

ANEJO N° 5. COMPARACIÓN DE LAS OPCIONES ESTUDIADAS

ÍNDICE

5. Comparación de las opciones estudiadas.....	3
5.1. Introducción	3
5.1.1. Metodología de comparación	3
5.1.2. Descripción del problema.....	3
5.1.3. Planteamiento general de la solución propuesta.....	3
5.1.4. Análisis detallado de la solución propuesta.....	4
5.1.4.1. Acotación del conjunto de alternativas comparables.....	4
5.1.4.2. Selección de los objetivos.....	5
5.1.4.3. Definición del conjunto de criterios de evaluación.....	5
5.1.4.4. Identificación de los efectos de cada alternativa sobre cada criterio de evaluación.....	7
5.1.4.5. Valoración de los efectos de cada alternativa sobre cada criterio de evaluación. Definición de los indicadores.....	7
5.1.4.6. Determinación de la importancia relativa asociada a las variables consideradas.....	7
5.1.4.7. Definición de la regla de decisión a utilizar.....	10
5.2. Análisis ponderado de las alternativas	14
5.2.1. Territorial.....	14
5.2.1.1. Planeamiento	14
5.2.2. Económico	15
5.2.2.1. Socioeconomía	15
5.2.2.2. Presupuesto	16
5.2.3. Ambiental	16
5.2.4. Funcional	18
5.3. Comparación de alternativas	21
5.3.1. Escalado de los indicadores.....	21
5.4. Análisis comparativo.....	22
5.5. Conclusiones	24

5. Comparación de las opciones estudiadas.

5.1. Introducción

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.

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.

5.1.1. Metodología de comparación

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.

5.1.2. Descripción del problema.

De forma concreta y plasmando las indicaciones concretas del Estudio Informativo que nos ocupa, se trata de:

Obtener la mejor alternativa posible de entre todas las estudiadas en el Estudio Informativo, teniendo en cuenta todos los aspectos estudiados en el mismo 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).

5.1.3. 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 posteriormente:

- 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.

5.1.4. Análisis detallado de la solución propuesta.

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

5.1.4.1. Acotación del conjunto de alternativas comparables.

Tal y como hemos mencionado, el problema base plantea la comparación de todas las alternativas definidas en el área de estudio; sin embargo, todas las alternativas no son comparables entre sí, por lo que es necesaria su división en grupos.

La división del conjunto global de alternativas en diferentes subgrupos de soluciones comparables entre sí no es un proceso ajeno al resultado final del análisis sino una parte básica del mismo ya que es posible encontrar casos en los que la suma de las mejores alternativas de los subtramos no coincida con la alternativa que saldría elegida si analizásemos todo el tramo en conjunto.

La división a realizar debe cumplir las siguientes características:

- El punto de inicio y final de todas las alternativas de cada grupo, incluyendo la situación actual, debe coincidir.
- Todas las variables que posteriormente vayan a intervenir en el proceso de evaluación deben estar definidas en los tramos determinados.
- La división debe establecer unidades conceptualmente independientes con respecto a todos los criterios de evaluación.

Así, una vez realizada la tramificación el objetivo global de obtener la *mejor alternativa posible* de entre todas las estudiadas a lo largo del área de estudio se transforma en n problemas independientes y totalmente análogos de búsqueda de la mejor alternativa posible para cada uno de los subtramos en que se habrá dividido el área de estudio.

5.1.4.2. 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 Informativo 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 SOCIOECONÓMICO: 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.

Se presentan a continuación, para cada uno de estos cuatro campos, los criterios de comparación seguidos, así como los resultados obtenidos en cada caso.

5.1.4.3. Definición del conjunto de criterios de evaluación.

Una vez finalizados los dos primeros pasos del proceso aquí propuesto, ya se encuentran definidos tanto el conjunto de alternativas que vamos 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.
 - **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 que han sido marcados por la Dirección General de Carreteras como representativos para la evaluación de alternativas de Estudios Informativos.

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

Criterios asociados al objetivo AMBIENTAL

Los criterios de evaluación aplicables a un estudio genérico son los siguientes:

- Climatología.
- Calidad Atmosférica.
- Geología y Geotecnia.
- Suelos.
- Hidrología Superficial.
- Hidrología Subterránea.
- Situación fónica.
- Vegetación.
- Fauna.
- Paisaje.
- Espacios naturales protegidos.
- Socioeconomía.
- Patrimonio histórico-artístico.
- Planeamiento.

Criterios asociados al objetivo ECONOMÍA

- Rentabilidad.

En este caso tan solo se incluye de forma independiente el criterio de la rentabilidad, que será medido en función de uno de sus índices representativos, y no se incluyen como criterios independientes, ni los costes (tanto de ejecución por contrata como de expropiaciones) ni los beneficios sociales que está previsto alcanzar.

Esta decisión se debe a la necesidad de cumplir la condición de mínimo del conjunto de criterios ya que las dos variables anteriormente mencionadas (coste y beneficio social) se encuentran incluidas de forma implícita en cualquier índice evaluador de la rentabilidad.

Criterios asociados al objetivo FUNCIONALIDAD

Para un estudio de carácter genérico tendríamos:

- Velocidad de Planeamiento.
- Velocidad de Proyecto.
- Calidad de trazado.
- Distancia entre accesos.
- Seguridad vial.
- Facilidad de programación.
- Afección al usuario durante la fase de construcción.
- Mejora de tiempos

Criterios asociados al objetivo TERRITORIAL

Para un estudio de carácter genérico definiríamos:

- Accesibilidad.
- Conectividad con la red existente.
- Permeabilidad territorial.
- Coordinación con otros planeamientos.

5.1.4.4. Identificación de los efectos de cada alternativa sobre cada criterio de evaluación.

Se trata de identificar el comportamiento de cada una de las alternativas con respecto a cada uno de los criterios de valoración definidos en el punto anterior. En este caso no se trata de calificar la bonanza o maldad de cada una de ellas sino simplemente de dejar constancia de los distintos niveles de cumplimiento de los objetivos prefijados.

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

Una de las características que debían cumplir de forma individual cada uno de los criterios evaluación es la mensurabilidad, es decir que existiese una escala métrica que permitiese expresarlos numéricamente.

El siguiente paso una vez identificado el comportamiento de cada una de las alternativas para cada una de las variables es trasladar ese comportamiento a una graduación numérica.

Este traslado requiere dos etapas:

- La definición de una nueva variable denominada Indicador que no es más que una función que asocia a cada alternativa un valor numérico indicativo de su comportamiento con respecto a una parte o a todo el criterio de valoración. Cada factor de evaluación por tanto, puede venir definido por uno o por varios indicadores.
- La escala numérica obtenida tras la aplicación de cada indicador no es la misma en todos los casos por lo que se hace necesario una segunda etapa que transforme los valores ya obtenidos a una escala métrica común (en este caso de 0 a 10).

Definición de los Indicadores.

En este apartado se hace una descripción somera de los diversos tipos de indicadores que se pueden emplear para la evaluación de las variables comentadas dentro de cada uno de los objetivos expuestos anteriormente.

