



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

CRITERIOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA
GESTIÓN DE RUTAS TRANSPIRENAICAS EN EL
TRANSPORTE DE MERCANCÍAS A TRAVÉS DE
GUIPÚZCOA

Borja Beramendi Barberena

Javier Faulín Fajardo

Pamplona, 29 de abril de 2013

Índice

Índice.....	1
1. Introducción.....	3
2. Toma de decisiones para el transporte sostenible.....	5
2.1. Definiciones y aspectos básicos.....	5
2.2. Principales enfoques multicriterio.....	6
2.3. Problemas multicriterio discretos.....	7
2.4. Problemas multicriterio espaciales.....	7
2.5. Métodos de ponderación de criterios.....	8
2.6. Métodos de selección de alternativas.....	10
2.7. Método AHP.....	11
2.7.1. Ejemplo de aplicación del método AHP.....	12
2.8. Sistemas de Información Geográfica como ayuda a la toma de decisiones multicriterio.....	19
3. Situación actual de las carreteras en Guipúzcoa.....	23
4. Origen y descripción del problema.....	35
4.1. El transporte en los Pirineos.....	35
4.1.1. Infraestructura viaria.....	35
4.1.2. Flujo de transporte de mercancías por carretera.....	38
4.2. Selección de las alternativas.....	41
5. Recopilación, presentación y tratamiento de datos.....	45
5.1. Análisis económico.....	45
5.1.1. Costes directos del transporte de mercancías por carretera.....	45
5.1.1.1. Metodología: definición y fórmula de cálculo.....	45
5.1.1.2. Costes directos de los vehículos modelo.....	48
5.1.1.3. Otros conceptos.....	55
5.1.1.4. Criterios de eficiencia mediante los que la empresa podría reducir sus costes.....	55
5.1.2. Gestión del combustible.....	58
5.1.2.1. Planificación de rutas.....	59
5.1.2.2. Planificación de vehículos.....	59
5.1.2.3. Mantenimiento de la flota.....	60
5.1.2.4. Renovación de la flota.....	61
5.1.2.5. Conducción eficiente.....	62
5.1.2.6. Calidad del servicio prestado al cliente.....	65
5.1.3. Metodología utilizada para el proyecto.....	65
5.1.3.1. Costes directos.....	66
5.1.3.2. Velocidad de las vías.....	69
5.1.3.3. Pendiente de las vías.....	73
5.2. Análisis medioambiental.....	74
5.2.1. Efectos del transporte sobre el medio ambiente.....	74

5.2.2.	Contaminación atmosférica.....	77
5.2.2.1.	Emisiones de gases y el transporte por carretera.....	77
5.2.2.2.	Normativa.....	79
5.2.2.3.	Programa COPERT.....	81
5.2.2.4.	Metodología utilizada: Datos importados y resultados de COPERT.....	83
5.2.3.	Contaminación acústica.....	102
5.2.3.1.	Definición y conceptos básicos.....	102
5.2.3.2.	Normativa.....	105
5.2.3.3.	Modelos de dispersión de ruido.....	106
5.2.3.4.	Aspectos utilizados para su estudio.....	107
5.2.3.4.1.	Informe de Acústica Arquitectónica Ingenieros SA.....	107
5.2.3.4.2.	Estimación de las personas afectadas.....	108
5.2.3.4.2.1.	SIG utilizado: gvSIG.....	108
5.2.3.4.2.2.	Metodología utilizada.....	110
5.2.3.5.	Análisis, evaluación y estudio de los registros acústicos.....	116
6.	Desarrollo del proyecto y solución del problema.....	123
6.1.	Método AHP económico.....	123
6.2.	Método AHP medioambiental.....	130
6.3.	Método AHP económico y medioambiental total.....	132
6.4.	Comparación de los resultados obtenidos con el software MakeItRational.....	135
7.	Análisis de resultados y conclusiones.....	143
8.	Referencias bibliográficas.....	147
9.	Referencias web.....	149
10.	Anexos.....	151
	Anexo 1: Catálogo de la Red de Carreteras de la Diputación Foral de Guipúzcoa.....	151
	Anexo 2: Plano de Aforos de la Red de Carreteras de Guipúzcoa.....	153
	Anexo 3: Datos de entrada para introducir a COPERT sobre la alternativa 2.....	159
	Anexo 4: Resultados obtenidos con MakeItRational para el AHP basado solamente en criterios económicos.....	161
	Anexo 5: Resultados obtenidos con MakeItRational para el AHP basado solamente en criterios medioambientales.....	165

1. Introducción.

El transporte por carretera es una disciplina muy importante ya que mantiene las relaciones físicas de las personas, satisface las necesidades de desplazamiento de personas y mercancías, mejora la calidad de vida (vacaciones, turismo) y ha globalizado el planeta. Además tiene una importancia estratégica ya que aparte de la economía, otros sectores importantes dependen de él como la industria, el turismo o el comercio.

Debido a la difícil situación geográfica que presenta la frontera entre España y Francia, aumenta la importancia de mantener una buena infraestructura viaria para proporcionar una buena conexión entre ambos países. Y aquí es donde cobra importancia el presente trabajo, donde se van a estudiar las rutas pirenaicas que atraviesan la provincia de Guipúzcoa, un lugar estratégico para el transporte de mercancías entre ambos países. Casi el 50% de los vehículos españoles que cruzan la frontera (turismos y mercancías) eligen una vía de esta provincia, siendo prácticamente la totalidad de los casos la autopista AP-8, lo que la convierte en una vía de interés internacional.

En el proyecto se eligen 2 rutas transpirenaicas, que atraviesan la provincia de Guipúzcoa finalizando en la frontera francesa, formadas por tramos de las distintas carreteras de las que se nutre el sistema viario de Guipúzcoa. Se realizarán estudios detallados en el apartado económico para cada una de las rutas. Se tendrán en cuenta análisis en las rutas que reflejen el coste del combustible para recorrerlas, así como el impacto sobre este coste que tienen las características de sus vías principales en relación a la velocidad permitida de circulación y la pendiente ascendente que sufren los vehículos al recorrerlas.

Además, se pretende dar una elevada importancia a la responsabilidad social, de forma que se llevará a cabo un análisis de costes medioambientales que se producen al recorrer estas alternativas. La necesidad de dar importancia al problema medioambiental, además de al mero coste económico, es ya una realidad en varios países de Europa que han introducido tasas que compensan este coste medioambiental y en el futuro, probablemente, será una obligación en España. Esto hará que las empresas de transporte tengan que preocuparse más por el impacto de su flota en el medio que atraviesan.

La peculiaridad de este trabajo, reside en que para dar una respuesta real a este planteamiento, no podemos solo centrarnos en el tema medioambiental, sino que debemos compaginarlo con el económico, porque si no el estudio sería solo meramente informativo y carecería de aplicación práctica.

De modo que para hacerlo de forma real, se supone una empresa ficticia que se dedica a la logística de un determinado producto. Dicha empresa cuenta con dos sedes en las otras dos capitales de provincia de la comunidad, Vitoria y Bilbao. Las dos alternativas enlazan dichas ciudades con la frontera francesa aunque el estudio solo se haya realizado sobre la provincia de Guipúzcoa. La empresa deberá elegir en cuál de las dos sedes se fabricará este producto basándose en los costes de transporte exclusivamente, es decir, la ruta medioambiental y económicamente más barata. El transporte utilizado será el de mercancías.

Entre las necesidades de esta empresa, se encuentran por un lado la viabilidad económica de la ruta comercial (básico para cualquier negocio), y por otra el mantenimiento de su responsabilidad social corporativa, hasta ahora muy preocupada por el impacto que se genera en el medio ambiente y las personas (en aumento actualmente).

En relación al estudio medioambiental, se diferenciarán dos tipos de contaminación, por un lado la que generan como emisión de gases en el escape los vehículos al quemar el combustible fósil en sus motores (impacto en el medio y las personas) y por otro, la emisión de ruido que se genera por el paso de los vehículos cerca de poblaciones habitadas (más centrada en el impacto a las personas).

Estos estudios, que se desarrollarán en detalle para ambas alternativas tenidas en cuenta en el presente proyecto, deben ser combinados, a fin de poder tomar una decisión de cuál es la mejor para los intereses de nuestra empresa ficticia.

Para ello, se escogerán los criterios más adecuados (económico, contaminación de gases y contaminación acústica) que permitan poder realizar comparaciones entre las diferentes alternativas en función de estos. Finalmente, por medio de técnicas de Toma de Decisiones Multiatributo (TDMA) se realizará la evaluación de cada alternativa para cada uno de los criterios considerados, y se identificará la mejor posicionada para resolver el problema.

Para la comparación de las alternativas, se usa el método AHP (Analytic Hierarchy Process - Proceso de Jerarquía Analítica) (Saaty, 1980). Un método que descompone una situación compleja y no estructurada en sus componentes, los ordena en una jerarquía, realiza comparaciones binarias y atribuye valores numéricos, respecto a la importancia relativa de cada criterio, así como de la preferencia de cada alternativa en función de cada criterio considerado. Como resultado final, se consiguen evaluar las diferentes alternativas en función del logro del objetivo propuesto inicialmente, para finalmente tomar la decisión que se considere más oportuna, una vez analizada la jerarquía del problema, y la influencia o el peso de los diferentes criterios sobre la solución final.

Además se aprovecha los datos obtenidos en cada alternativa, para calcular la mejor alternativa teniendo en cuenta los criterios tanto económicos como medioambientales por separado y, de este modo, abarcar otros dos ejemplos de aplicación de este método tan altamente utilizado en la toma de decisiones.

Será, al final del trabajo, donde se analicen todos los resultados obtenidos, a fin de dar una respuesta clara al problema inicialmente planteado.

2. Toma de decisiones para el transporte sostenible.

En este apartado se va a describir la metodología que ha sido usada a lo largo del proceso de selección de la ruta más sostenible. Se va a realizar una simplificación de la realidad debido a la complejidad del problema planteado, que nos ayudará a conseguir un modelo que nos permite analizar el problema desde una perspectiva más amplia. Se usarán las técnicas de análisis de decisión multicriterio (ADMC) y los sistemas de información geográficos (SIG) para visualizar, analizar y procesar toda la información que ha sido considerada más importante para el desarrollo del presente estudio y, finalmente, la obtención de la alternativa más sostenible.

De modo general, los procesos de toma de decisiones se han venido analizando tradicionalmente en base a un paradigma que puede esquematizarse de la siguiente forma. En primer lugar, se establece el conjunto de soluciones posibles o factibles del problema de decisión analizado. A continuación, fundándose en un cierto criterio, se asocia a cada solución o alternativa un número que representa el grado de deseabilidad que tiene cada alternativa para el centro decisor; es decir, se establece una ordenación de las soluciones factibles. Seguidamente, utilizando técnicas matemáticas más o menos sofisticadas, se procede a buscar entre las soluciones factibles aquella que posee un mayor grado de deseabilidad. Dicha alternativa es la solución óptima. Este sencillo marco de análisis es el que subyace a cualquier problema de decisión investigado dentro del paradigma tradicional de la optimización.

Esta estructura posee una gran solidez desde el punto de vista lógico. Ahora bien, desde un punto de vista de contenido empírico, el marco teórico anterior presenta importantes debilidades que lo desvía considerablemente de los procesos reales de toma de decisiones. En efecto, en muchos casos de la vida ordinaria, los centros decisores no están interesados en ordenar las soluciones factibles con arreglo a un único criterio, sino que desean efectuar esta tarea en base a diferentes criterios que reflejen sus particulares preferencias. Así, una gran empresa desea establecer sus decisiones óptimas no sólo en base al criterio del beneficio, sino a otros criterios como volumen de ventas, riesgo...

El término Evaluación Multicriterio (EMC), suele usarse como sinónimo de Análisis de Decisión Multicriterio (ADMC). Los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas, un único agente decisor y procedimientos de evaluación racionales y consistentes.

Cada vez es mayor el uso de técnicas o procesos para la toma de decisiones. Una toma de decisiones consiste en la evaluación de una serie de alternativas en función de unas variables o atributos, para obtener el resultado que mejor satisfaga nuestros objetivos.

2.1. Definiciones y aspectos básicos

Como en cualquier tema que se pretenda estudiar, es necesario utilizar un lenguaje específico, que se detalla a continuación:

- **Atributo:** Cualquier valor medible susceptible de ser objeto de optimización, y expresable a través de una función matemática de las variables de decisión, $f(x)$, y al margen de las preferencias que pueda tener el sujeto decisor (Romero, 1993). Ejemplos: las ventas de una empresa, la plantilla de una compañía o el beneficio de una sociedad.
- **Objetivo:** Dirección en la que se desea que se optimicen uno o varios atributos. Habitualmente estaríamos hablando de la maximización o minimización de las funciones objetivo que representan a los atributos en la relación con el problema que se plantee

(Romero, 1993). Ejemplos: Maximizar las ventas, minimizar una plantilla o maximizar el beneficio de una sociedad.

- Nivel de aspiración: Nivel aceptable de consecución para un determinado atributo (Romero, 1993). Ejemplo: 3000 euros de beneficio o 2000 kg de producción.
- Meta: La combinación de un atributo con un nivel de aspiración (Romero, 1993). Ejemplo: Obtener un beneficio mínimo de 3000 euros o una producción mínima de 2000 kg.
- Criterio: Combinación de los atributos, objetivos o metas que se consideren relevantes para un problema de decisión. Un criterio, por tanto, englobará los tres conceptos previos de atributo, objetivo y meta (Romero, 1993).

2.2. Principales enfoques multicriterio

La diferenciación conceptual anterior nos permite efectuar una primera aproximación metodológica a los diferentes enfoques multicriterio. Dentro de los principales enfoques de la teoría de la decisión multicriterio encontramos:

- La Programación Multiobjetivo se usa cuando el centro decisor toma decisiones en una situación de objetivos múltiples. El primer paso dentro de este enfoque consiste en generar el conjunto eficiente. El segundo paso consiste en buscar un compromiso óptimo para el centro decisor de entre las soluciones eficientes. Las soluciones o alternativas que alcanzan esos objetivos suelen ser infinitas y por lo tanto se trata de problemas continuos.
- La Programación por Metas se usa cuando el centro decisor tiene que tomar decisiones en un contexto de metas múltiples. Este tipo de optimización se aborda por medio de la minimización de las desviaciones en los logros realmente alcanzados y los niveles de aspiración fijados previamente. Con tal propósito se introducen variables de desviación positiva y negativa que permiten tanto el exceso como la falta de logro para cada meta. También se trata de un problema continuo.
- La Programación Multiatributo se usa cuando el centro decisor debe tomar su decisión en un contexto caracterizado por varios atributos. El propósito de este enfoque consiste en construir una función de utilidad con un número de argumentos igual al número de atributos que se consideran relevantes para el problema decisional que se quiera analizar. Se suele aplicar a problemas decisionales con un número finito o discreto de soluciones factibles, es decir, es un problema discreto.

A este último tipo pertenece nuestro presente trabajo. Por lo que requerirá la selección entre un conjunto de alternativas ya existentes y definidas, descritas por sus atributos.

Sin embargo, la Programación Multiobjetivo se utilizaría para el diseño de alternativas y la búsqueda de la solución más eficiente entre un conjunto muy amplio, cuasi infinito, definiendo cada alternativa implícitamente en función de las variables de decisión y se evalúa a través de las múltiples funciones objetivo. Se trataría del típico problema del diseño de la traza de una carretera, contando con infinitas posibilidades para la unión de dos puntos mediante una línea.

Por lo tanto a modo de resumen, concluiríamos diciendo que resolver un problema multiatributo o discreto, entraña un proceso de selección o evaluación, frente al proceso de diseño o búsqueda que implica la resolución de un problema multiobjetivo o continuo.

2.3. Problemas multicriterio discretos

Este tipo de problemas decisionales se caracterizan porque el número de alternativas a considerar por parte del centro decisor es finito y normalmente no muy elevado. La estructura general de un problema decisional multicriterio discreto cuenta con los siguientes elementos:

- Un conjunto de m puntos ($E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_m$) que representan las posibles alternativas o elecciones alcanzables para el centro decisor.
- Un conjunto de n puntos ($A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n$) que representan los atributos o criterios relevantes para el correspondiente problema decisional.
- Un conjunto de $m \times n$ puntos ($R_{11}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{mn}$) que representan el resultado alcanzado por cada alternativa para cada uno de los atributos considerados. De tal manera que R_{ij} expresa el resultado alcanzado por la alternativa i -ésima con respecto al criterio j -ésimo.

		ATRIBUTOS					
		A_1	A_2	...	A_j	...	A_n
ALTERNATIVAS	E_1	R_{11}	R_{12}	...	R_{1j}	...	R_{1n}
	E_2	R_{21}	R_{22}	...	R_{2j}	...	R_{2n}
	⋮	⋮					
	E_i	R_{i1}	R_{i2}	...	R_{ij}	...	R_{in}
	⋮	⋮					
	E_m	R_{m1}	R_{m2}	...	R_{mj}	...	R_{mn}

Imagen 1 : Matriz decisional (Fuente: Romero, 1993)

Por lo que el problema decisional discreto se suele representar mediante una matriz como la que se muestra en la imagen 1, denominada matriz decisional (Anderson, 2008). Dicha matriz constituye el punto de partida de cualquier análisis decisional multicriterio de tipo discreto.

2.4. Problemas multicriterio espaciales

La componente geográfica que presenta el problema planteado, nos permite otorgarle a cada uno de los elementos de la matriz decisional un valor calculado mediante análisis SIG, quedando la matriz decisional como sigue en la Imagen 2 (b). Esta es la gran diferencia de un problema con efectos espaciales de uno que no tiene efectos especiales.

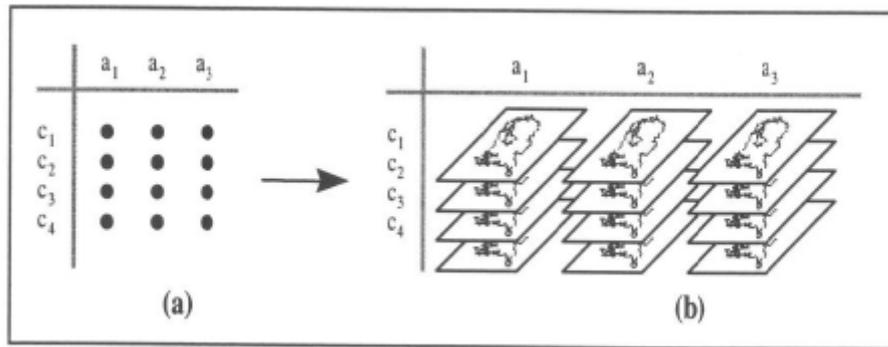


Imagen 2 : Matriz decisional sin efectos espaciales (a) y con efectos espaciales (b)
(Fuente: Van Herwijnen and Jansen, 2001)

El conjunto de los criterios deben representar en la medida de lo posible la globalidad de factores influyentes en el problema. La simplificación de la realidad que se asume para la resolución del problema, tiene que generar un modelo lo suficientemente robusto, a la par de sencillo, que nos permita tomar la solución óptima. Por ello, el conjunto de criterios debe ser completo, para que se cubran todos los aspectos del problema, operacional, divisible y no redundante.

Al no existir una fórmula mágica, para cada uno de los problemas, el procedimiento para seleccionar los criterios de un problema dado, debe ser iterativo, y se definirán los criterios definitivos después de varios análisis de sensibilidad con una metodología empírica, después de eliminar criterios redundantes y no pertinentes.

Dado que nuestro proyecto se basa en el análisis medioambiental, utilizaremos el análisis SIG para uno de los criterios. La vía para la ejecución de este análisis consiste en la realización previa de la agregación espacial (S.A., Spacial Agregation), y mediante los diferentes análisis SIG realizados en cada una de las capas de información geográfica, para cada alternativa, se consigue obtener su columna para la matriz decisional, a partir de la cual, se puede realizar el Análisis Multicriterio convencional.

En el presente trabajo se ha utilizado el modelo de representación vectorial, principalmente porque el software utilizado era fundamentalmente vectorial, y la extensión utilizada para el conjunto de las alternativas, hacía inviable la utilización del modelo raster a un escala con una resolución lo suficientemente buena, ya que el modelo raster tiene la desventaja de almacenar gran cantidad de información y ocupa mucho espacio en el almacenamiento de la misma.

La gran ventaja de los SIG, es que permite mostrar cada uno de los criterios o atributos de una manera visual, como un mapa de criterio. Es cierto que un criterio se medirá con una unidad, posiblemente diferente a la de los otros criterios, por lo que no se podrán hacer comparaciones. Por ello, habrá que normalizar los resultados de cada uno de los análisis realizados para cada criterio, para que puedan ser sumados cada uno de los efectos que producen con su correspondiente peso, como veremos más adelante.

2.5. Métodos de ponderación de criterios

Lo más usual es que haya que tomar una decisión que cumpla varios objetivos, metas o atributos, complementarios o en conflicto. Las preferencias por unas alternativas en detrimento de otras, las marca el centro decisor, el cual ponderará con un mayor peso aquellos criterios de evaluación que les resulten de mayor importancia. Los pesos deben ser normalizados, de modo que la suma de

todos los pesos de los criterios sea igual a la unidad. Existen diferentes técnicas para otorgar a cada criterio el valor que se merece. Entre todas ellas destacaremos tres tipos:

- Técnicas de clasificación o ranking: Consisten en ordenar los criterios según su importancia, y otorgarle un número según el orden ascendente, de manera que el uno es el más importante, el dos el siguiente y así sucesivamente, para posteriormente, calcularles los pesos a cada uno de los criterios según el número de criterios y su posición en el ranking creado anteriormente. Son métodos muy simples de utilizar, pero quedan bastante limitados por la cantidad de criterios empleados en la evaluación. Han sido muy criticados por la falta de un fundamento teórico en la otorgación de las ponderaciones, ya que para dos problemas totalmente distintos con el mismo número de criterios, estos tendrán la misma importancia según la posición que ocupen en las respectivas lista de clasificación de su respectivo problema. Por lo que son utilizados como técnicas aproximativas.
- Técnicas de valoración o rating: El centro decisor utiliza una escala predeterminada, de por ejemplo 100u.i. (unidades de importancia), y reparte a cada criterio, el valor que estima oportuno. Siendo un cero para los atributos que queden ignorados y un 100 para el criterio único de mayor importancia. Esta técnica también ha sido bastante criticada por la falta de fundamento teórico, ya que los pesos asignados pueden ser de difícil justificación.
- Técnica de comparación por pares (Saaty, 1980): Basada en la comparación de cada uno de los criterios con los demás, obteniendo los pesos relativos.

La selección de una técnica u otra para la estimación de los pesos de los criterios, dependerá del tipo de problema que se tenga, y del resultado que el centro decisor quiera obtener. Si por un lado se quiere una facilidad en el uso, y no se busca tanto la exactitud, se deberá recurrir a técnicas como la clasificación o la valoración. Mientras que, por el contrario, se busca exactitud y el fundamento teórico lo más apropiado es acudir a técnicas como la comparación por pares. Ciertas comprobaciones empíricas sugieren que esta última es una de las técnicas más efectivas para problemas de decisión espacial basados en SIG (Taboada, 2005).

Dicho esto, la técnica elegida para el proyecto es la de comparación por pares que se basa en tres pilares o pasos fundamentales para su realización:

- Generación de la matriz de comparaciones: al compararse los diferentes criterios entre sí, en la diagonal principal solo puede aparecer el valor 1. Mientras que en las demás casillas de la matriz se van rellenando según la importancia de un criterio respecto al otro, utilizando una escala con valores de 1 (igual de importante) hasta 9 (mucho más importante que el otro). Lógicamente la matriz es recíproca, de manera que si un criterio ha recibido la importancia de 3 con respecto al otro, este último será 1/3 de importante respecto al primero.
- Cálculo de los pesos: se suman los valores en cada columna de la matriz y se divide cada elemento por el total de su columna, quedando normalizados cada uno de los elementos. Finalmente se calcula el promedio de cada fila de la matriz normalizada. Estos valores medios serán los pesos que se asignarán a cada criterio.
- Estimación de la consistencia: por último se calcula el ratio de consistencia que si tiene un valor inferior al 10% el nivel de consistencia se considera razonable. De lo contrario se considera que los juicios de valor subjetivos han sido inconsistentes por lo que habrá que repetir la valoración de los elementos de la matriz.

2.6. Métodos de selección de alternativas

La siguiente fase del proceso de toma de decisiones en un Análisis de Decisión Multicriterio (ADMC), es la regla de decisión. Una regla de decisión es un procedimiento que sirve para ordenar alternativas y seleccionar la alternativa favorita para el centro decisor. Dado que es la situación en la que se encuentra el problema que se presenta en esta memoria, sólo trataremos las reglas de decisión que se suelen utilizar en la Toma de Decisiones Multiatributo espacial. Los métodos usados para ello, tienen el objetivo de seleccionar la alternativa que mejor solución el problema, y hacer una clasificación ordenada de soluciones posibles (Gómez Delgado, 2005).

Los métodos habitualmente usados para resolver problemas multicriterio espacial son:

- Suma lineal ponderada: consiste en asignar pesos de importancia a los atributos, por cualquiera de los métodos que acabamos de presentar en el apartado anterior, y además se asignan los valores que cada alternativa tiene con respecto a ese criterio, de forma que cada alternativa queda valorada mediante

$$A_i = \sum_j p_j v_{ij}$$

Siendo A_i cada una de las alternativas, v_{ij} es la puntuación de la alternativa i con respecto al atributo j , y p_j es el peso normalizado para el atributo j -ésimo. Este método es muy fácil de implementar, tanto en el modelo raster como el vectorial, y hay que tener presente la linealidad de los criterios y la posibilidad de adicionar unos con otros. Es un método directo y compensatorio, totalmente manipulable, que permite la asignación de pesos a los criterios que afectan a la solución óptima. Es un método intuitivo y muy sencillo de utilizar y por ello ampliamente difundido (Sinha y Labi, 2007).

- Funciones de valor-utilidad: Se utiliza función valor para situaciones sin riesgo y conocidas, mientras que se utiliza función utilidad, para situaciones probabilísticas con cierto riesgo e inciertas. A cada atributo se le asigna una función valor, lo que requiere un alto grado de conocimiento de los atributos por parte del agente decisor. Las consecuencias de cada alternativa son valoradas y sus valores se incluyen en la función del atributo v_j .

$$V(a_i) = \sum_j p_j v_j(x_j(a_i))$$

- Método AHP (Analytic Hierarchy Process- Proceso de Jerarquía Analítica): es un método que descompone una situación compleja y no estructurada en sus componentes, los ordena en una jerarquía, realiza comparaciones binarias (dentro del mismo nivel jerárquico) y atribuye valores numéricos a juicios de valor subjetivos, respecto a la importancia relativa de cada variable (tanto en el nivel jerárquico de los criterios, como en el nivel jerárquico de las alternativas). Es un método bastante intuitivo en su aplicación, difícilmente manipulable y probablemente sea el método más difundido. Este método ha sido el utilizado en el proyecto, por lo que se ha creído conveniente estudiarlo más a fondo en el siguiente apartado.
- Método ELECTRE (ELimination Et Choix TRaduisant la REalité): es un método que inicialmente permite reducir considerablemente el número de soluciones eficientes a un subconjunto llamado núcleo (de alternativas más favorables), y otro conjunto de alternativas menos favorables. El modelo de la relación de superación consiste en admitir para cualquier par de alternativas, que una “supera” a la otra, cuando son satisfechas una condición de concordancia y una de discordancia. La concordancia cuantifica el “grado de dominación” de la alternativa A sobre la B; la discordancia cuantifica el grado de no-dominancia de la alternativa B sobre A. Conforme al nivel de incertidumbre, existen

relaciones de superación determinísticas y difusas (fuzzy). Los métodos de superación han surgido de la Escuela Francesa, y su uso se ha difundido al resto de Europa.

2.7. Método AHP

El proceso de Análisis Jerárquico o The Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1980) es un proceso diseñado para resolver problemas complejos en el ámbito de la toma de decisiones con criterios múltiples. Requiere que el centro decisor proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa entre cada uno de los criterios y que especifique su preferencia para cada criterio con respecto a cada una de las alternativas de decisión. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

Se descompone el problema en tres niveles como se puede ver en la imagen 3. En el primer nivel encontramos el propósito que se pretende alcanzar para lograr el objetivo propuesto, en el segundo nivel encontramos los criterios que entran en juego a la hora de tomar la decisión, y en el último nivel, se especifican las alternativas.

Así pues, una vez establecida la jerarquía, se comparan las alternativas dos a dos en función de uno de los criterios, formando las respectivas “matrices de comparación por pares”. Se crearán tantas matrices como criterios definan el problema, y todas ellas tendrán un rango de $m \times m$ siendo m el número de alternativas consideradas. En cada una de las matrices, se obtendrán las preferencias de las alternativas en función del criterio que en esa matriz se esté considerando.

Por último se hará lo propio con los criterios de forma que se compararán también por pares mediante una matriz de $n \times n$ siendo n el número de criterios que conforman la decisión o la meta. Estos criterios se compararan en función de la importancia que tienen para la resolución del problema.

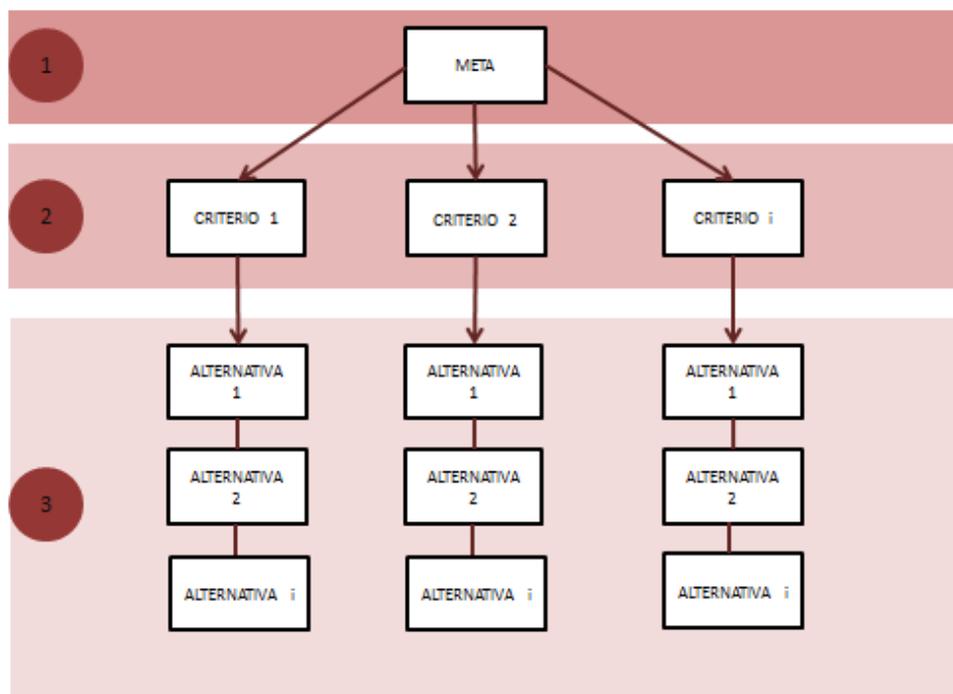


Imagen 3: Estructura jerarquizada por niveles del método AHP (Fuente: elaboración propia)

El AHP se fundamenta en los siguientes apartados:

- La estructuración del modelo jerárquico.
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de pesos.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de sensibilidad.

Se ha elegido este método para resolver el problema del presente proyecto, ya que el método AHP cuenta con las siguientes ventajas frente a otros métodos de decisión multicriterio:

- Presenta un sustento matemático.
- Permite desglosar y analizar un problema por partes.
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés y genera un consenso.
- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones si es necesario.
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar el análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

En el siguiente apartado se muestra un ejemplo práctico de utilización de este método donde se irá explicando paso a paso los cálculos realizados. El ejemplo es de elaboración propia.

2.7.1. Ejemplo de aplicación del método AHP

Enunciado: Javier pretende comprar un apartamento para veranear en una ciudad costera del Mediterráneo. Después de mucho buscar y realizar varias visitas a un gran número de inmobiliarias, opta por limitar las alternativas a tres apartamentos y desarrolla un método AHP para analizar el problema, sus preferencias y decidir cuál comprarse.

	COSTE(miles €)	TAMAÑO (m ²)	DISTANCIA(km)
A	30	50	160
B	35	90	200
C	25	70	130

Tabla 1: Datos del problema (Fuente: elaboración propia)

Para Javier, un criterio fundamental es el coste del apartamento (C1). El tamaño del apartamento (C2), también le parece un criterio importante ya que tiene familia numerosa. Y como último criterio a considerar por nuestro protagonista, la distancia desde su lugar de residencia habitual al apartamento (C3). Javier considera que el criterio coste es 2 veces más importante que el criterio tamaño y 5 veces más importante que el criterio distancia. Además el criterio tamaño es 3 veces más importante que el criterio distancia.

A continuación Javier realiza una matriz de comparación por pares para analizar los criterios y la importancia que él le otorga a cada uno de ellos, utilizando la escala de comparación de los criterios.

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Tabla 2: Escala de preferencias de comparación por pares de Saaty

Se comparan dos a dos cada uno de los criterios, y se va rellenando la matriz en función de la escala de comparación por pares. Al compararse los diferentes criterios entre sí, en la diagonal principal sólo puede aparecer el valor 1. Mientras que los demás elementos de la matriz se van rellenando según la importancia de un criterio respecto al otro, utilizando una escala con valores desde 1 (igual de preferible) hasta 9 (extremadamente preferible al otro). Lógicamente la matriz es recíproca de manera que si un criterio ha recibido la importancia de 2 respecto al otro, este último será 1/2 de importante respecto al primero. Como dice el enunciado, Javier considera que el coste (C1), es entre igualmente y moderadamente preferible (valor = 2) que el tamaño (C2), y fuertemente preferible (valor = 5) que la distancia (C3), mientras que el tamaño (C2) es moderadamente preferible (valor = 3) que la distancia (C3).

	COSTE	TAMAÑO	DISTANCIA
COSTE	1,00	2,00	5,00
TAMAÑO	0,50	1,00	3,00
DISTANCIA	0,20	0,33	1,00

Como ya se ha comentado en la exposición de la comparación por pares, para el cálculo de los pesos, se suman los valores en cada columna de la matriz (a) y se divide cada elemento por el total de su columna (b), quedando normalizados cada uno de los elementos. Finalmente se calcula la media de cada fila de la matriz normalizada (c). Estos valores medios serán los pesos que se asignarán a cada criterio.

(a)	COSTE	TAMAÑO	DISTANCIA
COSTE	1,00	2,00	5,00
TAMAÑO	0,50	1,00	3,00
DISTANCIA	0,20	0,33	1,00
	1,70	3,33	9,00

(b)	COSTE	TAMAÑO	DISTANCIA
COSTE	0,59	0,60	0,56
TAMAÑO	0,29	0,30	0,33
DISTANCIA	0,12	0,10	0,11

(c)	COSTE	TAMAÑO	DISTANCIA	IMPORTANCIA
COSTE	0,59	0,60	0,56	0,5813
TAMAÑO	0,29	0,30	0,33	0,3092
DISTANCIA	0,12	0,10	0,11	0,1096
	1	1	1	1

A continuación se realiza una estimación de la consistencia, para ver si ha habido alguna incongruencia a la hora de valorar la importancia entre los pares de criterios. Si el ratio de consistencia tiene un valor inferior a 0,1 el nivel de consistencia se considera razonable. De lo contrario se considera que los juicios de valor subjetivos han sido inconsistentes por lo que habrá que repetir la valoración de los elementos de la matriz. Este ratio, detecta incongruencias del tipo: siendo dos criterios sumamente más importantes que un tercero, ambos con valor 7 comparándolos respecto al otro, se considera que al realizar la comparación entre los dos primeros, en vez de considerar que son igualmente importantes, con un valor de un 1, o incluso de un 2, se le considera a uno por ejemplo, cinco veces más importante que al otro. Es en ese momento donde existe una incongruencia, y el ratio de consistencia supera el valor de la décima (0.1).

Para el cálculo de la consistencia, se multiplica cada columna, por su peso. Para finalmente sumar los valores respectivos de las filas y obtener el vector. Posteriormente se divide los elementos del vector obtenido por el correspondiente peso de cada criterio. Se realiza la media de los valores calculados anteriormente. Esta media se denota λ_{max} . Se calcula el Índice de Consistencia (Consistency Index - CI), tal y como aparece abajo, siendo n el número de criterios a comparar:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Por último se computa el ratio de consistencia (CR) que está definido como

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

donde RI representa el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente. El valor de RI depende del número de ítems que están siendo comparados, y sus valores son:

columna, realizamos un cambio de escala, y transformamos los valores a los utilizados por la escala de comparación por pares de Saaty. Tal y como se puede constatar, los números de la última columna son números enteros, y quedan redondeados, para que se pueda utilizar la escala de Saaty.

COSTE			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1]	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
	d_i	$S=d_i/35$	$((1-S)*8)+1$
A	30	0,86	2
B	35	1	1
C	25	0,71	3

Así pues, si quisiéramos comparar la alternativa 1 con la 3, y nos guiáramos en los valores calculados de la tabla, valor de preferencia 2 entre preferencia 3, resulta 0.67, y es el valor que se colocaría en la matriz de comparación por pares, quedando su recíproco en 1,5. Siempre se pueden colocar los valores en dicha matriz enteros, realizando su correspondiente redondeo, aunque en este ejemplo no se ha hecho para que se entienda mejor el procedimiento. Del mismo modo, si comparásemos la alternativa 2 con la alternativa 3, el valor que colocaríamos en la matriz de comparación por pares sería el resultante de dividir el 1 entre el 3 ($1/3=0.33$) y se colocaría en la parte superior de la diagonal de la matriz, mientras que su valor recíproco, el 3 se colocaría en la parte inferior de la diagonal de la matriz.

Esta sería la matriz resultante de comparar las alternativas con respecto al coste, y las preferencias quedarían en una columna adicional colocada a la derecha de la matriz. Con esta forma de proceder, a la hora de rellenar la matriz, se rozan valores máximos de consistencia, ya que no hay incongruencias en el momento de dividir los valores calculados. Las únicas incongruencias que pueden aparecer, son las debidas a los redondeos realizados, para llegar a números enteros. En este ejemplo, el ratio de consistencia se queda en cero.

	A	B	C
A	1,00	2,00	0,67
B	0,50	1,00	0,33
C	1,50	3,00	1,00
Suma	3,00	6,00	2,00

	A	B	C	Preferencia
A	0,333	0,333	0,333	0,333
B	0,167	0,167	0,167	0,167
C	0,500	0,500	0,500	0,500
Suma	1	1	1	1

Si comparamos los valores resultantes de las preferencias, la alternativa más cara, que era la B, se queda con una preferencia de 0.167, mientras que la alternativa más barata, la C, se quedaría con una preferencia de 0.50, quedando la A con un valor intermedio de 0.333.

Del mismo modo para el criterio tamaño, los valores en m^2 quedarán transformados a las siguientes preferencias:

TAMAÑO				
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/90$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP	AJUSTE A LA INVERSA DE LA ESCALA
	d_i	$S=d_i/90$	$((1-S)*8)+1$	
A	50	0,56	5	5
B	90	1	1	9
C	70	0,78	3	7

En este caso, cuanto mayor sea el número de metros cuadrados del piso mejor, por lo que el uno ya no representa el peor valor si no el mejor. Para que esto no ocurra, se crea una nueva columna donde se expresa el ajuste al invertir los valores en la escala de preferencias.

Y su matriz de comparación por pares queda de la siguiente manera (como en el caso anterior la consistencia resultante es del 0% por lo que se considera un resultado aceptable):

	A	B	C
A	1,00	0,56	0,71
B	1,80	1,00	1,29
C	1,40	0,78	1,00
Suma	4,20	2,33	3,00

	A	B	C	Preferencia
A	0,238	0,238	0,238	0,238
B	0,429	0,429	0,429	0,429
C	0,333	0,333	0,333	0,333
Suma	1	1	1	1

Para el tercer y último criterio considerado, la distancia, se muestra a continuación los datos de entrada y la matriz de comparación por pares, así como el vector de los pesos para dicho criterio. La consistencia tiene un valor de cero nuevamente.

DISTANCIA			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/200$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
	d_i	$S=d_i/200$	$((1-S)*8)+1$
A	160	0,80	3
B	200	1	1
C	130	0,65	4

	A	B	C
A	1,00	3,00	0,75
B	0,33	1,00	0,25
C	1,33	4,00	1,00
Suma	2,67	8,00	2,00

	A	B	C	Preferencia
A	0,375	0,375	0,375	0,375
B	0,125	0,125	0,125	0,125
C	0,500	0,500	0,500	0,500
Suma	1	1	1	1

En la matriz decisional se resumen todos los valores calculados en las tres matrices anteriores de comparación por pares.

MATRIZ DECISIONAL			
ALTERNATIVA	A	B	C
COSTE	0,333	0,167	0,500
TAMAÑO	0,238	0,429	0,333
DISTANCIA	0,375	0,125	0,500

Tabla 4: Matriz decisional del ejemplo planteado

PESOS CRITERIOS	
COSTE	0,58
TAMAÑO	0,31
DISTANCIA	0,11

Tabla 5: Pesos para cada criterio (calculados anteriormente)

Ahora no quedaría más que multiplicar los valores obtenidos de una alternativa por el peso del criterio correspondiente, y el resultado más alto, será la mejor decisión a tomar para el problema planteado.

$$\text{Alternativa A: } 0,58 \cdot 0,333 + 0,31 \cdot 0,238 + 0,11 \cdot 0,375 = 0,308$$

$$\text{Alternativa B: } 0,58 \cdot 0,167 + 0,31 \cdot 0,429 + 0,11 \cdot 0,125 = 0,243,$$

$$\text{Alternativa C: } 0,58 \cdot 0,500 + 0,31 \cdot 0,333 + 0,11 \cdot 0,500 = 0,448$$

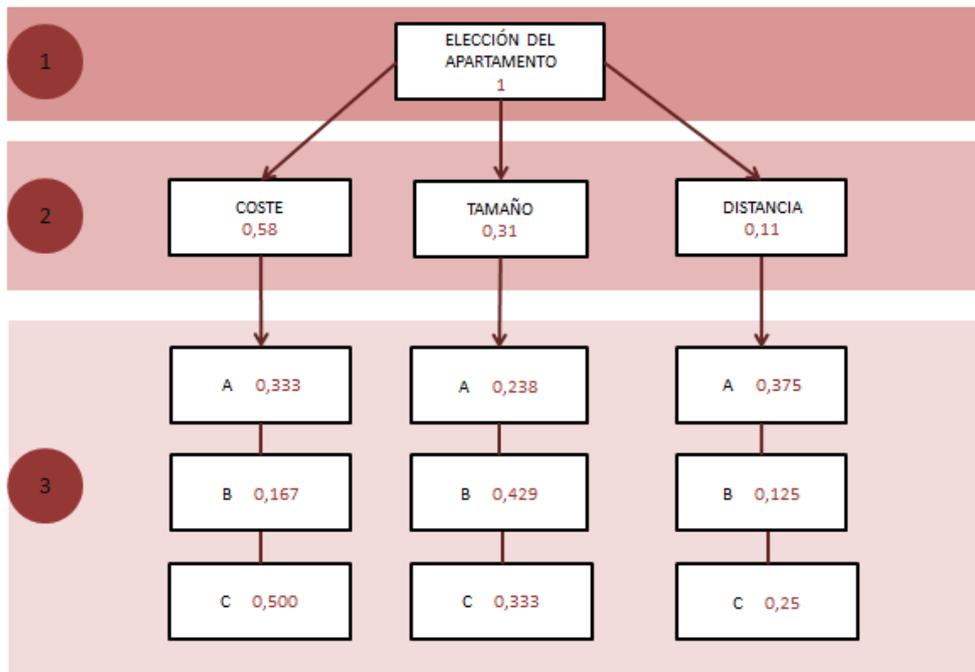


Imagen 4: Estructura jerarquizada con los pesos de cada criterio y alternativa

Los resultados finales para cada alternativa son los siguientes:

RESULTADOS AHP	
A	0,308
B	0,243
C	0,448

Tabla 6: Resultados finales del ejemplo para cada alternativa

A priori, la decisión que tomaría Javier sería la alternativa C. En este ejemplo, ha marcado notablemente el resultado final que Javier considerara como factor más importante, con un 0.58, el coste del apartamento. Después de usar el método y obtener una primera solución, es momento de volver a plantearse la importancia de los criterios, y ahí es donde Javier llegará a realizar un auténtico análisis jerarquizado del problema, analizando la sensibilidad del proceso y de las diferentes soluciones, hasta tomar la decisión que considere más oportuna.

2.8. Sistemas de Información Geográfica como ayuda a la toma de decisiones multicriterio

El desarrollo paralelo de las disciplinas que incluyen la captura, el análisis y la presentación de datos en áreas afines como catastro, cartografía, topografía, ingeniería civil, geografía, planeación urbana y rural, servicios públicos, entre otros, ha implicado duplicidad de esfuerzos hasta prácticamente hoy en día que se ha logrado reunir el trabajo en el área de sistemas de información geográfica (SIG).

Actualmente un SIG se define como un sistema formado por hardware, software y procedimientos, diseñados para soportar la captura, gestión, manipulación, análisis y representación de datos u objetos referenciados espacialmente, que sirve para resolver problemas complejos de planeamiento y gestión (Antenucci, 1991).

Un SIG está formado por los siguientes cinco componentes:

- Hardware: es donde opera el SIG, y dependerá de los requerimientos mínimos del sistema para que el software funcione correctamente.
- Software: los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y publicar la información geográfica.
- Datos: probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son sus datos. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos y puede incluso utilizar los sistemas gestores de bases de datos (SGBD) para manejar la información geográfica.
- Personas: la tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; Y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.
- Procedimientos y métodos: son los que se pretenden explicar en capítulos posteriores del presente trabajo, para profundizar en la metodología y en la forma de proceder para cumplir con los objetivos marcados en un principio.

Las herramientas SIG tienen como fin último dar amparo al proceso de la toma de decisiones. Cualquier problema de toma de decisiones está estructurado en tres fases fundamentales:

- Comprensión: es fundamental conocer el problema y analizarlo desde una perspectiva global. En esta fase se obtienen los resultados “crudos” que se procesarán con el objetivo de encontrar posibles oportunidades para la resolución del problema. Los SIG actuales dan un soporte adecuado a esta primera fase ya que ofrecen capacidades insuperables para analizar, integrar, manejar y presentar información alfanumérica asociada a otra espacial.
- Diseño: La fase de diseño consiste en descubrir, desarrollar y analizar el conjunto de alternativas o posibles soluciones al problema. Sí que es cierto que hoy en día, los SIG no han alcanzado el grado suficiente de modelización que necesita el tomador de la decisión. Es por esto que para la fase de diseño se utilizan técnicas de análisis multicriterio para la toma de decisiones. Por tanto existe la necesidad de integrar técnicas analíticas de decisión con las funciones de un SIG, desarrollando una interfaz entre un SIG y un sistema de análisis de la decisión.
- Selección: en esta fase entra en juego la evaluación de las alternativas y la elección de la alternativa óptima. Los SIG, no están diseñados para alterar la importancia de los criterios de evaluación, por lo que podríamos decir que son entornos de modelado estático y reduce su capacidad como herramientas de soporte de decisiones.

Las técnicas de Análisis de Decisión Multicriterio (ADMC) compensan las limitaciones de los SIG en este sentido, ya que aportan los medios para alcanzar las soluciones de compromiso e incluir las preferencias de los responsables de la decisión. A pesar de que inicialmente, las técnicas de Análisis de Decisión Multicriterio (ADMC) convencionales fueron concebidas como no espaciales, posteriormente se asumió como la posibilidad de realización de análisis con una dimensión geográfica. Así pues, un ADCMC espacial, implica que existen una serie de alternativas definidas

espacial y geográficamente entre las que se encuentra la solución al problema de decisión. Por lo que las decisiones dependerán de su disposición en el espacio. En el contexto geográfico, los atributos se identifican con capas temáticas y las alternativas con puntos, líneas, polígonos (modelo vectorial) o celdas (modelo raster), a los que se asocian valores (Taboada, 2005).

Por ello a modo de resumen concluiríamos diciendo, que la combinación de los SIG y los métodos de ADMC, constituyen la herramienta necesaria para que el agente decisor alcance y complete las tres fases en el proceso de la toma de decisiones (comprensión, diseño y selección).

3. Situación actual de las carreteras en Guipúzcoa.

En este apartado se explicarán las últimas reformas realizadas en los últimos años en la infraestructura viaria de la provincia de Guipúzcoa y se describirá en detalle las vías más importantes de este conjunto.

El Territorio Histórico de Guipúzcoa tiene una serie de facultades y competencias reconocidas, entre las que se encuentra el régimen jurídico privativo de sus carreteras y caminos. Se le atribuye todos los aspectos relacionados con la planificación, proyecto, construcción, financiación, modificación, conservación, explotación, uso y defensa de sus vías y además, todo lo que rodea a la integración de dichas vías con su entorno más inmediato.

Todos estos temas están recogidos en la Norma Foral 17/1994, de 25 de noviembre, de Carreteras y Caminos de Guipúzcoa. Esta norma ha sufrido modificaciones mediante la Norma Foral 7/2000 del 28 de diciembre, la disposición adicional primera de la Norma Foral 7/2002 del 3 de octubre y la Norma Foral 11/2005 del 2 de diciembre.

Dicha norma define carreteras como todas las vías o infraestructuras de comunicación terrestre de titularidad pública proyectadas, construidas o acondicionadas para la circulación de vehículos automóviles y destinadas al uso público.

La norma realiza distintas clasificaciones en función de diferentes criterios para las carreteras. Por un lado, dependiendo de su tipología y sus características técnicas se dividen en las siguientes categorías:

- Autopistas: pertenecen a este grupo las vías que, por estar especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales, cumplen las siguientes características:
 - Están destinadas a la exclusiva circulación de vehículos automóviles.
 - Disponen para cada sentido de la circulación de calzadas distintas separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios.
 - No cruzan ni son cruzadas a nivel por carretera, camino, vía férrea o paso alguno.
 - Carecen de accesos hacia o desde las propiedades colindantes.

- Autovías: pertenecen a este conjunto todas las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas, cumplen:
 - Disponen para cada sentido de la circulación de calzadas distintas separadas entre sí salvo en puntos singulares o con carácter temporal.
 - No cruzan ni son cruzadas a nivel por carretera, camino, vía férrea o paso alguno.
 - Carecen de accesos hacia o desde las propiedades colindantes, salvo específicas entradas o salidas limitadas en cuanto a su situación y distancias.

