

Caso de estudio 2

Evaluación socioeconómica de la inversión en carreteras: actuaciones en la autovía Mudéjar

El túnel de Somport

El tramo Sarrión-Castellón

Javier Campos
José Francisco Expósito

03/06/2009

1. Introducción

Entre los distintos objetivos que se establecen explícitamente en el **Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte** (PEIT) con relación a la inversión en infraestructuras viarias figura un conjunto amplio de intervenciones sobre la red básica de carreteras del Estado que persigue la creación de itinerarios interurbanos de altas prestaciones y la potenciación de las conexiones transfronterizas. En la construcción de la autovía A-23 (también conocida como *Autovía Mudéjar*) concurren ambos objetivos, ya que se trata de una vía de alta capacidad que conecta el Levante español (desde el puerto de Sagunto) con la frontera de Francia (a través del túnel de Somport, en Huesca).

Figura 1. Ubicación de la Autovía Mudéjar



Como se observa en la **Figura 1**, la A-23 es un importante eje de comunicación entre el Mediterráneo y el Pirineo central, proporcionando una alternativa de conexión internacional a las actuales rutas hispano-francesas por Cataluña y el País Vasco. Desde una perspectiva regional, esta vía constituye además la principal ruta terrestre de Aragón, ya que – desde febrero de 2008 – permite unir las tres capitales aragonesas mediante una vía de alta capacidad. Esto no significa, sin embargo, que se trate de una vía de elevada intensidad de tráfico, ya que en la mayoría de sus tramos la intensidad media diaria (IMD) se sitúa entre 5.000 y 10.000 vehículos/día. Esta intensidad de tráfico se duplica en las zonas más cercanas a Teruel y, sobre todo, a Zaragoza, pero es muy inferior en los tramos interiores y pirenaicos, donde no se presentan de manera generalizada problemas de congestión.¹

¹ No obstante, en los tramos más cercanos a la costa levantina se han producido durante los últimos años importantes atascos los fines de semana. Además, a partir de 2007, se ha observado un incremento notable del tráfico durante el período estival, ya que la *Autovía Mudéjar* constituye una alternativa más barata (en tiempo y dinero) a la autopista de peaje AP-7, que discurre en paralelo a la costa mediterránea desde la frontera francesa hasta Alicante: tras la apertura de la A-23, el trayecto Valencia-Zaragoza en coche puede cubrirse ahora en tres horas aproximadamente, cuando antes – a través de las antiguas carreteras nacionales N-234 y N-330 – se tardaba más de cinco. En total, el tiempo promedio que se tarda en conectar Sagunto con Somport es de 5 horas y 15 minutos.

Por otra parte, y con la excepción de los tramos situados al norte de Huesca, la orografía de los terrenos atravesados por esta carretera no resulta especialmente agreste en comparación con otras autovías, ni tampoco atraviesa parajes de especial protección ambiental.² Los principales problemas de mantenimiento que han aparecido tras la puesta en funcionamiento están relacionados con desprendimientos de laderas, para lo que se han adoptado soluciones basadas en el mallado de terraplenes.

Finalmente, desde el punto de vista de la seguridad del tráfico, las antiguas carreteras nacionales existentes en este corredor (N-234 y N-330) adolecían de las mismas limitaciones generales que concurrían en el resto de la red convencional, caracterizada por una deficiente protección de la vía y un estado de conservación mejorable. En 2006, cinco tramos de la N-330 figuraban entre los “puntos negros” más peligrosos de la red viaria española, ya que en ellos se habían producido tres o más accidentes con víctimas dentro de un mismo año natural. La construcción de la autovía ha permitido una mejora de los trazados, la eliminación de cruces peligrosos, la utilización de materiales de mayor calidad en la calzada, la supresión de obstáculos y escalones laterales y, en general, ofrecer unas condiciones de conducción más seguras.

Todas estas características permiten considerar la autovía A-23 como un caso de estudio adecuado para ilustrar – a modo de ejemplo – la metodología de evaluación socioeconómica de proyectos de inversión en infraestructuras y servicios de transporte desarrollada en el marco del presente proyecto de investigación. En la sección siguiente, comenzaremos definiendo las características generales del proyecto a evaluar, identificando sus beneficios y costes y discutiendo algunas de sus características. En las secciones 2 y 3 se realizarán dos aplicaciones concretas de la metodología de evaluación propuesta, explicando los supuestos realizados y sus implicaciones. Finalmente, en la sección 4 se realiza una discusión conjunta de los resultados de este caso.

2. Definición del proyecto a evaluar

La *Autovía Mudéjar* puede definirse como una autovía de “nueva” construcción que sigue el mismo trazado de dos carreteras nacionales, la N-234, entre Sagunto y Daroca-Retascón, y la N-330 de Retascón a Somport. La mayoría de los tramos de dichas carreteras se han quedado como vías de servicio allí donde la autovía ha sido construida paralela a la carretera ya existente. En otros tramos, la vía ha sido simplemente desdoblada, aprovechando así la calzada antigua para uno de los dos sentidos. Se trata, en términos generales, de un *proyecto* de construcción de una carretera libre de alta capacidad que sustituye a una carretera antigua pre-existente en el mismo corredor y cuyos principales beneficios residen en los ahorros de tiempo de viaje de los usuarios y en las posibles mejoras en los costes externos (accidentes) que se produzcan como consecuencia de dicha construcción.

² La excepción más importante es el tramo (todavía no culminado) que va desde Jaca a la boca sur del túnel de Somport, con gran valor paisajístico y donde las dificultades técnicas son mayores.

Sin embargo, desde el punto de vista de la evaluación económica, no se trata de un proyecto único, por lo que no debe analizarse como una actuación global. Las obras realizadas en la autovía A-23 abarcan un conjunto muy amplio de inversiones (no todas incluidas en el PEIT) cuyos impactos en términos de beneficios y costes sociales pueden ser, desde el punto de vista cuantitativo, muy diferentes. La nueva autovía representa la culminación de más de 25 años de trabajos para modernizar el eje viario entre Valencia y Aragón. Estos trabajos se han planteado de forma desagregada, por tramos claramente diferenciados, que son licitados y construidos de manera separada. A pesar de que esta desagregación no permite evaluar algunos de los efectos globales perseguidos explícitamente en el PEIT, sí posibilita realizar una evaluación económica separada de cada uno de los subproyectos, facilitando así discutir de una manera muy precisa la metodología de evaluación, lo cual constituye el principal objetivo de este documento.

Cuadro 1. Tramos que componen la Autovía Mudéjar

Denominación del tramo	Kms.	Situación actual
Acceso sur puerto de Sagunto	–	En ejecución
Sagunto – Soneja	13,9	En servicio desde 1998
Variante de Soneja	9,5	En servicio desde 1998
Geldo – Altura	4,5	En servicio desde 2003
Segorbe – Río Palancia	6,6	En servicio desde 2005
Río Palancia – Viver	10,2	En servicio desde 2005
Viver – Límite provincial Teruel	14,2	En servicio desde 2007
Límite provincial Castellón – Sarrión	18,2	En servicio desde 2007
Sarrión – Variante de Teruel	20,6	En servicio desde 2005
Escandón – Teruel (Norte)	16,6	En servicio desde 2005
Teruel (Norte) – Santa Eulalia del Campo	26,8	En servicio desde 2005
Santa Eulalia del Campo – Monreal del Campo	22,0	En servicio desde 2001
Monreal del Campo – Calamocha	14,8	En servicio desde 2001
Calamocha – Romanos	28,8	En servicio desde 2007
Romanos – Mainar	11,8	En servicio desde 2006
Mainar – Paniza	13,2	En servicio desde 2007
Paniza – Torrubia	17,1	En servicio desde 2007
Torrubia – María de Huerva	13,1	En servicio desde 2005
María de Huerva – 4º Cinturón Zaragoza	11,7	En servicio desde 2005
4º Cinturón de Zaragoza – Ronda Este	–	En servicio desde 2008
Acceso norte a Zaragoza	8,3	En servicio desde 1998
Villanueva de Gállego – Zuera (Norte)	17	En servicio desde 1998
Zuera (Norte) – Almudévar	22,2	En servicio desde 1998
Almudévar – Huesca (Norte)	21,7	En servicio desde 1997
Huesca (Norte) – Nueno	11,5	En servicio desde 2000
Nueno – Congosto del Isuela	4,4	En ejecución
Congosto del Isuela – Arguis	3,2	En ejecución
Arguis – Alto Monrepós	3,2	En ejecución
Alto Monrepós – Caldearenas	4,1	En proyecto
Caldearenas – Lanave	14,5	En ejecución
Lanave – Embalse Jabarrella	6,9	En proyecto
Embalse Jabarrella – Sabiñánigo (Sur)	2,2	En ejecución
Sabiñánigo (Sur) – Sabiñánigo (Este)	2,6	En ejecución
Sabiñánigo (Este) – Sabiñánigo (Oeste)	6,9	En proyecto
Sabiñánigo (Oeste) – Jaca (Este)	9,6	En ejecución
Jaca (Este) – Jaca (Norte)	8,3	En proyecto
Jaca (Norte) – Somport	19	En estudio informativo
Túnel de Somport	5,8	En servicio desde 2003

El **Cuadro 1** muestra que la *Autovía Mudéjar* puede dividirse en 38 tramos de diferente longitud, cuyas fechas de entrada en operación abarcan desde 1997 hasta 2009 (estimándose que los tramos actualmente en fase de estudio, proyecto o ejecución se concluirán antes de 2015). En conjunto y una vez que esté completada, la A-23 tendrá una longitud total de 445 kilómetros. De ellos, en diciembre de 2008 ya se encontraban en servicio 354,3 kilómetros; 45,5 km estaban aún en obras; 26,2 en proyecto y los 19 restantes en estudio informativo. Salvo las excepciones señaladas con respecto a los más próximos a las capitales de provincia, la mayoría de los tramos anteriores comparten las características comunes ya presentadas: se trata de la construcción de una vía de altas prestaciones en un entorno de congestión relativamente baja y con costes externos limitados. Por esta razón resulta factible centrar el estudio en algunos de ellos, en lugar de analizarlos todos. Tras algunos análisis previos de la información disponible en cada tramo hemos optado por dos actuaciones representativas: el **Túnel de Somport** y el tramo comprendido entre el **límite provincial de Castellón y la localidad de Sarrión**. En ambos casos se trata de proyectos cuya construcción ya ha finalizado, con información detallada sobre los parámetros técnicos y donde la inevitable incertidumbre sobre la demanda y otros factores puede reducirse a niveles compatibles con el propósito ilustrativo de este caso de estudio.³

3. Evaluación del túnel de Somport

3.1. Características técnicas

El túnel de Somport conecta la carretera N-330 en la provincia de Huesca con la N-134 de la red francesa. Se trata de la principal vía transfronteriza en el Pirineo central y constituye una alternativa futura a los pasos “laterales” de Irún (País Vasco) y La Junquera (Cataluña), que actualmente soportan un elevado volumen de tráfico. Además, el túnel se encuentra incluido dentro del itinerario europeo E-07 (Madrid-Zaragoza-Somport-Pau-Toulouse), que afecta a las comunicaciones entre el sureste de Europa y España y Portugal.

Su longitud total es de 8.608 m (de los cuales 5.759 m se encuentran en territorio español) y comenzó a construirse en enero de 1994. Tras su inauguración, en enero de 2003, la cota del paso fronterizo se ha reducido a una altura de 1.183 m (frente a los 1.632 m del actual paso por el puerto de Somport, lo que mejora notablemente la vialidad invernal. La disminución de la distancia total recorrida (aproximadamente un 50%) permite también acortar los tiempos medios de viaje unos 25 minutos para los vehículos pesados y algo más para los turismos y autobuses.⁴

³ Lógicamente, toda evaluación *ex post* de un proyecto conlleva ciertas ventajas informacionales que no siempre están presentes en todos los proyectos. En este caso la incertidumbre está asociada fundamentalmente a la demanda futura, cuyos valores deben ser estimados a partir de la información (incompleta) procedente de la demanda presente y pasada.

⁴ El actual puerto de Somport, en la carretera nacional N-330, tiene un desnivel de 680 m en 16 kilómetros, con una pendiente media del 4,8%. Aunque no suele estar cerrado más de cuatro o cinco días al año, en caso de nevadas excepcionales su acceso suele estar limitado.

