81%	6,51%
	Espacios de interés ambiental	13,39%	13,25%
ECONÓMICO	Coste de 1ª Inversión	0,00	0,00
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	322	322
	Afección al usuario	0,837	0,615
TERRITORIAL	Usos del suelo	3,04%	3,61%
	Permeabilidad Territorial	0,00%	0,00%

GRÁFICAS DE ESCALADO

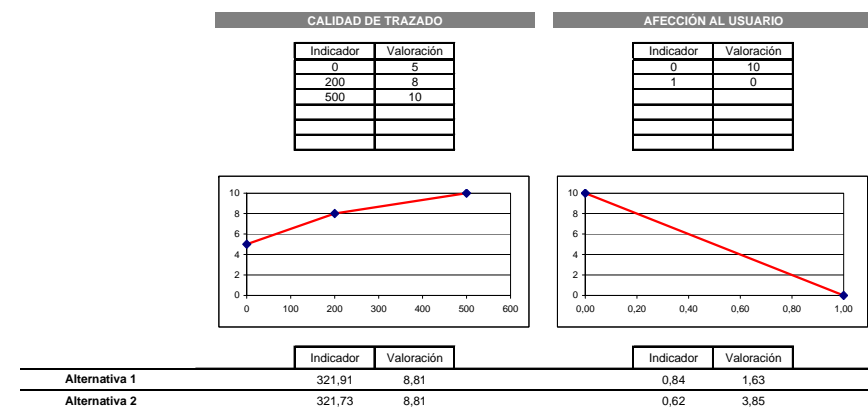
OBJETIVO AMBIENTAL



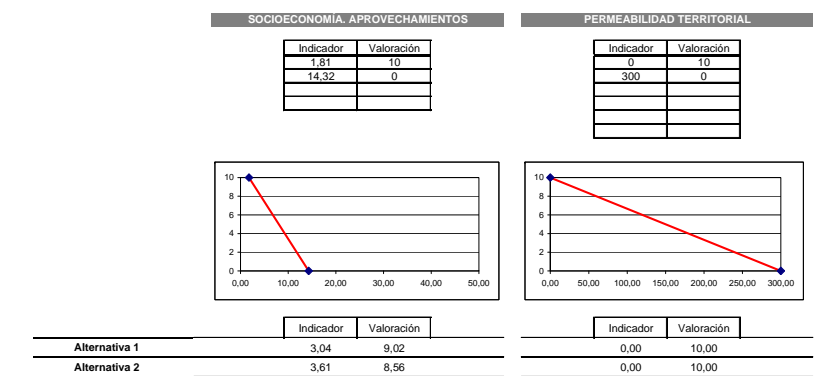
OBJETIVO ECONÓMICO



OBJETIVO FUNCIONAL



OBJETIVO TERRITORIAL



TRAMO 1. RESUMEN DE INDICADORES ESCALADOS

Objetivo	Variable	Peso	ALTERNATIVAS	
			Alternativa 1	Alternativa 2
			Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,15	9,25	9,25
	Vegetación	0,25	7,88	7,48
	Paisaje	0,2	7,83	7,49
	Fauna	0,2	7,87	7,48
	Espacios de interés ambiental	0,2	4,75	4,91
	Promedio		7,45	7,23
ECONÓMICO	P.E.M.	1	9,93	10,00
	Promedio		9,93	10,00
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	0,3	8,81	8,81
	Afección al usuario	0,7	1,63	3,85
	Promedio		3,78	5,34
TERRITORIAL	Usos del suelo	0,7	9,02	8,56
	Permeabilidad Territorial	0,3	10,00	10,00
	Promedio		9,31	8,99

RESULTADOS MÉTODO PATTERN

TRAMO 1. MÉTODO PATTERN			
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35	9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20	3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10	9,31	8,99
TOTAL PATTERN		7,77	8,00

RESULTADOS MÉTODO ELECTRE

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35	9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20	3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10	9,31	8,99

MATRIZ DE CONCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0	0,45
Alternativa 2	0,55	0

MATRIZ DE DISCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0,00	0,16
Alternativa 2	0,03	0,00