- Carreteras convencionales: son las carreteras que no reúnen las características señaladas en los apartados anteriores. Por vía reglamentaria y en razón de sus características de diseño y construcción podrán establecerse diversas categorías de carreteras convencionales.

En la siguiente tabla se muestra como se reparten las carreteras de la provincia de Guipúzcoa atendiendo a esta primera clasificación. Se expresan según el número de kilómetros totales de cada tipo y el porcentaje que ocupa del total.

Red de Carreteras	Longitud (km)	Longitud (%)
Autopista (AS)	149,516	11,28
Autovía (AV)	65,143	4,91
Carretera Convencional (CC)	1110,953	83,81
Total	1325,612	100,00

*Tabla 7: Longitud y porcentaje de las carreteras de Guipúzcoa según el tipo de vía
(Fuente: elaboración propia con datos del Catálogo de Carreteras de 2013)*

Las autopistas las forman las carreteras AP-1, AP-8, A-15 y GI-20. Las autovías las forman las carreteras N-I, GI-11, un tramo de la GI-41 y otro de la GI-632. El resto de carreteras que aparecen en el Catálogo de Carreteras de la Diputación Foral de Guipúzcoa (que se adjunta en el CD que se entrega con el proyecto) pertenecen al grupo de carreteras convencionales, que como se puede ver en la tabla anterior representa casi el 84% total de las carreteras existentes en la provincia.

Por otro lado, se hace una clasificación atendiendo a la funcionalidad que tenga cada vía, donde se dividen en las siguientes redes:

- Red de Interés Preferente (Red Roja):

Esta red contiene los itinerarios de carácter internacional, los de acceso a los pasos fronterizos, a los puertos y a los aeropuertos de interés general, las vías que tienen tráficos interautonómicos importantes de largas distancias, así como las que comprenden una cantidad considerable de vehículos pesados o una carga apreciable de mercancías peligrosas tanto exteriores como interiores.

- Red Básica (Red Naranja):

La Red Básica contiene las vías que, sin pertenecer a la Red de Interés Preferente, estructuran el Territorio Histórico formando itinerarios completos y las que teniendo un tráfico importante conectan con otros Territorios Históricos o con otras Comunidades Autónomas.

- Red Comarcal (Red Verde):

La Red Comarcal comprende las carreteras que, sin un tráfico importante, comunican comarcas vecinas.

- Red Local (Redes Amarilla y Gris):

La Red Local comprende las restantes carreteras de Guipúzcoa y se divide en:

- Red Amarilla, que comprende las carreteras que, sin pertenecer a la Red Comarcal, sirven para la comunicación entre sí de núcleos de población de distintos Municipios o de acceso al casco urbano de un Municipio.
- Red Gris, integrada por las carreteras que no pertenecen a ninguna de las Redes anteriores. A su vez, en la red gris se distingue entre Red Gris principal y secundaria dependiendo de la importancia de las vías.

Por su funcionalidad, las carreteras municipales se clasifican todas ellas dentro de la Red Amarilla o Gris.

Como se hacía para la clasificación anterior, se muestra a continuación la longitud total de las carreteras que pertenecen a cada tipo de red junto con su porcentaje con respecto del total.

Red de Carreteras	Longitud (km)	Longitud (%)
Red de Interés Preferente	260,648	19,66
Red Básica	155,855	11,76
Red Comarcal	289,342	21,83
Red Local	215,525	16,26
Red Gris Principal	367,972	27,76
Red Gris Secundaria	36,27	2,74
Total	1325,612	100,00

*Tabla 8: Longitud y porcentaje de cada tipo de red de carreteras
(Fuente: elaboración propia con datos del Catálogo de Carreteras de 2013)*

Además, la Diputación Foral de Guipúzcoa publica anualmente los Aforos de Tráfico donde entre otros muchos datos aparecen el porcentaje de vehículos por kilómetro en cada vía y su Intensidad Media Diaria (IMD) medida en vehículos por día.

Red de Carreteras	% vehículos por km	IMD(veh/día)
Red de Interés Preferente	57,57	20784
Red Básica	28,54	17368
Red Comarcal	9,59	3113
Red Local	2,26	997
Red Gris Principal	1,96	504
Red Gris Secundaria	0,09	236
Total	100	43002

*Tabla 9: Porcentaje de vehículos e Intensidad Media Diaria según el tipo de red
(Fuente: Aforos de Tráfico 2012)*

Se puede observar en la tabla que las redes de Interés Preferente (Roja) y Básica (Naranja) son por las que más tráfico hay a lo largo del día aunque no sean las que cuentan con más kilómetros. Esto se tendrá en cuenta, entre otras cosas, a la hora de elegir las alternativas de estudio de este proyecto.

A continuación se muestran los planes de construcción que se han desarrollado en la provincia de Guipúzcoa durante los últimos años. Se ha llevado a cabo una nueva red de carreteras de alta capacidad denominada la Rotonda de Guipúzcoa, que permita a todo el territorio dotarse de las infraestructuras viarias necesarias para mejorar la comunicación entre sus habitantes y empresas.



Imagen 5: Nueva red de carreteras de Guipúzcoa (Fuente: Diputación Foral de Guipúzcoa)

En la imagen se muestra la Rotonda de Guipúzcoa junto a las carreteras que la forman. Estas carreteras de alta capacidad pertenecen en su totalidad a las Red de Interés Preferente y Básica.

La rotonda tiene el objetivo de permitir la mejora de las comunicaciones viarias del territorio, mediante la interconexión de los viales Autopista Eibar-Vitoria (AP-1), Autovía del Urumea (A-15), el 2º cinturón de Donostia (AP-1/AP-8), el eje Beasain-Bergara (GI-632) y la ampliación de la AP-8.

Una vez visto esto, se va a hablar de forma individual de cada una de las carreteras con mayor interés para la red viaria de Guipúzcoa. Para ello se seleccionarán las pertenecientes a las redes roja y naranja explicadas anteriormente y las que están involucradas en la Rotonda de Guipúzcoa pero no están dentro de estas dos redes.

➤ **A-15: Autopista Navarra-Guipúzcoa.**

La autopista A-15 en su paso por la provincia de Guipúzcoa tiene una longitud de 27,19 km y va desde el límite fronterizo con la Comunidad Foral de Navarra en Berástegui hasta unirse con el 2º Cinturón de Donostia (AP-8/AP-1) en el enlace de Astigarraga. La vía que forma parte de la Red de Interés Preferente (Roja) se divide en dos tramos diferenciados.

El primero, va desde el límite con Navarra en el PK 139,760 de dicha carretera hasta el PK 445,25 donde se une con la N-1 en Andoain. Este primer tramo se compone de 16,8 km de distancia y forma parte de la denominada Autopista de Leizarán (Iruñun-Andoain).

A continuación, transcurren juntas ambas vías hasta el enlace norte de Andoain en el PK 158,930 de la A-15.

El segundo tramo, va desde este punto kilométrico en el enlace Bazcardo (Andoain) hasta el PK 169,320 que acaba en el enlace de Astigarraga uniéndose al 2º Cinturón y tiene una longitud de 10,39 km. Este tramo se denomina la Autopista del Urumea (Andoain- Donostia).

En el año 2012 su Intensidad Media Diaria (IMD) fue de 16906 vehículos, siendo la cantidad máxima para vehículos ligeros de 28903 en el PK 167,5(estación 69) y para vehículos pesados de 4319 en el PK 167,5(estación 69).

➤ AP-8: Autopista del Cantábrico.

Esta autopista de la Red de Interés Preferente atraviesa toda la zona norte de Guipúzcoa de este a oeste. En su paso por la provincia, comienza su recorrido (PK 0,000) en el límite con Francia (Behobia) y acaba en Eibar en el límite con la provincia de Vizcaya en el PK 74,850. La distancia total de esta vía es de 74,85 km.

En el año 2012 registró un IMD de 29234, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 37735 en el punto kilométrico 30 (estación 276) y para vehículos pesados de 9727 en el punto kilométrico 0 (estación 257).



Imagen 6: AP-1 y AP-8 en su paso por Guipúzcoa (Fuente: Diputación Foral de Guipúzcoa)

➤ AP-1: Autopista Vitoria/Gasteiz-Irún por Eibar.

Esta autopista está dentro de la Red de Interés Preferente y comienza en el límite con la provincia de Álava (Leinitz-Gatzaga) en el PK 114,246 llegando a solapar con la AP-8 en el enlace de Maltzaga en el PK 146,150. Este tramo tiene una distancia de 31,904 km. A partir de este punto quedan unidas ambas autopistas (AP-1 y AP-8) hasta su límite con Francia (Behobia).

En el año 2012 registró un IMD de 13196, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 15109 y para pesados de 1679 en el punto kilométrico 142 (estación 285).

Esta autopista tiene una variante denominada AP-1B que pertenece a la misma red pero es considerada carretera convencional y que tiene un recorrido de 1,060km. Empieza en el enlace sur de Bergara de la AP-1 y finaliza en el PK 23,90 de la GI-632.

Se denomina AP-1/AP-8 a la arteria de más de 100 km de longitud que ha permitido mejorar sensiblemente la vertebración de Guipúzcoa. Es el resultado de la unión de tres grandes infraestructuras que antes se tenían en cuenta de forma separada:

- Autopista AP-8 entre Irún y Eibar (salvo variante de Donostia).
- 2º Cinturón de Donostia (Errentería-Aritzeta).
- Autopista AP-1 (Eibar-Vitoria).

Esta integración va a permitir a Guipúzcoa disponer de un eje principal de comunicaciones para la conexión norte-sur de vital importancia, ya que es una zona que debe soportar una alta carga suplementaria debido a ser una zona fronteriza internacional.

Además, la apertura del 2º Cinturón y el aumento de los carriles y mejoras introducidos en los últimos años en dicha AP-1/AP-8 entre Zarauz e Irún han descargado el tráfico de otras vías más transitadas.



Imagen 7: Segundo Cinturón de Donostia (Fuente: Diputación Foral de Guipúzcoa)

- NI: Autovía del Norte en su paso por Guipúzcoa.

La autovía del Norte (A1) iba desde Madrid a Irún por lo que era un eje muy importante de comunicaciones norte-sur. La N-I es el tramo de esta autovía que pertenece a la provincia de Guipúzcoa. A partir del año 2010, la Diputación Foral de Guipúzcoa reordenó su Red de Carreteras y cortó la NI a su llegada a Lasarte-Oria uniéndose al 2º Cinturón de Donostia.

Actualmente la autovía N-I pertenece a la Red Roja de carreteras y comienza en el límite con Navarra (Etxegarate) que coincide con el PK 405,450 de la A1 y acaba en el PK 454,47 en el enlace con la AP-1/AP-8 en Lasarte-Oria. Tiene una longitud de 49,020 km.

En el año 2012 registró un IMD de 34681, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 36704 en el punto kilométrico 438,1 (estación 12) y para vehículos pesados de 8610 en la misma estación.

➤ GI-11

Esta carretera es una autovía que corresponde a la Red Básica (Naranja) y tiene una longitud de 2,523 km. Antiguamente era conocida como N-I-A. Sirve de conexión entre la N-I y la variante de Donostia-San Sebastian por Aritzeta. Empieza en el PK 453,44 de la N-I y se junta en la GI-20 en su PK 13,00.

En el año 2012 registró un IMD de 49867 vehículos diarios, de los cuales 4488 fueron vehículos pesados de mercancías.

➤ GI-21

Esta carretera convencional pertenece a la Red Verde. Tiene carácter de travesía urbana al haber descendido sustancialmente el tráfico que soportaba antiguamente cuando formaba parte de la N-I. Es un acceso a Donostia desde Lasarte-Oria por la zona de Errekalde y el barrio de Añorga.

➤ GI-20

Esta autovía pertenece a la Red Básica y se denominó de esta manera en 2010 tras la creación del 2º Cinturón de Donostia ya que antes se denominaba la variante donostiarra. Esto supuso una importante reducción de tráfico, principalmente tráfico de paso y vehículos pesados, para ser utilizada preferentemente por el tráfico local del área de Donostia. Comienza en el enlace con la AP-8/AP-1 en Errentería y acaba con la conexión en Aritzeta con la misma vía. Tienen una longitud de 15,572 km.

En el año 2012 registró un IMD de 50762, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 61212 en el punto kilométrico 4,7 (estación 277) y para vehículos pesados de 7133 en el punto kilométrico 1,2 (estación 278).

➤ GI-636

Esta carretera convencional que pertenece a la Red Básica (Naranja) es la antigua N-I entre Errentería e Irún con un carácter más urbano. Comienza en el enlace con la GI-20 en Pasaia y acaba en el límite con Francia (Behobia). Tiene una longitud total de 17,235 km.

Esta vía tiene tres ramales adicionales que son:

- GI-636-H Ramal de Hendaia: va desde el enlace de Iparralde de la GI-636 hasta el límite con Francia y tiene 0,495 km de longitud.
- GI-636-K Ramal de Ventas de Irún: va desde el inicio de la AP-8/AP-1 hasta el enlace con la GI-636 en el PK 9,95 y tiene una longitud de 0,96 km.
- GI-636-U Ramal de Urdanibia (Irún): va desde el PK 9,5 de la GI-636 hasta el PK 10,38 de la misma vía y su longitud es de 0,92 km.

La GI-636 registró en el año 2012 un IMD de 34889, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 31332 en el punto kilométrico 4,9 (estación 36) y para vehículos pesados de 3873 en la misma estación. En el caso de los ramales solo se tienen los datos para el GI-636-H con un IMD de 22488 vehículos al día.

Cabe destacar que a partir de 2010 se colocaron señales en algunos tramos de esta vía (especialmente entre las rotondas de Behobia y Osinbiril) que prohíben la circulación de camiones excepto para aquellos que tengan como destino este tramo.

De forma general los transportes de mercancías de MMA inferior a 7,5 toneladas no tienen restricciones en la GI-636, mientras que los que la superen pueden circular sólo si su destino es Irún-Hondarribia (áreas industriales en el entorno de Letxunborro y barrio de Gibeleta respectivamente). Si pretenden pasar por Irún para dirigirse a otro destino deben emplear, bien la autopista o bien cualquier otra vía que permita su circulación. Es por esta razón por la que el IMD para vehículos pesados tiene un resultado tan bajo en comparación con otras vías importantes que también limitan con la frontera francesa.

➤ N121-A

Esta carretera convencional une en su recorrido las localidades de Pamplona e Irún. Su trayectoria por la provincia de Guipúzcoa se extiende a 6,56 km que corresponden a la Red de Interés Preferente. Comienza en el límite con Navarra en Endarlatsa en el PK 68,460 y acaba uniéndose en el PK 17,00 de la vía GI-636 en la rotonda de Behobia.

En el año 2012 registró un IMD de 10984 vehículos diarios, de los cuales 3086 fueron vehículos pesados de mercancías.

➤ N638

Esta carretera convencional pertenece a la Red de Interés Preferente de la provincia ya que es el acceso al aeropuerto de Hondarribia. Comienza tras el enlace de Hondarribia de la GI-636 y hasta el aeropuerto de Hondarribia tiene una longitud de 2,115 km.

En el año 2012 dicha carretera registró un IMD de 19330 vehículos por día.

➤ GI-40

Esta carretera convencional que pertenece a la red naranja de Guipúzcoa tiene el objetivo de permitir agilizar los tránsitos entre el centro y la zona este de Donostia. También se denomina la ronda Hospitales-Martutene-Intxaurreondo. Comienza en la Rotonda Garbera de la GI-20 y finaliza en la conexión a la misma vía del PK 9,42 contando con 3,82 km de extensión.

En 2012 se registró una Intensidad Media Diaria de 24613 vehículos al día.

➤ GI-41

Esta vía (Red Básica) supone un acceso al sur de Donostia desde el corredor del Urumea a través de las variantes de Martutene y Loiola. Se divide en dos tramos:

- El primero es autovía y empieza en el enlace de la AP-8 en Astigarraga y acaba en la Rotonda Martutene de la GI-40. Cuenta con una longitud de 1,400 km.
- El segundo tramo es carretera convencional y enlaza la Rotonda Martutene hasta Donostia (Arama) en sus 1,59 km de longitud.

En el año 2012 dicha carretera registró un IMD de 22002 vehículos por día.

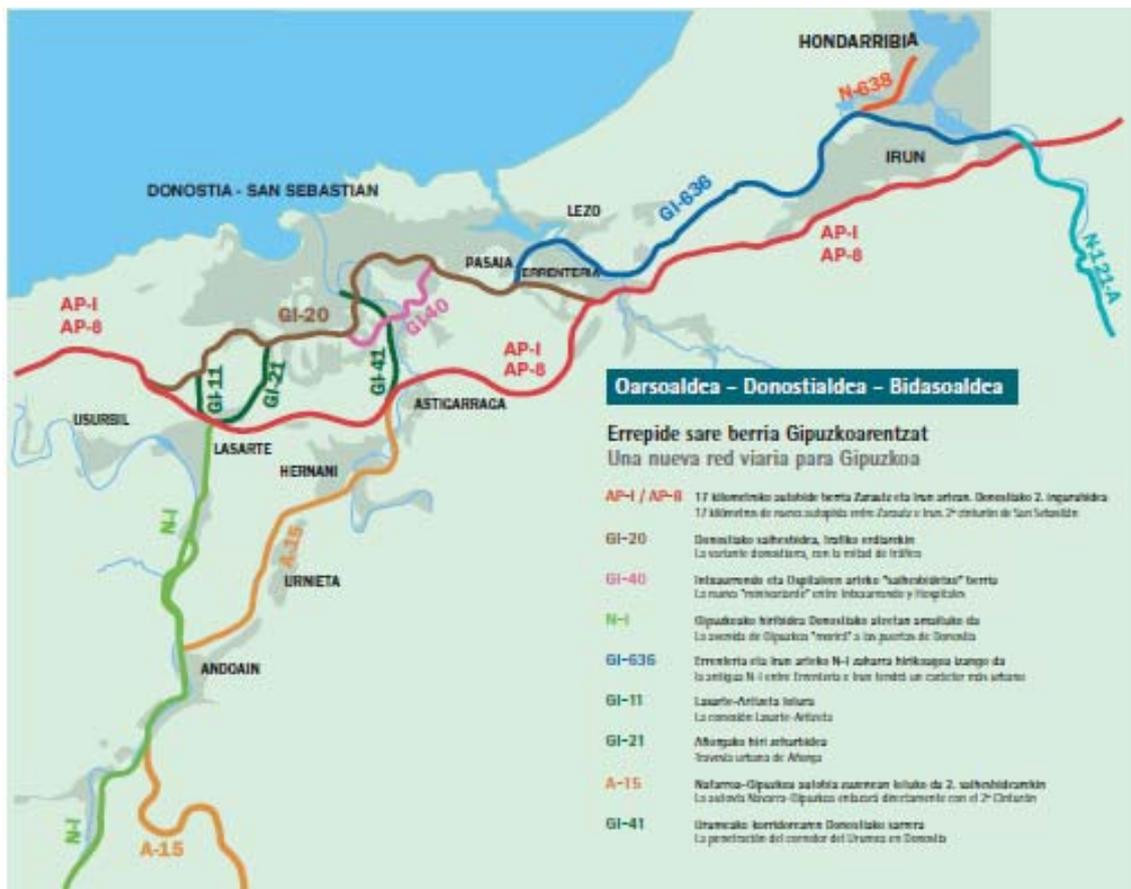


Imagen 8: Recorrido de las carreteras explicadas que afectan a la capital Donostia (Fuente: Diputación Foral de Guipúzcoa)

➤ N-634

Esta carretera convencional pertenece a la Red de Interés Preferente y une Donostia con Santander y A Coruña. En su recorrido por el tramo cuyos dominios pertenece a la Diputación Foral de Guipúzcoa, se cruza en repetidas ocasiones con la AP-8/AP-1. Comienza en el enlace de la GI-2132 en Errekaldea y acaba en su PK 66,524 en el límite con la provincia de Vizcaya. Tiene una longitud de 66,409 km en su recorrido por esta provincia.

En el año 2012 registró un IMD de 7431, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 14699 en el punto kilométrico 60,9 (estación 11) y para vehículos pesados de 1289 en la misma estación.

Esta vía tiene tres ramales adicionales que son:

- N-634-O: une la rotonda del PK 12,04 de la N-634 con la AP-8/AP-1 en Orio con una longitud total de 0,74 km.
- N-634-Z: une la rotonda del PK 17,35 de la N-634 con la Rotonda Asti de la AP-8/AP-1 en Zarauz con una longitud total de 0,08 km.
- N-634-D: une la N-634 en su PK 38,50 con la AP-8/AP-1 en el barrio de Itziar (Deba) con una longitud total de 0,72 km.

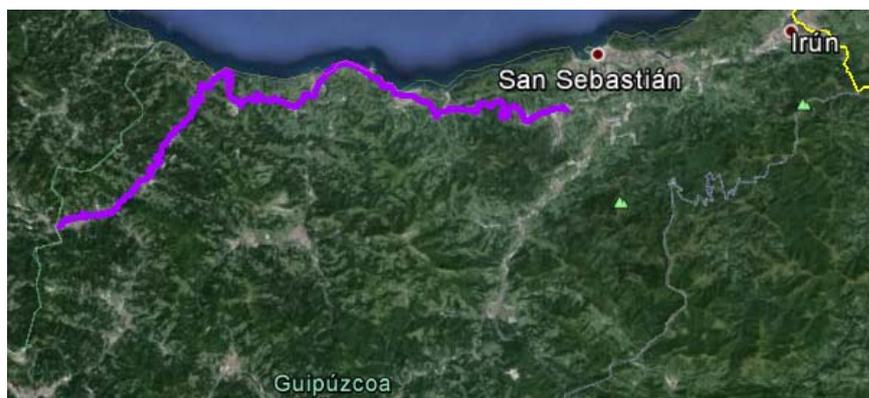


Imagen 9: Carretera N-634 (Fuente: Elaboración propia con Google Earth)

➤ GI-627

La carretera convencional GI-627 une Vitoria a Eibar. Su longitud dentro de los límites de la provincia de Guipúzcoa es de 38,240 km. Comienza en el límite con Álava (Arlaban) en su PK 18,070 y acaba en su PK 56,75 al unirse con el PK 60,75 la vía N-634 en Maltzaga.

En el año 2012 registró un IMD de 7480, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 14076 en el punto kilométrico 39,1 (estación 89) y para vehículos pesados de 2281 en la misma estación.

➤ GI-631

Esta carretera convencional de la red naranja une las poblaciones de Zumaia y Zumarraga. Tiene una longitud de 35,320 km. Comienza en el PK 31,04 de la N-634 en Arroa y acaba en el enlace con la GI-632.

En el año 2012 dicha carretera registró un IMD de 8146 vehículos por día.

➤ GI-632

Esta carretera convencional está dentro de la Red Básica (naranja) y une Beasain a Durango por Kampazar. Se pueden distinguir los siguientes tramos en su recorrido, de forma que la longitud total de la vía alcanza los 29,880 km:

- Un primer tramo de autovía de 12,2 km que empieza en el PK 417,90 de la N-I y acaba en el enlace Urretxu-Legazpi.
- Un segundo tramo de carretera convencional de 12,35 km que empieza al final del tramo anterior hasta la Rotonda Elegorri en el PK 42,24 de la GI-627.
- A continuación el recorrido de esta vía se solapa con la GI-627 hasta la Rotonda Epele en el PK 37,85 de la GI-627.
- Un tercer tramo de carretera convencional de 5,33 km que empieza en la Rotonda Epele y acaba en el límite con la provincia de Vizcaya (Kanpazar).

En el año 2012 registró un IMD de 11937, teniendo su máximo para vehículos ligeros de 14498 en el punto kilométrico 2,1 (estación 10169) y para vehículos pesados de 2969 en la misma estación.

Tras la localización y breve explicación de las vías más importantes de la provincia de Guipúzcoa se adjunta en el anexo 1 al final de esta memoria el índice de los mapas desplegados del Mapa de Carreteras de la Diputación de Guipúzcoa y todos los mapas desplegados se adjuntarán en el CD del proyecto. En el anexo 2 del final también se incluyen los datos extraídos de los Aforos de Tráfico para 2012 de todas las vías que componen la infraestructura viaria de Guipúzcoa clasificados por tipo de red.

4. Origen y descripción del problema.

El origen de este proyecto parte del aumento de la importancia medioambiental a la hora analizar los costes del transporte de mercancías por carretera. Poco a poco la responsabilidad ambiental pasa a ser un factor importante a tener en cuenta para los negocios del sector.

La necesidad de dar importancia al problema medioambiental, además de al mero coste económico, es ya una realidad y en el futuro, probablemente, será una obligación. Esto hará que las empresas de transporte tengan que preocuparse más por el impacto de su flota en el medio que atraviesan.

Aunque en España todavía no ha sido implantada, en varios países europeos existe una tasa denominada Euroviñeta que deben pagar de forma obligatoria los vehículos pesados con más de 12 toneladas y de forma voluntaria el resto de vehículos. Con estas tasas, la Unión Europea pretende hacer frente a los costes externos derivados de la utilización de las infraestructuras viarias. En estos costes externos se incluyen todos los relativos al daño medioambiental, los derivados de la utilización de las infraestructuras del transporte, de la congestión de las carreteras, de los accidentes, así como aquellos costes que no se pueden contabilizar monetariamente como los relativos a la pérdida de tiempo, pérdida de la salud, etc.

El importe a pagar depende del nº de ejes y clase EURO del vehículo, así como de la duración de la estancia.

A continuación, se analiza el transporte en los Pirineos y las alternativas que se tienen en consideración en este trabajo.

4.1. El transporte en los Pirineos

4.1.1. Infraestructura viaria

La conexión viaria entre España y Francia está formada por carreteras de diferentes categorías, entre las que destacan las autopistas situadas en los dos extremos de los Pirineos: la AP7- A9 sobre la vertiente mediterránea y la AP8-A63 en la vertiente atlántica (Esta última será una de las estudiadas en el presente trabajo).

El tráfico generado en estas dos autopistas representa en los últimos años aproximadamente el 70% del total (turismos y mercancías).



Imagen 10: Red estructurante de carreteras (Fuente: Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos, Suplemento al documento nº 6, 2013)

En la siguiente tabla se enumeran todas las carreteras que cruzan la frontera hispano-francesa. Son un total de 26 y una extra que une España y Francia a través del Principado de Andorra. Los pasos fronterizos que cuentan con una mayor importancia debido a su mayor utilización están destacados en negrita.

LADO FRANCÉS		LADO ESPAÑOL	
Carretera	Identificación del paso	Identificación del paso	Carretera
R.D.912	Hendaye	Irún	N-I-H
R.N.10	Hendaye (Béhobie) - Bordeaux	Donostia/San Sebastián - Irún	N-I
A.63	Hendaye (Biriartou) - Bayonne	Donostia/San Sebastián - Irún	AP-8
R.D.404	Col d'Ibardin	Puerto de Ibardin	NA-1310
R.D.406	Sare Ouest	Puerto de Lizuniaga	NA-4410
R.D.306	Col de Lizarieta	Etxalar - Lizarieta	NA-4400
R.D.20	Ainhoa - Dancharia - Bayonne	Pamplona - Landibar	N-121-B
R.D.949	St. Étienne de Baygorry	Erratzu - Izpegi	NA-2600
R.D.58	Col d'Urquiaga (Esnazu)	Eugi - Olaberri	N-138
R.D.933	St. Jean Pied-de-Port - Orthez	Pamplona - Roncesvalles - Valcarlos	N-135
R.D.26	Larrau - Tardets	Ochagavía	NA-2011
R.N.132	Pierre St. Martin - Arette	Isaba - Piedra de San Martín	NA-1370
R.N.134	Somport (tunnel) - Pau	Huesca - Somport (túnel)	N-330
R.N.134	Somport - Pau	Huesca - Somport	N-330
R.D.934	Pourtalet - Pau	Huesca - Portalet	A-136
R.D.929	Aragouet - Lannemezan	Barbastro - Bielsa	A-138
R.D.618	Col du Portilhon - Bagnères de Luchon	Puerto del Portillón	N-141
R.N.125	Fos - Montréjeau	Lleida - Vielha - Les	N-230
R.N.22	Andorra - Ax - Toulouse	Lleida - La Seu d'Urgell - Andorra	N-145
R.D.68	Puigcerdà - Llívia	Puigcerdà - Llívia	N-154
R.N.20	Bourg - Madame - Toulouse	Barcelona - Puigcerdà	N-152
R.D.115	Prats de Molló	Molló - Coll d'Ares	C-38
R.D.3	Sant Llorenç de Cerdans	Maçanet de Cabrenys	GI-505
R.D.13	Ceret	La Vajol	GI-503
R.N.9	Le Perthus - Perpignan	Barcelona - La Jonquera	N-II / A-2
A.9	Le Boulou - Perpignan	Barcelona - La Jonquera	AP-7
R.N.114	Cerbère - Perpignan	Barcelona - Figueres - Port Bou	N-260

Tabla 10: Puntos de paso fronterizo en los Pirineos (Fuente: Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos, Documento nº 6, 2011)

El siguiente mapa presenta la planificación en la red de carreteras de España en el marco del Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda (PITVI) definido para los años 2012-2024. Este mapa se basa en la propuesta española de desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte realizada por el Ministerio de Fomento:



Imagen 11: Red de carreteras. Horizonte RTE-E (PITVI 2012-2024) (Fuente: Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos, Documento nº 6, 2011)

4.1.2. Flujo de transporte de mercancías por carretera

En este apartado se va a analizar cuantitativamente el transporte de mercancías por las carreteras que cruzan los Pirineos. Todos los cifras mostradas en este apartado están actualizados para los años 2010 y 2011, y provienen del Observatorio hispano-francés de Tráfico en los Pirineos (Suplemento al documento nº6, noviembre 2013).

El total de vehículos pesados que han cruzado la frontera hispano-francesa ha alcanzado los 18.200 vehículos /día en 2010 y 18.700 en 2011, incluidos los autocares. El tráfico total de vehículos pesados de mercancías asciende a 17.600 vehículos/día en 2010 y 18.100 en 2011. En 2011, el 90% de ellos han utilizado las 2 autopistas y solamente el 5% o sea, alrededor de 950 vehículos/día han usado los 4 pasos interiores (RD933, RN134, RN125, RN20).

La encuesta Transit realizada en los 2 puentes vascos sin autopista ha demostrado la importancia de los tráficos parásitos (pasos múltiples, cambio de sentido etc.): el número de vehículos pesados que cruzan realmente la frontera asciende al 36% del tráfico contabilizado como vehículos pesados por el contador automático en el puente de Behovia (RN10) y al 54% en el puente de Santiago (RD912). El número de vehículos pesados que cruzaron la frontera reflejados en el documento actual tiene en cuenta el número de ellos que han cruzado realmente la frontera en los dos puentes vascos.

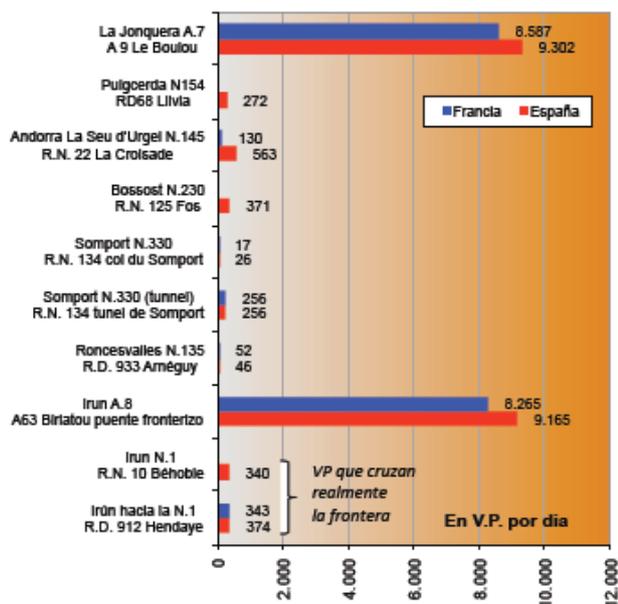


Imagen 12: IMD de vehículos pesados en los puntos fronterizos de mayor tráfico en 2011

Para presentar la evolución del número de vehículos pesados, el gráfico contiguo integra con punteado el tráfico total en los puentes vascos y el número total de vehículos pesados correspondientes, así como el tráfico real de paso de la frontera por los citados puentes (completada la evolución en los años anteriores a 2010) y el número total de vehículos pesados correspondiente.

Después de la fuerte disminución del tráfico de vehículos pesados que conllevó la crisis económica de 2009 (-14% globalmente entre 2007 y 2009), el número de vehículos pesados que cruzan los Pirineos ha aumentado el 2,4% en 2010 y el 2,7% en 2011.

El tráfico de vehículos pesados en las 2 autopistas ha aumentado globalmente el 4,4% en 2010 y el 2,0% en 2011. En los 4 pasos interiores, el tráfico ha disminuido el 3,4% en 2010 y ha aumentado el 3,9% en 2011.

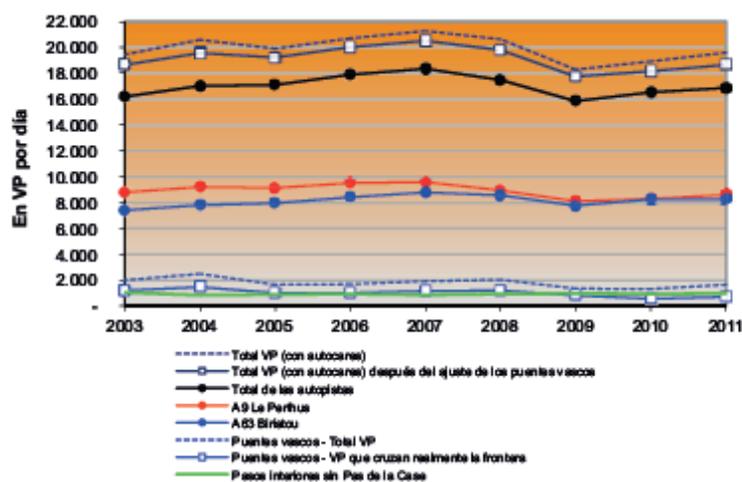


Imagen 13: Evolución de la IMD anual de vehículos pesados que cruzan la frontera hispano-francesa

El gráfico mostrado a continuación representa la evolución del tráfico de vehículos pesados medido en las barreras de peaje del Perthus en la A9 y Biriattou en la A63. Las evoluciones constatadas son las siguientes:

- A9 Le Perthus: +2,4% en 2010 y +3,7% en 2011 o sea +6,2% en 2 años.
- A63 Biriattou: +6,4% en 2010 y 0,5% en 2011 o sea un 7,0% en 2 años.

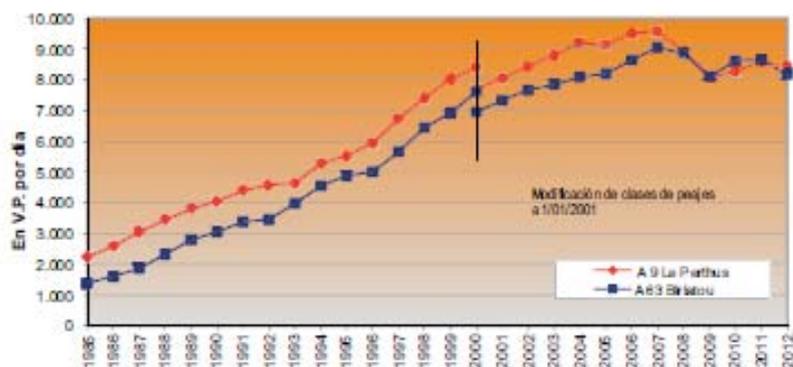


Imagen 14: Evolución de la IMD anual de vehículos pesados en las 2 autopistas

El tonelaje de las mercancías que cruzan los Pirineos por carretera se estima a partir de:

- El tráfico de los vehículos pesados
- El tonelaje medio transportado por los vehículos pesados.

La estimación del tonelaje medio transportado por los vehículos pesados proviene de los resultados de las encuestas Transit 2010 en las autopistas, los 4 pasos centrales principales y los 2 puentes vascos. En las autopistas, el tonelaje medio utilizado hasta 2009 resultaba de los pesajes dinámicos de las estaciones HESTIA. Estas estaciones quedaron obsoletas y han sido desmontadas y no reemplazadas. El impacto de este cambio hace pasar el tonelaje medio de los vehículos pesados en las autopistas de 15,5 a 14,3 t/VP (disminución del 8%).

Pasos	Tonelaje medio t / V.P.	Tráfico V.P. / día	Tráfico autocares por día	Tráfico VP mercancías por día	Tonelaje por día en kt / día	Tonelaje anual en M/año
Autopista A8 - A63 Norte-Sur	14,1	4.149	76	4.073	57,5	21,1
Autopista A8 - A63 Sur-Norte	15,1	4.116	76	4.040	60,9	22,3
Autopista A7 - A9 Norte-Sur	12,3	4.265	155	4.110	50,6	18,5
Autopista A7 - A10 Sur-Norte	15,5	4.322	155	4.167	64,7	23,7
Puentes vascos - VP cruces reales	9,3	715		715	6,7	2,4
Otras R.N.	14,2	1.092	92	1.000	14,2	5,2
Total	14,1	18.659	554	18.105	254,5	93,1

Tabla 11: Estimación del tonelaje de mercancías transportado por carretera a través de los Pirineos en 2011

El tonelaje total de mercancías que han cruzado los Pirineos por carretera ha sido de 90,9 Mt en 2010 y 93,1 Mt en 2011. Este tonelaje ha aumentado el 2,4% en 2011. La modificación de la fuente

de los tonelajes medios por vehículo pesado no permite conocer de forma precisa el aumento entre 2010 y 2011 (próximo al 2%).

Intercambios con	España	Portugal	Marruecos	Andorra	Total
Francia	47,7%	4,1%	0,6%	0,3%	52,6%
Resto de la UE-15 menos Francia	34,4%	4,8%	0,2%	0,0%	39,4%
Países ingresados en 2004	5,1%	0,4%	0,0%	0,0%	5,5%
Países ingresados en 2007	0,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,6%
Resto de Europa menos la UE-25	1,5%	0,3%	0,0%	0,0%	1,8%
Total Europa	89,2%	9,7%	0,8%	0,3%	100,0%

Tabla 12: Reparto de los intercambios de mercancías según origen y destino

Los últimos datos disponibles sobre el origen y el destino de los vehículos pesados son los de la encuesta TRANSIT del año 2011. El 52,6% (el equivalente a 48,97 millones de toneladas en 2011) de las mercancías que atravesaron los Pirineos por la carretera fueron intercambiados con Francia y el 47,4% restante (44,13 millones de toneladas en 2011) circuló en tránsito a través de Francia.

El tráfico por carretera entre la Península Ibérica y el resto de Europa más allá de Francia fue generado en un 83,2% (36,72 millones de toneladas) por los países de la antigua UE-15, el 11,7% (5,16 millones de toneladas) por países ingresados a la UE en 2004, el 1,3% (0,57 millones de toneladas) por países ingresados a la UE en 2007 y el 3,8% (1,68 millones de toneladas) por el resto de países europeos que no pertenecen a la EU-25.

4.2. Selección de las alternativas

Para hacer la selección de las alternativas de estudio del proyecto se desea elegir unas rutas que representen la realidad del flujo del transporte en esta provincia. Las rutas estarán compuestas por las carreteras de Guipúzcoa que sean transitadas por mayor número de vehículos de manera que la crucen en su totalidad. La única restricción que se tuvo al elegir las alternativas fue que pasarán por los puntos donde se habían llevado a cabo las mediciones acústicas por la empresa Acústica Arquitectónica Ingenieros SA, ya que los datos del informe que esta empresa nos aporta son fundamentales para poder realizar el posterior estudio de contaminación acústica de cada una de las alternativas.

La primera alternativa está formada por 4 carreteras. En el apartado anterior ya se describió cada una de las carreteras individualmente, por lo que se pasa directamente a explicar que tramos de cada carretera o carretera en su totalidad se usan para formar la alternativa 1 de estudio.

Se aclara antes que para calcular las distancias de las carreteras que se utilizan de forma parcial, se usan los datos del catálogo de carreteras de la web de la diputación foral de Guipúzcoa que está actualizado a marzo de 2013 (Este documento se adjuntará en el CD). El catálogo aporta la posición de los enlaces que hay a lo largo de la carretera con su punto kilométrico correspondiente. También se indica el tipo de vía que es, tipo de red a la que pertenece y la longitud total de la carretera. Se muestra un extracto del catálogo para la AP-8 con la finalidad de clarificar lo dicho anteriormente.

AS = Autopista
 AV = Autovía
 CC = Carretera convencional

Número	Denominación	Tipo	Punto kilométrico origen	Origen	Punto kilométrico final	Final	Longitud km
CARRETERAS DE LA RED DE INTERES PREFERENTE (RED ROJA)							
AP-8	Autopista del Cantábrico	AS	0,000	Límite con Francia (Behobia)	74,850	Límite con Bizkaia (Eibar)	74,850
AP-8-0	Enlace con la N-121-A en Behobia			AP-8 PK 0,50			
AP-8-7	Enlace con la GI-636 en Ventas de Irun			AP-8 PK 7,00			
AP-8-11	Enlace con la GI-2132 y GI-2134 en OIartzun			AP-8 PK 11,70			
AP-8-12	Enlace con la GI-20 en Erretereria			AP-8 PK 13,00			
AP-8-19	Enlace del Urumea			AP-8 PK 19,90			
AP-8-24	Semienlace con la N-I en Lasarte-Oria			AP-8 PK 24,70			
AP-8-27	Semienlace con la GI-20 en Arizeta			AP-8 PK 27,70			
AP-8-33	Semienlace de Orio			AP-8 PK 33,60			
AP-8-38	Enlace de Zarautz			AP-8 PK 38,00			
AP-8-48	Enlace de Arroa			AP-8 PK 48,70			
AP-8-54	Enlace de Itziar (Deba)			AP-8 PK 54,70			
AP-8-84	Enlace de Elgoibar			AP-8 PK 64,50			
AP-8-89	Enlace de Maltzaga			AP-8 PK 69,30			
AP-8-71	Enlace de Eibar			AP-8 PK 71,00			

Imagen 15: Extracto del Catálogo de Carreteras de Guipúzcoa para la AP-8

La alternativa 1 está compuesta por las vías NI, GI-11, GI-20 y GI-636. La GI-11 y la GI-636 se utilizan completamente, mientras que las otras dos lo hacen de forma parcial.

A continuación se muestra una tabla (Fuente: elaboración propia) donde aparece cada una de las carreteras utilizadas y con los siguientes datos sobre cada una de ellas:

- El nombre de la carretera.
- El tipo de red a la que pertenece.
- El tipo de vía que es.
- El punto kilométrico de esa carretera inicial en la alternativa, que no tiene por qué coincidir con el punto inicial de la carretera.
- El punto kilométrico de la carretera final en la alternativa, que no tiene por qué coincidir con el punto final de la carretera.
- Longitud del tramo de la carretera empleado en la formación de las alternativas y dentro de Guipúzcoa.

Carretera	Tipo de red	Tipo	Pk origen	Origen
NI	Interés preferente, roja	Autovía	405,450	Límite Navarra (Etxegarate)
G-11	Básica, naranja	Autovía	0,000	PK de la N-1
G-20	Básica, naranja	Autopista	13,000	Enlace con AP-8 en Erretereria
G-636	Básica, naranja	Convencional	0,000	Enlace con GI-20 en Pasaia, pk-3,020

Pk final	Final	Longitud (km)
453,440	Enlace con AP-8/AP-1 en Lasarte-Oria	47,990
2,523	PK 13,00 de la GI-20	2,523
3,020	Enlace con GI-636 en Pasaia	9,980
17,235	Límite Francia (Behobia)	17,235

De forma que sumando todas las longitudes individuales se obtiene la longitud total de la alternativa 1 que es de 77,73 km.

En la siguiente imagen realizada con el programa Google Earth, se puede apreciar la alternativa 1 distinguiendo cada tramo de carretera que la compone. El tramo negro corresponde a la NI, el tramo rosa a la GI-11, el tramo verde a la GI-20 y el marrón a la GI-636 (la línea amarilla que se ve es la frontera con Francia y la blanca el límite de la provincia de Guipúzcoa).

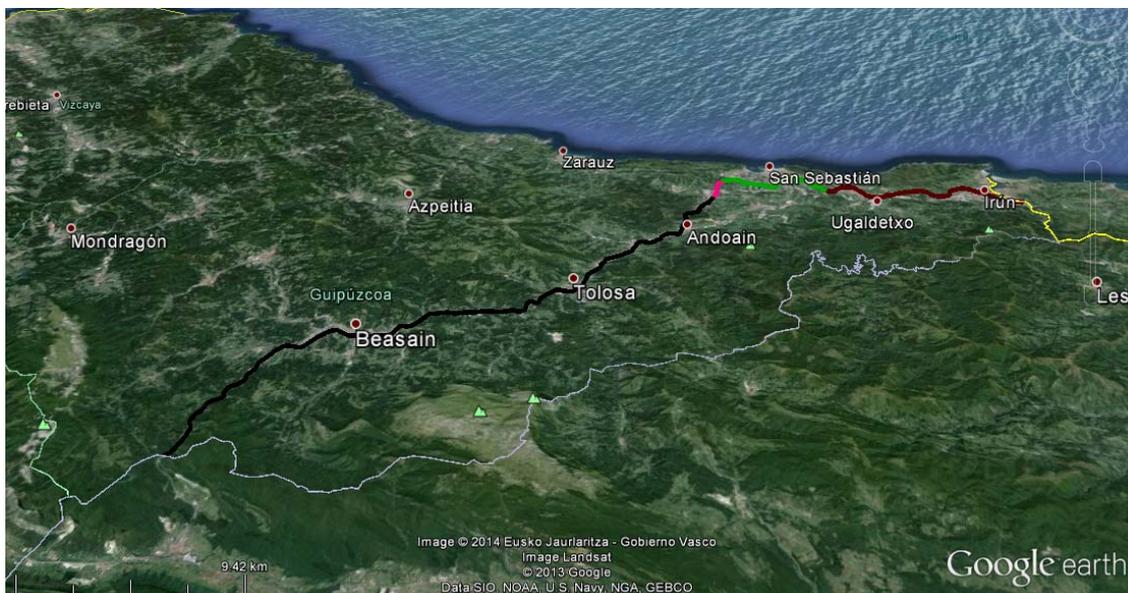


Imagen 16: Vista de la alternativa 1 con Google Earth (Fuente: elaboración propia)

Para la alternativa 2 se sigue el mismo proceso que para la primera. Esta está formada exclusivamente por la AP-8, por lo que calcular su longitud resulta más sencillo ya que coincide con la de la AP-8 en su paso por Guipúzcoa.

Carretera	Tipo de red	Tipo	Pk origen	Origen
AP-8	Interés preferente, roja	Autopista	0,000	Límite con Francia (Behobia)

Pk final	Final	Longitud (km)
74,850	Límite con Bizkaia (Eibar)	74,850

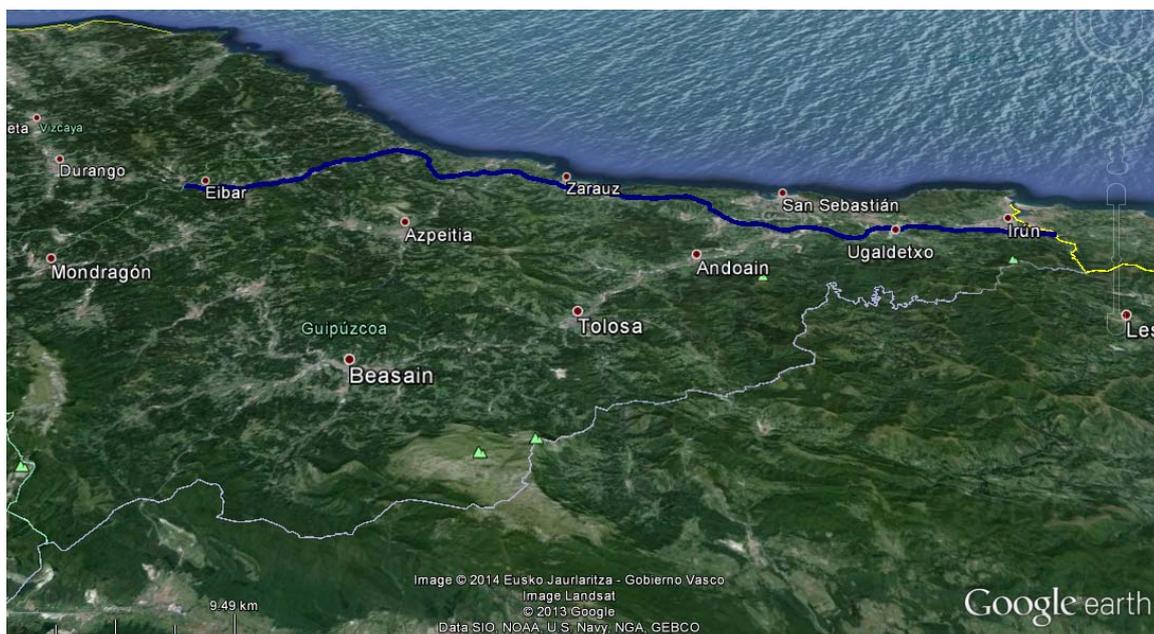


Imagen 17: Vista de la alternativa 2 con Google Earth (Fuente: elaboración propia)

De forma que la distancia real total para cada alternativa queda:

Alternativa	Longitud (km)
Alternativa 1 (NI-GI11-GI20-GI636)	77,73
Alternativa 2 (AP-8)	74,85

Tabla 13: Distancia total de cada alternativa

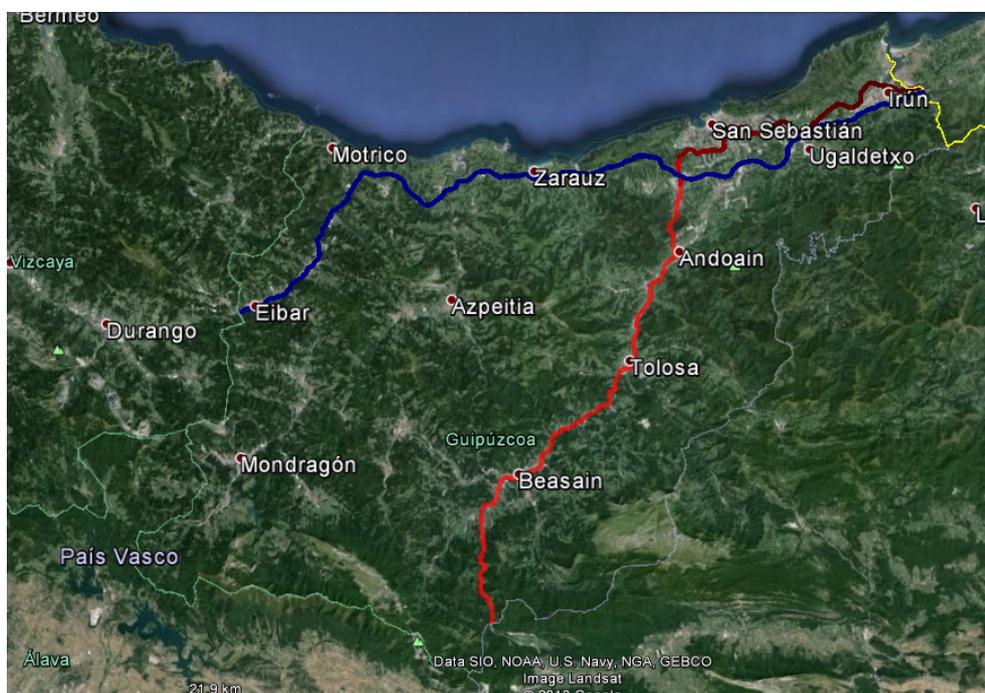


Imagen 18: Vista de las alternativas con Google Earth (rojo para alternativa 1 y azul para alternativa 2) (Fuente: elaboración propia)

5. Recopilación, presentación y tratamiento de datos.

5.1. Análisis económico.

En este primer tema vamos a tratar sobre los costes que se tienen en una empresa dedicada al transporte de mercancías. El análisis económico es inevitable para una empresa dedicada al sector de mercancías o a la logística en general, ya que un negocio debe asegurarse de su rentabilidad y viabilidad presente y futura. Estos costes económicos son los necesarios para mantener las flotas de vehículos de cada empresa operativos tanto mecánica como legalmente.

