



CLAVE:  
**EI1-E-164**

TIPO DE ESTUDIO	<b>ESTUDIO INFORMATIVO</b>	RED	<b>CARRETERAS DEL ESTADO</b>
CLASE DE OBRA	<b>AUTOVÍA</b>	TÍTULO COMPLEMENTARIO	<b>AUTOVÍA A-81</b>
CARRETERA	<b>N-432 DE BADAJOZ A GRANADA</b>	PUNTOS KILOMÉTRICOS	<b>PK 0+000 - PK 201+925,384</b>
TRAMO	<b>BADAJOZ - ESPIEL</b>	PROVINCIA	<b>BADAJOZ Y CÓRDOBA</b>
INGENIERA AUTORA DEL CONTRATO	<b>SOÑA ABAJO GONZÁLEZ</b>		
INGENIERO DIRECTOR DEL CONTRATO	<b>ANTONIO RUIZ-ROSO GÓMEZ</b>		

**DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS**  
**ANEJO 17. ESTUDIO DE RENTABILIDAD**

EMPRESA CONSULTORA



FECHA DE REDACCIÓN  
**JUNIO 2021**







HOJA DE CONTROL DE CALIDAD

<b>DOCUMENTO</b>	ANEJO 17. Estudio de Rentabilidad.				
<b>PROYECTO</b>	ESTUDIO INFORMATIVO "AUTOVÍA BADAJOZ-CÓRDOBA-GRANADA. TRAMO: BADAJOZ-ESPIEL"				
<b>CÓDIGO</b>	3578-FASE-B-17-TR-ACB-D01V01				
<b>AUTOR</b>	FIRMA	PBL/ALS			
	FECHA	10/2020			
<b>VERIFICADO</b>	FIRMA	MSA			
	FECHA	10/2020			
<b>DESTINATARIO</b>	DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN EXTREMADURA				
<b>NOTAS</b>					



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. RESUMEN DE TRÁFICO.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ANÁLISIS COSTE BENEFICIO.....</b>	<b>6</b>
3.1. LIMITACIONES DEL MODELO. ....	6
3.2. LOS AGENTES AFECTADOS. ....	6
3.3. ESTIMACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS .....	6
3.3.1. Costes para los productores.....	7
3.3.1.1. Costes de Inversión. ....	7
3.3.1.1.1 Costes de diseño y dirección. ....	7
3.3.1.1.2 Costes de expropiación. ....	7
3.3.1.1.3 Costes de construcción. ....	7
3.3.2. Excedente de los usuarios.....	7
3.3.2.1. Costes del tiempo.....	8
3.3.2.1.1 Estimación del coste del viaje	8
3.3.2.2. Coste del Combustible .....	8
3.3.3. Excedente de los productores.....	9
3.3.3.1. Coste de Mantenimiento:.....	9
3.3.3.2. Coste de amortización del vehículo.....	9
3.3.3.3. Coste del Lubricante .....	10
3.3.3.4. Coste del desgaste de neumáticos.....	10
3.3.4. Excedente del resto de la sociedad. Externalidades. ....	11
3.3.4.1. Coste de los Heridos .....	11
3.3.4.2. Coste de víctimas mortales. ....	11
3.3.4.3. Costes Ambientales .....	11

## ÍNDICE

<b>4. RESULTADOS DEL MODELO. ....</b>	<b>12</b>
4.1. HIPÓTESIS.....	12
4.2. COSTES PARA LOS PRODUCTORES. ....	12
4.3. EXCEDENTE USUARIOS.....	12
4.4. EXCEDENTE PRODUCTORES.....	13
4.5. EXCEDENTE RESTO DE SOCIEDAD.....	13
4.6. FLUJO DE CAJA SOCIAL.....	13
4.7. INDICADORES.....	14
4.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	14
4.8.1. Sensibilidad a la demanda.....	14
4.8.2. Sensibilidad a la Ocupación Vehicular.....	15
4.8.3. Sensibilidad al valor del tiempo de los ligeros.....	16
4.8.4. Sensibilidad a la inversión.....	16
4.9. CONCLUSIONES.....	17

## 1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se desarrolla la justificación económica de la rentabilidad de la ejecución de las alternativas planteadas en el “Estudio informativo de Alternativas de conexión entre Badajoz y Espiel”.

El Análisis Coste-Beneficio es una metodología que, mediante la cuantificación en unidades monetarias los costes y beneficios de un proyecto de inversión, calcula la alternativa más rentable desde el punto de vista social, acercándose a una asignación óptima de los recursos generales.

De esta forma, en este análisis se comparan los costes (entendiéndose como gastos e inversiones) y los beneficios sociales de cada una de las alternativas a analizar. Se entiende como beneficios sociales el conjunto de todos los efectos socialmente deseables que se derivan de la alternativa en cuestión, con los que se pretende incrementar el bienestar general del conjunto de los ciudadanos a través del uso eficiente de los recursos públicos y que no siempre se traducen en ingresos directos. El resultado de este análisis es el beneficio social neto o rentabilidad social del proyecto.

Este análisis se ha desarrollado siguiendo la metodología del ministerio de fomento, [nota de servicio del 2014](#). (nota técnica). Siguiendo esta metodología se comparan los costes (gastos e inversiones) de las alternativas con la alternativa de no actuación (alternativa S9), apareciendo así unos beneficios sociales derivados del ahorro del coste.

Por otra parte, mencionar, que el Modelo se ha realizado a euros constantes actuales, correspondientes a los precios del año 2028. No se inflacionan, por tanto, ni los costes ni las inversiones introducidas en el mismo a partir de ese año.

Con la finalidad de encontrar la mejor alternativa posible se plantean 6 alternativas cuyas características, necesarias para realizar este análisis, se presentan en la siguiente tabla.

Concepto	Ud	Alternativas						
		S-9	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Longitud	Km	206.93	200.79	201.93	197.78	197.87	198.22	204.88
Velocidad	Km/h	73.54	108.74	108.74	108.79	108.83	108.78	108.75
IMD ligeros (2017)	veh/día	4,492.00	5,825.46	5,817.67	5,083.02	4,549.65	5,308.92	5,616.89
IMD pesados (2017)	veh/día	546.00	683.94	684.89	555.25	502.34	565.14	632.08
IMD (2017)	veh/día	5,038.00	6,509.40	6,502.56	5,638.27	5,051.99	5,874.06	6,248.98
Inversión	€							

Tabla 1: Características de las alternativas

De la tabla anterior se observa claramente como, para el año 2017, las alternativas C1, C2 y C6 presentan tráficos similares entre sí y bastante más numerosos que los de las otras 3 alternativas. Los trazados de las tres alternativas indicadas comparten el hecho de contener una serie de tramos comunes con la A-66 en las inmediaciones de Zafra. Las otras 3 alternativas no comparten ningún tramo con vías existentes, considerando alternativas de nuevo trazado.

## 2. RESUMEN DE TRÁFICO

El estudio de tráfico surge como una actualización del realizado como estudio antecedente, que incluía un modelo de tráfico calibrado con datos del año 2004.

El nuevo estudio parte de la red contenida en el modelo previo y sus matrices y, a partir de información socioeconómica actualizada y la información de los Mapas de Tráfico disponibles, desarrolla un proceso de actualización, calibración y ajuste de un nuevo modelo de tráfico.

Una vez obtenida la asignación de tráfico para la situación actual se modelizaron, con el software EMME, cada una de las 6 alternativas propuestas para el tramo Badajoz – Espiel y se asignó la demanda de tráfico, diferenciada entre vehículos ligeros y vehículos pesados.

