

El programa de mejoras de la M-30 en el contexto de una estrategia de movilidad sostenible para Madrid

The M-30 Ring Road improvement programme in terms of a sustainable mobility strategy for Madrid

Andrés Monzón de Cáceres. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Catedrático E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la UPM (1). amonzon@caminos.upm.es
José M. Pardillo Mayora. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor Titular E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la UPM. jmpardillo@caminos.upm.es
Luis Vega Báez. Ingeniero en Transportes y Vías
Profesor Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Doctorando UPM. luisalfredo@caminos.upm.es
TRANSyT, Centro de Investigaciones del Transporte. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de la UPM
Javier Bustinduy Fernández. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. jbustinduy@bbj.es
Alberto de Vicente González. Economista. adevicente@bbj.es
Margarita Pérez Flores. Licenciada en Derecho. mperez@bbj.es
BB&J Consult, S.A.

Resumen: Se analiza, en primer lugar, la funcionalidad de la M-30 de Madrid en la movilidad metropolitana y la distribución modal. También se realiza un diagnóstico de los problemas actuales y su localización. Todo ello se contrasta con el programa de mejoras previsto, para concluir que estas son pertinentes frente a los principales problemas señalados.

En ese contexto se realiza una evaluación socioeconómica y ambiental de las actuaciones para homogeneizar su trazado y mejorar la integración con los barrios que atraviesa. Esta evaluación se basa en la modelización de la movilidad en el ámbito de la Comunidad de Madrid y su evolución estimada en un plazo de 30 años. Los resultados permiten afirmar que el programa de mejoras de la M-30 es coherente con la solución de los problemas existentes y que los beneficios esperables justifican la fuerte inversión que requiere. El análisis coste-beneficio presenta una rentabilidad socio-económica claramente positiva para una obra de estas características.

Palabras Clave: Evaluación socioeconómica, Movilidad, Externalidades, Accidentalidad, M-30 de Madrid

Abstract: The article considers the operation of the M-30 Madrid ring road in terms of metropolitan mobility and modal distribution and goes on to analyse current problems and black spots. This is considered in the light of the established improvement programme which is seen to be necessary in view of the main problems indicated in the article.

A socio-economic and environmental evaluation is made of the programme to make the ring road more uniform and to improve integration within the suburbs crossed by the same. This evaluation is based on a modelization of mobility within the Madrid community region and its estimated development over the next 30 years. The results show that the M-30 ring road improvement programme will serve as an adequate solution to the prevailing problems and that the expected benefits will justify the heavy investment required. Cost-benefit analysis reveals a clearly positive socio-economic yield for a work of these characteristics.

Keywords: Socio-economic evaluation, Mobility, Externalities, Accident rate, Madrid M-30 ring road

(1) En este trabajo han participado también las profesoras Amparo Moragues y Adela Salvador de la E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, en la cuantificación de las emisiones de contaminantes atmosféricos, y la profesora Isabel Otero Pastor de la E.T.S.I. de Montes en la evaluación de los efectos ambientales en el entorno del río Manzanares.

1. Caracterización de la movilidad de Madrid

La Comunidad de Madrid con 8.030 kilómetros cuadrados y una población cercana a los 5,5 millones de habitantes es la región más densa de España, pero no por ello la más homogénea, pues presenta unas marcadas diferencias de carácter demográfico, social y económico, que le definen una clara especialización territorial (ver tabla 1).

Desde el punto de vista de la configuración de los asentamientos principales, se percibe una estructura monocéntrica alrededor de la capital, la cual ocupa el 7,5% del territorio y alberga más de la mitad de la población. Esta situación está en proceso de claro retroceso (en los últimos quince años ha reducido su peso relativo en un 10%), pues particularmente los más jóvenes han fijado su residencia en núcleos emergentes de las coronas Periferia de Madrid y Metropolitana, en un fuerte y continuo proceso de suburbanización, asociado con factores económicos, sociales y ambientales y favorecido por la calidad y disponibilidad de servicios, de redes de transporte y de comunicaciones.

Cada una de las zonas concéntricas en las que se divide Madrid (ver figura 1), tiene unas pautas de movilidad diferentes en cuanto a los volúmenes, los modos y los motivos de viaje. La Almendra es el destino mayoritario por motivo trabajo para los que habitan en ella, pero también para los que viven en la Periferia (exterior a la M-30), e importante para las coronas metropolitana y regional, lo cual hace que la ciudad de Madrid sea destino clave para la movilidad de la Región y, por lo tanto, su adecuada vertebración, posibilitará el que continúe siéndolo a pesar del proceso de suburbanización antes señalado.

La comparación entre las dos últimas encuestas de movilidad en la Región (CRTM, 2003), indica la pérdida de peso de los viajes internos al municipio de Madrid y la relevancia que ha venido adquiriendo la corona metropolitana, cifras que se pueden ver en la tabla 2 y en la figura 2.

El efecto de esta tendencia es una reducción de los viajes cortos a cambio de un aumento del tráfico que

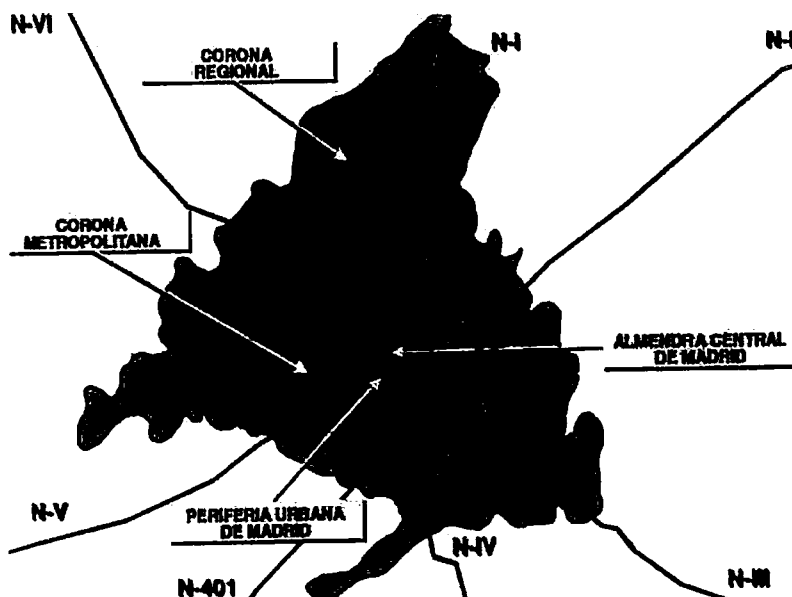


Fig. 1. Las coronas de Madrid.

desde el exterior penetra en la ciudad de Madrid y que en muchas ocasiones utiliza a la almendra exclusivamente como lugar de paso hacia otras zonas, produciendo significativos impactos como congestión, accidentalidad, emisiones de ruido y contaminantes, lo que redonda, en definitiva, en la reducción de la calidad de vida de sus habitantes y de la competitividad de la ciudad.

Fig. 2. Evolución de la movilidad mecanizada en la Comunidad de Madrid.

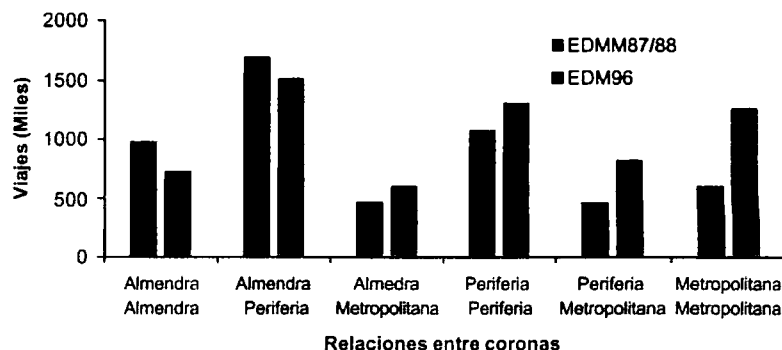


Tabla 1. Evolución de la población y la densidad en la Comunidad de Madrid

Coronas de Residencia	Área km ²	Población				Densidad			
		1986	1991	1996	2001	1986	1991	1996	2001
Almendra	42,0	1.029.010	990.679	915.318	931.787	24.500	23.588	21.793	22.185
Periferia	563,8	2.029.172	2.019.813	1.951.532	2.006.936	3.599	3.582	3.461	3.560
Corona Metropolitana	2.268,8	1.533.288	1.734.052	1.909.195	2.169.673	676	764	841	956
Corona Regional	5.155,5	189.102	203.011	226.244	264.037	37	39	44	51
Comunidad de Madrid	8.030,1	4.780.572	4.947.555	5.022.289	5.372.433	595	616	623	669

Tabla 2. Viajes diarios entre las diferentes coronas de la Comunidad de Madrid - 1996

Corona_O/D	Municipio de Madrid		Corona Metropolitana	Corona Regional	Total
	Almendra	Periferia			
Almendra	1.324.758	803.226	318.464	17.323	2.463.772
Periferia	804.131	2.404.258	411.450	20.419	3.640.258
Metropolitana	317.374	412.330	3.128.550	47.936	3.906.190
Regional	17.490	20.702	47.745	325.669	411.605
Total	2.463.752	3.640.515	3.906.209	411.348	10.421.825

Desde el punto de vista del reparto modal, Madrid y su Región han hecho una apuesta importante por la sostenibilidad, basada en la potenciación del transporte público y la restricción del aparcamiento en el centro. Los resultados se recogen en la figura 3, en la que destaca la alta participación del transporte público en las coronas más densas: alrededor del 50% en la almendra y del 40% en la periferia de la capital.