Primeramente se hablará de cuáles son estos costes y cómo se pueden reducir, y a continuación se explicará la metodología utilizada en el análisis económico en dicho proyecto.

5.1.1. Costes directos del transporte de mercancías por carretera.

En este apartado se presentan inicialmente todos los costes directos del transporte con su definición y fórmula de cálculo. A continuación, se hace una selección de los tres vehículos de carga más representativos según su MMA y se realizan todos los cálculos de sus costes directos. Para cada tipo de vehículo se presenta la estructura de costes directos anuales, las características técnicas y de explotación, y las hipótesis de partida.

Además, se puede calcular la estructura de costes del resto de vehículos a partir de los datos reales de cada empresa, mediante el programa informático de simulación de costes ACOTRAM. Este programa fue desarrollado por la Dirección General de Transporte Terrestre y se encuentra a disposición de todos los interesados en la página Web del Ministerio de Fomento.

Los costes del transportista cuando éste aporte únicamente la cabeza tractora (trabajar al enganche) son los de cada tipología descontando todos aquellos que correspondan al semirremolque.

Cabe destacar que todos estos datos están actualizados a julio de 2013.

5.1.1.1. Metodología: definición y fórmula de cálculo.

A continuación se realiza una pequeña descripción de los cálculos de los costes directos anuales. Estos costes anuales se calculan con los costes unitarios sin IVA ya que se considera que el IVA resultará neutro para la empresa.

- **Amortización:** Se refiere a la suma de cada uno de los costes anuales de amortización de los distintos elementos (vehículo de tracción, carrozado del vehículo de tracción, semirremolque, remolque y equipos auxiliares) con los que cuenta la flota de vehículos de la empresa.

La fórmula de cálculo del coste anual de la amortización de un elemento es:

$$A = \frac{C - R - N}{v}$$

donde: A= coste anual de amortización del elemento (euros)

C= valor de adquisición sin IVA del elemento (euros)

R= valor residual sin IVA del elemento (euros)

N= valor sin IVA de los neumáticos del elemento (euros)

v= vida útil del elemento (años)

- Financiación: Se compone de la suma de los costes anuales de financiación de los distintos elementos que se hayan comprado (vehículo de tracción, carrozado del vehículo de tracción, semirremolque, remolque y equipos auxiliares).

Si suponemos cotas anuales, la fórmula de cálculo del coste anual de financiación de un elemento es la siguiente:

$$F = \frac{(n \cdot \frac{P \cdot i \cdot j}{j-1}) - P}{v}$$

donde: F= coste anual de financiación del elemento (euros)

P= préstamo para la compra del elemento (euros)

i= interés en tanto por uno (interés en % dividido por 100)

n= periodo de financiación (años)

v= vida útil del elemento (años)

$j = (1+i)^n$

- Personal de conducción: Coste total anual para la empresa del personal de conducción del vehículo, no incluye las dietas ya que se incluyen en otro apartado.
- Dietas del conductor: Coste total anual para la empresa de las dietas del personal de conducción del vehículo.
- Seguros del vehículo: Coste total anual de los seguros de cada vehículo.
- Costes Fiscales: Coste total anual de los costes fiscales repercutibles a cada vehículo.
- Combustible: Suma de los costes anuales de combustible (vehículo de tracción y equipos).

La fórmula de cálculo del coste anual de combustible es:

$$C = C_v + C_e$$

$$C_v = \frac{pv \cdot cv \cdot k}{100}$$

$$C_e = pe \cdot ce \cdot h$$

donde: C= coste anual de combustible (euros)

C_v = coste anual de combustible del vehículo de tracción (euros)

C_e = coste anual de combustible de los equipos (euros)

pv = precio de adquisición sin IVA del combustible del vehículo de tracción (euros / litro)

cv = consumo medio de combustible del vehículo de tracción (litros / 100 kilómetros)

k = kilómetros recorridos anualmente por el vehículo de tracción (kilómetros)

pe = precio de adquisición sin IVA del combustible de los equipos (euros / litro)

ce = consumo medio de combustible de los equipos (litros / hora)

h = horas anuales de funcionamiento de los equipos (horas)

- Neumáticos: El conjunto de los costes anuales de los distintos tipos de neumáticos de cada vehículo.

La fórmula de cálculo del coste anual para un tipo de neumáticos es:

$$N = \frac{p \cdot n \cdot k}{d}$$

donde: N= coste anual de un tipo de neumáticos (euros)

p = precio sin IVA de la sustitución de un neumático de este tipo (euros)

n = número de neumáticos de este tipo

k = kilómetros recorridos anualmente por el vehículo (kilómetros)

d = duración media de este tipo de neumáticos (kilómetros)

- Mantenimiento: Coste total anual del mantenimiento de cada vehículo y de los equipos. La fórmula de cálculo del coste anual del mantenimiento es:

$$M = m \cdot k$$

donde: M= coste anual del mantenimiento (euros)

m= coste kilométrico sin IVA del mantenimiento del vehículo y de los equipos (euros / kilómetro)

k= kilómetros recorridos anualmente por el vehículo (kilómetros)

- Reparaciones: Coste total anual de las reparaciones de cada vehículo y de los equipos. La fórmula de cálculo del coste anual de las reparaciones es:

$$R = r \cdot k$$

donde: R= coste anual de las reparaciones (euros)

r= coste kilométrico sin IVA de las reparaciones del vehículo y de los equipos (euros / kilómetro)

k= kilómetros recorridos anualmente por el vehículo (kilómetros)

5.1.1.2. Costes directos de los vehículos modelo.

En este apartado se van a explicar con más detalle los cálculos realizados sobre tres modelos de vehículos que intentan representar al total que componen la flota de transporte de mercancías. Sin entrar en mucho detalle, los vehículos se clasifican en ligeros y pesados. La diferencia radica en su MMA, que es menor o igual a 3500 kg para los primeros y mayor para los segundos. A su vez, debido a que la mayoría de vehículos de transporte de mercancías pertenecen al grupo de vehículos pesados, los pesados se clasifican en camiones rígidos o articulados. Los primeros están formados por una única estructura rígida y los segundos por al menos dos, unidas por un punto de articulación.

Se han elegido los modelos de tal forma que cada uno represente a cada uno de los tres tipos explicados anteriormente.

1. En representación de los vehículos ligeros (M.M.A. menor o igual a 3500 kg) tomamos como modelo una furgoneta.

FURGONETA

Costes directos a 31 de julio de 2013

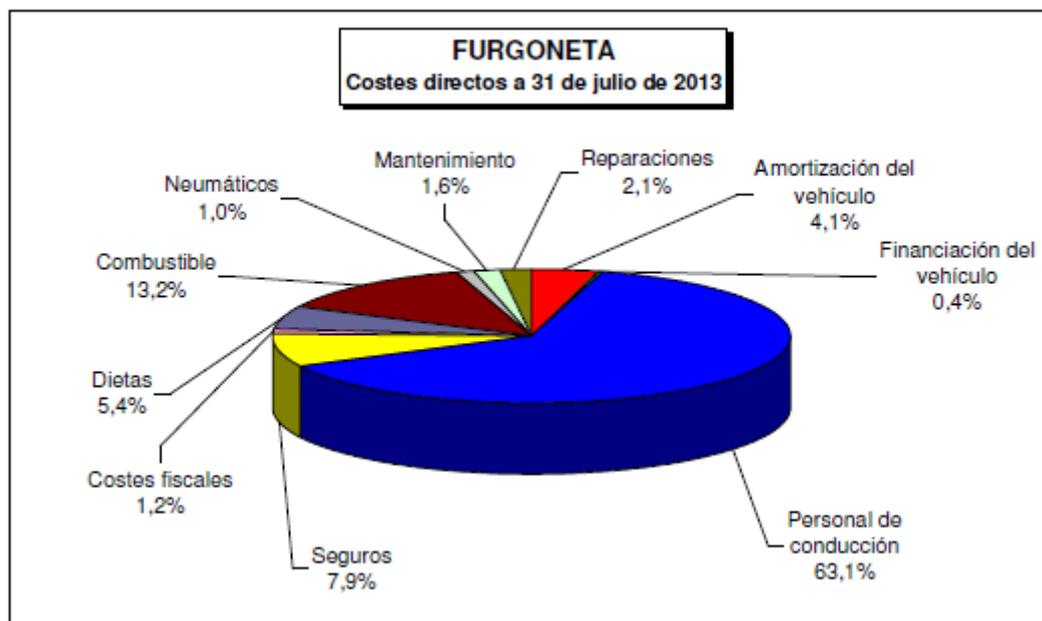
Hipótesis: Furgoneta (MMA=3.500 kg y carga útil=1.500 kg)
Kilómetros anuales recorridos= 50.000

	COSTES DIRECTOS ANUALES	
	Euros (€)	Distribución (%)
Costes directos	49.639,48	100,0%
Costes por tiempo	40.748,73	82,1%
Amortización del vehículo	2.022,14	4,1%
Financiación del vehículo	194,01	0,4%
Personal de conducción	31.317,81	63,1%
Seguros	3.921,30	7,9%
Costes fiscales	595,47	1,2%
Dietas	2.698,00	5,4%
Costes kilométricos	8.890,75	17,9%
Combustible	6.570,25	13,2%
Neumáticos	515,50	1,0%
Mantenimiento	775,00	1,6%
Reparaciones	1.030,00	2,1%

No se calcula el coste por kilómetro por no ser la unidad en la que se abona este tipo de transporte.

Nota: estos costes directos corresponden a la media nacional en las condiciones indicadas de explotación de este tipo de vehículo.

La personalización de estos costes para cada caso particular se puede realizar con la aplicación informática ACOTRAM (www.fomento.gob.es).



DATOS DE PARTIDA

Actualización a 31 de julio de 2013

Características técnicas:			
Furgoneta			
Masa Máxima Autorizada:	3.500 kg		
Carga útil:	1.500 kg		
Número de ejes:	2		
Número de neumáticos:	4		
Características de explotación:			
Kilometraje anual:	50.000 km anuales		
Consumo medio:	12,0 litros/100 km		
Hipótesis:			
Precio de venta según tarifa (sin IVA):	22.394,33 euros	Descuento sobre tarifa:	10 %
Vida útil:	8,0 años		
Valor residual sin IVA sobre el precio de tarifa:	15 %		
Capital a financiar sobre el precio real de adquisición:	100 %		
Período de financiación:	5,0 años		
Interés de la financiación (EURIBOR a 1 año + diferencial):	2,525 %	EURIBOR a 1 año:	0,525 %
		diferencial:	2,000 %
Coste anual del conductor (incluida Seguridad Social y otros):	31.317,81 euros		
Coste anual de seguros (Responsabilidad Civil de la furgoneta, seguro de la mercancía, accidente del conductor, retirada de carné y seguro a todo riesgo):	3.921,30 euros	Responsabilidad Civil furgoneta:	1.441,08 euros
		Accidente del conductor:	98,82 euros
		Retirada carné:	107,05 euros
		Seguro mercancías:	82,35 euros
		Daños propios (todo riesgo):	2.192,00 euros
Coste fiscal anual (visados, ITV, IAE e IVTM):	595,47 euros	Visados:	31,52 euros
		ITV:	65,63 euros
		IAE:	323,32 euros
		IVTM:	175,00 euros
Dietas y plus de actividad anuales:	2.698,00 euros	Dieta media:	13,49 euros/día
		Número de días:	200 días
Precio del gasóleo en surtidor (con IVA):	1,355 euros/litro	Descuento:	0,030 euros/litro
Precio medio de un neumático (sin IVA):	154,65 euros/unidad		
Duración media de los neumáticos:	60.000 km		
Coste de mantenimiento (sin IVA):	0,0155 euros/km		
Coste de reparaciones (sin IVA):	0,0206 euros/km		

2. En representación de los vehículos pesados (M.M.A. mayor a 3500 kg) rígidos tomamos como modelo un vehículo de 2 ejes de carga general (M.M.A de 18000 kg-peso medio).

VEHÍCULO DE 2 EJES DE CARGA GENERAL

Costes directos a 31 de julio de 2013

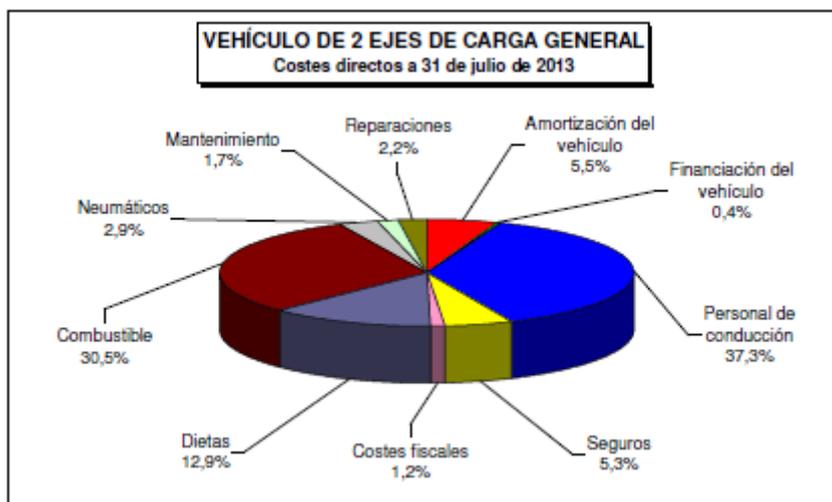
Hipótesis: Vehículo de 2 ejes de carga general (250 CV, MMA=18.000 kg y carga útil=9.500 kg)

Kilómetros anuales recorridos-	90.000	100,0 %
Kilómetros anuales en carga-	76.500	85,0 %
Kilómetros anuales en vacío-	13.500	15,0 %

	COSTES DIRECTOS ANUALES	
	Euros (€)	Distribución (%)
Costes directos	83.905,28	100,0%
Costes por tiempo	52.513,79	62,6%
Amortización del vehículo	4.633,14	5,5%
Financiación del vehículo	305,88	0,4%
Personal de conducción	31.317,81	37,3%
Seguros	4.471,45	5,3%
Costes fiscales	971,36	1,2%
Dietas	10.814,15	12,9%
Costes kilométricos	31.391,49	37,4%
Combustible	25.623,97	30,5%
Neumáticos	2.464,52	2,9%
Mantenimiento	1.449,00	1,7%
Reparaciones	1.854,00	2,2%
kilometraje anual (km / año)	90.000	
kilometraje anual en carga (km / año)	76.500	
Costes unitarios		
Costes directos (€ / km recorrido)	0,932	
Costes directos (€ / km cargado)	1,097	

Nota: estos costes directos corresponden a la media nacional en las condiciones indicadas de explotación de este tipo de vehículo.

La personalización de estos costes para cada caso particular se puede realizar con la aplicación informática ACOTRAM (www.fomento.gob.es).



DATOS DE PARTIDA

Actualización a 31 de julio de 2013

Características técnicas:			
Vehículo de 2 ejes de carga general.			
Potencia:	250 CV	184 kW	
Masa Máxima Autorizada:	18.000 kg		
Carga útil:	9.500 kg		
Número de ejes:	2		
Número de neumáticos:	6 (2 direccionales y 4 motrices)		
Características de explotación:			
Recorridos en carga superiores a 200 km.			
Kilometraje anual:	90.000 km anuales		
Recorrido anual en carga:	85,0 %	76.500 km anuales	
Recorrido anual en vacío:	15,0 %	13.500 km anuales	
Consumo medio:	26,0 litros/100 km		
Hipótesis:			
Precio de venta del camión según tarifa (sin IVA):	55.124,51 euros	Descuento sobre tarifa:	10 %
Precio del carrozado según tarifa (sin IVA):	7.924,15 euros	Descuento sobre tarifa:	10 %
Vida útil del camión:	10,0 años		
Valor residual sin IVA sobre el precio de tarifa (camión y carrozado):	10 %		
Capital a financiar sobre el precio real de adquisición:	70 %		
Período de financiación:	5,0 años		
Interés de la financiación (EURIBOR a 1 año + diferencial):	2,525 %	EURIBOR a 1 año:	0,525 %
		diferencial:	2,000 %
Coste anual del conductor (Incluida Seguridad Social y otros):	31.317,81 euros		
Coste anual de seguros (Responsabilidad Civil del camión y mercancías, seguro de la mercancía, accidente del conductor, retirada de camión y seguro a todo riesgo):	4.471,45 euros	Responsabilidad Civil camión:	2.058,88 euros
		Accidente del conductor:	98,82 euros
		Retirada camión:	107,05 euros
		Seguro mercancías:	247,04 euros
		Responsabilidad Civil mercancía:	312,92 euros
		Daños propios (todo riesgo):	1.646,94 euros
Coste fiscal anual (visados, ITV, IAE, IVTM y revisión tacógrafo):	971,38 euros	Visados:	31,52 euros
		ITV:	90,04 euros
		IAE:	431,28 euros
		IVTM:	378,00 euros
		Revisión Tacógrafo:	40,52 euros
Diets y plus de actividad anuales:	10.814,15 euros	Dieta media:	43,55 euros/día
		Número de días:	133 días
		Plus de actividad:	0,0558 euros/km
Precio del gasóleo en surtidor (con IVA):	1,355 euros/litro	Descuento:	0,030 euros/litro
Precio medio de un neumático (sin IVA):	684,59 euros/unidad		
Duración media de los neumáticos:	150.000 km		
Coste de mantenimiento (sin IVA):	0,0181 euros/km		
Coste de reparaciones (sin IVA):	0,0208 euros/km		

3. En representación de los vehículos pesados (M.M.A. mayor a 3500 kg) articulados tomamos como modelo un vehículo articulado de carga general (M.M.A de 40000 kg para un peso muy alto).

VEHÍCULO ARTICULADO DE CARGA GENERAL

Costes directos a 31 de julio de 2013

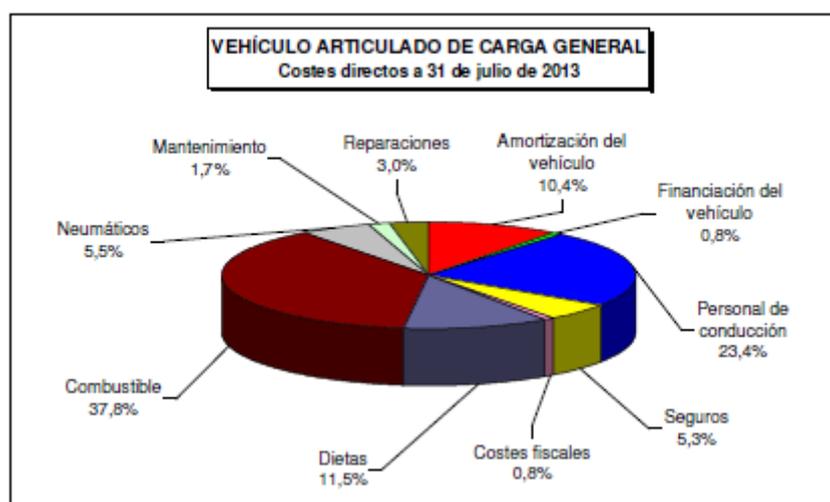
Hipótesis: Vehículo articulado de carga general (420 CV, MMA=40.000 kg y carga útil=25.000 kg)

Kilómetros anuales recorridos-	120.000	100,0 %
Kilómetros anuales en carga-	102.000	85,0 %
Kilómetros anuales en vacío-	18.000	15,0 %

	COSTES DIRECTOS ANUALES	
	Euros (€)	Distribución (%)
Costes directos	133.903,59	100,0%
Costes por tiempo	69.722,39	52,1%
Amortización del vehículo	13.914,05	10,4%
Financiación del vehículo	1.026,48	0,8%
Personal de conducción	31.317,81	23,4%
Seguros	7.046,01	5,3%
Costes fiscales	1.012,04	0,8%
Dietas	15.406,00	11,5%
Costes kilométricos	64.181,20	47,9%
Combustible	50.590,91	37,8%
Neumáticos	7.302,29	5,5%
Mantenimiento	2.268,00	1,7%
Reparaciones	4.020,00	3,0%
kilometraje anual (km / año)	120.000	
kilometraje anual en carga (km / año)	102.000	
Costes unitarios		
Costes directos (€ / km recorrido)	1,116	
Costes directos (€ / km cargado)	1,313	

Nota: estos costes directos corresponden a la media nacional en las condiciones indicadas de explotación de este tipo de vehículo.

La personalización de estos costes para cada caso particular se puede realizar con la aplicación informática ACOTRAM (www.fomento.gob.es).



DATOS DE PARTIDA

Actualización a 31 de julio de 2013

Características técnicas:			
Vehículo articulado de carga general.			
Potencia:	420 CV	309 kW	
Masa Máxima Autorizada:	40.000 kg		
Carga útil:	25.000 kg		
Número de ejes:	5		
Número de neumáticos:	12	6 tractor (2 direccionales y 4 molinos)	
		6 semirremolque	
Características de explotación:			
Recorridos en carga superiores a 200 km.			
Kilometraje anual:	120.000 km anuales		
Recorrido anual en carga:	85,0 %	102.000 km anuales	
Recorrido anual en vacío:	15,0 %	18.000 km anuales	
Consumo medio:	38,5 litros/100 km		
Hipótesis:			
Precio de venta de la cabeza tractora según tarifa (sin IVA):	99.096,74 euros	Descuento sobre tarifa:	10 %
Precio de venta del semirremolque según tarifa (sin IVA):	33.419,23 euros	Descuento sobre tarifa:	0 %
Vida útil de la cabeza tractora:	8,0 años		
Vida útil del semirremolque:	8,0 años		
Valor residual sin IVA de la cabeza tractora sobre el precio de tarifa:	20 %		
Valor residual sin IVA del semirremolque sobre el precio de tarifa:	15 %		
Capital a financiar sobre el precio real de adquisición:	70 %		
Periodo de financiación:	5,0 años		
Interés de la financiación (EURIBOR a 1 año + diferencial):	2,525 %	EURIBOR a 1 año:	0,525 %
		diferencial:	2,000 %
Coste anual del conductor (Incluida Seguridad Social y otros):	31.317,81 euros		
Coste anual de seguros (Responsabilidad Civil del tractor, semirremolque y mercancías, seguro de la mercancía, accidente del conductor, retirada de carné y seguro a todo riesgo):	7.046,01 euros	Responsabilidad Civil cabeza tractora:	2.326,66 euros
		Accidente del conductor:	98,82 euros
		Retirada carné:	107,05 euros
		Responsabilidad Civil semirremolque:	663,75 euros
		Seguro mercancías:	551,73 euros
		Responsabilidad Civil mercancía:	312,92 euros
		Daños propios (todo riesgo):	2.985,08 euros
Coste fiscal anual (visados, ITV, IAE, IVTM y revisión tacógrafo):	1.012,04 euros	Visados:	31,52 euros
		ITV:	90,04 euros
		IAE:	431,28 euros
		IVTM:	418,68 euros
		Revisión Tacógrafo:	40,52 euros
Dieta y plus de actividad anuales:	15.406,00 euros	Dieta media:	43,55 euros/día
		Número de días:	200 días
		Plus de actividad:	0,0558 euros/km
Precio del gasóleo en surtidor (con IVA):	1,355 euros/litro	Descuento:	0,030 euros/litro
Precio medio de un neumático (sin IVA):	684,59 euros/unidad		
Duración media de los neumáticos:	135.000 km		
Coste de mantenimiento (sin IVA):	0,0189 euros/km		
Coste de reparaciones (sin IVA):	0,0035 euros/km		

Los modelos que se acaban de exponer, se enmarcan temporalmente a fecha de julio de 2013. Para hacerse una idea de la evolución de estos costes durante los últimos años se presenta una gráfica para el caso de un vehículo articulado de carga general. Se puede apreciar una tendencia creciente continua con la excepción del segundo semestre de 2008 y el primero de 2013.

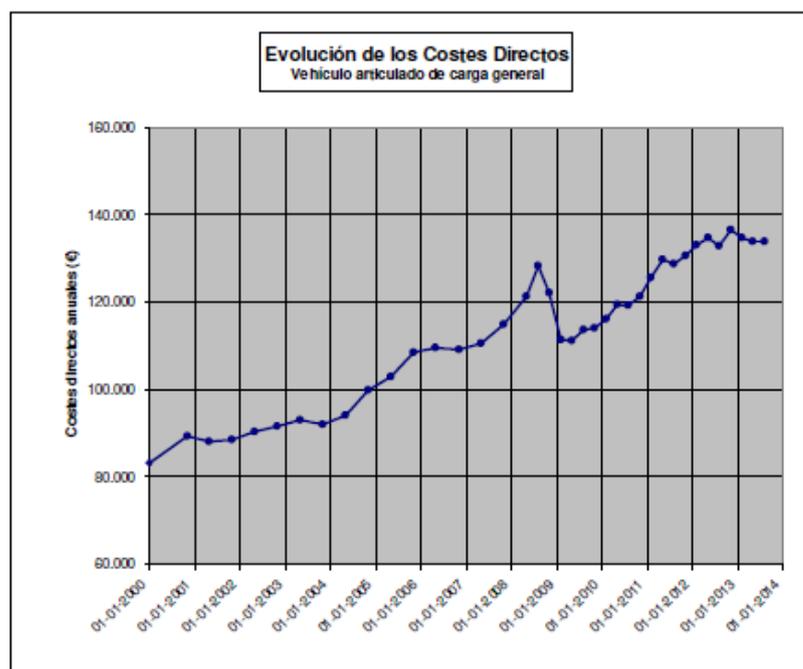


Imagen 19: Evolución de los Costes directos para vehículo articulado de carga general
(Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera, Julio 2013)

5.1.1.3. Otros conceptos.

En este apartado se incluyen el resto de costes a los que tiene que hacer frente una empresa dedicada al transporte de mercancías y que no se incluyen dentro de los costes directos debido a que son difíciles de cuantificar de forma estándar. Nos referimos a los indirectos como por ejemplo los costes de estructura, donde se incluye la gestión y administración, o los costes de comercialización entre otros.

Además, también habrá que contabilizar otros costes soportados por la empresa como peajes, tasas por el uso de las infraestructuras viarias, coste de lavado interior de cisternas...

5.1.1.4. Criterios de eficiencia mediante los que la empresa podría reducir sus costes.

En este apartado se señalan algunos aspectos donde mejorando su gestión se podría incurrir en una disminución de sus costes, ya que los precios expuestos en el apartado anterior son promedios y orientativos. La disminución de costes supone un aumento de la eficiencia en los resultados de la empresa y aumenta su posición competitiva en el mercado.

Kilómetros recorridos y porcentaje de recorrido en vacío

- Las empresas que tengan acuerdos fijos o estables con sus clientes o que contraten circuitos cerrados, pudieran conseguir disminuir la cantidad de kilómetros en vacío realizados, con la consiguiente reducción del coste total por kilómetro en carga. En el vehículo articulado

de carga general se toma un recorrido en vacío del 15% de los kilómetros totales, considerando que se puede reducir hasta un 12%. De igual manera, en aquellos casos en que se superen los kilómetros anuales en carga adoptados, bien porque se haya reducido el porcentaje de circulación en vacío, tal y como se ha indicado en el párrafo anterior, bien porque, aun manteniéndose dicho porcentaje, la empresa sea capaz de incrementar la actividad de sus vehículos por encima de los kilómetros anuales previstos, el coste final por kilómetro habría de adaptarse en la medida que corresponda.

- Una mejora de la planificación de operaciones de carga y descarga entre la empresa cargadora y la transportista ayudará a eliminar los tiempos muertos y permitirá un mejor aprovechamiento del vehículo, lo que acabará por reducir los costes de operación. Además, se considera fundamental el conocimiento de las condiciones relativas al momento de la recogida y entrega de las mercancías con anterioridad al comienzo de la operación, así como el cumplimiento de las citadas condiciones por parte de ambas empresas.
- Una correcta elección de los muelles de carga debería permitir una adecuada realización de las operaciones de carga y descarga y una reducción del número de maniobras a realizar con el vehículo.
- Para disminuir el tiempo en la carga y la descarga de la mercancía se utilizan los palés.

Precio de adquisición del vehículo

En la elaboración del estudio de costes se ha considerado un descuento máximo sobre el precio de tarifa de los vehículos del 10%.

No obstante, ya sea mediante una mejora de la posición negociadora en la compra de los vehículos (adquisición a través de centrales de compras, adquisición simultánea de varias unidades, etc.) o bien a través de la selección de ofertas en el mercado, podría conseguirse una reducción de hasta el 25% del precio de tarifa mencionado.

En estos casos, los costes de amortización y financiación disminuyen en función del precio de adquisición finalmente obtenido.

Pólizas de seguro

- Mediante la contratación de pólizas globales se puede llegar a reducir en un 15% la cantidad fijada como coste de los seguros.
- Una buena coordinación entre el transportista y el cargador puede evitar que se produzca una duplicidad de seguro para cubrir un mismo riesgo, con el consiguiente abaratamiento de costes para el conjunto de la operación.

Financiación

Para el cálculo del coste de financiación se ha considerado un interés referenciado al "Euribor a 1 año" más un diferencial de 2 puntos, por considerarse el normalmente utilizado en este tipo de operaciones. En algunos tipos de vehículos se ha adoptado un diferencial de 1 punto por ser mayor el tamaño empresarial. No obstante, en determinados supuestos, algunas entidades financieras, en función de la estabilidad alcanzada en sus relaciones con las empresas, del volumen de las operaciones a financiar y de otras circunstancias del mercado, podrían llegar a conceder préstamos a un tipo de interés del Euribor más 1 punto.

Combustible

- El precio del combustible que se ha empleado para el cálculo del coste por este concepto, es el resultante de aplicar un descuento de 0,03 euros (5 pesetas) por litro sobre el precio medio en surtidor, descuento al cual se ha considerado que pueden acceder la práctica totalidad de empresas de transporte público. En algunos tipos de vehículos se ha adoptado un descuento más alto debido al mayor tamaño empresarial. Sin embargo, dicho descuento puede incrementarse hasta 0,048 euros (8 pesetas) por litro en los supuestos de autoconsumo por parte de empresas.
- Una conducción adecuada del vehículo permite una reducción significativa de los consumos. En este aspecto, la formación de los conductores profesionales, en la cual pueden colaborar transportistas y cargadores, juega un papel de gran relevancia.
- El uso de GPS para rutas no habituales, la información sobre las rutas más directas y en mejor estado, y la adecuada señalización de las infraestructuras y puntos de carga y descarga, reducen la duración de los trayectos y el consumo innecesario de combustible.
- La planificación en el uso de la flota por parte de las empresas de transporte, de manera que se asigne a cada ruta el vehículo más idóneo (por ejemplo: el de mayor consumo al recorrido más corto) puede contribuir a la reducción del consumo de carburante.

Neumáticos

Los costes calculados pudieran rebajarse hasta un 10% si la empresa optase por el recauchutado de aquellos susceptibles de someterse a dicho procedimiento.

Creación de centrales de compra

Se pueden conseguir descuentos en la compra de los siguientes bienes y servicios mediante la agrupación de los transportistas en centrales de compra:

- Adquisición de software
- Telefonía
- Seguros
- Neumáticos
- Lubricantes
- Mantenimiento y reparaciones
- Carburantes
- Vehículos

Creación de centrales de comercialización

- La constitución de centrales de comercialización permitiría incrementar en algunos casos el número de kilómetros recorridos anualmente hasta un 10% (por ejemplo sobre los 120.000 kilómetros estimados para los vehículos articulados de carga general).

- De igual manera, se estima que permitiría reducir en algunos casos el porcentaje de recorridos en vacío en un 20% sobre los previstos para cada uno de los tipos de vehículo incluidos en el observatorio.

Pagos

La reducción de los plazos de pago (por ejemplo de 60 a 30 días) reduce los costes financieros de las empresas de transporte.

Incremento de costes derivados de la mejora de las eficiencias

En cualquier caso, las empresas de transporte deberán tener en cuenta los costes adicionales que se derivan de la puesta en práctica de algunas de las medidas citadas, tal y como los originados por la formación, de la incorporación del GPS, etc.

Transparencia

La transparencia de las condiciones contenidas en los contratos que puedan suscribirse por las partes intervinientes, colabora de manera eficaz al mejor funcionamiento del mercado de transporte y favorece la disminución de los problemas operativos.

5.1.2. Gestión del combustible.

La mayoría de la energía primaria consumida en el transporte es petróleo, por lo que esto aumentará el nivel de emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera, con los problemas que ello genera sobre el planeta. De estos temas se hablará más adelante en el proyecto, pero destaca que sobre el 30-40% de las emisiones totales a la atmósfera en España pertenecen al sector del transporte.

Como se ha visto en el apartado anterior, el combustible es una parte muy importante de los costes generados por una empresa de transporte. Por lo que tendrán que gestionar este gasto de la forma más eficiente posible y más debido a los altos precios a los que se cotiza el crudo actualmente.

Se entiende por gestión del combustible el diseño y la puesta en práctica de un sistema de control, supervisión y, muy especialmente, de seguimiento del consumo de carburante global e individualizado de los vehículos de una flota de transporte. La gestión del combustible permite aprovechar de la manera más rentable cada litro de combustible adquirido, contribuyendo con ello no sólo a la economía de la empresa, sino también al ahorro energético y a la mejora de la conservación del medio ambiente. Esta gestión depende del tipo de flota de vehículos de la que disponga la empresa.

Para una gestión adecuada del combustible hay que saber combinar adecuadamente los siguientes factores:

- Planificación de rutas y de vehículos.
- Utilización de las técnicas de conducción eficiente.
- Mantenimiento de los vehículos.
- Calidad del servicio prestado al cliente.

El establecimiento de un adecuado sistema de gestión del combustible dará lugar a un ahorro de carburante y por tanto, a una mayor eficiencia energética en la realización de sus servicios, a través de dos vías:

- Mediante la mejora de la eficiencia de cada vehículo, a través del control y seguimiento individualizado de los mismos, así como del establecimiento de programas de formación a los conductores en las técnicas de conducción eficiente.
- Mediante el establecimiento de un sistema global de control y seguimiento del consumo de carburante de la flota; de la programación de las rutas y de la asignación adecuada a las mismas de los vehículos, en función de sus características y consumos, se logrará además un ahorro de carburante y por tanto, una mayor eficiencia energética para el conjunto de la flota.

Existen actualmente software informáticos para la gestión de flotas de vehículos. Sin embargo, debido a las características específicas que forman la flota de cada empresa, lo más habitual es solicitar sus servicios a una empresa consultora que atienda a cada empresa de una forma personalizada.

5.1.2.1. Planificación de rutas.

La planificación de rutas es un aspecto clave para el ahorro de combustible, para la reducción de emisiones y para un funcionamiento eficiente de la empresa de transporte. Optimizar una ruta consiste en intentar reducir al máximo el número de kilómetros recorridos. Este aspecto se basa en:

- Elección de la ruta: para elegir la ruta que se seguirá para llegar al punto de recogida, se seleccionará la que, siendo una vía rápida, cuente con menos inconvenientes de congestión de tráfico en las horas a las que se prevé que tenga lugar el trayecto, y que minimice al mismo tiempo el número de kilómetros a realizar. Si se dan varias rutas de características similares, se elegirá la que menos dificultades orográficas presente para lograr un menor consumo de combustible en el motor.
- Elección del vehículo: dados un lugar de recogida y un lugar de destino, se escogerá el vehículo que, pudiendo cubrir las necesidades que presente el servicio, se encuentre más próximo a dicho punto de recogida, para reducir en la medida de lo posible los kilómetros que realizará el mismo sin carga. Si varios vehículos de la empresa cumplen estas características, se seleccionará aquel que tenga un consumo menor.
- Tasa de ocupación: se pretenderá llegar a una tasa de ocupación del 100%. De esta manera se procurará que los vehículos realicen el menor número posible de km sin carga (en vacío), ya que estos trayectos tan sólo generan un gasto inútil de combustible que no reporta beneficios a la empresa. Para evitar las cargas en vacío conviene saber de la existencia de “bolsas de cargas”, sistemas de información interconectados entre empresas de transporte y cargadores para gestionar las cargas de los vehículos en tránsito por los distintos lugares.

5.1.2.2. Planificación de vehículos.

El punto fundamental para la planificación de vehículos en una flota con una correcta gestión de combustible es un preciso conocimiento de los consumos de combustible que tienen cada uno de los distintos vehículos que la forman. Este conocimiento resultará indispensable para la

implementación de sistemas avanzados de control de carburante, que cuenten con criterios de discriminación de consumos en función del tipo de trayecto o del tipo de porte a realizar entre otros.

La eficacia energética de la flota aumentará cuanto más exacto sea el detalle y la precisión con la que se lleve a cabo el control de consumo del combustible. Una vía para la mejora de la eficiencia en la gestión del combustible consiste en la realización y control mensual del cuadro correspondiente de consumos y kilometrajes para cada vehículo que tiene la empresa. Atendiendo al cuadro, el gestor de flotas o, en su caso, el responsable de tráfico, podrá asignar los conductores más económicos a los vehículos con menos consumo en las rutas más largas, mientras sus características cumplan los requerimientos del viaje, dejando los vehículos con mayores consumos para las rutas más cortas.

En resumen, hay que fomentar el uso de los vehículos más eficientes en el consumo de combustible, de manera que las distancias más largas sean recorridas por los vehículos de la empresa que menos consuman.

Otro aspecto a tener en cuenta en la eficiencia energética de los vehículos consiste en la adquisición adecuada de los mismos para las tareas que le serán asignadas posteriormente en la empresa. Así pues, adquirir un vehículo con un motor capaz de entregar mucha potencia, para emplear de forma habitual una potencia mucho menor, dará lugar a mayores consumos de carburante que si se empleara para ello un vehículo de menor potencia máxima. Por tanto, el comprador ha de ser capaz de seleccionar el motor con una potencia adecuada para el uso requerido del vehículo.

La realización de un correcto mantenimiento de cada vehículo de la flota disminuye el consumo de combustible de una forma importante, pero se desarrollará más el mantenimiento de vehículos en el siguiente apartado.

5.1.2.3. Mantenimiento de la flota.

Un buen mantenimiento de los vehículos es fundamental para la flota, ya que afecta directamente al consumo de combustible, seguridad y disponibilidad de los vehículos. Si se realiza de forma inadecuada o inapropiada, se puede dar un aumento de combustible que si no se corrige a tiempo, dará origen a averías mecánicas más graves que aumenten los costes.

➤ Control de los neumáticos

Para el mantenimiento de cada uno de los neumáticos de un vehículo se recomienda un control de forma visual diariamente y una medición de su presión cada pocos días o cada 5000 kilómetros recorridos.

Una presión en los neumáticos demasiado baja hace que haya una mayor resistencia en la rodadura, un aumento en la temperatura y un peor comportamiento en la curvas. Esto puede provocar un reventón o un desprendimiento de la banda de rodadura en caso de neumáticos con banda de rodadura no original, además de aumentar el consumo. Además, una presión demasiado baja respecto a la aconsejada por el fabricante de los neumáticos causa desgastes anormales y no uniformes en las partes laterales de la banda de rodadura. Una reducción de la presión de un neumático de 2 bares aumenta el consumo un 2% y reduce su vida útil en torno a un 15%.

Por otro lado, una presión excesivamente alta en los neumáticos produce, además de rebotes innecesarios en la suspensión, desgastes a saltos del mismo, principalmente concentrados en la zona central de la banda de rodadura, lo que incrementa el consumo y produce un desgaste prematuro del neumático.

➤ Control de filtros

El estado de los filtros de aceite, aire y combustible tiene repercusión en el consumo de carburante. Las consecuencias de un mal mantenimiento de los filtros dependen del tipo de filtro que sea.

- Filtro de aceite: su mal estado, además de incrementar el riesgo de sufrir graves averías en el motor, puede aumentar el consumo del vehículo hasta un 0,5%.
- Filtro del aire: su mal estado, habitualmente por un exceso de suciedad, provoca mayores pérdidas de carga de las deseables en el circuito de admisión, lo que hace aumentar también el consumo hasta un 1,5%.
- Filtro de combustible: su mal funcionamiento puede causar aumentos en el consumo de hasta un 0,5%, además de que, en caso de bloqueo, pararía el motor. Es importante controlar la cantidad de agua en el filtro.

Un aumento en el consumo de combustible sin una causa que lo justifique es un claro indicativo de algún problema en el motor, por lo que un control periódico del consumo anotando las cargas de carburante y los kilómetros recorridos puede llevar a detectar averías en el motor del vehículo antes de que se agraven.

➤ Otras tareas de control realizadas por el conductor

Es importante observar también otros aspectos que, de quedar descuidados, repercutirían de forma negativa en el consumo de carburante:

- Aerodinámica: concienciar a los conductores de que deben estibar correctamente la carga y proteger la misma con lonas bien tensadas; fijar bien los toldos es una de las tareas más importantes, dado que la resistencia aerodinámica del vehículo contribuye de manera decisiva a un ahorro de carburante. Los deflectores aerodinámicos son dispositivos que también inciden en un ahorro de combustible al reducir la resistencia aerodinámica del vehículo. En caso de ser regulables, deberán estar siempre en la posición adecuada y en perfecto estado de utilización.
- Calefacción de la cabina: cuando el conductor del camión haya de permanecer varias horas en el interior de la cabina, sin estar el vehículo en movimiento, de necesitar calefacción utilizará los dispositivos a tal efecto, cuyo consumo es apreciablemente más bajo que el del motor del vehículo. El motor del vehículo consume aproximadamente 10 veces más que el calefactor de cabina si se destina exclusivamente a funcionar al ralentí para calentar el habitáculo.

5.1.2.4. Renovación de la flota.

En el momento de la adquisición de nuevos vehículos, el gestor deberá tener en cuenta cuáles son los requerimientos para cada uno de ellos, así como las necesidades de potencia y de transmisión, y evitar sobrepasar las mismas. Ello redundaría en un aumento innecesario del consumo. Por ejemplo, para moverse por la orografía española con un tráiler de 40t no se hace necesario un vehículo de más de 460 CV, dado que el aumento de prestaciones es prácticamente inapreciable. En cambio, usar un vehículo de 530 CV en lugar de uno de 460 CV puede dar lugar a consumos hasta 2 litros cada 100 km más elevados de lo que realmente sería necesario.

De la misma manera, ante los posibles grupos de transmisión que ofrecen los fabricantes, se deberá seleccionar el que mejor se ajuste a las necesidades de la flota. Un vehículo de doble eje tractor puede consumir 3 litros más por cada 100 km de lo que consumiría uno simple, en caso de ser éste suficiente. Los fabricantes de vehículos pueden aconsejar sobre este tema en función de su gama.

Por la misma razón, será conveniente asesorarse adecuadamente acerca de la caja de cambios y grupo adecuados para el vehículo que se va a adquirir. Una selección inadecuada de los mismos también incidiría en aumentos innecesarios de consumo.

5.1.2.5. Conducción eficiente.

Además de todo lo expuesto anteriormente para gestionar de forma adecuada el combustible, se debe tener especial atención a la relación entre vehículo y conductor, de forma que se combinen de una forma eficiente. Para ello, el gestor de la flota dispondrá los medios para que todos los conductores puedan acceder a la formación disponible en la conducción eficiente.

La evolución tecnológica desarrollada en los últimos años ha cambiado en gran medida el diseño de los vehículos y se han incorporado importantes modificaciones en el motor y en los distintos sistemas destinadas a mejorar su rendimiento, reduciendo su consumo de combustible y sus emisiones. Estas mejoras tecnológicas demandan al conductor un nuevo estilo de conducción acorde con ellas, aprovechando todas las ventajas que ofrecen los motores modernos. A este nuevo estilo de conducción se le denomina “conducción eficiente”.

La conducción eficiente de vehículos industriales consiste en una serie de técnicas que, unidas a una adecuada actitud del conductor, dan lugar a un nuevo estilo de conducción que logra importantes ahorros de carburante y reducción de emisiones al medio ambiente, así como una mejora en la seguridad (Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera, Ministerio de Fomento, 2006).

Algunos ejemplos de logros conseguidos se citan a continuación:

- Ahorro de energía en el ámbito nacional.
- Reducción de contaminación atmosférica.
- Reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).
- Ahorro económico en las empresas de transporte.
- Reducción de los costes de mantenimiento.
- Mejora del confort y disminución del estrés en la conducción.
- Reducción del riesgo y gravedad de los accidentes.

Como en todo proceso de aprendizaje, la experiencia es necesaria para alcanzar los objetivos deseados; así pues, una vez formado el conductor en las técnicas de la conducción eficiente, asimilará y perfeccionará las técnicas a través de su propia experiencia.

La conducción eficiente cuenta con las siguientes ventajas:

- Ahorro económico: La partida de gastos más importante que genera la actividad de un vehículo industrial es el combustible, por lo que mejorar la eficiencia en el consumo de combustible lleva a disminuir los costes y paralelamente, un aumento del beneficio económico para la empresa.

- Ahorro de energía: el conductor, con su comportamiento, tiene una gran influencia sobre el consumo de carburante del vehículo, dando lugar a ahorros medios de carburante del orden del 10 al 15%. Esto supone un considerable ahorro energético para nuestro país, mejorándose además la balanza de pagos y reduciéndose la dependencia energética del exterior.
- Ahorro en mantenimiento: estas nuevas pautas a seguir hacen que los diferentes elementos del vehículo (frenos, embrague, caja de cambios, motor...) estén sometidos a menores esfuerzos comparados con los que soportarían en una conducción convencional. Esto supone la disminución de la cantidad de veces que alguno de los elementos del vehículo se estropea y necesita ser reparado o sustituido, de forma que se reducen los costes de mantenimiento.
- Reducción de emisiones: la reducción del consumo de carburante a través de la puesta en práctica de la conducción eficiente va ligada a una reducción de las emisiones de CO₂ y de contaminantes al medio ambiente. Con la reducción de emisiones de CO₂ lograda por la conducción eficiente se contribuye a la resolución de los problemas del calentamiento de la atmósfera y al cumplimiento de los acuerdos internacionales en esta materia.
- Reducción del riesgo de los accidentes: se incrementa la seguridad en la conducción debido a que estas técnicas están basadas en la previsión y anticipación de cualquier imprevisto que pueda surgir. Esta mejora ha sido confirmada por diferentes estudios realizados en países europeos donde ya han sido implantadas, de forma que se ha visto reducido el número y la gravedad de los accidentes.
- Aumento del confort en la conducción: además de todos los sistemas de mejora del confort que incorporan los vehículos modernos, se puede hacer que el viaje sea aún más cómodo mediante la nueva conducción eficiente. Ante todo, la conducción eficiente es un estilo de conducción impregnado de tranquilidad y sosiego que reduce las tensiones y el estado de estrés producido por el tráfico al que están sometidos los conductores.

La conducción eficiente está basada en las siguientes reglas:

- Conocimiento de las características del motor del vehículo: es de gran importancia el conocimiento por parte del conductor de los intervalos de revoluciones a los cuales el vehículo a conducir presenta el par máximo y la potencia máxima, así como de las curvas características propias del motor. En caso de no disponerse de los mismos, deben solicitarse al fabricante.
- Arranque del motor e inicio de marcha: arrancar el motor sin pisar el acelerador. Colocar el disco-diagrama del tacógrafo e iniciar la marcha transcurrido un minuto (ya se tiene presión suficiente en los calderines).
- 1ª relación de marchas: utilizarla en el inicio de marcha sólo para poner en movimiento el vehículo, cambiando a los pocos metros recorridos a relaciones de marchas superiores. En los vehículos que presenten 1ª corta y 1ª larga, se utilizará la 1ª larga para el inicio de la marcha.
- Realización de los cambios de marchas: realizar los cambios de marchas en la zona de par máximo de revoluciones del motor, y solamente en condiciones de mayor exigencia se realizarán en regímenes de revoluciones cercanos a la zona de potencia máxima. Es importante que tras el cambio, el motor quede dentro de la zona de par máximo; es decir, dentro de la zona verde del cuentarrevoluciones. En condiciones favorables, se cambiará aproximadamente:

- Subiendo medias marchas, en torno a unas 1.400 r/min en motores grandes (de 10-12 litros).
- Subiendo marchas enteras, a unas 1.600 revoluciones en motores de 10-12 litros y entre las 1.500 y 1.800 r/min en motores de menores cilindradas.

Realizar los cambios de forma rápida y acelerar tras la realización del cambio.

No se utilizará el doble embrague.