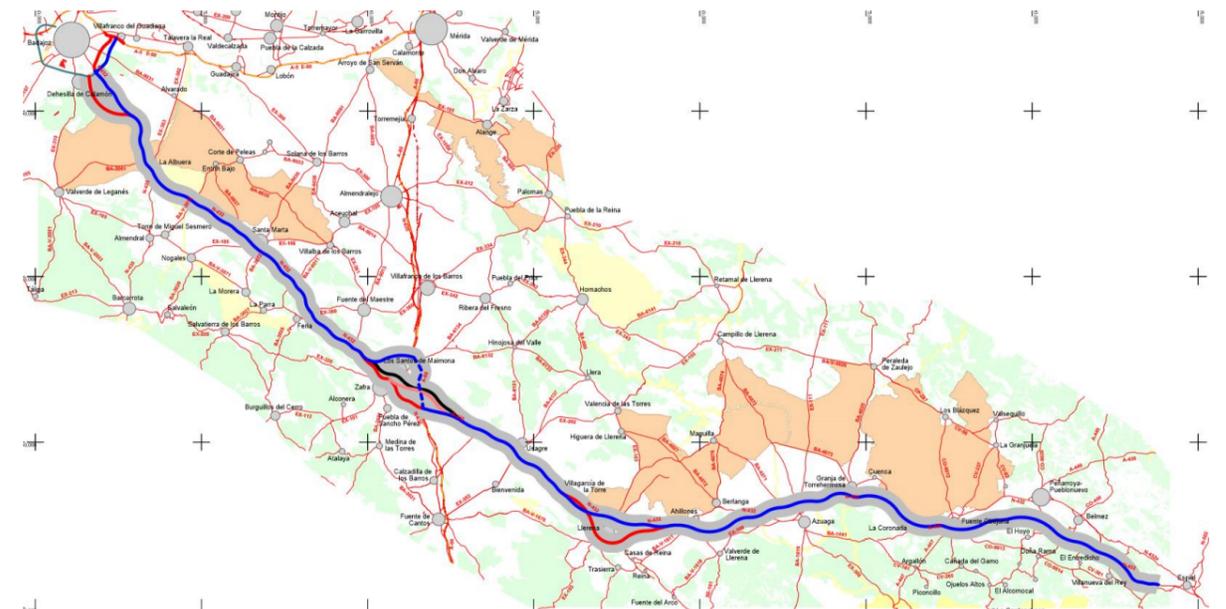


Figura 1: Alternativas Propuestas

En cualquier caso, el mayor tráfico de las alternativas C1, C2 y C6 es evidente tanto si se analizan los resultados incluyendo los tramos compartidos de la A-66 como si se analizan de manera exclusiva los

tramos de nueva construcción. Y esto es así tanto si se comparan cifras promedio de IMD como si se comparan cifras de vehículos x kilómetro.

En cuando a la proyección de la demanda, esta se ha realizado aplicando la tasa de crecimiento recomendada por la nota de tráfico 5/2010 del Ministerio de Fomento, que se mantiene constante para todo el periodo considerado (2017 – 2051) y da lugar a las series contenidas en la siguiente figura.

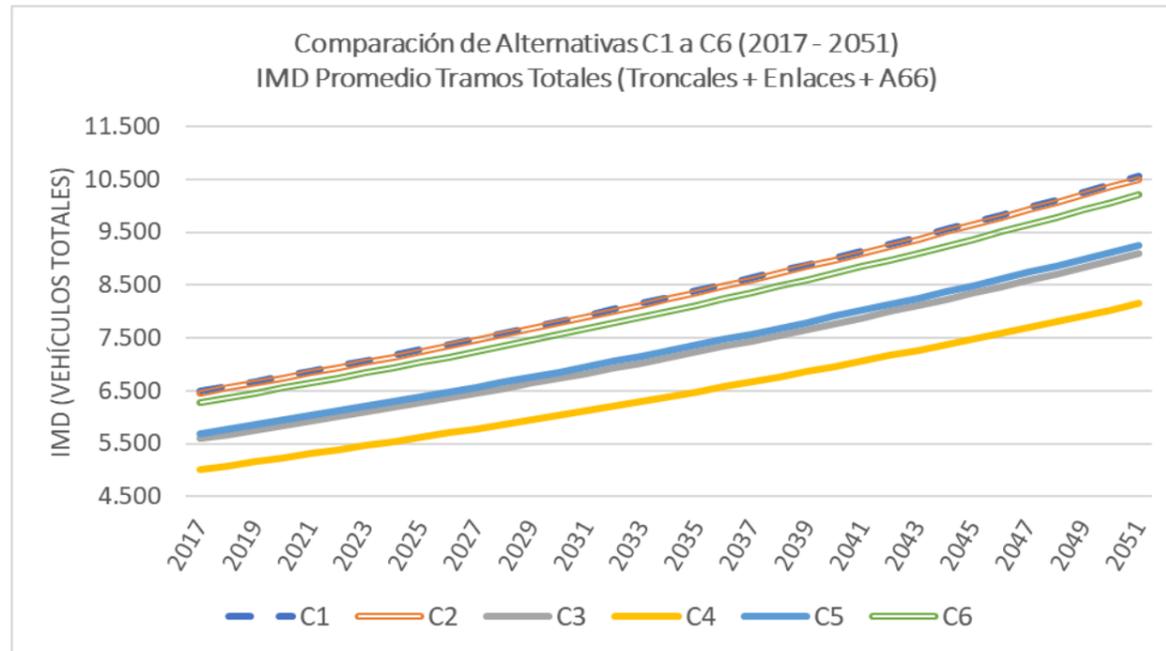


Figura 2: Proyección de IMD para las alternativas estudiadas

Se escoge la figura que incluye en el análisis los enlaces y los tramos compartidos con la A-66 ya que las 3 alternativas con mayor volumen de tráfico comparten el hecho de compartir tramos con la A-66 a su paso por Zafra.

Se concluye que las alternativas C1 y C2 son las mejor valoradas desde el punto de vista de la captación de tráfico, sin existir diferencias relevantes entre las series de tráfico de ambas alternativas

### 3. ANÁLISIS COSTE BENEFICIO

#### 3.1. LIMITACIONES DEL MODELO.

El Análisis Coste-Beneficio se ha realizado siguiendo la metodología del Ministerio de Fomento definida en su documento “nota de servicio del 2014”. En algunos casos, se ha actualizado el procedimiento de

cálculo como en el coste de externalidades, en el cual se ha utilizado la metodología de la Unión Europea<sup>1</sup>.

A pesar de todo ello, existen una serie de simplificaciones que limitan el modelo que se exponen a continuación:

- Siguiendo la metodología, este Análisis Coste Beneficio (ACB) se centra solo en los costes de la nueva y antigua autovía, no analiza toda la red. Esto implica que consideramos todos los efectos del aumento de la IMD como beneficios, cuando en la realidad podrían ser costes. Por ejemplo, una persona puede decidir coger un tramo de la nueva alternativa, siendo este viaje más largo, porque ahorre tiempo aunque aumenten sus costes de combustible, amortización, mantenimiento...
- Hipótesis constantes: se considera constante a lo largo del tiempo una serie de hipótesis, tales como el vehículo tipo, consumos, costes, etc, que en la realidad variarían de forma no proporcional, y por tanto deberían ser en puridad diferentes a lo largo de los años.
- Precios: Los precios a introducir deben ser los costes de oportunidad de obtención del bien. Esto no siempre es posible de conseguir, por lo que se han aplicado o bien los precios de mercado sin impuestos o los indicados en la nota técnica.
- Costes de explotación: estos costes son una estimación obtenidos de la nota técnica.

#### 3.2. LOS AGENTES AFECTADOS.

En este estudio de rentabilidad diferenciamos tres agentes afectados por la nueva actuación:

- Los usuarios: Los consumidores de los servicios de la infraestructura.
- Los productores de servicios e infraestructuras de transporte: empresas públicas o privadas que disponen a los usuarios de los servicios e infraestructuras.
- El resto de la sociedad: los afectados por las externalidades del proyecto.