Esa apuesta debe consolidarse y ampliarse a otros modos de desplazamiento de acuerdo con su funcionalidad, características y potencialidades en cada una de las zonas. Sin embargo, tiene su principal amenaza en la creciente longitud de los viajes, lo que aumenta los efectos negativos del tráfico, consecuencia del señalado proceso de suburbanización.

2. Estrategia de movilidad

Desde los años 80 se vienen realizando en Madrid una serie de actuaciones que, en su conjunto, responden a una estrategia de movilidad sostenible. Se orientan a que la ciudad mantenga la vitalidad, como soporte de las actividades económicas, en un marco de sostenibilidad que reduzca las afectaciones al medio ambiente y que promueva un aumento de la calidad de vida de sus ciudadanos y visitantes. Los principios de actuación son los siguientes:

- Reducir la presión del automóvil sobre la Almendra, que tiene una alta densidad de actividades y no cuenta con espacio para la circulación y el aparcamiento.
- Facilitar el acceso y la movilidad interior a la Almendra y a la Periferia Urbana del municipio de Madrid en medios de transporte público (movimientos radiales).
- Jerarquizar el tráfico, dedicando el viario local a los viajes internos (movimientos de agitación), y canalizando los demás a través de un viario debidamente regulado.

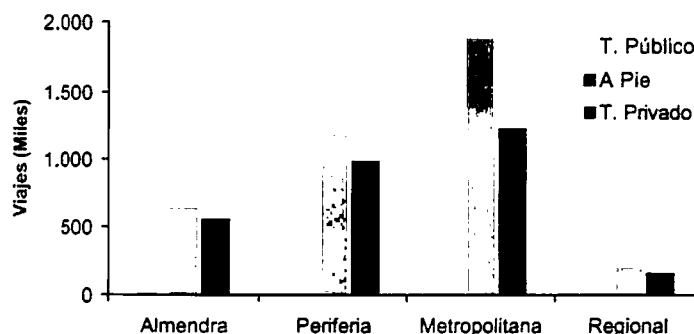
- Dotar al centro de la región de una vía de distribución -M-30- que articule de forma eficiente los movimientos entre los distintos barrios de la ciudad y el tráfico proveniente de la Corona Metropolitana, evitando el paso por el viario local.
- Controlar las condiciones de circulación -velocidad, fluidez- para reducir sus externalidades: accidentes, emisión de contaminantes atmosféricos y ruidos.
- Promover y mantener los modos de transporte de menor impacto ambiental como el transporte público, los viajes a pie, y explorar las posibilidades del uso de la bicicleta.
- Reducir los impactos ambientales desde su fuente, evitando su propagación.

En el ámbito de la Almendra y como parte de estas actuaciones, se han emprendido tres medidas que permitirán cambiar la funcionalidad y las pautas de movilidad, reduciendo la presión del coche, consolidando el uso del transporte público y favoreciendo los desplazamientos no motorizados. A continuación se describen de forma somera.

2.1. Peatonalización de zonas históricas

En 1994 comenzó un plan de mejoras en los barrios históricos de la capital, que incluye mejoras en el viario,

Fig. 3. Distribución modal en la Comunidad de Madrid. Fuente: EDM '96.



un nuevo diseño en el tratamiento de la superficie de sus calles y mejora de la accesibilidad, mobiliario y entorno físico. El objetivo es recuperar itinerarios y zonas de estancia para el peatón, para lo que se reordena el tráfico y las zonas de aparcamiento, que se reducen sensiblemente. Este plan es una actividad permanente que va acometiendo las reformas en las zonas históricas, creando itinerarios peatonales que los vertebran y conectan. Esas intervenciones tienen los siguientes objetivos:

- Preferencia al peatón, gracias al ensanchamiento de las aceras, templado del tráfico rodado (suelo adoquinado), creación de zonas estanciales, etc.
- Mejora de la accesibilidad, mediante la supresión de barreras rebajando los bordillos en pasos de peatones y en las calles de ancho reducido.
- Mejora medio-ambiental, disposición de mobiliario adecuado y arbolado de pequeño porte en calles, aceras y calzadas y entre los espacios de aparcamiento.

Los datos referidos a las distintas superficies en las que se ha actuado, implican el cambio de uso de más de 25.000 m² que han pasado de ser parte de las vías para el tráfico rodado, a ser parte de las aceras disponibles para el peatón.

2.2. Restricción al aparcamiento

La restricción física y/o económica al aparcamiento es una de las más exitosas medidas de gestión de tráfico que induce el cambio modal, reduce la emisión de contaminantes, evita el tráfico de agitación y provee espacios para los viandantes y ciclistas.

Junto con el Plan de Peatonalización que está produciendo una reducción efectiva de los aparcamientos, se está aplicando un plan de conversión de los aparcamientos de rotación en aparcamiento de residentes, lo que supone una reducción efectiva de las plazas ofertadas e igualmente, se sigue ampliando la zona denominada "Área de Estacionamiento Regulado" y se fijan precios y tiempos de aparcamiento con propósitos disuasorios.

Tal es la magnitud del cambio que a las 63.622 plazas verdes (residentes y visitantes de corta duración) y 17.311 plazas azules (visitantes de larga duración) existentes en 2003, se están agregando 40.576 nuevas plazas verdes y 8.904 nuevas plazas azules, lo que señala la intensidad de la medida y la política de disuasión al acceso en coche a la almendra.

2.3. Potenciación del transporte público

En paralelo a las medidas orientadas a limitar el uso del transporte privado, se están acometiendo otras pa-

ra fortalecer el uso del transporte público: ampliaciones del sistema Metro, construcción de nuevas estaciones y de un túnel ferroviario para Cercanías, construcción o remodelación de intercambiadores, y medidas para dar prioridad a los autobuses urbanos e interurbanos.

En el caso del Metro, el Gobierno Regional, a través del Consorcio de Transportes, ha promovido la ampliación del sistema de una forma tal que en la última década se ha duplicado su longitud y que el Plan de Ampliación 2003-07, permitirá ofrecer una alternativa adecuada para el acceso a la capital desde las zonas suburbanas.

En cuanto al servicio de Cercanías, el Gobierno Central ha comenzado la construcción de 8.250 m de un nuevo túnel ferroviario entre las dos principales estaciones (Chamartín y Atocha) que permitirá, no sólo mejorar la conectividad de red, sino potenciar los viajes urbanos en este modo, por lo que dispondrá de tres nuevas estaciones intermedias, conectadas con la red de metro y de autobús.

Como complemento a estas acciones, se ha emprendido la ampliación y mejoramiento de cinco grandes intercambiadores de transporte (Moncloa, Plaza Elíptica, Conde de Casal, Príncipe Pío, Plaza de Castilla) y la implementación de 22 km de carriles bus en las principales arterias, con lo cual se incrementará la velocidad y regularidad del servicio en 13 itinerarios fundamentales.

También se ha diseñado un programa de mejoras de la M-30 como eje vertebrador de las comunicaciones metropolitanas, y como elemento integrador de las medidas antes enunciadas. A este último aspecto se hará referencia detallada a continuación.

3. La M-30: Función y diagnóstico

Las medidas de prioridad al transporte público y viajes a pie, así como las políticas de disuasión al aparcamiento, inducirán una pérdida de capacidad para el transporte privado que se manifestará de forma más significativa en los límites de la zona objeto de reglamentación. Esta situación, unida al aumento de las radiales de acceso a Madrid que facilitarán el desplazamiento de un importante volumen de coches desde las coronas metropolitana y regional, requieren de unas medidas especiales de gestión de tráfico mediante las cuales se canalicen y distribuyan oportuna y eficientemente tanto los flujos que desean acceder a la almendra, como los que simplemente desean cruzar la ciudad.