- Saltos de marchas: cuando se puedan llevar a cabo, se podrán saltar marchas, tanto en los procesos de aceleración, como en los de deceleración.
- Selección de la marcha de la circulación: procurar seleccionar la marcha que permita al motor funcionar en la parte baja del intervalo de revoluciones de par máximo. Esto se consigue circulando en las marchas más altas con el pedal acelerador pisado a las 3/4 partes de su recorrido. En cajas automáticas, se procurará que la caja sincronice la marcha más larga posible a través de la utilización del pedal acelerador. Esto tendría lugar aproximadamente:
 - En torno a unas 1.100 -1.300 r/min en motores grandes (10-12 litros).
 - Entre unas 1.200 -1.500 r/min en motores de menores cilindradas.
- Velocidad uniforme de circulación: intentar mantener una velocidad estable en la circulación evitando los acelerones y frenazos innecesarios. Aprovechar las inercias del vehículo.
- Deceleraciones: ante cualquier deceleración u obstáculo que presente la vía, se levantará el pie del pedal acelerador, dejando rodar el vehículo por su propia inercia con la marcha en la que se circula engranada. En estas condiciones el consumo de carburante del vehículo es nulo (hasta regímenes muy bajos de revoluciones cercanos al de ralentí). Utilizar en la mayor medida posible el freno motor y en la menor medida posible el freno de servicio.
- Paradas: en las paradas prolongadas (por encima de 2 minutos de duración), apagar el motor, salvo en los vehículos que dependan del continuo funcionamiento de su motor para el correcto uso de sus servicios auxiliares. En las detenciones, una vez aparcado el vehículo, ya se ha dado tiempo suficiente para que baje el turbo de revoluciones y se apagará el motor sin más dilación.
- Previsión y anticipación: prever las circunstancias del tráfico y, ante las mismas, anticipar las acciones a llevar a cabo. Dejar suficiente distancia de seguridad con el vehículo precedente acelerando un poco menos que el mismo para poder frenar luego en menor medida que éste. Controlar visualmente varios vehículos por delante del propio.
- Circunstancias exigentes: en la mayoría de las situaciones son aplicables las anteriores reglas, pero existen determinadas circunstancias en las que se requieren acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada. En las circunstancias que se requiera, se acelerará el vehículo revolucionando su motor en mayor medida, realizando los cambios de marchas en el entorno del intervalo de revoluciones de potencia máxima.

Todas estas claves deberán aplicarse siempre que el vehículo esté adaptado a ellas y siempre que las circunstancias del tráfico lo permitan sin mermar la seguridad.

5.1.2.6. Calidad del servicio prestado al cliente.

La satisfacción obtenida por el cliente es un factor clave para cualquier tipo de empresa de servicios como la que se supone en este proyecto donde existe una relación directa con el cliente. Esta satisfacción está unida estrechamente a la valoración que el cliente hace del servicio, basada únicamente en su propia percepción. La cuantificación de este aspecto da lugar a lo que hoy en día se entiende por calidad, y es en realidad la calidad percibida por el cliente. Esta se consigue actuando sobre dos aspectos de la actividad: eficacia y eficiencia.

Eficacia consiste en hacer coincidir lo que se planificó hacer y lo que se consiguió hacer lo máximo posible, de forma que contribuye activamente con una mejor calidad percibida por el cliente que recibe el producto final o el servicio.

Pero además, existe un segundo criterio que es especialmente bien percibido por el cliente: la eficiencia. El beneficio será mayor si los recursos (operativos y/o materiales) necesarios para conseguir productos y venderlos a los clientes de producto se utilizan más efectivamente, es decir, si se pueden satisfacer las expectativas del cliente de producto con una mínima utilización o aplicación de recursos. Podríamos definir la eficiencia como la efectividad en la aplicación de los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de los clientes, es decir, para trabajar con calidad.

Se puede concluir diciendo que, para que una empresa trabaje de una manera óptima y asegure una calidad suficiente para los clientes, debe combinar estos dos factores de forma máxima.

5.1.3. Metodología utilizada para el proyecto.

Como se puede apreciar en los ejemplos mostrados anteriormente para los modelos más representativos de vehículos, conforme aumenta la carga y la distancia de las rutas a atravesar, el coste kilométrico aumenta. Es decir, el coste asociado al combustible, neumáticos, mantenimiento y reparaciones es el más importante.

Además, la gestión del combustible es fundamental en la estructura de costes de una flota de transporte. En el gasto de combustible, es muy importante una conducción eficiente y para ello, las características de cada ruta influyen notablemente. Dos casos identificados y bastante representativos son la velocidad que se puede mantener en cada vía, y las pendientes ascendentes a lo largo del recorrido del vehículo.

Es por este motivo, que se decide estudiar los costes directos debidos al combustible necesario para recorrer cada alternativa junto con los peajes involucrados en su recorrido (el resto de costes directos nombrados en el primer apartado de este punto para una empresa de transporte de mercancías amortización, financiación, mantenimiento, reparación, neumáticos... no se incluyen ya que no se considera que afecten de forma distinta al recorrer cada una de las alternativas, ya que al ser la misma empresa incurrirá en los mismos gastos). Y como aporte a estos costes, se analizarán también, las velocidades que se pueden alcanzar en cada ruta, así como las pendientes ascendentes que los vehículos se encontrarían al realizar los recorridos seleccionados.

A continuación se explican los pasos seguidos con estos datos para la obtención final de los valores para el criterio económico a introducir en el método AHP.

5.1.3.1. Costes directos.

Inicialmente se deben conocer para este estudio las distancias reales para las dos alternativas. Cada alternativa está formada por tramos de diferentes carreteras, por los que se sumaran todos estos para una misma alternativa. Estas distancias ya han sido calculadas en el apartado anterior de descripción de las alternativas, así que directamente se muestra la tabla con los resultados.

Alternativa	Longitud (km)
Alternativa 1	77,73
Alternativa 2	74,85

Los recorridos de dichas alternativas se prolongan desde un límite administrativo de la Comunidad Foral de Guipúzcoa hasta el propio con la frontera francesa. A largo de todo el trabajo, el sentido de estas alternativas será de Sur a Norte y de Oeste a Este.

Necesitamos calcular el consumo medio de carburante que tienen los vehículos a estudio. En la guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera que elabora el I.D.A.E. se da este dato para algunos modelos de vehículos que puedan ser los más representativos. De tal manera que haciendo una media entre estos vehículos nos queda que el consumo de un camión híbrido cada 100 km es de 25 litros.

Consumo medio camión híbrido (l/100Km):	25
--	-----------

Los datos para calcular el coste medio del combustible en Guipúzcoa para el año 2013 se obtienen del ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Se proporciona la información con un periodo mensual. Los datos que se toman para los cálculos del proyecto son para combustible de automoción tipo diésel ya que son los más habituales en las empresas de transporte de mercancías. Además, se toman los costes con impuestos incluidos. El conjunto de datos para cada uno de los meses se entrega en el CD adjunto.

En la siguiente tabla se muestran los datos extraídos de los documentos anteriormente nombrados, es decir, los costes mensuales para cada mes del año 2013, así como la media de todos ellos para el coste medio anual. Los precios en la tabla corresponden a céntimos de Euro por litro.

Mes	España	País Vasco	Guipúzcoa
Medias Mensuales			
Enero	137	133,6	133,3
Febrero	139,4	136,1	136
Marzo	138,1	134,7	134,7
Abril	134,9	131,8	132,1
Mayo	132,3	128,6	129
Junio	133,4	129,7	130,1
Julio	135,5	131,8	132,4
Agosto	136,5	132,8	133,2
Septiembre	138,5	135	135,6
Octubre	135,5	131,8	132,3
Noviembre	134,2	130,9	131,7
Diciembre	135,4	132,6	133,4
Medias anuales			
	135,9	132,5	132,8

Tabla 14: Precios mensuales del combustible en 2013

Para poder comparar los precios de Guipúzcoa con los de la media de la Comunidad Autónoma del País Vasco y con la media nacional, se introducen estos datos también en la tabla. Solo para poder comparar precios, ya que los cálculos se realizarán con los datos sobre Guipúzcoa.

Conociendo los datos anteriores, se suceden los siguientes cálculos para obtener el coste medio en combustible para recorrer cada alternativa en 2013:

- Se divide la media anual del combustible para Guipúzcoa en 2013 entre 100 para tenerla en € por litro.
- Se multiplica este resultado por el dato de litros consumidos cada 100 kilómetros de manera que obtenemos el coste en euros de recorrer 100 Km.
- Se divide este resultado entre 100 para tener el coste por kilómetro recorrido.
- Se multiplica por el número de km con los que cuenta la alternativa obteniéndose así definitivamente el coste medio del combustible consumido para cada alternativa en €.

Siguiendo estos pasos para ambas alternativas se tiene que los costes medios debido exclusivamente a combustible consumido para recorrer cada alternativa en 2013 son:

Alternativa	1	2
Coste del carburante medio por alternativa(€)	25,80	24,87

El último coste que hay que incluir en los cálculos es el de los peajes de las alternativas. La única alternativa que tiene incorporado peajes en su recorrido es la 2, con los peajes de la autopista AP-8. Los precios de los peajes vigentes a partir del 1 de enero de 2013 son gestionados por BIDEGI Gipuzkoako Azpiegituren Agentzia – Agencia Guipuzcoana de Infraestructuras S.A. y se adjuntan en el CD del proyecto.

En las siguientes imágenes se destacan los peajes para la alternativa 2 separados en dos tramos, de Eibar a Donosti y de Donosti a Behobia.

2013.01.01etik aurrera indarrean dauden bidesariak €-tan
Tarifas vigentes en € a partir del 01.01.2013

Mendebaldeko sarrera		Acceso Oeste (Bilbao)		Amorebieta	Durango	Gerdelegua	Ermuta	Eibar	Bergara I/N	Bergara H/S	Arriate - Mondragón	Eskenatza	Luko	Etxebarri-Dofa (Wierle-Gasteiz)	Eibar	Izgor	Zestoa-Zumaia	Zarautz M/O	Zarautz M/O	Donostia - San Sebastian	Zarautz M/O	Donostia - San Sebastian	
Arinak / Ligeros	0,80	2,10	2,93	3,36	4,55	5,61	6,13	6,58	7,69	10,20	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Astun.1 / Pes.1	1,94	5,11	7,12	8,17	10,66	12,38	13,48	14,15	16,84	20,39	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Astun.2 / Pes.2	5,76	16,12	22,87	26,58	34,06	41,54	44,85	46,98	55,82	68,59	72,77	75,42	77,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42

Imagen 20: Precios de los peajes de la AP-8 trayecto Bilbao – San Sebastián (Fuente: BIDEGI)

		Oiartzun	Irun M/O	Behobia
Donostia - San Sebastian E Hernani, Astigarraga, Lasarte	Arinak / Ligeros	1,09	1,51	2,12
	Astun.1 / Pes.1	1,79	2,60	3,69
	Astun.2 / Pes.2	2,07	3,08	4,41
Oiartzun	Arinak / Ligeros		1,51	2,12
	Astun.1 / Pes.1		2,60	3,69
Irun Ventas	Arinak / Ligeros			0,80
	Astun.1 / Pes.1			1,35
	Astun.2 / Pes.2			1,52

Imagen 21: Precios de los peajes de la AP-8 trayecto San Sebastián – Behobia (Fuente: BIDEGI)

El coste de los peajes depende del tipo de vehículos de carga que la atraviesen, de ahí que en cada fotografía haya dos precios marcados. El superior corresponde a vehículos ligeros y el inferior a vehículos pesados tipo 1. Para obtener un precio genérico del peaje, se decide aprovechar una detallada clasificación que será explicada más adelante en el apartado de emisiones atmosféricas, donde se divide entre furgonetas (ligeros) y camiones (pesados tipo 1), toda la flota de vehículos por carretera de España. De manera que haciendo la media ponderada entre el porcentaje de furgonetas y camiones y sus respectivos precios, se obtiene el coste medio que un vehículo híbrido debería pagar en peajes al cruzar la alternativa 2.

En la siguiente tabla se resume lo explicado anteriormente hasta obtener el precio final.

Tipo vehículo	Número	Porcentaje	Eibar-Donosti	Donosti-Behobia	Total
Furgonetas	2314595	0,4403	5,01	2,12	7,13
Camiones	2942156	0,5597	8,71	3,69	12,4

Peaje híbrido 10,08

Tabla 15: Precio del peaje para camión híbrido

Después de explicar cada uno de los costes directos empleados (combustible consumido en la alternativa y peajes), solo queda sumar ambos resultados obtenidos para tener el coste final medio por alternativa para 2013.

Se muestra la siguiente tabla a modo de resumen con todos los datos calculados para cada alternativa y el resultado final.

Alternativa	1	2
Distancia(km)	77,7	74,9
Coste del carburante medio por alternativa(€)	25,80	24,87
Peaje híbrido(€)	0,00	10,08
Coste final medio por alternativa(€)	25,80	34,95

Los datos que se utilizarán posteriormente para el método AHP serán:

Alternativa	Coste directo medio(€)
1	25,80
2	34,95

Tabla 16: Resultados finales para cada alternativa en el subcriterio coste directo

Con estos datos podemos hacernos una idea de que alternativa sería la más económica según la distancia de cada ruta, pero en este proyecto, no es suficiente para analizar los costes económicos, es por ello que se estudiará a continuación tanto la velocidad media permitida, como el desnivel en pendiente ascendente para cada alternativa, puesto que estas características de la carretera influyen de forma importante sobre el incremento de combustible.

5.1.3.2. Velocidad de las vías.

Uno de los factores más importantes que afectan al consumo de combustible de un vehículo es la velocidad. En general, el consumo depende del acelerador, que es el que regula cuanta gasolina entra en cada giro del motor. Si pisamos mucho el acelerador gastaremos más gasolina en cada uno de los giros, y por tanto nuestro consumo será mayor. De esta afirmación, se extrae la idea de que la mejor forma de reducir el consumo es llevar una velocidad constante.

Además, la relación del consumo de combustible y la velocidad es exponencial a partir de ciertos valores que dependen del tipo de vehículo. En términos generales, la necesidad de potencia para mantener un vehículo de peso medio a una velocidad de 90 Km/h es realmente escasa, sin embargo, si esta velocidad alcanza los 110 Km/h, la necesidad de potencia aumentará y más aún el consumo de combustible para un incremento realmente leve de velocidad. Es decir, lo que ocurre es que a partir de cierta velocidad, un pequeño cambio de velocidad implica un elevado consumo de combustible.

El motor de un vehículo posee un intervalo de trabajo ideal de revoluciones, de esta forma realiza un esfuerzo mínimo y optimiza el uso del combustible. Si mantenemos el motor muy por debajo del intervalo ideal, este no tendría la fuerza necesaria para mover el coche y consumirá más combustible. Una conducción eficiente requerirá la selección de la marcha que permita al motor funcionar en la parte baja de este intervalo de revoluciones de par máximo.

Para el caso de los vehículos de transporte de mercancías, existe una limitación mayor de las velocidades de circulación por las distintas carreteras, por lo que no se llega a la zona de curva exponencial. Dado que en este proyecto se fomenta la conducción eficiente y se cumple con las señales de limitación de velocidad (90km/h a lo máximo), en este intervalo de velocidades el consumo de combustible disminuye al aumentar la velocidad.

A continuación se explica cómo se ha realizado el cálculo de la velocidad media para las alternativas.

Desde la diputación de Guipúzcoa nos facilitaron los datos de velocidad máxima para camiones de cada una de las carreteras que forman ambas alternativas. Éstas eran las siguientes:

Carreteras	Velocidad máxima (km/h)
Carretera GI-636	80
Carretera GI-20	80
Carretera GI-11	80
Carretera N-I	80
AP-8	90

Tabla 17: Límite máximo de velocidad para camiones en cada vía

A partir de estas velocidades máximas, hay que buscar aquellos tramos de cada carretera que por diversas causas tienen una velocidad máxima permitida inferior a este valor. Para ello, se ha realizado un extenso y detallado seguimiento de cada una de las alternativas con la herramienta de Street View de Google Earth. En este barrido se marcó los puntos donde estaban las señales y dónde finalizaba su limitación para posteriormente calcular la distancia.



Imagen 22: Ejemplo de vista de la herramienta Street View

En las siguientes tablas se exponen para cada una de las alternativas los intervalos que se encontraron, junto con su velocidad permitida o recomendada, su longitud y una breve explicación de cuál es la causa.

Carreteras	Velocidad	Distancia(m)	Comentarios
Carretera GI-636		17235	
Excepciones	70	295	Peligro curva
	70	253	Peligro curva
	40	140	Rotonda
	60	515	Doble intersección
	60	335	Curvas peligrosas
	70	350	Curvas peligrosas
	60	300	Curvas peligrosas
	50	900	Urbano
	70	485	Fuera urbano
	50	720	Urbano
80	12942	No excepciones	
Carretera GI-20		9979	
	80	9979	No excepciones
Carretera GI-11		2523	
	80	2523	No excepciones
Carretera N-I		47990	
Excepciones	70	1000	Curvas peligrosas
	70	750	Túnel
	70	500	Curvas peligrosas
	70	245	Peligro bicicletas
	70	1000	Curvas peligrosas
	70	1000	Curvas peligrosas
	70	1000	Curvas peligrosas
	70	700	Curvas peligrosas
	80	41795	No excepciones

Tabla 18: Intervalos con sus velocidades máximas permitidas para camiones en la alternativa 1 por vías

Carretera	Velocidad (km/h)	Distancia(m)	Comentarios
AP-8		74850	
Excepciones	80	2415	-
	80	425,5	Túnel de Istiña
	80	660	Túnel de Itziar
	80	1497	Peligro curva
	80	878,5	Túnel de Meaga
	80	68	Peaje de Zarauz
	60	70	Peaje de Zarauz
	40	165	Peaje de Zarauz
	10	45	Peaje de Zarauz
	80	100	Peaje de Irún
	60	100	Peaje de Irún
	40	210	Peaje de Irún
	10	45	Peaje de Irún
	70	11,5	Cercanía aduana
	90	68159,5	No excepciones

Tabla 19: Intervalos con sus velocidades máximas permitidas para camiones en la alternativa 2 por vías

Se suman todas las distancias que tienen la misma velocidad máxima y se hace la proporción para cada velocidad sobre la distancia total de la carretera. Con estos datos se procede a hacer la media ponderada para calcular la velocidad media de cada carretera.

Carreteras	Velocidad(km/h)	Distancia Total(m)	Proporción	Vel. Media(km/h)
Carretera GI-636	80	12942	0,75	60,07
	70	1383	0,08	5,62
	60	1150	0,07	4,00
	50	1620	0,09	4,70
	40	140	0,01	0,32
		17235	1,00	74,72
Carretera GI-20	80	9979	1,00	80,00
Carretera GI-11	80	2523	1,00	80,00
Carretera N-I	80	41795	0,87	69,67
	70	6195	0,13	9,04
		47990	1,00	78,71

Tabla 20: Cálculo de la velocidad media máxima permitida para camiones de cada vía que forma la alternativa 1

Carretera	Velocidad(km/h)	Distancia Total(m)	Proporción	Vel. Media(km/h)
AP-8	90	68159,5	0,911	81,955
	80	6044	0,081	6,460
	70	11,5	0,000	0,011
	60	170	0,002	0,136
	40	375	0,005	0,200
	10	90	0,001	0,012
		74850	1,00	88,77

Tabla 21: Cálculo de la velocidad media máxima permitida para camiones de cada vía que forma la alternativa 2

Ahora, para calcular la velocidad media de la alternativa globalmente, se hace la media ponderada entre la velocidad media de cada carretera y la proporción del tramo de cada carretera utilizado sobre la distancia total de dicha alternativa. En el caso de la alternativa 2, al estar exclusivamente formada por la AP-8, la velocidad media de la alternativa coincide con la de la autopista AP-8.

Carreteras	Distancia(m)	Vel. Media(km/h)	Proporción	Vel. media(km/h)
Carretera GI-636	17235	74,72	0,22	16,57
Carretera GI-20	9979	80	0,13	10,27
Carretera GI-11	2523	80	0,03	2,60
Carretera N-I	47990	78,71	0,62	48,60
Alternativa 1	77727		1,00	78,03

Tabla 22: Cálculo de la velocidad media máxima permitida para la alternativa 1

Finalmente, se muestran las velocidades medias de cada alternativa que se utilizarán posteriormente en nuestro método AHP.

Alternativa	Velocidad media (km/h)
1	78,03
2	88,77

Tabla 23: Resultados finales para cada alternativa en el subcriterio velocidad media

5.1.3.3. Pendiente de las vías.

Cuando un vehículo de carga, se dispone a subir una pendiente, le resulta imposible mantener una relación de marchas y un régimen del motor tal que permita una conducción eficiente. Lo que prima en esos casos es que la potencia del motor sea suficiente para mantener ascendiendo el vehículo aun con velocidades bastante bajas.

Nos vamos a centrar en las pendientes ascendentes por ser las que mayor demanda de combustible requieren, pero no está de más apuntar que, lo mejor para estos vehículos es circular con pendientes próximas a cero, puesto que incluso en pendientes descendentes, las bajas velocidades que la carga obliga a mantener no son precisamente beneficiosas para el consumo de los vehículos.

Los datos para las pendientes que nos facilita la diputación de Guipúzcoa, tienen un nivel de detalle elevado, puesto que se tomaron desde un vehículo que cada 5 metros tomaba los datos in situ para cada una de las carreteras de interés. Estos datos se adjuntan en el CD del proyecto debido a su gran extensión.

Estos datos se tratan de forma que puedan ser usados, concretamente se supone la pendiente de cada punto como igual en los 5 metros que le continúan hasta la siguiente toma, para poder obtener una media ponderada de la pendiente de los tramos de la vía que son ascendentes. Se realiza para cada una de las carreteras del proyecto que pertenecen a cada una de las alternativas y se obtiene así, una media de la pendiente para cada una de ellas y el número de metros ascendentes.

Para calcular la pendiente media de cada alternativa se procede como en el caso de las velocidades, haciendo la media ponderada entre la pendiente de cada una de las carreteras que forman la alternativa y la proporción del tramo de cada carretera utilizado sobre la distancia total de la alternativa. En el caso de la alternativa 2 también coincide con la pendiente media de la AP-8

Carretera	Distancia(km)	Proporción	Pend. Media	Distancia de subida(km)	Pendiente media (%)
N-I	47,99	0,62	1,75	14,94	1,08
GI-11	2,52	0,03	4,24	1,77	0,14
GI-20	9,98	0,13	2,44	6,79	0,31
GI-636	17,24	0,22	1,88	6,54	0,42
Alternativa 1	77,73	1		30,03	1,95

Tabla 24: Cálculo de la pendiente media y la distancia de subida para la alternativa 1 y para cada vía que la forma

Carretera	Distancia(km)	Proporción	Pend. Media	Distancia de subida(km)	Pendiente media (%)
AP-8	74,85	1	2,38	32,19	2,38
Alternativa 2	74,85	1		32,19	2,38

Tabla 25: Cálculo de la pendiente media y la distancia de subida para la alternativa 2 y para la vía que la forma (AP-8)

Alternativa	Pendiente media (%)
1	1,95
2	2,38

Tabla 26: Pendientes medias para cada alternativa

Con estos datos, sería complicado comparar las alternativas, puesto que lógicamente las rutas con mayor longitud, tenderían a tener mayor número de metros ascendentes. Para subsanar este

problema, se decide obtener para cada alternativa, el número de metros totales ascendidos por cada kilómetro recorrido. Esto se consigue siguiendo los siguientes pasos:

- Se divide el valor de la pendiente de cada alternativa entre 100 para tenerlo en tanto por uno.
- Se multiplica por el número de kilómetros de subida de la alternativa, de manera que se obtienen los kilómetros de desnivel de la alternativa.
- Se divide por la distancia total de la alternativa para tener los kilómetros de desnivel de la alternativa por kilómetro.
- Se multiplica por 1000 para tener el desnivel por kilómetro de cada alternativa en metros.

Alternativa	A1	A2
Dist de subida(km)	30,03	32,19
Dist total alt(km)	77,73	74,85
Pend Media(%)	1,948	2,384
Desnivel/km	7,52	10,25

De este modo, en cada alternativa, se obtiene el desnivel medio en subida por kilómetro recorrido, algo que si nos permite hacer una comparativa fiel a la realidad.

Finalmente, se muestran el desnivel por kilómetro cada alternativa que se utilizarán posteriormente en nuestro método AHP.

Alternativa	Desnivel medio (m/km)
1	7,52
2	10,25

Tabla 27: Desnivel por kilómetro para cada alternativa

5.2. Análisis medioambiental.

En este proyecto se pretende revisar los principales problemas que plantea el modo de transporte por carretera en relación a la contaminación del medio ambiente. La contaminación continúa aumentando en muchos países desarrollados, y el sector transportes emerge como uno de los principales causantes.

En este apartado se expondrán los principales perjuicios que el transporte supone para el entorno y se analizará cómo se ha llevado a cabo el análisis de algunos de estos efectos en el estudio de las alternativas.

5.2.1. Efectos del transporte sobre el medio ambiente.

En este apartado se van a numerar y explicar de forma breve los principales efectos que el transporte produce sobre el entorno. En posteriores apartados se profundizará en los estudiados en el proyecto para cada una de las alternativas.

➤ Consumo de energía.

Los principales problemas ambientales generados por el sector transporte están ligados al consumo de combustibles (un recurso no renovable). La emisión de CO₂, con su influencia determinante sobre el efecto invernadero y el cambio climático es consecuencia directa de la combustión de hidrocarburos. La emisión de otros gases y partículas durante el funcionamiento de los motores genera, por otra parte, considerables problemas de contaminación atmosférica.

Las estadísticas de la energía suelen asignar al transporte un porcentaje muy notable de los consumos energéticos de los países desarrollados. En el año 2011 el consumo de energía por parte del transporte fue superior al 38% en España. De esta energía un 94% proviene de productos petrolíferos, especialmente gasóleo, gasolina y queroseno (aéreo) por orden de importancia. El pequeño porcentaje de energías renovables usadas corresponde a biocarburantes.

Por lo que se refiere al examen de consumo energético por modos de transporte, comparando entre sí los tres grandes modos de transporte que compiten en el interior del país se observa que el transporte por carretera acapara prácticamente la totalidad del consumo con aproximadamente un 79%, seguido de un 16% para el aéreo y algo más del 2% para el marítimo. Con respecto al tipo de energía utilizada, en el transporte por carreteras destacan el gasóleo y la gasolina como era esperable. Todos estos datos se han tomado de los informes que el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) realiza para cada año mostrando con detalle del consumo energético según sectores y fuentes energéticas.

Se muestra a continuación como se estima que será la evolución por sectores de la energía final consumida durante el intervalo de 2010 a 2020. La unidad utilizada para esta medida es ktep que equivale a 1000 tep. El tep (tonelada equivalente de petróleo) es la cantidad de energía que produciría una tonelada de petróleo al quemarse.

ktep	2010	Estr. (%)	2015	Estr. (%)	2020	Estr. (%)	% var anual 2020/10
Industria	28209	28,3	26213	25,9	25777	25,2	-0,9%
Transporte	36744	36,8	38251	37,8	38752	37,9	0,5%
Residencial, servicios y otros	28470	28,5	29944	29,6	30827	30,2	0,8%
Total usos energéticos	93423	93,6	94408	93,2	95355	93,3	0,2%
Usos no energéticos:	6416	6,4	6895	6,8	6885	6,7	0,7%
Total usos finales	99838	100,0	101273	100,0	102220	100,0	0,2%

Tabla 28: Evolución por sectores de la energía final consumida en intervalo 2010 a 2020
(Fuente: Ministerio de industria, Turismo y Comercio)

El sector del transporte, al ser el de mayor consumo de energía y el que ha registrado mayor crecimiento en la última década, viene siendo objeto de medidas y programas específicos para promover un sistema de transporte más eficiente y que preserve el medio ambiente y los recursos no renovables. Debido a ello, y a la evolución prevista de la población, se espera una moderación del crecimiento de la demanda energética del transporte.

En la próxima década, se espera que siga creciendo ligeramente el parque de automóviles hasta alcanzar valores relativos a la población similares a los de los países europeos de mayor renta. Por otra parte, el transporte por carretera seguirá siendo el modo de transporte de mayor crecimiento, seguido por el aéreo.

Los consumos específicos de los nuevos vehículos seguirán reduciéndose como consecuencia de las mejoras tecnológicas, en parte obligadas por especificaciones de protección del medio ambiente. Además, el consumo energético en el sector del transporte se reducirá por la potenciación de modos de transporte alternativos al vehículo privado para absorber la demanda de movilidad.

➤ Contribución al efecto invernadero.

Efecto invernadero es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala planetaria un efecto similar al observado en un invernadero. En el sistema solar, los planetas que presentan efecto invernadero son Venus, la Tierra y Marte.

Las actividades de transporte afectan al medio ambiente en dos aspectos principales: la emisión de CO₂, que intensifica el efecto invernadero y favorece el cambio climático, y la emisión de diversos contaminantes.

El transporte es en España como en todos los países desarrollados, uno de los principales responsables de las emisiones de CO₂. Un automóvil medio durante un recorrido de 100 km emite unos 20 kg de este gas (200 g/km). Actualmente el transporte genera aproximadamente una cuarta parte del total de las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas en España.

➤ Contaminación atmosférica.

La contaminación atmosférica se define según la Directiva 84/360/CEE, del Consejo de 28 de junio de 1984, relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales como:

"La introducción en la atmósfera, por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del hombre, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilizaciones legítimas del medio ambiente".

Todas las actividades del hombre, los procesos metabólicos de la materia viva y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en la Tierra.

Los procesos que se derivan de un aumento de la población, del desarrollo industrial, de la urbanización y del transporte, nos conducen a una creciente preocupación por las consecuencias negativas que, a través de la contaminación atmosférica, puedan tener sobre la salud de la población, los ecosistemas naturales y los bienes materiales.

➤ Contaminación acústica (ruido).

Se llama contaminación acústica (o contaminación auditiva) al exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controla adecuadamente.

Dentro del ruido ambiental generado, la principal causa en los ambientes urbanos es el tráfico rodado debido al funcionamiento de los motores, la expulsión de los gases por los tubos de escape, el traqueteo de las vibraciones de las carrocerías, el ruido de los neumáticos al contactar con el

asfalto, el zumbido de los ventiladores, los rasgones en las cajas de cambio, las frenadas apuradas...

Está demostrado que el ruido es capaz de provocar efectos dañinos en el cuerpo humano, si la exposición a este resulta prolongada.

➤ Ocupación del suelo.

Por lo que se refiere a transporte interurbano, sí se dispone de una estimación aproximada de las superficies ocupadas y afectadas por las infraestructuras de transporte en España. Existen estimaciones que indican que las infraestructuras de transporte interurbanas ocupan directamente más del 1% y afectan al potencial uso de más del 5% del territorio total del estado español.

Es importante recordar que las infraestructuras de transporte se suelen concentrar en los suelos de mayor calidad y potencialidad de usos, que es donde se concentra la población. En la geografía española estos suelos no son potencialmente abundantes.

La superficie ocupada se refiere a la extensión de suelo de dominio público sobre el que se sitúan las diversas infraestructuras, en tanto que la superficie afectada incluye los terrenos que soportan diferentes limitaciones de uso en razón a su proximidad a las infraestructuras de transporte.

Por otra parte, la incidencia de las infraestructuras de transporte sobre el territorio en general, y especialmente sobre los ecosistemas naturales no se limita al problema de la ocupación física o de la afección directa. La fragmentación de los ecosistemas que provocan las vías de transporte, especialmente las grandes infraestructuras, como autovías o líneas de alta velocidad, es un factor de degradación ecológica. Una prueba de ello es la mortalidad causada en la fauna por los atropellos en la red viaria. Según Ecologistas en Acción cerca de 10 millones de animales de 302 especies distintas mueren atropellados cada año en las carreteras españolas. Aunque perros y gatos suman el 11%, la inmensa mayoría corresponde a la fauna silvestre como sapos, gorriones, conejos, zorros, lince, lobos, corzos, puerco espines y muchos reptiles.

5.2.2. Contaminación atmosférica.

5.2.2.1. Emisiones de gases y el transporte por carretera.

Como se definió anteriormente, cualquier sustancia introducida en la atmósfera que no sea habitual en estado natural será considerada contaminante. En este apartado nos vamos a centrar en explicar las sustancias contaminantes que se emiten a la atmósfera por el tubo de escape de un vehículo de transporte por carretera al poner en marcha su motor. También se describirán los principales efectos que esta sustancia puede tener y como se trata de disminuir su emisión.

Las dos sustancias que se emiten en mayor cantidad son el vapor de agua y el dióxido de carbono, pero no se consideran en este apartado ya que no son contaminantes. Cabe destacar que este último gas sí que contribuye en gran parte al efecto invernadero.

➤ Monóxido de carbono (CO).

Es un gas incoloro, inodoro, no irritante pero sumamente tóxico. La fuente principal de emisión de monóxido de carbono son los motores de combustión interna de los vehículos, y en menor medida la actividad industrial, la calefacción habitacional y la combustión de desperdicios.

Respirar cantidades menores de este gas produce vértigo, fatiga y cefalea y en cantidades mayores evita el transporte de oxígeno a la sangre y puede producir la muerte. El síntoma común cuando se está respirando elevada cantidad de monóxido de carbono es el sueño.

Los motores diésel emanan menor cantidad de monóxido que un motor a gasolina, sin embargo, la elevada admisión de aire de los motores diésel es la responsable de la producción de éste.

Algunas soluciones para disminuir la emisión de este gas podrían ser la introducción en los vehículos de convertidores catalíticos o fomentar el uso del transporte público para disminuir el uso de vehículos particulares.

➤ Hidrocarburos (HC).

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que están formados por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H). Es un componente esencial para la gran parte de los combustibles utilizados por los vehículos.

Este compuesto se emite a la atmósfera cuando el combustible se queda sin quemar. Los hidrocarburos en el aire en concentraciones altas producen irritación de las mucosas.

Los motores diésel tienen elevada formación de hidrocarburos en el ambiente. Los motores antiguos sin controles en la inyección emanan bastante combustible sin quemar y los motores por ser de encendido por presión y no tener un medio externo para iniciar la combustión, como la chispa de la bujía de los motores de ciclo Otto (gasolina), dependen de la alta temperatura para iniciar el quemado de la mezcla, por esta razón, debe mantenerse caliente la cámara para lograr quemar bien los hidrocarburos.

➤ Óxidos de nitrógeno (NO_x).

El transporte supone aproximadamente el 40% de las emisiones totales de este tipo de contaminantes.

El NO₂ es potencialmente peligroso para el ser humano ya que causa lesiones y cambios destructivos en los pulmones. En el hombre, aparecen los efectos agudos después de una exposición a concentraciones altísimas de 500 partes por millón. Se produce edema pulmonar agudo o inflamación aguda de las vías respiratorias.

Los motores diésel son altamente productores de óxidos de nitrógeno, ya que éstos se producen en altas cantidades cuando se tienen temperaturas de combustión muy elevadas y el ciclo Diésel es más caliente que el ciclo Otto.

A medida que han avanzado los motores diésel se ha logrado controlar el consumo de combustible en ellos, y para esto han subido las temperaturas de las cámaras de combustión pero también se dispararon los índices de producción de óxidos de Nitrógeno. Para controlar éstos se introdujo la recirculación de gases de escape con la válvula EGR y de esa manera reducir la cantidad de oxígeno en la cámara, lo cual reduce su temperatura y ayuda. También se han reducido incluyendo

una inyección extra de combustible al final del tiempo de expansión para bajar la temperatura de los gases, pero aumenta el consumo.

Para controlar en forma más efectiva la producción de este contaminante se ha llegado al tratamiento posterior de los gases de escape con el sistema SCR e inyección de AdBlue, un aditivo en base de Urea.

➤ Partículas sólidas (PS).

Todas las partículas sólidas y líquidas suspendidas en el medio gaseoso y su composición química incluyendo el carbón elemental (hollín), a excepción del agua, se consideran partículas sólidas o humos negros (por el hollín). Las PS perjudiciales para el hombre son las partículas menores a 10 micras, que pueden penetrar en las vías respiratorias, lo cual tienen el potencial para producir efectos sobre la salud.

Las partículas de tamaño inferior a 2,5 micras son consideradas partículas finas y se depositan con una mayor eficiencia en las vías respiratorias inferiores. Pueden penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y llegar hasta los bronquios. Las partículas inferiores a 0.1 micras, pueden llegar a interactuar con las células alveolares, produciendo efectos de inflamación e irritación. Las partículas sólidas son las que más problemas respiratorios producen.

Los motores Diésel son los que más aportan al medio ambiente en lo que a partículas sólidas se refiere, como el hollín, que es el más evidente a simple vista como humo negro en los escapes. Este hollín (carbón), se produce por la falta de utilización del combustible quemado, es decir, el combustible se quema pero debe completar su ciclo de combustión volviéndose energía calorífica para enviar el pistón hacia abajo con la mayor fuerza posible, pero al no cumplirse bien este proceso, él sale por la válvula de escape quemado en forma de hollín.

Este fenómeno se produce bastante en los motores Diésel por la falta de homogeneidad en la mezcla del combustible, porque en el momento de hacer la inyección en la cámara se encuentran zonas con más concentración de combustible que otras, generando mejor combustión en diferentes zonas de la cámara.

➤ Azufre (S) y compuestos de azufre (SO_3 , H_2SO_4 , MSO_4).

La concentración de azufre en el combustible, ayuda bastante a la formación de partículas sólidas, pues afecta directamente a la reacción de combustión, que no es perfecta al usar combustibles de origen fósil.

Los compuestos de azufre mencionados suelen aparecer en los combustibles. La cantidad de azufre en el combustible está limitada en 50 ppm.

El azufre en la atmósfera se condensa en las nubes y es causante de la lluvia ácida sobre la superficie terrestre. Además por ejemplo el SO_2 es un gas irritante y perceptible a bajas concentraciones. Es soluble en agua y se retiene en las mucosas de la nariz.

5.2.2.2. Normativa.

Debido al alto grado de responsabilidad del transporte en el ámbito de la contaminación atmosférica, los organismos se han visto obligados a adoptar medidas que limiten la cantidad total

emitida de determinadas sustancias con el fin de reducir el aumento de contaminación generada en los últimos años. De esta forma, se explicarán las medidas introducidas según el tipo de vehículo.

➤ Vehículos ligeros

Estos vehículos son aquellos que tienen una masa menor de 3500 kg. En España se cuenta con un parque de alrededor de 22 millones de turismos y de 2,5 millones de furgonetas.

Actualmente hay dos importantes Reglamentos en materia medio ambiental relativos a este tipo de vehículos:

1. Con respecto al dióxido de carbono (CO₂): En el año 2008 se comenzó la negociación de cara a reducir las emisiones de CO₂ por parte del transporte en la Unión Europea. En 2009 se cerró el conocido como Reglamento de CO₂-turismos, en el cual, se impone una restricción a los fabricantes de cara a la reducción progresiva de las emisiones de CO₂ totales de su flota de vehículos fabricada, buscando un objetivo de 95gCO₂/km como media de la flota en 2020. El citado Reglamento 443/2009/CE incorpora también diversos sistemas de flexibilidad y fomento de la innovación. Posteriormente, en 2011 se aprobó el Reglamento de CO₂ de vehículos comerciales ligeros, el cual, restringe las emisiones de CO₂ de los vehículos industriales con masa de referencia inferior a 2610kg. En este reglamento, el objetivo a largo plazo es de 147gCO₂/km en 2020. Del mismo modo que el de turismos, el Reglamento 510/2011/CE incluye diversos mecanismos de agrupación, flexibilidad, eco-innovación y fomento de los biocarburantes.
2. Otros contaminantes: La regulación de otros contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (totales y no metánicos), los óxidos de nitrógeno (NOx) o las partículas se ha llevado a cabo en la Unión Europea mediante la legislación de diversas normativas, que finalmente se acabaron denominando normas “EURO”.

Dicho reglamento es la última evolución de las normas EURO, las cuales cuelgan de la Directiva 70/220/CE, que fue modificada en sucesivas ocasiones:

- EURO1. Antiguamente conocida como EC93. Basada en la Directiva 91/441/CE (turismos) y posteriormente la Directiva 93/59/CE (turismos y vehículos comerciales ligeros)
- EURO2. También conocida como EC96. Basada en la Directiva 94/12/CE y la Directiva 96/69/CE
- EURO3 Y EURO4. Basada en la Directiva 98/69/CE y modificada posteriormente por la Directiva 2002/80/CE
- EURO5 Y EURO6. Actualmente vigentes y normalizadas por el Reglamento 715/2007/CE

Como novedad frente a las anteriores, EURO5 introduce un nuevo límite de número de partículas emitidas además de los basados en la masa de las mismas. La finalidad de establecer este nuevo límite para el número de partículas es la de prevenir que en el futuro se desarrollen filtros que cumplan con los límites de emisión por masa pero permitan el paso de un gran número de partículas ultra finas.

La próxima norma EURO que entrará en vigor, la EURO6, impedirá la homologación de vehículos ligeros que no cumplan los requisitos de emisiones a partir del 1/09/2014, y la matriculación de los mismos a partir del 1/09/2015

➤ Vehículos pesados

Los vehículos pesados son aquellos cuya masa máxima técnicamente admisible esté por encima de los 3.500 kg equipados con motores de encendido por compresión, de gas natural o de GLP.

La legislación aplicable a estas categorías de vehículos fue originalmente introducida por la Directiva 88/77/CE, seguida por un gran número de modificaciones. En el año 2005 la legislación fue modificada de manera importante por la Directiva 2005/55/CE.

Cabe destacar que a partir de EURO VI la normativa pasará de venir impuesta por Directivas a venir impuesta por Reglamentos, los cuales no han de ser traspuestos al ámbito nacional, sino que serán de aplicación directa.

Los siguientes son algunos de los cambios de mayor importancia dados en lo que a legislación de vehículos pesados se refiere:

- EURO I: esta normativa fue introducida en el año 1992 por la Directiva 91/542/CE.
- EURO II: esta normativa fue introducida en el año 1996 por la misma Directiva que la EURO I, es decir, la Directiva 91/542/CE. Ambas normativas (EURO I y EURO II) eran aplicables tanto a motores de camión como a autobuses urbanos, sin embargo, la aplicación a los autobuses era voluntaria.
- EURO III: En 1999 la Unión Europea adoptó la Directiva 1999/96/CE que introdujo la norma EURO III (año 2000) al igual que las normas EURO IV (2005) y EURO V (2008). Esta norma también fijó límites voluntarios más estrictos para los vehículos de muy bajas emisiones conocidos como vehículos amigables con el medio ambiente.
- EURO IV y EURO V: La Directiva 2005/55/CE fue adoptada por el Parlamento Europeo que introdujo requerimientos de durabilidad y el uso de sistemas de diagnosis a bordo así como nuevos límites de emisión para la EURO IV y EURO V, límites que por otra parte fueron fijados por la Directiva 1999/96/CE. Los requerimientos técnicos en cuanto a durabilidad de componentes y OBD fueron pronunciados por la Directiva 2005/78/CE.
- EURO VI: Los nuevos límites de emisión propuestos por el Reglamento 595/2009 son comparables en severidad con la normativa americana US 2010 y se harán efectivos desde el año 2013.

Además, hay que destacar que en el año 2001 fue adoptada la Directiva 2001/27/CE que prohibía el uso de dispositivos de abatimiento y estrategias de control irracionales que redujesen la eficiencia de los sistemas de control de emisiones cuando los vehículos operasen bajo condiciones de funcionamiento normal a niveles por debajo de los determinados durante el proceso de medida de emisiones.

5.2.2.3. Programa COPERT.

En este proyecto se va a usar la versión del software COPERT 4. COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) es una herramienta de software utilizada mundialmente para calcular emisiones contaminantes del aire y de efecto invernadero del transporte por carretera (Emisia, S.A.). El desarrollo de COPERT está coordinado por la Agencia Europea de medio ambiente (AEMA), en el marco de las actividades del Centro Europeo para la contaminación del aire y la mitigación del cambio climático. El centro común de investigación de la Comisión Europea gestiona el desarrollo científico del modelo. COPERT ha sido desarrollado para la preparación de inventarios de emisión de gases del transporte de carretera, oficial en los países miembros del EEE (Espacio económico europeo). Sin embargo, es aplicable a toda la investigación pertinente, las aplicaciones científicas y académicas.

COPERT 4 es la versión oficial de COPERT desde noviembre de 2006. La versión 10.0 del software está disponible desde noviembre de 2012. Esta versión cubre las tecnologías de todos los vehículos de la Euro 6 de turismos, Euro VI para vehículos pesados y Euro 3 para motocicletas.

La metodología de COPERT 4 es parte de la Guía de inventario de emisión contaminante EMEP/EEE de aire para el cálculo de las emisiones de contaminantes de aire y está en consonancia con las directrices del IPCC de 2006 para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero. El uso de una herramienta de software para calcular las emisiones del transporte vial permite unas transparentes y uniformes, por lo tanto coherentes y comparables recogidas de datos y procedimiento de emisiones de informes, de conformidad con los requisitos de las convenciones internacionales, protocolos y legislación de la UE.

La empresa Emisia S.A., una empresa especializada en las áreas de inventarios y modelado de emisiones y en estudios de evaluación de impacto de las políticas ambientales, es la creadora de este programa.

En el siguiente cuadro se muestra todas las versiones de COPERT 4 en orden cronológico. Desde las betas anteriores a la primera oficial, que fue la versión 3.0 en Noviembre de 2006, hasta la 10.0 utilizada en este proyecto.

Versión	Fecha lanzamiento
COPERT 4 Beta Versión 1.0	Diciembre-05
COPERT 4 Beta Versión 1.4	Marzo-06
COPERT 4 Beta Versión 2.0.0	Julio-06
COPERT 4 Versión 3.0	Noviembre-06
COPERT 4 Versión 4.0	Octubre-07
COPERT 4 Versión 5.0	Diciembre-07
COPERT 4 Versión 5.1	Febrero-08
COPERT 4 Versión 6.0	Diciembre-08
COPERT 4 Versión 6.1	Febrero-09
COPERT 4 Versión 7.0	Diciembre-09
COPERT 4 Versión 7.1	Marzo-10
COPERT 4 Versión 8.0	Octubre-10
COPERT 4 Versión 8.1	Mayo-11
COPERT 4 Versión 9.0	Octubre-11
COPERT 4 Versión 9.1	Agosto-12
COPERT 4 Versión 10.0	Noviembre-12

Tabla 29: Versiones de COPERT 4

La versión 10 del software COPERT 4 cuenta con las siguientes mejoras introducidas:

- Un nuevo subsector para turismos muy pequeños de gasolina (<0,8 l) para las Euros 4, 5 y 6.
- Un nuevo subsector para turismos pequeños diésel (< 1,4 l) para las Euros 4, 5 y 6.
- Una metodología de corrección de CO₂ basada en datos de prueba para las Euro 4, 5 y 6 para turismos gasolina y diésel.
- Se han actualizado los factores de emisión de NO_x para las Euros 5 y 6 para turismos diésel.
- Se han actualizado los factores de emisión de CH₄ para turismos de gasolina.

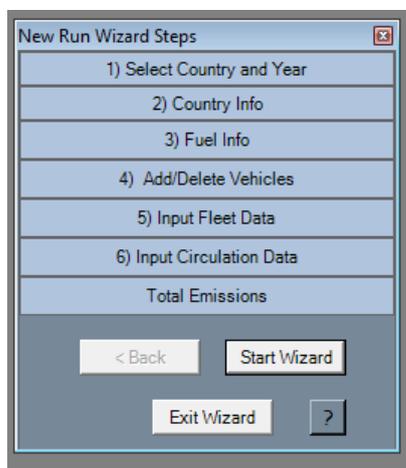
- Se ha aumentado la clasificación de motocicletas y se ha introducido un nuevo factor de emisión.
- Se ha actualizado la metodología de cálculo de las emisiones de VOC evaporados y se ha introducido un nuevo factor para la cantidad de etanol en el combustible.
- Se ha introducido un factor de emisión etanol-combustible para los vehículos.
- Se ha introducido un factor para los vehículos CNG de las Euros 4, 5 y 6.

En el siguiente apartado se explicará con detalle cual es el funcionamiento de este software. Se irá explicando paso a paso para el ejemplo de una de las alternativas del proyecto, cuáles fueron los datos de entrada necesarios y como fueron introducidos.

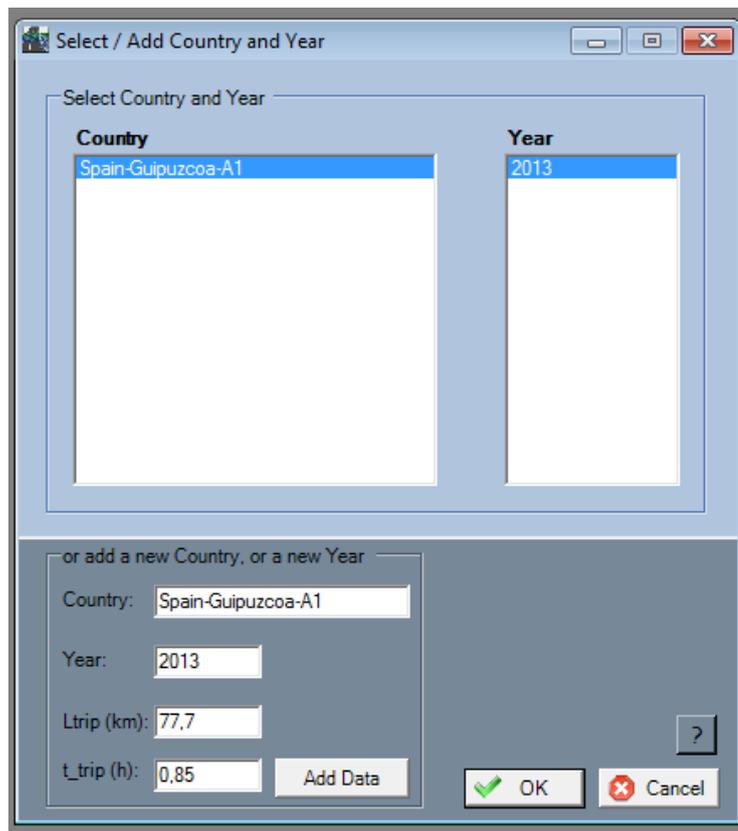
5.2.2.4. Metodología utilizada: Datos importados y resultados de COPERT.

Se utiliza la versión 10.0 de COPERT 4 para calcular la cantidad de emisiones producidas al recorrer cada una de las rutas. Se explica para la alternativa 1 como se han tratado los datos para introducir al programa y la forma de introducirlos. Para la alternativa 2 el procedimiento es similar por lo que se mostrarán en el anexo 3 al final de esta memoria los datos de entrada y en este apartado solo los resultados finales obtenidos.