MÉTODO ELECTRE I. MATRIZ DE PREFERENCIAS

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1		
Alternativa 2		

RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y ROBUSTEZ

TRAMO 1. MÉTODO PATTERN			
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	7,45	7,23
ECONÓMICO	0,35	9,93	10,00
FUNCIONAL	0,20	3,78	5,34
TERRITORIAL	0,10	9,31	8,99
TOTAL PATTERN		7,77	8,00
ANÁLISIS SENSIBILIDAD		17,31%	82,71%
ANÁLISIS ROBUSTEZ		0,00%	100,00%

ANEXO N° 2

ANÁLISIS MULTICRITERIO TRAMO 2

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO AMBIENTAL

HIDROLOGÍA

Tramo 2. Valoración de Hidrología Superficial

Unidad	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Coef. Afección		Coef. Afección	
	Long.	Coef.	Long.	Coef.
Ospitaleko Erreka	0	0,25	19,5	0,25
Indicador	0,000		0,250	

VEGETACIÓN

Tramo 2. Valoración de Vegetación

Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Hayedo	80	24
Haya+Espino	15	0
Castaño+Roble pedunculado+Sauce	7408	8988
Helechal+Brezal-argomai+Pastizal	1530	1424
Praderas	1221	20228
Helechal+Pastizal	5680	5648
Improductivo	94430	110777

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Hayedo	1	80	273667	24	273667
Haya+Espino	1	15	5886	0	5886
Castaño+Roble pedunculado+Sauce	1	7408	24733	8988	24733
Helechal+Brezal-argomai+Pastizal	0,6	1530	69922	1424	69922
Praderas	0,5	1221	195260	20228	195260
Helechal+Pastizal	0,5	5680	43599	5648	43599
Improductivo	0	94430	322494	110777	322494
Suma		Indicador	2,55%	Indicador	4,90%

PAISAJE

Tramo 2. Valoración de Paisaje

Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Paisaje forestal de frondosas	7503	9012
Paisaje forestal no arbolado	8431	27300
Paisajes urbanos	94430	110777

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Paisaje forestal de frondosas	1	7503	304286	9012	304286
Paisaje forestal no arbolado	1	8431	308782	27300	308782
Paisajes urbanos	0,35	94430	322494	110777	322494
Suma		Indicador	6,75%	Indicador	10,34%

FAUNA

Tramo 2. Valoración de Fauna

Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Superficie forestal arbolada	7503	9012
Superficie forestal no arbolada	7210	7072
Praderas	1221	20228
Improductivo	94430	110777

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Superficie forestal arbolada	1	7503	304286	9012	304286
Superficie forestal no arbolada	0,6	7210	113522	7072	113522
Praderas	0,4	1221	195260	20228	195260
Improductivo	0,1	94430	322494	110777	322494
Suma		Indicador	4,51%	Indicador	6,72%

ESPACIOS

Tramo 2. Valoración de Espacios de interés ambiental

Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Red Natura 2000	110363	147089
Habitat 9120	23297	25969
Paisaje protegido	0	

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Red Natura 2000	1	110363	1024504	147089	1024504
Habitat 9120	0,7	23297	141481	25969	141481
Paisaje protegido	0,5	0	0	0	0
Suma		Indicador	11,27%	Indicador	14,71%

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO ECONÓMICO

TRAMO 2. RESUMEN DE INDICADORES DEL OBJETIVO ECONÓMICO

Variable	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Valor	índice	Valor	índice
P.E.M.	24.408.871,34	0,000	24.711.030,16	0,012

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO FUNCIONAL

TRAZADO

Tramo 2. Valoración de Visibilidad

ALTERNATIVA	CALZADA DERECHA			
	DIST. NECESARIA MEDIA	DIST. DISPONIBLE MEDIA	DIFERENCIA MEDIA	DESV. TIPICA MEDIA
Alternativa 1	108,55	345,78	237,23	127,39
Alternativa 2	108,63	345,78	237,15	126,32

AFECCIÓN

Tramo 2. Valoración de Afección al usuario

Tramo	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Longitud	Índice de severidad	Longitud	Índice de severidad
Inicio - Entrada Túnel Almandoz	1851	0,8	1893	0,5
Túnel Almandoz	1200	0	1190	0
Salida Túnel Almandoz - Final Tramo	610	1	601	1
INDICADOR	0,571		0,423	

VALORACIÓN DE INDICADORES DEL OBJETIVO TERRITORIAL

USOS

Tramo 2. Valoración de Usos del suelo

Unidad	ALTERNATIVAS	
	Alternativa 1	Alternativa 2
	Sup. afectada	Sup. afectada
Área forestal	7503	9012
Área forestal no arbolada	7210	7072
Praderas naturales o pastizales	1221	20228
Área improductiva	0	0

