

Evaluación Económica de Proyectos de Transporte

**Evaluación socioeconómica
de inversión en carreteras.
La implantación de
carriles-bus en la autovía
A-42**



Proyecto: EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FINANCIERA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE

Con la subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

Ministerio de Fomento

Ref. PT-2007-001-02IAPP

www.evaluaciondeproyectos.es

CASO DE ESTUDIO 7.E

Evaluación socioeconómica de inversión en carreteras. La implantación de carriles-bus en la autovía A-42¹

11 Noviembre 2010

Este **CASO DE ESTUDIO** es uno de los resultados del proyecto de investigación titulado **Evaluación Socioeconómica y Financiera de Proyectos de Transporte** (PT2007-001-IAPP) financiado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento dentro de la convocatoria para el año 2007 de la concesión de ayudas para la realización de proyectos de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica, ligadas al plan estratégico de infraestructuras y transporte, en el marco del plan nacional de investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica 2004-2007 (BOE 16 de abril de 2007).

Más información en:

www.evaluaciondeproyectos.es

¹ Los autores agradecen la información facilitada por la Dirección General de Carreteras.

Investigadores participantes en el proyecto

Ginés de Rus (Director)	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Ofelia Betancor	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Javier Campos	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Juan Luis Eugenio	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Pilar Socorro	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Anna Matas	Universidad Autónoma de Barcelona
Josep Lluís Raymond	Universidad Autónoma de Barcelona
Mar González-Savignat	Universidad de Vigo
Raúl Brey	Universidad Pablo de Olavide
Gustavo Nombela	Fundación de Estudios de Economía Aplicada
Juan Benavides	Universidad de Los Andes (Colombia)

Ayudantes de investigación y colaboradores

Jorge Valido	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Aday Hernández	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
José Francisco Expósito	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Ancor Suárez	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
María Cabrera	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Agustín Alonso	Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
Enrique Moral	Centro de Estudios Monetarios y Financieros
Adriana Ruíz	Universidad Autónoma de Barcelona
Ricardo Demellas	Universidad Autónoma de Barcelona

Coordinador del proyecto con el CEDEX

Alberto Compte	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
-----------------------	--

Asesores científicos externos

Ángel Aparicio	Universidad Politécnica de Madrid
Massimo Florio	Universidad de Milán
Andrés Gómez-Lobo	Universidad de Chile
Per-Olov Johansson	Stockholm School of Economics
Andrea Mairate	Comisión Europea
Chris A. Nash	Universidad de Leeds
Mateo Turró	Universidad Politécnica de Cataluña

Tabla de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	1
2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO A EVALUAR	1
2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CORREDOR EN LA ACTUALIDAD	1
2.2. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS.....	4
3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTES	5
3.1. COSTES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA	7
3.2. COSTES DE LOS USUARIOS	9
3.2.1. <i>Los datos de tráfico y velocidad</i>	9
3.2.2. <i>Costes de operación de los vehículos</i>	12
3.3. COSTES EXTERNOS	13
4. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	14
REFERENCIAS	17
ANEXO: LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA BAJO LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS	18

1. INTRODUCCIÓN

La actual **Autovía A-42** es el resultado del desdoblamiento de la antigua carretera nacional N-401 entre Madrid y Toledo. En los últimos años, y en parte dentro de las actuaciones contempladas en el *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte* (PEIT), esta vía ha sido objeto de una serie de mejoras destinadas a facilitar la circulación y a aumentar su capacidad para hacer frente al crecimiento del tráfico en la misma. **En este caso de estudio se aborda la evaluación socioeconómica de cuatro posibles actuaciones alternativas que tienen por objeto ampliar la capacidad de esta autovía**, a la que se pretende **incorporar además un carril bus** con el objeto de potenciar el transporte público. Los principales costes y beneficios del proyecto se hallan claramente identificados, ya que se dispone de un **estudio informativo** completo sobre las características técnicas y económicas de las distintas alternativas contempladas para la optimización funcional de esta vía.²

Este estudio informativo constituye la mejor fuente de información disponible para este caso, ya que contiene una detallada descripción de la situación inicial (*sin proyecto*), tanto en lo que se refiere a características técnicas y geográficas, como a estructuras e infraestructuras existentes y previstas. Esto se completa con un análisis del tráfico actual en el corredor (con previsiones futuras para cada alternativa), y un detallado estudio de impacto ambiental. Finalmente, el estudio incluye también un análisis de la viabilidad técnica y rentabilidad económica de cada alternativa. La comparación entre los resultados obtenidos en este caso – aplicando la metodología de evaluación económica basada en el enfoque de los recursos productivos desarrollada en Campos y De Rus (2009) – y los resultados alcanzados en el estudio informativo servirá de referencia para analizar ambas aproximaciones, analizando sus fortalezas y debilidades.

2. DEFINICIÓN DEL PROYECTO A EVALUAR

2.1. Características del corredor en la actualidad

Tal como ilustra la *Figura 1*, la zona de actuación del proyecto es la carretera N-401 (Autovía A-42) de Madrid a Ciudad Real por Toledo, si bien el ámbito de estudio se centra particularmente en el corredor definido entre la Plaza de Fernández Ladreda (*Plaza Elíptica*) y el límite sur de la provincia de Madrid, con una longitud total de 27 kilómetros, aproximadamente. De acuerdo con las características de la calzada, este corredor se divide en tres tramos:

² Este estudio informativo (EI-4-M-59) fue concluido a finales de 2004 y aprobado definitivamente el 6 de marzo de 2007 (BOE 27-3-2007). En él se proponían inicialmente hasta ocho alternativas diferentes – denotadas alfabéticamente desde A hasta H – optándose finalmente por la denominada *Alternativa G* (véase sección 2 de este documento), lo que ha dado lugar a la elaboración de tres proyectos (actualmente en fase de redacción) correspondientes al desarrollo de la misma.

Plaza de Fernández Ladreda – Enlace de Getafe (N), en el que la carretera dispone de dos calzadas (una por sentido de circulación) con tres carriles cada una, separadas mediante una mediana estricta con barrera rígida.

Enlace de Getafe (N) – Enlace de Parla (N), donde la autovía consta de dos calzadas con dos carriles de circulación cada una de ellas, separadas por una mediana estricta, si bien, recientemente, se ha procedido a la implantación de un tercer carril utilizando la plataforma existente aunque con ampliaciones puntuales.

Enlace de Parla (N) – Límite de la provincia de Madrid, donde la carretera dispone de dos calzadas con dos carriles de circulación cada una, separadas por una mediana amplia en la que se disponen barreras semi-rígidas de protección.