En ese ámbito, las medidas se deben orientar a la jerarquización y especialización de la red, dedicando

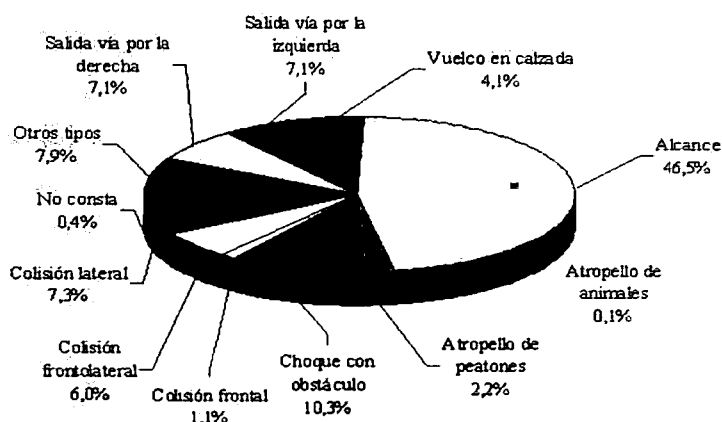


Fig. 4. Distribución por tipos de los accidentes con víctimas en la M-30 (1998-2002)

el viario local al tráfico interno y canalizando los viajes de mayor distancia a través de las vías de más capacidad, como la M-30, dotando así al centro de la región de una infraestructura de distribución capaz de articular los movimientos entre los distintos barrios y entre estos y las coronas externas, evitando el paso por el viario local, y de controlar las condiciones de circulación -velocidad, fluidez- para reducir externalidades como los accidentes, la emisión de contaminantes atmosféricos y ruido, principalmente.

En la situación actual y de cara a la función canalizadora y distribuidora de tráfico que se asigna a la M-30 dentro de la estrategia de movilidad, los problemas más significativos a resolver son la alta concentración de accidentes, el diseño heterogéneo, el efecto barrera que se ejerce sobre el vecindario y la concentración de impactos medioambientales. Se describen a continuación brevemente.

3.1. Alta concentración de accidentes

Entre 1998 y 2002 se produjeron en esta vía 2.964 accidentes con víctimas y 39 víctimas mortales, lo que supone una media de cerca de 600 accidentes y 8 muertos al año, datos que por sí solos justifican la intervención. En términos de niveles de riesgo por km recorrido, el índice de peligrosidad medio en 2002 fue de 29,7 accidentes con víctimas/ 108 vehículos-km, que es un valor del orden del doble al del anillo de circunvalación M-40. La figura 4 muestra la distribución de los tipos de accidentes en el período observado.

A partir de los datos de accidentalidad en la M-30 a lo largo de los últimos años, se han identificado con los criterios establecidos para el desarrollo del Programa de Seguridad Vial de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, una serie de tramos de concentración de accidentes (TCA) en los que los índices de peligrosidad son significativamente superiores a

la media de los tramos de características semejantes en la Red de Carreteras del Estado.

El tipo de accidente predominante es la colisión por alcance, que supone un 47% del total de los accidentes con víctimas que habitualmente están asociados a la aparición de retenciones por efecto de la congestión de la vía. Las colisiones laterales y frontales suponen un 15% de los accidentes y se originan en su mayor parte en los conflictos entre las trayectorias de los vehículos que realizan movimientos de trenzado en los ramales de los enlaces o en las conexiones entre calzadas.

Por otra parte, aproximadamente un 14% de los accidentes son originados por salidas de la vía y un 10% por colisiones con obstáculos en las márgenes de la vía. La mayor parte de estos accidentes están asociados a exceso de velocidad y maniobras antirreglamentarias en períodos en los que las condiciones de circulación son fluidas.

En cuanto a la localización de los TCA, podemos observar que corresponden a la Avenida de la Ilustración, cierre norte (nudo de Manóteras-nudo Norte), toda la zona coincidente con el Río Manzanares, y en general los enlaces con las radiales, en particular el nudo Sur.

3.2. La heterogeneidad del diseño

Como es sabido, la M-30 se construyó por tramos, en diferentes momentos, siguiendo criterios de diseño diversos y sufriendo importantes modificaciones de trazado, de forma que se presentan en ella tramos con características de vía rápida y tramos de vía urbana controlada por semáforos. Así mismo, y dependiendo de la zona por la que esta discurra, puede hablarse de barrios muy consolidados o áreas intensivas en el sector terciario que demandan un acceso fácil, seguro y eficiente económica y ambientalmente.

El tratamiento del cierre norte con criterios de diseño y de gestión del tráfico diferentes a los de las demás zonas hacen que sea uno de los tramos de concentración de accidentes (TCA). Además, la mezcla del tráfico local con los de largo recorrido en una zona residencial consolidada como esta, ocasionan fuertes impactos ambientales como ruido y contaminación ambiental.

Por otra parte, los abundantes tramos de trenzado de escasa longitud y el excesivo número de entradas y salidas al y desde el tronco (algunas de ellas por el carril izquierdo) existentes a lo largo de toda la M-30, dificultan la fluidez del tráfico y provocan un nivel de accidentalidad muy superior al de otras vías urbanas de alta capacidad que explica, entre otros aspectos, la alta accidentalidad por alcance y colisiones laterales.

3.3. Efecto barrera y concentración de impactos ambientales

Cuando se construyó la M-30, en los años en que las autovías urbanas eran signo de modernidad y desarrollo, no se consideró la fuerte restricción a la movilidad, a la socialización y al intercambio que se causaría sobre los habitantes de ambos lados de esa gran infraestructura, así como otros impactos ambientales. También es cierto que los tráficos, inicialmente reducidos, superan ahora IMD de 100.000 vehículos/día en muchos tramos, lo que amplifica exponencialmente los efectos negativos y dificulta la aplicación de medidas.

La misma concepción de la traza en los márgenes del Río Manzanares, aunque empleada en otras capitales, corresponde a un concepto desarrollista ya superado, poco sensible socialmente. Efectivamente, la M-30 al bordear al Río Manzanares en su zona Suroeste, provoca dos efectos combinados: supone una barrera para el acceso de los ciudadanos al único cauce fluvial de la ciudad, convirtiendo sus riberas en un lugar con molestias de ruido y accidentalidad, y provoca una fuerte presión ambiental sobre ese entorno natural, interrumpiendo la continuidad entre las zonas aguas arriba (Monte del El Pardo) y aguas abajo (Parque Lineal del Manzanares).

Por otra parte, el tramo Oeste discurre a sólo 1.500 metros del centro de la ciudad, por una zona urbana de una alta densidad, produciendo un grave efecto barrera y una elevada concentración de impactos ambientales, sobre todo, ruido y contaminación atmosférica. En dicho sector, la vía debe tener un tratamiento diferente al del tramo Este, situado a unos 3.500 m, y del cierre Norte que se encuentra a más 8.000 m del centro de la ciudad.

Mención aparte merece la situación hidrológica del propio río, y su utilización como colector urbano de aguas negras urbanas con insuficiente dilución, como se analiza en otro artículo. Esta solución corresponde también a épocas donde la sensibilidad y valoración de la calidad ambiental de los cauces fluviales era muy pequeña.

4. EL programa de mejoras de la M-30

De acuerdo con el diagnóstico previo y teniendo en cuenta su función en el marco de la estrategia de movilidad sostenible para Madrid, a continuación se señalan de forma somera las principales líneas de actuación, las cuales se encuentran descritas con detalle en otros artículos de este número (ver Rocci, S. y del Val, M. A.)

- Soterrar una gran parte del tronco y algunos enlaces, recuperando suelo en superficie para otros usos (parques, equipamientos), restituyendo la continuidad de la trama urbana y reduciendo los impactos medioambientales.

- Aumentar la capacidad del sistema viario, mejorando su continuidad y la fluidez de su explotación. De esta forma, se eliminará de la M-30 la zona controlada con semáforos, mediante un itinerario alternativo bajo la Av. Monforte de Lemos.

- Aumentar la seguridad en la circulación, mejorando la legibilidad del sistema viario y reduciendo las maniobras difíciles.

- Remodelar todos los enlaces con las vías radiales exteriores de alta capacidad y con las demás vías de comunicación con el resto de la ciudad.

Desde el punto de vista geográfico, las actuaciones se han agrupado en cuatro tramos y a continuación se enuncian:

Tramo Norte

Se orienta a resolver los problemas de accidentalidad y los movimientos de trenzado desde el Puente de los Franceses hasta el enlace de Manoteras. Especial atención se ha dado a regenerar el espacio urbano de la Avenida de la Ilustración, canalizando el tráfico de paso mediante un túnel alternativo. Incluye las siguientes actuaciones:

- By-pass Norte de la Avenida de la Ilustración. Túneles Norte y Sur.
- Nuevo acceso desde la Avenida de la Ilustración a la autovía M-607.
- Vía de servicio y ampliación a 3 carriles en el tramo Oeste de la M-30.
- Conexión del by-pass Norte con la A-1.

Tramo Este

El proyecto que va desde el enlace de Manoteras hasta el Puente de los Tres Ojos, consiste en la reforma de cinco enlaces y la mejora de los "transfer" entre calzadas centrales y laterales e incluye una mejor inserción de los accesos, evitando la presión sobre el viario de los barrios colindantes. Comprende las actuaciones siguientes:

- Remodelación de las calzadas laterales y de los ramales de conexión del tramo y ampliación a tres carriles de las calzadas centrales.