Al abrir el programa se selecciona un asistente de pasos a seguir para la introducción de datos que ayuda a introducirlos de una forma más ordenada.



En el primer paso se introduce el país y el año, así como la longitud de la ruta y el tiempo necesario para recorrerla. Para este caso llamamos al país España-Guipúzcoa-A1 y el año 2013 que es el que se está analizando en el proyecto. La longitud de la alternativa 1 es de 77,7 kilómetros (ya ha sido calculado anteriormente en el apartado de selección de alternativas). Para calcular el tiempo de ruta se utilizó Google Maps que nos da una buena aproximación.



El siguiente paso nos pide introducir información sobre el país. Se deberá introducir las temperaturas mínimas y máximas, la humedad relativa y la presión de Reid para cada uno de los meses del año 2013. Estos datos requieren un tratamiento previo antes de introducirlo.

La presión de vapor Reid (Reid vapor pressure) indica la tendencia de un hidrocarburo líquido a volatizarse. Su determinación se basa en los métodos establecidos en las normas ASTM D 323 o D 5191. En la práctica RVP es la presión del vapor de la gasolina cuando la temperatura es de 100°F. Realmente, en este proyecto no sería necesario, ya que nos centramos en el combustible diésel, pero para poder aplicar las temperaturas en el coeficiente beta que usa el programa, se prefiere usar los datos reales para no falsear el mencionado coeficiente. Lo que se hace en Europa es restringir, mediante un intervalo permitido, los valores en gasolina de esta presión. Para estos datos se toma el valor medio del intervalo permitido (según sea verano o invierno) que para España, encontramos en el Anexo 1 del Real decreto RD 61-2006 del 17 de febrero de 2006, que regula este parámetro de las gasolinas (documento incluido en el CD del proyecto).

Con respecto al resto de datos, primeramente se seleccionan las estaciones meteorológicas de Guipúzcoa cercanas a cada una de las alternativas.

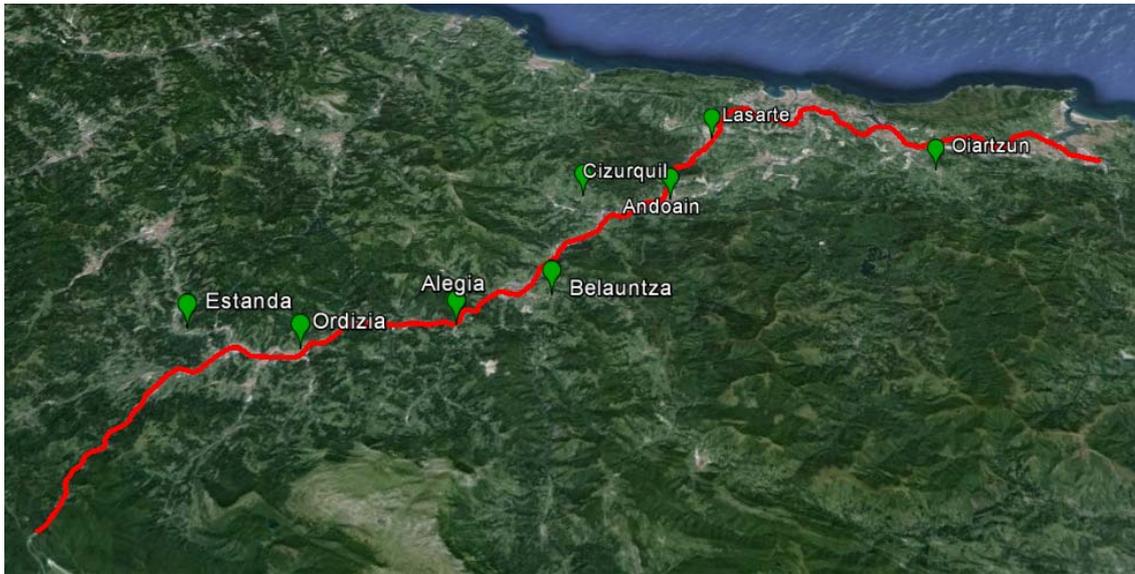


Imagen 23: Estaciones meteorológicas próximas a la ruta 1 del proyecto

Para cada una de las estaciones, se toman los datos de la página web de la agencia vasca de meteorología. Esta agencia dispone de varias estaciones meteorológicas automáticas por toda la Comunidad Autónoma del País Vasco que facilitan información de carácter climatológico y meteorológico en tiempo real.

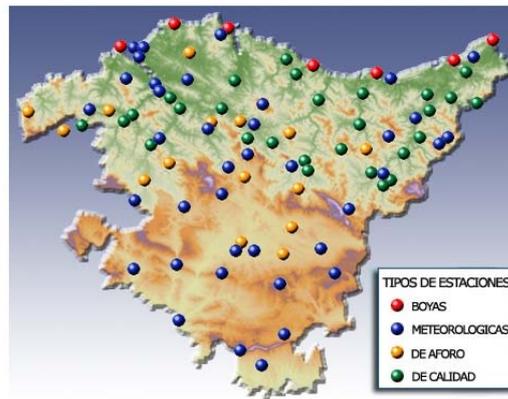


Imagen 24: Todas las estaciones meteorológicas existentes en la CAPV
(Fuente: Agencia vasca de meteorología)

Se seleccionan los datos diarios de las estaciones antes mostradas y se obtienen las medias mensuales de temperatura máxima, mínima y humedad relativa. Una vez obtenidas, se realiza la media de entre todas las estaciones de la misma alternativa y este es el dato introducido en el programa. En las siguientes tablas se muestra toda la información sobre temperaturas medias máximas, mínimas y humedad relativa respectivamente.

Mes	Oiartzun	Lasarte	Andoain	Cizurquil	Belauntza	Alegia	Ordizia	Estanda	Media alternaiva
Enero	12,8	12,5	11,6	11,7	11,3	11,9	11,3	11,4	11,8
Febreiro	11,4	10,8	10,5	10,3	10,4	10,9	9,7	9,7	10,5
Marzo	15,8	15,5	15,5	15,4	15,5	15,8	14,8	15	15,4
Abril	17,5	16,8	16,7	16,8	16,9	17,7	16,5	16,9	17,0
Mayo	16,2	15,6	15,5	15,8	15,9	16,7	15,8	16,2	16,0
Junio	20	19,5	19,7	19,9	20,6	21,4	20,8	21,3	20,4
Julio	26,9	26,3	26,7	27,2	28,6	28,9	28,6	29,7	27,9
Agosto	24,7	23,8	24,2	24,5	25,2	25,8	25,1	25,8	24,9
Septiembre	24,2	23,8	24	24,2	24,7	25,7	24,8	25,2	24,6
Octubre	22,7	22,3	22,1	22,2	21,9	24,2	21,9	22,2	22,4
Noviembre	13,9	13,3	12,7	12,8	12,6	14	12	12,3	13,0
Diciembre	14,7	14,2	13,4	13,4	11,9	14,2	12,4	12,8	13,4

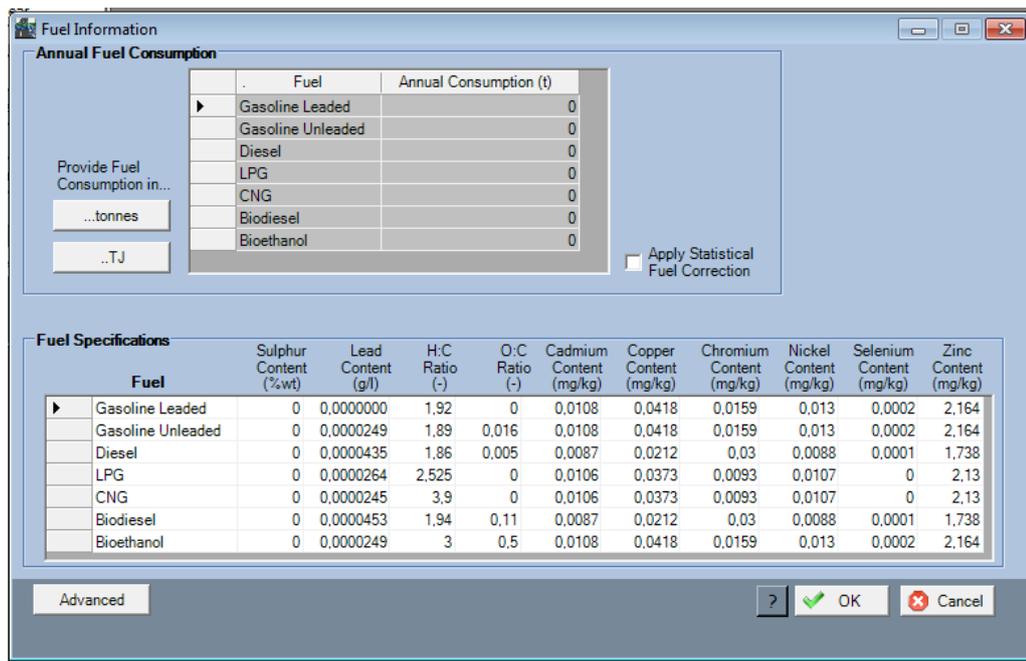
Mes	Oiartzun	Lasarte	Andoain	Cizurquil	Belauntza	Alegia	Ordizia	Estanda	Media alternaiva
Enero	4,9	5,6	4,3	5,7	4,2	4,2	3,7	3,3	4,5
Febreiro	4,2	4,3	3,4	4,2	3,3	3,2	2,9	2,8	3,5
Marzo	6,8	7,3	6,2	7,4	5,8	5,4	5,5	5,2	6,2
Abril	8,1	7,6	6,9	8,1	6,9	7	9,2	6,5	7,5
Mayo	9,4	8,8	8	9,4	8,4	8,7	8	8	8,6
Junio	13	12,2	11,3	12,6	15,2	12	11,4	11,4	12,4
Julio	18	17,4	16,5	18,1	16,9	17,4	16,4	16,5	17,2
Agosto	16,6	15,9	15,1	16,6	15,7	15,9	15,1	15,1	15,8
Septiembre	14,7	14,6	13,6	15,5	14	14,9	14,1	13,7	14,4
Octubre	12,8	12,8	11,5	13,9	12	13,3	12	11,4	12,5
Noviembre	8,1	7,7	7,2	8	7,1	11,8	6,5	6,7	7,9
Diciembre	3,6	5,7	3,6	6	2,9	4,2	3,2	2,2	3,9

Mes	Oiartzun	Lasarte	Andoain	Cizurquil	Belauntza	Alegia	Ordizia	Estanda	Media alternaiva
Enero	84,2	82,7	94,8	83,1	88,6	95	91,7	88,5	88,6
Febreiro	80,9	81,6	92,6	82,3	86,5	92,1	89,6	88,5	86,8
Marzo	70,3	69	79,4	70,6	74,2	76,8	77,3	75,9	74,2
Abril	73,9	74,9	84,4	75,2	76,9	78,4	76,3	76,7	77,1
Mayo	82,5	83,4	92,9	81,6	82,4	85,8	86,5	84	84,9
Junio	82,7	85	92,5	83,5	81,9	83	84,6	80,9	84,3
Julio	80,9	82,5	87,4	81,8	79,1	79,7	82,9	77,3	81,5
Agosto	82	83,7	88,7	82,2	81,4	81,5	85	80,3	83,1
Septiembre	82,3	82,4	87,8	79,5	81,9	80,6	81,5	77,8	81,7
Octubre	77,4	76,8	84	72,9	80,2	80	77,8	77,3	78,3
Noviembre	85,2	86,4	93,7	85,2	86,2	91,1	87,9	91,7	88,4
Diciembre	74,9	69,1	81,1	70	82,4	84,3	79,2	82,1	77,9

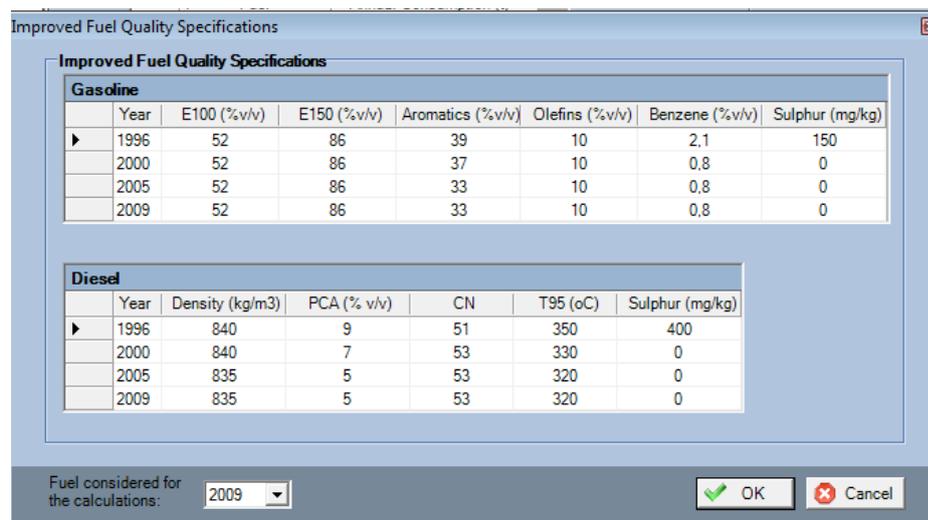
En la siguiente imagen se muestra las medias finales introducidas en COPERT

Month	Min Temp (°C)	Max Temp (°C)	RH (%)	Month	RVP (kPa)	Beta
Jan	4.50	11.80	88.60	Jan	65	-1.166
Feb	3.50	10.50	86.80	Feb	65	-1.189
Mar	6.20	15.40	74.20	Mar	65	-1.112
Apr	7.50	17.00	77.10	Apr	65	-1.083
May	8.60	16.00	84.90	May	52.5	-1.082
Jun	12.40	20.40	84.30	Jun	52.5	-0.999
Jul	17.20	27.90	81.50	Jul	52.5	-0.875
Aug	15.80	24.90	83.10	Aug	52.5	-0.920
Sep	14.40	24.60	81.70	Sep	52.5	-0.937
Oct	12.50	22.40	78.30	Oct	65	-0.978
Nov	7.90	13.00	88.40	Nov	65	-1.119
Dec	3.90	13.40	77.90	Dec	65	-1.156

En el siguiente paso se introduce la información al programa sobre el combustible. COPERT permite modificar los parámetros de información del combustible en el país o tomar los que contiene de algunos años concretos.



Dentro de avanzado, se deciden poner los datos del último año que el programa tiene introducidos por defecto, el 2009.



En el siguiente paso se seleccionan los tipos de vehículos que se usarán en el proyecto de entre todos lo que el programa tiene. Se muestra una imagen donde se han seleccionado los vehículos ligeros, ya en los pesados la clasificación es mucho mayor, debido a que se separa entre camiones rígidos y articulados y a su vez, en distintos intervalos de masa máxima autorizada (MMA) para ambos.

Add/Delete Vehicles for the 'Activity Data' forms

Show all Sectors

- Passenger Cars
- Light Commercial Vehicles
- Heavy Duty Trucks
- Buses
- Mopeds
- Motorcycles

Types of vehicles

All

COPERT's Default

User Defined

Apply this Fleet Configuration to the following years:

Select all the vehicles that you want to add to the 'Activity Data' forms.
Unselect all the vehicles that you want to delete from the 'Activity Data' forms.

Select	Sector	Subsector	Legislation Standard	Default Type	Fuel Type
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stag	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stag	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 5 - 2008 Standard	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Gasoline <3,5t	LD Euro 6	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Unleaded
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	Conventional	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stag	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stag	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input checked="" type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 5 - 2008 Standard	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input type="checkbox"/>	Light Commercial Ve	Diesel <3,5 t	LD Euro 6	<input checked="" type="checkbox"/>	Diesel
<input type="checkbox"/>	Heavy Duty Trucks	Gasoline >3,5 t	Conventional	<input checked="" type="checkbox"/>	Gasoline Leaded

El siguiente paso nos pide introducir información sobre cada tipo de vehículo seleccionado en el apartado anterior. Para estructurar bien esta información es necesario un detallado proceso de selección de vehículos.

En la web del ministerio de fomento se presenta el documento de la evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre a noviembre de 2012 (este documento se adjunta en el CD del proyecto). En este documento se presenta una primera clasificación del parque nacional de vehículos hasta el año 2011 incluido según el año de matriculación.

	TOTAL	TURISMOS	MOTOCICLETAS	AUTOBUSES	CAMIONES y furgonetas	TRACTORES INDUSTRIALES	REMOQUES Y SEMIRREMOQUES	OTROS VEHICULOS AUTOMOVILES
Antes de 1991	4.282.282	2.685.876	688.300	8.488	775.343	15.665	61.932	46.678
1991	436.107	238.849	78.008	634	101.474	1.421	8.842	6.879
1992	521.923	320.760	69.351	798	115.088	1.156	8.952	5.818
1993	425.949	291.843	35.123	663	87.259	627	6.403	4.031
1994	541.597	401.365	25.034	768	100.622	1.148	8.648	4.012
1995	552.771	400.411	23.032	1.281	109.743	2.439	10.202	5.683
1996	696.195	522.215	22.137	1.780	131.138	2.602	10.276	6.047
1997	912.561	684.725	32.211	2.405	168.216	4.227	12.856	7.921
1998	1.189.302	906.724	44.283	2.631	202.759	5.755	15.892	11.258
1999	1.509.738	1.160.729	56.257	3.295	247.981	8.271	17.904	15.301
2000	1.557.248	1.197.935	58.849	2.905	250.317	9.465	20.562	17.215
2001	1.635.348	1.275.461	55.993	3.161	249.405	10.661	20.729	19.938
2002	1.556.930	1.203.465	55.556	2.955	239.523	10.990	21.198	23.243
2003	1.725.568	1.311.070	68.838	3.018	275.705	12.367	23.398	31.172
2004	1.992.664	1.475.491	115.174	3.519	312.806	14.744	24.990	45.940
2005	2.190.319	1.521.357	210.225	4.046	358.358	17.222	25.374	53.737
2006	2.242.997	1.510.863	264.932	3.749	366.111	18.470	28.124	50.748
2007	2.210.881	1.468.979	276.299	4.108	365.504	20.949	30.075	44.967
2008	1.533.476	1.053.892	216.738	3.799	203.161	15.067	22.805	18.014
2009	1.222.036	924.090	138.133	2.946	129.503	5.534	11.431	10.399
2010	1.249.031	934.185	140.037	2.574	140.808	7.163	11.924	12.340
2011	1.084.158	786.959	123.533	2.835	129.967	10.017	13.051	17.796
TOTAL	31.269.081	22.277.244	2.798.043	62.358	5.060.791	195.960	415.568	459.117

Tabla 30: Clasificación del parque nacional de vehículos según el año de matriculación (Fuente: Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre, Ministerio de Fomento)

Se desglosa con más detalle en el documento la columna de camiones y furgonetas:

- Un primer grupo de camiones en función del año de matriculación y de la MMA.
- Un segundo grupo de furgonetas según los mismos criterios que los camiones

	TOTAL	Hasta 999 kg	De 1.000 a 1.499 kg	De 1.500 a 2.999 kg	De 3.000 a 4.999 kg	De 5.000 a 6.999 kg	De 7.000 a 9.999 kg	De 10 t y más
Antes de 1991	225.588	56.841	54.599	28.023	23.472	12.771	17.109	32.773
1991	22.435	5.290	6.640	2.593	2.321	1.202	1.743	2.646
1992	23.712	6.838	7.143	2.491	2.371	1.132	1.665	2.072
1993	17.584	7.226	4.516	1.633	1.420	743	1.001	1.045
1994	25.428	12.965	5.943	1.788	1.683	667	1.074	1.308
1995	44.387	27.695	8.164	2.477	2.087	1.013	1.464	1.467
1996	69.004	49.938	9.833	3.128	2.190	1.010	1.516	1.389
1997	101.783	75.221	13.872	4.426	2.723	1.353	2.085	2.083
1998	128.835	92.766	17.962	5.857	3.192	1.614	2.531	2.913
1999	155.620	112.689	22.063	7.381	3.698	2.093	3.471	4.225
2000	167.671	119.471	24.827	9.252	3.705	2.192	3.633	4.591
2001	162.617	116.518	22.933	8.129	3.785	2.238	3.796	5.218
2002	155.625	111.170	23.250	6.483	3.380	2.195	3.862	5.305
2003	181.311	128.442	30.556	6.437	3.458	2.167	4.037	6.214
2004	203.383	144.668	35.441	6.534	3.671	2.477	3.895	6.677
2005	232.119	169.442	37.076	7.255	3.926	2.771	4.576	7.073
2006	244.112	177.063	40.270	8.098	3.966	2.553	4.679	7.483
2007	239.723	174.195	37.285	9.078	4.059	2.821	4.776	7.509
2008	123.602	84.604	20.125	5.570	2.959	2.238	3.260	4.846
2009	80.859	59.480	12.359	3.616	1.378	1.051	1.288	1.687
2010	78.617	60.711	9.485	2.894	1.378	897	1.336	1.916
2011	64.241	51.409	6.322	1.555	1.422	834	1.172	1.527
TOTAL	2.746.196	1.844.642	450.864	134.678	82.244	48.032	73.969	111.967

Tabla 31: Clasificación de los camiones del parque nacional de vehículos según año de matriculación y MMA (Fuente: Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre)

	TOTAL	Hasta 499 kg	De 500 a 749 kg	De 750 a 999 kg	De 1 t y más
Antes de 1991	549.755	219.355	171.572	72.908	85.920
1991	79.039	22.129	38.581	8.719	9.610
1992	91.376	22.645	50.449	9.471	8.811
1993	69.675	16.763	39.652	7.579	5.681
1994	75.194	15.146	45.676	8.017	6.355
1995	65.376	11.649	40.467	6.934	6.326
1996	62.134	9.478	40.099	7.254	5.303
1997	66.453	9.669	41.389	9.823	5.572
1998	75.924	10.437	47.131	12.479	5.877
1999	92.361	12.781	56.329	15.907	7.344
2000	82.646	14.626	46.767	14.237	7.016
2001	86.788	13.181	49.268	13.612	10.727
2002	83.898	13.346	47.523	11.219	11.810
2003	94.394	15.249	49.739	14.844	14.562
2004	109.443	19.403	53.680	18.936	17.424
2005	126.239	20.882	66.534	20.918	17.905
2006	121.999	18.347	68.553	19.294	15.805
2007	125.781	19.382	64.493	19.778	22.128
2008	79.559	13.346	39.119	12.129	14.965
2009	48.644	7.143	26.166	8.217	7.118
2010	62.191	5.496	33.132	11.625	11.938
2011	65.726	5.864	33.329	10.799	15.734
TOTAL	2.314.595	516.317	1.148.648	334.699	313.931

Tabla 32: Clasificación de las furgonetas del parque nacional de vehículos según año de matriculación y MMA (Fuente: Evolución de los indicadores económicos y sociales del transporte terrestre)

Partiendo de estos datos tenemos que agruparlos de la forma como se requiere para los datos de entrada de COPERT.

Primeramente para los grupos de furgonetas y camiones por separados se agrupa según los intervalos de MMA que requiere COPERT. Para esto se siguen una serie de suposiciones que ayudan a llevar a cabo las agrupaciones.

- Para las furgonetas se supone que todas son vehículos ligeros (< 3500Kg) ya que en la realidad el número de furgonetas existentes mayor de 3500 Kg es casi despreciable (menor del 1%).
- Para el intervalo de vehículos ligeros (<3500) de camiones rígidos se incluye los intervalos del documento que van de [0,999], [1000,1499] y [1500,2999]. Entre el rango [3000,3500] no se tiene en cuenta ya que no sería lógico elegir un vehículo ligero.
- Para el intervalo de COPERT de camiones rígidos entre [3500,7500] kg se seleccionan los intervalos del documento de [3000, 4999] y [5000, 6999]. Entre el rango [7000,7500] no se tiene en cuenta por motivos parecidos al punto anterior.
- Para el intervalo de COPERT de camiones rígidos entre [7500, 12000] kg se seleccionan el intervalo del documento de [7000, 9999]. Entre el rango [10000,12000] no se tiene en cuenta por motivos parecidos a los puntos anteriores.
- En el documento el mayor intervalo que aparece es para mayores de 10000 kg. Sin embargo, para COPERT este intervalo hay que dividirlo en [12,14], [14,20], [20,26], [26,28], [28,32] y [>32] toneladas (t). Ninguno de estos intervalos tiene un peso especialmente abundante con respecto al resto, por lo que se decide dar un peso equiparable a todos los intervalos de más de 10 toneladas de COPERT.

Según estas primeras agrupaciones se tiene:

Año	LIGEROS	PESADOS								TOTAL RÍGIDOS
	<3,5t	3,5-7,5t	7,5-12 t	12-14 t	14-20 t	20-26 t	26-28 t	28-32 t	>32 t	
Antes 1991	139463	36243	17109	5462	5462	5462	5462	5462	5463	225588
1991	14523	3523	1743	441	441	441	441	441	441	22435
1992	16472	3503	1665	345	345	345	345	345	347	23712
1993	13375	2163	1001	174	174	174	174	174	175	17584
1994	20696	2350	1074	218	218	218	218	218	218	25428
1995	38336	3100	1464	244	244	244	244	244	247	44367
1996	62899	3200	1516	231	231	231	231	231	234	69004
1997	93519	4076	2085	347	347	347	347	347	348	101763
1998	116585	4806	2531	485	485	485	485	485	488	126835
1999	142133	5791	3471	704	704	704	704	704	705	155620
2000	153550	5897	3633	765	765	765	765	765	766	167671
2001	147580	6023	3796	869	869	869	869	869	873	162617
2002	140883	5575	3862	884	884	884	884	884	885	155625
2003	165435	5625	4037	1035	1035	1035	1035	1035	1039	181311
2004	186643	6148	3895	1112	1112	1112	1112	1112	1117	203363
2005	213773	6697	4576	1178	1178	1178	1178	1178	1183	232119
2006	225431	6519	4679	1247	1247	1247	1247	1247	1248	244112
2007	220558	6880	4776	1251	1251	1251	1251	1251	1254	239723
2008	110299	5197	3260	807	807	807	807	807	811	123602
2009	75455	2429	1288	281	281	281	281	281	282	80859
2010	73090	2275	1336	319	319	319	319	319	321	78617
2011	59286	2256	1172	254	254	254	254	254	257	64241
TOTAL	2429984	130276	73969	18653	18653	18653	18653	18653	18702	2746196

Tabla 33: Camiones rígidos ligeros y pesados según intervalos MMA de COPERT

(Fuente: elaboración propia)

Año	LIGEROS <3500 Kg
Antes 1991	549755
1991	79039
1992	91376
1993	69675
1994	75194
1995	65376
1996	62134
1997	66453
1998	75924
1999	92361
2000	82646
2001	86788
2002	83898
2003	94394
2004	109443
2005	126239
2006	121999
2007	125781
2008	79559
2009	48644
2010	62191
2011	65726
TOTAL	2314595

Tabla 34: Furgonetas según intervalos MMA de COPERT
(Fuente: elaboración propia)

Y a continuación se suman las furgonetas y camiones rígidos con los mismos intervalos de COPERT quedando:

Año	LIGEROS	PESADOS								TOTAL
	<3,5 t	3,5-7,5t	7,5-12 t	12-14 t	14-20 t	20-26 t	26-28 t	28-32 t	>32 t	
Antes 1991	689218	36243	17109	5462	5462	5462	5462	5462	5463	775343
1991	93562	3523	1743	441	441	441	441	441	441	101474
1992	107848	3503	1665	345	345	345	345	345	347	115088
1993	83050	2163	1001	174	174	174	174	174	175	87259
1994	95890	2350	1074	218	218	218	218	218	218	100622
1995	103712	3100	1464	244	244	244	244	244	247	109743
1996	125033	3200	1516	231	231	231	231	231	234	131138
1997	159972	4076	2085	347	347	347	347	347	348	168216
1998	192509	4806	2531	485	485	485	485	485	488	202759
1999	234494	5791	3471	704	704	704	704	704	705	247981
2000	236196	5897	3633	765	765	765	765	765	766	250317
2001	234368	6023	3796	869	869	869	869	869	873	249405
2002	224781	5575	3862	884	884	884	884	884	885	239523
2003	259829	5625	4037	1035	1035	1035	1035	1035	1039	275705
2004	296086	6148	3895	1112	1112	1112	1112	1112	1117	312806
2005	340012	6697	4576	1178	1178	1178	1178	1178	1183	358358
2006	347430	6519	4679	1247	1247	1247	1247	1247	1248	366111
2007	346339	6880	4776	1251	1251	1251	1251	1251	1254	365504
2008	189858	5197	3260	807	807	807	807	807	811	203161
2009	124099	2429	1288	281	281	281	281	281	282	129503
2010	135281	2275	1336	319	319	319	319	319	321	140808
2011	125012	2256	1172	254	254	254	254	254	257	129967
TOTAL	4744579	130276	73969	18653	18653	18653	18653	18653	18702	5060791

Tabla 35. Suma de camiones rígidos y furgonetas según intervalos MMA de COPERT (Fuente: elaboración propia)

Ahora se va a dividir los camiones articulados (siempre MMA > 14000 kg) según los intervalos que exige COPERT. En el documento aparecen los datos para los camiones articulados con el nombre de vehículos industriales. No aparece dividido en intervalos. Los intervalos en los que se debe dividir son [14, 20], [20, 28], [28, 34], [34, 40] y [40, 50] t. Se divide siguiendo las siguientes suposiciones:

- En este caso los camiones constan de un intervalo abundante que corresponde a [34,40] t, por lo que se le da un peso del 90%.
- El intervalo de más de 40 toneladas se desprecia ya que este valor es la MMA mayor permitida para circular en España.
- Para el resto de intervalos se reparte equitativamente el 10% restante.

Una vez hecha esta división nos queda:

Año	14-20 t	20-28 t	28-34 t	34-40 t	40-50 t	TOTAL
Antes 1991	522	522	522	14099	0	15665
1991	47	47	47	1280	0	1421
1992	38	38	38	1042	0	1156
1993	20	20	20	567	0	627
1994	38	38	38	1034	0	1148
1995	81	81	81	2196	0	2439
1996	86	86	86	2344	0	2602
1997	140	140	140	3807	0	4227
1998	191	191	191	5182	0	5755
1999	275	275	275	7446	0	8271
2000	315	315	315	8520	0	9465
2001	355	355	355	9596	0	10661
2002	366	366	366	9892	0	10990
2003	412	412	412	11131	0	12367
2004	491	491	491	13271	0	14744
2005	574	574	574	15500	0	17222
2006	615	615	615	16625	0	18470
2007	698	698	698	18855	0	20949
2008	502	502	502	13561	0	15067
2009	184	184	184	4982	0	5534
2010	238	238	238	6449	0	7163
2011	333	333	333	9018	0	10017
TOTAL	6521	6521	6521	176397	0	195960

Tabla 36: Camiones articulados según intervalos MMA de COPERT (Fuente: elaboración propia)

Todas las suposiciones necesarias se han seguido de un proyecto realizado años antes en el que se usaba el programa COPERT. En el proyecto se contactó con la Asociación Navarra de empresarios de transporte por carretera y logística (ANET) quienes aconsejaron seguir estas pautas para aproximarse lo más posible a la realidad de la flota de vehículos de España.

Ya tenemos las agrupaciones necesarias para introducir en COPERT con respecto a la MMA pero nos falta las agrupaciones con respecto al año de matriculación que se realizarán a continuación.

Para esta clasificación temporal COPERT tiene en cuenta las normas EURO 1,2,3,4,5,6 para los ligeros y EURO I,II,III,IV,V,VI,VII para vehículos pesados que se explicaron en el apartado anterior sobre normativa.

Los años se corresponden con las fechas de implantación de estas normas. Para estimar los años de antigüedad de los vehículos, se hace una estimación para cada subgrupo según la norma EURO que se le aplica, dándole una antigüedad media entre el intervalo de años de las normas en que se comprende, un año de antigüedad para los que tiene la norma más reciente y el año 1991 todos los que se cuentan como matriculados antes.

LIGHT DUTY VEHICLES		Años
Conventional	Antes 94	20
LD Euro 1- 93/59/ECC	94-98	18
LD Euro 2- 96/69/ECC	98-2001	15
LD Euro 3- 98/69/EC Stage 2000	2001-2006	11
LD Euro 4- 98/59/EC Stage 2005	2006-2010	6
LD Euro 5- 2008 Standars	Desde 2010	4

HEAVY DUTY VEHICLES		Años
Conventional	Antes 92	22
HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	92-96	20
HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	96-2000	16
HD Euro III- 2000 Standards	2000-2005	12
HD Euro IV- 2005 Standards	2005-2008	8
HD Euro V- 2008 Standards	Desde 2008	6

Por último necesitaremos conocer kilometraje anual de cada subgrupo de vehículos, se toman los datos del observatorio de costes de Abril de 2013 (Ministerio de Fomento) que me aporta la media estimada de kilómetros al año de algunos de los subgrupos estudiados (furgoneta, camión rígido 18 y 26t, camión articulado 40t). Tras repartir estos tipos, se ve como hay una relación bastante estrecha de aumento de kilómetros con el peso del vehículo, que hace posible dar valores aproximados al resto de subgrupos de manera sencilla.

De este modo, podemos calcular también, la distancia media recorrida por cada subgrupo desde su introducción en el mercado, multiplicando el año estimado anteriormente por el kilometraje anual que también se ha calculado, para introducir el dato requerido por el programa.

A continuación se muestran los datos totales y como se introducen en el programa tanto para ligeros como para pesados:

			Population	Annual Mileage	Mean fleet mileage
LIGHT DUTY VEHICLES					
20	Diesel< 3,5 t	Conventional	973678	50000	1000000
18	Diesel< 3,5 t	LD Euro 1- 93/59/ECC	484607	50000	900000
15	Diesel< 3,5 t	LD Euro 2- 96/69/ECC	663199	50000	750000
11	Diesel< 3,5 t	LD Euro 3- 98/69/EC Stage 2000	1015064	50000	550000
6	Diesel< 3,5 t	LD Euro 4- 98/59/EC Stage 2005	1033781	50000	300000
4	Diesel< 3,5 t	LD Euro 5- 2008 Standars	574250	50000	200000

			Population	Annual Mileage	Mean fleet mileage
HEAVY DUTY VEHICLES					
22	Rigid <=7,5t	Conventional	39766	60000	1320000
20	Rigid <=7,5t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	11116	60000	1200000
16	Rigid <=7,5t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	17873	60000	960000
12	Rigid <=7,5t	HD Euro III- 2000 Standards	29268	60000	720000
8	Rigid <=7,5t	HD Euro IV- 2005 Standards	20096	60000	480000
6	Rigid <=7,5t	HD Euro V- 2008 Standards	12157	60000	360000
HEAVY DUTY VEHICLES					
22	Rigid 7,5-12 t	Conventional	18852	70000	1540000
20	Rigid 7,5-12 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	5204	70000	1400000
16	Rigid 7,5-12 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	9603	70000	1120000
12	Rigid 7,5-12 t	HD Euro III- 2000 Standards	19223	70000	840000
8	Rigid 7,5-12 t	HD Euro IV- 2005 Standards	14031	70000	560000
6	Rigid 7,5-12 t	HD Euro V- 2008 Standards	7056	70000	420000
HEAVY DUTY VEHICLES					
22	Rigid 12-14 t	Conventional	5903	80000	1760000
20	Rigid 12-14 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	981	80000	1600000
16	Rigid 12-14 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1767	80000	1280000
12	Rigid 12-14 t	HD Euro III- 2000 Standards	4665	80000	960000
8	Rigid 12-14 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3676	80000	640000
6	Rigid 12-14 t	HD Euro V- 2008 Standards	1661	80000	480000

22	Rigid 14-20 t	Conventional	5903	90000	1980000
20	Rigid 14-20 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	981	90000	1800000
16	Rigid 14-20 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1767	90000	1440000
12	Rigid 14-20 t	HD Euro III- 2000 Standards	4665	90000	1080000
8	Rigid 14-20 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3676	90000	720000
6	Rigid 14-20 t	HD Euro V- 2008 Standards	1661	90000	540000
22	Rigid 20-26 t	Conventional	5903	95000	2090000
20	Rigid 20-26 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	981	95000	1900000
16	Rigid 20-26 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1767	95000	1520000
12	Rigid 20-26 t	HD Euro III- 2000 Standards	4665	95000	1140000
8	Rigid 20-26 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3676	95000	760000
6	Rigid 20-26 t	HD Euro V- 2008 Standards	1661	95000	570000
22	Rigid 26-28 t	Conventional	5903	95000	2090000
20	Rigid 26-28 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	981	95000	1900000
16	Rigid 26-28 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1767	95000	1520000
12	Rigid 26-28 t	HD Euro III- 2000 Standards	4665	95000	1140000
8	Rigid 26-28 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3676	95000	760000
6	Rigid 26-28 t	HD Euro V- 2008 Standards	1661	95000	570000
22	Rigid 28-32 t	Conventional	5903	100000	2200000
20	Rigid 28-32 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	981	100000	2000000
16	Rigid 28-32 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1767	100000	1600000
12	Rigid 28-32 t	HD Euro III- 2000 Standards	4665	100000	1200000
8	Rigid 28-32 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3676	100000	800000
6	Rigid 28-32 t	HD Euro V- 2008 Standards	1661	100000	600000
22	Rigid >32 t	Conventional	5904	105000	2310000
20	Rigid >32 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	987	105000	2100000
16	Rigid >32 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	1775	105000	1680000
12	Rigid >32 t	HD Euro III- 2000 Standards	4680	105000	1260000
8	Rigid >32 t	HD Euro IV- 2005 Standards	3685	105000	840000
6	Rigid >32 t	HD Euro V- 2008 Standards	1671	105000	630000
22	Articulated 14-20 t	Conventional	569	110000	2420000
20	Articulated 14-20 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	177	110000	2200000
16	Articulated 14-20 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	692	110000	1760000
12	Articulated 14-20 t	HD Euro III- 2000 Standards	1939	110000	1320000
8	Articulated 14-20 t	HD Euro IV- 2005 Standards	1887	110000	880000
6	Articulated 14-20 t	HD Euro V- 2008 Standards	1257	110000	660000
22	Articulated 20-28 t	Conventional	569	115000	2530000
20	Articulated 20-28 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	177	115000	2300000
16	Articulated 20-28 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	692	115000	1840000
12	Articulated 20-28 t	HD Euro III- 2000 Standards	1939	115000	1380000
8	Articulated 20-28 t	HD Euro IV- 2005 Standards	1887	115000	920000
6	Articulated 20-28 t	HD Euro V- 2008 Standards	1257	115000	690000
22	Articulated 28-34 t	Conventional	569	120000	2640000
20	Articulated 28-34 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	177	120000	2400000
16	Articulated 28-34 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	692	120000	1920000
12	Articulated 28-34 t	HD Euro III- 2000 Standards	1939	120000	1440000
8	Articulated 28-34 t	HD Euro IV- 2005 Standards	1887	120000	960000
6	Articulated 28-34 t	HD Euro V- 2008 Standards	1257	120000	720000
22	Articulated 34-40 t	Conventional	15379	120000	2640000
20	Articulated 34-40 t	HD Euro I- 91/542/ECC Stage I	4839	120000	2400000
16	Articulated 34-40 t	HD Euro II- 91/542/ECC Stage II	18779	120000	1920000
12	Articulated 34-40 t	HD Euro III- 2000 Standards	52410	120000	1440000
8	Articulated 34-40 t	HD Euro IV- 2005 Standards	50980	120000	960000
6	Articulated 34-40 t	HD Euro V- 2008 Standards	34010	120000	720000

Tabla 37: Datos calculados para cada tipo de vehículo y según intervalos de matriculación y MMA de COPERT

Input Fleet Data

Sector: Light Commercial Vehicles

Subsector	Legislation Standard	Population	Mileage (km/year)	Mean fleet mileage (km)
▶ Diesel <3,5 t	Conventional	973678	50000	1000000
Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	484607	50000	900000
Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	663199	50000	750000
Diesel <3,5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stage20	1015064	50000	550000
Diesel <3,5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stage20	1033781	50000	300000
Diesel <3,5 t	LD Euro 5 - 2008 Standards	574250	50000	200000

? OK Cancel

Input Fleet Data

Sector: Heavy Duty Trucks

Subsector	Legislation Standard	Population	Mileage (km/year)	Mean fleet mileage (km)
▶ Rigid <=7,5 t	Conventional	39766	60000	1320000
Rigid <=7,5 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage	11116	60000	1200000
Rigid <=7,5 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stag	17873	60000	960000
Rigid <=7,5 t	HD Euro III - 2000 Standards	29268	60000	720000
Rigid <=7,5 t	HD Euro IV - 2005 Standards	20096	60000	480000
Rigid <=7,5 t	HD Euro V - 2008 Standards	12157	60000	360000
Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	18852	70000	1540000
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage	5204	70000	1400000
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stag	9603	70000	1120000
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro III - 2000 Standards	19223	70000	840000
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro IV - 2005 Standards	14031	70000	560000
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro V - 2008 Standards	7056	70000	420000
Rigid 12 - 14 t	Conventional	5903	80000	1760000
Rigid 12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage	981	80000	1600000
Rigid 12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stag	1767	80000	1280000
Rigid 12 - 14 t	HD Euro III - 2000 Standards	4665	80000	960000
Rigid 12 - 14 t	HD Euro IV - 2005 Standards	3676	80000	640000

? OK Cancel

En el siguiente paso se piden datos sobre las carreteras de la alternativa. Exactamente el porcentaje de cada tipo de vía en la ruta, así como la velocidad media de circulación en cada uno de los tipos. Estas velocidades no coinciden con las calculadas en el apartado de velocidad por lo que se calculan a continuación.

Los tipos de vía son Highway (Autopista o autovía), Rural (carretera no urbana) y Urban (dentro de ciudad o población), de forma que se analiza el porcentaje de la alternativa que pertenece a cada tipo de vía.

De la alternativa 1 se conocen las carreteras que la forman y la distancia en que se usa cada carretera. La carretera GI-636 es de tipo rural, mientras que el resto son de tipo Highway. Conociendo las distancias de cada carretera utilizadas en la formación de la alternativa y

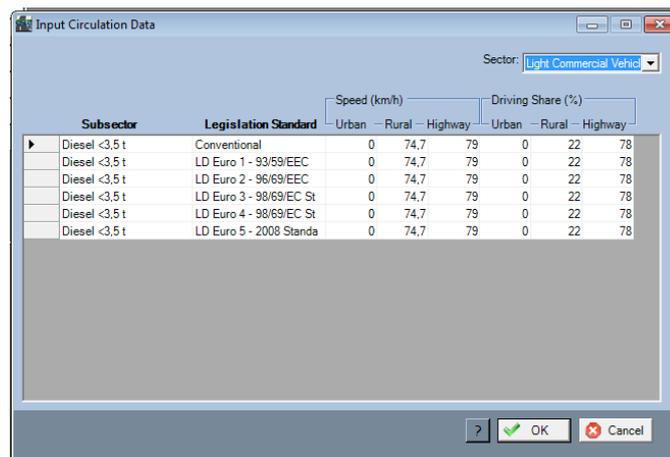
calculando los porcentajes totales según los kilómetros usados de cada una nos queda que la alternativa 1 es 22% tipo Rural y 78% tipo Highway.

Para calcular las velocidades asociadas a cada tipo de vía se hace la media ponderada entre la velocidad de cada vía y la proporción de la distancia para cada tipo. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

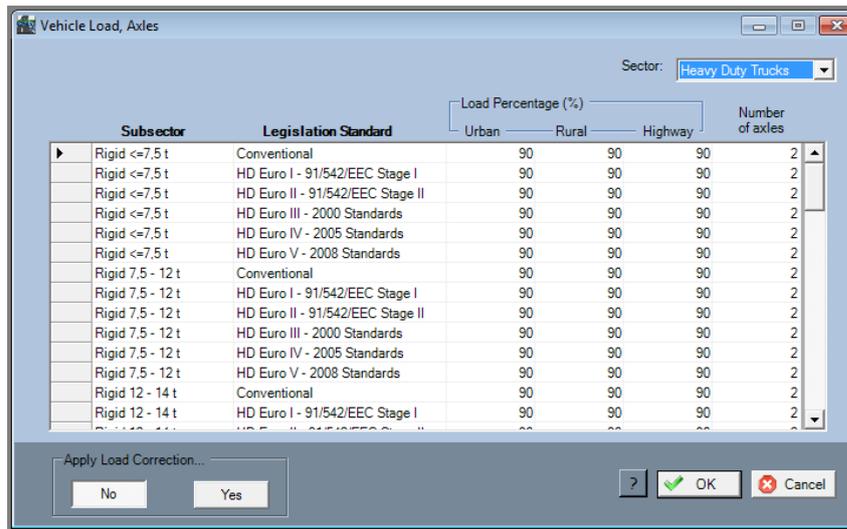
Tipo	Carretera	Distancia(m)	Vel. Media(km/h)	Proporción	Vel. Media(km/h)2
Rural	Carretera GI-636	17235	74,72	1	74,72
Urbana	Ninguna	0	0	0	0
Highway	Carretera GI-20	9979	80	0,16	13,20
	Carretera GI-11	2523	80	0,04	3,34
	Carretera N-I	47990	78,71	0,79	62,44
		60492		1	78,98

Tabla 38: Velocidad media por tipo de vía (Fuente: elaboración propia)

(En el caso de la alternativa 2 toda la carretera que la compone es la AP-8 por lo que la velocidad coincidirá con la velocidad media de esta autopista ya calculada en el apartado de velocidades). A continuación se muestra como se introduce estos datos en la ventana del programa para ambos tipos de vehículos.



El siguiente paso de la lista es ya calcular las emisiones, pero antes de esto vamos a introducir otros datos conocidos que apartarán mayor realidad a los resultados finales obtenidos. De este modo, los primeros datos opcionales que se introducen son los correspondientes a porcentaje de carga por tipo de vía y el número de ejes por tipo de vehículo. El porcentaje de carga introducido es del 90% ya que el sentido de la alternativa es hacia Francia y sería poco lógico que los vehículos no estuviesen totalmente cargados o que dejaran la carga antes de atravesar los Pirineos. El número de ejes de los vehículos (pesados), que en un principio se pueden modificar, se decide mantener el que el programa estima por defecto según pesos, debido a que sería complicado hacer una clasificación mejor con los datos de los que se disponen.



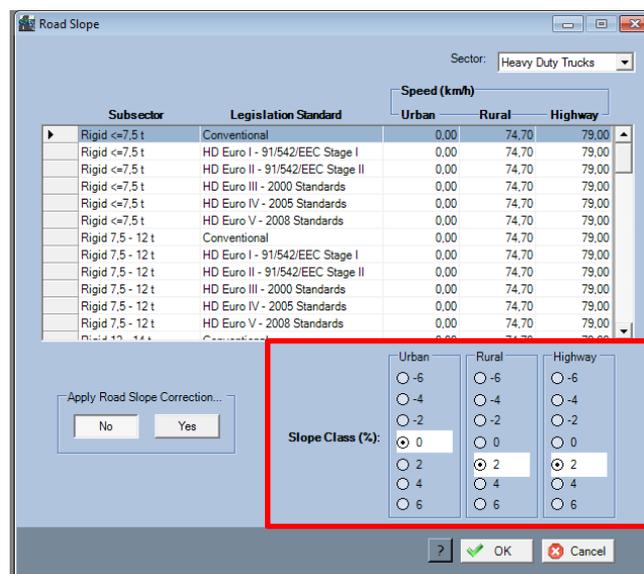
Los siguientes datos que se introducen es la pendiente media por tipo de vía (highway, rural y urban). Al igual que pasaba con las velocidades, estas no coinciden con las pendientes medias calculadas en el apartado de las pendientes (excepto en el caso de la alternativa 2 que esta formado por una única vía).

Se calculan haciendo la media ponderada entre la pendiente media de cada vía y la proporción de la distancia para cada tipo. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tipo	Carretera	Distancia(m)	Pend. Media	Proporción	Pend. Media
Rural	Carretera GI-636	17235	1,88	1	1,88
Urbana	Ninguna	0	0	0	0,00
Highway	Carretera GI-20	9979	2,44	0,16	0,40
	Carretera GI-11	2523	4,22	0,04	0,18
	Carretera N-I	47990	1,75	0,79	1,39
Total		60492		1	1,97

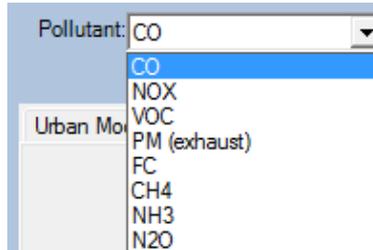
Tabla 39: Pendiente media por tipo de vía (Fuente: elaboración propia)

Una vez calculadas las medias exactas según el tipo de vía, se redondean para introducir en el programa de forma que queda 2% para highway y rural.



Se validan varios parámetros calculados por el propio programa, pero que no requieren introducción de datos adicionales por parte del usuario. Estos parámetros calculan características de los vehículos con norma aplicable Euro V como la parte de NO₂ (dióxido de nitrógeno) contenida en los NO_x (óxidos de nitrógeno), la fracción de carbón existente en las partículas sólidas emitidas en el escape y los parámetros del coeficiente beta para el factor de reducción (en monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles).

El apartado de los parámetros del factor de emisiones en caliente si requiere la introducción de datos por parte del usuario. Se debe introducir los límites máximos y mínimos de velocidad para cada tipo de vía, y estos para una gran cantidad de compuestos contaminantes.



En las siguientes imágenes se muestra para cada tipo de vía como se introdujo sus límites de velocidad para el caso de vehículos ligeros (en orden rural, urban y highway mode).