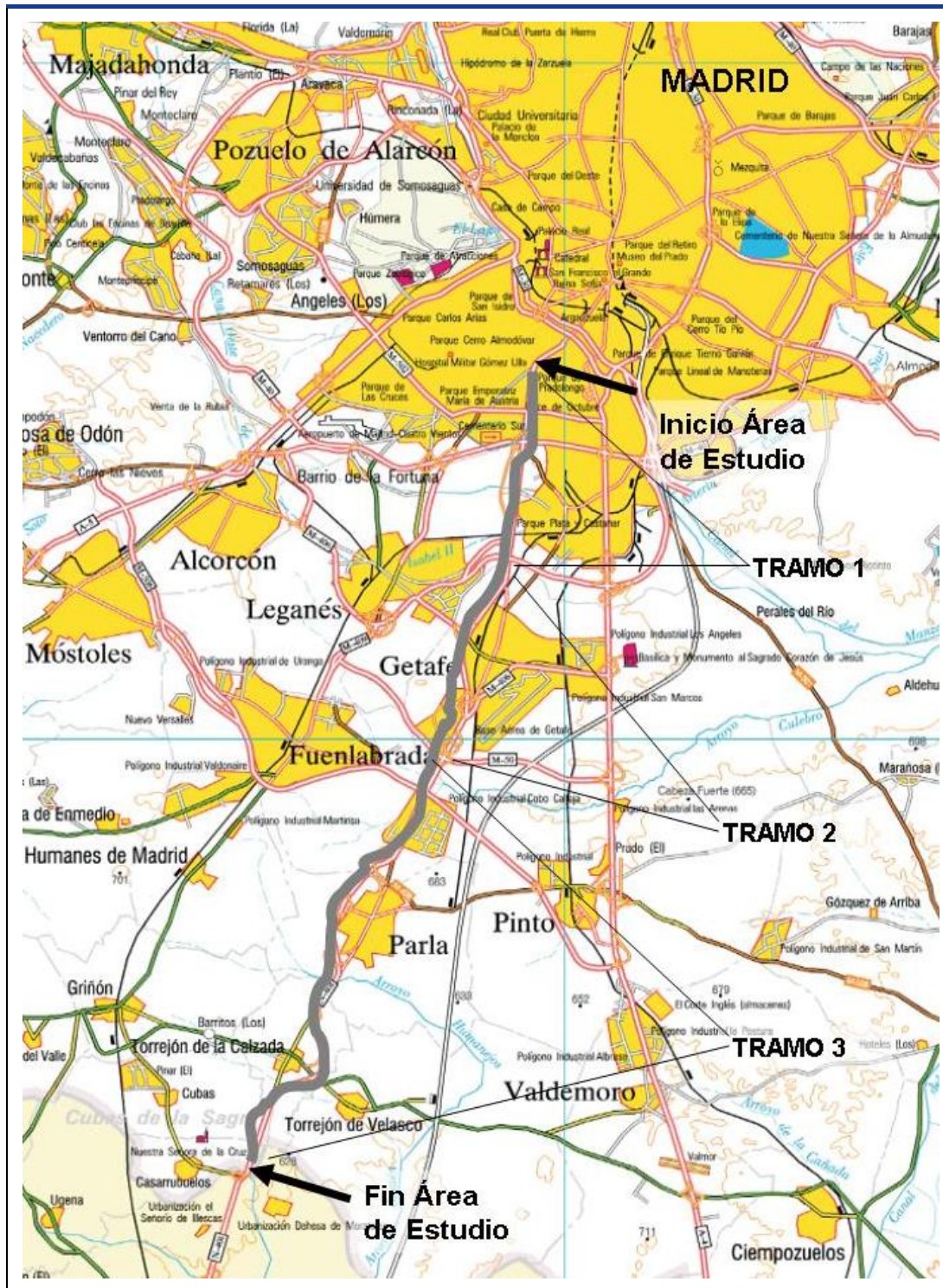
Además de lo anterior, y como elementos técnicos a considerar en la definición del proyecto sobre la autovía A-42, existen en la actualidad un total de treinta y dos estructuras en el tramo en estudio, excluyendo el túnel en la Plaza de Fernández Ladreda y la estructura del enlace de Casarrubuelos, al final del tramo, ya que no resultan afectados por ninguna de las actuaciones previstas. Las estructuras relevantes son: cuatro pasos de la autovía sobre vías existentes, seis pasos inferiores soterrados (incluyendo uno ferroviario y dos peatonales) y veintidós pasos de otras vías sobre la A-42, algunos de ellos dobles (como los de la M-40, M-45 y M-50). Finalmente, hay 14 paradas de autobús en cada uno de los dos sentidos de circulación, tanto en la vía principal como en las vías de servicio.

Los datos de movilidad en el corredor en 1996,³ indican que diariamente se realizaban en el mismo un total de 237.859 viajes, mientras que los trayectos internos (en los que el origen y destino está dentro del corredor) ascendieron a 56.493 viajes al día. La distribución modal resultante asignaba un 48,8% a los viajes realizados a pie, un 23,7% al transporte privado, un 25,4% al transporte público y el 2,1% a otros modos.

Con respecto al transporte privado, los datos aportados hasta 2003 por las estaciones de aforo situadas a lo largo de la autovía A-42, confirman que se trata de una vía interurbana de alta intensidad circulatoria, mayor cuanto más próximo se sitúe el tramo a Madrid.

³ Esta información se obtiene a partir de la *Encuesta Domiciliaria* realizada en el año 1996 en la Comunidad de Madrid, considerando integrados dentro del corredor de la A-42 los municipios de Getafe, Leganés, Fuenlabrada, Parla, Griñón, Torrejón de la Calzada, Torrejón de Velasco, Serranillos, Casarrubuelos y Cubas, así como el distrito de Villaverde.

Figura 1: La autovía A-42: ámbito de estudio



Fuente: Dirección General de Carreteras (2005).

Así, la intensidad media diaria (IMD) oscila entre 143.331 vehículos/día en el tramo Plaza Fernández Ladreda - Avenida de los Poblados (M-100) y los 89.903 vehículos/día entre Parla Sur y el acceso a Torrejón (E-133). En general, es un tráfico en el que predominan los vehículos ligeros (el porcentaje máximo de vehículos pesados, 11,9%, se alcanza al sur, en la estación E-133) y con un ligero desequilibrio en el reparto por calzadas (favorable en el sentido Madrid). Desde el punto de vista de la congestión, se considera que la mayoría del tramo funciona a nivel F (plena capacidad) entre una y cuatro horas al día.

Con relación al transporte público, de las quince líneas que integran la red de cobertura del corredor de la A-42, la mayoría (trece) son interurbanas con una funcionalidad radial de conexión de los diversos municipios con Madrid, mientras que sólo dos (con menor demanda) realizan la interconexión entre los distintos municipios de la zona sur de la Comunidad. El número de expediciones en días laborables para la totalidad de las líneas interurbanas asciende a 1.602 (en ambos sentidos). En total, de acuerdo con datos diarios obtenidos en 2002, el total de viajeros transportados en estas líneas en un día laborable se sitúa en 51.528, de los cuales un 51,3% viaja en sentido Toledo. Estas cifras implican un movimiento anual de unos 15 millones de viajeros, cifra muy relevante en relación al volumen de población.

2.2. Definición de alternativas

Las características descritas con respecto a la oferta (capacidad limitada y de difícil expansión, puntualmente congestionada) y demanda (IMD elevada, alta utilización del transporte público, ausencia de patrones horarios) de transporte en el corredor determinaron la **definición de hasta ocho alternativas iniciales**, resumidas en el *Cuadro 1*. Cada una de estas alternativas aborda de forma similar el problema planteado, ofertando diferentes soluciones en relación a tres parámetros principales: la ampliación de la calzada para disponer de tres carriles por sentido de la circulación, la inclusión o no de una plataforma de tipo bus-VAO o sólo bus (durante todo el tramo o sólo parte de éste) y la ejecución o no de vías de servicio laterales, tal como se resume en el *Cuadro 1*. Cada una de las alternativas planteadas se formula para el período 2010-2030 y conlleva implicaciones diferentes, tanto desde el punto de vista del coste de ejecución (y mantenimiento) como de los posibles beneficios sociales (en términos de reducción de tiempo de viaje, la disposición a pagar por parte de los usuarios, y los cambios en los excedentes de los agentes implicados).

Inicialmente, la **Solución A** fue planteada como una “solución de mínimos” (*do minimum*), con objeto de evitar la demolición de la mayor parte de los pasos superiores existentes y reducir al máximo las afecciones al resto de las estructuras y a los terrenos de las márgenes. Sin embargo, estos condicionantes impedían cumplir algunas prescripciones legales sobre los accesos a las carreteras del Estado y tampoco mejoraban sustancialmente el tráfico en

las zonas más problemáticas de la autovía, ya que no disponía ni de vías de servicio ni de plataforma reservada para transporte público (lo cual se resuelve técnicamente con la **Solución C**). Por tanto, aunque era la opción más económica y aunque mejoraba en parte la seguridad en la autovía (al suprimir las entradas directas), se consideró que no cumplía con las mínimas características necesarias para incluirla dentro del grupo de alternativas a evaluar.

Por su parte, las **soluciones B, D y E** se basaban en el establecimiento de una calzada reservada reversible por el centro de la plataforma de la autovía, lo que implicaba la demolición de la práctica totalidad de los pasos superiores existentes, con un coste económico importante. Dado que el estudio de tráfico indicaba que no existía un desequilibrio horario por sentidos en la intensidad del tráfico de la autovía, se consideró que sería difícil determinar cuál debería ser el sentido de funcionamiento de esta calzada, lo que no produciría una mejora sustancial en su funcionamiento (ya que sólo se conseguirían ahorros de tiempo en uno de los dos sentidos).

Debido a estas razones, y teniendo en cuenta que – aunque el tráfico de autobuses interurbanos no supera el 2% del tráfico total, el volumen de viajeros que lo utiliza supone casi el 30% del total de los usuarios de la vía – se consideraron finalmente las *soluciones F, G y H*, en las que se mejoraba de forma sustancial la oferta del transporte público, reduciendo los tiempos de recorrido y aumentando las frecuencias de paso, para fomentar el uso del mismo. Estas alternativas, junto con la denominada *solución C*, son las que se analizan con mayor detalle en este caso.

3. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTES

En principio, los principales beneficios y costes sociales asociados a las distintas alternativas planteadas para la optimización funcional de la autovía A-42 son los siguientes, definidos en todos los casos en términos incrementales frente al caso base (denominado *alternativa 0*, esto es, no ejecutar ninguna de las soluciones propuestas):

1. Los costes de construcción,
2. Los ahorros de coste de mantenimiento de la infraestructura en comparación con lo que hubiera sucedido en caso de no acometer el proyecto.
3. Los ahorros de tiempo que obtienen los usuarios del transporte privado iniciales (sin proyecto), distinguiendo por tipo de vehículo (ligeros vs. pesados).
4. Los ahorros de tiempo que obtienen los usuarios del transporte público iniciales.

Cuadro 1: Resumen de alternativas consideradas (y seleccionadas) para la optimización funcional de la Autovía A-42

SOLUCIÓN	Ampliación de la calzada	Calzada bus-VAO / sólo bus	Vías de servicio laterales
A	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directos		
B	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directos	Calzada central con dos carriles bus-VAO en todo el tramo	
C *	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo		Vías de servicio laterales de dos carriles en todo el tramo
D	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo	Calzada central con dos carriles bus-VAO en todo el tramo	Vías de servicio laterales de dos carriles en todo el tramo
E	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo	Calzada central con dos carriles bus-VAO sólo hasta enlace M-406	Vías de servicio laterales de dos carriles en todo el tramo
F *	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo	Calzada central sólo bus con un carril por sentido en todo el tramo	
G *	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo	Calzada central sólo bus con un carril por sentido en todo el tramo	Vías de servicio laterales de dos carriles en todo el tramo
H *	Añadir un tercer carril por sentido de circulación. Suprimir accesos directo	Se añade un carril sólo bus al carril izquierdo de las vías de servicio en todo el tramo	Vías de servicio laterales de dos carriles en todo el tramo

*Sólo las soluciones señaladas con asterisco son las que se consideran finalmente para su evaluación socioeconómica.

5. El cambio en la disposición a pagar por parte de los nuevos viajeros (tráfico generado), tanto en transporte privado como público, neto de su correspondiente valor del tiempo.
6. Los ahorros de costes operativos de los vehículos (incluyendo gastos de conservación y consumo de combustible y repuestos) como consecuencia de la ejecución del proyecto.
7. Los ahorros de costes de accidentes como consecuencia del proyecto.
8. Los ahorros (o incrementos) de costes medioambientales que resulten del proyecto

A continuación analizaremos cada uno de estos elementos tomando como referencia la información proporcionada por el estudio informativo (DGC, 2005), que servirá de base para la evaluación.

3.1. Costes de construcción y mantenimiento de la infraestructura

Tal como se ha indicado, el estudio informativo contiene un análisis de rentabilidad de las soluciones C, F, G y H descritas en el que se miden y cuantifican los **costes** y **beneficios** de cada alternativa, comparándolos posteriormente a través del análisis multicriterio. Dentro de los primeros se incluyen en primer lugar, y de manera detallada, los **costes totales de ejecución** de cada solución, desglosado en las siguientes partidas:

1. Presupuesto de ejecución material (P.E.M), correspondiente al coste de los recursos materiales y humanos utilizados en el proyecto,
2. Gastos generales, reflejando costes indirectos y calculados a tanto alzado como un 17% del importe del P.E.M, de acuerdo con la normativa aplicable,
3. Beneficio industrial del contratista, calculado como un 6% adicional sobre el P.E.M,
4. Impuesto sobre el valor añadido, obtenido como un 16% de la suma de las cuantías anteriores.

La suma de las cuatro partidas anteriores proporciona el *presupuesto de ejecución por contrata* (P.E.C.), que es la cantidad efectivamente desembolsada por la administración pública que financia el proyecto al contratista que lo ejecuta. A este importe, el estudio informativo añade el coste de las expropiaciones de los terrenos afectados por cada alternativa, así como un importe fijo en concepto de *Control y Vigilancia* (7% sobre el P.E.M) y una tasa con *finés culturales* (obtenida como 1% del P.E.M), ambos establecidos reglamentariamente.

Tal como se establece en Campos y de Rus (2009), desde el punto de vista de la evaluación económica de un proyecto de transporte, la cuantía a considerar realmente como coste de inversión debe reflejar en lo posible el consumo de recursos productivos que efectivamente destina la sociedad a la realización del mismo, valorando además cada uno de estos elementos a su coste de oportunidad. Esto lleva a excluir todos los impuestos y tasas de las cuantías anteriores, ya que se trata de meras transferencias de renta. Al mismo tiempo, asumiendo que un 30% de la cantidad resultante corresponda a costes de personal, convendría aplicar a estos un factor de corrección que reflejase el salario-sombra, o verdadero coste de oportunidad, de los recursos laborales en la Comunidad Autónoma de Madrid. De acuerdo con Del Bo *et al.* (2009), tal factor sería de 0,9694. De esta manera, y para cada una de las alternativas, el *Cuadro 2* resume el coste total de ejecución y el coste

de inversión considerado a efectos de la evaluación económica, una vez aplicados los ajustes descritos.

Cuadro 2: Costes de inversión de cada alternativa

	Coste total de ejecución	Coste de inversión corregido
Solución C	153.685.950,48€	127.555.608,36€
Solución F	202.842.511,65€	166.436.066,21€
Solución G	242.966.150,87€	200.999.210,99€
Solución H	264.640.472,98€	218.025.492,85€

Por otra parte, existe una documentada experiencia internacional (véase por ejemplo Flyjberg et al., 2003) en el sentido de que en la mayoría de los proyectos de obras públicas se generan desviaciones al alza en los costes presupuestados de construcción. Aunque los rangos de desviación varían entre países y tipos de proyectos, no resulta razonable suponer que estos no aparecerán, por lo que deben ser contemplados en cualquier evaluación *ex-ante* de un proyecto con estas características. En este caso en particular, consideraremos que la desviación de costes es una variable aleatoria que se distribuye triangularmente entre el 0% y el 30%, siendo más probable este último valor.

Desde el punto de vista de la distribución temporal, y siguiendo estrictamente lo establecido por el estudio informativo, consideraremos que la ejecución del proyecto se distribuye (en dos partidas iguales) en dos años, entre 2008 y 2009, y que éste comienza a ser operativo a comienzos de 2010, por un período total de 20 años (hasta 2030).⁴ Durante ese período se considera que no será necesario ejecutar ninguna ampliación adicional de capacidad. Sin embargo, para el cálculo del valor residual del proyecto asumiremos que éste continúa en operación otros diez años (hasta 2040) considerándose que el valor descontado de los beneficios y costes sociales de ese período adicional representa el valor de cada una de las alternativas a final del año 2030.

Finalmente, y en lo que se refiere a los costes anuales de conservación y mantenimiento de la infraestructura, el estudio informativo opta por un criterio simplificador: asignar el 1,5% de la inversión inicial de cada alternativa a esta partida. A pesar de las evidentes limitaciones de este supuesto (no considera que los costes de conservación dependen del volumen de tráfico) hemos decidido mantenerlo en nuestro análisis al no disponer de información alternativa para este proyecto.

⁴ Se trata de una simplificación. En realidad las obras del proyecto coexisten con datos de tráfico durante 2008 y 2009, al tratarse de una obra de ampliación de una carretera en funcionamiento. Sin embargo, no se dispone de información detallada para ese período.

3.2. Costes de los usuarios

3.2.1. Los datos de tráfico y velocidad

El proyecto analizado afecta a un tramo de vía cuya longitud total asciende a 27,2 kilómetros, situados en la autovía A-42 (Madrid-Toledo) en ambos sentidos. Desde el punto de vista operativo, este corredor se divide en tres tramos principales (Plaza de Fernández Ladreda – Enlace de Getafe (N) – Enlace de Parla – Límite provincial) ya descritos que, a su vez se desglosan en un total de **11 subtramos** con características técnicas muy diferentes, en términos de longitud, intensidad media diaria (IMD) de vehículos, velocidad media de circulación, número de carriles y de existencia o no de vías de servicio complementarias a las vías centrales. Esta elevada heterogeneidad obliga a desagregar para cada año los datos de demanda por subtramo, sentido de circulación y tipo de vía (central o de servicio), ya que las distintas soluciones afectan de diferente manera a cada uno de estos factores. Al mismo tiempo, y con objeto de calcular adecuadamente los costes de los usuarios, resulta imprescindible – para cada una de las alternativas planteadas y para el caso base – identificar claramente los tipos de tráfico.⁵

Es precisamente con respecto a este último aspecto donde aparece la primera diferencia entre la metodología utilizada en el *estudio informativo* y la propuesta en este caso. En el primero sólo se proporciona la IMD en términos de **vehículos ligeros y vehículos pesados**, calculándose los costes de tiempo y de operación de los vehículos únicamente en términos de estos dos tipos de tráfico. Sin embargo, debido a que el valor del tiempo de los conductores, pasajeros y carga puede variar notablemente entre los distintos tipos de usuarios, se considera necesario desagregar aún más esta información. Para ello, y siguiendo la información cualitativa y cuantitativa descrita en diferentes partes del estudio hemos asumido que, dentro de los vehículos ligeros, entre un 80%-90% de los mismos corresponde a **turismos**, siendo el resto **vehículos ligeros de carga** (furgonetas y similares). En el caso de los vehículos pesados, se ha asumido que entre un 10%-20% son **autobuses**, y el resto **camiones**. Estos porcentajes se consideran distribuidos uniformemente entre los valores mencionados.