El túnel de Somport es de titularidad pública compartida hispano-francesa y uso gratuito por parte de los usuarios, encargándose actualmente de su operación, mantenimiento de equipos (iluminación, señalización, comunicaciones) y seguridad (ventilación, accidentes, incendios) un concesionario privado. El túnel permanece en servicio, en condiciones ordinarias, las 24 horas del día. En determinadas circunstancias el tráfico general queda restringido entre la 01:00 y 03:00 con el objeto de permitir el tránsito de mercancías peligrosas, restaurándose el servicio normal una vez finalizado dicho tránsito.

Desde el punto de vista técnico se trata de un túnel de tráfico bidireccional que cuenta en todo su recorrido con una sección transversal mínima de 10,50 m, lo que permite el cruce de dos vehículos y el mantenimiento de una banda central intermedia de 1,00 m de anchura para casos de seguridad. El resto de características técnicas relevantes de este proyecto se resumen en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Principal características técnicas del túnel de Somport

Longitud:	8.608 m (en España, 5.759 m)
Número de vías:	2
Tipo de circulación:	Doble sentido
Trazado en planta:	Radio mínimo 2.000 m
Perfil longitudinal:	Rampa de 1,65 % desde el extremo francés hasta el punto alto situado en el PK 5.179,127 descendiendo hacia el extremo español con una pendiente de 0,50 %.
Altura libre mínima:	4,55 m
Anchura útil:	9 m, distribuidos en dos carriles de 3,50 m, una mediana de 1,00 m y dos arcenes de 0,50 m; que permite mantener la circulación en caso de avería de un vehículo.
Aceras:	2 de 0,75 m de ancho
Peralte:	2% hacia el lado este
Sección:	Sección interior de 64 m ² dividida en una inferior de 52 m ² para la circulación de los vehículos y en otra superior de 12 m ² para la circulación del aire.
Ventilación:	Semitransversal reversible con tres estaciones de ventilación, una en cada extremo y otra subterránea en el punto alto.

El proyecto a evaluar (*situación con proyecto*) consiste en la construcción y explotación del túnel de Somport frente a la alternativa de no haberse construido (*situación sin proyecto*). Para ello procederemos en primer lugar a identificar y valorar los costes y beneficios del proyecto. Dentro de los primeros distinguiremos entre costes de los productores (construcción, operación y mantenimiento), costes de los usuarios (costes de operación de los vehículos y costes externos, incluyendo únicamente en estos últimos las estimaciones relativas a la mejora en la accidentalidad. En los beneficios del proyecto se incluirán, como veremos, los ahorros de tiempo de los usuarios actuales y las disposiciones a pagar de los nuevos usuarios,

3.2. Costes de los productores

Al igual que en los otros tramos de la *Autovía Mudéjar*, la información sobre las características técnicas y los **costes de construcción** que utilizamos en este caso de estudio procede de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, donde todos los proyectos se encuentran suficientemente detallados. Así, la inversión total correspondiente a este proyecto – que asumiremos como valorada en 1993 – ascendió a **254.115.538 euros**, de los cuales 159.515.538 euros (63%) correspondieron al tramo español. Esta última cifra incluía el coste de la obra civil de excavación y preparación de terrenos (84.710.957 euros), el coste de las instalaciones y el equipamiento (38.004.705 euros) y la construcción de edificios, galerías de evacuación, accesos y otras obras accesorias (36.799.879 euros). No resulta necesario realizar ninguna corrección al alza sobre estas cantidades (por posible infraestimación del coste real del proyecto, como sugieren Flyjberg *et al.*, 2003) ya que las mismas corresponden a los costes efectivamente invertidos, no a estimaciones *ex ante* de los mismos.

No obstante, sí resulta conveniente hacer tres consideraciones con respecto a las cantidades anteriores desde el punto de vista de la evaluación, cuyo año de referencia situaremos en 1993 por ser el del inicio del proyecto. En primer lugar, el hecho de que se trate de una infraestructura compartida entre dos estados podría llevar a considerar la posibilidad de evaluar por separado la aportación española y la francesa. Sin embargo, esta naturaleza internacional es intrínseca al propio proyecto (al tratarse de una conexión transfronteriza integrada en un itinerario europeo), por lo que no tiene sentido tal separación. Además, y desde el punto de vista de la financiación, tanto la contribución española como la francesa se han beneficiado de fondos comunitarios, por lo que el proyecto debe abordarse desde una perspectiva europea, no nacional.

Por otra parte, no siempre las cantidades que figuran en los presupuestos de los proyectos de inversión deben ser las mismas que se consideran a los efectos de la evaluación socioeconómica de los mismos. En particular, lo relevante es que dichos importes reflejen lo más adecuadamente posible los costes de oportunidad de los recursos utilizados por la sociedad para poder disfrutar de nuevas o mejores infraestructuras y servicios de transporte. En este caso no disponemos de información desagregada sobre todos los recursos productivos empleados en este proyecto, por lo que nos limitaremos a dos correcciones generales. Primero, en el importe total de la inversión presentado anteriormente descontaremos los impuestos indirectos (un 16% de IVA). De la cuantía resultante consideraremos que un 70% corresponde a materiales y otros costes y el resto a mano de obra, aplicando a este último un factor corrector del 95% en concepto de “salario-sombra” en la comunidad autónoma de Aragón.⁵ El importe total resultante de esta operación reduce la cuantía de la inversión a efectos de la evaluación hasta **210.255.196 euros**.

⁵ La distribución 70-30 de los costes del proyecto procede de una estimación promedio de grandes obras de infraestructura del Ministerio de Fomento a partir del RD 3659/1970 de 19 diciembre. Cuando se disponga de información desagregada sobre las partidas de coste del proyecto es recomendable utilizarla en lugar de estos porcentajes exógenos. El “salario-sombra” del 95% corresponde a la estimación realizada recientemente por Del Bo *et al.* (2009) para las distintas regiones europeas.

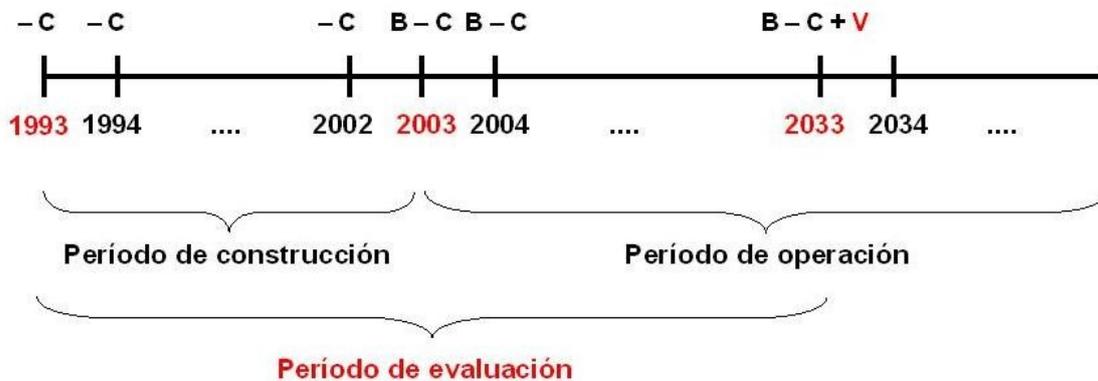
La tercera consideración se refiere a la distribución temporal de la inversión. Tal como se ha indicado, las obras del túnel se prolongaron durante casi diez años, con períodos de mayor y menor intensidad de trabajo. La excavación se comenzó simultáneamente en cinco frentes, pero estos avanzaron a ritmos diferentes, al igual que el posterior equipamiento y puesta en funcionamiento de cada parte de la obra. Por ello hemos optado por simplificar la distribución de los costes de construcción repartiéndolos de manera homogénea al principio de cada año entre 1993 y 2002. En otros casos, cuando se disponga de otra información más detallada, estos costes deberían asignarse efectivamente a los períodos en los que fueron incurridos.

Una vez valorada y distribuida la inversión, resulta conveniente reflexionar sobre la vida útil del proyecto y el período sobre el que debe extenderse la evaluación. Los túneles son infraestructuras viarias de larga duración que, por cuestiones de seguridad estrictamente reguladas (y más en este caso al tratarse de frontera internacional), suelen recibir un nivel de mantenimiento elevado, lo que hace que su vida útil se prolongue en el tiempo. Sin embargo, desde el punto de vista de la evaluación, entendida como el valor actualizado de beneficios y costes presentes y futuros durante un período limitado de tiempo, el horizonte temporal de los proyectos de carretera no suele extenderse más allá de 30-40 años, debido a las dificultades inherentes a cualquier predicción a muy largo plazo y a la inevitable obsolescencia tecnológica asociada a períodos tan largos.

Para reconciliar estas dos ideas – evaluación durante un período razonable de tiempo de una infraestructura cuya duración real puede ser teóricamente muy larga – pueden utilizarse dos aproximaciones. La primera consiste en establecer cuál es la vida útil de los activos que intervienen en el proyecto y hacerla coincidir con el período de evaluación, al final del cual debe añadirse al proyecto (como una especie de coste de construcción con signo positivo) el valor residual de los mismos. Sin embargo, en el caso de carreteras y túneles, no siempre resulta sencillo determinar esa vida útil. A pesar de la existencia de datos técnicos y períodos de referencia recomendados por diversos estudios y guías, la realidad económica es que la vida útil de una infraestructura concreta (y su valor residual) estará condicionada al grado de mantenimiento al que se vea sometida durante su explotación, a las restricciones de capacidad y a la obsolescencia económica en la que incurra cuando aparezcan a muy largo plazo medios o rutas alternativas de transporte. Por esta razón – y ante la ausencia de información específica para el túnel de Somport – hemos utilizado un procedimiento diferente.

Como muestra la **Figura 2**, se ha considerado que el período de evaluación de este proyecto abarca 40 años, desde el comienzo de las obras (1993) hasta su finalización y comienzo de la explotación (2003), y desde este momento hasta 2033. Durante el período de construcción se imputan al proyecto todos los costes de construcción ($-C$) de acuerdo con la distribución temporal realizada anteriormente; la diferencia $B-C$ durante el período de explotación representa los beneficios sociales netos de costes de sociales para los productores, usuarios y la sociedad en su conjunto.

Figura 2. Estructura temporal del proyecto: beneficios y costes



Dado que asumimos que la vida del proyecto prosigue más allá del límite (exógeno) fijado en 2033, a los beneficios de dicho año debemos añadir el valor residual del proyecto (V), el cual hemos calculado como el valor actual de la corriente (infinita)⁶ de beneficios netos de costes sociales que el proyecto obtendría a partir del año 2033. Para el cómputo de tales beneficios netos se han proyectado los correspondientes a ese último año a una tasa de crecimiento constante del 2% anual y se ha introducido un factor de corrección aleatorio sobre V de entre un 50% y un 150%.

Con relación a los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura durante el período de operación representado en la figura anterior, la información disponible resulta algo incompleta. Para el túnel de Somport (es decir, la situación *con* proyecto) disponemos del pliego de condiciones que aparecen en el contrato de mantenimiento adjudicado al actual concesionario privado del túnel, aunque no tenemos datos reales sobre su grado de cumplimiento. En dicho documento se establecen las operaciones rutinarias y extraordinarias de mantenimiento, así como su periodicidad y coste, permitiéndonos calcular un promedio de aproximadamente 1.000.000 de euros anuales (en valores de 1993) durante toda la vida de la infraestructura, valor que asumiremos que incluye la corrección de “salarios-sombra” anteriormente discutida. En la medida en que gran parte de las operaciones de mantenimiento que se describen son independientes de los niveles de tráfico, hemos preferido mantener esta cifra constante para simplificar nuestros análisis. Con respecto a la situación *sin* proyecto (es decir, a la carretera que conduce al puerto de montaña de Somport, no disponemos de información detallada sobre sus costes de mantenimiento, los cuales pueden estar afectados por su orografía y características climatológicas, si bien el volumen de tráfico es relativamente bajo, como veremos más adelante. A partir de los datos de UNITE (2003) e IMPACT (2008) y teniendo en cuenta las referencias de otros países europeos hemos transferido un valor de referencia de 0,060 euros por vehículo-km, también en valores de 1993.