Unidad	Índice	ALTERNATIVAS			
		Alternativa 1		Alternativa 2	
		Sup. afectada	Sup. total	Sup. afectada	Sup. total
Área forestal	1	7503	304286	9012	304286
Área forestal no arbolada	0,5	7210	113522	7072	113522
Praderas naturales o pastizales	0,5	1221	195260	20228	195260
Área improductiva	1	0	322494	0	322494
Suma		Indicador	1,50%	Indicador	2,90%

PERMEABILIDAD

Tramo 2. Valoración de la Permeabilidad Territorial

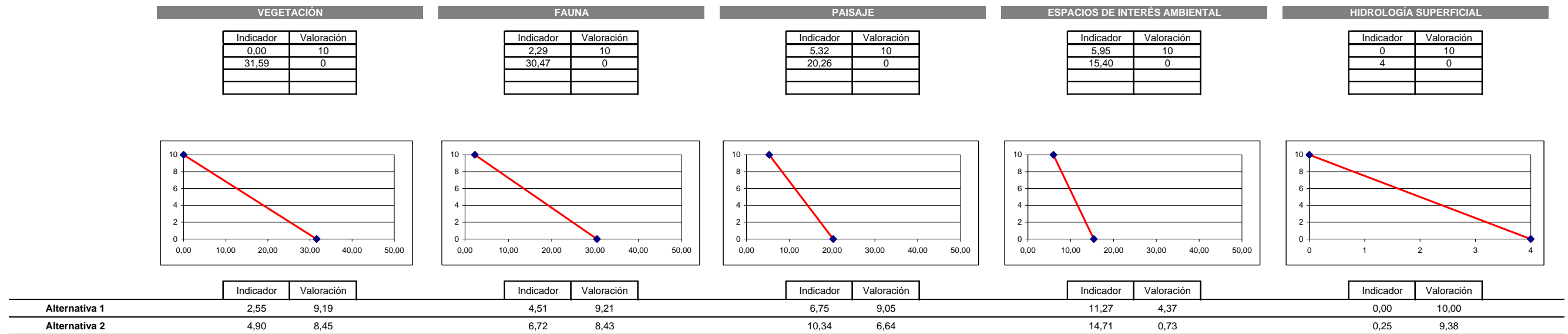
Tipo	ALTERNATIVAS			
	Alternativa 1		Alternativa 2	
	Distancias antes de la obra	Distancias después de la obra	Distancias antes de la obra	Distancias después de la obra
Caminos	9.365	13.161	9.365	12.410
INDICADOR	40,53%		32,51%	

RESUMEN DE INDICADORES

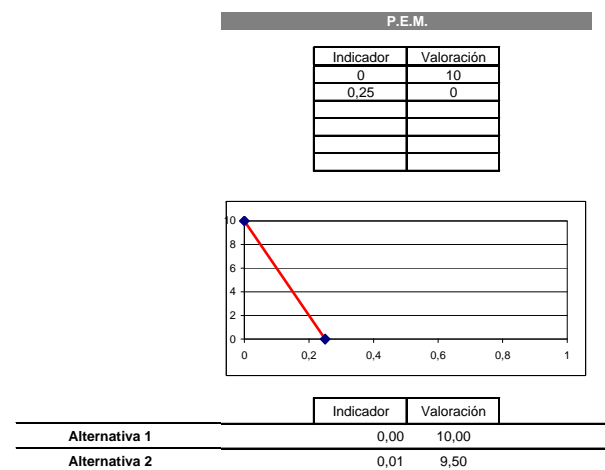
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Variable	Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,00	0,25
	Vegetación	2,55%	4,90%
	Paisaje	6,75%	10,34%
	Fauna	4,51%	6,72%
	Espacios de interés ambiental	11,27%	14,71%
ECONÓMICO	Coste de 1ª Inversión	0,00	0,01
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	237	237
	Afección al usuario	0,571	0,423
TERRITORIAL	Usos del suelo	1,50%	2,90%
	Permeabilidad Territorial	40,53%	32,51%