#### 3.3. ESTIMACIÓN DE COSTES Y BENEFICIOS

Para la realización del Análisis Coste-Beneficio se analizan los costes y beneficios sociales para cada una de las alternativas seleccionadas enfocándonos en el cambio del excedente de los diferentes agentes. Para ello, hay que definir claramente qué se entiende por coste y qué por beneficio.

<sup>1</sup> [Guide to Cost-Benefits Analysis of Investment Projects](#)

Se entiende por coste de un bien lo que costaría producirlo en este momento, descontando de la valoración todo tipo de impuestos y subvenciones.

Se entiende por beneficio la diferencia entre los costes de transporte de la alternativa objeto de análisis y la alternativa de no construcción. Estos beneficios se obtienen como una reducción de los costes de transporte de la nueva alternativa.

Hay que resaltar que no se deben incluir en el análisis los beneficios indirectos derivados del efecto multiplicador de la inversión, tales como la generación de empleo, aumento de la actividad comercial, industrial, etc. En caso de incluir estos beneficios, se debería incluir también el coste de oportunidad de realizar la inversión en otro tipo de actividades o sectores.

### 3.3.1. Costes para los productores

Son los costes derivados de la inversión, mantenimiento y operación. Habrá que aplicar a estos costes un factor de corrección que tenga en cuenta el coste de oportunidad, como por ejemplo el salario sombra. Para ello se estudian los factores de corrección de la comunidad autónoma de Andalucía y Extremadura. Al ser el factor de corrección de Andalucía más conservador se opta por este valor, 0,85, para los costes de inversión.

#### 3.3.1.1. Costes de Inversión.

Los costes de inversión se agrupan en cuatro categorías: coste de diseño y dirección, coste de expropiación, costes de construcción y costes de interrupción.

##### 3.3.1.1.1 Costes de diseño y dirección.

Son los correspondientes a la redacción del proyecto y asistencia técnica necesarios para la realización de la nueva infraestructura. Se estiman en:

- Redacción proyecto constructivo: 2% sobre el Presupuesto de ejecución del Material.
- Asistencia Técnica a la Dirección de obra: 4% sobre el presupuesto de ejecución de material.

La inversión para la realización del Proyecto Constructivo se aplica equitativamente durante los dos años anteriores a su construcción. En cuanto a la dirección de obra se distribuye el coste a lo largo del periodo de construcción.

##### 3.3.1.1.2 Costes de expropiación.

El coste de expropiación se aplica en el año de inicio de las obras y se obtiene del anejo 13 "Reposiciones y expropiaciones".

### 3.3.1.1.3 Costes de construcción.

Los costes de construcción se obtienen del Anejo 16 "PRESUPUESTO". Estos costes se aplican los años de construcción y corresponden al Presupuesto Base de Licitación, descontando el IVA. Siguiendo la metodología los costes de construcción tienen al final del periodo de análisis un valor residual que dependerá de la vida útil de las partidas del presupuesto.

<b>RESUPUESTO EJECUCION MATERIAL</b>	<b>A</b>
<b>GG 13%PEM</b>	<b>0,13A</b>
<b>BI 6%PEM</b>	<b>0,06A</b>
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>1,19A</b>
<b>IVA 21%</b>	<b>0,21 X 1,19 A</b>
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN MÁS IVA</b>	<b>(1+0,21X1,19)A</b>
<b>Valoración de expropiaciones</b>	<b>B</b>
<b>Conservación del Patrimonio Histórico-Artístico Español (1,5%PEM)</b>	<b>0,015A</b>
<b>Programa de vigilancia Ambiental</b>	<b>C</b>
<b>PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN</b>	<b>(1+0,21X1,19+0,015)A+B+C</b>
<b>COSTE DE INGENIERIA (2% PEM)</b>	<b>0,02A</b>
<b>CONTROL Y VIGILANCIA (4%PEM)</b>	<b>0,04A</b>
<b>PRESUPUESTO DE INVERSIÓN</b>	<b>(1,19+0,015+0,02+0,04)A+B+C</b>

Tabla 2: Esquema Presupuesto Base de Licitación

### 3.3.2. Variación del excedente de los usuarios

El excedente de los usuarios son los beneficios que corresponden con la variación de costes percibidos por el usuario al escoger ir por una de las alternativas en vez de ir por la situación sin proyecto, estos son:

- Coste del tiempo
- Coste del combustible
- Coste del peaje (no aplica en este análisis)

Aunando estos costes se pretende obtener el coste generalizado de las alternativa. Con este objetivo se expresan los costes del tiempo y combustible en función del coste por vehículo.

Para la estimación de los costes se han considerado dos vehículos tipo representativo, un modelo para vehículos ligeros, y otro para vehículos pesados. Los datos se han obtenido, como indica la metodología, de [IDAE](#) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Se elige como vehículo representativo ligero la media de los vehículos de categoría M1, tipo de motorización gasóleo y gasolina, clasificación de consumo A y B, y segmento (Berlinas Familiares Medios). Resultando un vehículo ligero tipo cuyo consumo es de 4,7 (l/100Km).

Como vehículo pesado tipo, se elige un vehículo articulado de carga general con una carga útil de 25 toneladas, 5 ejes y 12 neumáticos y un consumo medio de 30 (l/100Km). Datos obtenidos del [Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías](#), Enero 2020.

### 3.3.2.1. Costes del tiempo

Los ahorros del tiempo de viaje suelen ser el elemento determinante para la rentabilidad de este tipo de proyectos siendo este ahorro el beneficio más importante.

#### 3.3.2.1.1 Estimación del coste del viaje

El valor del tiempo suele variar según el motivo de viaje. La metodología del ministerio propone diferenciar el coste del viaje en función del tipo de vehículo, ligero o pesado, y del motivo del viaje: trabajo u ocio. En este estudio se plantea un coste del tiempo de viaje fruto de la ponderación de los valores de: Wardman et al 2010, Adif 2011, World Bank, Heatco. La actualización de estos valores se ha hecho en función del PIB con una elasticidad del 70%, capitalizando los costes al año 2028.

El reparto según motivo de viaje se extrae de la Encuesta [Movilia 2006-2007](#) en la que se indica que el 43% de los viajes se deben a motivo de trabajo. La guía "[Guide to Cost-Benefits Analysis of Investment Projects](#)" propone distinguir los viajes de trabajo de los de trabajo-casa y casa-trabajo llamándolos commuting. Proponemos la siguiente distribución, que sigue manteniendo el ratio del 43% para los viajes de trabajo.

- 10% trabajo
- 33% Commuting
- 57% Otros motivos

Proyectando y ponderando los valores resulta un coste del tiempo de: 8,99€/h (año 2028) para vehículos ligeros.

En cuanto a los vehículos pesados, la Nota de Servicio, propone utilizar los datos de precio por hora y tonelada del [proyecto HEATCO](#). Es sabido que estos precios están muy sobredimensionados y, por tanto, se propone la utilización de los valores de [Values of time and impacts of cost and time on transport demand for use in CBA](#). Tomando como valor del tiempo de las mercancías de 0.6€/(toneladas\*h). Como nuestro vehículo pesado representativo tiene una carga útil de 10 toneladas y esta cargado el 85% del tiempo, resulta un valor del tiempo para vehículos pesados de 5€/hora (año 2028). Estos valores son mucho más bajos que los propuestos por el ministerio que propone utilizar unos valores de 23.03 (€ de 2013) para vehículos ligeros y 34.53 (€ de 2013) para vehículos pesados.

Para poder obtener un coste generalizado que tenga en cuenta el combustible y el coste de tiempo se propone obtener el coste por vehículo para así poder sumar ambos costes y obtener el coste generalizado de cada alternativa.

La formulación empleada es la siguiente:

$$CPV = T_{Recorrido} * C_{tiempo}$$

Ecuación 1: Coste por vehículo del tiempo.