La definición detallada de estos indicadores se realizará apartados posteriores una vez que se hayan seleccionado aquellos relevantes para nuestro estudio.

En primer lugar se puede realizar una clasificación en sentido amplio que divide los indicadores en dos grandes grupos.

- Cuantificables.
- No cuantificables.

En el caso de los primeros, el comportamiento de la alternativa se puede expresar de forma directa como un número.

En el caso de los segundos, al no poderse expresar la valoración únicamente mediante un número, es necesario medir el comportamiento de la alternativa con respecto a esa parte del criterio de valoración a través de una escala relativa de valoraciones definida a tal efecto (por ejemplo MUY MALO, MALO, REGULAR, BUENO, MUY BUENO) que en cualquier caso se transformará numéricamente y de forma posterior a la misma escala predefinida (de 0 a 10) que en al caso de los indicadores cuantificables.

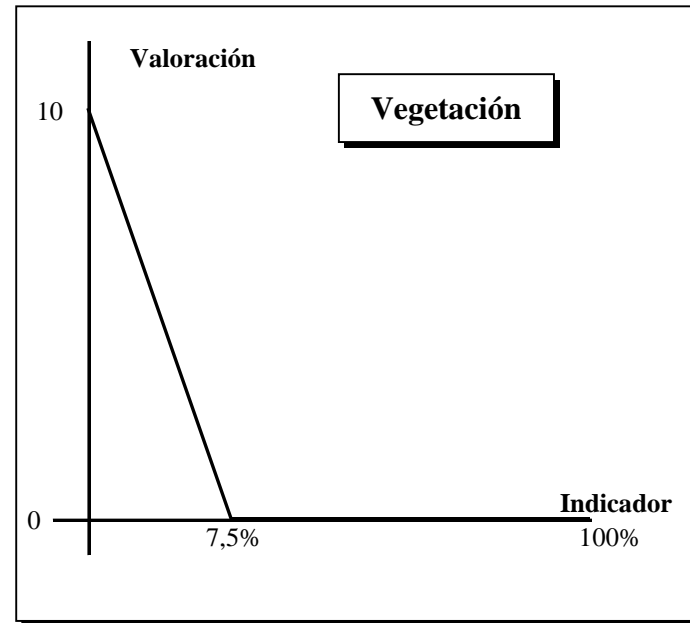
5.1.4.6. Determinación de la importancia relativa asociada a las variables consideradas.

Una vez definidos todos y cada uno de los indicadores asociados a cada criterio de evaluación debemos pasar a transformar todos esos valores obtenidos a una escala común. En este caso se ha optado por una escala decimal (0 - 10) donde el 0 representarán el estado pésimo de la alternativa con respecto al criterio de evaluación y el 10 el estado óptimo.

Del mismo modo que se procedió en el apartado anterior de definición de los indicadores haremos aquí una descripción general de los diversos tipos de funciones de transformación dejando para el desarrollo del análisis la presentación de las funciones particulares empleadas en nuestro estudio.

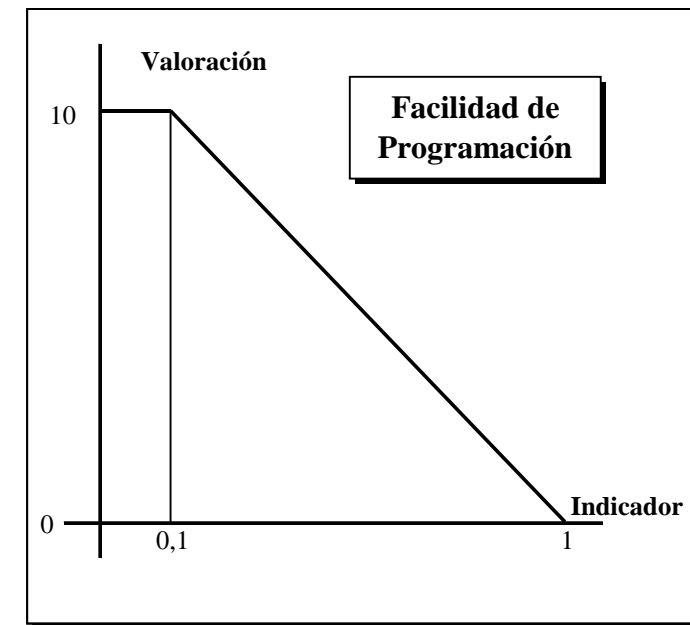
- En caso de indicadores del tipo superficie afectada equivalente de calidad 1 la función de transformación es lineal decreciendo de 10 a 0 entre el 0 % y un determinado porcentaje, que representa la máxima afección admisible, a partir de la cual se otorga un valor de 0.

Como ejemplo se incluye a continuación la gráfica de la función empleada para el escalado del indicador de vegetación.



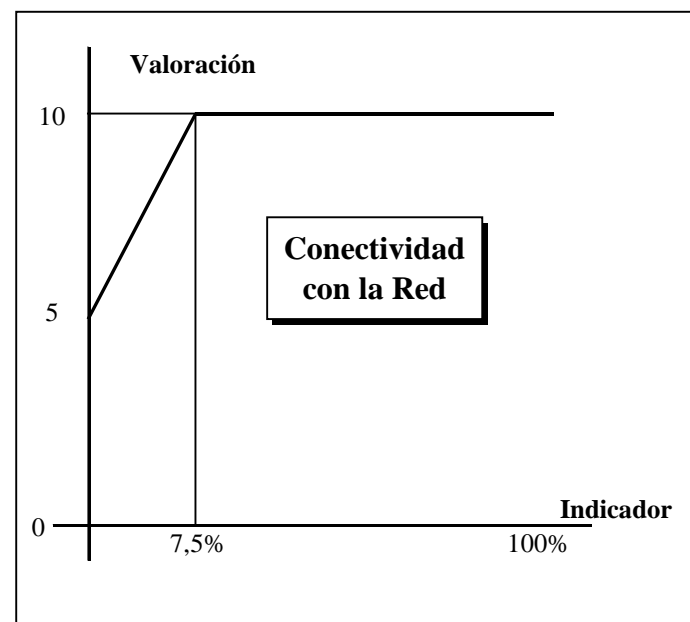
- Otras funciones presentan la particularidad de ser equivalentes para valores bajos del indicador, valiendo 10. A partir de un determinado valor del indicadores decrecen linealmente, en uno o más tramos, hasta el valor 0. Funciones de este tipo sirven para escalar variables como la seguridad vial, afección al usuario durante las obras o la facilidad de programación.

Como ejemplo se incluye a continuación la gráfica de la función empleada para el escalado del indicador de facilidad de programación.