⁶ En este caso se considera *infinita* por que asumimos, tal como veremos en la subsección siguiente, que debido a los bajos niveles de demanda, el túnel nunca sufrirá limitaciones de capacidad. Éste es un supuesto que favorece al proyecto, pero que debería corregirse si la demanda creciera a tasas superiores a las previstas y se alcanzase dicho límite de capacidad. En ese caso la corriente de beneficios futuros sólo se consideraría hasta el año en que se llegue a ese límite.

3.3. Predicción de demanda y costes generalizados de los usuarios

La única fuente de datos disponible sobre la demanda en la mayoría de los tramos de la autovía A-23 son los *Mapas de Tráfico* correspondientes a los años 2000, 2001 y 2007 publicados por la Dirección General de Carreteras. En ellos puede encontrarse información detallada sobre las intensidades medias diarias (IMD) por tipo de vehículo – los cuales serán agrupados de ahora en adelante en tres categorías: turismos, autobuses y camiones – y algunos valores adicionales (a partir de 2007) sobre la velocidad media, así como datos generales sobre los accidentes ocurridos durante los últimos cinco años. No existe información suficientemente desagregada sobre la distribución horaria del tráfico, lo que impide análisis detallados basados en períodos punta y períodos valle.

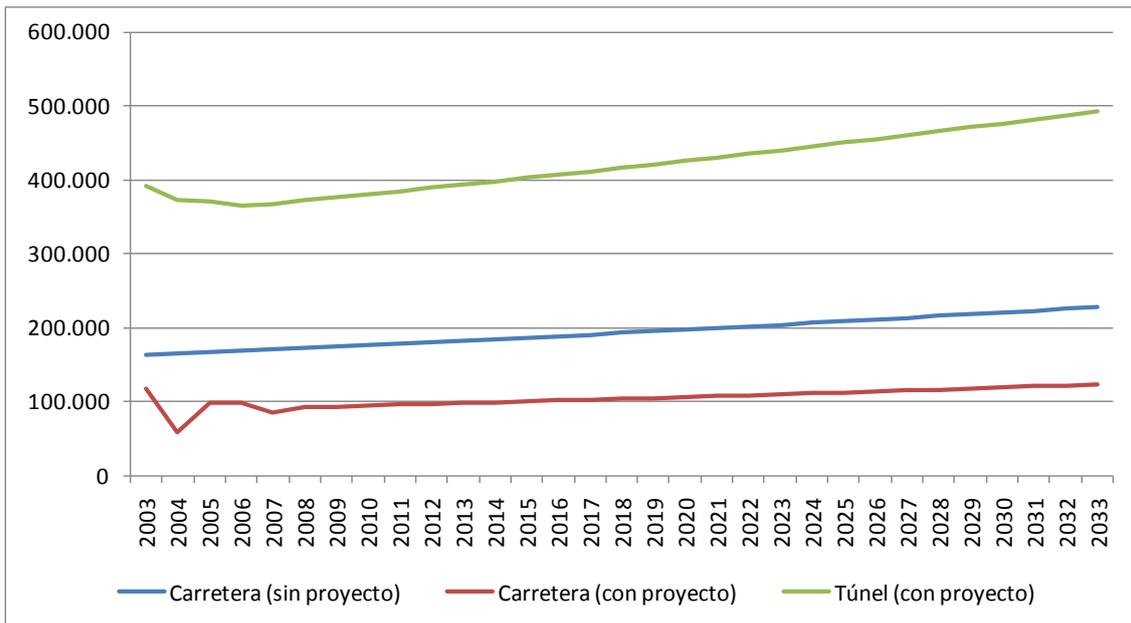
Los datos obtenidos a partir de los *Mapas de Tráfico* adolecen además de la importante limitación de estar basados en estaciones de aforo, las cuales se encuentran situadas (de forma permanente o temporal) en determinados puntos kilométricos que no coinciden necesariamente con los tramos definidos en el **Cuadro 1**. Para el caso del túnel de Somport disponemos por ejemplo de la información proporcionada por la estación permanente 22-9416-0, ubicada a poca distancia de la boca sur del túnel (p.k. 666,80 de la N-330). Para la carretera N-330 que conduce al puerto de Somport, la estación de aforo de referencia tiene carácter secundario (lo que significa que su información es menos fiable ya que funciona un menor número de días al año) y se encuentra además sesgada por el hecho de que también refleja el número de vehículos que acude a la estación de esquí de Candanchú. Dado que este tráfico no se ve afectado por el túnel (puesto que se debe seguir utilizando la antigua carretera para acceder a la estación) sería deseable excluirlo de la evaluación.

3.3.1. La predicción de demanda: problemas

Estas limitaciones en los datos de partida nos impiden en este caso aplicar un modelo general de predicción de demanda para determinar el tráfico *con* y *sin* proyecto. Por ello hemos optado por proyectar linealmente los datos procedentes de las estaciones de aforo anteriores. En particular, para la situación *sin proyecto* hemos tomado como punto de partida las IMD medias en ambos sentidos de turismos, autobuses y camiones de los años 2000-2001, y las hemos hecho crecer hasta 2033 a una tasa anual constante acumulativa. Para la situación *con proyecto* hemos utilizado un procedimiento similar, si bien en este caso los datos de partida son los datos de aforo reales de 2003, tanto para el túnel como para la carretera N-330. La información cualitativa disponible señala que, a pesar de la pretendida importancia del túnel de Somport y de su objetivo de convertirse a medio plazo en una alternativa de paso fronterizo a Irún y La Junquera, hasta el momento las tasas medias de crecimiento del tráfico han sido muy bajas (alrededor del 1% anual) y no se prevén incrementos sustanciales en las mismas.⁷ Para hacer frente a la inevitable incertidumbre asociada a cualquier predicción de demanda hemos considerado sin embargo que la tasa de crecimiento de la misma es una variable aleatoria, distribuida uniformemente entre 0,8% y 1,2%.

⁷ Esto podría cambiar si se abordasen mejoras notables en la capacidad de las carreteras que conducen al paso fronterizo, tanto por el lado español (es decir, la conclusión de los tramos de la A-23 al sur del túnel) como por el lado francés (lo cual cuenta con la oposición de varios departamentos y concejos locales por motivos medioambientales).

Figura 3. Proyecciones de tráfico (vehículos por año)



Una vez proyectados los valores de la IMD, hemos de determinar el número de días en operación dentro de cada año con el fin de calcular el tráfico anual, el cual se representa en la **Figura 3**. Para el caso del túnel consideraremos que éste se encuentra operativo los 365 días del año, mientras que para la carretera antigua supondremos – con el fin de capturar los posibles cierres del puerto de Somport durante el invierno por motivos climatológicos – que este número de días se distribuye aleatoriamente entre 360 y 365.

El número de vehículos anuales, particularmente en el caso de autobuses y camiones, determina también el número de conductores de los mismos; sin embargo, nos interesa también conocer el número de viajeros totales y el volumen de carga transportada. Dado que no disponemos de información específica sobre estos valores para este caso concreto hemos establecido exógenamente – a partir de datos de la encuesta sobre movilidad de las personas residentes en España (*Movilia*) elaborada por el Ministerio de Fomento – que el número medio de pasajeros por vehículo (turismo) es de 1,2 y que el número medio de viajeros por autobús es de 50. Para el caso de la carga, se considera que la capacidad media de cada camión se sitúa en 11,5 toneladas, con un factor medio de carga de cada vehículo que se distribuye triangularmente entre el 25% y el 100%. Todos estos valores son compatibles con los datos del *Observatorio de Transporte de Viajeros por Carretera* y el *Observatorio de Transporte de Mercancías por Carretera*, publicados por el Ministerio de Fomento en su edición de 2008.

3.3.2. Cálculo de los costes generalizados

Tras la estimación del número de usuarios afectados por el proyecto, el precio o coste generalizado que cada uno de ellos debe afrontar en el transporte por carretera realizado en el tramo analizado, depende del tiempo de viaje (determinado por la velocidad de circulación y el nivel de congestión), el valor de dicho tiempo (que puede ser diferente para cada tipo de usuario y en función del motivo del viaje), los costes monetarios a los que el usuario deba hacer frente para realizar cada viaje (que en este caso se limitan a la parte proporcional de los costes operativos de los vehículos ya que se trata de infraestructuras sin peaje) y la valoración monetaria de la “calidad” del servicio de transporte realizado.

Por lo general, en ausencia de encuestas o estudios específicos este último componente resulta muy difícil de cuantificar y valorar monetariamente. En este caso particular consideraremos exógenamente que la construcción y puesta en servicio del túnel de Somport mejora de manera significativa la experiencia de conducir en el tramo analizado (frente a la alternativa de utilizar una carretera de montaña, de peor orografía) por lo que el valor del tiempo de viaje *con* proyecto se incrementa aleatoriamente entre un 0 y un 50% para cada tipo de usuario con respecto a la situación *sin* proyecto. Esta variación, que puede documentarse en otros proyectos similares, pretende reflejar la mejora cualitativa que representa el túnel y que no se recoge en otros apartados de la evaluación del proyecto (como la reducción de accidentes o la mejora de la vialidad invernal, por ejemplo).

Con respecto al tiempo de viaje, su cálculo se realiza a partir de la velocidad media de cada tipo de vehículo y la distancia recorrida con proyecto (8,6 km) y sin proyecto (16 km). La información técnica disponible, complementada con las observaciones de las estaciones de aforo, nos ha llevado a considerar para los turismos, autobuses y camiones velocidades medias respectivas de 60, 55 y 50 km/h dentro del túnel como promedio anual, manteniéndolas *constant*es a lo largo de todo el período de evaluación.

Es evidente que este supuesto introduce una simplificación importante a este caso de estudio, ya que implica considerar que no hay problemas de capacidad durante todo el período de evaluación del proyecto. A pesar del progresivo aumento de la demanda, el argumento que justifica esta simplificación radica en que las bajas tasas de crecimiento consideradas hacen que en ningún momento el tráfico sea suficiente como para provocar congestión. Como muestra la **Figura 3**, en 2030 se alcanzaría aproximadamente un máximo de 500.000 vehículos anuales, lo que generaría un promedio diario de 1.370 vehículos (o aproximadamente 100 vehículos por hora, en 14 horas de explotación diaria). Si bien es cierto que lo que determina los límites de capacidad y la congestión no son las intensidades *medias*, sino las *máximas* por hora, los datos disponibles no hacen pensar que el túnel presente problemas de congestión notables durante el período analizado.

Lo mismo sucede obviamente en la situación *sin* proyecto, donde se han considerado velocidades medias de circulación de 45, 40 y 30 km/h respectivamente. Con estas velocidades los ahorros medios de tiempo para cada uno de los usuarios como

consecuencia de la construcción del túnel se sitúan entre 20-25 minutos por pasajero o unidad de carga a lo largo de toda la vida del proyecto.

A falta de referencias directas en este tramo en concreto, para la determinación del valor del tiempo de los viajeros (en turismos y autobuses), de los conductores (de autobuses y camiones) y de la carga transportada hemos optado por transferir los valores del estudio HEATCO (Comisión Europea, 2006) realizado para el conjunto de países de la Unión Europea, introduciendo en ellos cierta variabilidad aleatoria debido a los problemas inherentes a su correcta medición. Así, para el caso de los viajeros en turismos hemos aplicado un valor medio del tiempo de viaje por motivos de ocio (*sin* proyecto) de 8 euros/hora (distribuido uniformemente entre 7 y 9); para los pasajeros de autobús, el valor medio es 6 euros/hora; para los conductores de autobuses y camiones (tiempo de viaje por motivo de trabajo) este importe asciende a 19 y 24 euros/hora respectivamente, mientras que el valor del tiempo de transporte de una tonelada de carga se sitúa en 3 euros/hora. Para la situación *con* proyecto, tal como ya fue indicado, estas cantidades se incrementan entre un 0% y un 50% 25%. Finalmente, los valores del tiempo también crecen a lo largo del tiempo de manera proporcional a la renta (de acuerdo con una elasticidad distribuida aleatoriamente entre 0,7 y 1), asumiendo además que la tasa media de crecimiento anual de la renta se sitúa entre el 2% y el 3%.