Hot Emission Factors Parameters

Pollutant: CO

Speed Range: 1 2 3

Sector: Light Commercial Vehicle

Urban Mode

Subsector	Legislation Standard	Speed Limits (km/h)		Coefficients								Include Speed Limit						
		Low	Top	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Ita	Thita	RF	Low	Top				
► Diesel <3.5 t	Conventional	35	70	0.0002	-0.0256	1.8281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	35	70	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	35	70	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC St	35	70	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC St	35	70	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 5 - 2008 Standa	35	70	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0

Hot Emission Factors Parameters

Pollutant: CO

Speed Range: 1 2 3

Sector: Light Commercial Vehicle

Urban Mode | Rural Mode | Highway Mode

Subsector	Legislation Standard	Speed Limits (km/h)		Coefficients								Include Speed Limit						
		Low	Top	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Ita	Thita	RF	Low	Top				
► Diesel <3.5 t	Conventional	25	50	0.0002	-0.0256	1.8281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	25	50	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	25	50	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC St	25	50	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC St	25	50	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 5 - 2008 Standa	25	50	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0

Hot Emission Factors Parameters

Pollutant: CO

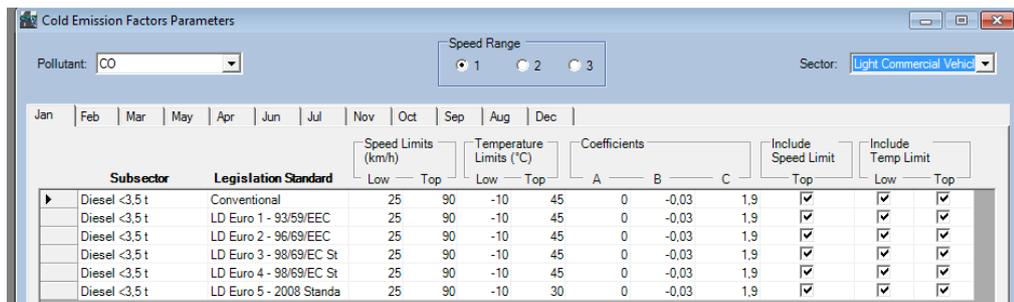
Speed Range: 1 2 3

Sector: Light Commercial Vehicle

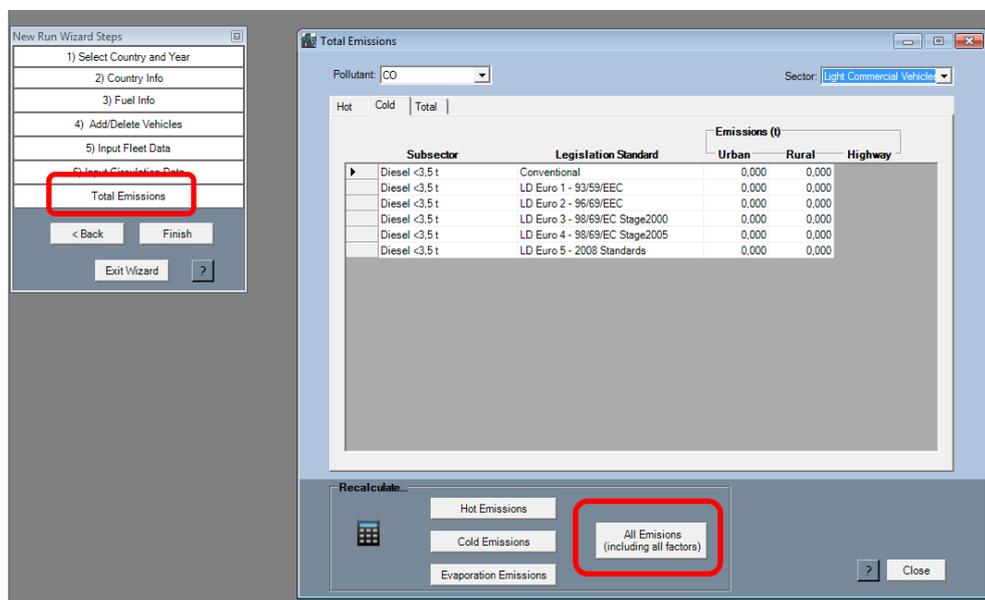
Urban Mode | Rural Mode | Highway Mode

Subsector	Legislation Standard	Speed Limits (km/h)		Coefficients								Include Speed Limit						
		Low	Top	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Zeta	Ita	Thita	RF	Low	Top				
► Diesel <3.5 t	Conventional	60	90	0.0002	-0.0256	1.8281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	60	90	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	60	90	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC St	60	90	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC St	60	90	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0
Diesel <3.5 t	LD Euro 5 - 2008 Standa	60	90	0.000223	-0.026	1.076	0	0	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0

A continuación, los parámetros del factor de emisiones en frío, requieren la introducción de los límites mínimos y máximos absolutos de velocidad (mínimo menor y máximo mayor) que se dan en el conjunto de los tres tipos de vías y los límites mínimos y máximos de temperatura en España, todos estos para cada mes del año y para varios compuestos contaminantes (CO, NO_x, VOC, PM, FC).



Una vez introducidos todos los datos posibles, se vuelve al último paso del asistente de pasos que ofrece el programa y se selecciona que realice todos los cálculos con el botón correspondiente a todas las emisiones incluyendo todos los factores.



En la siguiente imagen se ve como aparecen los datos una vez han sido calculados por el programa. Se muestra para el CO (monóxido de carbono), pero abriendo la pestaña se pueden ver los resultados para muchos otros compuestos.

Total Emissions

Pollutant: CO Sector: Heavy Duty Trucks

Hot Cold Total

Emissions (t)

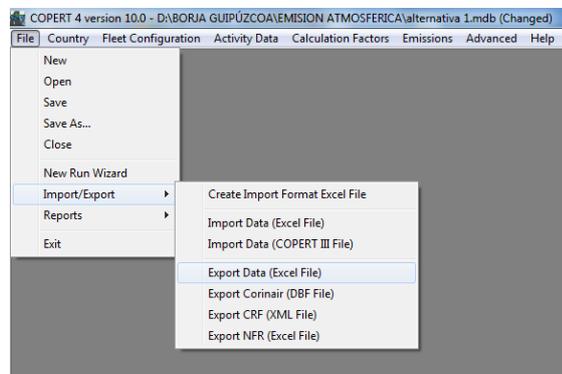
Subsector	Legislation Standard	Emissions (t)		
		Urban	Rural	Highway
Rigid <=7,5 t	Conventional	0,000	743,294	2587,855
Rigid <=7,5 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0,000	79,817	289,918
Rigid <=7,5 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0,000	111,677	395,601
Rigid <=7,5 t	HD Euro III - 2000 Standards	0,000	183,838	637,821
Rigid <=7,5 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0,000	68,698	242,627
Rigid <=7,5 t	HD Euro V - 2008 Standards	0,000	83,621	296,328
Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	0,000	463,624	1615,758
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0,000	63,647	223,694
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0,000	108,841	385,374
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro III - 2000 Standards	0,000	223,339	787,390
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0,000	82,085	284,443
Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro V - 2008 Standards	0,000	80,137	281,160
Rigid 12 - 14 t	Conventional	0,000	183,951	641,697
Rigid 12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	0,000	15,479	54,435
Rigid 12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	0,000	25,709	90,978
Rigid 12 - 14 t	HD Euro III - 2000 Standards	0,000	70,534	248,806
Rigid 12 - 14 t	HD Euro IV - 2005 Standards	0,000	26,930	94,235
Rigid 12 - 14 t	HD Euro V - 2008 Standards	0,000	23,011	80,267

Recalculate...

Hot Emissions Cold Emissions Evaporation Emissions All Emissions (including all factors)

Close

La cantidad de información que aporta el programa es inmensa, a pesar de que se puede escoger la que interesa y la que no. En el caso de este proyecto se decide exportar todos los datos a excel para posteriormente puedan ser tratados como se desee.



Se va a mostrar una pequeña muestra de como exporta los datos COPERT ya que aparecen resultados para 55 sustancias diferentes. Los resultados para cada alternativa se entregan en el CD del proyecto.

	A	B	C	D	E	F
1	Sector	Subsector	Technology	2013		
2	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	Conventional	4612,03		
3	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC	2295,44		
4	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC	3141,38		
5	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stage2000	3135,56		
6	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stage2005	1206,89		
7	Light Commercial Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 5 - 2008 Standards	670,41		
8	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	Conventional	1510,77		
9	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	94,87		
10	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	100,16		
11	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro III - 2000 Standards	143,45		
12	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro IV - 2005 Standards	20,09		
13	Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro V - 2008 Standards	6,81		
14	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	647,29		
15	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	82,32		
16	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	100,18		
17	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro III - 2000 Standards	172,05		
18	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro IV - 2005 Standards	21,75		
19	Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro V - 2008 Standards	6,47		
20	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	Conventional	262,02		
21	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	19,49		
22	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II	23,00		
23	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro III - 2000 Standards	52,91		
24	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro IV - 2005 Standards	7,01		
25	Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro V - 2008 Standards	1,89		
26	Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	Conventional	444,27		
27	Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I	31,21		

Ahora se debe seleccionar de las 55 sustancias de las que nos ofrece datos de emisión el programa COPERT, las más importantes o representativas para la emisión del transporte de mercancías a la atmósfera. Se decide que los más importantes y, por tanto, los que se van a tener en cuenta en el proyecto serán: CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), Partículas sólidas (PM₁₀ y PM_{2,5}), COV (Compuestos orgánicos volátiles que acaparan hidrocarburos, benceno y la proliferación de ozono) y CO₂ (Dióxido de carbono), este último no por ser tomado como contaminante, sino por su influencia en el deterioro de la capa de ozono e importancia en el efecto invernadero.

Se aprovecha el hecho de que todos estos contaminantes se expresan en toneladas, y nos dan la posibilidad de ser sumados.

La suma total de los contaminantes tenidos en cuenta, nos da la cantidad de contaminantes que toda la flota de vehículos española tenida en cuenta en el proyecto generaría al recorrer completamente cada una de las alternativas durante el año 2013. Para hacer una comparativa más realista y que no se vea influida por las distintas distancias de cada alternativa, se decide dividir las toneladas de contaminantes totales entre los kilómetros de cada alternativa. De esta forma, se obtiene la cantidad de contaminantes que toda la flota de vehículos española tenida en cuenta en el proyecto, generaría por kilómetro en cada alternativa en el año 2013.

Este resultado ya es comparable, pero se decide dividir entre el número total de vehículos utilizados (5256751) para que el número que se lleve a los métodos AHP posteriores no sea tan farragoso. De este modo, se obtiene un ranking de lo que contamina por kilómetro un vehículo híbrido (medio de la flota nacional) atravesando cada alternativa, a lo largo del año 2013.

Todos estos pasos se muestran uno por uno en la siguiente tabla:

	A1	A2
Distancia(Km)	77,73	74,85
CO	162450,56	185607,3
COV	25102,52	24534,3
NOx	430902,46	467274,65
PM	26947,34	30676,99
CO2	76131535,98	85987540,25
Total(t)	76776938,86	86695633,49
Total(t/Km)	987738,82	1158258,30
Total(t/Km)/vehículo	0,188	0,220

De modo que los datos finales para utilizar más adelante nos quedan:

Alternativa	Contaminantes(t/km y vehículo)
1	0,188
2	0,220

5.2.3. Contaminación acústica.

5.2.3.1. Definición y conceptos básicos.

El ruido puede definirse como “un sonido no deseado”. En su sentido físico el ruido es un sonido y son las circunstancias subjetivas de los receptores las que determinan la calificación de ruido.

Desde el punto de vista físico, el sonido, y por lo tanto el ruido, es una vibración del medio, una onda mecánica que se genera y propaga a través de un medio elástico con una intensidad y frecuencia determinada, provocando una vibración acústica capaz de producir una sensación auditiva. La intensidad del sonido corresponde a la amplitud de la vibración acústica, la cual es medida en decibelios (dB).

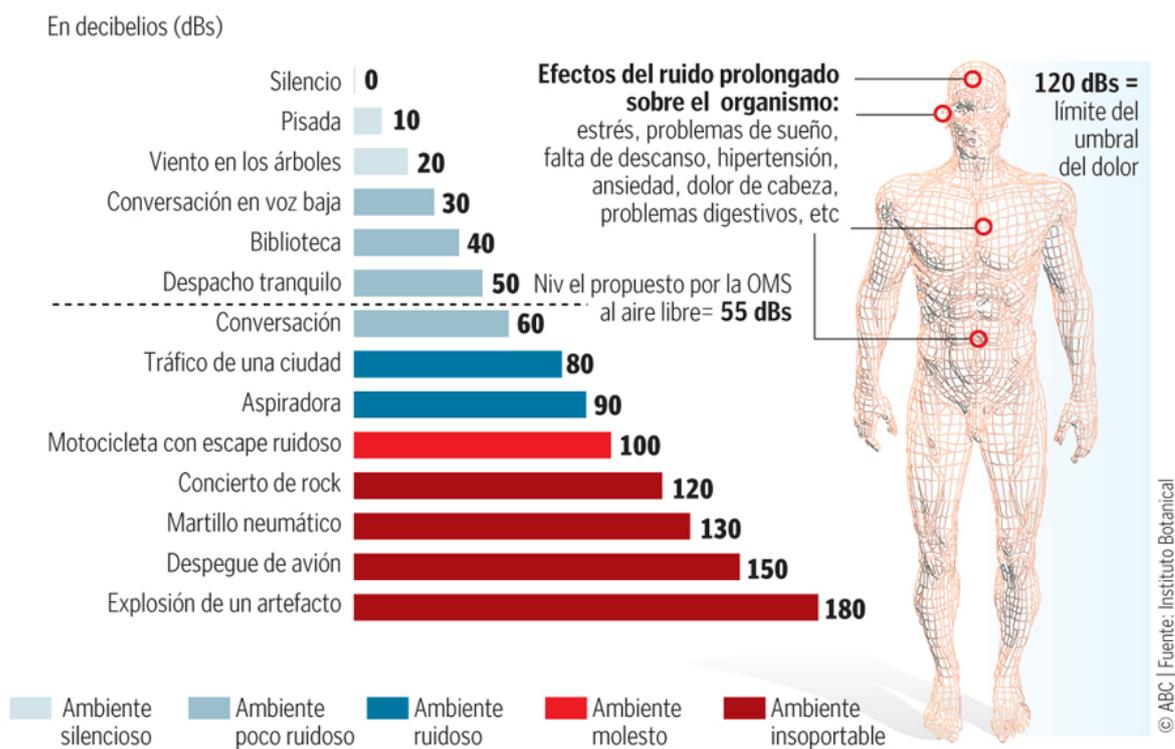


Tabla 40: Ejemplos de sonidos con su nivel de dB y efectos (Fuente: Instituto Botanical)

La Resolución del Consejo de las Comunidades Europeas de 17 de mayo de 1977 define el ruido como “un conjunto de sonidos que adquieren para el hombre un carácter afectivo desagradable más o menos inadmisibles a causa sobre todo de las molestias, la fatiga, la perturbación y en su caso el dolor que produce”.

El ruido en definitiva es una mezcla compleja de sonidos con frecuencias fundamentales diferentes. En un sentido amplio puede considerarse ruido cualquier sonido que interfiere en alguna actividad humana.

El contenido subjetivo de la molestia ha frenado el desarrollo de una teoría general frente al ruido que pudiera aplicarse universalmente a cualquier situación de diseño, por lo que en cualquier elaboración de normativa se deberá tener en cuenta tanto la presión sonora como el receptor.

Normalmente soportamos mejor los ruidos de nivel continuo, frente a aquellos que sufren alteraciones de nivel u otras alteraciones físicas (cambio de frecuencias), que normalmente suelen ser más molestos.

Se considera ruido ambiental el producido por los focos de ruido presentes en el medio exterior o aquéllos que inciden en receptores sensibles al ruido debido a una propagación del sonido por el medio exterior. Desde este punto de vista los principales focos de ruido son las infraestructuras del transporte, la industria y el medio urbano. Además existen otros focos menos relevantes por su incidencia o su reciente aparición.

La molestia que originan estos focos es función de diferentes factores:

- Tipo de foco
- Situación nueva o existente
- Niveles de ruido en el entorno
- Sensibilidad al ruido de los receptores (usos del suelo)

- Características del ruido
- Periodo del día en el que se produce (día, noche, ...)
- Días laborables o festivos
- Otros

Los focos de ruido ambiental, transporte e instalaciones industriales, son cada vez fuente de mayores quejas, que en principio se deben resolver estableciendo criterios únicos para su valoración, evitando los frecuentes problemas de numerosos valores para caracterizar una misma instalación o foco. A esta problemática se debería añadir la de la calidad acústica en la edificación, que resuelva las crecientes quejas de la población sobre los problemas propios de los edificios (falta de aislamiento, ruido de instalaciones...).

Ámbito	Foco de ruido
Transporte	Carreteras, ferrocarriles y aeropuertos
Industria	Plantas industriales y máquinas
Medio urbano	Tráfico, talleres, zonas de ocio nocturno, obras y aparcamientos
Otros	Fiestas y festivales, zonas comerciales y vehículos de motor para deporte/ocio (karts, motos, motos de agua, ultraligeros...)

Tabla 41: Focos de ruido (Fuente: Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco)

El ruido puede producir efectos de diferentes tipos:

- Efectos fisiológicos (deterioro de la audición).
- Efectos psicológicos (interferencias en la comunicación, así como en el descanso y en el sueño).
- Efectos en el trabajo.
- Efectos subjetivos (molestias e irritación).
- Efectos directos sobre la salud.

Las soluciones de control del ruido se pueden establecer en los siguientes apartados:

- Planeamiento
- Emisión
- Propagación
- Inmisión

Sin duda el primero es un pilar básico para el control del ruido ambiental, ya que como se ha comentado el establecimiento de límites admisibles se plantea en función de usos del suelo. Por este motivo, la introducción del concepto ruido en la elaboración de los planes de ordenación del suelo es básica.

Los otros tres puntos plantean el orden de preferencia en las actuaciones a establecer para reducir los niveles de ruido de cualquier foco. La actuación en la emisión es preferente, ya que el beneficio es general al actuar en la generación del problema. Las posibles soluciones en este apartado estarán directamente ligadas al tipo de foco, ya que tratarán de atenuar la emisión actuando sobre el proceso por el que se genera el ruido: máquinas menos ruidosas, encapsulamientos, silenciosos, reducción de velocidad en vehículos, uso de pavimentos menos ruidosos, etc.

La actuación en la propagación se refiere en general a la colocación de obstáculos que dificulten la propagación del ruido en la dirección en la que existen receptores sensibles afectados por niveles elevados. Son las soluciones de barreras o pantallas acústicas. Otras soluciones se podrían introducir también en este apartado, como el diseño y acondicionamiento de determinadas zonas urbanas para mejorar su calidad acústica.

Por último, la protección en la inmisión es menos eficaz, ya que consiste en el aumento del aislamiento de las fachadas de los edificios afectados, que sólo protegen al local en el que se efectúa la mejora y sólo cuando las ventanas están cerradas.

La selección de la solución más apropiada en cada caso puede estar además condicionada por otro tipo de factores, que también deberán ser tenidos en cuenta: funcionamiento del foco, coste, estética, población protegida, etc.

5.2.3.2. Normativa.

A nivel nacional, en el año 2003 se aprobó la Ley del Ruido que tiene como objetivo prevenir, vigilar y reducir los niveles de contaminación acústica, para evitar molestias y daños a la salud y al medioambiente, y garantizar así los derechos constitucionales en relación con la emisión de ruidos molestos.

Esta ley se desarrolla mediante los Reales Decretos:

- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Con respecto a la Comunidad Autónoma Vasca, se elaboró la LEY 3/1998, de 27 de febrero, general de protección del medio ambiente del País Vasco.

Desarrollada mediante el Real Decreto 213/2012, de 16 de octubre, de contaminación acústica de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Los primeros requisitos armonizados europeos sobre el ruido de los vehículos de carretera se introdujeron en 1970 con la Directiva 70/157/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre el nivel sonoro admisible y el dispositivo de escape de los vehículos a motor. La misma se ha modificado varias veces posteriormente para revisar y hacer más estrictos los límites de ruido homologados como parte del marco europeo de homologación de los vehículos de motor.

A escala internacional, el Foro Mundial para la Armonización de las Reglamentaciones aplicables a Vehículos en la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) ha elaborado el Reglamento nº 51 sobre las emisiones sonoras de los vehículos de carretera, que se considera equivalente a la Directiva 70/157/CEE.

Tipo de vehículo de motor	Límite (dB(A))
Vehículos destinados al transporte de personas y con nueve asientos como máximo incluido el asiento del conductor.	74
Vehículos destinados al transporte de personas, con más de nueve asientos incluido el asiento del conductor, una masa máxima autorizada de más de 3,5 toneladas y: - una potencia del motor inferior a 150 kW. - una potencia del motor de 150 Kw. o más.	78 80
Vehículos destinados al transporte de personas con más de nueve asientos incluido el asiento del conductor, y vehículos destinados al transporte de mercancías: - con una masa máxima autorizada que no supere las dos toneladas. - con una masa máxima autorizada de entre 2 y 3,5 toneladas.	76 77
Vehículos destinados al transporte de mercancías, con una masa máxima autorizada superior a 3,5 toneladas y: - potencia del motor inferior a 75 kW. - potencia del motor de 75 Kw. o más, hasta 150 kW. - potencia del motor de 150 Kw. o más.	77 78 80

Tabla 42: Niveles de ruido vigentes en la UE

No obstante, pese a que los límites de ruido homologados se han vuelto más estrictos año tras año, no se ha introducido ninguna mejora en lo relativo a la exposición global al ruido generado por los vehículos de carretera. El crecimiento y la expansión del tráfico en el espacio y en el tiempo, y el desarrollo de las actividades de ocio y turismo han anulado parcialmente los efectos de los avances tecnológicos.

5.2.3.3. Modelos de dispersión de ruido.

- Modelo de dispersión de Foldy (1945): Se basa principalmente, en la distribución aleatoria de dispersores. Este investigador utilizó los valores promedios de los parámetros relacionados con la dispersión, donde los promedios se tomaron de un conjunto de posibles configuraciones de los dispersores.
- Modelo de dispersión múltiple de Embleton (1966): Se estudia la dispersión de ondas planas producidas por un conjunto de cilindros de longitud infinita colocados aleatoriamente, en función de las características de los cilindros, sus diámetros y sus impedancias de superficie.
- Modelo de dispersión Bullen y Fricke (1982): Este modelo estudia la atenuación del sonido debido a la dispersión en un cinturón de vegetación, suponiendo que los rayos sonoros son desviados uniformemente en todas las direcciones verticales.
- Modelo de dispersión Leschnik (1980): Este modelo estudia la dispersión producida por edificios, árboles, paredes, etc., idealizando como un modelo de tres dimensiones al que se aplica la técnica de Monte Carlo², obteniéndose el resultado como una solución aproximada que puede ser obtenida por técnicas de interpolación.

Si consideremos el modelo de Embleton, la emisión del ruido es a lo largo de un eje, y en este caso el área del cilindro es proporcional con la distancia, y por eso la disminución del nivel de ruido es de 3 dB doblando la distancia.

Si consideramos un receptor cercano de la carretera, el nivel de ruido que recibe dependerá casi exclusivamente del vehículo que circula en frente suya, dado que el resto están relativamente lejanos. Este sería el caso de un vehículo pasando solo por la carretera. Por tanto, un receptor cercano a la carretera se verá afectado por un nivel de ruido fluctuante entre el máximo y el mínimo. Si el receptor se aleja de la carretera, el resto de vehículos empieza a jugar un papel importante, ya que las distancias entre el receptor y las diferentes fuentes emisoras son comparables.

Es por eso que se realizan las medidas de lo que se conoce como nivel sonoro equivalente que se define de la siguiente manera (T = tiempo promedio):

$$L_{eq} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T p_A^2(t) dt} \right) / p_{ref}^2 \right]$$

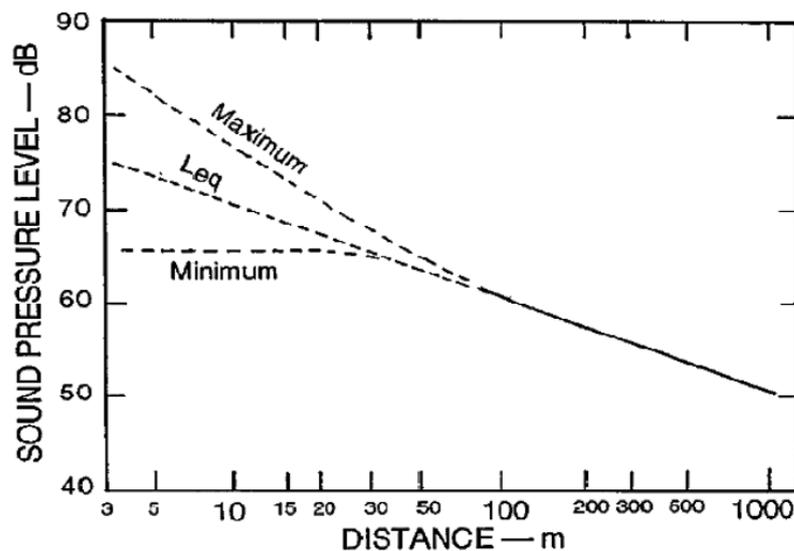


Imagen 25: Atenuación del ruido con la distancia (Fuente: Embleton, 1996)

5.2.3.4. Aspectos utilizados para su estudio.

5.2.3.4.1. Informe de Acústica Arquitectónica Ingenieros SA.

Primeramente se analizan los datos encargados por el grupo de trabajo con el que colaboró la Universidad Pública de Navarra, a la empresa Acústica Arquitectónica Ingenieros SA. Esta empresa realiza mediciones del ruido in situ por diferentes poblaciones que son atravesadas por las alternativas de estudio en este proyecto. También realiza mediciones en la misma población pero a distinta distancia de la vía.

La evaluación del nivel de ruido provocado por las vías a estudio, se ha realizado mediante un muestreo de puntos de medición que sean representativos de las posibles situaciones que se pueden dar a lo largo del recorrido de las mismas. Según la legislación vigente, las zonas de uso hospitalario, docente, religioso o residencial, son las más sensibles a la afección por ruido y en las que menor nivel sonoro se permite. De manera que los puntos de medición se han colocado de manera mayoritaria en las zonas residenciales de las diferentes localidades por las que transcurren las vías a estudio.

De igual manera, se ha realizado el estudio del nivel sonoro en diferentes puntos con y sin visión directa de la vía a estudio, con el fin de evaluar el efecto del apantallamiento de los edificios, viviendas y pantallas (pantallas acústicas, caballones de tierra, orografía irregular...) próximas al punto de medida.

Se recogen anotaciones de todas las incidencias, ruido de campanas, ladridos de perros, ruidos de actividad humana, ocurridas durante el periodo de medida, con el fin de poder luego determinar el nivel sonoro que es recogido exclusivamente por la actividad de la vía a estudio y poder separarlo del ruido generado por las incidencias.

Una vez realizada la medición en los diferentes puntos, se utiliza el software dBTrait para el post-proceso de la señal y obtener el nivel sonoro equivalente de cada uno de los puntos.

Junto con el valor del nivel sonoro equivalente recogido en el punto, se obtiene también el espectro de frecuencias en tercios de octava de la medición. De esta manera, se puede caracterizar de forma adecuada el nivel sonoro generado por la vía de estudio.

En definitiva, el estudio nos da una longitud de onda equivalente, L_{eq} , que nos da una visión sobre el nivel acústico soportado en cada uno de los puntos. (El estudio completo se adjunta en el CD del proyecto).

5.2.3.4.2. Estimación de las personas afectadas

5.2.3.4.2.1. SIG utilizado: gvSIG.

Para este proyecto se ha utilizado en su totalidad la plataforma gvSIG, debido a tres aspectos fundamentales. En primer lugar, porque es un software con una potencialidad vectorial mucho mayor a la potencialidad raster. En segundo lugar por su gratuidad, ya que el precio que alcanzan algunos softwares es bastante elevado. En tercer lugar porque podría ser interesante desarrollar posteriormente alguna extensión que permitiera hacer estos estudios con alguna herramienta informatizada ya que dicha licencia permitiría tener acceso al código y codificarlo.

GvSIG es un proyecto de desarrollo de Sistemas de Información Geográfica en software libre, lo que incluye principalmente las aplicaciones gvSIG Desktop y gvSIG Mobile. La aplicación gvSIG Desktop fue la primera que se desarrolló dentro del proyecto gvSIG, por lo que también se conoce abreviadamente como gvSIG. Este proyecto fue desarrollado por el gobierno local de la Comunidad valenciana (Generalidad Valenciana) de España, con el objetivo inicial de realizar la gestión de datos geográficos de esa colectividad; precisamente la sigla gvSIG abrevia la denominación Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica.

GvSIG Desktop es un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto es, una aplicación de escritorio diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas, la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Se caracteriza por disponer de una interfaz amigable, siendo capaz de acceder a los formatos más comunes, tanto vectoriales como raster y cuenta con un amplio número de herramientas para trabajar con información de naturaleza geográfica (herramientas de consulta,

creación de mapas, geoprocésamiento, redes, etc...) que lo convierten en una herramienta ideal para usuarios que trabajen con la componente territorial.

GvSIG Desktop se caracteriza por:

- Integrar en una Vista tanto datos locales (ficheros, bases de datos) como remotos a través de estándares OGC.
- Está diseñado para ser fácilmente extensible, permitiendo una mejora continua de la aplicación, así como su uso para desarrollar soluciones a medida.
- Es software libre, con licencia GNU/GPL, lo que permite su libre uso, distribución, estudio y mejora.
- Está disponible en diversos idiomas: español, inglés UK, inglés USA, francés, alemán, italiano, portugués, portugués-brasileño, ruso, chino, serbio, swahili, turco, checo, polaco, rumano, griego, euskera, valenciano y gallego.
- Está desarrollado con Java y está disponible para plataformas Linux, Windows y Mac OS X.

La versión utilizada en el proyecto es gvSIG1.12. En el momento de la realización de esta parte del proyecto era la última versión final disponible desde agosto de 2012, aunque ya estaba la 2.0 en desarrollo. Posteriormente se actualizó la versión final 2.0 a diciembre de 2013 y ya está en desarrollo la versión 2.1.

Funcionalidades mejoradas y mejoras introducidas en la versión 1.12 con respecto a las anteriores:

- Funcionalidades:
 - Se ha integrado la última versión de Sextante, 1.0.
 - Se ha incluido una nueva paleta de colores.
 - Se ha incrementado notablemente la usabilidad a la hora de organizar las capas en el TOC.
 - Mejoras generales de usabilidad (ventana de vista maximizada por defecto, colores aleatorios, etiquetado de tamaño y color fijo, abrir ficheros independientemente de su tipo, zoom con la rueda del ratón más amigable, ventana del localizador no modal, etc.).
 - Arreglos varios en el driver de Postgis (Simplificada la conexión a bases de datos, disminución de consumo de recursos en el servidor, soporte de fechas, etc.).
 - Mejoras e incremento del rendimiento en la unión de tablas y conexiones odbc.
 - Añadidas las traducciones a los idiomas Khmer y Persa.
 - Actualizado el acceso a datos para WMS 1.3 y la última versión de kml.
 - Mejoras varias en la carga de raster, especialmente a la hora de capas pesadas.
 - Mejoras en la creación e impresión de mapas.
 - Soporte de simbología por intervalos para valores negativos.
 - En cuanto a Navtable, se ha mejorado la interfaz gráfica y los filtros rápidos.

- Carga automática de leyendas a partir de ficheros .gvl para ficheros shape.

➤ Desarrollo:

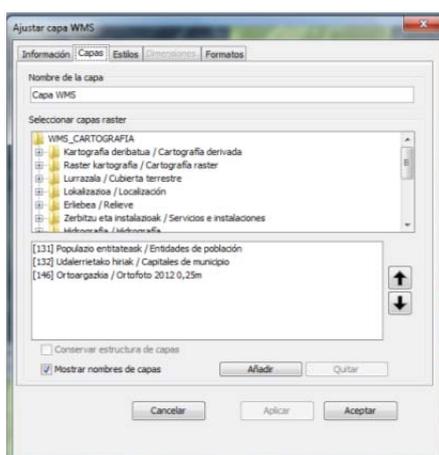
- Se ha actualizado la librería jts a la versión 1.12.
- Automatizado el proceso de generación de instaladores.
- Uso de installjammer y launch4j.
- Cambiada la API de la clase View.
- La calculadora de expresiones puede usarse desde plugins externos.

Los recursos utilizados en este apartado para el presente trabajo son servidores de mapas web (WMS) publicados por la Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi. Sólo se han usado para el análisis de la población afectada las ortofotos de 2012 y los nombres de las poblaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

5.2.3.4.2.2. Metodología utilizada.

A continuación se explica detalladamente como se procedió a calcular el número de personas afectadas por los efectos del transporte por carretera. Se mostrará a modo de ejemplo un caso de los muchos estudiados en el proyecto, para ayudar su comprensión. El caso será el paso de la alternativa 1 a la altura de las poblaciones de Itsasondo, Arama y Alzaga.

Desde el programa gvSIG se crea una capa mediante el servidor de mapas web (WMS) en el que seleccionamos la ortofoto de 2012, las entidades de población y capitales de municipio. A continuación aparece en pantalla el mapa de toda la CAPV y se selecciona con el cursor el tramo deseado.





En el mapa se colocan polígonos que recojan todos los núcleos urbanos de cada una de las localidades. Para cada uno de ellos se calcula el área en uno de los campos de la tabla de atributos mediante la calculadora de campos. Y en otro nuevo, se añade manualmente el número de personas registradas en cada núcleo urbano. La información sobre la población de cada una de las poblaciones ha sido obtenida de web de datos estadísticos de la CA de Euskadi a fecha de abril de 2013.

Para el reparto de la población de la localidad entre los diferentes polígonos, se utilizaron las ortofotografías de 2012 y en función del número de casas existentes se fue repartiendo el número de habitantes entre los diferentes polígonos que formaban cada una de las localidades. Si aparentemente, uno de los polígonos no contenía ninguna casa, se ponía en su campo de población el valor cero, o incluso se podía eliminar dicho elemento.



Imagen 26: Polígonos urbanos de las localidades

poligonos	area	Poblacion	DensPob
Arana	109583.797...	199	0.001816
Altzaga	62876.815158	162	0.002576
Itsasondo 1	187154.758...	680	0.003633
Itsasondo 2	9732.271925	0	0.0

Tabla 43: Tabla de atributos de la capa polígonos de gvSIG

Posteriormente se crea otro campo nuevo en la tabla de atributos para calcular la densidad poblacional en cada uno de los polígonos de la capa, de modo que dividiendo, mediante la calculadora de campos de gvSIG, el campo población entre el campo área, obtenemos la densidad poblacional en habitantes/m².

El área de influencia de cada una de las alternativas se crea generando un margen de 300 metros a cada uno de los lados de la vía. El buffer o área de influencia es un geoproceto de gvSIG que consiste en un algoritmo de proximidad con respecto a elementos vectoriales, mediante el cual, el usuario marca la distancia con respecto al elemento o a la capa, para realizar análisis de influencia de un elemento respecto a otros en función de las necesidades del estudio.

Se crea una capa tipo lineal de formato shapefile, donde mediante una polilínea se recrea el recorrido de la vía. A esta capa es a la que se hace el buffer de 300 metros.



Imagen 27: Área generada (buffer) de 300 metros generado a cada lado de la vía

La superposición de los elementos es sin duda una de las funciones SIG más utilizadas para el análisis espacial. La estructura jerarquizada que utilizan los SIG para presentar la información por medio de capas superpuestas con un orden lógico para su correcta visualización, nos permite, realizar interacciones entre unas capas u otras de manera que podamos obtener la información que se pretende.

La interacción usada en este procedimiento es el corte. Se realiza a partir de dos capas, una que es la que se pretende extraer, y otra que es la capa de recorte, se ejecuta el algoritmo y como resultado se obtiene el área de interés de la capa corte, con la información original de la capa extraída.

Las dos capas son la capa polígonos y la capa buffer de 300 metros. En la siguiente ilustración aparece el área común a estas dos capas de color azul.



Imagen 28: Capas seleccionadas para cortar

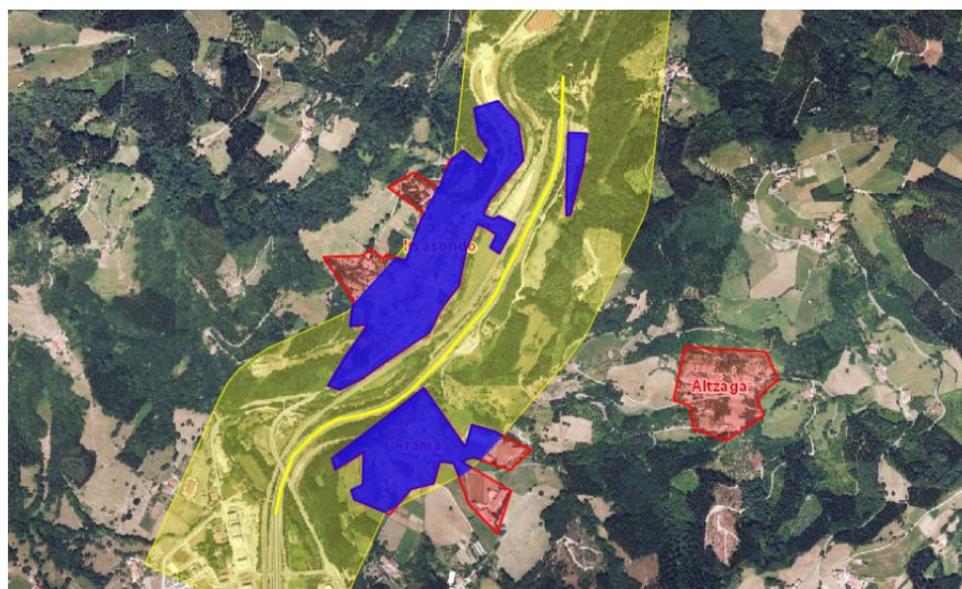


Imagen 29: Área de los núcleos urbanos afectada por el buffer

De la capa resultante obtenida tras el algoritmo de corte entre las dos capas de polígonos, se creó un nuevo campo que expresa el área afectada para posteriormente, volver a calcular mediante la calculadora de campos, la nueva área de los polígonos incluidos en el buffer de 300 metros.

Una vez calculada la nueva área del corte de los polígonos, se multiplica en un nuevo campo creado en la tabla de atributos dicha área, por la densidad poblacional, de modo que obtendremos la población afectada.

A continuación se muestra la tabla de atributos de la capa área afectada con los resultados anteriores.

Tabla: Tabla de atributos: poligonos afectados.shp

poligonos	area	Poblacion	DensPob	AreaAfect	PobAfect
Arana	109583.79725	199.0	0.00182	84815.746261	154
Itsasondo 1	187154.75838	680.0	0.00363	161154.596012	584
Itsasondo 2	9732.27192	0.0	0.0	9732.271925	0

Cabe destacar que el polígono Itsasondo 2 no tiene población, por lo que se podía haber suprimido.

De igual manera, tampoco aparece el polígono Alzaga ya que no se ve influenciado por el buffer a 300 metros de la vía, es decir, el área de intersección entre las capas polígonos y buffer de 300 metros es nula para este núcleo urbano.

Para simplificar el proceso, se utilizaron las áreas recortadas de los polígonos, y así de esta manera, resulta mucho más sencillo, ya que se homogeneizan las unidades de los diferentes elementos que conforman la población afectada. De esta manera se pueden sumar tanto el área afectada y la población afectada de aquellos polígonos que pertenecen a la misma población.

En la siguiente tabla se muestran las áreas y los habitantes afectados de cada una de las poblaciones que se ven afectadas por las alternativas 1 y 2 respectivamente.

	Entidad	Area Afect (m2)	Pob Afect (hab)
1	Etzegarate	54482,19	28
2	Urtsuaran	4039,29	7
3	Idiazabal	632535,31	1733
4	Ihurre	721886,32	435
5	Antzizar	8996,78	3
6	Beasain	597269,09	9089
7	Ugartemendi	6231,18	6
8	Sempere	127564,86	15
9	Lazkao	267,00	1
10	Ordizia	773196,87	6259
11	Arama	84815,75	154
12	Itsasondo	170886,87	584
13	Legorreta	370628,78	941
14	Ikaztegieta	264248,99	340
15	Alegia	173148,97	769
16	Errotaldea	25718,36	103
17	Ibarra	64678,20	619
18	Usabal	230789,67	256
19	San Blas	358449,31	3946
20	Tolosa	329984,94	4184
21	Santa Lutzia	169115,44	108
22	Irura	440486,44	1480
23	Anoeta	222149,89	993
24	Villabona	497431,18	4705
25	Amasa	130850,27	260
26	Sorabilla	230871,11	933
27	Andoain	516176,25	4846
28	Atsobakar	191394,43	991
29	Larrekoetxe	155749,10	397
30	Oztarán	229171,02	1670
31	Lasarte	405480,39	6102
32	Oria	163442,04	902
33	Donosti	3738069,73	38950
34	Lezo	134966,50	1399
35	Pasaia Antxo	179898,80	1743
36	Errenteria	842920,25	16386
37	Arragua	125887,99	210
38	Mendelu	60245,62	510
39	Jaitzubia	1014475,39	788
40	Irún	1253924,33	13492

Tabla 44: Personas y área afectada por población para la alternativa 1

	Entidad	Area Afect (m2)	Pob Afect (hab)
1	Eibar	1591775,50	16363
2	Elgoibar	756597,84	5311
3	Altzola	88475,70	194
4	Azpilgoeta	62535,61	493
5	Mendarozabal	100353,67	267
6	Garagartza	12626,44	91
7	Oikia	107729,09	245
8	Meaga	31896,33	117
9	Zarauz	716773,39	8228
10	Orio	230300,38	917
11	Errenteria	232549,99	3588
12	Arragua	189679,21	416
13	Zamalbide	61856,74	153
14	Irún	2533785,74	7118

Tabla 45: Personas y área afectada por población para la alternativa 2

Así pues, se procede a sumar el campo del área cortada, para cada una de las alternativas, y obtenemos toda la superficie influenciada por el buffer de núcleos urbanos. Los resultados obtenidos se expresan en número de personas afectados.

En el CD adjunto del presente proyecto, se entrega de forma más detallada todos los datos obtenidos en este apartado.

Alternativa	Área Afectada (m2)	Población Afectada (hab)
1	15702524,9	126337
2	6716935,6	43501

5.2.3.5. Análisis, evaluación y estudio de los registros acústicos.

Primeramente vamos a tratar las poblaciones de referencia, que son aquellas en las que se realizaron las mediciones acústicas. Del informe de Acústica Arquitectónica Ingenieros SA se obtiene información sobre la distancia del punto de medición a la vía de estudio y su longitud de onda equivalente.

Población	Punto	Distancia(m)	Leq(dB)
Irún(A1)	1	15	64,4
Irún(A1)	2	35	58,9

También es conocida la población afectada en cada alternativa del estudio anterior de estimación de población afectada.

Cabe destacar que las poblaciones de referencia de Irún y Rentería están afectadas por las dos alternativas, por lo que para cada una, su valor de personas afectadas será distinto en el estudio posterior. Pero los puntos de medición de ruido se realizaron sobre la carretera perteneciente a la alternativa 1, por lo que se consideran poblaciones de referencia de la alternativa 1.

Se realizan además, otras dos clasificaciones según diferentes criterios.

La primera según la posición geográfica de la población con respecto a la carretera:

- Tipo A serán aquellas poblaciones que son atravesadas por la alternativa.
- Tipo B aquellas cuya vía sea frontera lateral del poblado
- Tipo C aquellas cuya vía está a una determinada distancia del poblado.

Para cada población de referencia se elegirá uno de estos tipos, o uno intermedio pero siempre con un tipo dominante. Se utilizará el programa Google Earth para esta clasificación.

A modo de ejemplo se muestra la población de Zarauz que ha sido clasificada como tipo intermedio B y C, siendo predominante el tipo B. En la imagen se muestra una vista aérea de la ciudad, la autopista AP-8 que pertenece a la alternativa 2 y los puntos de medición 1 y 2 a 25 y 75 metros respectivamente de la autopista.



La segunda clasificación se hace en función de la cantidad de población afectada. Se dividen los intervalos de la siguiente manera

Clasificación	Tipo 2	Información
Nivel de población afectada	1000	PobAfect 0-2000
	3500	PobAfect 2000-5000
	7500	PobAfect 5000-10000
	12500	PobAfect 10000-15000
	15000	PobAfect 10000-20000
	30000	PobAfect 20000-40000

Siguiendo con el ejemplo anterior, la población que se ve afectada en Zarauz es de 8228 por lo que estaría dentro del intervalo 5000-10000 que se corresponde al tipo 7500.

En la siguiente tabla se muestran todas las poblaciones de referencia debidamente clasificadas según los criterios explicados anteriormente. En el caso de tipo intermedio en la clasificación tipo 1 la letra subrayada es el tipo que predomina. En la población se ha añadido entre paréntesis a la alternativa a la que hacen referencia.

Población	Punto	Distancia(m)	Leq(dB)	Pob afectada	Clasificación tipo 1	Clasificación tipo 2
Irún(A1)	1	15	64,4	13492	B	12500
Irún(A1)	2	35	58,9	13492	B	12500
Rentería(A1)	1	75	60	16386	B-C	15000
Rentería(A1)	2	150	55,6	16386	B-C	15000
Lasarte(A1)	1	25	62,9	6102	B	7500
Lasarte(A1)	2	50	59	6102	B	7500
Zarauz(A2)	1	25	68,1	8228	B-C	7500
Zarauz(A2)	2	75	62,2	8228	B-C	7500
Ordizia(A1)	1	15	70,8	6259	A	7500
Ordizia(A1)	2	200	67,2	6259	A	7500
Alsasua(A1)	1	75	67,8	2846	B-C	3500
Alsasua(A1)	2	175	63	2846	B-C	3500
Andoain(A1)	1	15-20	75,8	4846	B-C	3500
Pasajes(A1)	1	4	71,4	1743	-	-
Irura(A1)	1	1	80	1480	A-B	1000
Tolosa(A1)	1	20	65,2	4184	B	3500

A continuación se va a explicar cómo se procede para el resto de poblaciones que no son de referencia y que están bajo el área de influencia de las alternativas.

Primeramente se clasifican en tipo 1 y tipo 2 bajo los mismos criterios que se hacía con las poblaciones de referencia. Después, como en el resto de poblaciones no se han llevado a cabo mediciones, no disponemos de una longitud de onda equivalente para ellas. El objetivo es tomar la de la población de referencia más similar acorde al siguiente orden de preferencias.

Se busca, en la misma ruta, una población de referencia con el mismo tipo 1 que la población a clasificar. Si hubiese que escoger entre dos, se utilizaría el tipo 2 para escogerlas. Si por casualidad no encontrásemos el mismo tipo 1 en la alternativa se usaría las poblaciones de referencia de la otra alternativa.

También se puede dar el caso de que coincida el mismo tipo 1 y tipo 2, entonces se elegiría la población de referencia cuya población afectada se acerque más a la de la población de estudio.

Hasta aquí ya tenemos a cada población relacionada con una de referencia. Si dicha población de referencia sólo tiene un punto de medición se coge la L_{eq} de ese punto. Si estamos en el caso de que hay dos puntos, tendremos que seleccionar uno de ellos.

Para ello se mide la distancia entre el centro de la población a clasificar y la carretera. Esta distancia se compara con la distancia de los puntos de medición y se selecciona el punto cuya distancia sea más cercana. Veámoslo en el siguiente ejemplo.