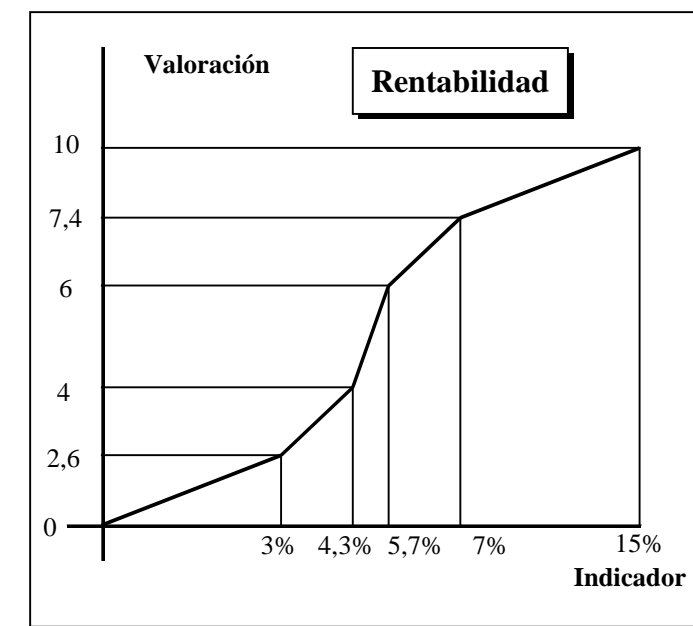
- Se puede definir un nuevo tipo, aunque en esencia es equivalente a las funciones del tipo superficie afectada equivalente. Allí un aumento del indicador conlleva un empeoramiento hasta el valor máximo admisible, calificado con 0. En este nuevo tipo un aumento del indicador implica una mejoría hasta un valor teóricamente inalcanzable, calificado con 10. La forma de la función es linealmente creciente hasta este valor y horizontal después.

Como ejemplo se incluye a continuación la gráfica de la función empleada para el escalado del indicador de conectividad con la red actual.



- En un indicador en particular, el T.I.R., se emplea una función que presenta cierto tipo de “saturación”. La función comienza en 0 y es monótonamente creciente, en principio con tasas de crecimiento bajas que van aumentando hasta alcanzar un punto de inflexión y volver a descender hasta que la función alcanza el valor 10.

Como ejemplo se incluye a continuación la gráfica de la función empleada para el escalado del indicador T.I.R.



- Por último existe un tipo de función que es más una tabla de equivalencias que una función propiamente dicha y que sirve para escalar los indicadores cualitativos. Dicha tabla se incluye a continuación.

ESCALA RELATIVA	ESCALA NUMÉRICA
MUY MALO	0
MALO	2
REGULAR	5
BUENO	8
MUY BUENO	10

5.1.4.7. Definición de la regla de decisión a utilizar.

Una vez que se tienen todos los valores necesarios para efectuar la toma de decisión, tan sólo 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 uno de los métodos enmarcados dentro de cada uno de los dos grupos, 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.

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.

Para su utilización se exigen dos características principales:

- Los “pesos” de la ponderación de cada criterio deben establecerse como porcentaje o proporción de un peso global, bien sea 1, 100, 1000, etc.
- La valoración de cada solución en función de cada criterio exige una escala cardinal homogénea.

Introduce el concepto de pertinencia, entendido como la medida relativa de la contribución de una alternativa a la consecución del objetivo propuesto. Se define el índice de pertinencia como la suma de la ponderación de cada criterio por el indicador correspondiente de cada alternativa

Si la suma de todos los índices de pertinencia se calcula de forma tal que su suma sea igual a la unidad, estos índices de pertinencia representarán entonces la probabilidad de que cada una de las soluciones alcance el objetivo propuesto.

Para que la suma de pertinencia sea igual a la unidad, la suma de los factores de ponderación debe ser igual a 1, y asimismo, la suma de las valoraciones atribuidas a cada solución en virtud de cada criterio debe ser igual a 1.

Tanto las ponderaciones de los criterios de selección como las valoraciones atribuidas a cada opción deben poder ser expresadas en notación cardinal.

Si apareciese alguna notación ordinal se elaborará algún procedimiento de conversión a notación cardinal.

Hay que conseguir también que la suma de valores de cada indicador sea la unidad, para lo que se expresa cada valoración como porcentaje de la suma de las valoraciones hechas a las soluciones. Esta forma de expresión es válida cuando el criterio de optimización exige la maximización del indicador. Si exige la minimización, se aplica sobre las inversas de las valoraciones.

Posteriormente, y una vez con todas las valoraciones y los criterios normalizados, se realiza la multiplicación de las puntuaciones asignadas a cada alternativa para cada criterio por el peso de los criterios, sumando después y dividiendo por la suma total de los pesos. La alternativa más válida será la que obtenga mayor puntuación.

Con objeto de conseguir mayor seguridad en el orden de preferencia obtenido del análisis multicriterio siguiendo el Método Pattern, es frecuente la aplicación de los denominados “análisis de sensibilidad”, consistentes en la modificación de pesos o valoraciones, con lo que se consigue apreciar la sensibilidad de los índices de pertinencia a tales cambios (p. ej.: asignación del mismo peso a todos los criterios, no considerar alguno de ellos, etc.). De esta manera se obtiene para cada análisis de sensibilidad unos nuevos

índices de pertinencia, que permiten una selección de la mejor alternativa más ajustada a la realidad.

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 sumaras, 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.

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 1.968.

Su fundamento estriba en la comparación de todas las alternativas 2 a 2 de forma ordenada (a-b ≠ 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 cuánto de grande es suficiente y cuánto 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 aun existiendo poca diferencia a favor de la primera. Si, por el contrario, éste 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. 0,5, 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_{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 Electre

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.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$$

Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 2: objetivo 2.

$$\text{Diferencia de puntuaciones} = 4 - 3 = 1$$

$$\text{Índice de discordancia} = 1 / 10 = 0,1.$$

Par de alternativas 1 y 3.

Objetivos para los que la alternativa 1 es superior a la 3: objetivos 1, 3 y 4.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$$

Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 3: objetivo 3.

$$\text{DIFERENCIA DE PUNTUACIONES} = 6 - 3 = 3$$

$$\text{Índice de discordancia} = 3 / 10 = 0,3.$$

Par de alternativas 2 y 3.

Objetivos para los que la alternativa 2 es superior a la 3: objetivos 1, 3 y 4.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,3 + 0,25 + 0,25 = 0,8$$

Objetivos para los que la alternativa 1 es inferior a la 3: objetivo 3.

$$\text{DIFERENCIA DE PUNTUACIONES} = 6 - 4 = 2$$

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.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,2$$

Objetivos para los que la alternativa 2 es inferior a la 1: objetivos 1, 3 y 4.

$$\text{MÁXIMA DIFERENCIA DE PUNTUACIONES} = 9 - 6 = 3$$

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.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,2$$

Objetivos para los que la alternativa 3 es inferior a la 1: objetivos 1, 3 y 4.

$$\text{MÁXIMA DIFERENCIA DE PUNTUACIONES} = 8 - 2 = 6$$

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.

$$\text{SUMA DE LOS PESOS ASOCIADOS} = 0,2 + 0,25 = 0,45$$

Objetivos para los que la alternativa 3 es inferior a la 2: objetivos 1 y 4.

$$\text{MÁXIMA DIFERENCIA DE PUNTUACIONES} = 5 - 2 = 3$$

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.