Por último, en relación a los costes operativos de los vehículos (que forman parte del coste generalizado de los usuarios), no existen estimaciones específicas para este tramo, por lo que deben aplicarse otros valores de referencia. De acuerdo con el *Observatorio de Costes del Transporte por Carretera 2008*, publicado por el Ministerio de Fomento el coste medio anual de operación y mantenimiento de los vehículos (autobuses y camiones) podría calcularse inicialmente (en valores de 1993) en unos 0,04 y 0,06 euros por kilómetro, considerando 0,002 para el caso de los turismos.⁸ Estos valores cambian cada año en función de la velocidad media de circulación (que afecta al consumo de combustible y otros repuestos) y de la variación del precio de éste. A pesar de que existen diferentes fórmulas técnicas que relacionan estos (y otros parámetros) hemos optado por una aproximación más simple considerando que la velocidad media no cambia (tal como ya fue señalado) y que la tasa de variación anual de los precios del combustible puede representarse por una variable aleatoria uniforme distribuida entre el 3% y el 5%, la cual se aplica directamente a las cifras de costes anteriores.

3.4. Costes externos

A pesar de que la información técnica y de construcción disponible sobre cada tramo de la autovía A-23 indica de manera específica la inversión correspondiente a las actuaciones de protección ambiental y de que éstas suelen describirse con cierto detalle en la documentación, no existe en general ninguna estimación (separada de los costes de construcción) sobre los costes asociados a la contaminación o el daño paisajístico asociado a cada intervención. De hecho, únicamente disponemos de información (incompleta) sobre los accidentes, procedente de nuevo de las estaciones de aforo.

⁸ Todos estos valores se consideran distribuidos triangularmente con un umbral máximo del 20% del valor de referencia. Al igual que ocurre con el resto de parámetros de costes, se trata de simplificaciones que persiguen únicamente ilustrar la metodología de evaluación, sacrificando en ocasiones la precisión de los resultados.

Para proceder a su cuantificación a efectos de la evaluación hemos optado por un procedimiento muy simplificado que intenta reconciliar dos hechos habitualmente observados en relación a los mismos: por un lado, los accidentes son sucesos que están relacionados con el nivel de tráfico y con numerosos factores aleatorios (conductor, vehículo, vía y factores externos) sobre los cuales no tenemos información detallada para este tramo. Por otra parte, las estadísticas recientes muestran una reducción global de los accidentes en España (a pesar de los factores anteriores). Por ello:

1. En primer lugar, para la situación *sin* proyecto hemos simulado el número de accidentes de cada año tomando como punto de partida el número medio de accidentes para dicho tramo de la N-330 (proporcionado por el *Mapa de Tráfico* 2007) en los últimos 5 años; este valor se ha correlacionado positivamente con la tasa de crecimiento de la demanda, asumiendo que un mayor volumen de tráfico aumentaría, *ceteris paribus*, el número de accidentes.
2. El número medio de víctimas mortales, así como de heridos graves y leves por accidente los hemos impuesto exógenamente a partir de las estadísticas de la Dirección General de Tráfico para la provincia de Huesca. Dichos valores se han fijado respectivamente en 0,04; 0,19 y 1,23, introduciendo un factor de reducción anual del 10% para reflejar la mejora progresiva de la seguridad vial observada año tras año en dichas estadísticas.
3. A partir de aquí, utilizando de nuevo el estudio IMPACT (2008), hemos establecido que el valor estadístico de una vida perdida en accidente se sitúa – en valores de 1993 – en 1.000.000 euros, siendo 100.000 y 10.000 euros los costes respectivos de los heridos graves y leves. Con estos valores se ha calculado el coste monetario total de los accidentes para cada año del período de evaluación.
4. Para la situación *con* proyecto, y a falta de información más desagregada, hemos considerado que los valores anteriores se reducen exógenamente entre un 10% y un 25% cada año en comparación con la situación *sin* proyecto, reflejando así la mejora de los niveles de seguridad del túnel.

Con todos los datos y valores de los parámetros presentados hasta ahora, los cuales se resumen en el **Cuadro 3**, resulta posible proceder al cálculo de los beneficios y costes sociales del proyecto y a su posterior evaluación mediante el cómputo del valor actual neto (*VAN*) social de los mismos, lo cual se realiza en el apartado siguiente.

Cuadro 3. El túnel de Somport: principales parámetros de la evaluación

Año y moneda de referencia:	Euros de 1993
Período de evaluación:	1993-2033 (40 años)
Tasa de descuento:	5%
Costes de inversión (corregidos):	210.255.196 euros
Longitud carretera (<i>sin</i> proyecto):	16 km
Longitud túnel (<i>con</i> proyecto):	8,6 km
Tipo impositivo IVA:	16%
% costes de mano de obra:	30%
Factor corrección salario (Aragón)	95%
Tasa de ajuste del valor residual	T[50%;100%;150%] (variable aleatoria triangular)
Ocupación media (turismos)	1,2 viajeros
Ocupación media (autobús)	50 viajeros
Capacidad media de carga por camión	11,5 toneladas
Factor de carga promedio por camión	T[25%;50%;100%] (variable aleatoria triangular)
Valor del tiempo (pasajero turismo)	U[7;9] (variable aleatoria uniforme) (euros/hora)
Valor del tiempo (pasajero autobús)	U[5;7] (variable aleatoria uniforme) (euros/hora)
Valor del tiempo (conductor autobús)	U[18;20] (variable aleatoria uniforme) (euros/hora)
Valor del tiempo (conductor camión)	U[23;25] (variable aleatoria uniforme) (euros/hora)
Valor del tiempo (carga)	U[2,9;3,5] (variable aleatoria uniforme) (euros/hora)
Tasa anual crecimiento de la renta	U[2%;3%] (variable aleatoria uniforme)
Elasticidad valor del tiempo-renta	U[0,7;1,0] (variable aleatoria uniforme)
Factor de calidad valor del tiempo <i>con</i>	U[0%, 25%]
Coste anual mantenimiento carretera	0,060 euros/ veh-km
Coste anual mantenimiento túnel	1.000.000 euros (distribución triangular)
Coste anual operación turismos	0,002 euros/km (distribución triangular)
Coste anual operación autobuses	0,04 euros/km (distribución triangular)
Coste anual operación camiones	0,06 euros/km (distribución triangular)
Tasa variación precio combustibles	U[3%;5%] (variable aleatoria uniforme)
Nº víctimas mortales por accidente	0,04
Nº heridos graves por accidente	0,19
Nº heridos leves por accidente	1,23
Tasa exógena reducción accidentes	10%
Coste medio víctima mortal	1.000.000 euros
Coste medio herido grave	100.000 euros
Coste medio herido leve	10.000 euros
Reducción accidentalidad túnel	U[10%, 25%]

3.5. El procedimiento de evaluación y sus resultados

Formalmente, el valor actual neto (social) del proyecto de construcción y explotación del túnel de Somport puede expresarse como:

$$VAN_S = \sum_{t=1993}^{2033} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} + \frac{V}{(1+i)^{40}},$$

donde i es la tasa de descuento, B_t representa los beneficios sociales del proyecto, C_t los costes públicos y privados del mismo (incluyendo los costes de construcción) y V refleja el valor residual. De manera más desagregada y utilizando la perspectiva de los recursos consumidos y cambios en las disposiciones a pagar (DAP), los beneficios y costes de la expresión anterior se concretan en los siguientes elementos:

1. Costes de construcción y valor residual del proyecto.
2. Ahorros de tiempo y costes operativos de los pasajeros iniciales en turismos.
3. Ahorros de tiempo de los pasajeros iniciales en autobuses.
4. Ahorros de tiempo y costes operativos de los conductores de los autobuses iniciales.
5. Ahorros de tiempo y costes operativos de los conductores de los camiones (iniciales).
6. Ahorros de tiempo de entrega de la carga transportada en camiones (iniciales)
7. Ahorros de tiempos y costes por días de operación adicionales (por mal tiempo), calculados a partir de la estimación del número de días de cierre de la carretera sin proyecto y el valor del tiempo de un día (24 horas).
8. Cambio DAP nuevos pasajeros en turismos (neto del valor del tiempo invertido por estos y de los costes de operación de los turismos).
9. Cambio DAP nuevos pasajeros en autobuses (neto del valor del tiempo invertido por estos).
10. Cambio DAP nuevos conductores de autobuses (neto del valor del tiempo invertido por estos y de los costes de operación de los autobuses).
11. Cambio DAP nuevos conductores de camiones (neto del valor del tiempo invertido por estos y de los costes de operación de los camiones).
12. Cambio DAP nueva carga generada (neto del valor del tiempo invertido).
13. Cambio en los costes de operación y mantenimiento de las infraestructuras
14. Cambio en los costes externos (accidentes)

Todos estos elementos, cuyos valores anuales (en euros de 1993) se resumen en el **Cuadro 4**, pueden ser calculados a partir de los datos del caso descritos hasta ahora. No obstante, debe tenerse en cuenta que – dado que varios parámetros son variables aleatorias – en realidad los valores monetarios así obtenidos representan únicamente promedios o esperanzas matemáticas, siendo el valor actual neto en sí mismo también una variable aleatoria. Así pues, lo que interesa no es el valor (esperado) del VAN sino su distribución de probabilidad, ya que es ésta la que permite analizar mejor la rentabilidad social del proyecto en condiciones de incertidumbre.

Cuadro 4. Beneficios y costes anuales del proyecto del túnel de Somport (período 1993-2002)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
COSTES DE INVERSIÓN	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520	-21.025.520
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos costes operativos turismos...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos costes operativos autobuses...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos costes operativos camiones...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO COSTES DE CIERRE CARRETERA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMBIO COSTES EXTERNOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUBTOTAL	-21.025.520									

Cuadro 4. Beneficios y costes anuales del proyecto del túnel de Somport (período 2003-2012)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
COSTES DE INVERSIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	257.551	266.049	274.827	283.895	293.261	302.937	312.933	323.258	333.923	344.941
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	291.245	300.409	309.860	319.609	329.665	340.037	350.736	361.771	373.153	384.893
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	18.446	19.026	19.624	20.242	20.879	21.536	22.213	22.912	23.633	24.377
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	108.057	111.457	114.963	118.580	122.311	126.160	130.129	134.223	138.446	142.802
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	82.844	85.450	88.139	90.912	93.772	96.722	99.765	102.904	106.142	109.481
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	2.500	2.630	2.767	2.911	3.062	3.221	3.388	3.564	3.749	3.944
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	1.451	1.524	1.601	1.682	1.766	1.855	1.949	2.047	2.150	2.259
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	6.362	6.683	7.020	7.373	7.745	8.135	8.545	8.976	9.428	9.904
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	449.626	454.251	474.895	466.409	468.822	484.394	500.486	517.114	534.297	552.053
...menos tiempo invertido...	-293.157	-296.113	-309.507	-303.914	-305.421	-315.499	-325.908	-336.661	-347.769	-359.244
...menos costes operativos turismos...	-3.420	-3.518	-3.745	-3.745	-3.832	-4.031	-4.241	-4.461	-4.693	-4.937
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	1.743.369	1.319.622	1.162.263	1.182.942	1.294.078	1.334.793	1.376.789	1.420.106	1.464.786	1.510.872
...menos tiempo invertido...	-1.125.598	-852.008	-750.410	-763.761	-835.516	-861.803	-888.918	-916.885	-945.733	-975.488
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	120.645	91.463	80.684	82.252	90.126	93.117	96.209	99.406	102.713	106.133
...menos tiempo invertido...	-71.288	-53.961	-47.526	-48.372	-52.916	-54.581	-56.298	-58.069	-59.896	-61.781
...menos costes operativos autobuses...	-7.154	-5.514	-4.946	-5.126	-5.711	-5.999	-6.301	-6.619	-6.952	-7.303
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	571.223	433.004	381.929	389.304	426.524	440.622	455.198	470.268	485.849	501.961
...menos tiempo invertido...	-297.158	-224.930	-198.108	-201.633	-220.576	-227.516	-234.674	-242.058	-249.673	-257.529
...menos costes operativos camiones...	-31.367	-24.179	-21.686	-22.477	-25.041	-26.303	-27.628	-29.021	-30.483	-32.020
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	403.544	305.457	269.033	273.820	299.545	308.969	318.690	328.717	339.059	349.727
...menos tiempo invertido...	-227.821	-172.446	-151.883	-154.585	-169.108	-174.429	-179.917	-185.578	-191.416	-197.439
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	-1.953.285	-1.893.345	-1.930.659	-1.929.116	-1.914.975	-1.919.550	-1.918.642	-1.917.723	-1.916.793	-1.915.853
AHORRO COSTES DE CIERRE CARRETERA	2.617.607	2.229.602	2.111.887	2.146.457	2.277.178	2.349.769	2.424.675	2.501.971	2.581.731	2.664.036
CAMBIO COSTES EXTERNOS	36.485	30.100	24.832	20.487	16.902	13.944	11.504	9.490	7.830	6.459
SUBTOTAL	2.700.706	2.130.712	1.905.853	1.974.146	2.212.540	2.336.501	2.470.681	2.609.653	2.753.481	2.902.249