Donde,

- $T_{recorrido}$  es el tiempo medio que se tarda en recorrer la alternativa, el valor utilizado es el resultado del modelo de tráfico.
- $C_{tiempo}$  es el coste del tiempo hallado en el apartado anterior.

### 3.3.2.2. Coste del Combustible

Se determinan los gastos de combustibles incurridos por los vehículos usuarios de la vía analizada. Para ello se sigue la metodología del Ministerio de Fomento, la cual propone la siguiente fórmula que relaciona el consumo en función de la velocidad.

$$C_{combustible} = C_{60Km/h} * P_{neto(combustible)} * \left( 0804 + \frac{12.66}{v} \right) * F$$

Ecuación 2: Fuente OCDE, Francia, 1990

Donde,

- $C_{combustible}$  es el coste del combustible por Kilómetro y alternativa.

- $C_{60\text{km/h}}$  es el consumo a una velocidad de 60 Km/h en (l/Km). Recordamos que el consumo de combustible de un ligero es de 4,7(l/100Km) mientras que el de un pesado asciende a 30 (l/100Km)
- $P_{\text{neto (combustible)}}$  es el precio del combustible sin impuestos (€/l). Se admite el valor propuesto por la metodología del ministerio que actualizando su valor a 2028 resulta 0,72(€/l) para la gasolina y 0,78(€/l) para el gasóleo.
- $V$  es la velocidad media de la alternativa. Según la fórmula, cuanto mayor velocidad menor consumo, aunque técnicamente esto no sea cierto, una velocidad media mayor implica un aprovechamiento mejor del combustible ya que implica menores tiempos de frenado y por tanto, menor malgasto de combustible.
- $F$  es el factor de corrección por efecto de la pendiente.

No se ha tenido en cuenta el efecto de la pendiente en los vehículos ligeros, ya que se considera un reparto de la IMD del 50% por sentido, tal y como dice el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas en su guía de la [herramienta CO2TA](#).

*"Al tratarse de una función lineal, ello significa - en la práctica - que los aumentos de consumo por efecto de la pendiente del tráfico de este tipo de vehículos se compensan con los ahorros obtenidos por el tráfico de estos mismos vehículos que circula en sentido contrario (al haberse considerado un reparto de la IMD por sentido al 50%)."*

Este efecto, si se ha considerado en los vehículos pesados, ya que en este caso no se compensan las pendientes negativas con las positivas.

La formulación propuesta para el factor de corrección para los vehículos pesados propuesta por CO2TA es la siguiente:

$$F = 0.00127 * P^2 + 0.2388 * P + 1$$

Donde,

- $F$  es el factor de corrección por efecto de la pendiente.
- $P$  es la pendiente media

La formulación propuesta para el cálculo del consumo de combustible por vehículo es la siguiente

$$CPV = C_{\text{comb}} * L_{\text{alternativa}}$$

Ecuación 3: Coste por Vehículo de cada alternativa. Elaboración Propia

Donde,

- $CPV$  es el coste por cada vehículo es decir el coste generalizado del combustible.
- $C_{\text{combustible}}$  es el coste del combustible por Kilómetro y alternativa.
- $L_{\text{alternativa}}$  es la longitud de la alternativa en cuestión.

### 3.3.3. Variación del excedente de los productores

Corresponde con los costes no percibidos por los usuarios y se deben al consumo de lubricante, desgaste de neumáticos, mantenimiento y amortización del vehículo.

#### 3.3.3.1. Coste de Mantenimiento:

En la Nota de Servicio no propone ninguna metodología específica para calcular este coste. Por tanto, seguiremos la metodología del antiguo Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo para la Evaluación Económica, Coste-Beneficio de estudios y proyectos de carreteras. Esta metodología propone la siguiente formulación, para los vehículos ligeros, en función de la velocidad, donde el término independiente se ha actualizado a valores del año 2028:

$$CPK = 0,25 * V^{-0,44}$$

Ecuación 4: Coste por Kilómetro del mantenimiento del vehículo. MOPU

Donde,

- $CPK$  es el coste por Km en €
- $V$  es la velocidad

En cuanto a los vehículos pesados, se coge la recomendación de la Nota Técnica capitalizando hasta el año 2028.

#### 3.3.3.2. Coste de amortización del vehículo

La Nota de Servicio recomienda utilizar la metodología anteriormente mencionada aplicando los correspondientes factores de actualización de precios.

De acuerdo con esta metodología la depreciación de un vehículo viene producida, entre otros, por los siguientes factores:

- Tiempo de posesión
- Longitud recorrida
- Características de los recorridos

El coste por kilómetro imputable como gasto de amortización de turismos y camiones se ha estimado de acuerdo con la siguiente fórmula

$$CPK = \left( \frac{P_{adquisición}}{RMA * T_{vu}} \right)$$

Ecuación 5: Coste por kilómetro de la amortización del vehículo

Donde,

- CPK es el Coste por kilómetro
- $P_{adquisición}$  es el Precio inicial del vehículo
- RMA es el recorrido medio anual
- $T_{vu}$  es el Tiempo de vida útil

El precio medio de adquisición recomendado para ligeros es de 16.159 € y los kilómetros a lo largo de la vida útil 300.000 Km. Obteniendo un coste de amortización imputable a la distancia recorrida de 0.053 €/Km.

En cuanto a los vehículos pesados el coste de amortización imputable a la distancia recorrida asciende a 0.055 €/Km

### 3.3.3.3. Coste del Lubricante

Se estima el gasto de lubricantes de los vehículos que utilizan la vía para cada alternativa, la nueva y la original distinguiéndose entre vehículos ligeros y pesados. Para ello, tal y como dice la guía, se relaciona el consumo de lubricante con el consumo de combustible.

Para vehículos ligeros:

$$CPK = 0.012 * C * PA$$

Ecuación 6: Coste por Kilómetro del lubricante para vehículos ligeros

Donde,

- CPK es el coste del aceite por kilómetro recorrido
- C es el consumo de combustible en litros
- PA es el precio del aceite sin impuestos, (5,55€/l de 2028)

Para vehículos pesados

$$CPK = 0.008 * C * PA$$

Ecuación 7: Coste por Kilómetro del lubricante para vehículos pesados

Donde,

- CPK es el coste del aceite por kilómetro recorrido
- C es el consumo de combustible en litros
- PA es el precio del aceite sin impuestos, (5,55 €/l de 2028)

### 3.3.3.4. Coste del desgaste de neumáticos

Se distingue entre vehículo ligero y pesado, estableciéndose un coste para la reposición de los neumáticos acorde al mercado. Para determinar este coste se sigue la metodología OCDE por ser más completa y tener en cuenta la velocidad media de recorrido.

$$CPK_{neumático} = \frac{P_{neto(neumático)}}{Vida\ útil(Km)} * \left( 0,804 + \frac{12,66}{v} \right)$$

Ecuación 8: Coste de neumático. Fuente OCDE, Francia, 1990

Donde,

- CPK neumático es el coste por kilómetro de los neumáticos
- Vida útil es el número de kilómetros recorridos por un neumático a lo largo de su vida útil. Siendo la vida útil para los ligeros de 45.000Km y de 150.000Km para los pesados.
- $P_{neto(neumático)}$  es el precio del neumático sin impuestos (€/Juego). Para 2028 el Precio neto asciende a 243,36€/juego para los vehículos ligeros y 6.454,37 €/juego para los vehículos pesados.

- V es la velocidad

### 3.3.4. Variación del excedente del resto de la sociedad. Externalidades.

Los costes de las externalidades para la sociedad son los asociados al coste de los accidentes (muertos y heridos), así como los costes ambientales.

#### 3.3.4.1. Coste de los Heridos

La mejora de la seguridad viaria respecto a la alternativa de no construcción representa uno de los grandes beneficios de la nueva infraestructura. Estos beneficios son debidos a la reducción de los accidentes y por tanto de los heridos.