5.2. Análisis ponderado de las alternativas

Se realiza a continuación, para cada uno de los cuatro aspectos tratados en el presente Avance, el análisis ponderado de las diferentes alternativas describiendo previamente los diferentes criterios de comparación propuestos a tal fin.

5.2.1. Territorial.

Dentro del objetivo territorial, el único criterio seleccionado para la realización del análisis comparativo es la afección de las diferentes alternativas planteadas al planeamiento urbano de la zona.

La selección de este único criterio es debida a la similitud entre las diferentes alternativas desde el punto de vista territorial, que hace que otros indicadores no presenten diferencias apreciables de unas a otras, no permitiendo, por tanto, establecer indicadores comparativos entre las mismas.

5.2.1.1. Planeamiento

La afección que los trazados estudiados generan sobre el planeamiento es reducido en base al carácter mayoritariamente rústico que los suelos afectados poseen en el planeamiento vigente. Como concepción global, desde la ordenación territorial el nuevo vial contribuye a la reordenación espacial y contribuye a su mayor organización y clarificación del territorio.

Valorando la ocupación de suelo, en base al planeamiento son los no urbanizables genéricos sobre los que menor impacto se generaría. En base a ello, son las Alternativas 1 y 10 las que menores afecciones crean, siendo ligeramente mayor en las Alternativas 2, 3 y 4 (plantean una estructura de menor longitud para salvar el curso fluvial). En el caso de las Alternativas 5, 6, 7, 8 y 9 pueden considerarse variantes de las anteriores al mantener parte del trazado de las mismas pero variando la conexión con el futuro Eje vial Villaescusa – Carandía: en lugar de plantear una prolongación del trazado Oeste de la Variante hasta el mismo, se opta por proyectar un trazado norte, que desde la Glorieta de la CA-223 toma dirección Este para conectar con el futuro vial Villaescusa – Carandía mediante el Enlace proyectado en el PSIR Llano de la Pasiega. Con este trazado norte de mayor desarrollo longitudinal se afecta mayoritariamente a suelo no urbanizable genérico y, en su parte final, a suelo del PSIR citado.

En resumen, si bien las alternativas presentan incidencias similares, tal vez sea la Alternativa 10 la más adecuada desde el punto de vista del planeamiento por la menor afección que genera sobre los espacios urbanos, urbanizables y no urbanizables no genéricos.

En base a lo expuesto, las valoraciones relativas a la afección sobre el Planeamiento serían las siguientes:

- ✓ Alternativa 1: 8
- ✓ Alternativa 2: 7,85
- ✓ Alternativa 3: 7
- ✓ Alternativa 4: 7
- ✓ Alternativa 5: 6,5
- ✓ Alternativa 6: 6,35
- ✓ Alternativa 7: 5,50
- ✓ Alternativa 8: 5,50
- ✓ Alternativa 9: 6,5
- ✓ Alternativa 10: 9

Resumen de Indicadores del Objetivo Territorial										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Planeamiento	8.00	7.85	7.00	7.00	6.50	6.35	5.50	5.50	6.50	9.00

5.2.2. Económico

Dentro del objetivo económico se han seleccionado dos indicadores: la afección a la socioeconomía de la zona y el presupuesto de ejecución.

5.2.2.1. Socioeconomía

Desde el punto de vista socioeconómico, con las alternativas que se plantean se consigue una clara mejora de la situación actual con lo que su construcción puede considerarse positiva.

Las alternativas que se estudian resuelven la actual situación de travesía que la red viaria genera sobre la zona urbana de Renedo, con la clara mejora de las condiciones de calidad de vida que de ello se deriva: reducción de niveles sonoros, mejora de la seguridad vial, clarificación espacial, disminución de tiempos de recorrido, etc., y todo ello se produce en el contexto de un ámbito residencial y de servicios en el que la imagen y las mejoras que se introduzcan tienen una clara incidencia en su valoración y consideración.

Los desarrollos previsibles plantean el incremento de la zona urbana con fines residenciales y productivos. Junto a la conveniencia de reducir la afección sobre los mismos, la ejecución del nuevo vial deberá proyectarse de la forma más adecuada para que se preserve la conectividad transversal. En este contexto, el nuevo vial se convierte en eje distribuidor vía de acceso a las localidades y de conectividad territorial.

Con todas las alternativas los impactos positivos que se generarían sobre la población de la zona y su economía sería visible fácilmente en el empleo, aumento de ingresos en los sectores económicos, mejora de las infraestructuras existentes, niveles sonoros etc. tanto de la zona más inmediata al trazado como de los espacios más exteriores a los que da acceso.

De las Alternativas definidas, desde el punto de vista de la socioeconomía son las que se plantean por el Corredor Oeste (Alternativas 1, 2, 3, 4 y 10) las más favorables, y de las alternativas en él proyectadas, es la Alternativa 10 la más ventajosa. Las causas que explican este hecho son:

- ✓ El conjunto de las Alternativas proyectados por el Oeste (Alternativas 1, 2, 3, 4 y 10) resuelven con menor recorrido la conexión, dotan de mayor funcionalidad a la misma y minimizan la ocupación de suelo.

- ✓ Las existencia del Corredor Norte como parte del trazado (Alternativas 5, 6, 7, 8 y 9) permite combinar la función de Variante de Renedo con un mayor diversificación de accesos y conexiones actuales a la localidad, beneficiando a los residentes y a los establecimientos productivos y de servicios implantados en la localidad y a sus posibles clientes no locales. La parte del trazado proyectado al Norte, de mayor recorrido, se proyecta como vial sin conexiones intermedias.
- ✓ Frente al resto de Alternativas proyectadas al Oeste, la Alternativa 10 plantea una conexión más limpia y funcional a las localidades de Renedo y Vioño, a partir de una glorieta a nivel y definiendo un viario articulador interior.

Destacar por último la importante incidencia positiva que el nuevo vial tiene en este entorno residencial y de servicios en el que la imagen tienen una clara repercusión en la valoración y calidad del mismo, sin obviar su impulso a la potenciación de Vioño y Renedo como áreas residenciales unida al espacio productivo del cercano PSIR Llano de la Pasiega.

En base a lo expuesto, las valoraciones relativas a la afección sobre la Socioeconomía serían las siguientes:

- ✓ Alternativa 1: 8,5
- ✓ Alternativa 2: 8
- ✓ Alternativa 3: 8
- ✓ Alternativa 4: 8
- ✓ Alternativa 5: 7,5
- ✓ Alternativa 6: 7
- ✓ Alternativa 7: 7
- ✓ Alternativa 8: 7
- ✓ Alternativa 9: 7
- ✓ Alternativa 10: 9

5.2.2.2. Presupuesto

Como segundo indicador dentro del objetivo económico se toma el presupuesto de ejecución, considerándose mejor una alternativa cuánto más bajo sea este para la misma, ya que la incidencia presupuestaria y, por tanto, social, será menor.