Cuadro 4. Beneficios y costes anuales del proyecto del túnel de Somport (período 2013-2022)

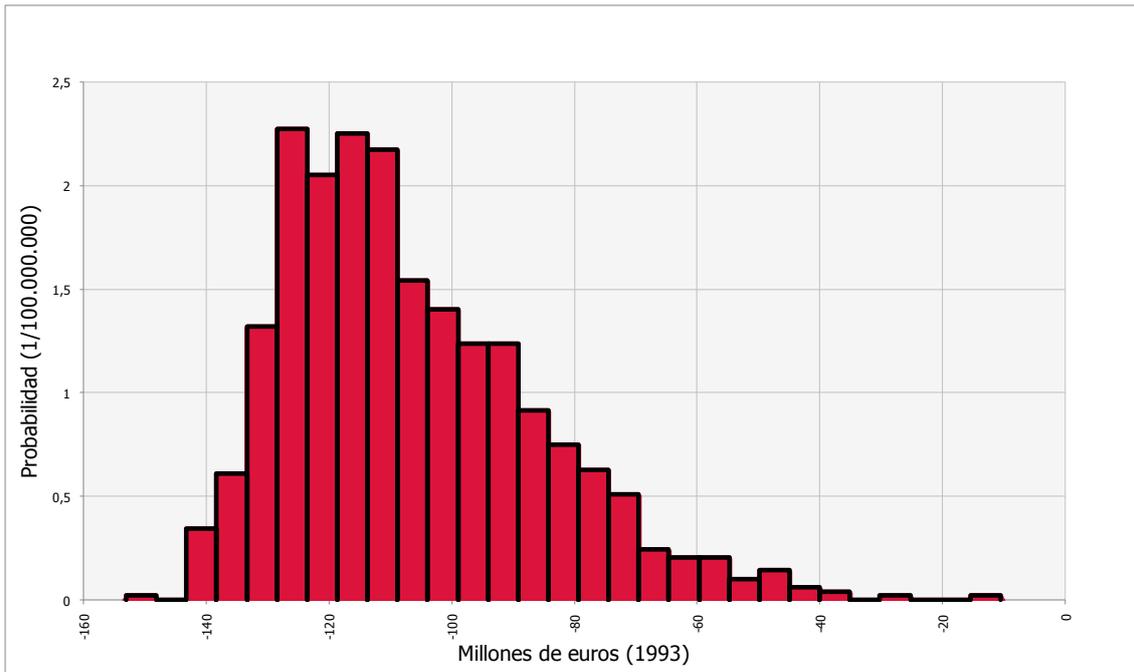
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
COSTES DE INVERSIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	356.322	368.079	380.223	392.768	405.728	419.114	432.943	447.227	461.983	477.226
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	397.003	409.494	422.377	435.666	449.373	463.512	478.095	493.137	508.652	524.656
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	25.144	25.935	26.751	27.592	28.460	29.356	30.279	31.232	32.215	33.228
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	147.295	151.929	156.709	161.640	166.725	171.971	177.381	182.962	188.719	194.656
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	112.926	116.479	120.144	123.924	127.823	131.844	135.992	140.271	144.684	149.236
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	4.149	4.365	4.592	4.830	5.081	5.345	5.623	5.915	6.222	6.546
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	2.373	2.492	2.618	2.750	2.888	3.034	3.187	3.347	3.516	3.693
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	10.403	10.927	11.478	12.056	12.664	13.302	13.973	14.677	15.417	16.194
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	570.402	589.363	608.956	629.204	650.129	671.752	694.097	717.189	741.054	765.715
...menos tiempo invertido...	-371.097	-383.341	-395.989	-409.054	-422.551	-436.493	-450.895	-465.772	-481.139	-497.014
...menos costes operativos turismos...	-5.193	-5.463	-5.747	-6.046	-6.360	-6.690	-7.038	-7.404	-7.788	-8.193
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	1.558.408	1.607.439	1.658.013	1.710.178	1.763.985	1.819.484	1.876.730	1.935.776	1.996.681	2.059.501
...menos tiempo invertido...	-1.006.179	-1.037.836	-1.070.489	-1.104.169	-1.138.909	-1.174.742	-1.211.702	-1.249.826	-1.289.148	-1.329.708
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	109.670	113.328	117.112	121.026	125.075	129.263	133.595	138.078	142.715	147.513
...menos tiempo invertido...	-63.725	-65.730	-67.798	-69.931	-72.131	-74.400	-76.741	-79.156	-81.646	-84.215
...menos costes operativos autobuses...	-7.671	-8.057	-8.464	-8.890	-9.338	-9.809	-10.303	-10.822	-11.368	-11.941
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	518.621	535.849	553.665	572.090	591.145	610.853	631.237	652.321	674.130	696.690
...menos tiempo invertido...	-265.631	-273.989	-282.609	-291.501	-300.672	-310.132	-319.889	-329.954	-340.335	-351.043
...menos costes operativos camiones...	-33.634	-35.329	-37.109	-38.980	-40.944	-43.008	-45.175	-47.452	-49.844	-52.356
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	360.730	372.080	383.786	395.861	408.316	421.162	434.413	448.081	462.179	476.720
...menos tiempo invertido...	-203.651	-210.058	-216.667	-223.484	-230.515	-237.768	-245.249	-252.965	-260.924	-269.133
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	-1.914.903	-1.913.941	-1.912.969	-1.911.986	-1.910.992	-1.909.986	-1.908.969	-1.907.941	-1.906.901	-1.905.849
AHORRO COSTES DE CIERRE CARRETERA	2.748.965	2.836.603	2.927.037	3.020.355	3.116.649	3.216.015	3.318.550	3.424.356	3.533.537	3.646.200
CAMBIO COSTES EXTERNOS	5.329	4.396	3.627	2.992	2.469	2.037	1.680	1.386	1.144	943
SUBTOTAL	3.056.056	3.215.014	3.379.248	3.548.893	3.724.098	3.905.016	4.091.815	4.284.667	4.483.754	4.689.268

Cuadro 4. Beneficios y costes anuales del proyecto del túnel de Somport (período 2023-2033)

	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
VALOR RESIDUAL DEL PROYECTO (2033 en adelante)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240.803.634
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	492.972	509.237	526.039	543.396	561.325	579.845	598.977	618.740	639.155	660.243	682.027
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	541.163	558.189	575.751	593.866	612.550	631.823	651.701	672.206	693.355	715.170	737.671
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	34.274	35.352	36.464	37.612	38.795	40.015	41.274	42.573	43.912	45.294	46.719
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	200.781	207.098	213.613	220.334	227.267	234.417	241.792	249.400	257.246	265.340	273.688
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	153.932	158.775	163.770	168.923	174.238	179.720	185.374	191.206	197.222	203.427	209.828
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	6.886	7.244	7.620	8.016	8.433	8.871	9.332	9.816	10.327	10.863	11.428
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	3.879	4.075	4.280	4.496	4.723	4.961	5.211	5.473	5.749	6.039	6.343
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	17.010	17.867	18.768	19.713	20.707	21.751	22.847	23.998	25.208	26.478	27.813
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	791.202	817.541	844.761	872.892	901.965	932.011	963.063	995.156	1.028.323	1.062.603	1.098.032
...menos tiempo invertido...	-513.413	-530.353	-547.851	-565.927	-584.600	-603.888	-623.813	-644.395	-665.657	-687.620	-710.307
...menos costes operativos turismos...	-8.619	-9.066	-9.538	-10.033	-10.554	-11.103	-11.680	-12.287	-12.925	-13.597	-14.303
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	2.124.298	2.191.134	2.260.073	2.331.180	2.404.525	2.480.177	2.558.210	2.638.698	2.721.718	2.807.350	2.895.676
...menos tiempo invertido...	-1.371.544	-1.414.696	-1.459.206	-1.505.116	-1.552.471	-1.601.316	-1.651.697	-1.703.664	-1.757.265	-1.812.553	-1.869.581
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	152.478	157.615	162.931	168.432	174.125	180.017	186.115	192.427	198.960	205.723	212.725
...menos tiempo invertido...	-86.864	-89.597	-92.416	-95.324	-98.323	-101.417	-104.607	-107.899	-111.293	-114.795	-118.407
...menos costes operativos autobuses...	-12.543	-13.175	-13.839	-14.536	-15.269	-16.038	-16.847	-17.696	-18.588	-19.525	-20.509
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	720.027	744.171	769.149	794.992	821.730	849.397	878.026	907.652	938.310	970.039	1.002.878
...menos tiempo invertido...	-362.088	-373.480	-385.230	-397.351	-409.852	-422.747	-436.048	-449.767	-463.918	-478.514	-493.569
...menos costes operativos camiones...	-54.995	-57.766	-60.678	-63.736	-66.948	-70.322	-73.867	-77.590	-81.500	-85.608	-89.922
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	491.719	507.189	523.147	539.606	556.584	574.095	592.158	610.789	630.005	649.827	670.272
...menos tiempo invertido...	-277.601	-286.335	-295.343	-304.636	-314.220	-324.106	-334.304	-344.822	-355.670	-366.861	-378.403
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	-1.904.785	-1.903.709	-1.902.621	-1.901.521	-1.900.408	-1.899.282	-1.898.144	-1.896.993	-1.895.829	-1.894.652	-1.893.461
AHORRO COSTES DE CIERRE CARRETERA	3.762.458	3.882.423	4.006.216	4.133.958	4.265.775	4.401.796	4.542.158	4.686.997	4.836.456	4.990.684	5.149.832
CAMBIO COSTES EXTERNOS	778	642	530	437	361	297	245	202	167	138	114
SUBTOTAL	4.901.406	5.120.375	5.346.390	5.579.673	5.820.454	6.068.973	6.325.476	6.590.220	6.863.468	7.145.495	248.240.217

La **Figura 4** representa la distribución de probabilidad del VAN social en este proyecto, cuyo valor esperado asciende a **-100.863.305 euros**. Como puede observarse, la probabilidad de que el VAN tome algún positivo es cero; por el contrario, la probabilidad de que tome valores (negativos) superiores a 100 millones de euros es muy elevada (59,1%) y sólo hay una probabilidad del 2% de que dicha pérdida sea inferior a 50 millones de euros.

Figura 4. Túnel de Somport: distribución de probabilidad del VAN social



Cuando se analizan con detalle las cifras que se resumen la evaluación realizada en el **Cuadro 4** y el **Cuadro 5** se observa que el proyecto obtiene beneficios sociales netos positivos desde el primer año de explotación (2003) y que el principal componente de estos beneficios son los ahorros de costes asociados a la mejora de la viabilidad invernal. Los ahorros de tiempo para los usuarios iniciales no son excesivamente elevados (debido a la escasa longitud del tramo) y benefician especialmente a los pasajeros en turismos y autobuses. Con respecto a los cambios en la disposición a pagar de los nuevos usuarios, estos son especialmente importantes para los pasajeros de autobuses, mientras que los cambios en los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura son negativos, como cabía esperar, y los costes externos son apenas significativos debido al bajo número de accidentes.