Se propone la siguiente formulación para poder comparar los costes de las diferentes alternativas.

$$CPK_{Heridos} = IP * 10^{-8} * C_{agr} * \frac{N^{\circ} Heridos}{N^{\circ} Acc}$$

Ecuación 9: Coste por vehículo de los accidentes

Donde,

- $CPK_{heridos}$  es el coste por Kilómetro recorrido de la accidentalidad
- IP es el índice de peligrosidad, el cual, depende del número de accidentes y no del número de heridos. Para la vía de no actuación se accede al *Anuario Estadístico de Accidentes en las Carreteras del Estado* y se hace la media de los últimos años disponibles para la carretera N-432. Para las nuevas alternativas se coge la media de las IP para autovías en Badajoz y Córdoba.
- $C_{agr}$  es el coste agregado de los accidentes en función del tipo de vía y del tipo de herido. Para obtenerlos, se accede a los últimos valores publicados por la *Dirección General de Tráfico* y se actualizan los valores a 2028. Resulta un valor de 6.243,613727€ para heridos leves 224.155,9682€ para heridos graves.
- $N^{\circ} heridos/N^{\circ} Acc$  es el número de heridos que hay por accidente. Este dato es necesario ya que el IP solo tiene en cuenta el número de accidentes y no el número de heridos.

#### 3.3.4.2. Coste de víctimas mortales.

Como ya se ha comentado la mejora de la seguridad viaria respecto a la alternativa de no construcción implica una reducción de los accidentes y, en consecuencia, de los muertos.

$$CPK_{muertos} = IM * 10^{-8} * C_{agr} * L$$

Ecuación 10: Coste Por kilómetro de los fallecidos

Donde,

- $CPK_{muertos}$  es el coste de los muertos por kilómetro recorrido que circula por la alternativa.
- IM es el índice de Mortalidad, el cual depende directamente del número de muertos.
- $C_{agr}$  es el coste agregado, en este caso el coste de la vida de una persona. Este coste se ha obtenido de la Dirección General de Tráfico, y resulta para el 2028 un valor de 1.432.961,26 €.

#### 3.3.4.3. Costes Ambientales

Existen varios efectos negativos generados por la puesta en servicio de la nueva infraestructura sobre el medioambiente, entre los que cabe destacar la emisión de gases contaminantes, la emisión de gases de cambio climático, el impacto sonoro sobre el entorno, impacto paisajístico, etc.

Para los costes ambientales se sigue la guía de la unión europea (Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects). En esta guía se analiza el efecto del ruido, cambio climático y contaminación, dando para cada uno de estos efectos un valor de coste por kilómetro.

Estos valores son:

$$CPK_{contaminación} = \frac{0.011€}{Km}$$

$$CPK_{Cambio climático} = \frac{0.018€}{Km}$$

$$CPK_{Ruido} = \frac{0.0087€}{Km}$$

Donde,

- $CPK$  es el coste por kilómetro.

## 4. RESULTADOS DEL MODELO.

### 4.1. HIPÓTESIS.

Además de todos los costes mencionados, se suponen las siguientes hipótesis:

- Inicio de las obras: año 2030
- Redacción del proyecto: 2028-2030.
- Tiempo de construcción: 2 años
- Años de operación: 23 años
- Periodo de análisis 25 años
- Ocupación vehicular: 1,15
- Año base: 2028
- Tasa de descuento: 3.5%
- Incremento de demanda del 1.44%

### 4.2. COSTES PARA LOS PRODUCTORES.

Los costes de inversión anuales para cada alternativa son:

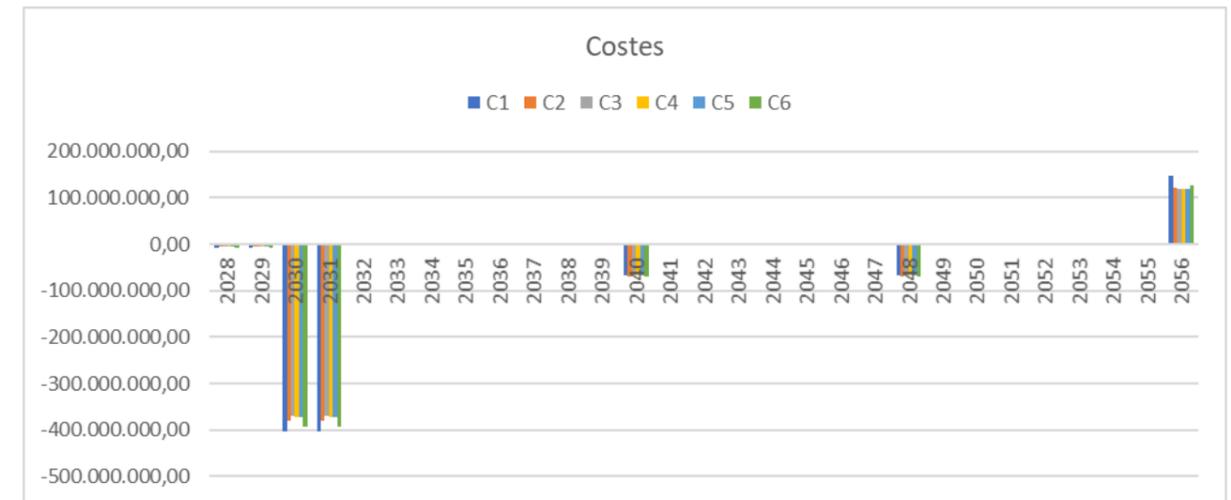


Figura 3: Costes Reales del proyecto.

Como podemos ver los costes de inversión de la alternativa C1 son mayores comparado con las demás, esto se debe a la necesidad de construir un puente para la alternativa C1. Los costes de mantenimiento de la infraestructura son tan pequeños en comparación con la inversión inicial que no se llegan a percibir en este gráfico. Cada 7/8 años, tal y como pone en la nota técnica, hay que realizar reinversiones de mantenimiento extraordinario. En 2056 vemos como aparecen unos costes positivos, estos son debidos al valor residual de la inversión, que depende de la vida útil de cada partida del presupuesto.

### 4.3. EXCEDENTE USUARIOS

Recordamos que el excedente del usuario es el percibido por él, es decir, los ahorros de tiempo y combustible.

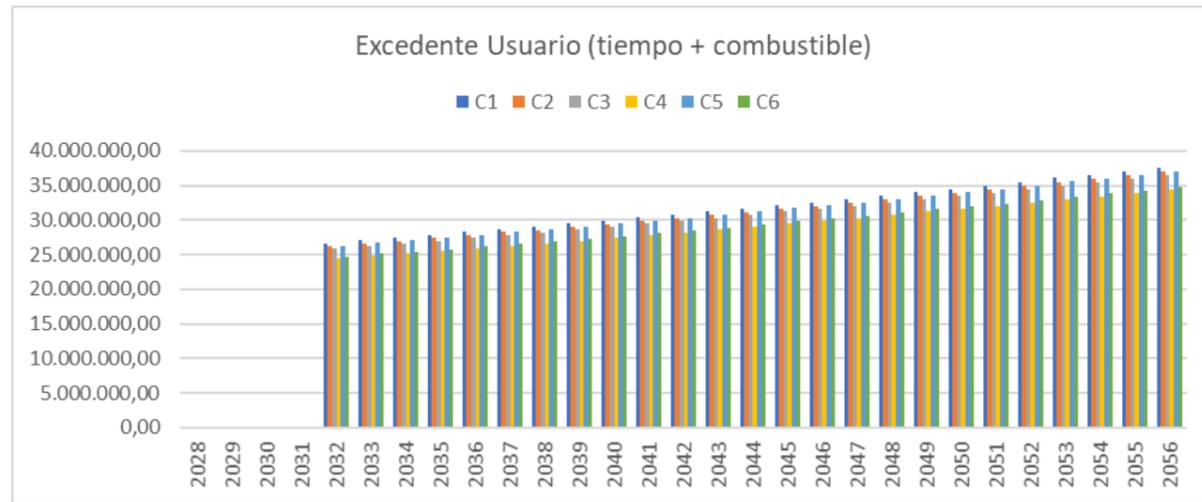


Figura 4: Excedente usuarios

El excedente de los usuarios va aumentando con el tiempo, ya que el tráfico aumenta un 1.44% anual