En este caso, los presupuestos de ejecución material son muy similares entre las alternativas 1 y 2 con un valor entorno a los 8,5 millones de euros, y entre las alternativas 3 y 4 alrededor de los 7 millones de euros, las alternativas 5 y 6 se presentan con los presupuestos más elevados 11 millones y, por último, las alternativas 7 y 8 se encuentran en torno a los 9,5 millones.

Por tanto, desde este punto de vista, se valora a las alternativas:

- ✓ Alternativa 1: 7
- ✓ Alternativa 2: 7
- ✓ Alternativa 3: 8
- ✓ Alternativa 4: 8
- ✓ Alternativa 5: 5
- ✓ Alternativa 6: 5
- ✓ Alternativa 7: 6
- ✓ Alternativa 8: 6
- ✓ Alternativa 9: 5,7
- ✓ Alternativa 10: 7,5

Por tanto, el valor promedio final del objetivo económico se sitúa de la siguiente forma:

Resumen de Escalado del Objetivo Económico										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Socioeconomía	8.50	8.00	8.00	8.00	7.50	7.00	7.00	7.00	7.00	9.00
Presupuesto	7.00	7.00	8.00	8.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.70	7.5

5.2.3. Ambiental

A través de los estudios ambientales del ámbito reflejados en apartados anteriores, se han caracterizado los principales problemas del área y los principales valores ambientales con que cuenta la misma. Se han analizado los criterios que siguen a continuación, siendo estos los que presentan diferencias significativas para las distintas alternativas de cada tramo.

Situación fónica: Para determinar la potencial afección de las soluciones propuestas en lo que se refiere al ruido generado, se ha considerado la población potencialmente afectada por las diez alternativas. Como consecuencia del trazado de cada una de ellas, la población que puede verse afectada de forma global es muy similar. En cuanto a la valoración compatible del impacto se estima a partir de la situación actual, ya que la construcción del nuevo vial contribuirá a aliviar el tráfico sobre los núcleos de población de la zona y a disminuir por tanto los niveles de ruido originados por el tráfico en las zonas más densamente pobladas. Por tanto se mejora en el aspecto de la situación fónica, y el impacto se considera moderado.

Edafología: Para identificar la potencial afección de las soluciones propuestas sobre la edafología se ha atendido a la capacidad agrológica de los suelos atravesados. Las alternativas 5, 6, 7, 8 y 9, además de recorrer una extensión de terreno mucho mayor dada su longitud, lo hacen a través de terrenos con mayor capacidad agrícola que el resto del alternativas que se ubican sobre un ámbito más antropizado.

Hidrología: La afección a la hidrología superficial asociada a la ejecución de un nuevo vial viario puede identificarse como la intercepción o afección a los cursos de hidrología, que puede en su caso dar lugar a modificaciones de sus cursos originales, procesos de contaminación y efecto barrera sobre la escorrentía natural. Todas las

intersecciones con cursos de agua de las soluciones propuestas se resuelven o bien, mediante paso superior, o mediante el adecuado dimensionamiento de obras de drenaje.

Morfología: Se ha considerado la necesidad de ejecutar desmontes y terraplenes, que puedan alterar la geomorfología actual, además de la ubicación de los mismos y sus dimensiones. Todas las alternativas presentan terraplenes y desmontes a lo largo de su desarrollo si bien, estos desmontes y terraplenes se vuelven especialmente numerosos y significativos en el caso de las alternativa 5, 6, 7, 8 y 9.

Vegetación: Mayoritariamente la vegetación afectada por las alternativas será la típica asociada a praderas y tierras de cultivo, en algunos casos de tipo ruderal. En puntos muy concretos las alternativas afectarán de forma mínima a formaciones poco desarrolladas de bosque de ribera. Este es el caso de las alternativas 1, 2, 3, 4 y 10 que a continuación de su conexión con la carretera N-623 afectan a una pequeña formación de bosque de ribera.

Fauna: La potencial afección a la fauna por parte de las diez alternativas analizadas será similar. Esto es debido a que, mientras las alternativas 1, 2, 3, 4 y 10 afectan a una pequeña extensión e bosque de ribera, las alternativas 5, 6, 7, 8 y 9 se desarrollan sobre una mayor extensión de terreno alejado de núcleos urbanos comprometiendo en mayor medida la permeabilidad faunística y equiparando la afección del resto de alternativas.

Espacios Naturales Protegidos: Ninguna de las alternativas planteadas interfiere con espacios naturales protegidos.

Paisaje: El valor paisajístico de las diferentes zonas a ocupar por cada alternativa junto al potencial número de observadores de cada zona hace que la afección a este factor del medio sea diferente de unas zonas a otras. A esto hay que añadir la presencia de infraestructuras viarias ya existentes y otros elementos antrópicos que aumentan la capacidad acogida a nuevas transformaciones del paisaje. Las alternativas 5, 6, 7, 8 y 9 se desarrollan a través de la ladera Este del núcleo de Renedo sobre zonas elevadas fácilmente visibles para toda la población existente en los corredores de las carreteras C-233 y N-623 mientras que el resto de alternativas (1, 2, 3, 4 y 10) lo hacen sobre un entorno más llano de cotas más cercanas a las de los núcleos habitados de la zona.

Socioeconomía: Desde el punto de vista socioeconómico, con las ocho alternativas se consigue una clara mejora de la situación actual por lo que la construcción de esta carretera puede considerarse positiva. Las únicas diferencias radican en que las alternativas formadas

con la Variante Este afectan a una mayor superficie de terreno, a terrenos de mayor potencial agrícola y al paisaje y a la morfología del entorno en mayor grado.

Usos del suelo: En el caso de las afecciones sobre los usos del suelo se han valorado como más significativas aquellas afecciones que se producen sobre terrenos con uso urbano o cuya desarrollo urbanístico esta previsto. En este sentido, se han caracterizado todas las alternativas como compatibles si bien, en el caso de las alternativas 1, 2, 3, 4 y 10, las integraciones del futuro vial con las carreteras existentes sacrifican en algunos casos suelos de uso urbano.

Patrimonio: Si bien la riqueza arqueológica e histórico-artística de las zonas próximas al proyecto es importante, también es cierto que la densidad de elementos del Patrimonio Cultural ubicados en las proximidades del trazado propuesto no es muy alta. Así, se conocen varios elementos de interés en las cercanías del proyecto, aunque ninguno de ellos se ve directamente afectado por los trazados propuestos dando como resultado la compatibilidad de todas las actuaciones con este factor.

Resumen de Escalado del Objetivo Medioambiental										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Variable	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Situación Fónica	7.00	9.00	7.50	9.00	7.00	8.00	7.50	8.00	7.50	7.50
Edafología	7.50	7.50	7.50	7.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50
Hidrología	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Morfología	7.00	7.00	7.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00
Vegetación	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	6.50
Fauna	6.50	6.50	6.50	6.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50
Espacios Protegidos	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Paisaje	7.50	7.50	7.50	7.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.50
Socioeconomía	8.00	8.00	8.00	8.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00
Usos del Suelo	7.00	7.00	7.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00
Patrimonio Histórico-Artístico	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

5.2.4. Funcional

Dentro del análisis funcional de las alternativas, se pretende tomar como indicadores de valoración de las alternativas la mejora en la velocidad de trazado, la seguridad vial y la calidad de trazado de la nueva vía respecto a la situación actual.