Con respecto a la velocidad de circulación, a partir de las cuales pueden obtenerse los tiempos de viaje de cada tipo de usuario en cada subtramo (para cada año y alternativa), los datos presentados en el *estudio informativo* adolecen también de dos limitaciones. En primer lugar, la agregación del tráfico en términos de vehículos ligeros y pesados hace que sólo se proporcionen parámetros de velocidad agregados para estos tipos de vehículos. De nuevo hemos considerado que resulta necesario desagregar estos valores, ya que – por ejemplo – la velocidad media de un autobús puede diferir notablemente de la de un camión.

⁵ A pesar de que las diferencias en el valor del tiempo podrían ser también significativas, hemos optado por no desagregar la demanda atendiendo a los motivos de viaje de los usuarios, debido a la carencia de información detallada sobre este aspecto.

De esta manera, y a falta de una mejor información disponible, hemos optado por introducir parámetros de corrección de la velocidad que, además, contribuyen a hacer más realistas algunos de los datos ofrecidos para ciertos subtramos.⁶ En particular, se han empleado como parámetros de ajuste 100%, 90%, 80% y 60% respectivamente para turismos, furgonetas, autobuses y camiones en relación a la velocidad de referencia proporcionada por el estudio.

Por otra parte, además de una cierta mejora en relación a la situación de partida – lo cual se traduce en ahorros de tiempo para los usuarios de la vía – debe destacarse que la evolución de los datos de velocidad a lo largo de la vida del proyecto reflejan un progresivo incremento de la congestión a medida que el tráfico aumenta, dependiendo de cada una de las alternativas consideradas. No obstante, no llega a alcanzarse un punto de saturación, por lo que no se plantean, tal como se ha indicado, nuevos aumentos de capacidad en el horizonte 2010-2040. Los datos de velocidad utilizados y los cálculos de los tiempos de viaje, son los proporcionados por el propio estudio informativo, basados en modelos tradicionales de predicción de tráfico descritos en el mismo.

Un segundo elemento en relación a esta información – y que constituye posiblemente la principal limitación del análisis realizado en el *estudio informativo* – se refiere al hecho de que las predicciones de tráfico realizadas para el período 2010-2030 se basan implícitamente en la denominada **hipótesis de matriz fija**, según la cual los usuarios no reaccionan (elasticidad cero) a cambios en los precios generalizados. De esta manera, las reducciones de tiempo de viaje logradas mediante el proyecto no se traducen en incrementos de la demanda (tráfico generado) ni sirven para atraer a usuarios de otras vías o modos de transporte alternativos. Aunque esta hipótesis simplifica notablemente el análisis, es evidente que se trata de una limitación importante desde el punto de vista económico y que puede afectar de manera significativa a la evaluación del proyecto. Como se muestra en las figuras del **Anexo**, los datos de demanda proporcionados por el *estudio informativo* reflejan una evolución temporal muy estable, con una tasa de crecimiento medio anual inferior al 1%; al mismo tiempo, no existen diferencias significativas en la demanda estimada para cada una de las cuatro soluciones analizadas, encontrándose únicamente la mayoría de los cambios entre usuarios que abandonan las vías centrales de la autovía por vías de servicio en los casos en los que éstas se construyen.⁷

La principal implicación de la hipótesis anterior para la evaluación de este proyecto consiste en que los principales beneficios del mismo se centran en los **ahorros de tiempo**

⁶ En algunos casos en el estudio informativo aparecen valores medios de velocidad superiores a 100 km/h para *todos los vehículos*, lo cual resulta poco razonable.

⁷ Aunque en un principio se consideró la posibilidad de realizar en este caso un estudio de demanda diferente al proporcionado por el *estudio informativo*, finalmente se optó por utilizar los mismos datos proporcionados por éste, con el fin de que las diferencias en los resultados, si las hubiere, pudieran atribuirse a las diferencias en los métodos de evaluación, no a los datos.

obtenidos por los usuarios iniciales (en comparación con el caso base), sin que resulte necesario calcular la disposición a pagar de los nuevos usuarios (ya que estos no existen). Para cuantificar monetariamente este beneficio hemos de determinar el número total de usuarios (para cada subtramo, sentido y tipo de vía) para cada alternativa y cada año. Para ello, y a partir de los datos anuales de tráfico desagregado por cada uno de los cuatro tipos de vehículos (turismos, furgonetas, autobuses y camiones) hemos calculado el número total de viajeros, conductores y volumen de carga transportada, cuyos ahorros de tiempo han sido multiplicados por los correspondientes valores del tiempo. De manera particular, y siguiendo recomendaciones habituales en la literatura y en diversos observatorios de costes,⁸ los parámetros utilizados para estos cálculos se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 3: Parámetros utilizados para el cálculo de los ahorros de tiempo

	Parámetro	Características*
Número medio de pasajeros por turismo	1,2 pas.	–
Número medio de pasajeros por autobús	20-40 pas.	V.A.U.
Carga media en furgonetas	0-2,5 Tm.	V.A.U.
Carga media en camiones	0-10 Tm.	V.A.U.
Valor medio del tiempo para un pasajero (turismo) **	5-10 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para un pasajero (autobús) **	4-8 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para un conductor (autobús) **	10-15 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para un conductor (furgoneta) **	15-20 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para un conductor (camión) **	15-20 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para 1 Tm de carga (furgoneta) **	5-10 €/h	V.A.U.
Valor medio del tiempo para 1 Tm de carga (camión) **	4-8 €/h	V.A.U.

* V.A.U.: Variable aleatoria uniforme

** Se considera que los valores del tiempo crecen a una tasa anual del 1%

Un elemento de particular importancia en la comparación entre alternativas se refiere los beneficios obtenidos por los usuarios del transporte público, asociados a la puesta en marcha del carril-bus. Generalmente, este tipo de actuaciones permite aumentar la velocidad comercial de los autobuses que circulan por los tramos donde están operativos, al evitar las interferencias con el resto de vehículos sobre el mismo carril. Idealmente, sería necesario disponer de información mucho más detallada de los efectos de esta medida sobre la frecuencia del transporte regular, ya que a la reducción de tiempos de viaje debería añadirse la disminución en los tiempos de acceso y espera para los usuarios. Al mismo

⁸ Véase por ejemplo, Comisión Europea (2003, 2006).

tiempo, también sería relevante conocer cómo afectan los carriles-bus a la circulación en el resto de las vías. Sin embargo, esta información sólo es proporcionada de manera muy agregada por el *estudio informativo*.

Por todo lo anterior los valores asignados a los parámetros anteriores deben considerarse como meras aproximaciones razonables a los verdaderos valores de los mismos para este proyecto en particular, optándose por su simulación estadística a partir de estudios previos al no disponerse de información detallada para cada proyecto y alternativa. Frente a este procedimiento desagregado (por tipo de usuario final), el estudio informativo optó por un cálculo agregado, computando el coste total del tiempo de recorrido de todos los usuarios en cada una de las alternativas y año a partir de las fórmulas de coste del tiempo recomendadas por la Dirección General de Carreteras⁹ y calculando su diferencia con respecto al caso base.

3.2.2. Costes de operación de los vehículos

Además de los ahorros de tiempo (para los usuarios iniciales), otra posible fuente de beneficios o costes para el proyecto está asociada a los cambios en los costes de operación de los vehículos por parte de sus propietarios. La modificación de las características de la vía (ampliación de carriles, incorporación de carriles bus y vías de servicio) conduce a cambios en las condiciones de operación de la carretera que se reflejan principalmente en la velocidad media (ya que la longitud de los subtramos no se ve afectada por las obras). De esta manera, y siguiendo estrictamente el método que se propone en el estudio informativo, resulta posible calcular los costes operativos de cada alternativa para cada año a partir de fórmulas técnicas recomendadas por la Dirección General de Carreteras (DGC), sin que sea necesario en este caso introducir ningún tipo de incertidumbre.