#### 4.4. EXCEDENTE PRODUCTORES

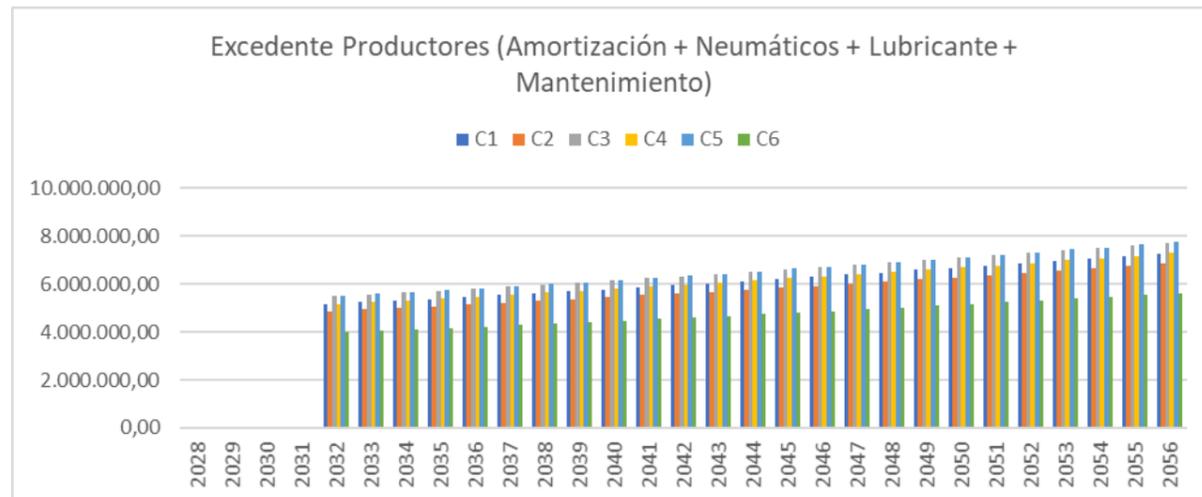


Figura 5: Excedente Productores

El excedente de los productores va aumentando por la misma razón que el excedente de los usuarios.

#### 4.5. EXCEDENTE RESTO DE SOCIEDAD

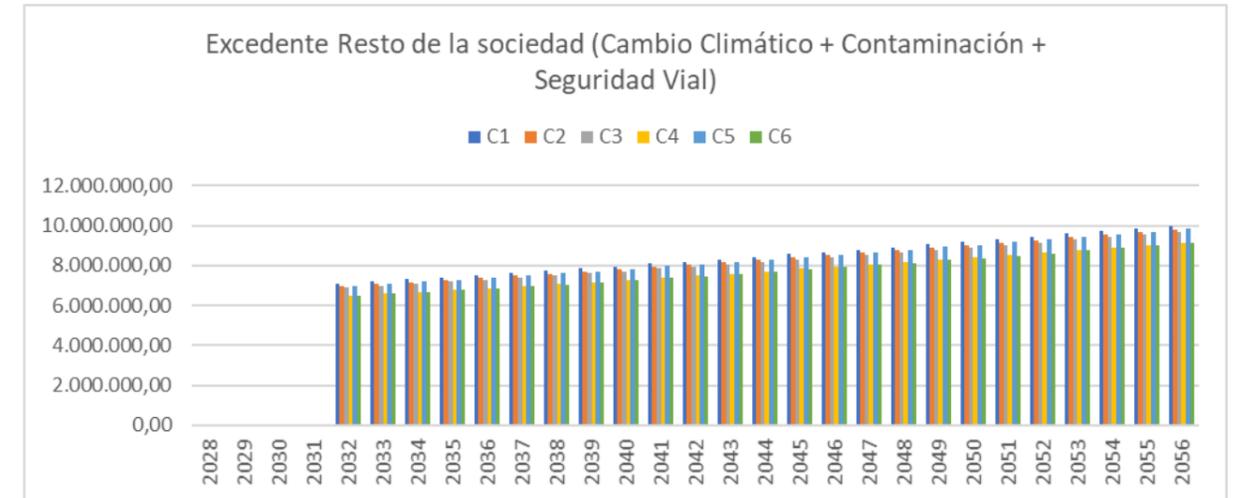


Figura 6: Excedente Resto de la Sociedad

#### 4.6. FLUJO DE CAJA SOCIAL

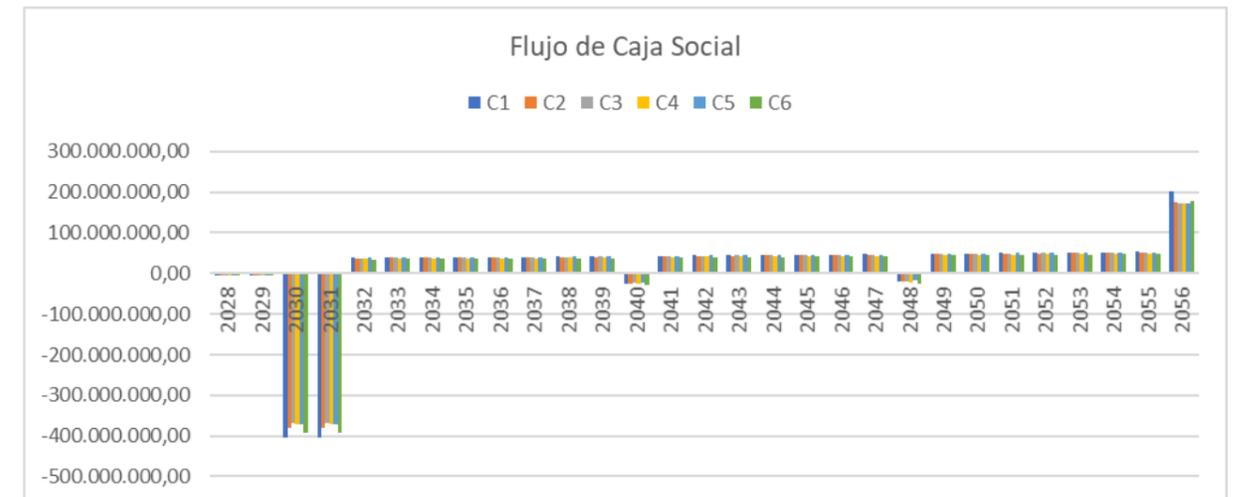


Figura 7: Flujo de caja social.

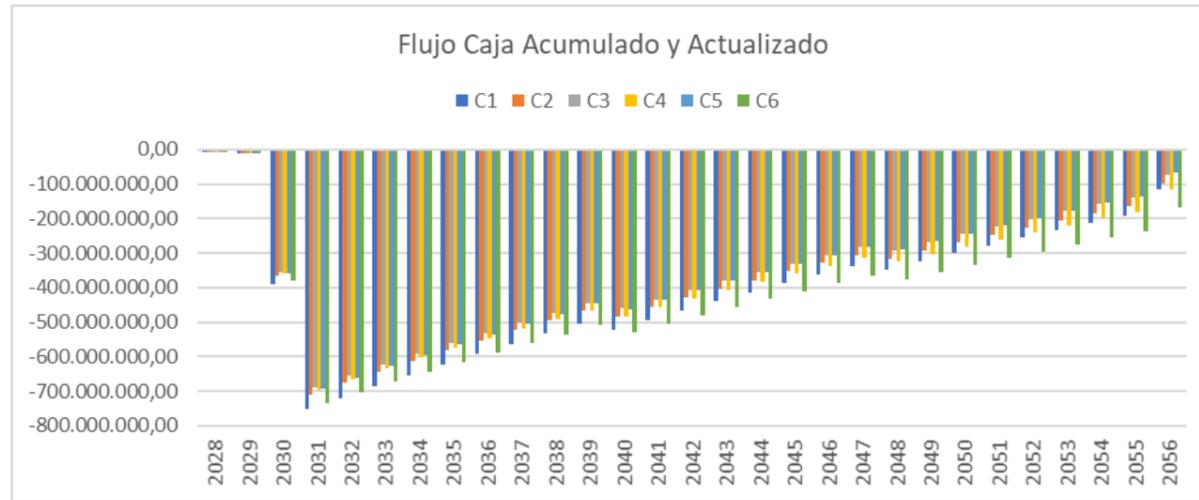


Figura 8: Flujo Caja Social Acumulado y Actualizado

#### 4.7. INDICADORES

El modelo de rentabilidad social tiene como outputs los siguientes indicadores.