Cuadro 5. Distribución agregada de beneficios y costes (valores en euros de 1993)

Costes de inversión (incluyendo el valor residual del proyecto)	-136.266.047	
Ahorros de tiempo usuarios iniciales	11.263.834	
Pasajeros en turismos	3.877.783	34%
Pasajeros en autobuses	4.297.223	38%
Conductores de autobuses	272.157	2%
Conductores de camiones	1.594.342	14%
Carga transportada	1.222.329	11%
Ahorros de costes operativos usuarios iniciales	198.487	
Turismos	48.939	25%
Autobuses	27.773	14%
Camiones	121.774	61%
Cambios netos en DAP nuevos usuarios	12.855.857	
Pasajeros en turismos	6.281.490	17%
Pasajeros en autobuses	17.250.837	48%
Conductores de autobuses	1.223.213	3%
Conductores de camiones	5.781.300	19%
Carga transportada	3.993.111	14%
Cambio en los costes de operación de la infraestructura	-19.237.905	
Ahorros por cierre de la carretera	30.218.002	
Cambio en costes externos (accidentes)	104.467	
VALOR ACTUAL NETO (ESPERADO)	-100.863.305	

A pesar de que las limitaciones señaladas con respecto a los datos y las fuentes de información utilizadas obligan a interpretarlos con cautela, estos resultados sugieren que el principal problema de este proyecto es su excesivo coste en relación con el número potencial de beneficiarios. No obstante, también debería tenerse en cuenta que un incremento mayor de la demanda podría generar problemas de capacidad – bien de manera puntual o permanente – lo cual obligaría a eliminar el supuesto de que la velocidad se mantiene constante, disminuyendo aún más los beneficios por ahorros de tiempo.

4. Evaluación del tramo Castellón-Sarrión

A diferencia del caso del túnel de Somport, el tramo comprendido entre el límite de la provincia de Castellón y la localidad de Sarrión es un “tramo interior” en la autovía A-23 que conecta al norte con el tramo Sarrión-Variante de Teruel (que entró en servicio en 2005) y al sur con el comprendido entre Viver y el límite provincial (operativo desde 2007). Se trata de nuevo de evaluar – siguiendo los mismos pasos que en el caso anterior – un proyecto de construcción de una vía de alta capacidad, pero en esta ocasión la autovía discurre de manera paralela a la antigua carretera nacional y se presentan algunos problemas de congestión. La situación *con proyecto* se refiere a la construcción y operación de la autovía, mientras que la *sin proyecto* refleja qué habría sucedido sin ésta.

4.1. Características técnicas

El proyecto del tramo Castellón-Sarrión fue redactado en abril de 2002, siendo aprobado definitivamente en octubre de ese mismo año. Las obras fueron adjudicadas seis meses más tarde, comenzando los trabajos a finales de agosto de 2003, año que se tomará de referencia para la evaluación. La longitud total del nuevo tramo (18,24 km) es muy similar a la de la carretera que sustituye (18,91 km) si bien las características del nuevo trazado mejoran notablemente las prestaciones.

El proyecto comprende, además de la expropiación de los terrenos necesarios (con una superficie de 240 Ha. en cuatro municipios) la totalidad de las obras de explanación, drenaje, estructura, afirmados, señalización, balizamiento, defensas y reposiciones de servicios, así como otras obras complementarias para la mejora del servicio y mantenimiento de las infraestructuras, realizadas mediante la correspondiente contratación pública. El resto de características técnicas relevantes de este proyecto se resumen en el cuadro siguiente.

Cuadro 6. Principales características técnicas del tramo Castellón-Sarrión

Longitud (autovía):	18.241 m	Radio mínimo:	2.500 m
Longitud ramales:	12.296 m	Pendiente máxima:	3,4%
Nº de calzadas:	2	Velocidad de proyecto:	120 kms /h
Nº de carriles (por calzada)	2	Nº de enlaces:	6 ud
Anchura mínima carriles	3,5 m	Viaductos:	3 ud
Arcenes (anchura)	2,5 m (ext.); 1 m (int.)	Pasos superiores / inferiores:	19 ud
Mediana	12,5 m	Obras de drenaje transversal:	40 ud

4.2. Costes de los productores

La inversión total correspondiente a este proyecto ascendió a **94.297.901** euros valorados en 2003, los cuales se desagregan en: costes de redacción del proyecto (1.699.410 euros), costes de ejecución de obra (89.438.597 euros), control de obra (2.397.827 euros) y expropiaciones (762.071 euros). Al igual que en el caso del túnel, no resulta necesario realizar ninguna corrección al alza sobre estas cantidades (por posible infraestimación del coste real) ya que las mismas corresponden a los costes efectivamente invertidos, no a estimaciones *ex ante* de los mismos. Sin embargo, sí deben descontarse todos los costes indirectos (16% de IVA) y ajustar el coste de la mano de obra por su salario-sombra, para lo cual se utiliza el mismo procedimiento descrito en el caso del túnel. El importe total resultante es de **74.457.623 euros**, los cuales se distribuyen entre 2003 y 2006 de forma proporcional al número de meses de trabajo en cada año, esto es, un 10% el primer ejercicio y un 30% cada uno de los restantes.

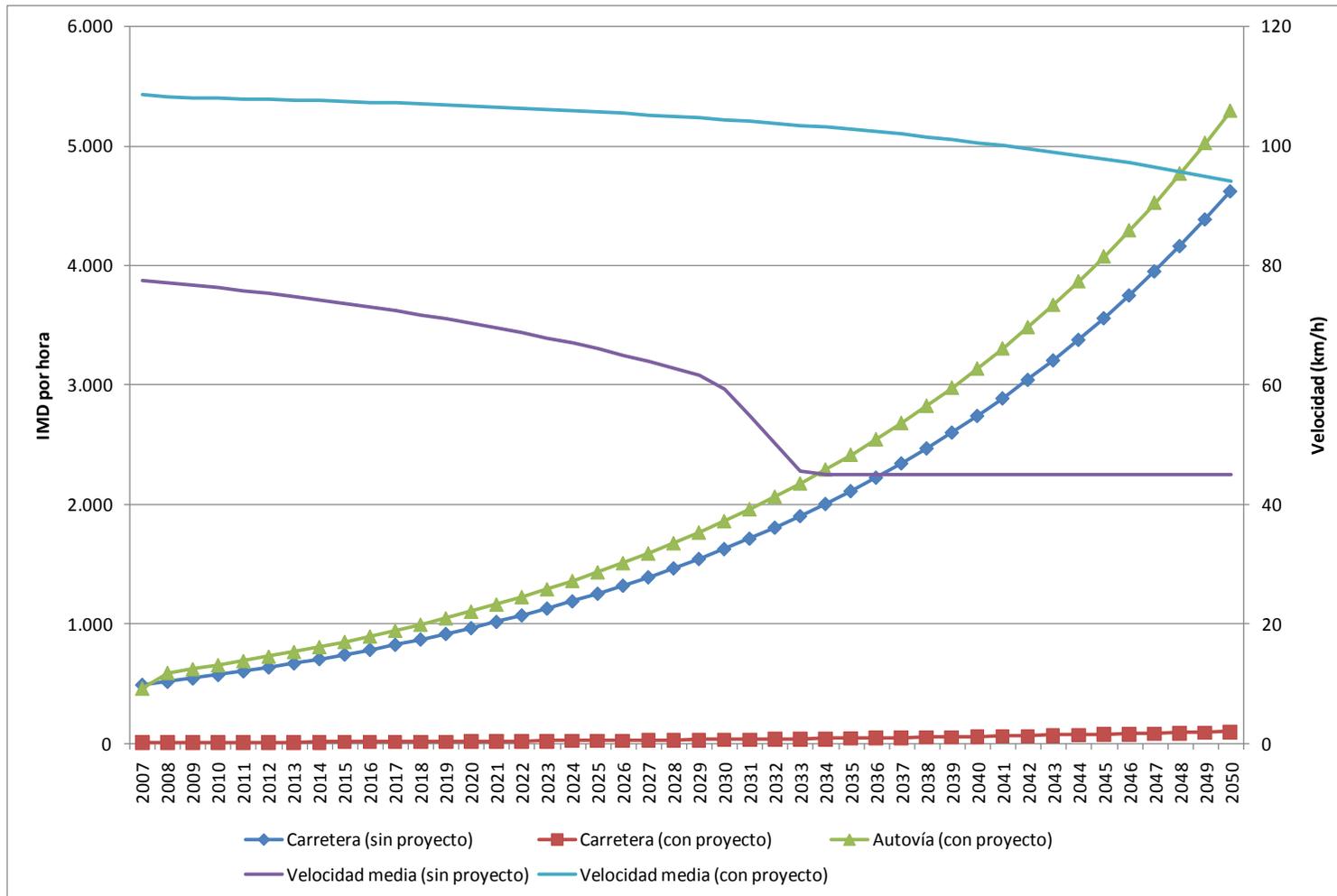
Con respecto a la vida útil, repetiremos el criterio usado en la sección anterior. El período de construcción se extiende ahora sólo cuatro años (entre 2003 y 2007) ya que el tramo entró en servicio a principios de 2007. De nuevo la longitud del período de explotación se fija (exógenamente) en 30 años (hasta 2037) y a partir de dicha fecha se calcula un valor residual del proyecto (V) como valor actual de la corriente de beneficios netos que el proyecto obtendría a partir de dicha fecha. Como veremos más adelante – y a diferencia del túnel – en este tramo sí existen problemas de capacidad para niveles elevados de demanda. Por esta razón el valor residual del proyecto sólo se calcula descontando dichos beneficios hasta que aparecen de manera explícita los límites de capacidad (alrededor del año 2060).

Por otra parte, no disponemos de información detallada sobre los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura durante dicho período de operación. Por ello, a partir de valores de UNITE (2003) e IMPACT (2008) consideraremos como valores representativos 0,06 euros por vehículo-km para el caso de la autovía y algo menos (0,05 euros) para la carretera convencional. En ambos casos, asumiremos que siguen una distribución triangular cuyo soporte se encuentra entre los valores mencionados y un 20% adicional.

4.3. Predicción de demanda, costes generalizados de los usuarios y costes externos

Los problemas de predicción demanda en el tramo Castellón-Sarrión son muy similares a los ya descritos para el caso del túnel, ya que ambos comparten como fuente de datos los ofrecidos por las estaciones de aforo del *Mapa de Carreteras*. Por ello hemos optado por repetir el mismo procedimiento de proyección, esto es aplicar una tasa constante de crecimiento anual a las IMD registradas en promedio en el período 2003-2007. En esta ocasión se ha elegido una tasa de crecimiento mayor y distinta para cada tipo de usuario (5,5% para turismos, 3,0% para autobuses y 5,5% para camiones) tal como sugerían los datos reales del quinquenio inicial, las cuales se hacen seguir una distribución uniforme.

Figura 5. Tráfico y velocidades medias: con y sin proyecto



Por otra parte, al contrario que en el caso anterior en esta ocasión no hemos tenido que simular los días de cierre invernal (tanto la carretera como la autovía operan de manera gratuita todos los días del año) aunque el cálculo del número total de viajeros y carga se ha realizado con los mismos parámetros de ocupación discutidos en la sección anterior. Sin embargo, y debido a que la carretera antigua discurre de manera paralela a la nueva autovía, hemos tenido que proyectar además la demanda *con* proyecto para dicha carretera, ya que los usuarios de la misma obtienen también algunos beneficios derivados de la desviación de tráfico hacia la autovía y la consiguiente reducción del tiempo de viaje que esto supone para los primeros.

Una última diferencia importante con respecto al túnel de Somport radica en que ahora ya no resulta posible mantener el supuesto simplificador de que las velocidades medias de circulación (y, por tanto, los tiempos de viaje) se mantienen constantes a lo largo de toda la vida del proyecto. La información disponible indica que para la situación *sin* proyecto, si las tasas de crecimiento de la demanda se mantienen en los valores antes presentados es muy posible que aparezca congestión en los últimos años de vida del proyecto. En estos casos, la manera más sencilla de vincular la velocidad media de circulación con el volumen de tráfico es a través de las llamadas ecuaciones de velocidad-flujo.⁹ En concreto, para la carretera nacional hemos utilizado la siguiente expresión:

$$V_{media} = \begin{cases} 85 - (0,015 + 0,0003 * \%PES)Q & \text{hasta } Q_p = 0,8Q_{max} \\ V_p - 0,05(Q - Q_p) & \text{entre } Q_p \text{ y } Q_{max} \\ 0 & \text{desde } Q_{max} \end{cases}$$

donde V_{media} es la velocidad media de todos los vehículos en el tramo, %PES es la proporción de vehículos pesados y Q la intensidad media horaria. Para el caso de la autovía la expresión equivalente es:

$$V_{media(autovía)} = \begin{cases} 110 - 0,006Q & \text{hasta } 1100 \text{ veh / h / carril} \\ 139,7 - 0,033Q & \text{desde } 1100 \text{ veh / h / carril} \end{cases}$$

donde Q se expresa ahora en vehículos-hora por carril.