Para la obtención de estos indicadores, previamente se han obtenido las asignaciones de tráfico a las redes futuras, en las que se incluyen las alternativas propuestas, de manera que sea posible cuantificar los mismos.

En este punto se pretende, por tanto, realizar el análisis de la mejora de los problemas encontrados en el diagnóstico previo mediante la implantación de las infraestructuras viarias propuestas, realizando una medición numérica posterior de estas mejoras mediante los indicadores correspondientes.

Se presentan, por tanto, dentro del objetivo funcional, dos indicadores diferenciados:

Velocidad de planeamiento.

Este criterio se evalúa mediante el cálculo de un solo indicador cuyo nombre coincide con el que se ha dado al criterio correspondiente.

Es necesario definir previamente algunos conceptos antes de exponer la expresión para el cálculo de este indicador.

La instrucción 3.1. IC de Trazado de Carreteras define los conceptos de velocidad específica, velocidad dinámica y velocidad de planeamiento como sigue.

Se llama velocidad específica de un elemento de trazado (en este caso de una alineación) a la máxima velocidad que puede mantenerse en condiciones de seguridad y comodidad, cuando encontrándose el pavimento seco y los neumáticos en buen estado, las circunstancias meteorológicas y del tráfico son tales que no imponen limitaciones a la velocidad de circulación.

Velocidad dinámica de un elemento es la máxima velocidad que puede mantenerse en condiciones de seguridad estricta, debido exclusivamente a las características geométricas del elemento de trazado.

La mencionada instrucción proporciona tablas y expresiones para realizar el cálculo de las velocidades específicas y dinámicas de los diversos elementos de un trazado, ya sean rectas, curvas circulares o curvas de transición.

Así, la velocidad de planeamiento es la media armónica de las velocidades dinámicas de todos los elementos del trazado. La velocidad de planeamiento viene a representar la velocidad media que se obtendría al recorrer un tramo si se exprimieran al máximo sus posibilidades, esto es, si se recorrieran todos sus elementos a su velocidad dinámica.

Se emplea para su cálculo la expresión siguiente:

$$I_{VPL} = \frac{\sum_i l_i}{\sum_i \frac{l_i}{v_{iesp}}}$$

donde:

l_i : longitud del tramo i .

v_{iesp} : velocidad media del tramo i .

Para realizar el cálculo de este indicador se ha obtenido un listado de las alineaciones que componen el trazado en planta de cada una de las alternativas. Hecho esto se ha calculado la velocidad específica de cada una de estas alineaciones y posteriormente la velocidad dinámica de las mismas.

Con estos datos y utilizando la expresión expuesta anteriormente se puede calcular la velocidad de planeamiento de las diversas alternativas. Los resultados obtenidos se recogen en la siguiente tabla.

Parámetro	Valoración de la Velocidad de Planeamiento									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Radio medio (m.)	274	216	216	274	751	751	749	751	751	274
Indicador	98.1	98.1	97.3	98.1	104.8	104.8	104.8	104.8	104.8	98.1

Seguridad vial.

Es ésta una variable que se va a representar mediante un indicador que vendrá dado por la estimación del número de accidentes que previsiblemente se producirán en la alternativa bajo estudio.

El método de cálculo es similar al propuesto a la hora de evaluar la rentabilidad económica de las alternativas. Entonces se comentó que tal evaluación sólo podía cuantificarse en términos económicos y que quedaban fuera los aspectos sociales del hecho de la siniestrabilidad. Con el presente indicador pretendemos recoger el hecho de que será mejor aquella alternativa donde menos accidentes se produzcan.

Existen, como ya se indicó anteriormente y como recoge la publicación empleada como referencia en el cálculo de la rentabilidad, dos métodos de cálculo del número de accidentes que es previsible se producirán en una nueva vía.

El primero de ellos es un método puramente estadístico. Se basa en utilizar los índices de mortalidad y peligrosidad de cada tipo de carretera (autopista, autovía, carretera convencional) en cada una de las provincias españolas. Estos índices, tabulados en la publicación de referencia, sirven para calcular el número de muertos y heridos por accidente mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Número de muertos} = 365 \cdot \text{Intensidad media diaria} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Índice de mortalidad} \cdot 10^{-8}$$

$$\text{Número de heridos} = 365 \cdot \text{Int. media diaria} \cdot \text{Longitud} \cdot \text{Índice de peligrosidad} \cdot 10^{-8} \cdot K$$

donde K es el número medio de heridos por accidente.

El segundo método consiste en aplicar un modelo de accidentes. El resultado del modelo es el incremento o disminución de los mismos frente a la situación actual y tiene en cuenta la relación entre diversos parámetros de trazado en ambas situaciones según la fórmula siguiente. Debe remarcar que el cálculo efectuado obtiene los accidentes que continúan teniendo lugar, esto es, más positiva cada alternativa será más positiva cuanto más pequeño sea el porcentaje obtenido.

$$\Delta = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.5305} \cdot \left(\frac{FP_2}{FP_1} \right)^{0.5594} \cdot \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{-0.9647} \cdot \left(\frac{FC_2}{FC_1} \right)^{0.5639} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{-0.4702}$$

donde P indica pendiente longitudinal media, FP es el número de cambios de rasante por kilómetro, A es el ancho de la calzada, FC es el número de curvas por kilómetro y R el radio de curvatura medio.

Se prefiere este segundo indicador porque recoge de un modo más directo las características geométricas (funcionales) de la nueva vía.

Para calcular el indicador expuesto se han obtenido previamente los valores de ciertos parámetros que definen la geometría del trazado en planta de la alternativa considerada.

Una vez calculados estos parámetros se emplea la fórmula propuesta obteniéndose un valor porcentual que indica el número de accidentes que previsiblemente se producirán en la nueva vía como porcentaje de los que se producen en la actual, suponiendo el resto de las características del tráfico constantes.

Es preciso destacar que este indicador es meramente comparativo, por lo que se toma como punto de comparación la situación actual.

Los valores obtenidos en el cálculo se recogen en la siguiente tabla.

Parámetro	Valoración de la Seguridad Vial										
	Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Longitud del tramo:	1,248	1,768	1,739	1,739	1,768	3,401	3,401	3,372	3,401	3,401	1,768
Nº de curvas por km.	6	5.1	6	6	5	3	3	3	3	3	5
Nº cambios de rasante por km.	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Radio medio (m.)	241	274	216	216	274	751	751	749	751	751	295
Pendiente media (%)	1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4
Anchura de la calzada	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Indicador		57.85%	107.31%	107.31%	85.66%	33.66%	33.66%	41.83%	38.26%	33.65%	55.89%

Calidad de trazado

Este indicador mide la mejora en la calidad de trazado de la nueva vía respecto a la situación actual. Para ello, realiza un cálculo de la mejora de la visibilidad de las diferentes alternativas respecto a la mencionada situación actual.