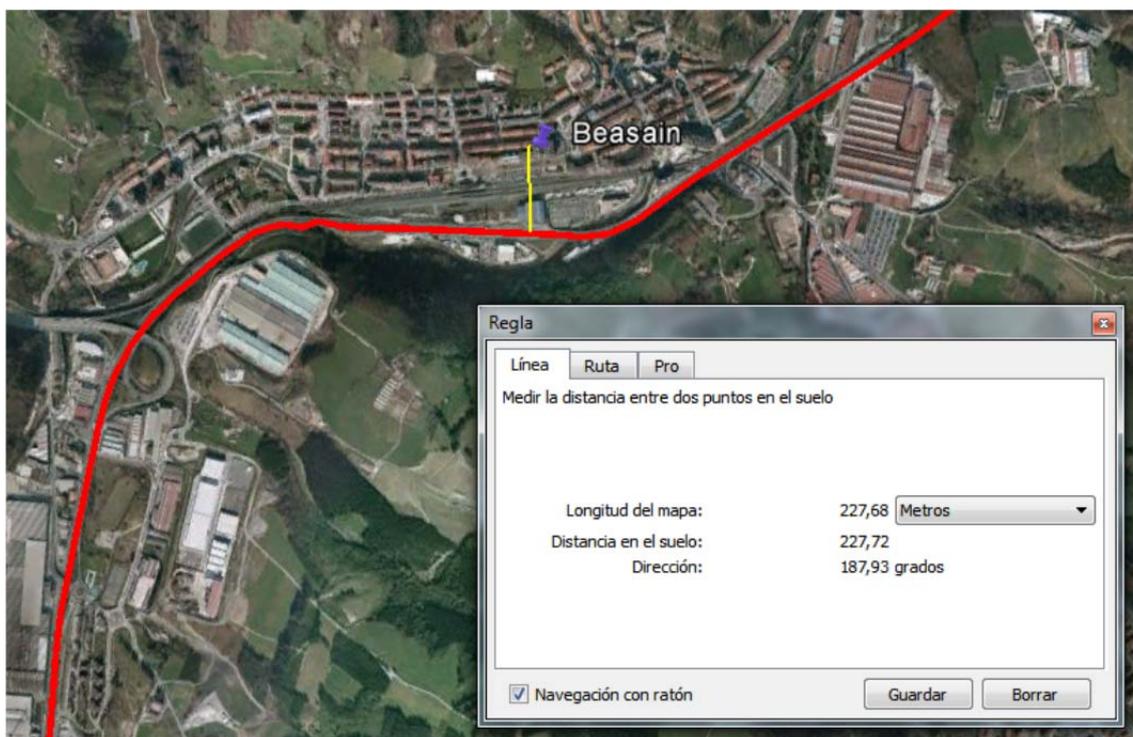
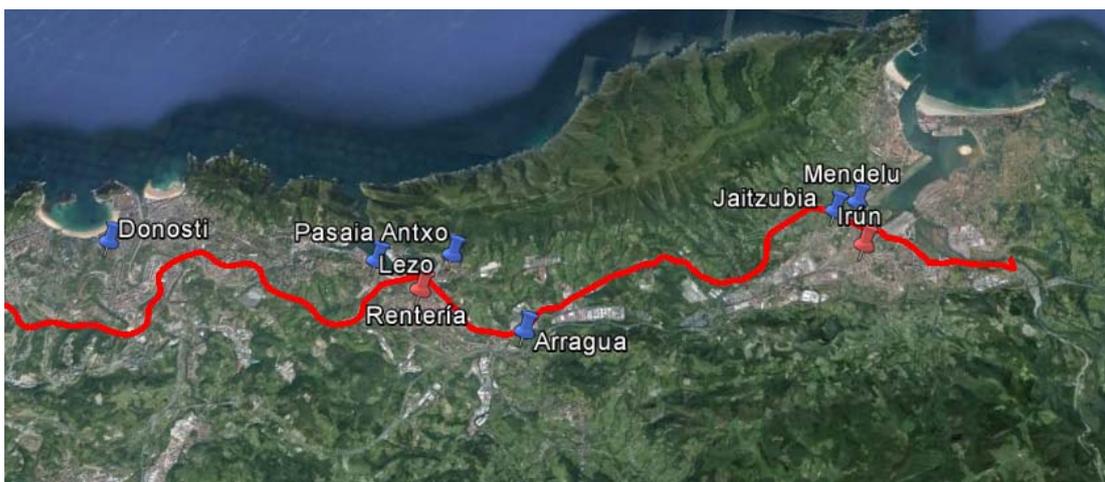
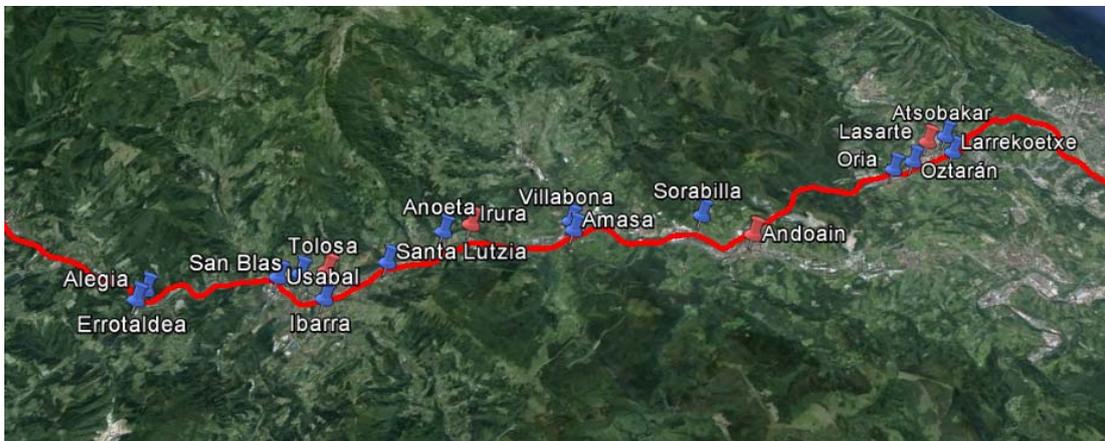
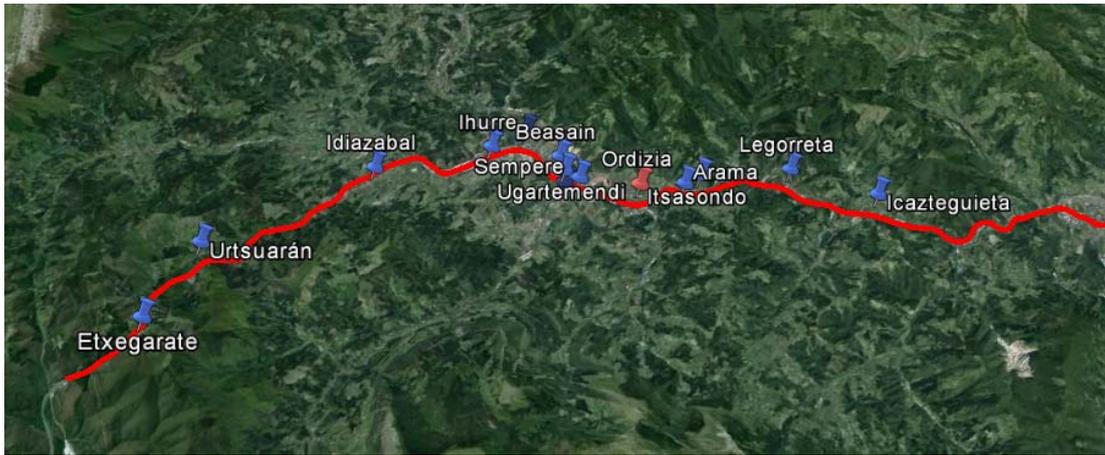


Imagen 30: Medición con la herramienta regla de Google Earth de la distancia del centro de Beasain a la vía de estudio (rojo)

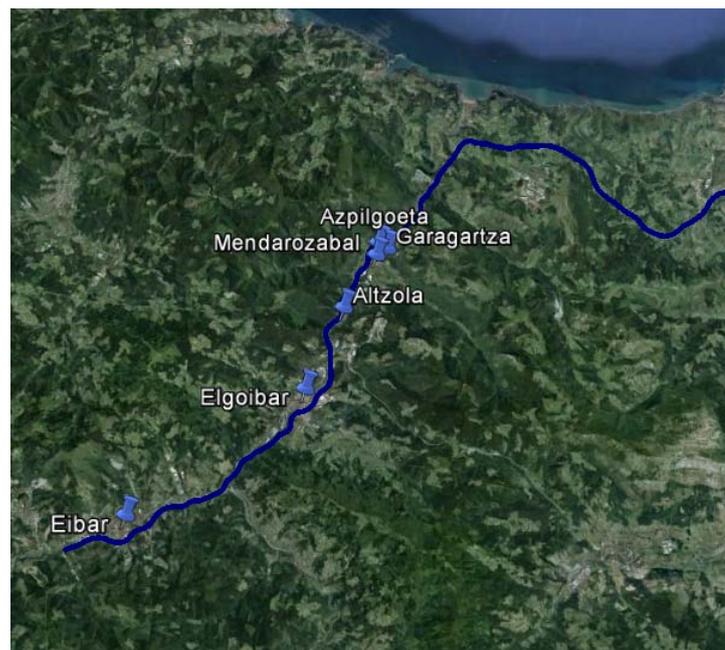
Beasain tiene una clasificación tipo 1 de B y tipo 2 de 7500 por lo que se relaciona con la población de referencia de Lasarte que tiene dos puntos donde se han llevado a cabo las mediciones acústicas. El punto 1 está a 25 metros de la carretera y el punto 2 a 50. Como la distancia del centro de Beasain a la N-I es de 227,68 metros se elige el punto 2.

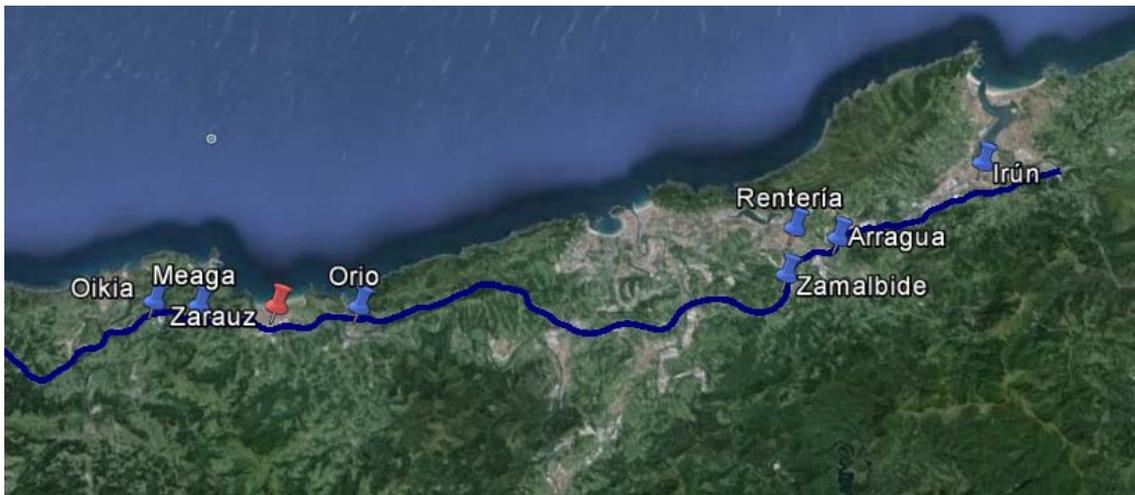
De esta manera conseguimos tener, para cada una de las poblaciones por las que pasan las rutas estudiadas, el número de personas afectadas por la contaminación acústica, y una estimación bastante fiel del nivel de ruido que soportan. De este modo, para poder hacer una clasificación que contenga estas dos características, se decide multiplicar cada población afectada por su L_{eq} y hacer la suma correspondiente en cada alternativa, para poder tener una idea aproximada de la afectación de ruido total en cada ruta.

Se muestra a continuación para cada alternativa 1 y 2 respectivamente, un mapa en donde se pueden ver las poblaciones afectadas por cada alternativa y los resultados obtenidos para cada una de ellas. En el mapa también se puede distinguir las poblaciones de referencia de cada alternativa, ya que se han etiquetado de color rojo, mientras que las poblaciones que no son de referencia se han etiquetado de color azul. En las tablas también se muestra este código de colores para ambos tipos de poblaciones.



	Población	Pob Afect	Tipo 1	Tipo 2	Pob Ref	Punto	Leq	PobAfect x Leq
1	Etzegarate	28	C	1000	Alsasua	1	67,8	1898,4
2	Urtzuaran	7	C	1000	Alsasua	2	63	441
3	Idiazabal	1733	B-C	1000	Tolosa	1	65,2	112991,6
4	Ihurte	435	A	1000	Irura	1	80	34800
5	Antzizar	3	C	1000	Alsasua	2	63	189
6	Beasain	9089	B	7500	Lasarte	2	59	536251
7	Ugartemendi	6	B	1000	Tolosa	1	65,2	391,2
8	Sempere	15	B	1000	Tolosa	1	65,2	978
9	Lazkao	1	C	1000	Alsasua	2	63	63
10	Ordizia	6259	A	7500	Ordizia	2	67,2	420604,8
11	Arama	154	C	1000	Alsasua	2	63	9702
12	Itsasondo	584	C	1000	Alsasua	2	63	36792
13	Legorreta	941	C	1000	Alsasua	2	63	59283
14	Ikaztegieta	340	C	1000	Alsasua	2	63	21420
15	Alegia	769	B-C	1000	Tolosa	1	65,2	50138,8
16	Errotalde	103	C	1000	Alsasua	2	63	6489
17	Ibarra	619	B-C	1000	Alsasua	2	63	38997
18	Usabal	256	B	1000	Tolosa	1	65,2	16691,2
19	San Blas	3946	B-C	3500	Tolosa	1	65,2	257279,2
20	Tolosa	4184	B	3500	Tolosa	1	65,2	272796,8
21	Santa Lutzia	108	B-C	1000	Alsasua	2	63	6804
22	Irura	1480	A-B	1000	Irura	1	80	118400
23	Anoeta	993	B-C	1000	Alsasua	2	63	62559
24	Villabona	4705	B	3500	Andoain	1	75,8	356639
25	Amasa	260	C	1000	Alsasua	2	63	16380
26	Sorabilla	933	B-C	1000	Alsasua	1	67,8	63257,4
27	Andoain	4846	B-C	3500	Andoain	1	75,8	367326,8
28	Atsobakar	991	B-C	1000	Alsasua	2	63	62433
29	Larrekoetxe	397	B-C	1000	Tolosa	1	65,2	25884,4
30	Ozarán	1670	B-C	1000	Tolosa	1	65,2	108884
31	Lasarte	6102	B	7500	Lasarte	2	59	360018
32	Oria	902	B-C	1000	Alsasua	2	63	56826
33	Donosti	38950	B-C	30000	Errenteria	2	55,6	2165620
34	Lezo	1399	C	1000	Alsasua	2	63	88137
35	Pasaia Antxo	1743	B-C	1000	Alsasua	2	63	109809
36	Errenteria	16386	B-C	15000	Errenteria	2	55,6	911061,6
37	Arragua	210	C	1000	Alsasua	2	63	13230
38	Mendelu	510	B-C	1000	Alsasua	1	67,8	34578
39	Jaitzibia	788	A	1000	Irura	1	80	63040
40	Irún	13492	B	12500	Irún	2	58,9	794678,8
	TOTAL	126337						7663763





	Población	Pob Afect	Tipo 1	Tipo 2	Pob Ref	Punto	Leq	PobAfect x Leq
1	Eibar	16363	B-C	15000	Zarauz	2	62,2	1017778,6
2	Elgoibar	5311	A	7500	Ordizia	2	67,2	356899,2
3	Altzola	194	B-C	1000	Zarauz	1	68,1	13211,4
4	Azpigoeta	493	B-C	1000	Alsasua	2	63	31059
5	Mendarozabal	267	C	1000	Alsasua	2	63	16821
6	Garagartza	91	C	1000	Alsasua	2	63	5733
7	Oikia	245	C	1000	Alsasua	2	63	15435
8	Meaga	117	B-C	1000	Alsasua	2	63	7371
9	Zarauz	8228	B-C	7500	Zarauz	2	62,2	511781,6
10	Orio	917	A-B	1000	Irura	1	80	73360
11	Errentería	3588	B-C	3500	Alsasua	2	63	226044
12	Arragua	416	A-C	1000	Alsasua	2	63	26208
13	Zamalbide	153	C	1000	Alsasua	2	63	9639
14	Irún	7118	B-C	7500	Zarauz	2	62,2	442739,6
	TOTAL	43501						2754080,4

De este modo, concluimos así el tercer criterio que se tiene en cuenta en este proyecto, recopilando la información de contaminación acústica en una tabla, que permita hacer comparaciones entre las alternativas, de forma similar a como se ha hecho con los demás criterios.

Alternativa	Leq Media	Ruido total
1	60,66	7663763
2	63	2754080

Tabla 46: Resultados finales del ruido total para cada alternativa

6. Desarrollo del proyecto y solución del problema.

Una vez teniendo los datos de los análisis económico y medioambiental para cada una de las alternativas, se procederá a aplicar el método AHP para ver cuál de las alternativas de estudio es más sostenible y de este modo solucionar el problema planteado en el presente proyecto. Anteriormente a esto, se realizará el método AHP por separado para el análisis económico y medioambiental, de forma que se obtenga la alternativa más económica y la de menor impacto medioambiental respectivamente.

6.1. Método AHP económico.

Los valores obtenidos para cada alternativa en los estudios de costes directos, velocidad y pendiente nos van a permitir comparar las diferentes alternativas por medio del método AHP, basando estas comparaciones en un estudio real calculado empíricamente. Estos resultados hay que acondicionarlos, transformándolos a otros que nos permitan equiparar alternativas mediante la escala de comparación por pares. Se calcula para cada uno de los tres subcriterios un factor de escala que resulta de dividir la unidad entre el valor máximo de cada subcriterio.

FACTOR DE ESCALA	
COSTE	0,028612
VELOCIDAD	0,011265
PENDIENTE	0,097561

Tabla 47: Factores de escala para los subcriterios económicos

A continuación se multiplica este valor de escala por el valor obtenido para el mismo subcriterio en la otra alternativa. De esta forma se obtienen los valores normalizados y escalados desde cero (mejor resultado) hasta uno (peor resultado) para cada subcriterio y alternativa. Evidentemente el valor de uno será para el valor con el que se ha calculado el factor de escala.

El siguiente paso consiste en transformar este valor entre cero y uno, a un valor que esté escalado entre uno y nueve que es como se introducen las preferencias por pares en el método AHP. Para ello se utilizó la fórmula de Thomas L. Saaty donde X es la preferencia en el intervalo [1,9] y S es la preferencia en el intervalo [0,1].

$$X = (1-S)*8+1$$

En el caso de la velocidad hay que realizar una pequeña modificación en la preferencia calculada, ya que cuanto mayor sea la velocidad es mejor, por lo que en este caso el valor máximo, el de 1, es el mejor resultado y no el peor como se quiere. Así que la preferencia real será el valor inverso en la escala para cada alternativa.

COSTE			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/34,95$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	25,80	0,74	3
ALTERNATIVA 2	34,95	1	1

VELOCIDAD				
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/88,77$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP	AJUSTE A LA INVERSA DE LA ESCALA
ALTERNATIVA 1	78,03	0,88	2	8
ALTERNATIVA 2	88,77	1	1	9

PENDIENTE			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/10,25$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	7,52	0,73	3
ALTERNATIVA 2	10,25	1	1

Una vez preparados los valores para el método AHP, se procede a aplicarlo para elegir la alternativa más económica.

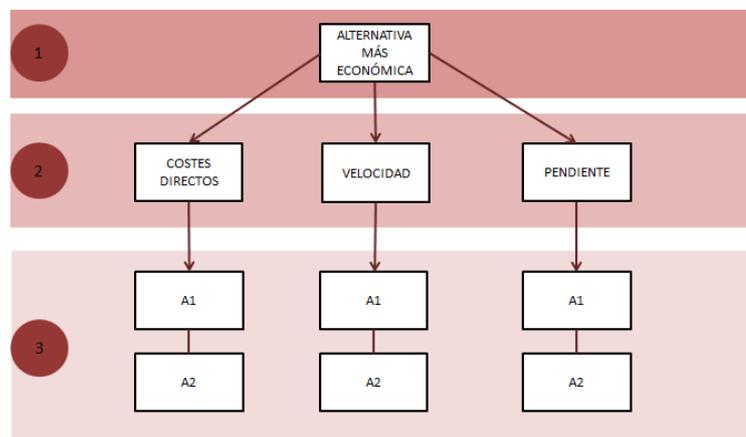


Imagen 31: Jerarquía para el método AHP (Fuente: elaboración propia)

Empezaremos con el nivel 3 para posteriormente ir aumentándolo hasta obtener el resultado final en el nivel 1.

Para rellenar la matriz por pares del subcriterio coste, primeramente se ponen todo unos en la diagonal principal de dicha matriz. Para rellenar el hueco a_{12} se divide el valor de preferencia de la alternativa 1 (3), entre el valor de preferencia de la alternativa 2 (1). El hueco a_{21} será el valor inverso de esta división.

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	1,00	3,00
Alternativa 2	0,33	1,00
Suma	1,33	4,00

Se suman las columnas de la matriz y luego se divide cada valor de la matriz entre la suma de su columna de forma que nos queda la tabla que se muestra a continuación. Haciendo la media de las filas nos queda el vector de pesos para el subcriterio coste.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,75	0,75	0,75
Alternativa 2	0,25	0,25	0,25
Suma	1	1	1

Debido a que solo tenemos dos alternativas, no tiene sentido calcular la consistencia de la matriz ya que una matriz de 2x2 siempre será consistente.

Se procede de forma paralela para los otros dos subcriterios, por lo que se mostrarán solo los resultados.

Para el subcriterio velocidad queda:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	1,00	0,89
Alternativa 2	1,13	1,00
Suma	2,13	1,89

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,47	0,47	0,47
Alternativa 2	0,53	0,53	0,53
Suma	1	1	1

Para el subcriterio pendiente nos queda:

	Alternativa 1	Alternativa 2
Alternativa 1	1,00	3,00
Alternativa 2	0,33	1,00
Suma	1,33	4,00

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,75	0,75	0,75
Alternativa 2	0,25	0,25	0,25
Suma	1	1	1

Ahora se pasa a analizar el nivel 2, es decir, el de los subcriterios empleados. Para establecer las prioridades entre ellos se utiliza la comparación por pares desarrollada por Saaty al igual que el propio método AHP.

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Tabla 48: Preferencias de comparación por pares de Saaty para método AHP

Se comparan dos a dos cada uno de los subcriterios con los valores de la tabla. Se considera que el subcriterio coste, está en el intervalo entre igualmente y moderadamente preferible (valor = 2) que los subcriterios de velocidad y pendiente, mientras que la velocidad se considera igualmente preferible (valor = 1) que el subcriterio de la pendiente. La matriz diagonal está compuesta por unos y es simétrica con respecto de la matriz diagonal como en el caso anterior.

	COSTE	VELOCIDAD	PENDIENTE
COSTE	1,00	2,00	2,00
VELOCIDAD	0,50	1,00	1,00
PENDIENTE	0,50	1,00	1,00
SUMA	2	4	4

Se suman las columnas de la matriz y se divide cada elemento por la suma total de su columna para que queden normalizados. Luego se hace la media de las filas de la matriz que ha resultado y este vector de las tres medias será los pesos asignados a cada uno de los subcriterios económicos.

	COSTE	VELOCIDAD	PENDIENTE	IMPORTANCIA
COSTE	0,50	0,50	0,50	0,50
VELOCIDAD	0,25	0,25	0,25	0,25
PENDIENTE	0,25	0,25	0,25	0,25
SUMA	1	1	1	1

A continuación se calcula la ratio de consistencia de la matriz para ver si los juicios que se han introducido son coherentes entre ellos o se da alguna incongruencia. Si este índice está por debajo

del 10% se asume que el nivel de consistencia es razonable. Para calcularlo se siguen los siguientes pasos:

- Se multiplica para cada subcriterio su peso asignado por su fila en la matriz de comparación por pares.
- Se suman estos valores por filas para los tres subcriterios.
- Para el resultado obtenido, se divide cada valor del vector por el peso asignado a su subcriterio.
- Se hace la media de los tres valores calculados y se hace la media. Este valor medio se denomina λ_{\max} .
- Se utiliza la siguiente fórmula donde λ_{\max} ya se conoce y n es el número de subcriterios, para calcular el índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

- Entrando en la siguiente tabla con el dato de número de criterio (n), se obtiene el índice de consistencia de una matriz de comparación por pares generada aleatoriamente (RI).

n	RI
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41

- Ya se tienen todos los datos para calcular el ratio de consistencia con la siguiente fórmula

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Se muestra el cálculo de la consistencia realizado para los subcriterios del análisis económico, donde con los datos $n=3$, $\lambda_{\max}=3$ y $RI=0,58$ nos queda un $CI=0$ y por lo tanto un ratio de consistencia (RC) del 0%, por lo que la matriz es consistente.

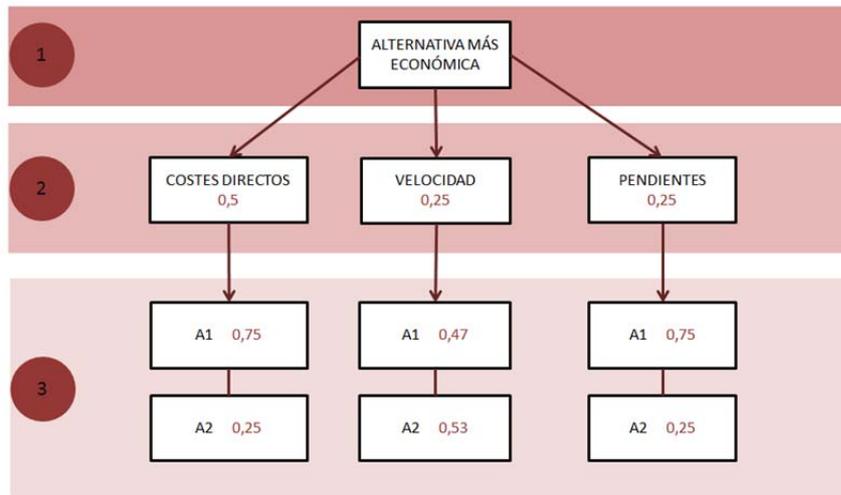


Imagen 32: Jerarquía del modelo económico con sus pesos calculados

RESULTADOS AHP	
A1	0,68
A2	0,32

A primera vista parece que la primera alternativa es la más económica, pero para ver como varía este resultado en función de la variabilidad de los pesos de los subcriterios, se realiza un análisis de sensibilidad donde se introducen oscilaciones en estos valores.

Para el subcriterio de coste se consideraron oscilaciones aleatorias en el intervalo (0,3-0,7) y para los otros dos subcriterios en el intervalo (0,05-0,45). Ambos intervalos de la misma amplitud ya que se consideró al principio de este método que iban a tener la misma importancia (valor de 1 en comparación por pares). Una vez generados estas tres columnas de valores, se normalizan para que la suma de ambos pesos sea la unidad. Se hizo para una muestra de 5000 y se obtuvo el resultado de que todas las veces la mejor alternativa era la 1. Debido a la gran extensión de estos datos se entregarán en el CD que se adjunta en el proyecto y se mostrarán directamente los resultados finales obtenidos.

	A1	A2		nº veces mejor la A1
Media	0,68	0,32		5000
Ranking	1º	2º	1	Probabilidad

Se concluye este primer estudio diciendo que la mejor alternativa económicamente hablando, es decir, la más barata, es la 1.

6.2. Método AHP medioambiental.

Ahora se llevará a cabo el estudio medioambiental de las alternativas del proyecto. Se obtendrá entonces, la alternativa que menor coste medioambiental tenga, es decir, menor impacto ambiental tanto como para las personas como para el entorno. Los dos criterios que se tendrán en cuenta son la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmósfera en el recorrido de cada alternativa y la cantidad de contaminación acústica generada. No se explicarán los cálculos con tanto detalle como en el apartado AHP económico ya que el proceso es el mismo.

Los factores de escala para cada criterio son y los valores de preferencia para cada criterio quedan:

FACTOR DE ESCALA	
EMISIÓN DE GASES	4,545454545455
RUIDO	0,00000130484

EMISIONES GASES			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: S=1/0,220	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	0,188	0,85	2
ALTERNATIVA 2	0,220	1	1

RUIDO			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: S=1/7663763	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	7663763,0	1,00	1
ALTERNATIVA 2	2754080,4	0,36	6

De forma que los pesos asignados para cada criterio son respectivamente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,67	0,67	0,67
Alternativa 2	0,33	0,33	0,33
Suma	1	1	1

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,14	0,14	0,143
Alternativa 2	0,86	0,86	0,857
Suma	1	1	1

Para la ponderación de los criterios se decidió que el criterio relacionado con la contaminación atmosférica fuese entre igual de importante y ligeramente más importante que el criterio de

contaminación acústica (valor 2). Esto se elige así ya que se quiere dar más importancia a la contaminación a largo plazo (especialmente constituida por la emisión de gases a la atmósfera) que a la contaminación a corto plazo (ruido).

Esta información se puede ver en las siguientes imágenes, así como los pesos asignados a cada criterio. No es necesario calcular la consistencia en este caso ya que para $n=2$ siempre se da consistencia.

	EMISIÓN GASES	RUIDO
EMISIÓN GASES	1,00	2,00
RUIDO	0,50	1,00
SUMA	1,50	3

	EMISIÓN GASES	RUIDO	IMPORTANCIA
EMISIÓN GASES	0,67	0,67	0,67
RUIDO	0,33	0,33	0,33
	1	1	1

Para el nivel 1 se tiene la siguiente matriz decisional:

MATRIZ DECISIONAL		
ALTERNATIVA	A1	A2
EMISIÓN GASES	0,667	0,333
RUIDO	0,143	0,857

Se obtienen los siguientes resultados:

$$A1=0,67*0,667+0,33*0,143 = 0,49$$

$$A2=0,67*0,333+0,33*0,857 = 0,51$$

MATRIZ DECISIONAL	
EMISIÓN GASES	0,667
RUIDO	0,333

Parece que la mejor alternativa es la 2 por muy poco margen. A continuación se realiza el análisis de sensibilidad para ver si podemos dar por bueno el resultado obtenido. El intervalo de valores que se genera para el primer criterio es $[0,5-0,7]$ y para el segundo la diferencia hasta la unidad, es decir, $[0,3-0,5]$. Se eligen estos intervalos para dar prioridad a la contaminación a largo plazo que se realiza con la emisión de gases perjudiciales a la atmósfera.

De forma que se obtiene que el mejor resultado es la alternativa 2 en un 91,12% de las muestras.

	A1	A2		nº veces mejor la A2
Media	0,46	0,54		4556
Ranking	1º	2º	0,9112	Probabilidad

En este caso, al tener solamente dos criterios y dos alternativas se puede calcular el límite en el que se pasa de preferir una alternativa a la otra. Los valores que forman la matriz decisional son fijos ya

que se han obtenido experimentalmente para cada alternativa. Los datos variables en este estudio de sensibilidad son los pesos de los dos criterios. Si llamamos de forma general x al peso del criterio de emisión de gases y $(1-x)$ al peso del criterio ruido podemos desarrollar la siguiente expresión para la alternativa 1:

$$0,667*x + 0,333*(1-x)$$

Si además queremos ver el intervalo de valores para los que la alternativa 1 es mejor que la 2 se transforma en la siguiente inequación:

$$0,667*x + 0,333*(1-x) \geq 0,5$$

Solucionando nos queda que la alternativa 1 será elegida siempre que $x \geq 0,6813$, con x el peso del criterio emisión de gases. De forma que para x menores que este valor será elegida la alternativa 2.

También se puede ver de forma intuitiva el resultado del análisis de sensibilidad. Se ha elegido el intervalo de x de $[0,5-0,7]$, así que la probabilidad de que salga la alternativa 2 elegida será de $(0,6813-0,5)/0,2$ que equivale a un 90,65%. Resultado parecido al obtenido en el estudio.

Se concluye el apartado diciendo que la alternativa con menor coste medioambiental teniendo en cuenta las preferencias elegidas es la alternativa 2.

6.3. Método AHP económico y medioambiental total.

Cuando se ha llevado a cabo el cálculo por separado de cada uno de los análisis propuestos en el proyecto (económico y medioambiental), hemos llegado a la conclusión que la alternativa 1 es más barata pero contamina más, mientras que la alternativa 2 es más cara pero contamina menos. En este apartado se obtendrá la solución final al problema planteado en el proyecto. Se trata de combinar los criterios económicos y medioambientales para elegir la mejor alternativa.

Se muestran en orden los valores de escala y los valores de preferencia para cada uno de los criterios de estudio (económico, emisión de gases y ruido). Cabe destacar que para el económico, se va a emplear los resultados finales ya obtenidos en el AHP económico, es decir, los datos de partida para la alternativa 1 y 2 serán de 0,68 y 0,32 respectivamente. Además, en el criterio económico también se deberá aplicar el ajuste de inversión de escala para que coincida que el uno es el peor resultado.

FACTOR DE ESCALA	
ECONÓMICO	1,470588235294
EMISIÓN DE GASES	4,545454545455
RUIDO	0,000000130484

COSTE				
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: $S=1/0,68$	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP	AJUSTE A LA INVERSA DE LA ESCALA
ALTERNATIVA 1	0,68	1,00	1	9
ALTERNATIVA 2	0,32	0,47	5	5

VELOCIDAD			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: S=1/0,220	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	0,188	0,85	2
ALTERNATIVA 2	0,220	1	1

PENDIENTE			
ALTERNATIVA	VALOR DEL CRITERIO	VALOR ESCALADO [0,1] FACTOR DE ESCALA: S=1/7663763	PREFERENCIA EN LA ESCALA DE COMPARACIÓN POR PARES DEL MÉTODO AHP
ALTERNATIVA 1	7663763,0	1,00	1
ALTERNATIVA 2	2754080,4	0,36	6

En el nivel 3, se procede como se explicó anteriormente para calcular los pesos asignados a cada alternativa en cada uno de los criterios. Se muestran los resultados en orden para los criterios económico, emisión de gases y ruido.

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,64	0,64	0,64
Alternativa 2	0,36	0,36	0,36
Suma	1	1	1

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,67	0,67	0,67
Alternativa 2	0,33	0,33	0,33
Suma	1	1	1

	Alternativa 1	Alternativa 2	Preferencia
Alternativa 1	0,14	0,14	0,143
Alternativa 2	0,86	0,86	0,857
Suma	1	1	1

Para establecer las prioridades entre los distintos criterios se decidió que el criterio económico fuese entre igualmente y moderadamente preferible a la emisión de gases (valor = 2) y ligeramente preferible al ruido (valor = 3). A su vez, las emisiones de gases serán entre igualmente y moderadamente preferibles al ruido (valor = 2). Dicho esto se muestra la matriz, los pesos de cada criterio y el cálculo de la consistencia.

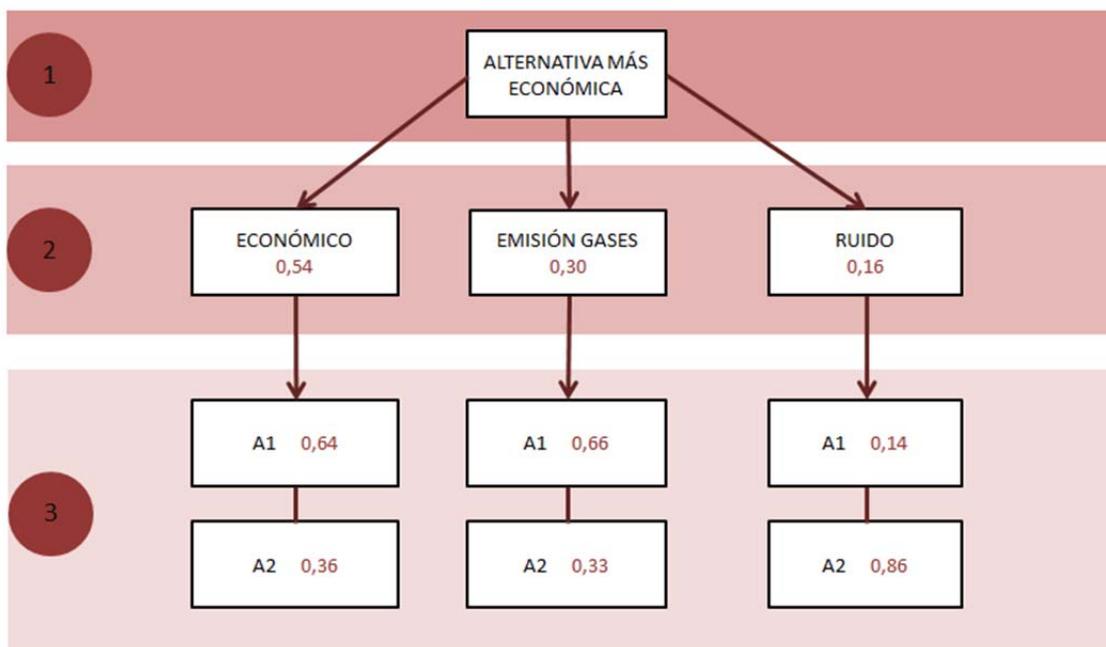


Imagen 33: Jerarquía del modelo económico y medioambiental con sus pesos calculados

$$A1=0,54*0,64+0,30*0,667+0,16*0,14 = 0,57$$

$$A2=0,54*0,36+0,30*0,333+0,16*0,86 = 0,43$$

RESULTADOS AHP	
A1	0,57
A2	0,43

Parece que la alternativa más sostenible es la 1, pero se vuelve a hacer el correspondiente análisis de sensibilidad. Los intervalos generados son [0,4-0,68] para el criterio económico, [0,15-0,45] para la emisión de gases y [0,03-0,33] para el ruido o contaminación acústica. Los resultados obtenidos dicen que en el 100% de los casos se debe elegir la alternativa 1 como la más sostenible de las dos.

	A1	A2		nº veces A1
Media	0,57	0,43		5000
Ranking	1º	2º	1	Probabilidad

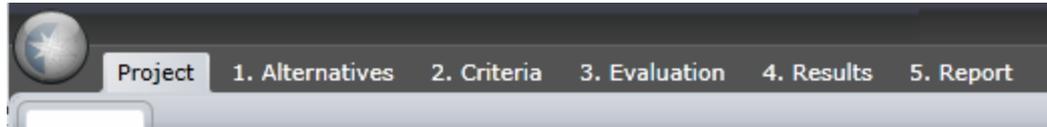
6.4. Comparación de los resultados obtenidos con el software MakeItRational.

Para contrastar una vez más que el resultado del proyecto es el correcto, se volvió a analizar cada uno de los AHP mediante el software MakeItRational, que se basa en este método de manera que se meten las preferencias entre criterios y de cada alternativa para cada criterio y te saca los resultados totales. Se añaden los resultados de este software en el anexo 4 (económico) y 5 (medioambiental) al final del proyecto para cada modelo y a continuación se explica la forma de introducir los datos

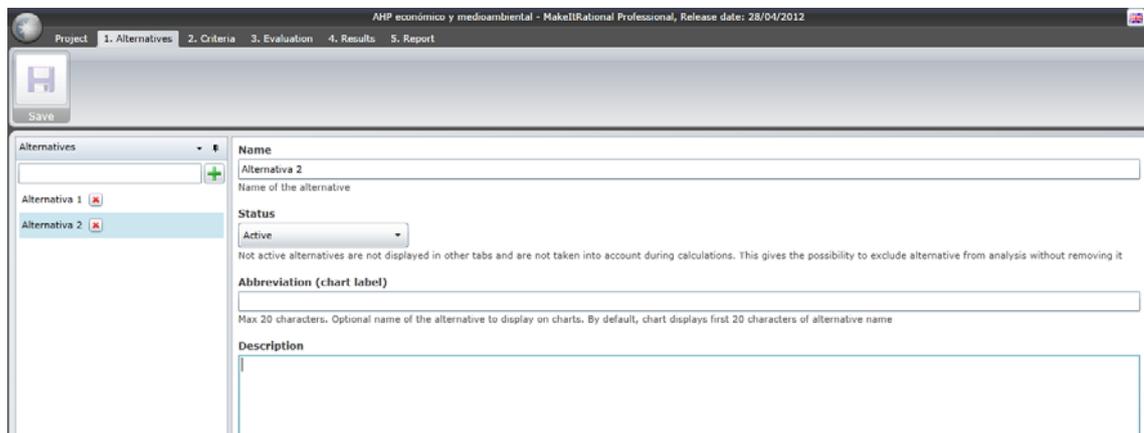
en el software y los resultados que aporta para el AHP económico y medioambiental, que incluye tanto criterios económicos como medioambientales.

Este software tiene un demo que permite hacer todos los cálculos online, por lo que no hay que descargarse ningún archivo. La página es <http://makeitration.com/analytic-hierarchy-process/ahp-software>. Al ser un demo no nos deja abrir un proyecto nuevo, por lo que modificamos los ejemplos que aparecen y al final exportamos a formato pdf los resultados obtenidos.

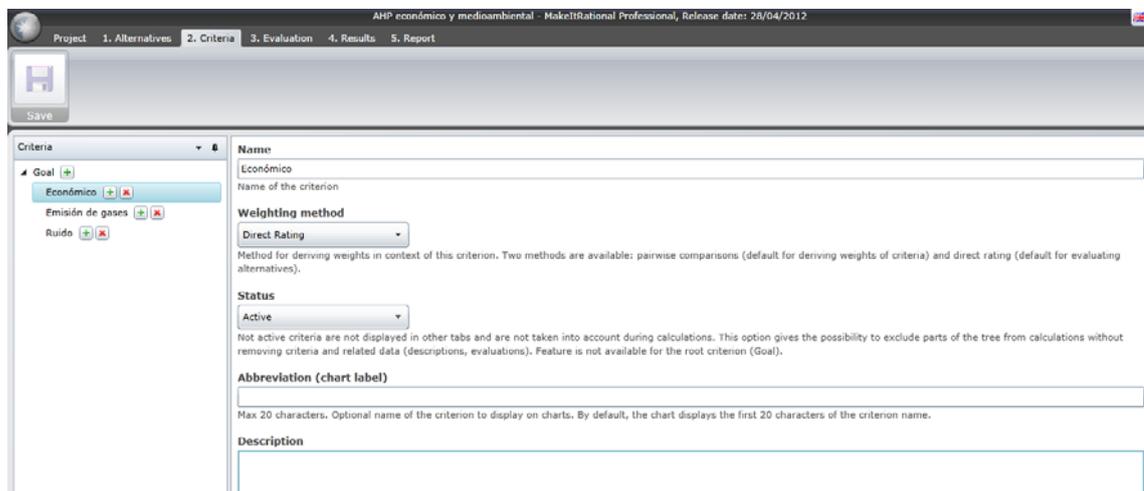
En la parte superior se muestran los pasos a ir siguiendo para meter de forma correcta y ordenada todos los datos necesarios.



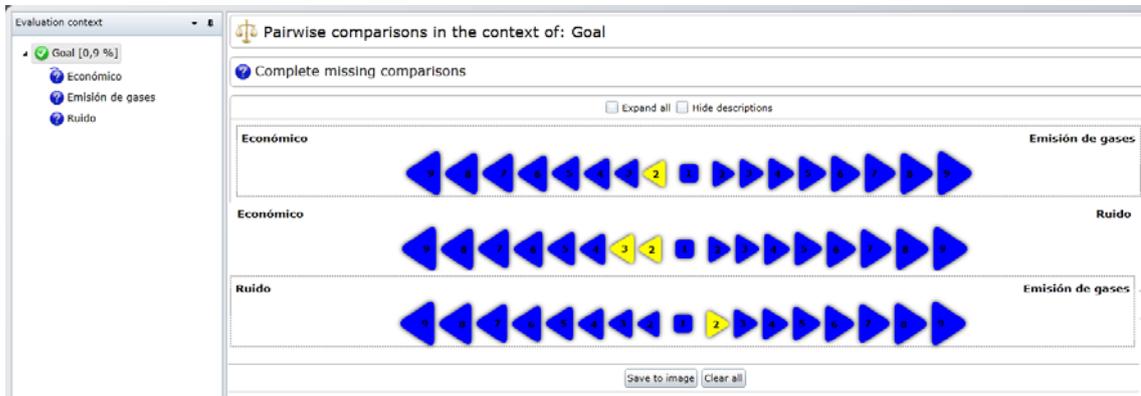
En el paso 1 se nombran las alternativas existentes.



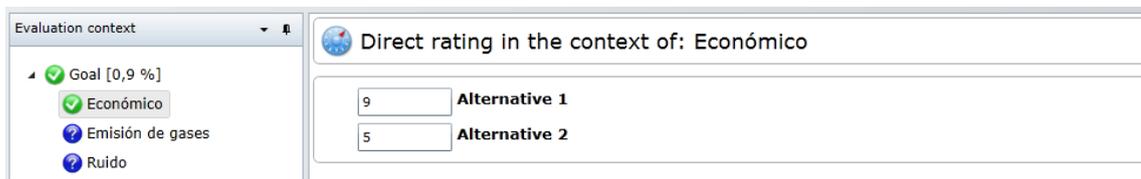
En el paso 2 se introducen los criterios. Cabe destacar que permite seleccionar dos formas para introducir los datos para cada alternativa del criterio en el paso siguiente. La primera es meter la puntuación que evalúa la alternativa (Direct rating) y la segunda es introducir estos datos mediante preferencias entre alternativas (Pairwise comparisons). Se decidió que la mejor forma de introducir los datos era seleccionar la primera opción para el criterio económico y la segunda para los otros dos. A continuación se muestra una imagen con este paso para el criterio económico.



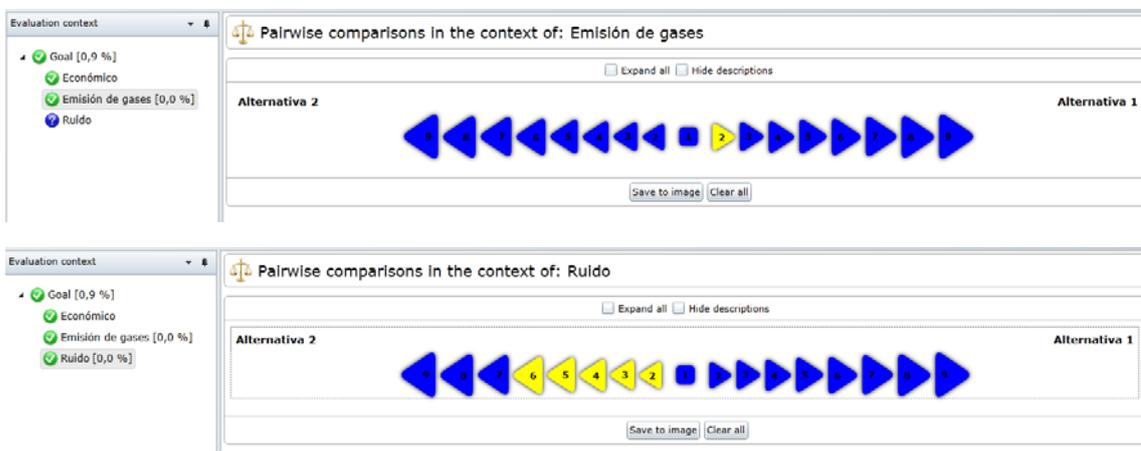
El paso 3 consiste en evaluar e introducir las preferencias tanto para los criterios como para las alternativas. Se introduce el número de preferencia hacia el lado del criterio con mayor importancia. Una vez que se introducen estos datos, el software calcula la consistencia y la pone en el margen superior izquierdo en % y entre corchetes. En el caso de que no salga inconsistente dará un aviso.



Para los criterios nos da una consistencia del 0,9% mientras que en nuestro AHP nos daba del 0,8%. Ahora se meten las preferencias para cada alternativa en cada criterio.

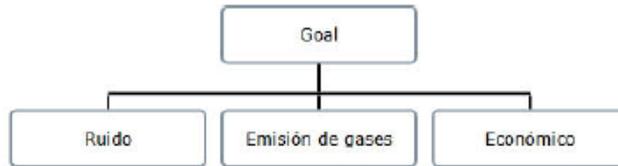


Para el económico se introducen los datos directamente (9 y 5 respectivamente) ya que habíamos seleccionado esta opción. Para los otros dos se introducirán las preferencias de forma análoga o como se ha hecho para los criterios.



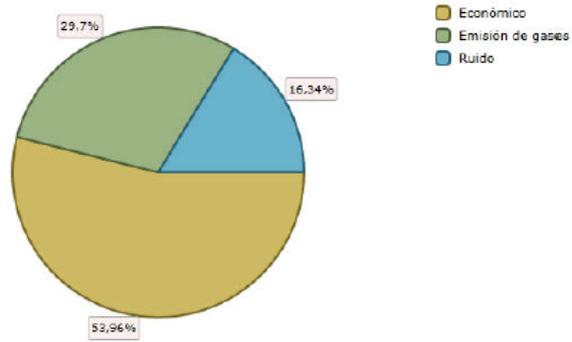
En el paso 4 se muestran los resultados y en el 5 permite exportar el informe con los resultados en distintos formatos. Vamos a analizar a continuación los resultados obtenidos y compararlos con nuestro modelo AHP realizado en el proyecto.

En las primeras hojas del informe se muestra el nombre y la descripción del proyecto, se enumeran las alternativas y los criterios, y se muestra un esquema del problema. A continuación, aparecen por orden los resultados por criterios, por alternativas en cada criterio y la combinación final de ambos.



Evaluation in context of: Goal

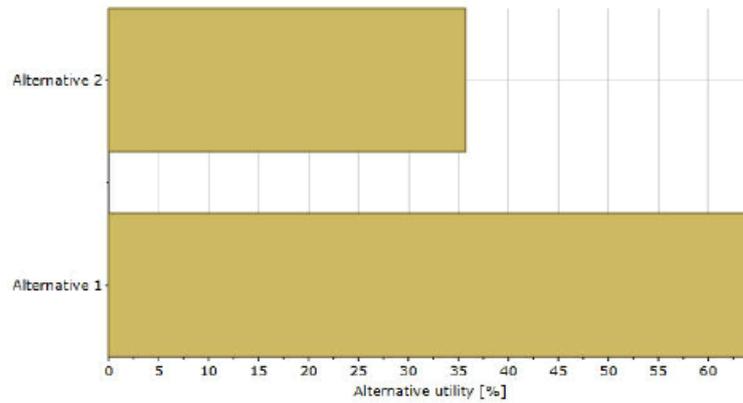
Económico vs. Ruido	3 : 1
Económico vs. Emisión de gases	2 : 1
Emisión de gases vs. Ruido	2 : 1



Criterion	Weight
Ruido	16,34
Emisión de gases	29,7
Económico	53,96

Evaluation in context of: Económico

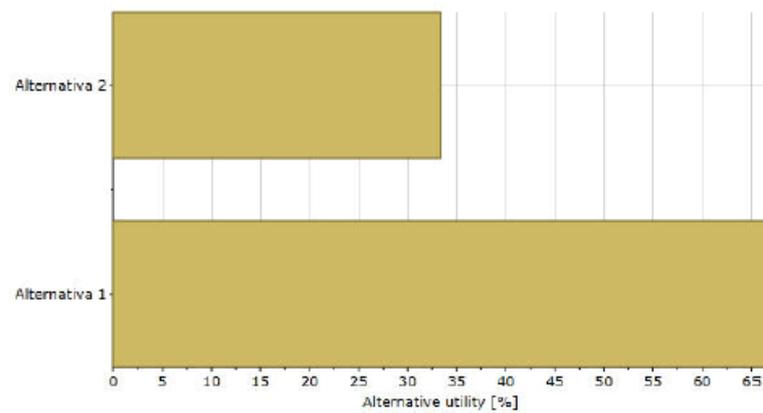
Alternative 2	5
Alternative 1	9



Alternative	Económico
Alternative 1	64,29
Alternative 2	35,71

Evaluation in context of: Emisión de gases

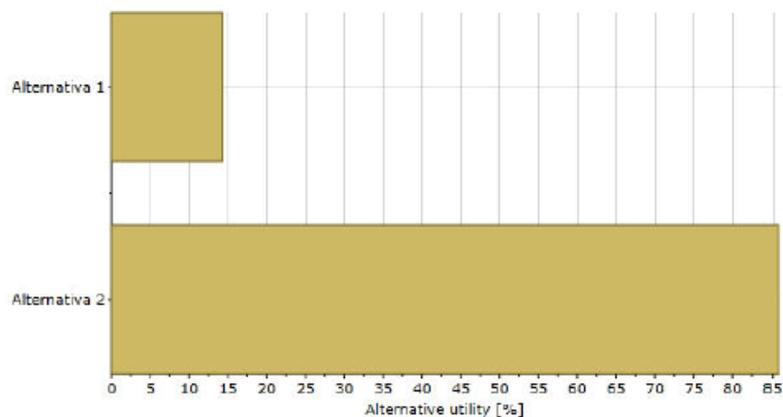
Alternativa 1 vs. Alternativa 2	2 : 1
---------------------------------	-------



Alternative	Emisión de gases
Alternativa 1	66,67
Alternativa 2	33,33

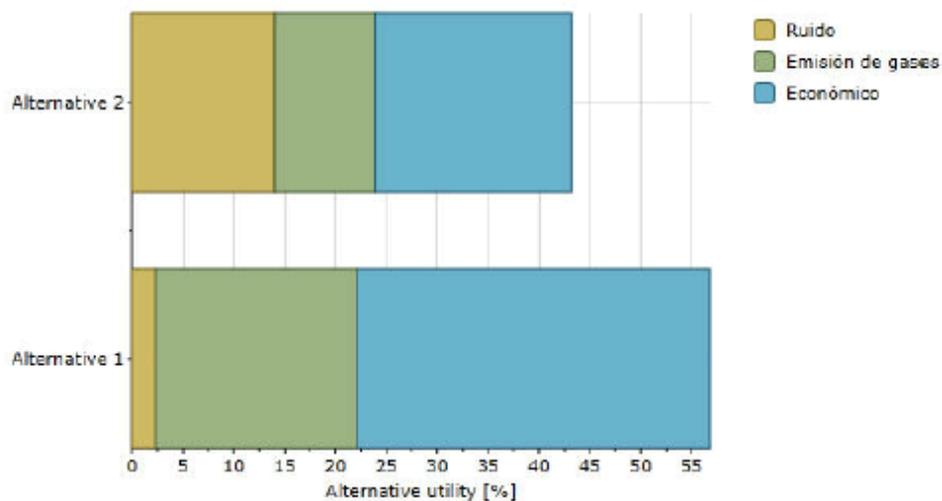
Evaluation in context of: Ruido

Alternativa 2 vs. Alternativa 1	6 : 1
---------------------------------	-------



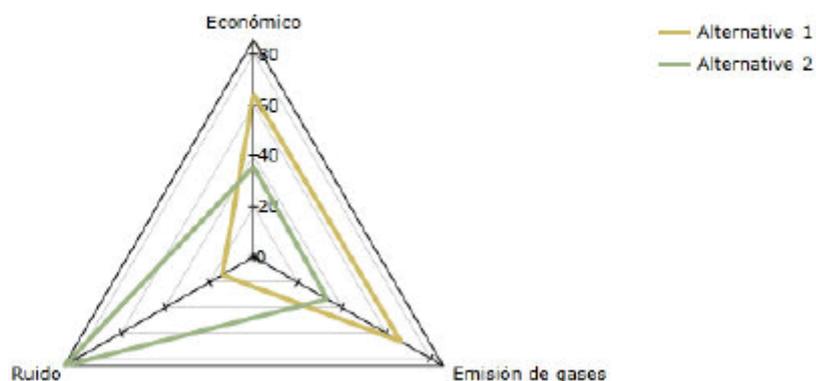
Alternative	Ruido
Alternativa 1	14,29
Alternativa 2	85,71

Ranking in context of: Goal



Alternative	Total	Ruido	Emisión de gases	Económico
Alternative 1	56,82	2,33	19,8	34,69
Alternative 2	43,18	14,01	9,9	19,27

Comparison in context of: Goal



Criterion	Alternative 1	Alternative 2
Ruido	14,29	85,71
Emisión de gases	66,67	33,33
Económico	64,29	35,71

En general se puede apreciar que los resultados que quedan son prácticamente iguales a los obtenidos en nuestro modelo AHP. Las pequeñas diferencias se deben a redondeos, ya que para los pesos se han seleccionado 2 en vez de 4 cifras significativas. De esta manera, una vez más se concluye el apartado diciendo que la alternativa más sostenible y, el resultado de este proyecto, es la alternativa 1.