En particular, y distinguiendo de nuevo para cada subtramo, sentido y tipo de vía, hemos considerado las siguientes partidas y expresiones, en las que los subíndices **L** y **P** se refieren al tipo de vehículo (ligeros o pesados), **V** representa la velocidad, **D** es la longitud del tramo, **c** es el consumo de combustible¹⁰ y **%P** es el porcentaje de vehículos pesados en la vía con respecto al total:

- **Coste de conservación (CC):**

$$CC_L = IMD \cdot (100 - \%P) \cdot c_L \cdot D$$

⁹ Recomendaciones para la evaluación económica coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras, del Servicio de Planeamiento de la Dirección General de Carreteras.

¹⁰ El consumo de combustible depende de manera no lineal de la velocidad media. Para los vehículos ligeros: $c_L = 117,58 - 1,75V_L + 0,0121V_L^2$, y para los pesados $c_P = 388 - 7,32V_P + 0,071V_P^2$.

$$CC_p = IMD \cdot \% P \cdot D \cdot 0,0515$$

- **Coste de combustible (CO):**

$$CO_L = IMD \cdot (100 - \% P) \cdot \left(\frac{c_L}{1000} \right) \cdot D \cdot 0,333$$

$$CO_p = IMD \cdot \% P \cdot \left(\frac{c_p}{1000} \right) \cdot D \cdot 0,355$$

- **Coste de lubricantes (CL):**

$$CL_L = IMD \cdot (100 - \% P) \cdot \left(\frac{0,012 \cdot c_L}{1000} \right) \cdot D \cdot 3,82$$

$$CL_p = IMD \cdot \% P \cdot \left(\frac{0,008 \cdot c_p}{1000} \right) \cdot D \cdot 4,27$$

- **Coste de neumáticos (CN):**

$$CN_L = IMD \cdot (100 - \% P) \cdot \left(\frac{349,84}{40000} \right) \cdot D$$

$$CN_p = IMD \cdot \% P \cdot \left(\frac{4794,59}{65000} \right) \cdot D$$

La principal diferencia con respecto a los cálculos realizados en el estudio informativo es que no consideramos la amortización como un coste de operación de los vehículos, ya que ésta representa contablemente una retención de beneficios futuros. Tampoco se consideran valores de adquisición y reposición de los vehículos utilizados por las empresas (autobuses y camiones) al no disponer de información suficiente sobre este aspecto.

3.3. Costes externos

Con relación a los costes externos, para el cálculo de los **costes asociados a los accidentes** de tráfico hemos optado por seguir el mismo procedimiento propuesto en el *estudio informativo*, esto es, utilizar el método de los índices de mortandad y peligrosidad para la estimación del coste del número de fallecidos y de heridos (**CA**) en las diferentes alternativas. La expresión utilizada ha sido la siguiente:

$$CA = IMD \cdot D [cvm \cdot IM] + [cmh \cdot IP],$$

donde *IM* es el índice de mortalidad de cada tramo e *IP* el de peligrosidad, siendo *cvm* y *cmh* los costes medios de una víctima mortal y de un herido respectivamente, utilizados en el estudio. De esta manera, con los datos de *IMD* (ligeros y pesados), la longitud de cada tramo y los índices *IM* e *IP* característicos del tramo, se obtiene el coste de los accidentes en la actualidad. Para establecer una comparación entre la situación actual y la situación futura se realiza una previsión en la disminución de los Índices de Peligrosidad y Mortandad para cada alternativa y año.

Cuadro 4: Parámetros utilizados para el cálculo de los costes de accidentes

	Valor utilizado
Coste medio de una víctima mortal (<i>cvm</i>)	108.488,69 euros
Coste medio de un herido (<i>cmh</i>)	32.546,61 euros
Índice de mortalidad (alternativa 0)*	0,80
Índice de mortalidad (alternativa C)*	0,68
Índice de mortalidad (alternativa F)*	0,76
Índice de mortalidad (alternativa G)*	0,64
Índice de mortalidad (alternativa H)*	0,64
Índice de peligrosidad (alternativa 0)*	24,10
Índice de peligrosidad (alternativa C)*	20,49
Índice de peligrosidad (alternativa F)*	22,895
Índice de peligrosidad (alternativa G)*	19,28
Índice de peligrosidad (alternativa H)*	19,28

* Por cada 100.000.000 de vehículos

Finalmente, con respecto a las externalidades, existe un estudio de impacto ambiental exhaustivo en el que no se plantean cuestiones de especial relevancia al tratarse de una intervención sobre un tramo de escasa longitud (29 km), ampliamente urbanizado y sin áreas de especial protección ambiental.

4. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez identificados y valorados monetariamente todos los costes y beneficios de cada una de las alternativas del proyecto en comparación con el caso base, tal como se ha indicado, el cálculo del VAN social se realiza descontando dichos beneficios y costes al año de referencia – establecido como 2004 en el *estudio informativo* – utilizando para ello una tasa de descuento del 3,5% y siendo VR el valor residual del proyecto en el año 2030:

$$VAN_s = \sum_{t=2008}^{2030} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} + \frac{VR}{(1+i)^{22}}$$

Los resultados de este análisis, en términos del VAN social esperado, se recogen en el [Cuadro 5](#). Como puede observarse, todas las alternativas consideradas resultan altamente atractivas en términos de los beneficios sociales netos generados, los cuales proceden fundamentalmente de los ahorros de tiempo de los usuarios de turismos y autobuses, ya que los costes de operación de los vehículos aumentan (como consecuencia del incremento de la velocidad y del tráfico), y los de mantenimiento y conservación de la infraestructura también lo hacen (en comparación con el caso base, si bien no varían entre las distintas alternativas).

El alto grado de congestión que se alcanzaría en el corredor analizado si el proyecto no se llevase a cabo justifica fácilmente estos valores, los cuales resultan además notablemente elevados debido a que se han desagregado los valores del tiempo para cada tipo de usuario (en lugar de considerar un único valor promedio, cuantitativamente inferior, tal como se hace implícitamente en el *estudio informativo*).¹¹ El método de evaluación seguido en este caso permite identificar – aunque sea de manera aproximada – quiénes son los mayores beneficiarios del proyecto, observándose que no son los usuarios (y conductores) del transporte público (tal como se sugiere en diversos apartados del *estudio informativo*). Resulta además importante observar el *ranking* u ordenación cualitativa de las cuatro alternativas consideradas. De acuerdo con el [Cuadro 5](#), tal ordenación sería **G**, **F**, **C** y **H**, existiendo una diferencia del 0,3% entre la primera y la segunda, del 9,7% entre la segunda y la tercera, y del 20,5% entre las dos últimas.

Como es lógico, y tal como se refleja en el [Anexo](#), la introducción de incertidumbre no altera substancialmente los resultados del cuadro anterior. Los beneficios sociales netos de todas las alternativas consideradas son tan elevados que no existe ninguna probabilidad de que el VAN social del proyecto sea negativo. En todo caso, el análisis realizado confirma que la mejor opción es la [solución G](#), seguida muy de cerca por la [alternativa F](#).

En el [Cuadro 6](#) se presentan (de forma agregada) los resultados del estudio informativo. Aunque los valores no son totalmente comparables debido a las razones ya indicadas, se observa que la ordenación de alternativas difiere de los resultados descritos a partir del [Cuadro 5](#), proporcionando en este caso un mayor VAN la [alternativa C](#).

¹¹ Otra diferencia que justifica las diferencias en los importes calculados radica en que en el *estudio informativo* se considera un período anual de 270 días, excluyendo los sábados, domingos y festivos al no disponerse de datos desagregados para estos días. Aplicando una corrección similar, las cifras del Cuadro 5 deberían reducirse aproximadamente en un 25%.