Los resultados obtenidos se pueden observar en las siguientes tablas.

Parámetro	Valoración de la Calidad de Trazado										
	Actual	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Radio medio (m.)	241	274	216	216	274	751	751	749	751	751	295
Distancia a borde calzada (m)	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Visibilidad (m)	41.12	46.89	41.63	41.63	46.89	77.53	77.53	77.46	77.53	77.55	48.63
Indicador		114.03%	101.23%	101.23%	114.03%	188.52%	188.52%	188.35%	188.52%	188.57%	118.27%

Dominio público hidráulico

Relativamente a la variable “afección de las alternativas al dominio público hidráulico” y tras realizar un análisis global de “condicionamientos hidráulicos y de drenaje”, las principales conclusiones que se pueden extraer del apartado de Drenaje son las siguientes:

- Todas las alternativas de trazado estudiadas para la Variante de Renedo, cumplen con la normativa aplicable así como los requisitos exigidos por la Confederación Hidrográfica del Cantábrico en lo que se refiere a condicionantes hidráulicos.
- El límite definido para la avenida de 100 años de período de retorno del río Pas podrá alcanzar tangencialmente la traza (variantes centro), comprobándose que la misma no afecta la vía de intenso desagüe del río.
- Los límites establecidos para la llanura de inundación de 500 años de período de retorno apuntan que la cota máxima alcanzada en situación de avenida en el río Pas se sitúa en torno a la 25,0. Por otra parte, en esta zona la rasante de la traza se situará por encima de la cota 27,5, por lo que se dispondrá de un resguardo hidráulico aceptable.
- Los estribos del puente sobre el río Carrimont se situarán fuera de la franja de servidumbre de 5 m de anchura, legalmente establecida para uso público.

- El puente sobre el río Carrimont no provocará sobreelevaciones del nivel de agua, ya que dicho río se encuentra encauzado. Además se estima que dicho encauzamiento dispone de capacidad para encajar la avenida de 500 años de periodo de retorno.
- El resguardo libre entre la cota máxima de la lámina de agua y el punto más bajo del tablero es, en todas las alternativas estudiadas, superior a 0,50 m

Asimismo, cabe destacar que el paso inferior bajo la línea de ferrocarril, previsto en el trazado de la variante Centro B puede ocasionar dificultades de drenaje que las demás alternativas no tendrán.

Ante los comentarios anteriores relativos al cumplimiento del objetivo funcional en comparación en el presente punto, se ha considerado adecuada la siguiente valoración de alternativas:

- Alternativa 1, 5 y 10 (8 puntos).
- Alternativa 3, 4, 7, 8 y 9 (6 puntos).
- Alternativa 2 y 6 (5 puntos).

Variable	Resumen de Indicadores del Objetivo Funcional										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Calidad de Trazado	Valoración	5.70	5.06	5.06	5.70	9.43	9.43	9.42	5.70	5.70	
Velocidad de Planeamiento	6.87	6.87	6.76	6.87	7.82	7.82	7.83	7.82	7.82	6.87	
Seguridad Vial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Dominio Público Hidráulico	0	8.00	5.00	6.00	6.00	8.00	5.00	6.00	6.00	8.00	

5.3. Comparación de alternativas

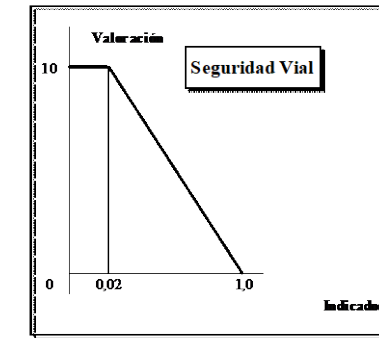
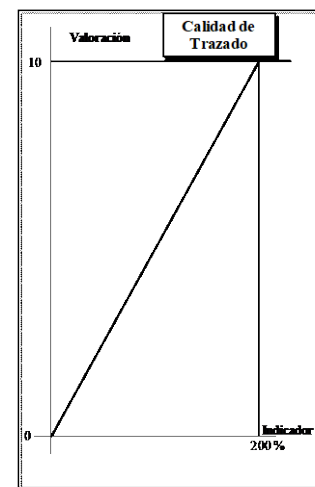
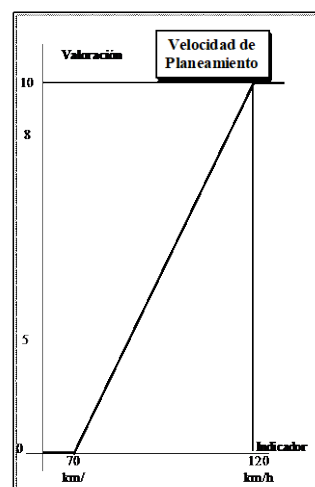
Una vez obtenidos los indicadores numéricos para cada variable y objetivo considerados, se procede en este punto a realizar la comparación entre las distintas alternativas en función de dichos resultados.

Para ello, es necesario en primer lugar realizar un escalado previo de los resultados obtenidos para los diferentes indicadores, de manera que sea posible la comparación entre los mismos.

5.3.1. Escalado de los indicadores

Este escalado (con resultado final entre uno y diez) se efectúa en cada caso en función del propio indicador, de sus características y variaciones, teniendo en cuenta en cada caso qué valor del indicador se considera como cero y qué valor merece un diez y realizando una estimación para los valores intermedios, siendo estas estimaciones, generalmente, lineales.

Mediante este método se realizan los escalados para los indicadores que se muestran a continuación, presentando tanto las tablas de escalado como los resultados obtenidos. En el caso del presente Estudio, el escalado únicamente es necesario realizarlo para el caso de los indicadores funcionales, ya que en el resto de objetivos se ha acotado la valoración de los indicadores entre 0 y 10, no siendo necesario el posterior escalado.



A partir de los resultados de estos escalados, se han obtenido valores comparables para todos los indicadores numéricos de las diferentes variables de comparación.

Se resumen en primer lugar los resultados de las valoraciones obtenidas por todas las alternativas para cada variable de análisis.

		Resumen de Escalado									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Objetivo	Variable	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Medioambiental	Situación Fónica	7.00	9.00	7.50	9.00	7.00	8.00	7.50	8.00	7.50	7.50
	Edafología	7.50	7.50	7.50	7.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50
	Hidrología	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
	Morfología	7.00	7.00	7.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00
	Vegetación	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	6.50
	Fauna	6.50	6.50	6.50	6.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50
	Espacios Protegidos	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
	Paisaje	7.50	7.50	7.50	7.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.50
	Socioeconomía	8.00	8.00	8.00	8.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00
	Usos del Suelo	7.00	7.00	7.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00
Patrimonio Histórico-Artístico	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
	Suma	7.64	7.82	7.68	7.82	7.14	7.23	7.18	7.23	7.18	7.68
Económico	Socioeconomía	8.50	8.00	8.00	8.00	7.50	7.00	7.00	7.00	7.00	9.00
	Presupuesto	7.00	7.00	8.00	8.00	5.00	5.00	6.00	6.00	5.70	7.5
	Suma	7.75	7.50	8.00	8.00	6.25	6.00	6.50	6.50	6.35	9.00
Funcional	Calidad de Trazado	Valoración	5.70	5.06	5.06	5.70	9.43	9.43	9.42	5.70	5.70
	Velocidad de Planeamiento	6.87	6.87	6.76	6.87	7.82	7.82	7.83	7.82	7.82	6.87
	Seguridad Vial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Dominio Público Hidráulico	8.00	5.00	6.00	6.00	8.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	Suma	4.96	4.39	4.45	4.48	5.38	5.56	5.81	5.81	4.88	4.64
Territorial	Planeamiento	8.00	7.85	7.00	7.00	6.50	6.35	5.50	5.50	6.50	9.00
	Suma	8.00	7.85	7.00	7.00	6.50	6.35	5.50	5.50	6.50	9.00
	Total Pattern	7.09	6.89	6.78	6.83	6.32	6.28	6.25	6.26	6.23	7.58

5.4. Análisis comparativo

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.