GRÁFICAS DE ESCALADO

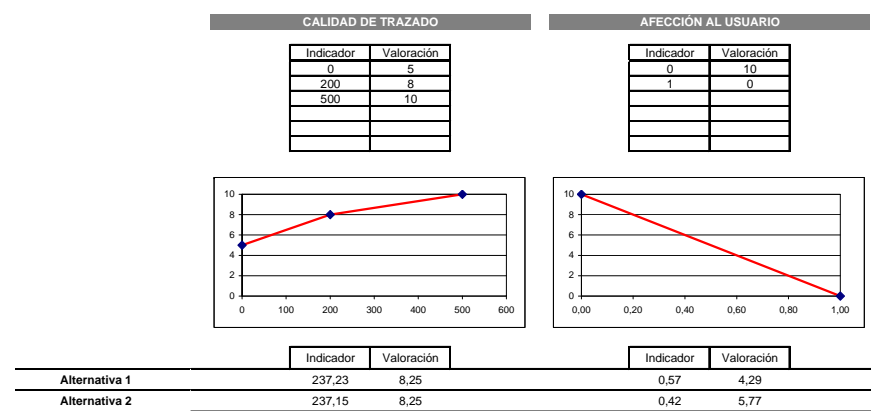
OBJETIVO AMBIENTAL



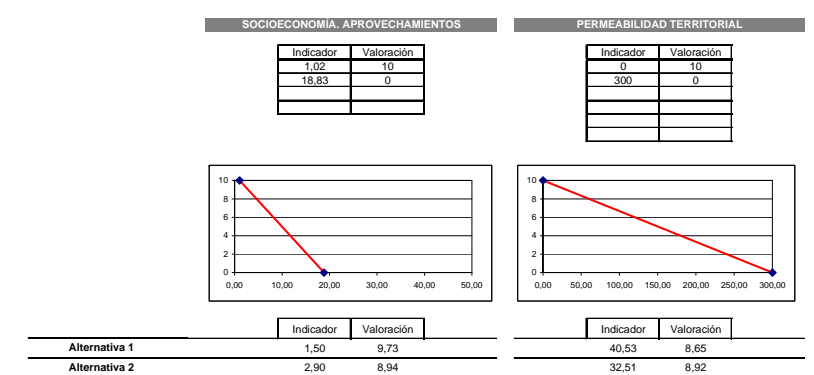
OBJETIVO ECONÓMICO



OBJETIVO FUNCIONAL



OBJETIVO TERRITORIAL



TRAMO 2. RESUMEN DE INDICADORES ESCALADOS

Objetivo	Variable	Peso	ALTERNATIVAS	
			Alternativa 1	Alternativa 2
			Valor	Valor
AMBIENTAL	Hidrología Superficial	0,15	10,00	9,38
	Vegetación	0,25	9,19	8,45
	Paisaje	0,2	9,05	6,64
	Fauna	0,2	9,21	8,43
	Espacios de interés ambiental	0,2	4,37	0,73
	Promedio		8,32	6,68
ECONÓMICO	P.E.M.	1	10,00	9,50
	Promedio		10,00	9,50
FUNCIONAL	Calidad de Trazado	0,3	8,25	8,25
	Afección al usuario	0,7	4,29	5,77
	Promedio		5,48	6,52
TERRITORIAL	Usos del suelo	0,7	9,73	8,94
	Permeabilidad Territorial	0,3	8,65	8,92
	Promedio		9,41	8,94

RESULTADOS MÉTODO PATTERN

TRAMO 2. MÉTODO PATTERN			
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94
TOTAL PATTERN		8,45	7,86

RESULTADOS MÉTODO ELECTRE

		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94

MATRIZ DE CONCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0	0,8
Alternativa 2	0,2	0

MATRIZ DE DISCORDANCIA

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	0,00	0,10
Alternativa 2	0,16	0,00

MÉTODO ELECTRE I. MATRIZ DE PREFERENCIAS

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1		X
Alternativa 2		

RESULTADOS ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD Y ROBUSTEZ

TRAMO 2. MÉTODO PATTERN			
		ALTERNATIVAS	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Objetivo	Peso	Valor	Valor
AMBIENTAL	0,35	8,32	6,68
ECONÓMICO	0,35	10,00	9,50
FUNCIONAL	0,20	5,48	6,52
TERRITORIAL	0,10	9,41	8,94
TOTAL PATTERN		8,45	7,86
ANÁLISIS SENSIBILIDAD		82,44%	17,56%
ANÁLISIS ROBUSTEZ		100,00%	0,00%