Cuadro 5: Resultados de la evaluación económica de las alternativas de ampliación de la autovía A-42*

Totales actualizados a 2004	Alternativa C	Alternativa F	Alternativa G	Alternativa H
Costes de inversión	-131.133	-171.107	-206.637	-224.140
Ahorro costes operativos vehículos	-14.201	-21.754	-34.399	-26.279
Costes de mantenimiento y conservación	-36.220	-47.261	-57.075	-61.910
Ahorro costes externos	29.022	9.709	34.796	38.613
Ahorro tiempo usuarios turismos	5.272.636	5.921.190	5.937.564	4.296.238
Ahorro tiempo viajeros autobuses	3.075.962	3.235.335	3.316.668	2.430.961
Ahorro tiempo conductores autobuses	213.608	224.676	230.324	168.816
Ahorro tiempo mercancías (furgonetas)	1.051.382	1.187.032	1.188.115	874.445
Ahorro tiempo conductores (furgonetas)	1.962.580	2.215.794	2.217.815	1.632.298
Ahorro tiempo mercancías (camiones)	2.985.344	3.425.900	3.410.692	2.368.060
Ahorro tiempo conductores (camiones)	1.741.450	1.998.441	1.989.570	1.381.368
VAN social esperado 2004	16.150.434	17.977.956	18.027.437	12.878.473

*Valores en miles de euros de 2004

Cuadro 6. Resultados del Estudio Informativo

Alternativa	Beneficio Actualizado Neto	Coste Actualizado Neto	VAN	TIR
C	375.720	165.799	209.920	13,37%
F	412.766	218.830	193.936	11,01%
G	440.760	262.116	178.643	9,54%
H	405.263	285.499	119.764	7,41%

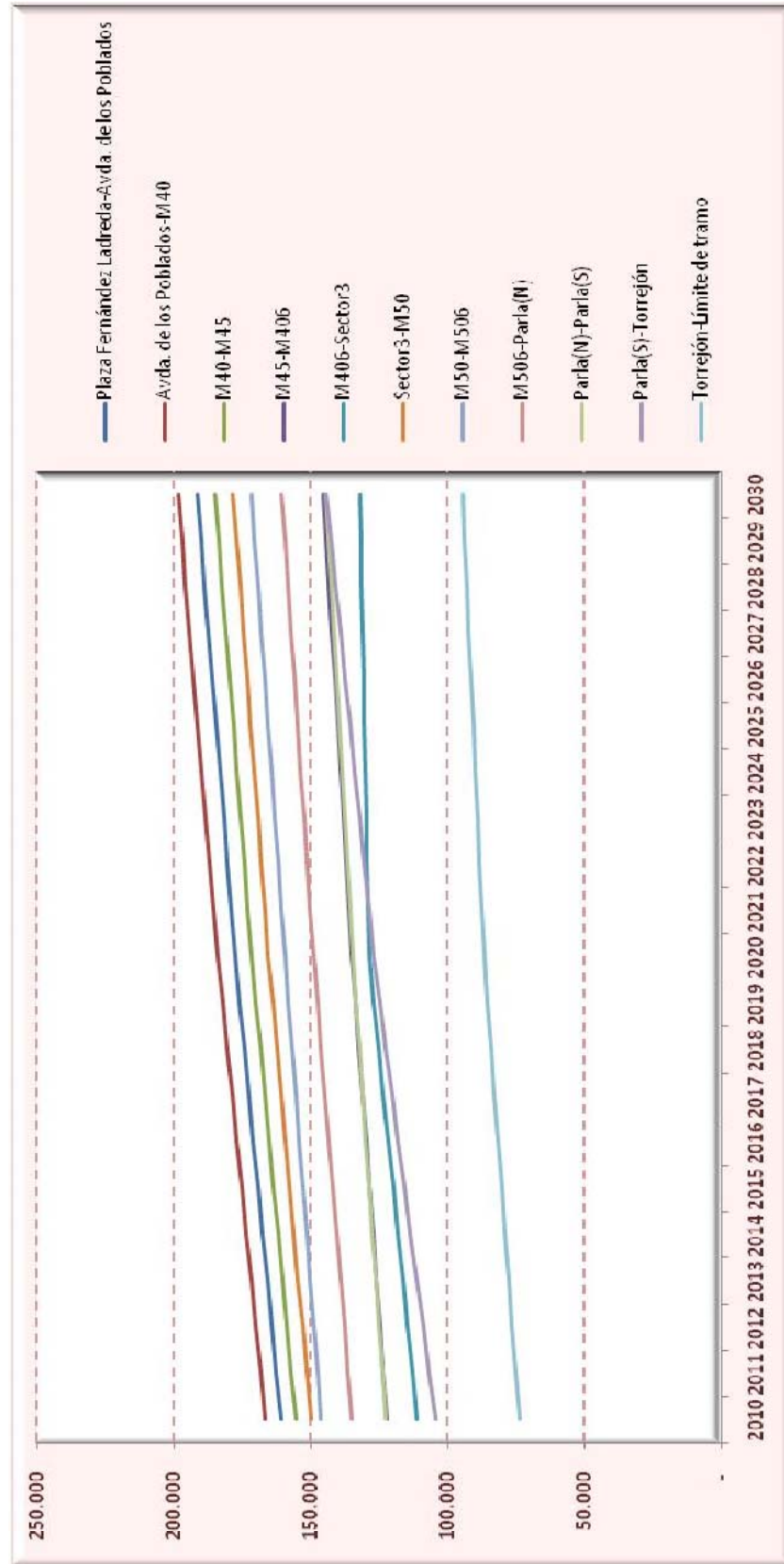
*Valores en miles de euros de 2004

No obstante lo anterior, y desde el punto de vista cualitativo, debe destacarse que en el *estudio informativo* la utilización de un análisis multicriterio, basado en la puntuación de objetivos medioambientales (definidos en el estudio de impacto ambiental), económicos (TIR y cuantía de la inversión), territoriales (accesibilidad, coordinación con la planificación viaria y general) y funcionales (velocidad de recorrido, calidad del trazado y seguridad vial) **también determinó finalmente la elección de la Solución G** para su desarrollo en las fases posteriores de la optimización de la autovía A-42.