MÉTODO PATTERN.

Tal y como se ha descrito en apartados anteriores 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 la persona decisoria atribuye a los diferentes criterios como las valoraciones que el analista da a cada solución en función de los criterios.

En el caso que nos ocupa en el presente Estudio, los pesos escogidos para los cuatro objetivos, Territorial, Socioeconómico, Funcional y Ambiental, son equivalentes, de 0,25 para cada uno, al considerarse que ninguno de los cuatro objetivos debe ser juzgado más importante que el resto.

El resultado obtenido, por tanto, mediante el Método Pattern para cada par de alternativas a comparar en cada tramo es el siguiente:

Criterios	Método Pattern									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Ambiental	7.64	7.82	7.68	7.82	7.14	7.23	7.18	7.23	7.18	7.68
Económico	7.75	7.50	8.00	8.00	6.25	6.00	6.50	6.50	6.35	9.00
Funcional	4.96	4.39	4.45	4.48	5.38	5.56	5.81	5.81	4.88	4.64
Territorial	8.00	7.85	7.00	7.00	6.50	6.35	5.50	5.50	6.50	9.00
Total Pattern	7.09	6.89	6.78	6.83	6.32	6.28	6.25	6.26	6.23	7.58

Se puede observar que la **alternativa seleccionada** como mejor por el método Pattern es la **Alternativa 10**, con unas diferencias apreciables teniendo en cuenta los resultados estándar de este método.

MÉTODO DE ELECTRE I

Tal como se ha definido en apartados anteriores se trata de un método de agregación parcial.

A modo de recordatorio cabe indicar que 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.

INDICE 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.

Los resultados que se pueden extraer de la aplicación del Método Electre I son los siguientes:

- La **Alternativa 1** es preferible a las alternativas 2, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.
- Las **Alternativas 2, 3 y 4** son superiores a las alternativas 6, 7, 8, 9 y 10.
- La **Alternativa 8** es preferible a las alternativas 5, 9 y 10.
- La **Alternativa 10** muestra superioridad sobre todas las demás.

Los resultados del Método Electre I no son concluyentes ya que no se establecen relaciones de preferencia entre todas las alternativas.

A continuación se exponen las matrices obtenidas mediante la aplicación del método Electre I.:

		Método Electre I									
Criterios	Pesos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medioambiental	0.25	7.64	7.82	7.68	7.82	7.14	7.23	7.18	7.23	7.18	7.68
Económico	0.25	7.75	7.50	8.00	8.00	6.25	6.00	6.50	6.50	6.35	9.00
Funcional	0.25	4.96	4.39	4.45	4.48	5.38	5.56	5.81	5.81	4.88	4.64
Territorial	0.25	8.00	7.85	7.00	7.00	6.50	6.35	5.50	5.50	6.50	9.00

Matriz de concordancia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.75	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00	0.25
2	0.25	0.00	0.50	0.25	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25
3	0.50	0.50	0.00	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00
4	0.50	0.50	0.50	0.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.25
5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.00	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
6	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.00	0.50	0.25	0.50	0.25
7	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	0.00	0.25	0.50	0.25
8	0.25	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	0.25	0.00	0.75	0.25
9	0.00	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.25	0.25	0.00	0.25
10	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.00

Matriz de discordancia

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.09	0.09	0.00	0.13
2	0.06	0.00	0.05	0.05	0.10	0.12	0.14	0.14	0.05	0.15
3	0.10	0.09	0.00	0.01	0.09	0.11	0.14	0.14	0.04	0.20
4	0.10	0.09	0.00	0.00	0.09	0.11	0.13	0.13	0.04	0.20
5	0.15	0.14	0.18	0.18	0.00	0.02	0.04	0.04	0.01	0.28
6	0.18	0.15	0.20	0.20	0.03	0.00	0.05	0.05	0.03	0.30
7	0.25	0.23	0.15	0.15	0.10	0.09	0.00	0.00	0.10	0.35
8	0.25	0.23	0.15	0.15	0.10	0.09	0.00	0.00	0.10	0.35
9	0.15	0.14	0.16	0.16	0.05	0.07	0.09	0.09	0.00	0.27
10	0.03	0.01	0.00	0.01	0.07	0.09	0.12	0.12	0.02	0.00

Matriz de preferencias

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		X			X	X	X	X	X	X
2					X	X	X	X	X	X
3					X	X	X	X	X	X
4					X	X	X	X	X	X
5										
6										
7					X					
8					X				X	X
9										
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5.5. Conclusiones

A partir del análisis multicriterio realizado y mediante las reglas de decisión empleadas, Pattern y Electre I, se puede concluir en el presente Estudio Informativo, que la alternativa viaria seleccionada es la **Alternativa 10**.

Esto se desprende de los resultados de las reglas de decisión empleadas, ya que el **Método Pattern** presenta valores superiores de la **Alternativa 10** como resultado de la aplicación de dicho método, siendo estos valores superiores para todos los criterios exceptuando el criterio funcional.

Por otro lado, el **Método Electre I** no es concluyente respecto a las alternativas consideradas, no estableciendo relaciones de preferencia entre todas las alternativas. Con este método se muestra que:

- La **Alternativa 1** es preferible a las alternativas 2, 5, 6, 7, 8, 9 y 10.
- Las **Alternativas 2, 3 y 4** son superiores a las alternativas 6, 7, 8, 9 y 10.
- La **Alternativa 8** es preferible a las alternativas 5, 9 y 10.
- La **Alternativa 10** muestra superioridad sobre todas las demás.

Con estos resultados quedan descartadas las alternativas 5, 6, 7, 8 y 9 frente a las cuatro primeras, mientras que entre las cuatro primeras establece la preferencia de la Alternativa 1 sobre la 2 y de la 10 sobre el resto.

Por tanto, el análisis multicriterio desarrollado concluye, como se indicaba en el comienzo del presente apartado, con la selección de la **Alternativa 10** como la preferente entre las alternativas propuestas en el desarrollo del presente Estudio Informativo.

ALTERNATIVA SELECCIONADA
ALTERNATIVA 10