Indicador	Ud	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
VAN	€	-119.454.545	-101.822.732	-78.471.244	-118.296.873	-74.843.549	-170.215.398
TIR	%	2,194%	2,311%	2,56%	2,08%	2,61%	1,54%
B/C	%	84%	86%	89%	83%	89%	77%
PRI	años	-	-	-	-	-	-

Tabla 3: Indicadores de Rentabilidad

Para que una alternativa sea rentable deberán ocurrir los siguientes sucesos:

- VANs > 0
- TIRs > Tasa social (3,5%) tal y como recomienda la nota técnica.
- B/C > 100%

Como se puede ver en la tabla anterior ninguna de estas alternativas cumple con los criterios de rentabilidad.

#### 4.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad se estudian las variables más determinantes. Se realiza un estudio de sensibilidad, observando la variación del VAN y TIR al aumentar o disminuir una de las hipótesis. Además, se realiza un estudio de lo que se conoce como valores cambiantes

##### 4.8.1. Sensibilidad a la demanda.

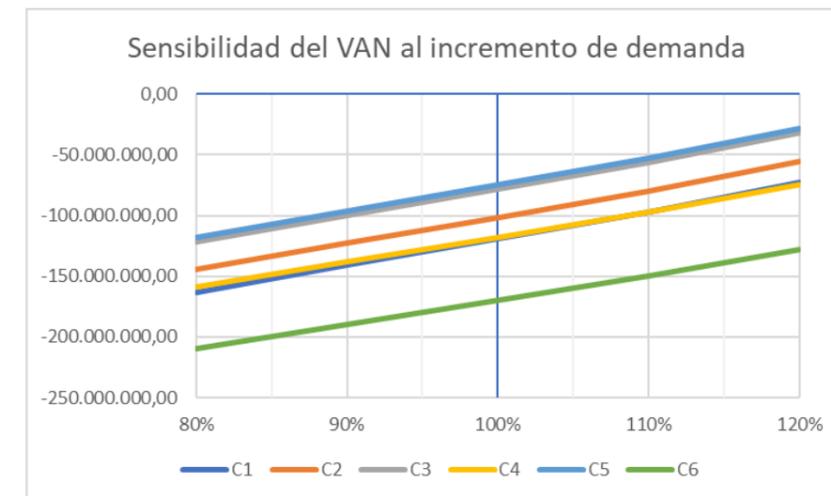


Figura 9 Fuente: elaboración propia

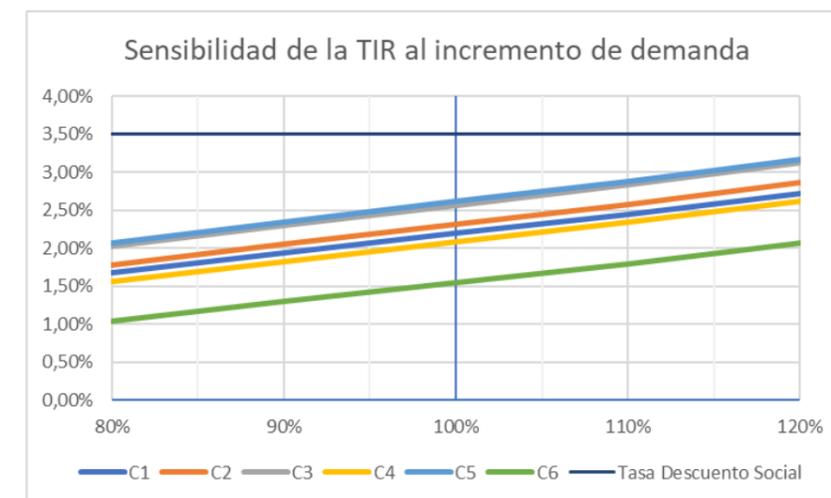


Figura 10 Fuente: elaboración propia

La Nota Técnica indica que hay que aplicar un aumento anual de la demanda de un 1,44%. Para que el proyecto empiece a ser rentable el VAN debe ser mayor o igual a 0, o lo que es lo mismo que la TIR social sea igual a la tasa de descuento, 3,5%. Es decir, para que la alternativa C1 sea rentable hay que aumentar el crecimiento anual de la demanda un 133%. Llamamos a este valor, valor cambiante y es el que aparece en la siguiente tabla. Es decir, para que la alternativa C1 sea rentable es necesario incrementar el crecimiento de demanda un 133% alcanzando el valor de 2.14%, en vez del 1,44%.

Valores Cambiantes	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Demanda	2,14%	2,06%	1,92%	2,18%	1,89%	2,49%

#### 4.8.2. Sensibilidad a la Ocupación Vehicular

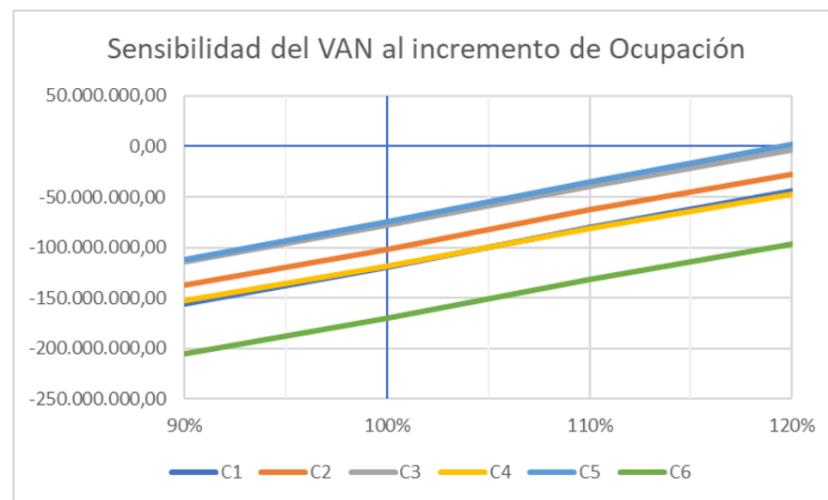


Figura 11 Fuente: elaboración propia

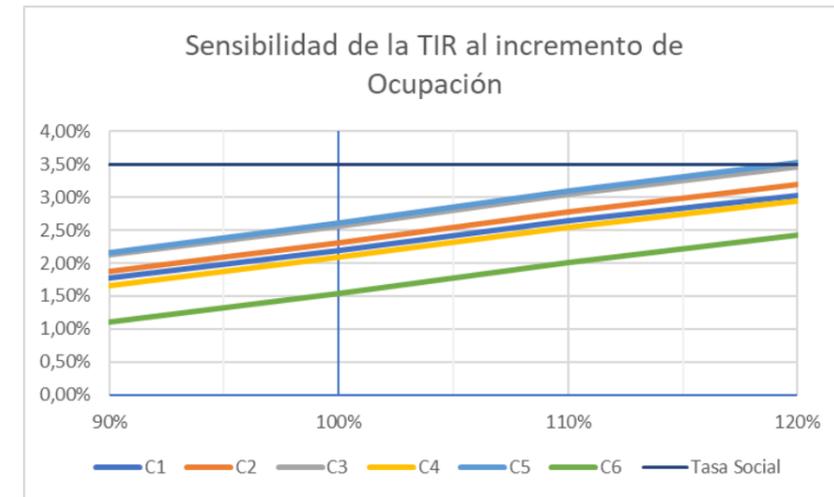


Figura 12 Fuente: elaboración propia

La ocupación es otra de las variables críticas. Recordamos que el valor utilizado en el caso base es de 1,15. En la siguiente tabla tenemos los valores que hacen que el VAN de cada alternativa sea 0.