7. Análisis de resultados y conclusiones.

En este apartado se va a analizar los resultados obtenidos en cada uno de los pasos del proyecto. Esto abarca desde los resultados de los subcriterios de cada uno de los análisis económico y medioambiental, hasta los resultados de cada uno de los tres métodos de jerarquía analítica de toma de decisiones multicriterio realizados, el económico, el medioambiental y el final que combina ambos. Para cada caso, primero se mostrarán los resultados obtenidos y analizará su razón de ser.

➤ Coste directo:

Alternativa	Coste directo medio(€)
1	25,80
2	34,95

El coste debido al combustible en ambas alternativas es similar ya que ambas tienen aproximadamente la misma distancia. Lo que hace que la alternativa 2 se distancie de la alternativa 1, es el peaje de 10,08 euros que hay que pagar debido a que esté formada por una autopista.

Si la empresa solo valorase el coste que hay que pagar al recorrer cada trayecto, elegiría sin lugar a dudas la alternativa 1.

➤ Velocidad:

Alternativa	Velocidad media (km/h)
1	78,03
2	88,77

Como era de esperar, la alternativa con mayor velocidad media máxima permitida es la 2 debido a que está formada por autopista en todo su recorrido. La velocidad máxima permitida en este tipo de vía es de 90 km/h, superior a la del resto de tipos de vía. Esto además, hace que se pueda llevar una velocidad más constante, por lo que el gasto de combustible se reduciría, permitiendo de esta manera una conducción más eficiente.

Dicho esto, si la empresa solo tuviera en cuenta este apartado para seleccionar la mejor alternativa, elegiría la alternativa 2.

➤ Pendiente:

Alternativa	Desnivel medio (m/km)
1	7,52
2	10,25

Para que no influyan las distancias de cada ruta en este subcriterio, al desnivel medio de subida total se divide entre el número de kilómetros de cada alternativa. En este caso, la alternativa que resultaría elegida por la empresa si solo tuviese en cuenta este subcriterio sería la alternativa 1.

➤ AHP económico:

En este modelo se tienen en cuenta los tres subcriterios anteriores de forma que se obtenga la mejor alternativa atendiendo solamente al análisis económico realizado. Para esto, algo que requiere el método es la comparación por pares de los subcriterios, de forma que se repartan los pesos de cada uno y permitir el desarrollo del método. Esta comparación por pares, resuelve los pesos que a continuación se exponen.

CRITERIOS	PESOS
Coste	0,50
Velocidad	0,25
Pendiente	0,25

Así, el subcriterio de costes directos es considerado el doble de importante que los otros dos, es decir, el coste directo tiene el mismo peso que la velocidad y pendiente medias juntos. Teniendo en cuenta estos pesos los resultados obtenidos para alternativa quedan como sigue.

Alternativa	AHP económico
1	0,68
2	0,32

Los resultados muestran una clara preferencia por la alternativa 1. Esta alternativa está en primer lugar en el subcriterio coste directo que es el que tiene el peso más importante, pero también en el subcriterio de pendiente ascendente media. Por otro lado, tiene peor resultado en el subcriterio velocidad pero la diferencia en este caso no es tan elevada como en los otros subcriterios.

El método contempla un estudio de sensibilidad para constatar el resultado en el caso de que se produzcan pequeñas modificaciones en los pesos de los subcriterios introducidos. Tras analizar las 5000 muestras estudiadas el mejor resultado continúa siendo la alternativa 1 en el 100% de los casos.

De este modo, tras el análisis económico se concluye diciendo que la alternativa elegida por la empresa teniendo en cuenta solo criterios económicos sería la alternativa 1.

➤ Emisiones de gases a la atmósfera:

Alternativa	Emisiones de gases (tn/km y vehic)
1	0,188
2	0,220

Las unidades para este apartado representan la cantidad de toneladas de emisiones que un vehículo híbrido (de todo el parque distribuido de España), generaría por kilómetro durante un año recorriendo cada alternativa de forma diaria.

A priori se podría pensar que ambas alternativas van a contaminar una cantidad similar ya que ambas distancias son parecidas y la cantidad de combustible empleado, por lo tanto quemado en el motor del vehículo, también. Sin embargo, viendo el resultado obtenido de COPERT se puede afirmar que para contaminar la atmósfera lo menos posible a lo largo de su alternativa, la empresa debería elegir la alternativa 1.

➤ Ruido:

Alternativa	Ruido (λ_{eq} *pob.afectada)
1	7663763,0
2	2754080,4

Las unidades representan la cantidad total de longitud de onda equivalente que afecta en la población residente a 300 metros a cada lado de la vía.

De todos los criterios estudiados en el proyecto, este es el caso en el que mayor disparidad de resultados se ha dado entre las alternativas. El resultado obtenido para la alternativa 1 es tres veces peor que el obtenido para la segunda alternativa. Esto se debe a que la alternativa 1 pasa cerca de muchos pueblos en su recorrido y tiene una población afectada de 126337 personas, mientras que la alternativa 2 afecta a 43501 personas.

Dicho esto, si la empresa solo se guiase por la contaminación acústica para elegir su recorrido óptimo, la única opción viable sería la segunda. No se podría plantear usar la primera en ningún caso.

➤ AHP medioambiental:

Para este segundo caso solo se tuvo en cuenta los dos criterios anteriores, la contaminación atmosférica con la emisión de gases y la contaminación acústica. Tras comparar por pares se muestran los pesos obtenidos.

CRITERIOS	PESOS
Emisión de gases	0,67
Ruido	0,33

Se da el doble de importancia a la contaminación de gases que a la acústica debido a las siguientes razones:

- Por un lado se quiere hacer hincapié en el proyecto en la concienciación medioambiental a largo plazo.
- La contaminación de gases afecta tanto a las personas como al entorno general, mientras que la contaminación acústica afecta exclusivamente a las personas.
- Para disminuir el ruido se pueden emplear medidas sencillas y eficaces en el corto plazo tales como barreras sonoras en las vías o la insonorización de edificios o ventanas.

Alternativa	AHP medioambiental
1	0,49
2	0,51

Con los pesos introducidos, los resultados obtenidos nos guiarían a elegir la alternativa 2 frente a la otra pero no de una manera contundente ya que están prácticamente empatadas. Para evitar este problema se realiza un análisis de sensibilidad con 5000 muestras variando el intervalo para el peso de la emisión de gases entre el 50 y 70% (de forma que se mantiene la prioridad de la

contaminación casi en el 100% de las muestras que se generen). Hecho esto, nos queda que es mejor la alternativa 2 en el 91,12% de los casos, por lo que damos por bueno que la alternativa a elegir por la empresa para minimizar los costes medioambientales exclusivamente es la alternativa dos.

➤ AHP económico-medioambiental:

Hacemos el tercer método AHP que nos dará la respuesta final al proyecto una vez que hemos conseguido todos los datos que buscábamos y creíamos importantes a la hora de poder comparar las alternativas desde el punto de vista económico y medioambiental. Se realiza un método AHP teniendo en cuenta los criterios, económico, el de emisión de gases y el de contaminación acústica, calculados en este trabajo. Para esto, algo que se requiere es la comparación por pares de los criterios, de forma que se repartan los pesos de estos y permitan el desarrollo del método.

CRITERIOS	PESOS
Económico	0,54
Emisión de gases	0,30
Ruido	0,16

La suma de los criterios medioambientales representa algo menos (46%) de la mitad de la importancia total, mientras que el criterio económico está un poco por encima de la mitad (54%). Dentro de los criterios medioambientales, siendo coherentes con el AHP anterior, el peso correspondiente a la emisión de gases es casi el doble que el correspondiente a la contaminación acústica, de forma que se sigue dando prioridad al largo plazo.

Alternativa	AHP económico-medioambiental
1	0,57
2	0,43

Como resultado nos queda una alta preferencia de elegir la alternativa 1 frente a la 2. Esto se debe a que la alternativa 1 es la mejor con respecto al apartado económico que es el que tiene el peso mayor. Además, también es mejor en el criterio de emisiones de gases aunque este criterio se reparte por alternativa casi al 50% lo que hace que no sea un criterio decisivo al elegir la alternativa final.

Por otro lado, el peso tan pequeño que se le otorga a la contaminación acústica, hace que no pueda aumentar la preferencia total mucho para la alternativa 2, aunque este criterio juegue en gran medida a favor de esta segunda alternativa.

Aunque parezca clara la alternativa a elegir, se vuelve a llevar a cabo un análisis de sensibilidad de 5000 muestras modificando los pesos de los criterios. Este análisis confirma que en el 100% de las muestras es mejor recorrer la alternativa 1.

Se concluye este apartado diciendo que si realmente existiese la empresa ficticia para la que se supone que elaboramos este proyecto, deberíamos aconsejarle tras el detallado estudio realizado, que la ruta cuyos menores costes económicos y medioambientales tiene es la alternativa número 1, formada por la carretera NI, GI-11, GI-20 y GI-636.

8. Referencias bibliográficas.

ANÁLISIS DE DECISIONES: TÉCNICAS Y SITUACIONES APLICABLES A DIRECTIVOS Y PROFESIONALES. León O. G. McGRAW-HILL/Interamericana de España S.A. Madrid (1994).

CONGESTION AND EMISSIONS MITIGATION: A COMPARATION OF CAPACITY, DEMAND AND VEHICLE BASED STRATEGIES. Bigazzi A.Y. y Figliozzi M. A. Transportation Research Part D 17 (2012) 538-547

DETERMINANTS OF THE WILLINGNESS-TO-PAY FOR REDUCING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ROAD TRANSPORTATION. Lera.López F., Faulin J. y Sánchez M. Transportation research Part D 17 (2012) 215-220. Elsevier.

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS DEL TRANSPORTE DE MERCANCIAS POR CARRETERA MEDIANTE SIG Y TECNICAS MULTICRITERIO. Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad pública de Navarra. Esteban de Paz Asín (2009).

EVALUATION METHODS TO SUPPORT THE COMPARISON OF MAPS FOR ENVIRONMENTAL DECISION MAKING. van Herwijnen M. and Jansen R. Innovation in Gis 8. Spatial Information and the Environment. Peter J Halls. (2001).

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Comas D. y Ruiz E. Editorial Ariel, S.A. (1993).

GREEN TRANSPORTATION AND THE ROLE OF OPERATION RESEARCH. Salimifard K., Shahbandarzadeh H. y Raeesi R. 2012 International Conference on Traffic and Transportation Engineering (ICTTE 2012).

INTELLIGENT GIS: LOCATION DECISIONS AND STRATEGIC PLANNING. Birkin M., Clarke G., Clarke M. y Wilson A. Pearson Professional Ltd (1996).

METODOLOGÍA PARA LA TOMA DE DECISIONES. Córdoba M. Delta, Publicaciones Universitarias (2004).

MODELS, METHODS, CONCEPTS & APPLICATIONS OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. Saaty, T. L. y Vargas L.G. Kluwer Academic Publishers (2001).

OBSERVATORIO HISPANO-FRANCES DE TRÁFICO EN LOS PIRINEOS. Documento nº 6, Diciembre (2011).

OBSERVATORIO HISPANO-FRANCES DE TRÁFICO EN LOS PIRINEOS. Suplemento al documento nº 6. Principales cifras actualizadas para los años 2010 y 2011, Noviembre (2013).

OPTIMIZACIÓN DE RUTAS TRANSPIRENAICAS DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN NAVARRA: CRITERIOS ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES. Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad pública de Navarra. Miguel Ángel Sola Freire (2011).

SISTEMAS DE INFORMACIÓN AMBIENTAL Taboada González, J. A., Cotos Yáñez, J. M., Hernandez Sande C, Fernandez Casal R., Arias Rodriguez J.E. et al. Netbiblo (2005).

TEORÍA DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO: CONCEPTOS, TÉCNICAS Y APLICACIONES. Romero C. Alianza Editorial,S.A. Madrid (1993).

TRANSPORTATION DECISION MAKING. Kumares C.Sinha-Samuel Labi. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey (2007).

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD AMBIENTAL. Azqueta Oyarzun D. McGraw-Hill. Madrid (1994).

9. Referencias web.

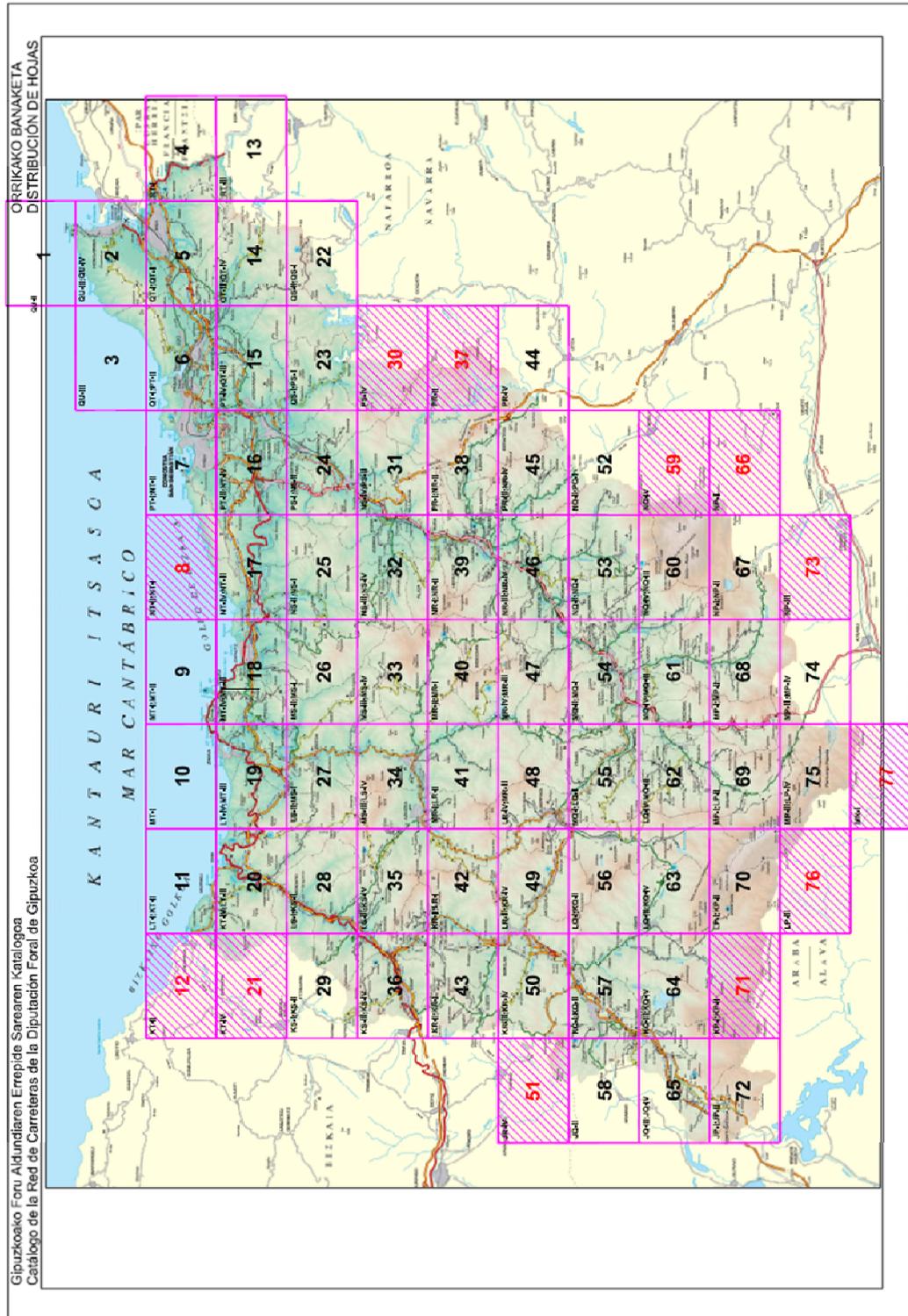
- <http://b5m.gipuzkoa.net/web5000/>
- <http://makeitrational.com/analytic-hierarchy-process/ahp-software>
- http://www.bidegi.net/Bidegi_Web/Sec_Home/wf_home.aspx
- <http://www.emisia.com/copert/>
- <http://www.euskalmet.euskadi.net/s07-5853x/es/meteorologia/home.apl?e=5>
- http://www.eustat.es/estadisticas/tema_159/opt_0/ti_Poblacion/temas.html#axzz2xBohs8BL
- http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/SERVICIOS_TRANSPORTISTA/OBSERVATORIO_COSTES/observatorios.htm
- http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/SERVICIOS_TRANSPORTISTA/DESCARGA_SOFTWARE/Acotram.htm
- http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/3784CAC4-866C-4789-BAD0-DE6BDB89A7CC/121646/Indicadores_Economicos.pdf
- <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/72ED2920-B9DF-48C8-8914-B8BDBCB41C9C/116012/OTP2011.pdf>
- http://www.geo.euskadi.net/s69-cartogra/es?r01kQry=tC:euskadi;tF:opendata;tT:ds_geograficos;cA:r01epd013242f4c3791c28b3e5d7b6d65cbf4458a;pp:r01PageSize.50;p:Inter_portal,Intery%20se%20selecciona%20la%20de%202012%20en%20formato%20WMS%28
- <http://w390w.gipuzkoa.net/WAS/CORP/DWIBideAzpiegiturakWEB/inicio.do?inicio=1&js=S>
- <http://www.gvsig.com/>
- <http://www.idae.es/index.php/idpag.481/relcategoria.1368/relmenu.363/mod.pags/mem.detalle>
- http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf
- <http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.net/r49-579/es/>
- <http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/default.aspx>
- http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes_pesados.aspx
- <http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Precios/Informes/InformesMensuales/Paginas/IndexInformesMensuales.aspx>
- <http://www.trafikoa.net/>
- <http://www4.gipuzkoa.net/MedioAmbiente/gipuzkoaingurumena/es/home.asp>

➤ <https://www.eurovignettes.eu/portal/>

(Última actualización para todas las referencias web a 27/3/2014)

10. Anexos.

Anexo 1: Catálogo de la Red de Carreteras de la Diputación Foral de Guipúzcoa.



Anexo 1: Imagen 1: Catálogo de la red de Carreteras de Guipúzcoa (Fuente: Diputación Foral de Guipúzcoa)

RED LOCAL (RED AMARILLA)				
CARRETERA	LONGITUD	VEH.xKM./DÍA	VEH.xKM./AÑO	IMD carretera
GI-3210	19,7	10.815	3.947.585	549
GI-3230	6,4	3.787	1.382.153	588
GI-3310	6,9	20.969	7.653.722	3.039
GI-3360	7,8	3.658	1.335.243	469
GI-3410	9,8	40.359	14.731.137	4.112
GI-3420	8,7	4.674	1.705.981	536
GI-3440	19,1	29.403	10.732.026	1.537
GI-3520	10,7	2.204	804.533	206
GI-3540	11,7	1.076	392.815	92
GI-3560	4,6	5.422	1.978.931	1.171
GI-3610	1,9	8.850	3.230.323	4.658
GI-3620	4,3	2.506	914.544	580
GI-3630	9,0	3.851	1.405.630	426
GI-3650	3,0	11.956	4.364.006	3.959
GI-3670	9,1	3.840	1.401.425	421
GI-3710	9,2	9.191	3.354.642	999
GI-3720	11,7	1.451	529.542	124
GI-3730	16,1	5.891	2.150.252	365
GI-3740	11,7	15.626	5.703.468	1.331
GI-3750	16,0	3.845	1.403.352	240
GI-3760	3,7	14.400	5.256.146	3.892
GI-3920	4,3	2.305	841.252	536
GI-3950	3,9	2.984	1.088.978	765
TOTAL:	209,7	209.062	76.307.683	997

RED LOCAL (RED GRIS PRINCIPAL)				
CARRETERA	LONGITUD	VEH.xKM./DÍA	VEH.xKM./AÑO	IMD carretera
GI-3021	0,9	699	255.266	752
GI-3031	0,4	134	49.056	384
GI-3041	1,5	591	215.846	384
GI-3042	2,9	133	48.691	46
GI-3071	1,9	361	131.750	188
GI-3072	0,4	70	25.389	188
GI-3091	2,2	849	309.754	384
GI-3092	0,2	65	23.827	384
GI-3111	1,0	160	58.458	154
GI-3112	2,0	311	113.544	154
GI-3131	3,1	477	174.251	154
GI-3132	1,2	180	65.766	154
GI-3133	1,8	276	100.616	154
GI-3151	6,7	396	144.715	59
GI-3152	2,1	325	118.603	154
GI-3161	1,9	299	109.303	161
GI-3162	4,4	2.886	1.053.536	656
GI-3163	2,6	412	150.438	161
GI-3171	2,6	412	150.438	161
GI-3172	3,7	1.329	484.932	363
GI-3173	2,7	427	155.727	161
GI-3174	3,4	547	199.801	161
GI-3181	3,7	594	216.843	161
GI-3182	4,1	861	314.163	212
GI-3183	0,1	105	38.245	806
GI-3191	2,2	1.757	641.334	806
GI-3192	7,9	2.978	1.087.080	377
GI-3211	1,8	1.451	529.542	806
GI-3212	4,3	6.394	2.333.847	1.487
GI-3221	0,6	242	88.476	404
GI-3251	2,5	101	36.938	40
GI-3261	7,0	427	155.855	61
GI-3271	0,7	283	103.222	404
GI-3272	0,5	371	135.327	806

GI-3273	1,5	602	219.715	404
GI-3281	1,0	822	300.074	806
GI-3282	1,7	2.162	789.278	1.272
GI-3291	1,6	1.290	470.704	806
GI-3292	7,6	1.140	416.100	150
GI-3293	3,9	889	324.558	228
GI-3294	2,3	569	207.510	244
GI-3301	3,1	736	268.757	236
GI-3302	0,8	535	195.443	653
GI-3321	5,4	1.485	542.025	275
GI-3322	2,5	198	72.434	81
GI-3323	2,0	800	291.971	404
GI-3324	3,6	57	20.849	16
GI-3331	6,0	235	85.837	39
GI-3341	2,0	317	115.767	161
GI-3342	1,8	283	103.428	161
GI-3343	1,8	290	105.777	161
GI-3344	2,7	956	348.867	354
GI-3345	2,4	388	141.624	161
GI-3346	1,3	253	92.163	202
GI-3351	2,5	404	147.500	161
GI-3352	3,3	752	274.628	228
GI-3361	2,3	5.162	1.884.145	2.206
GI-3371	4,2	683	249.164	161
GI-3372	3,3	267	97.565	81
GI-3381	4,3	1.638	597.980	381
GI-3391	3,7	746	272.184	201
GI-3392	2,0	165	60.313	81
GI-3401	1,1	12.321	4.497.209	10.808
GI-3411	3,4	543	198.038	161
GI-3412	1,6	253	92.261	161
GI-3421	3,0	486	177.470	161
GI-3431	1,5	122	44.643	81
GI-3452	6,6	22.968	8.383.320	3.480
GI-3453	2,0	158	57.652	81
GI-3454	15,4	4.697	1.714.405	305
GI-3481	2,2	361	131.634	161
GI-3491	3,2	522	190.399	161
GI-3511	3,3	794	289.956	240
GI-3521	1,9	143	52.275	77
GI-3551	2,3	5.444	1.987.097	2.367
GI-3552	3,1	499	182.172	161
GI-3554	1,6	253	92.261	161
GI-3561	1,3	201	73.456	161
GI-3562	3,8	908	331.493	239
GI-3571	2,7	2.095	764.748	776
GI-3572	2,8	1.143	417.312	404
GI-3573	0,3	40	14.691	161
GI-3591	8,1	7.250	2.646.068	895
GI-3592	4,4	708	258.566	161
GI-3593	4,0	780	284.700	195
GI-3601	3,9	1.049	382.922	269
GI-3631	15,7	7.588	2.769.594	483
GI-3632	3,7	589	215.080	161
GI-3651	2,2	348	126.932	161
GI-3652	5,3	429	156.695	81
GI-3653	1,0	161	58.765	161
GI-3661	2,4	386	141.036	161
GI-3671	2,7	11.048	4.032.403	4.032
GI-3672	2,3	11.291	4.121.108	4.909
GI-3681	1,3	51	18.542	40
GI-3701	3,5	280	102.295	81
GI-3711	6,8	1.353	493.918	199
GI-3712	4,5	720	262.680	161
GI-3713	2,6	419	152.789	161
GI-3714	5,8	934	340.837	161
GI-3721	6,1	4.093	1.493.982	671
GI-3722	5,8	16.820	6.139.300	2.900
GI-3741	2,8	449	163.954	161

GI-3742	0,5	74	27.032	161
GI-3751	0,7	275	100.273	404
GI-3771	4,4	893	326.018	203
GI-3781	4,1	344	125.651	85
GI-3782	0,4	24	8.913	66
GI-3791	1,5	249	90.792	161
GI-3801	2,4	962	350.955	404
GI-3802	2,7	1.071	390.769	404
GI-3803	3,6	578	210.968	161
GI-3811	1,9	299	109.303	161
GI-3812	0,3	50	18.217	161
GI-3821	0,1	48	17.651	806
GI-3831	0,1	564	206.035	4.032
GI-3832	3,6	3.244	1.183.914	901
GI-3851	2,4	191	69.626	81
GI-3861	0,7	53	19.513	81
GI-3871	4,5	728	265.618	161
GI-3881	3,9	634	231.534	161
TOTAL:	360,8	181.711	66.324.365	504

RED LOCAL (RED GRIS-SECUNDARIA)				
CARRETERA	LONGITUD	VEH.xKM./DÍA	VEH.xKM./AÑO	IMD carretera
GI-4081	0,3	384	140.262	1.478
GI-4131	1,3	129	47.187	101
GI-4141	2,2	310	113.223	141
GI-4143	1,7	252	91.834	148
GI-4151	1,5	203	73.913	135
GI-4152	0,2	23	8.479	101
GI-4153	1,2	123	44.975	101
GI-4164	1,0	52	18.987	51
GI-4241	4,1	410	149.672	101
GI-4251	1,1	107	39.077	101
GI-4261	1,2	63	23.156	52
GI-4262	1,2	61	22.338	51
GI-4271	3,4	172	62.919	51
GI-4331	1,8	89	32.576	51
GI-4335	0,7	34	12.286	51
GI-4342	1,0	48	17.684	51
GI-4371	1,2	59	21.407	51
GI-4381	1,9	353	128.991	186
GI-4383	0,1	6	2.048	51
GI-4491	1,2	125	45.713	101
GI-4571	2,6	252	92.053	97
GI-4601	0,5	23	8.377	51
GI-4721	1,3	128	46.819	101
GI-4751	0,7	34	12.286	51
GI-4752	1,2	3.475	1.268.485	3.022
GI-4761	0,6	1.436	524.078	2.519
GI-4871	0,7	34	12.472	51
GI-4872	0,2	8	2.792	51
TOTAL:	35,6	8.395	3.064.087	236

 Datos estimados

Anexo 3: Datos de entrada para introducir a COPERT sobre la alternativa 2.

Mes	Oiartzun	Lasarte	Zarauz	Aizarnazabal	Altzola	Media alternativa
Enero	12,8	12,5	13,1	11,9	12,4	12,5
Febrero	11,4	10,8	11,6	10,5	11,1	11,1
Marzo	15,8	15,5	16,4	15,8	17,3	16,2
Abril	17,5	16,8	17,5	16,9	19,4	17,6
Mayo	16,2	15,6	16,4	15,7	18,3	16,4
Junio	20	19,5	20	19,5	22,2	20,2
Julio	26,9	26,3	26,8	27	29,4	27,3
Agosto	24,7	23,8	24,8	24,4	27	24,9
Septiembre	24,2	23,8	25	23,9	26,3	24,6
Octubre	22,7	22,3	24,1	21,5	24,7	23,1
Noviembre	13,9	13,3	14,5	12,7	15	13,9
Diciembre	14,7	14,2	15,2	17,2	15,3	15,3

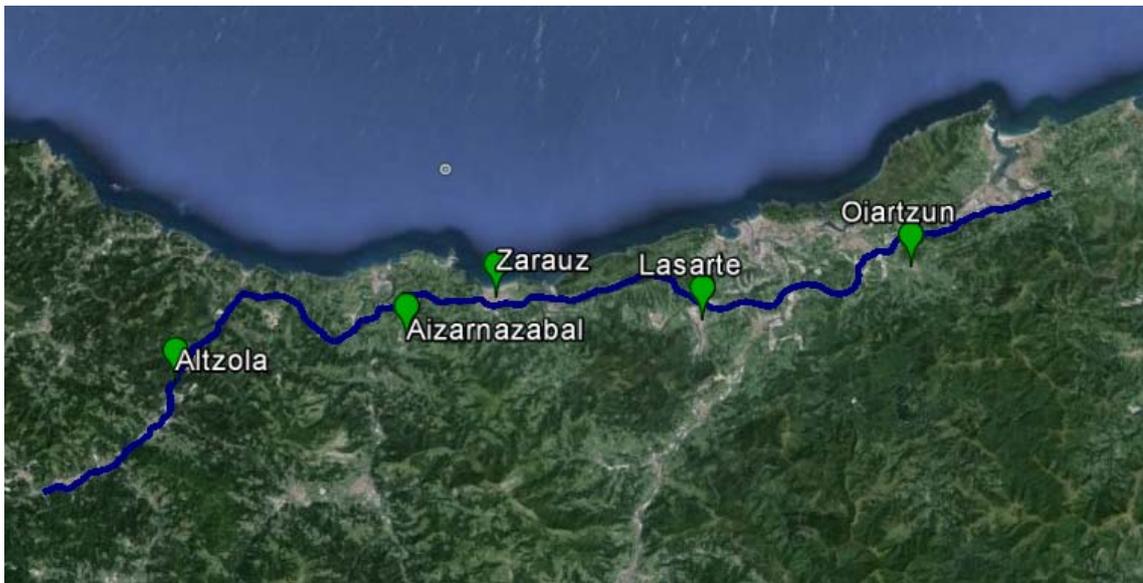
Anexo 3: Tabla 1: Cálculo de la temperatura máxima media para la alternativa 2 a partir de la de sus estaciones meteorológicas

Mes	Oiartzun	Lasarte	Zarauz	Aizarnazabal	Altzola	Media alternativa
Enero	4,9	5,6	6,7	5,3	5	5,5
Febrero	4,2	4,3	5,4	4,1	4,2	4,4
Marzo	6,8	7,3	8,5	6,9	7,3	7,4
Abril	8,1	7,6	8,9	6,9	8,8	8,1
Mayo	9,4	8,8	10	8,1	10,1	9,3
Junio	13	12,2	13,5	11,5	13,4	12,7
Julio	18	17,4	18,8	16,3	18,6	17,8
Agosto	16,6	15,9	17,9	15	17,2	16,5
Septiembre	14,7	14,6	16,5	13,8	15,9	15,1
Octubre	12,8	12,8	15,3	12	14,1	13,4
Noviembre	8,1	7,7	8,9	7,2	9,5	8,3
Diciembre	3,6	5,7	7,9	5,4	5,8	5,7

Anexo 3: Tabla 2: Cálculo de la temperatura mínima media para la alternativa 2 a partir de la de sus estaciones meteorológicas

Mes	Oiartzun	Lasarte	Zarauz	Aizarnazabal	Altzola	Media alternativa
Enero	84,2	82,7	89,2	89,9	96,8	88,6
Febrero	80,9	81,6	90,9	85,4	94,5	86,7
Marzo	70,3	69	78,1	75,5	81	74,8
Abril	73,9	74,9	83,6	83,1	85,1	80,1
Mayo	82,5	83,4	92,6	91	92,9	88,5
Junio	82,7	85	96,9	92,2	91,2	89,6
Julio	80,9	82,5	97,2	90,2	90,7	88,3
Agosto	82	83,7	95,6	92,3	91,2	89,0
Septiembre	82,3	82,4	91,9	90,7	93,3	88,1
Octubre	77,4	76,8	77,9	84,5	85,8	80,5
Noviembre	85,2	86,4	90,7	94,3	96,9	90,7
Diciembre	74,9	69,1	72,1	77,3	87	76,1

Anexo 3: Tabla 3: Cálculo de la humedad relativa media para la alternativa 2 a partir de la de sus estaciones meteorológicas



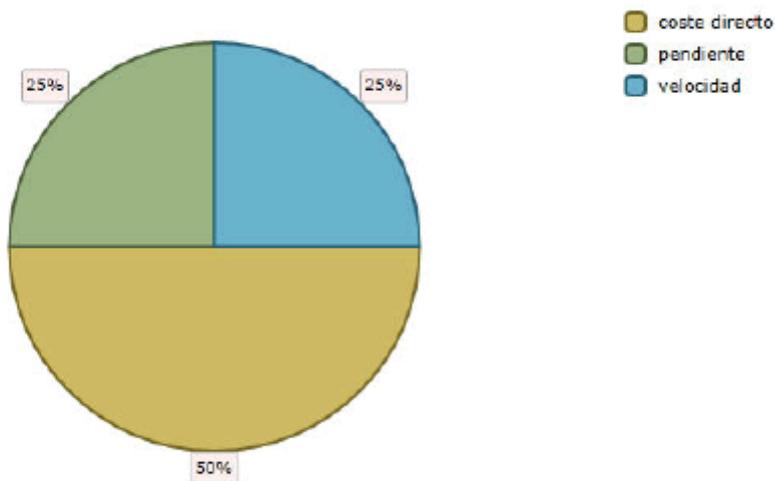
Anexo 3: Imagen 1: Estaciones meteorológicas usadas para la alternativa 2
(Fuente: elaboración propia)

Anexo 4: Resultados obtenidos con MakeItRational para el AHP basado solamente en criterios económicos.



Evaluation in context of: Goal

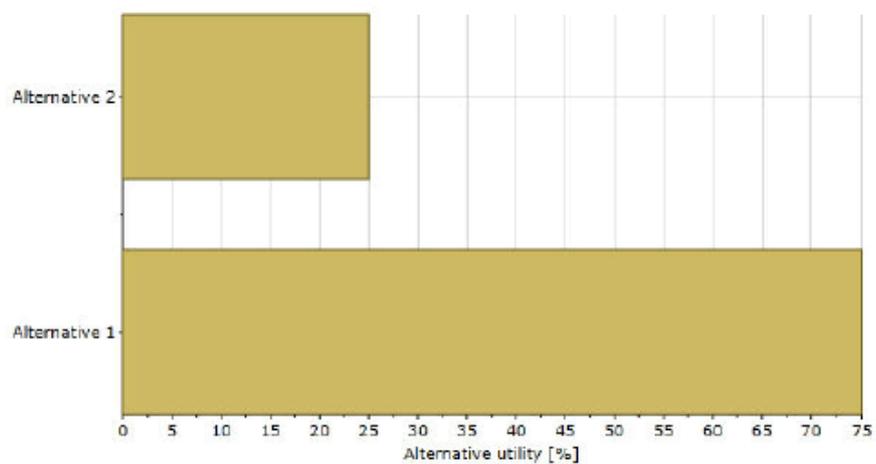
coste directo vs. pendiente	2 : 1
coste directo vs. velocidad	2 : 1
pendiente vs. velocidad	1 : 1



Criterion	Weight
pendiente	25
velocidad	25
coste directo	50

Evaluation in context of: coste directo

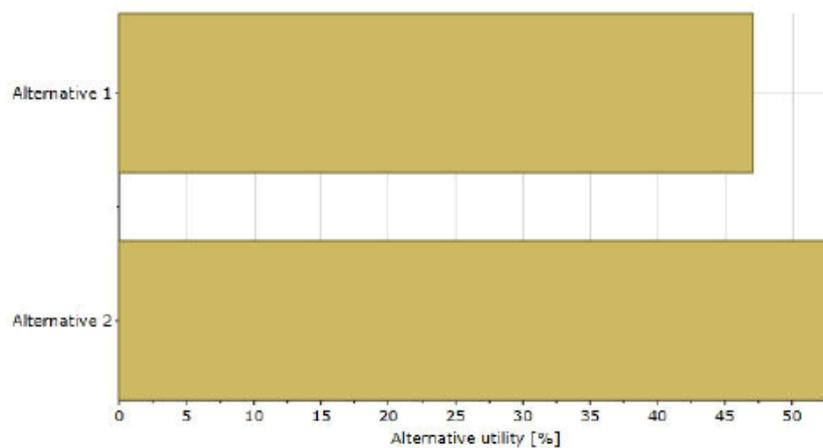
Alternative 1 vs. Alternative 2	3 : 1
---------------------------------	-------



Alternative	coste directo
Alternative 1	75
Alternative 2	25

Evaluation in context of: velocidad

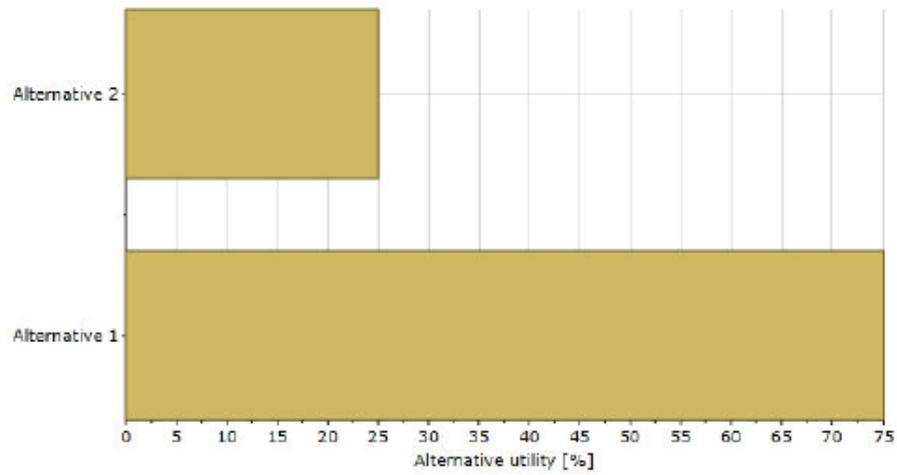
Alternative 2	9
Alternative 1	8



Alternative	velocidad
Alternative 1	47,08
Alternative 2	52,94

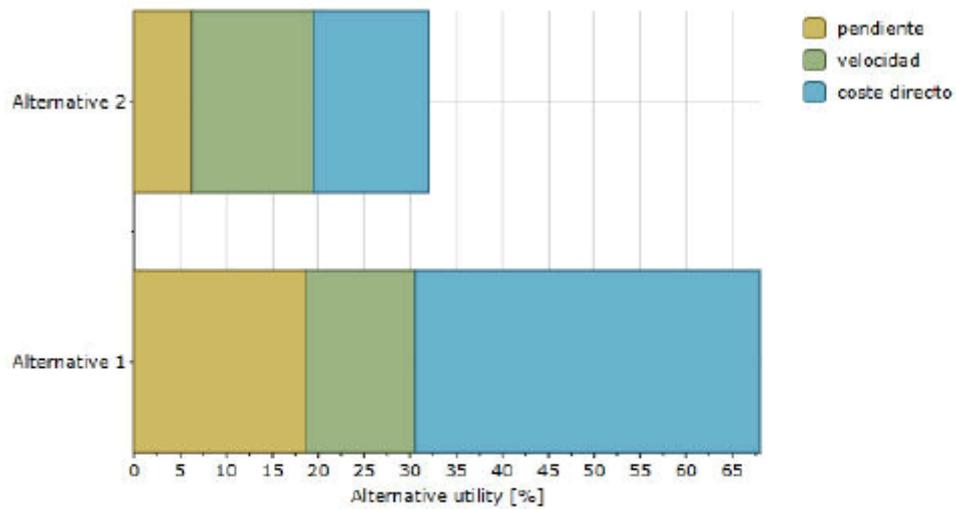
Evaluation in context of: pendiente

Alternative 1 vs. Alternative 2	3 : 1
---------------------------------	-------



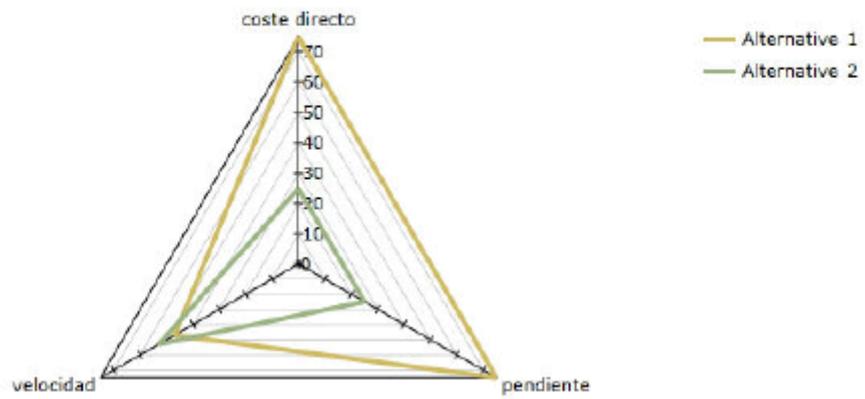
Alternative	pendiente
Alternative 1	75
Alternative 2	25

Ranking in context of: Goal



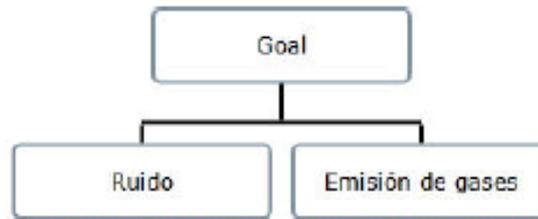
Alternative	Total	pendiente	velocidad	coste directo
Alternative 1	68,01	18,75	11,76	37,5
Alternative 2	31,99	6,25	13,24	12,5

Comparison in context of: Goal



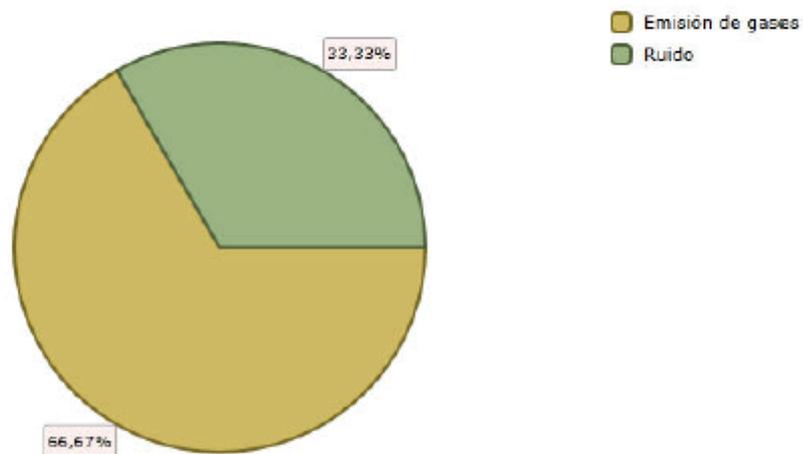
Criterion	Alternative 1	Alternative 2
pendiente	75	25
velocidad	47,06	52,94
coste directo	75	25

Anexo 5: Resultados obtenidos con MakeItRational para el AHP basado solamente en criterios medioambientales.



Evaluation in context of: Goal

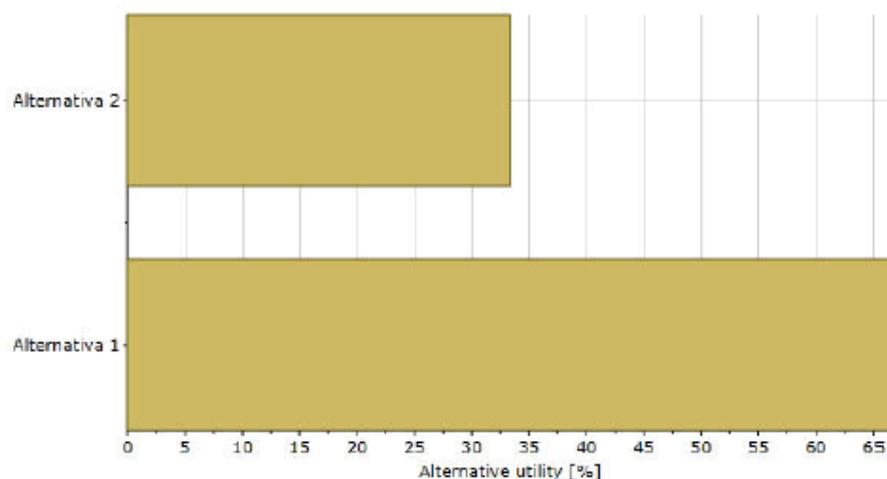
Emisión de gases vs. Ruido	2 : 1
----------------------------	-------



Criterion	Weight
Ruido	33,33
Emisión de gases	66,67

Evaluation in context of: Emisión de gases

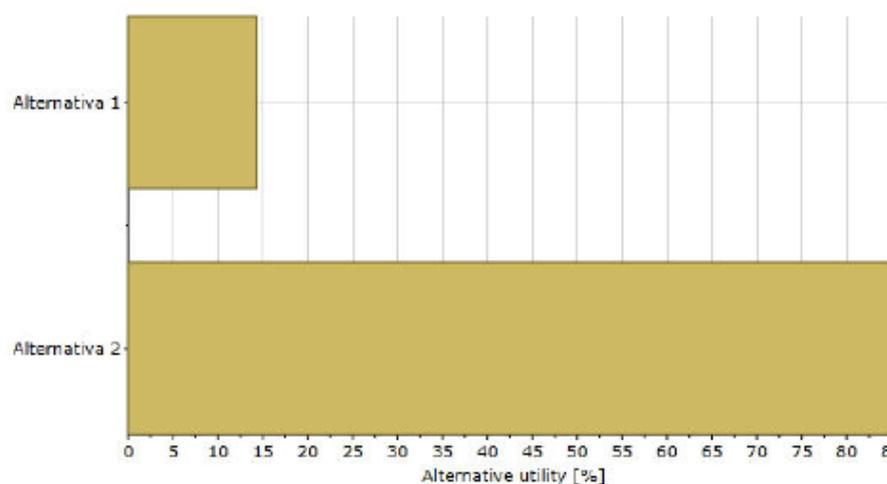
Alternativa 1 vs. Alternativa 2	2 : 1
---------------------------------	-------



Alternative	Emisión de gases
Alternativa 1	66,67
Alternativa 2	33,33

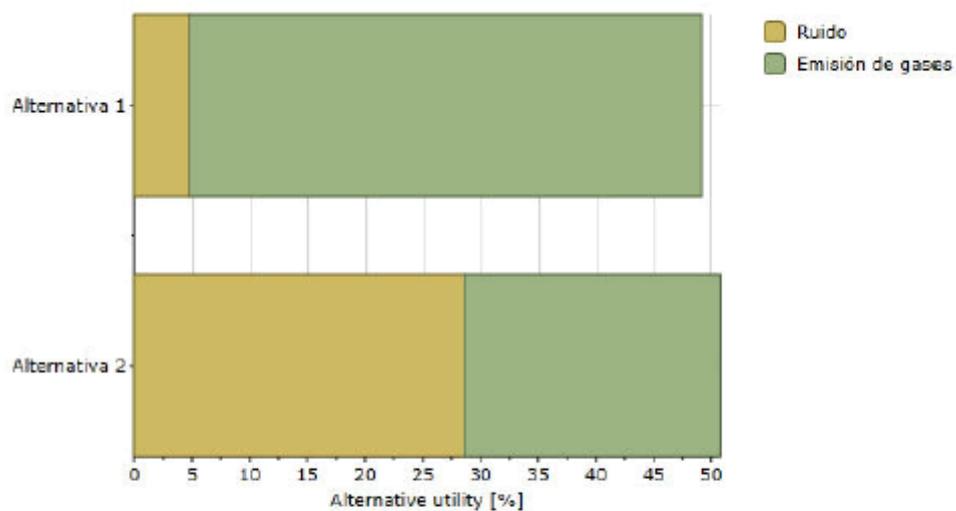
Evaluation in context of: Ruido

Alternativa 2 vs. Alternativa 1	6 : 1
---------------------------------	-------



Alternative	Ruido
Alternativa 1	14,29
Alternativa 2	85,71

Ranking in context of: Goal



Alternative	Total	Ruido	Emisión de gases
Alternativa 1	49,21	4,78	44,44
Alternativa 2	50,79	28,57	22,22