- Remodelación del enlace de La Paloma, entre la M-30 y las Avenidas de Burgos y de Pío XII. Se elimina el trezado y se mejoran dos accesos con sendos túneles.
- Remodelación de la c/ Costa Rica y de la Pza/ José María Soler, y sus entronques.
- Remodelación del enlace de la M-30 con Av. de América (A-2).
- Remodelación del enlace de la M-30 con el eje O'Donnell / R-3.
- Remodelación del enlace de la M-30 con la Avenida del Mediterráneo. Se suprimen los puentes actuales de conexión con la M-30, se resuelve la conexión con la A-3 mediante túneles y en superficie, minimizando el impacto local.

Tramo Sur

Este proyecto que va desde el Puente de los Tres Ojos hasta el Puente de Praga pretende distribuir eficientemente los tráficos en el Nudo Sur. Las obras principales son:

- By-pass Sur, entre el enlace con la Avenida del Mediterráneo (A-3) y el enlace con el Paseo de Santa María de la Cabeza (Puente de Praga).
- Conexión directa de la calle de Embajadores con la A-4.

Tramo Oeste

Desde el Puente de Praga hasta el Puente de los Franceses, los objetivos principales son la regeneración de espacio urbano, la recuperación ambiental del río Manzanares y el mejoramiento de las condiciones de transitabilidad de la zona. Obras:

- Soterramiento de la M-30 entre el Puente de San Isidro y el Nudo Sur. Se realiza un enlace subterráneo a la altura del Puente de Praga, y se soterra la M-30.
- Soterramiento de la M-30 entre la Av. del Marqués de Monistrol y el Puente de San Isidro.
- Remodelación y soterramiento del enlace de la Av. de Portugal (A-5) con la M-30 y la glorieta de San Vicente.

La magnitud y características de las actuaciones propuestas demandan una importante cantidad de recursos sociales y económicos, lo que exige la realización de una evaluación de tipo socio-económico y ambiental que compare los beneficios de su realización con el coste de oportunidad de los recursos que la ciudad prevé asignar al proyecto.

5. La evaluación socioeconómica de la M-30

En este apartado se describe brevemente la metodología seguida y los criterios utilizados para la valoración socio-económica y ambiental de los efectos que son susceptibles de cuantificación. La evaluación se realiza en el contexto del análisis coste - beneficio y su aplicación sigue las prácticas internacionales (EVA; 1991, ECMT; 2001, Fontaine; 1999, Powell; 2001, Maibach; 2000, Litman; 2003), contrastadas con trabajos locales como el Manual de Inversiones de Transporte Urbano (Ministerio de Fomento; 1996) y la cuenta integrada de costes económicos, sociales y ambientales del Transporte determinada para la Comunidad de Madrid (Guerrero y Monzón; 2003).

Con el análisis coste-beneficio se busca maximizar el bienestar de la sociedad, por lo que sus resultados indicarán cual es la rentabilidad social de la alternativa evaluada frente a las demás opciones, representadas en este caso por el costo de oportunidad social del capital o tasa social de descuento.

La metodología seguida de acuerdo con Boardman et al. (2001), consistió en especificar las alternativas, identificar los beneficios y costes a considerar, catalogar los impactos y seleccionar los indicadores de medida (unidades), cuantificar los impactos de cada alternativa a lo largo de la vida del proyecto, monetizar todos los impactos, calcular el indicador de rentabilidad, realizar un análisis de sensibilidad y realizar una serie de recomendaciones de acuerdo con los resultados obtenidos.

5.1. Alternativas, proceso de modelización y criterios de evaluación

Las alternativas previstas en la evaluación son dos, la situación *con proyecto* en la cual se contemplan todas las obras del programa de mejoras previsto y el *escenario de referencia*, que será el alternativo *no hacer nada*; es decir, considerar la misma evolución de desarrollo urbanístico e infraestructuras y de la movilidad, pero SIN realizar las obras de mejora de la M-30 (ver figura 5).

La zona de estudio y modelización ha sido la Comunidad Autónoma de Madrid. Se ha partido de la red del viario de la Oficina Municipal del Plan de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Madrid, al que, tras su actualización, ajuste y redefinición de elementos (nodos, arcos, tipos, zonas, atributos, ...), se han incorporado las actuaciones previstas en el plan de mejoras, las infraestructuras que se han construido recientemente y los desarrollos urbanísticos previstos.

La situación base para los cálculos monetarios, es el año 2004. Sobre ese año se establecen como horizontes

el año 2007 para el cual se tiene prevista la terminación de las obras y su puesta en servicio; el año 2012, que es el horizonte a medio plazo contemplado en el Plan de Ordenación Urbana vigente y para el cual se ha previsto un crecimiento de los flujos de tráfico a todas luces conservador, como se puede observar en la figura 6. Por último, se considera un escenario a largo plazo -2037-, en el que las previsiones son mucho menos fiables, correspondiente a las exigencias del análisis coste-beneficio de evaluar todos los efectos durante la vida útil del proyecto.

El proceso de modelización se ha realizado con el programa de simulación VISUM (desarrollado por PTV AG en Alemania), que ha servido como herramienta para calibrar el modelo de Madrid para el vehículo privado correspondiente a la situación actual. Este calibrado se ha realizado con los datos de aforo procedentes de las estaciones permanentes en la M-30, otras estaciones del Ayuntamiento, además de estaciones de la Comunidad de Madrid y el Ministerio de Fomento.

Una vez calibrado y validado, el modelo asigna las diferentes matrices (hora punta de mañana y de tarde y hora valle) en cada uno de los horizontes 2007, 2012 y 2037 a la red de transporte correspondiente. Dicha asignación ha seguido el principio de Wardrop, en el cual, cada usuario de la red elige su ruta de forma que minimice sus costes de viaje. El equilibrio se alcanza por iteraciones incrementales a partir de una asignación inicial y el proceso concluye cuando no sea posible encontrar rutas mejores a las ya identificadas.

La valoración de los impactos se realiza para los tres horizontes previstos de acuerdo con las simulaciones del modelo y se hace una interpolación a partir de esos valores para cada uno de los demás años objeto de análisis. Los cálculos se realizan a precios constantes del año 2004 y para la evaluación coste-beneficio se usan los criterios de Valor Actual Neto VAN y Tasa Interna de Retorno TIR.

En cuanto a la Tasa Social de Descuento, entendida en este contexto como aquella tasa que representa los costes de oportunidad de las inversiones públicas, es decir el valor o beneficio que podrían generar los recursos socioeconómicos en sus mejores usos alternativos, se ha considerado como referente el coste de la deuda pública emitida en euros a un plazo de 30 años. De acuerdo con cifras del Banco de España, se ha considerado como tasa de inflación un valor medio anual del 2,5% y como Tasa Social de Descuento un valor medio anual del 2,44% en precios constantes.

Para la estimación monetaria de los impactos en el futuro, se ha supuesto que no habrá cambio en precios relativos, es decir, que la valoración de los diferentes impactos crecerá al mismo ritmo de la inflación de Es-

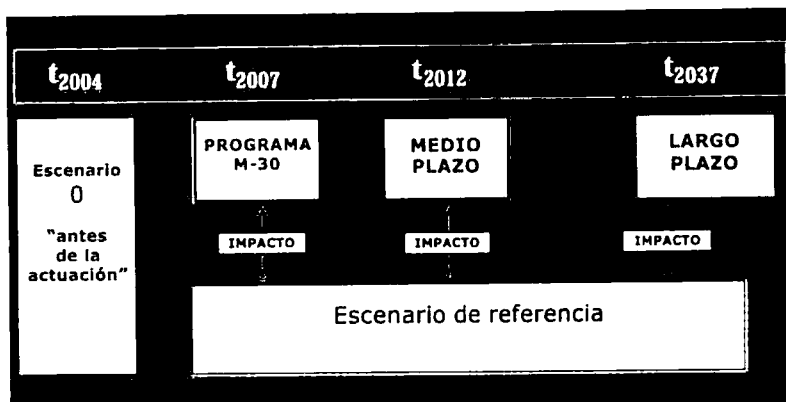


Fig. 5. Alternativas y horizontes de evaluación.

paña, durante los 30 años del período de evaluación. El supuesto de que no habrá cambio en precios relativos es claramente conservador, pues el tiempo de viaje, la vida humana o las externalidades como el ruido o la contaminación son cada vez más valoradas dados los niveles de renta y la creciente sensibilidad por los aspectos socio-ambientales.

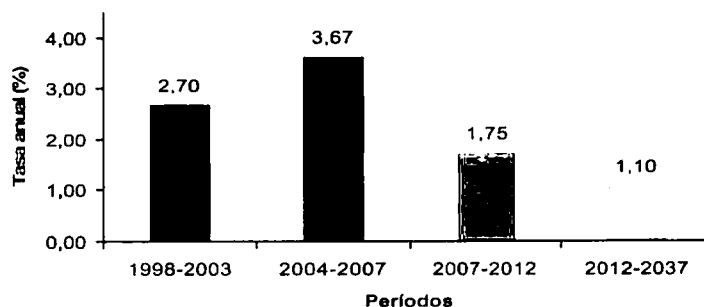
5.2. Los efectos de las actuaciones en la M-30

5.2.1. Coste de las mejoras

Las inversiones necesarias para la construcción y puesta en marcha de las obras, así como los costes de explotación y gestión han sido estimados en 3.662,7 millones de euros.