Valores Cambiantes	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Ocupación	1,51	1,46	1,39	1,53	1,37	1,68

Como se puede observar, otra vez las alternativas C2,C3 y C5 son las que menos tienen que aumentar su ocupación para que el proyecto sea rentable. Para que la alternativa C2 sea rentable debe aumentar su ocupación hasta el valor de 1,46 en vez de 1,15.

4.8.3. Sensibilidad al valor del tiempo de los ligeros.

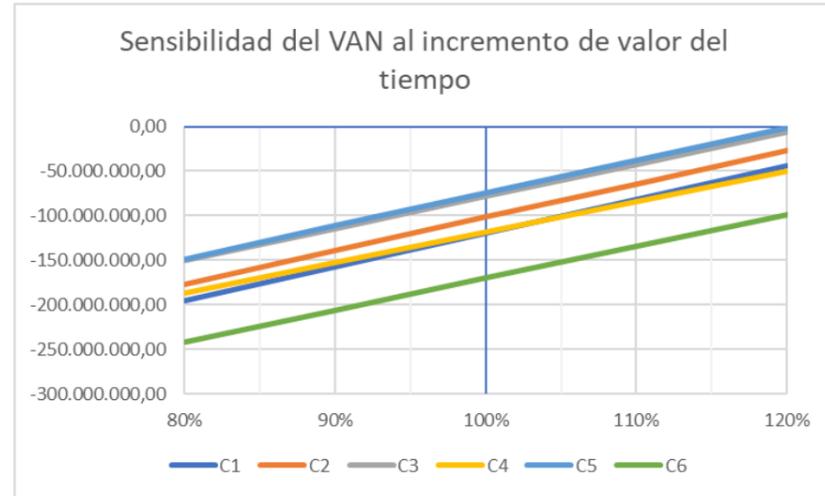


Figura 13 Fuente: elaboración propia

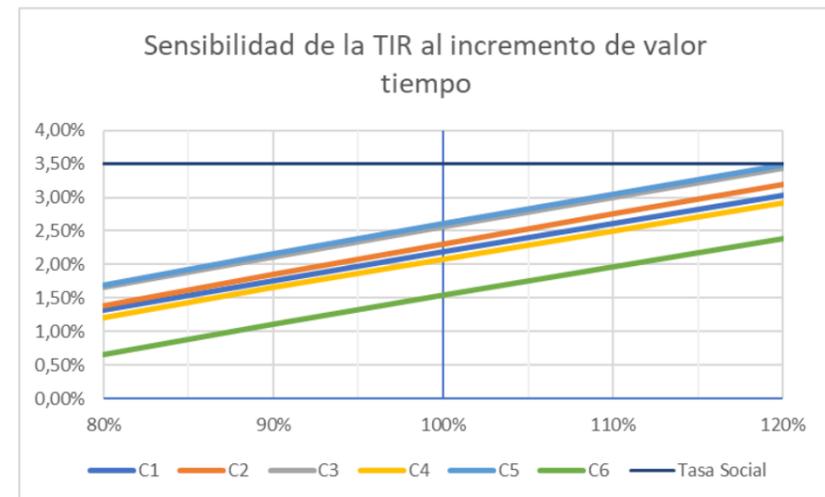


Figura 14 Fuente: elaboración propia

Valores Cambiantes	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Valor Tiempo	12,10	11,70	11,20	12,39	11,07	13,59

El aumento del valor del tiempo tiene un efecto igual al del aumento de la ocupación. Para que la alternativa C5 sea rentable tiene que aumentar su valor un 120% llegando a un valor de 11,07 en vez de 9,2.

4.8.4. Sensibilidad a la inversión

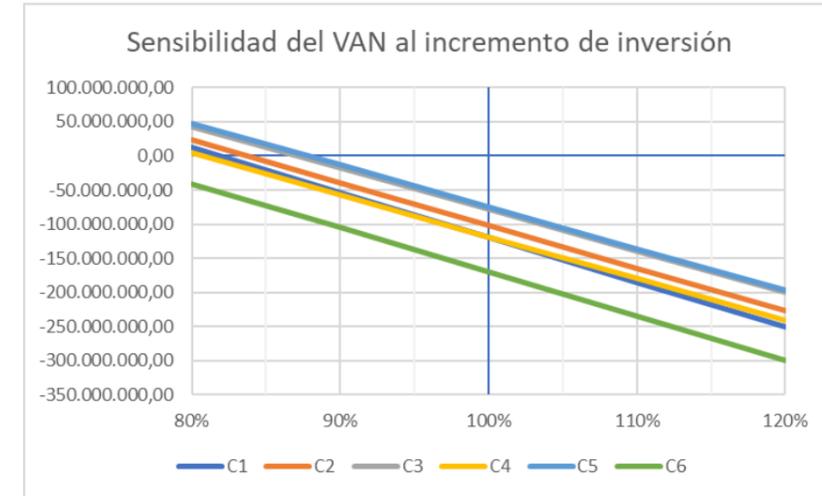


Figura 15 Fuente: elaboración propia

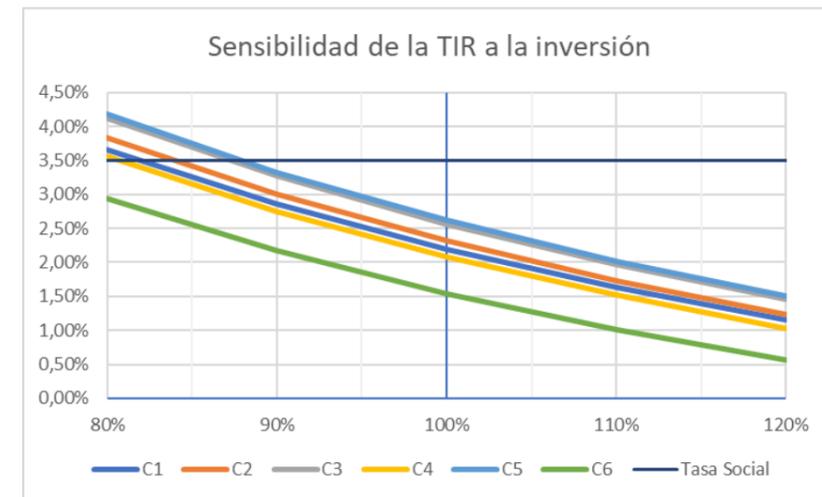


Figura 16 Fuente: elaboración propia

La inversión es otra de las variables más importantes. La alternativa C1 es la más penalizada por esta variable.

Valores Cambiantes	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Inversión	81,88%	83,75%	87,10%	80,72%	87,80%	73,70%

#### 4.9. CONCLUSIONES

Ninguna de las alternativas analizadas es rentable en términos de rentabilidad social. Las alternativas C2, C3 y C5 son las que están más cerca de alcanzar esta rentabilidad.

Recordamos que este modelo tiene sus limitaciones y por tanto en el anejo 18 “Selección de la alternativa. Análisis multicriterio” se realiza un estudio más simplificado pero que tiene en cuenta toda la red, en vez de poner el foco solo en la carretera de nueva construcción.