Finalmente, el procedimiento para simular los costes de los accidentes es el mismo que en el caso del túnel de Somport si bien ahora hemos partido de valores iniciales algo más elevados.

4.4. Resultados

El **Cuadro 6** resume y distribuye por años los principales beneficios y costes del proyecto de construcción del tramo de autovía entre Castellón y Sarrión.

⁹ Estas ecuaciones están adaptadas a partir de las *Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carretera*, del Ministerio de Fomento (actualizado en 2003).

Cuadro 6. Beneficios y costes anuales del tramo Castellón-Sarrión (período 2003-2013)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
COSTES DE INVERSIÓN	-7.445.762	-22.337.287	-22.337.287	-22.337.287	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	0	0	0	0	1.627.560	1.772.860	1.944.427	2.134.228	2.344.435	2.577.512	2.836.262
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	0	0	0	0	968.946	1.030.438	1.103.377	1.182.382	1.268.061	1.361.092	1.462.237
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	0	0	0	0	61.367	65.261	69.881	74.884	80.310	86.202	92.608
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	0	0	0	0	1.763.946	1.912.316	2.087.438	2.280.340	2.493.066	2.727.930	2.987.554
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	0	0	0	0	1.352.359	1.466.109	1.600.369	1.748.261	1.911.351	2.091.413	2.290.458
AHORRO TIEMPO USUARIOS QUE SIGUEN EN CARRETERA											
Viajeros turismos	0	0	0	0	9.902	11.323	12.951	14.818	16.961	19.421	22.247
Viajeros autobuses	0	0	0	0	4.584	5.118	5.715	6.384	7.134	7.975	8.919
Conductores autobuses	0	0	0	0	290	324	362	404	452	505	565
Conductores camiones	0	0	0	0	11.553	13.147	14.967	17.043	19.415	22.126	25.225
Carga transportada	0	0	0	0	17.714	20.159	22.949	26.133	29.770	33.926	38.679
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	0	0	0	0	3.491	-72.296	-159.654	-260.801	-377.467	-511.582	-665.298
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	0	0	0	0	1.235	-93	-1.558	-3.187	-4.994	-6.996	-9.210
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	0	0	0	0	15.135	-16.318	-52.315	-93.724	-141.189	-195.423	-257.217
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	0	0	0	0	-325.704	1.010.034	1.094.797	1.186.929	1.287.111	1.396.093	1.514.700
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	808.182	-49.838	-53.875	-58.242	-62.966	-68.076	-73.606
...menos costes operativos turismos...	0	0	0	0	8.416	-93.754	-173.678	-265.199	-369.649	-488.498	-623.369
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	0	0	0	0	-1.252.614	-486.830	-515.181	-545.300	-577.313	-611.357	-647.578
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	1.021.679	396.717	418.689	441.900	466.420	492.328	519.703
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	0	0	0	0	-79.332	-30.833	-32.628	-34.536	-36.563	-38.719	-41.013
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	64.706	25.125	26.517	27.987	29.540	31.181	32.915
...menos costes operativos autobuses...	0	0	0	0	16.029	7.166	8.565	10.089	11.748	13.553	15.515
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	0	0	0	0	206.553	259.756	280.221	302.363	326.329	352.283	380.400
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	-168.473	-211.675	-227.736	-245.028	-263.646	-283.694	-305.284
...menos costes operativos camiones...	0	0	0	0	-17.791	-28.401	-37.055	-46.802	-57.757	-70.045	-83.805
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	0	0	0	0	245.470	293.208	316.309	341.302	368.356	397.651	429.389
...menos tiempo invertido...	0	0	0	0	-200.214	-238.935	-257.065	-276.584	-297.600	-320.230	-344.600
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	0	0	0	0	852.302	225.167	236.255	247.898	260.122	-452.254	-477.531
CAMBIO COSTES EXTERNOS	0	0	0	0	128.340	115.506	103.955	93.560	84.204	75.783	68.205
SUBTOTAL	-7.445.762	-22.337.287	-22.337.287	-22.337.287	7.145.635	7.400.763	7.836.997	8.307.501	8.815.641	8.640.101	9.197.070

Cuadro 6. Beneficios y costes anuales del tramo Castellón-Sarrión (período 2014-2025)

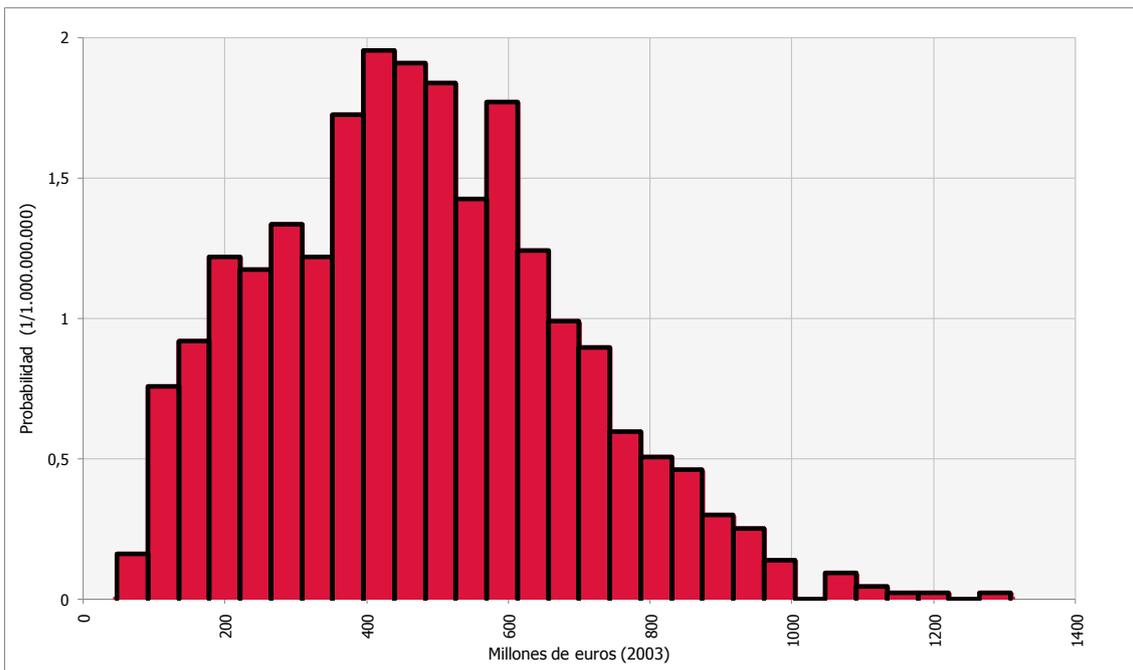
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
COSTES DE INVERSIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	3.123.877	3.444.000	3.800.799	4.199.056	4.644.263	5.142.748	5.701.823	6.329.955	7.036.981	7.834.362	8.735.498	9.756.108
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	1.572.353	1.692.404	1.823.478	1.966.809	2.123.792	2.296.017	2.485.298	2.693.705	2.923.618	3.177.771	3.459.326	3.771.943
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	99.582	107.186	115.487	124.565	134.507	145.414	157.402	170.601	185.162	201.259	219.091	238.890
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	3.274.915	3.593.404	3.946.888	4.339.786	4.777.166	5.264.845	5.809.529	6.418.960	7.102.107	7.869.395	8.732.975	9.707.067
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	2.510.768	2.754.943	3.025.947	3.327.170	3.662.494	4.036.381	4.453.972	4.921.203	5.444.949	6.033.203	6.695.281	7.442.084
AHORRO TIEMPO USUARIOS QUE SIGUEN EN CARRETERA												
Viajeros turismos	25.495	29.230	33.530	38.483	44.192	50.779	58.385	67.178	77.354	89.142	102.818	118.703
Viajeros autobuses	9.979	11.170	12.510	14.017	15.715	17.630	19.790	22.231	24.992	28.118	31.663	35.689
Conductores autobuses	632	707	792	888	995	1.117	1.253	1.408	1.583	1.781	2.005	2.260
Conductores camiones	28.771	32.830	37.481	42.814	48.932	55.959	64.037	73.332	84.039	96.387	110.647	127.137
Carga transportada	44.116	50.340	57.471	65.647	75.029	85.804	98.190	112.442	128.860	147.794	169.659	194.943
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	-841.017	-1.041.415	-1.269.474	-1.528.518	-1.822.248	-2.154.787	-2.530.724	-2.955.168	-3.433.806	-3.972.963	-4.579.680	-5.261.785
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	-11.655	-14.350	-17.319	-20.585	-24.175	-28.117	-32.441	-37.181	-42.373	-48.056	-54.272	-61.068
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	-327.449	-407.094	-497.230	-599.054	-713.891	-843.212	-988.642	-1.151.984	-1.335.233	-1.540.599	-1.770.526	-2.027.722
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	1.643.847	1.784.544	1.937.911	2.105.191	2.287.766	2.487.176	2.705.142	2.943.589	3.204.680	3.490.845	3.804.832	4.149.750
...menos tiempo invertido...	-79.589	-86.065	-93.073	-100.659	-108.871	-117.762	-127.390	-137.818	-149.112	-161.348	-174.606	-188.975
...menos costes operativos turismos...	-776.057	-948.540	-1.143.003	-1.361.856	-1.607.755	-1.883.630	-2.192.710	-2.538.553	-2.925.079	-3.356.604	-3.837.882	-4.374.147
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	-686.138	-727.214	-770.998	-817.703	-867.562	-920.832	-977.797	-1.038.772	-1.104.111	-1.174.203	-1.249.490	-1.330.467
...menos tiempo invertido...	548.634	579.211	611.533	645.703	681.834	720.042	760.454	803.205	848.437	896.303	946.968	1.000.606
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	-43.455	-46.057	-48.830	-51.788	-54.946	-58.319	-61.927	-65.789	-69.927	-74.366	-79.134	-84.263
...menos tiempo invertido...	34.747	36.683	38.730	40.895	43.183	45.603	48.162	50.870	53.734	56.766	59.975	63.372
...menos costes operativos autobuses...	17.644	19.955	22.461	25.176	28.117	31.300	34.743	38.465	42.488	46.834	51.526	56.590
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	410.877	443.930	479.798	518.744	561.060	607.074	657.146	711.682	771.134	836.012	906.890	984.414
...menos tiempo invertido...	-328.536	-353.582	-380.561	-409.628	-440.948	-474.700	-511.077	-550.290	-592.566	-638.153	-687.317	-740.350
...menos costes operativos camiones...	-99.188	-116.361	-135.506	-156.823	-180.531	-206.871	-236.105	-268.522	-304.437	-344.197	-388.179	-436.798
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	463.792	501.102	541.588	585.549	633.316	685.255	741.776	803.335	870.444	943.678	1.023.683	1.111.191
...menos tiempo invertido...	-370.846	-399.117	-429.572	-462.382	-497.735	-535.834	-576.896	-621.159	-668.879	-720.336	-775.832	-835.695
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	-504.212	-532.373	-562.098	-593.471	-626.585	-661.536	-698.424	-737.358	-778.451	-821.821	391.120	410.413
CAMBIO COSTES EXTERNOS	61.385	55.246	49.722	44.749	40.274	36.247	32.622	29.360	26.424	23.782	21.403	19.263
SUBTOTAL	9.803.271	10.464.721	11.188.465	11.982.775	12.857.387	13.823.793	14.895.591	16.088.926	17.423.011	18.920.787	21.868.440	23.849.155

Cuadro 6. Beneficios y costes anuales del tramo Castellón-Sarrión (período 2026-2037)