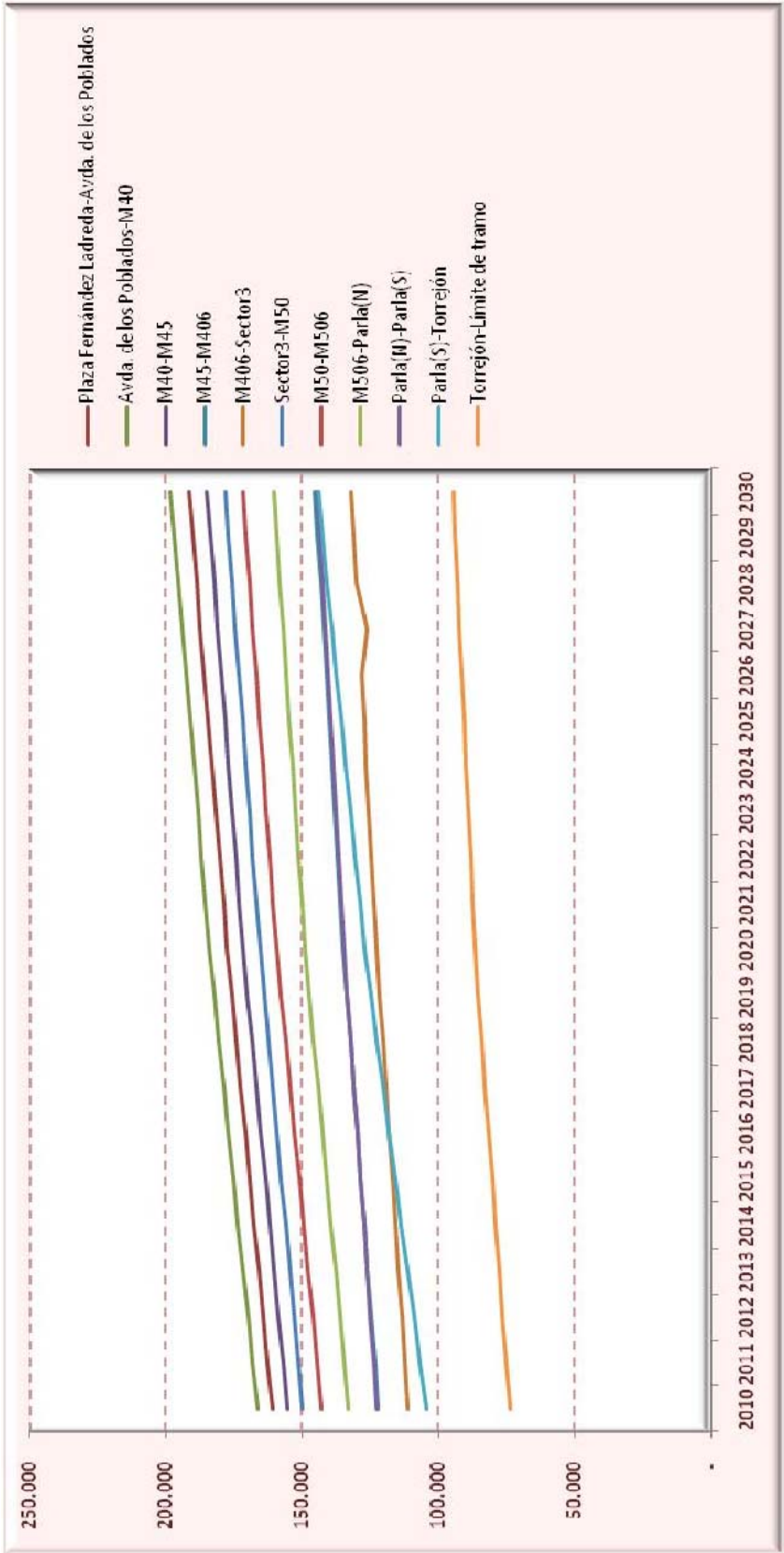
REFERENCIAS

- Campos, J. y G. de Rus (2009): *Evaluación económica de proyectos de transporte: el modelo de referencia*. Documento de Trabajo. Accesible en la página web: www.evaluaciondeproyectos.com
- DGC (2005). *Estudio informativo sobre la optimización funcional de la autovía A-42* (9 tomos). Dirección General de Carreteras. Secretaría de Estado de Infraestructuras. Ministerio de Fomento. Madrid.
- DGT (2008). *Mapa de Tráfico 2007 de la red de carreteras del Estado*. Dirección General de Tráfico. Madrid.
- Del Bo, C., C. Fiorio y M. Florio (2009): “Shadow wages for European Regions”, Documento de Trabajo, Università Bocconi, Milán.
- Flyjberg B.; N., Bruzelius and W. Rothengatter (2003): *Megaprojects and Risk: Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press.
- Comisión Europea (2003): “UNITE. Deliverable 8”. Unification of Accounts and marginal costs for Transport Efficiency”. European Commission., Contract 1999-AM.11157
- Comisión Europea (2006): Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO). European Commission. Contract 2002-ssp-1/ 502481.

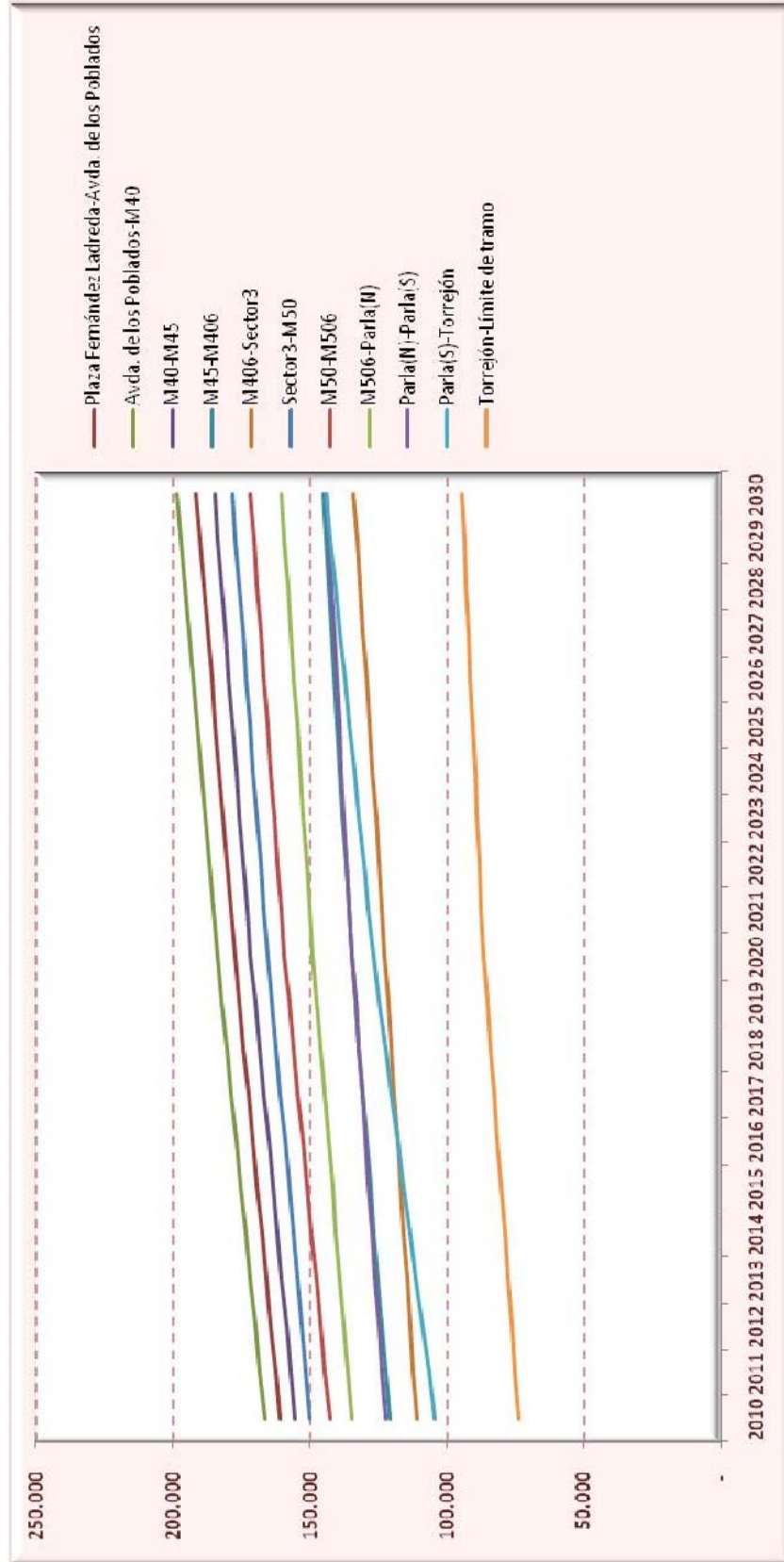
**ANEXO: LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA BAJO LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS
ALTERNATIVA 0**