Se ha realizado una discriminación de costes de acuerdo con la localización de los proyectos (ver tabla 3), pero hay elementos de coste que son comunes a todas las actuaciones como los relacionados con el centro de control de tráfico, las tareas de control de los túneles o la gestión de las obras y que por ende se han dejado en un grupo adicional. Por otra parte, existen costes como los de inversión que sólo se producen en los primeros años y otros como los de explotación o de gestión, que permanecen a lo largo de los 30 años de

Fig. 6. Tasas de crecimiento histórica y previstas del tráfico para Madrid



evaluación. Todos se han convertido a precios de 2004, utilizando las técnicas de la matemática financiera y se ha excluido el impuesto al valor añadido por su carácter de transferencia.

5.2.2. *Los beneficios socioeconómicos y ambientales del plan de mejoras*

Los principales beneficios de los proyectos de transporte se asocian con los ahorros en los tiempos de viaje, con la reducción de la accidentalidad y con los cambios en los costes de operación. Este caso no es la excepción y la cuantificación de los beneficios se orienta en particular a esos tres temas, pero así mismo se hace énfasis en externalidades como el ruido, el efecto barrera, la contaminación ambiental, la emisión de gases de efecto invernadero, la disponibilidad y continuidad de áreas verdes o la accesibilidad del transporte público.

La cuantificación de los efectos se ha realizado a partir de los resultados del modelo actualizado de la Gerencia de Urbanismo, desarrollado en VISUM, a que se ha hecho referencia antes, y que permitió estimar para cada uno de los arcos de la red los cambios en términos de capacidad, flujo, velocidad y tiempos de viaje (en la figura 7 se puede ver un ejemplo de velocidades) e indirectamente, los cambios en otras variables como el ruido, la contaminación o los consumos de combustibles. En la mayoría de los casos ha sido posible la valoración monetaria, pero en otros (contaminación ambiental, por ejemplo) sólo se ha realizado una estimación de la magnitud de los cambios, por la dificultad que entraña su monetización. A continuación se describe la forma en que se trataron los impactos y se señalan los resultados obtenidos.

- El tiempo de viaje

Las mejoras de la M-30 producen una homogeneización de la capacidad del tronco, y un aumento en los tramos en túnel, al conservarse el trazado actual como vía alternativa. La cuantificación de esos cambios -ahorros de tiempo- se ha realizado comparando los resultados del modelo en los dos escenarios -con y sin proyecto- para los diversos horizontes temporales.

La expresión usada tanto para los usuarios habituales de la M-30, como para los atraídos se ha determinado de acuerdo con la siguiente expresión:

$$AT^n = \sum_i (t_i^{s,n} - t_i^{c,n}) \cdot O_i^n$$

donde:

ATⁿ = Ahorros totales de tiempo de los usuarios en el año n

Tabla 3. Presupuesto de las mejoras de la M-30 - excluido el IVA

Tramo	Valor (Euros de 2004)
Norte	1.117.647.191,6
Este	308.680.337,1
Sur	751.224.778,9
Oeste	1.083.297.867,0
Control, Acondicionamiento y restauración	401.846.176,3
Total Presupuesto	3.662.696.350,8

t_i^{c,n} = Tiempo de viaje del vehículo i en el año n y el escenario con proyecto

t_i^{s,n} = Tiempo de viaje del vehículo i en el año n y el escenario sin proyecto

O_iⁿ = Ocupación media del vehículo tipo i en el año n

Para la transformación de los ahorros de tiempo en valores monetarios, se exige la consideración del valor del tiempo. Desde el punto de vista conceptual, el valor que los usuarios otorgan a su tiempo se entiende dependiente de su nivel económico y de la actividad que se desarrollará en el destino. Este valor está compuesto por un coste de oportunidad, que refleja el valor de ese tiempo si fuese libre, y una utilidad o desutilidad inherente a la actividad que se desarrolla durante ese tiempo y que incluye no sólo los ingresos y costes monetarios de la actividad, sino también los que se derivan de los componentes inmateriales de la actividad como placer, esfuerzo, incomodidad, molestias, etc. Existe, por tanto, una curva que relaciona demanda y tiempo, y por ende, una predisposición a pagar por él. Ese valor que se está dispuesto a pagar depende fuertemente del usuario y del contexto en que se produce el ahorro, por lo que su cuantificación y valoración no es una tarea sencilla a pesar de las sofisticadas herramientas de medición de que se dispone como las técnicas asociadas con preferencias reveladas y declaradas y de otros estudios que facilitan la toma de decisiones.

El Manual EVA (1991), estableció para la evaluación de proyectos en Europa, un valor del tiempo entre 17 ECUs/pers-h para viajes de trabajo y 4,3 ECUs/pers-h para viajes de no trabajo (en precios de 1990), mientras que el estudio INFRAS en referencia específica a los usuarios del coche en España estima ese valor entre los 12,1 y los 16,0 €/veh-h (Malbach et al; 2000, Schreyer et al; 2004). Así mismo, sendos estudios para nuevas vías radiales de peaje en la Región de Madrid han empleado valores que oscilan entre 8 y 10 €/pers-h, dependiendo de las particularidades del proyecto. Como en este caso no se hace una distinción de usuarios, y a pesar de los datos internacionales más elevados, se ha

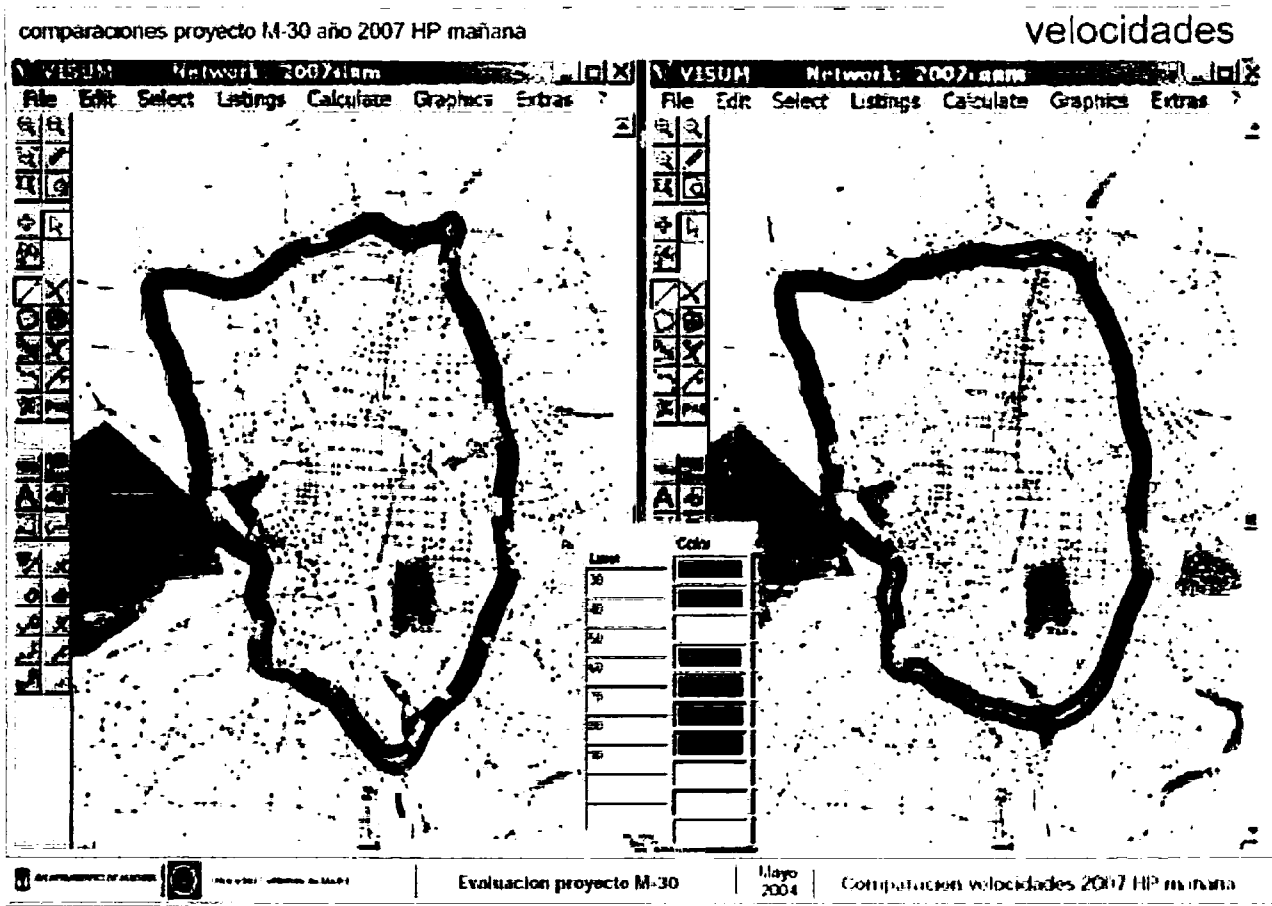


Fig. 7. Ejemplo de las salidas de VISUM para la velocidad en la M-30.

decidido utilizar 9,0 €/pas-h que es un valor intermedio de los aplicados a proyectos recientes en España y que es una cifra conservadora frente a las demás referencias.