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
VALOR RESIDUAL DEL PROYECTO (hasta 2060)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.025.059.654
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (turismos)	10.914.700	12.233.154	13.737.445	15.458.555	18.202.863	23.035.885	29.417.296	38.022.490	41.734.048	44.957.546	48.421.874	52.143.719
AHORRO TIEMPO VIAJEROS INICIALES (autobuses)	4.119.885	4.508.131	4.942.524	5.429.958	6.242.407	7.712.622	9.615.783	12.134.090	13.002.951	13.675.360	14.380.121	15.118.465
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (autobuses)	260.926	285.515	313.027	343.897	395.352	488.466	609.000	768.492	823.520	866.106	910.741	957.503
AHORRO TIEMPO CONDUCTORES INICIALES (camiones)	10.808.366	12.056.563	13.474.973	15.091.335	17.686.232	22.276.007	28.312.097	36.420.565	39.786.292	42.656.223	45.725.476	49.006.702
AHORRO TIEMPO CARGA TRANSPORTADA (camiones)	8.286.414	9.243.365	10.330.813	11.570.024	13.559.444	17.078.272	21.705.941	27.922.433	30.502.824	32.703.104	35.056.198	37.571.805
AHORRO TIEMPO USUARIOS QUE SIGUEN EN CARRETERA												
Viajeros turismos	137.183	158.717	183.852	213.250	264.677	361.622	492.141	671.116	741.490	800.455	864.086	932.749
Viajeros autobuses	40.268	45.485	51.439	58.251	70.585	94.153	125.099	166.551	179.655	189.346	199.555	210.307
Conductores autobuses	2.550	2.881	3.258	3.689	4.470	5.963	7.923	10.548	11.378	11.992	12.638	13.319
Conductores camiones	146.234	168.386	194.129	224.102	276.829	376.432	509.867	691.994	760.934	817.552	878.359	943.662
Carga transportada	224.225	258.192	297.664	343.623	424.471	577.195	781.797	1.061.057	1.166.765	1.253.580	1.346.818	1.446.949
AHORRO COSTES OPERATIVOS (turismos iniciales)	-6.027.986	-6.887.968	-7.852.497	-8.933.544	-10.144.416	-11.509.602	-13.064.245	-14.833.889	-16.847.395	-19.089.471	-21.578.679	-24.340.194
AHORRO COSTES OPERATIVOS (autobuses iniciales)	-68.493	-76.602	-85.452	-95.109	-105.639	-117.223	-130.129	-144.498	-160.486	-177.796	-196.478	-216.628
AHORRO COSTES OPERATIVOS (camiones iniciales)	-2.315.182	-2.636.221	-2.994.506	-3.394.095	-3.839.475	-4.339.364	-4.906.399	-5.549.284	-6.277.807	-7.084.792	-7.975.962	-8.959.397
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (turismos)...	4.529.136	4.947.024	5.408.041	5.917.513	6.562.729	7.458.516	8.550.588	9.913.119	10.798.768	11.675.675	12.624.602	13.651.587
...menos tiempo invertido...	-204.549	-221.433	-239.743	-259.602	-281.146	-304.526	-329.904	-357.458	-387.385	-419.899	-455.237	-493.656
...menos costes operativos turismos...	-4.971.159	-5.635.257	-6.373.416	-7.193.309	-8.103.375	-9.112.895	-10.232.072	-11.472.126	-12.845.386	-14.365.405	-16.047.076	-17.906.761
CAMBIO DAP NUEVOS PASAJEROS (autobuses)...	-1.417.694	-1.511.805	-1.613.528	-1.723.695	-1.866.339	-2.070.824	-2.317.777	-2.623.437	-2.790.097	-2.945.180	-3.109.083	-3.282.333
...menos tiempo invertido...	1.057.405	1.117.564	1.181.299	1.248.839	1.320.433	1.396.347	1.476.865	1.562.297	1.652.974	1.749.254	1.851.525	1.960.205
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (autobuses)...	-89.787	-95.748	-102.190	-109.167	-118.201	-131.152	-146.793	-166.151	-176.706	-186.528	-196.909	-207.881
...menos tiempo invertido...	66.969	70.779	74.816	79.093	83.627	88.435	93.535	98.945	104.688	110.786	117.263	124.146
...menos costes operativos autobuses...	62.053	67.946	74.298	81.145	88.522	96.467	105.023	114.233	124.145	134.810	146.283	158.621
CAMBIO DAP NUEVOS CONDUCTORES (camiones)...	1.069.321	1.162.448	1.264.755	1.377.344	1.520.283	1.719.608	1.962.049	2.263.919	2.454.492	2.641.230	2.842.358	3.059.011
...menos tiempo invertido...	-797.567	-859.310	-925.954	-997.903	-1.075.599	-1.159.523	-1.250.199	-1.348.198	-1.454.147	-1.568.727	-1.692.684	-1.826.838
...menos costes operativos camiones...	-490.508	-549.804	-615.230	-687.379	-766.901	-854.507	-950.974	-1.057.153	-1.173.971	-1.302.445	-1.443.685	-1.598.905
CAMBIO DAP NUEVA CARGA (camiones)...	1.207.032	1.312.153	1.427.635	1.554.724	1.716.072	1.941.066	2.214.729	2.555.476	2.770.592	2.981.379	3.208.409	3.452.963
...menos tiempo invertido...	-900.280	-969.976	-1.045.202	-1.126.417	-1.214.119	-1.308.851	-1.411.204	-1.521.825	-1.641.418	-1.770.754	-1.910.675	-2.062.106
CAMBIO COSTES OPERACIÓN INFRAESTRUCTURA	430.669	451.937	474.266	497.711	522.328	548.175	575.314	603.812	633.735	665.155	698.150	732.796
CAMBIO COSTES EXTERNOS	17.337	15.603	14.043	12.639	11.375	10.237	9.214	8.292	7.463	6.717	6.045	5.440
SUBTOTAL	26.097.470	28.661.718	31.600.557	34.985.472	41.437.488	54.357.000	71.824.565	95.915.411	103.501.916	108.985.275	114.684.032	1.145.654.907

Como puede observarse, en esta ocasión los beneficios netos anuales son mayores y crecientes, lo cual – unido al menor coste de la inversión y al elevado valor residual del proyecto – conduce a un VAN social positivo, cuyo valor esperado asciende a **439.455.692 euros** (valorados en 2003). La distribución de probabilidad del VAN, resumida en la figura siguiente, subraya la rentabilidad social de este proyecto: la probabilidad de obtener un VAN social negativo es cero, siendo por el contrario la probabilidad de obtener valores superiores a 200 millones de euros superior al 85%.

Figura 6. Tramo Sarrión-Castellón: distribución de probabilidad del VAN social



En el **Cuadro 7** se observa finalmente que los principales beneficios de este proyecto proceden de los ahorros de tiempo de los usuarios iniciales, los cuales ascienden a más de 379 millones de euros: se trata de la principal aportación del tramo Sarrión-Castellón, ya que la no construcción de la autovía hubiera implicado un progresivo descenso de la velocidad media de circulación (con el consiguiente aumento del tiempo de viaje), llegando a un nivel de congestión no aceptable a partir de 2033, tal como se mostró en la **Figura 5**.¹⁰

¹⁰ Nótese que en el caso de que el proyecto hubiese generado valores de rentabilidad social negativa o que hubiesen otras alternativas a analizar se debería haber considerado la posibilidad de posponer el inicio de la obra hasta fechas más próximas al límite de la capacidad actual.

Cuadro 7. Distribución agregada de beneficios y costes (valores en euros de 2003)

Costes de inversión (netos del valor residual del proyecto)	-126.849.290	
Ahorros de tiempo usuarios iniciales	379.375.251	
Pasajeros en turismos	121.164.696	32%
Pasajeros en autobuses	44.882.767	12%
Conductores de autobuses	2.842.575	1%
Conductores de camiones	119.142.573	31%
Carga transportada	91.342.639	24%
Ahorros de tiempo usuarios que siguen en carretera	6.744.323	
Pasajeros en turismos	1.710.642	25%
Pasajeros en autobuses	465.241	7%
Conductores de autobuses	29.465	0%
Conductores de camiones	1.791.701	27%
Carga transportada	2.747.275	41%
Ahorros de costes operativos usuarios iniciales	-72.509.950	
Turismos	-52.217.295	72%
Autobuses	-554.229	1%
Camiones	-19.738.426	27%
Cambios netos en DAP nuevos usuarios	-1.493.683	
Pasajeros en turismos	74.210	
Pasajeros en autobuses	-4.045.329	
Conductores de autobuses	281.115	
Conductores de camiones	-1.181.107	
Carga transportada	3.377.427	
Cambio costes operación infraestructura	-242.424	
Cambio costes externos	732.886	
VAN social esperado	439.455.692	

5. Discusión

El objetivo de este caso ha sido presentar, de manera práctica, la metodología de evaluación socioeconómica de proyectos de inversión en infraestructuras y servicios de transporte a dos actuaciones concretas dentro de la denominada *Autovía Mudéjar*, una vía muy representativa de las actuaciones interurbanas a media distancia contempladas en el PEIT. En concreto los tramos elegidos han sido el túnel de Somport, inaugurado en 2003, y el tramo entre Sarrión y el límite provincial de Castellón, que se encuentra operativo desde 2007.

Tanto en un caso como en otro, el proyecto a analizar consiste en la mejora de la vía existente por medio de una intervención de mayor capacidad (túnel o autovía, respectivamente) que desvía gran parte del tráfico inicial. Los principales beneficios de estos proyectos están asociados, en principio, a los ahorros de tiempo que obtienen los usuarios iniciales del corredor afectado (pudiendo distinguirse estos ahorros por tipo de vehículo y motivo de viaje) y al cambio en la disposición a pagar por parte de los nuevos viajeros (tráfico generado), neto de su correspondiente tiempo y coste incurrido, distinguiendo de nuevo por tipo de vehículo y motivo de viaje. Por el lado de los costes deben computarse en primer lugar los costes de construcción, a los cuales se les descuenta el valor residual o *vivo* del proyecto al finalizar el período de evaluación cuando éste es inferior a la vida útil de los activos. Además deben incluirse la variación en los costes operativos de los vehículos como consecuencia de la ejecución del proyecto y en los costes de mantenimiento de la infraestructura en comparación con lo que hubiera sucedido en caso de no acometer el proyecto. También deben añadirse la variación en los costes externos, que en ambos casos hemos limitado a la reducción de costes por accidentes debido a las mejoras en la vía.

El principal problema que hemos tenido en la realización de la evaluación propuesta ha sido el de la incertidumbre. Parte de ella – la relativa a las dificultades en el conocimiento de parámetros de coste o similares – se ha resuelto a través de la realización de supuestos sobre las distribuciones de probabilidad que – a nuestro juicio – reflejan mejor el desconocimiento del evaluador sobre esos valores. La incertidumbre correspondiente a la predicción de demanda – que constituye a menudo el principal elemento a considerar en los procesos de evaluación de inversiones en transporte – la hemos intentado resolver a través de predicciones *ad hoc*.

Dentro de las limitaciones impuestas por la información disponible, este caso representa simplemente un ejemplo ilustrativo de cómo se debe aplicar la metodología de evaluación de proyectos basada en criterios socioeconómicos racionales. Los resultados obtenidos – rentabilidad social negativa en el caso del túnel de Somport y altamente positiva en el tramo Sarrión-Castellón – parecen razonables de acuerdo con la información general disponible y deben ser tomados en consideración en la medida que se conceda mayor o menor fiabilidad a los supuestos realizados para aplicar los datos de partida disponibles. En la medida en que estos datos sean mejores, así lo será también la credibilidad de los valores de la evaluación.

Referencias

Del Bo, C.; C. Florio y M. Florio (2009): “Shadow wages for the EU regions”, Documento de trabajo, DEAS, Universidad de Milán.

Flyjberg B.; N., Bruzelius and W. Rothengatter (2003): *Megaprojects and Risk: Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press.

IMPACT (2008): “Road infrastructure cost and revenue in Europe”. Deliverable 2. Produced within the study *Internalisation Measures and Policies for all external cost of Transport*. Delft, CE.

HEATCO (2006): Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. European Commission. Contract 2002-ssp-1/ 502481.

UNITE (2003): “Deliverable 8”. Unification of Accounts and marginal costs for Transport Efficiency”. European Commission,. Contract 1999-AM.11157