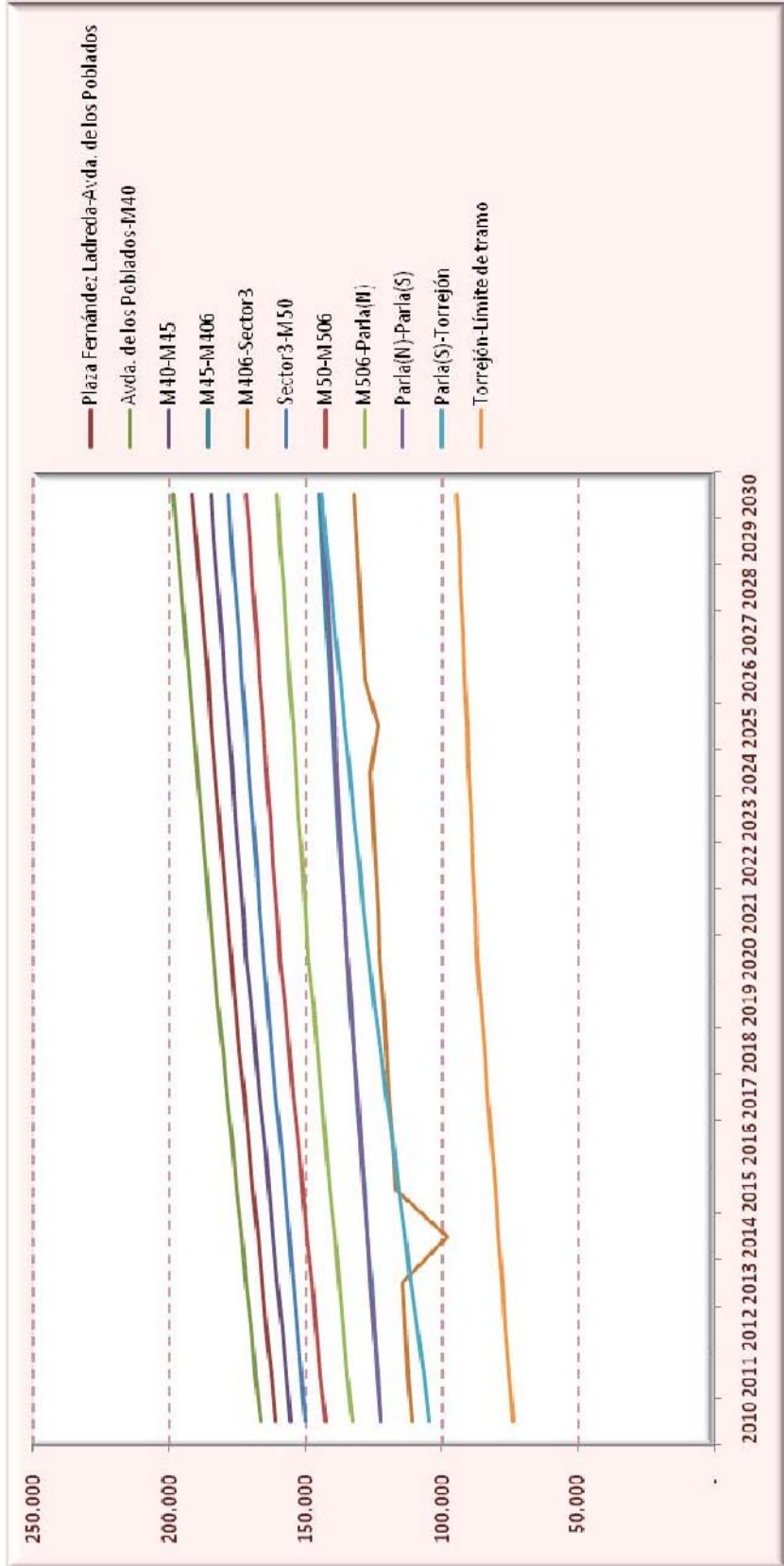
ALTERNATIVA C



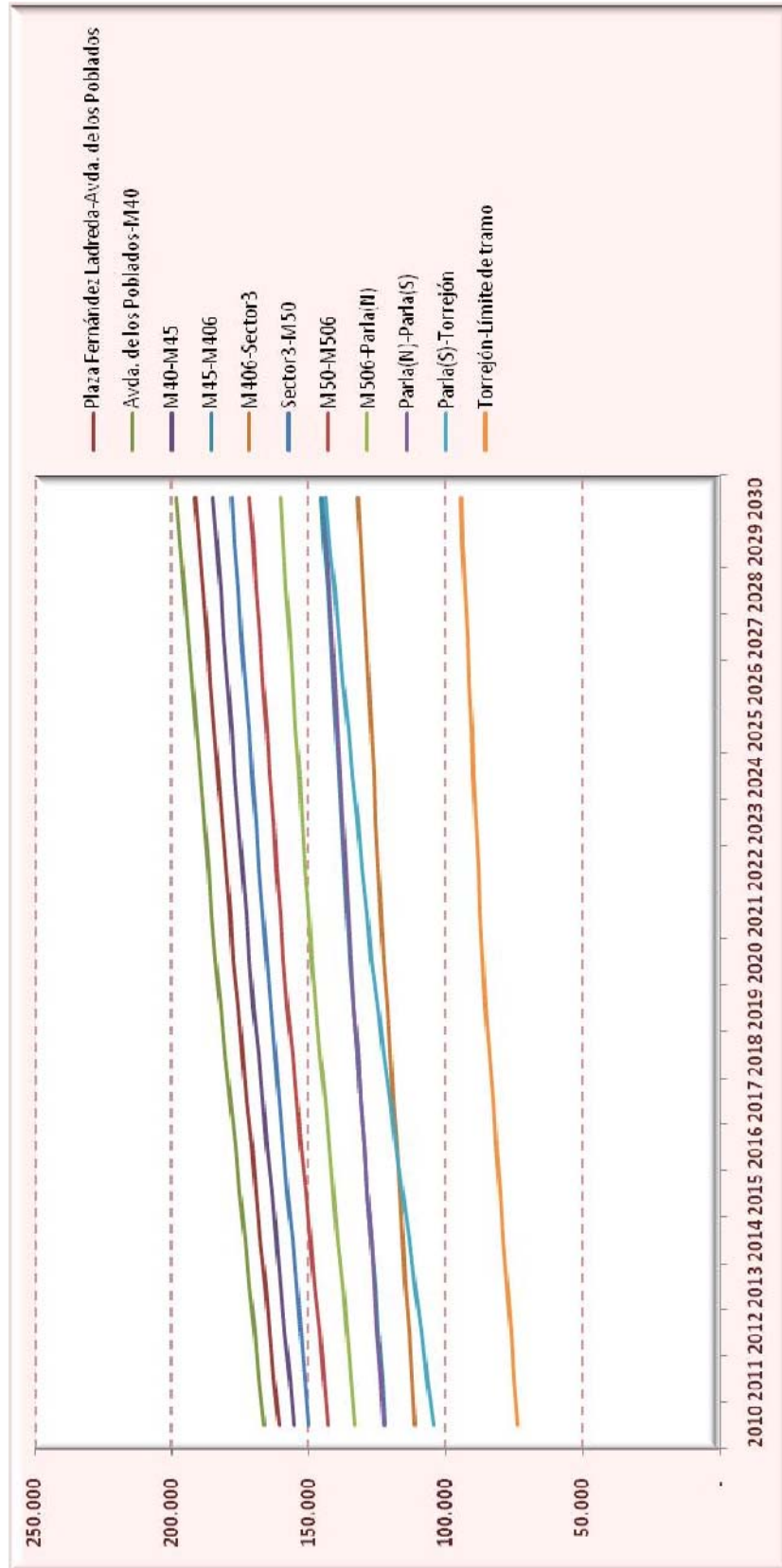
ALTERNATIVA F



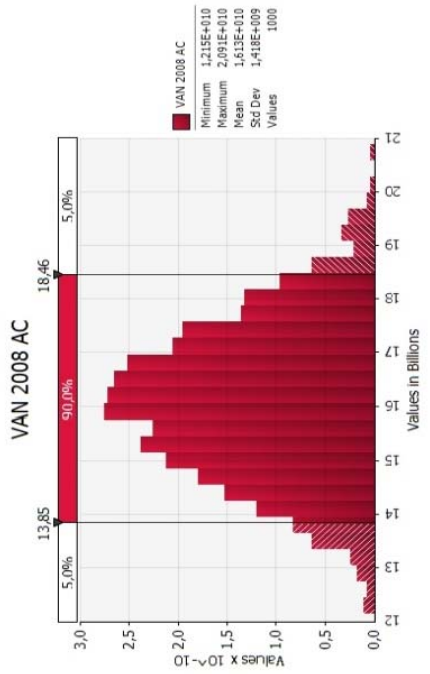
ALTERNATIVA G



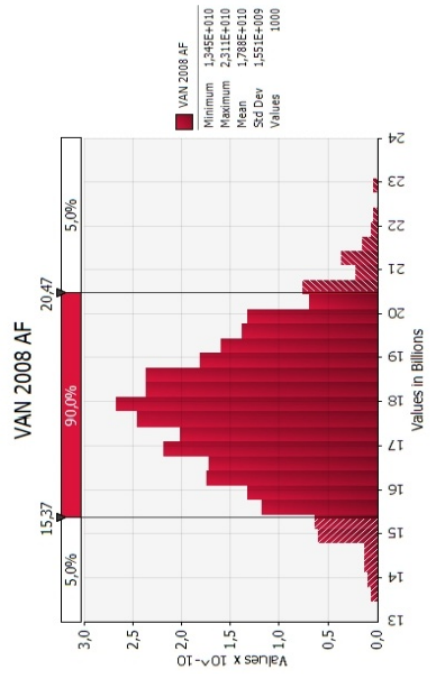
ALTERNATIVA H



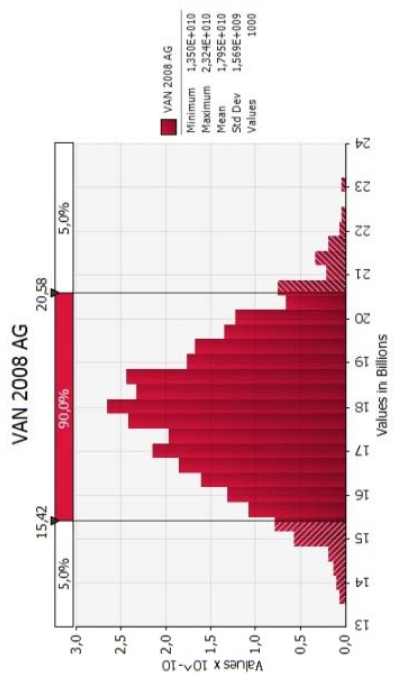
Distribución de probabilidad del VAN social



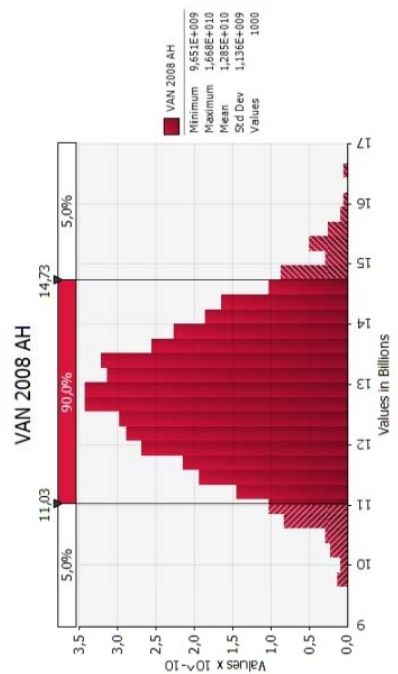
ALTERNATIVA C



ALTERNATIVA F



ALTERNATIVA G



ALTERNATIVA H