Para la conversión de ahorros por vehículo a ahorros por viajero se ha utilizado las tasas de ocupación media del Ayuntamiento de Madrid, que se supone permanecerán constantes a lo largo del tiempo: 1,2 pasajeros/coche para los periodos punta y 1,3 pasajeros/coche para el resto del día.

Los ahorros de tiempo estimados se resumen en la tabla 4 y la distribución de esos ahorros en el área de influencia, se pueden observar en la figura 8. Como puede comprobarse se prevé una transferencia de vehículos desde la M-40 a la M-30 y una reducción de flujos en la almendra y en el viario local entre los dos cinturones.

- El cambio en los costes de funcionamiento de los vehículos

Como en el caso de los ahorros de tiempo, la eliminación o reducción de retenciones y demoras y el

aumento de las velocidades, se traducen en un uso más eficiente de los vehículos y de la infraestructura vial, con el consiguiente impacto positivo, que tal y como se pretende, es posible convertir a valores monetarios.

La literatura se refiere a la relación estrecha entre los cambios en la velocidad media y el rendimiento de los motores y consecuentemente en el consumo de combustibles, lubricantes, llantas, e indirectamente en el mantenimiento y reparaciones o sustitución de com-

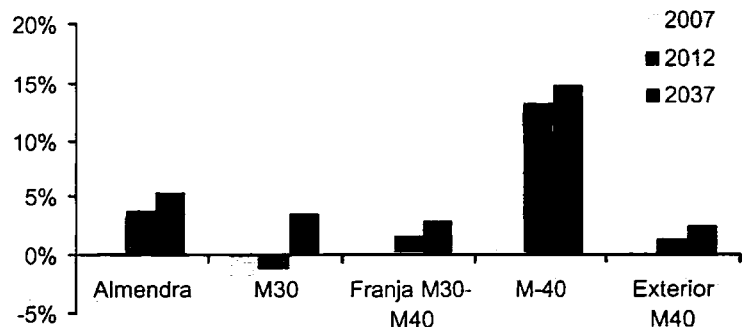


Fig. 8. Distribución espacial de los ahorros relativos de tiempo.

Tabla 4. Cuantificación de los ahorros de tiempo

	2007	2012	2037
Horas diarias ahorradas (miles)	46,6	55,9	106,1
Horas anuales ahorradas (miles)	13.974,2	16.774,8	31.844,0
Valor del tiempo ahorrado (millones de euros)	125,8	151,0	286,6

Tabla 5. Funciones de Consumo de Combustible utilizadas

Directiva	Función de Consumo	Vehículos	Participación
ECE-1504 (cc ≤ 1,4 l)	Si V < 25 kph; C = 296,7 - 80,21 * ln(V) Si V ≥ 25 kph; C = 81,1 - 1,014 * V + 0,0068 * V ²	646.049	24,1%
Open Look	C = 82,4 - 1,278 * V + 0,0107 * V ²	487.088	18,1%
ECE-1504 (1,4 < cc ≤ 2,0)	Si V < 60 kph; C = 606,1 - * V - 0,66 Si V ≥ 60 kph; C = 102,5 - 1,364 * V + 0,0086 * V ²	424.678	15,9%
91/441/EEC (1,4 < cc ≤ 2,0)	C = 106,43 - 1,862 * V + 0,0156 * V ²	320.061	11,9%
91/441/EEC (cc ≥ 2,0)	C = 140,5 - 2,655 * V + 0,0223 * V ²	195.776	7,3%
Gasoil	C = 118,589 - 2,084 * V + 0,014 * V ²	610.078	22,7%

ponentes. En este estudio se ha supuesto que la única partida que cambia de forma significativa es el consumo de combustibles, íntimamente ligado a la velocidad y a las situaciones de congestión.

Para la evaluación de los cambios en el consumo de combustible se ha hecho referencia a tres aspectos: la función de consumo, la velocidad media de circulación y el precio de los combustibles. La función de consumo se ha determinado a partir de la composición del parque en la Comunidad de Madrid; a cada una de sus categorías se han aplicado los consumos considerados en la metodología COPERT III (2000) y, posteriormente, se ha realizado una ponderación de acuerdo con la participación de cada una de esas categorías en el parque automotor madrileño.

La velocidad media de circulación es una salida del modelo utilizado y en cuanto a los precios, se ha recurrido a las tablas del Ministerio de Economía (2004) y que para febrero de ese año y descontado el IVA eran de 0,331 €/litro para la gasolina y de 0,294 €/litro para el gasóleo.

Tabla 6. Ahorros en costes de funcionamiento - Combustibles

	2007	2012	2037
Combustible diario ahorrado (litros)	48.004,3	54.097,8	80.178,7
Valor diario del combustible ahorrado (€)	15.001,3	16.905,6	25.055,8
Valor anual del combustible ahorrado (Miles de €).	4.500,4	5.071,7	7.516,8

La función de consumo de combustible está asociada con la tecnología (de acuerdo con la directiva) y el combustible; Las categorías utilizadas como representativas de cada grupo se expresan en la tabla 5, a partir de la cual se determinó el consumo en cada uno de los arcos, y en las situaciones SIN y CON proyecto.

De esta forma, el efecto en términos de los ahorros por costes de operación, considerando sólo el cambio en el consumo de combustibles es el que se presenta en la tabla 6.

- Beneficios por reducción de la accidentalidad

La mejora de la seguridad de la circulación es un aspecto primordial en la reforma de la M-30. Los criterios básicos para la concepción del programa de mejoras desde el punto de vista de la seguridad vial han sido la eliminación de los tramos de concentración de accidentes, la mejora de las condiciones de los enlaces y de los tramos de trenzado para resolver los movimientos que plantean problemas de seguridad y el aumento de la fluidez a través de los cambios en las características de la infraestructura y de la implantación de un sistema avanzado de explotación.

Para la evaluación se realizó una estimación de la tendencia actual si no se hicieran las obras y una estimación de las reducciones en los índices de accidentalidad de acuerdo con las actuaciones previstas. La estimación de la situación sin proyecto se basó en la proyección de la serie temporal de los accidentes con víctimas registrados en cada sector a lo largo de un período de 5 años (1998-2002). A partir del 2012 se ha supuesto que los índices de peligrosidad se estabilizan y que la variación de la accidentalidad será proporcional a la variación del tráfico.

Por otra parte, para la estimación de los cambios debidos a las mejoras se ha recurrido a contrastes de los índices de peligrosidad de tramos en túnel y de tramos a cielo abierto con mejoras significativas en el trazado, con la experiencia obtenida en situaciones similares.

La experiencia en la explotación de túneles en vías de alta capacidad dotados de medidas de seguridad, demuestra que la accidentalidad en ellos es significativamente menor que en los tramos a cielo abierto. Así, el índice de peligrosidad registrado en los túneles de la Red de Carreteras del Estado que presentan condiciones comparables con los proyectados es de 6,5 accidentes con víctimas/108 veh-km. Este índice es del orden de la mitad que el de los tramos a cielo abierto de las mismas características, y casi 5 veces menor que el presentado actualmente en la M-30 y se ha aplicado como referencia en la evaluación de las reducciones

Tabla 7. Accidentalidad en los escenarios SIN y con proyecto

	2007	2012	2037
Heridos graves y víctimas mortales tendencia Actual	87	95	115
Accidentes totales con víctimas Escenario SIN Proyecto	684	757	914
Accidentes totales con víctimas Escenario CON Proyecto	289	320	406
Reducción estimada de los accidentes con víctimas	395	437	508

Tabla 8. Costes de accidentalidad de acuerdo con la gravedad

Tipo de costes	Valor (€/2004)	
Muerto	1.736.813	
Herido	Grave	231.575
	Leve	17.368
Daños materiales /accidente	774	

de accidentalidad que se producirán en los tramos que tras las obras se conviertan en túneles.

En el segundo caso, se han identificado 102 tramos de carreteras de gran capacidad con alta intensidad de tráfico situadas en zonas urbanas o peri urbanas, que han permitido determinar el valor del índice de peligrosidad alcanzable en los tramos a cielo abierto en los que se mejoran las condiciones de seguridad de los enlaces, de las calzadas centrales y de las vías de servicio en el programa de reforma de la M-30. El valor medio del índice de peligrosidad en estos tramos es de 13 accidentes con víctimas/108 veh-km en tramos entre enlaces y de 15 accidentes con víctimas/108 veh-km en la zona de influencia de los enlaces.

El resumen de los resultados de las mejoras previstas sobre la accidentalidad se presenta en la tabla 7 y se describen en forma detallada en el Informe de Evaluación (2) preparado para el Banco Europeo de Inversiones.

La valoración se ha asociado a la disposición a pagar por la reducción de riesgos. A partir del valor de la vida humana se establece un valor por accidente en función del número y tipo de víctimas, el cual varía, a su vez, de acuerdo con la sensibilidad social, la capacidad económica y la edad de las víctimas. Maibach et al. (2000), basados en estudios de evaluación contingente realizados por O'Reilly (1994), han establecido un valor medio del riesgo por accidentes fatales o con heridos. Este valor se ha contrastado con los hallados por Guerrero y Monzón (2003) y con los recomendados por el Ministerio de Fomento de España (1996). De ese aná-

(2) Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Programa de Mejoras del Anillo de Circunvalación M-30 de Madrid - Informe Final. UPM y Ayuntamiento de Madrid, 2004.

lisis comparado, se han establecido los valores que se relacionan en la tabla 8, para cada uno de los efectos analizados.

Dadas las reducciones estimadas y el coste unitario previsto, los beneficios esperados por este concepto van desde 32 millones de € en 2007 hasta 44,3 millones de € en 2037 y se presentan discriminados por proyecto en la figura 9.

• Reducción del Ruido

De acuerdo con un estudio de la OCDE (1995), el ruido producido por el tráfico es la molestia más frecuentemente denunciada por las personas que viven en las inmediaciones de las infraestructuras viarias. Según el MOTMA (1994), más de nueve millones de españoles sufren diariamente niveles de ruido superiores a los 65 decibelios, cuando el límite de tolerancia ambiental aceptable se sitúa en 55 dB. Este problema se agudiza en las zonas urbanas densas, como es el caso de Madrid.

Aunque el aumento de la fluidez y la eliminación de retenciones pueden producir reducciones importantes en la magnitud del ruido, la valoración se ha limitado al entorno de los túneles, lo cual supone un cálculo desde el lado de la seguridad, en cuanto que no se consideran otros beneficios por este concepto. El supuesto básico es que los túneles evitan la propagación del ruido y que los puntos críticos se encuentran en sus embocaduras en donde se instalarán silenciadores, del tipo de los diseñados para Valencia (García; 2003), que aseguran una reducción a niveles similares a un tramo a cielo abierto.

De esta forma, los flujos de tráfico que se soterran implican un ahorro equivalente al coste que tendría para la sociedad esta externalidad. El estudio INFRAS/IWW (Maibach et al; 2000) ha hecho estimaciones que señalan que, de acuerdo con las características de la vía y

Fig. 9. Beneficios anuales por reducción de la accidentalidad.

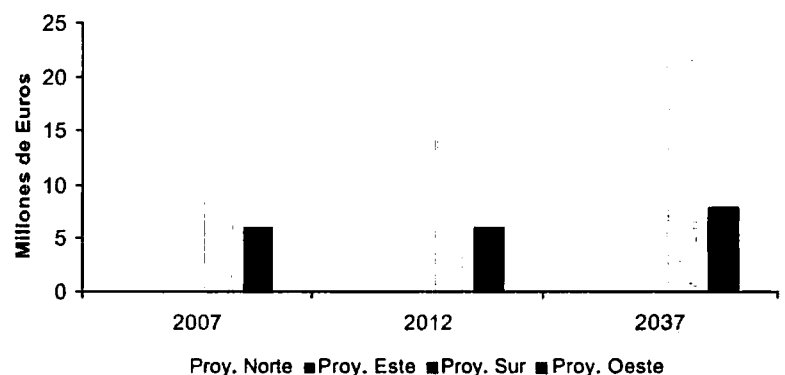


Tabla 9. Ahorros anuales por reducción de ruido

	2007	2012	2037
Ahorros por reducción del ruido	8.512,26	9.166,77	11.217,40
Ahorros por reducción del efecto barrera	11.217,50	12.080,02	14.782,34

el tráfico, los costes unitarios por ruido, actualizados a precios de 2004, son de 9,40 €/1000 pas-km. A partir de la estimación de los flujos en cada uno de los arcos de acuerdo con el modelo VISUM utilizado y de la valoración referida, se determinan los ahorros para cada uno de los horizontes previstos, los cuales se resumen junto a los del efecto barrera en la tabla 9.

• Reducción del efecto barrera

Una vía de elevado tráfico produce un efecto de separación sobre los barrios a ambos lados de la misma; este efecto es pleno cuando se refiere a autopistas, en las que el aislamiento es total, salvo la comunicación a través de pasarelas, que siempre producen un nivel de intercambios muy escaso por el aumento de distancias, las rampas o a la utilización de escaleras, etc.

Especialmente en los Proyectos Oeste y Norte, el efecto barrera es uno de los impactos más importantes en magnitud y al soterrar la vía se está devolviendo a la comunidad la posibilidad de acceso a todas las actividades económicas, culturales y sociales que habían quedado restringidas por la presencia de la infraestructura.

Como en el caso del ruido, se han cuantificado los flujos que circularán por las vías soterradas y se ha recurrido al estudio de costes de las externalidades del transporte (Maibach et al; 2000), que se basa en las conclusiones de EUROMOS (European Road Mobility Studies) y que incluye datos de ciudades como Munich, Southampton y Barcelona. La metodología tiene en cuenta la longitud, el tipo de infraestructura, la población afectada, el número de veces que se desea cruzar y el valor del tiempo principalmente. De acuerdo con este, los costes estimados del impacto son de 12,39

Tabla 10. Los cambios en la emisión de CO₂ y la valoración económica

	2007	2012	2037
Reducción Anual de CO ₂ (Toneladas)	35.176	40.607	64.810
Valor Anual de la reducción (Miles de €)	5.498,43	6.347,31	10.130,42

€/1000 pas-km. La tabla 9 presenta la reducción de costes por el cambio en ese efecto.

La reducción del efecto barrera no sólo producirá los efectos mencionados, sino que la permeabilidad permitirá una reordenación de líneas de autobús, que actualmente no pueden utilizar la M-30, y que en el futuro podrán tener trazados directos en superficie.

La población afectada (residentes a menos de 500 metros de los túneles previstos) supera los 270.000 habitantes, el número de viajeros de transporte público es superior a los 30 millones anuales y el número de expediciones diarias que podrán ser objeto de optimización supera las 2.500, que sin duda producirán ahorros significativos en los costes de explotación.

• Emisión de gases de efecto invernadero (CO₂)

El aumento en la capacidad y la mejora en la fluidez del tráfico conllevan cambios en la velocidad media y reducción de las detenciones, con lo cual el consumo de combustibles es más eficiente y por ende se reduce la emisión de contaminantes. En este apartado se han considerado exclusivamente las emisiones de CO₂, que constituye el principal gas de efecto invernadero en el caso del transporte. La emisión se han calculado a partir de los consumos de combustibles en cada uno de los escenarios, según la metodología seguida para la determinación de los ahorros en costes de operación. El cálculo de esos cambios en emisiones se realiza a través de la conversión del consumo de combustibles y para la valoración monetaria y considerando la creciente sensibilidad por el cambio climático, se ha utilizado el valor más crítico de los recomendados por INFRAS/IWW (Maibach et al; 2000) que es de 156,31 €/Ton CO₂ en precios de 2004. Los cambios en las emisiones de CO₂ y su valoración económica se muestran en la tabla 10.

• Otros beneficios

En este apartado se hace referencia a otros impactos que son claramente atribuibles a la mejora de la M-30, pero que no han sido susceptibles de valoración monetaria ya sea por la inexistencia de precios de mercado o por dificultades metodológicas para su cuantificación. Entre esos impactos se tiene la contaminación atmosférica, la mejora en el entorno del río Manzanares y otros como la generación de empleos y renta.

Reducción de la contaminación atmosférica

El régimen de velocidades y de marchas supone también un cambio en las emisiones de los diferentes conta-

minantes atmosféricos (Joumard; 1999). Aunque no se ha realizado una valoración en términos económicos, se realiza una comparación cuantitativa de los cambios que la mayor fluidez del tráfico producirá en el régimen de emisión de los contaminantes principales: CO, SO₂, NO_x, Partículas y VOC. Para la cuantificación de estas emisiones se ha seguido la metodología de Alcalde (2000) que consiste en la determinación de la proporción de vehículos de cada tipo el flujo de tráfico, la aplicación de los factores de emisión en caliente y en frío establecidos en la metodología COPERT III y la agregación de los valores para cada uno de los tramos y para cada uno de los escenarios y horizontes.

En los tramos en túnel se ha considerado la instalación de filtros de carbón activo, en serie con sistemas de quimi y fisorción, lo que producirá una significativa reducción de los contaminantes allí emitidos. En el mercado existe un gran número de dispositivos basados en el carbón activo, que pueden llegar a reducciones de hasta el 98% e incluso superiores (Moliner y Otros; 1999), teniendo en cuenta que su efectividad depende del tiempo de contacto y por ende de la velocidad del caudal. Álvarez y Fuertes (2002) han establecido que las reducciones mínimas que se alcanzan con un sistema de carbón activo son de un 50% de CO y VOC, de un 25% para NO_x y SO₂ (en peso) y de un 99,7% en el caso de Partículas.

Los cambios en la emisión global de contaminantes para cada uno de los escenarios y teniendo en cuenta la reducción mínima asociada con la instalación de los filtros, son los que se presentan en la tabla 11. La reducción prevista en el caso del monóxido de carbono (CO), se muestra en la figura 10, en donde sobresale la M-30, gracias a los túneles y a los dispositivos de filtración allí previstos.

Recuperación del entorno del Manzanares

Los beneficios ambientales que se derivan de la remodelación de la M-30 y en especial del soterramiento del tramo adyacente al cauce del río Manzanares se pueden agrupar desde el punto de vista del medio natural en tres grandes epígrafes:

- Mejora de la calidad de las aguas; reducción de los vertidos actuales al cauce.
- Restauración de las márgenes y ampliación del Parque Lineal del Manzanares.
- Conexión de las zonas verdes contiguas al trazado de la vía.

La situación actual del río Manzanares es francamente mejorable. La calidad de sus aguas es baja, los

Tabla 11. Reducción anual de emisiones de contaminantes (Toneladas/año)

Contaminante	Rango de reducción (%)	Reducción anual (Ton)		
		2007	2012	2037
CO	(2,22% - 3,02%)	2509	2932	5390
NO _x	(0,74% - 0,42%)	224	108	169
VOC	(2,36% - 3,50%)	402	452	944
SO ₂	(1,20% - 2,12%)	23	22	58
Partículas	(3,00% - 4,30%)	28	29	58

vertidos flotan en superficie y en sus márgenes se acumulan residuos de todo tipo. La dilución existente es de 1:1, lo que provoca un empobrecimiento de la calidad de las aguas que repercute tanto en la fauna piscícola como en la flora existente en sus riberas y en la calidad del entorno visual. La actuación propuesta, y la reforma del sistema de colectores que conlleva, haría que se alcanzaran valores de 1:10, superiores a la dilución exigida en la UE, que es 1:7.

Por lo que se refiere a la restauración de las márgenes, esta propiciará la compensación de los impactos que habían sido inducidos anteriormente por la construcción de la M-30 actual, como son: cambios en los usos del suelo, actividades en las riberas y llanuras de inundación y los impactos dentro del río.

Así mismo, la actuación pondrá en valor y conectará las áreas verdes contiguas a su trazado actual, ya que el río actuará como corredor ecológico, dado el gran potencial de los espacios lineales abiertos como vías de acceso a parques urbanos así como medio de unión entre ellos. El concepto de corredor ecológico adquiere progresivamente mayor importancia debido al desarrollo de la conciencia social colectiva hacia el medio natural.

Los beneficios ambientales asociados con el entorno del Manzanares se evalúan a través de un conjunto de indicadores que hacen referencia a los tres aparta-

Fig. 10. Reducción de las emisiones de CO de acuerdo con el área de influencia.

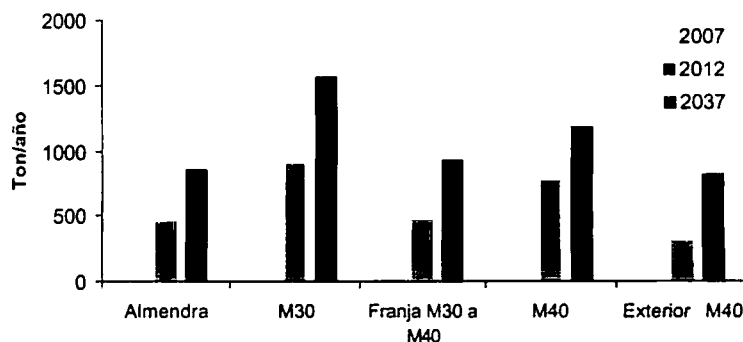


Tabla 12. Impactos de la mejora de la M-30 en el entorno del río Manzanares

Indicador	Año 2004	Año 2007	Evaluación
M ² superficie asfaltada	249.111	95.058	Positiva
M ² superficie de zona verde	501.200	806.300	Positiva
número de árboles por hectárea	35.25	71.66	Positiva
Distancia media entre zonas verdes (m)	353	205	Positiva
M ² zona verde por habitante	1.98	2.4	Positiva
usuarios potenciales de las zonas verdes	489	1.573	Positiva
Grado de dilución de las aguas	1:1	1:10	Positiva
Carga contaminante	—	disminución	Positiva
Calidad escénica	Baja	Alta	Positiva
Continuidad del Parque Lineal	Inexistente	Existente	Positiva

general suele admitirse un efecto multiplicador entre 2 y 3 veces mayor que el puro efecto de valor añadido durante la fase de construcción (Schneider; 2001).

El modelo econométrico desarrollado por Schneider, Mayerhofer y Kiesewetter (1988) aplicado al análisis de los efectos de la construcción de la línea 6 de Metro de Madrid, en el contexto de un proyecto de I+D europeo, señala que esa inversión genera un ratio de 32 empleos por millón de euros para dicha ciudad (TRANSECON; 2003). Izquierdo y Vasallo (2004), hacen referencia a ratios de generación de empleo similares a los anteriores, en casos como el del Plan Director de Infraestructuras de España.

Aplicando este ratio, cabría esperar que las inversiones previstas en los proyectos de mejora de la M-30 generen alrededor de 125.000 puestos de trabajo.

Tabla 13. Resumen de la evaluación socioeconómica de las mejoras (Valores de 2004)

Variable (Valores en Millones de Euros)	Valor Actual de Beneficios	Valor Actual de Costes
Inversión y Operación Proyectos		3.663
Ahorro Tiempo de Viaje	3.915	
Accidentalidad	770	
Costes Funcionamiento	117	
Reducción de Ruido M-30	197	
Efecto Barrera M-30	259	
Reducción CO ₂ M-30	152	
Valor actual neto	1.748	
Tasa interna de retorno	5,24%	

5.2.3. Resumen de la evaluación socio-económica

El programa de actuaciones sobre la M-30, desde el punto de vista socio-económico, considerando solamente los impactos objeto de valoración monetaria y de acuerdo con los indicadores Valor Actual Neto - VPN y Tasa Interna de Retorno - TIR, es claramente rentable como se muestra en la tabla 13.

Cabe destacar que sólo considerando los ahorros de tiempo se obtiene un VAN positivo, compensando la totalidad de las inversiones previstas. El resto de los efectos monetizables aporta beneficios de menor entidad, como suele ser habitual en los proyectos de carreteras, aunque es el caso de la M-30 destacan claramente los beneficios por las mejoras esperables en seguridad vial.

dos allí mencionados y que se describen con detalle en el Informe Final de Evaluación ya mencionado y cuyo resumen se recoge en la tabla 12.

Otros beneficios de carácter socioeconómico

Hay otros efectos económicos que se producen durante la fase de construcción de los proyectos de transporte, que son muy importantes para la economía regional, como el valor indirecto añadido y el efecto económico global. Estos efectos suplementarios afectan al sector servicios (tiendas, restaurantes, hoteles) o al sector empresarial, son difíciles de cuantificar y en

5.3. Análisis de sensibilidad

Para este particular análisis de sensibilidad, se han considerado tasas mínimas de crecimiento del tráfico. Se ha querido evaluar un escenario de BAJA SATURACIÓN y en el mismo, se ha supuesto que las condiciones esperadas o previstas para el año 2012, sólo ocurrirían en el 2037, es decir 25 años más tarde. De esta manera, los crecimientos medios del tráfico en la M-30 que de acuerdo con el modelo VISUM utilizado serían de un 0,88% anual, se ven reducidas a un crecimiento medio de sólo 0,22% anual; una cuarta parte de lo esperado. Este escenario correspondería a que se produjese una reducción muy significativa del uso del automóvil, por ejemplo, causada por una crisis del petróleo que elevase los precios significativamente.

Este escenario puede considerarse crítico, pues como ocurre en la generalidad de los proyectos de transporte, los mayores beneficios se presentan en el largo

Tabla 14: Indicadores de rentabilidad en una situación hipotética de baja saturación

	Valor Actual Neto (2004)	Tasa Interna de Retorno
Programa de Mejoras M-30	380.907.006 €	3,18%

plazo, cuando las condiciones de saturación tienen mayor influencia sobre el tiempo de viaje y las características de la circulación vial. Los resultados de esta evaluación se resumen en los indicadores de rentabilidad de la tabla 14, en la cual se percibe que el programa continúa siendo rentable.

6. Conclusiones

De acuerdo con los análisis realizados, puede afirmarse que el Programa de Mejoras de la M-30 de Madrid, contribuye claramente a la reducción de los tres

problemas principales diagnosticados: la congestión al resolver los problemas funcionales del trazado actual; la presión ambiental del tráfico de la M-30 en la zona del Río Manzanares y mejora la calidad de vida en los barrios colindantes; y las tasas de accidentalidad al eliminar los defectos funcionales de los tramos de concentración de accidentes.

Por otra parte, la evaluación socioeconómica y ambiental realizada permite afirmar que el proyecto presenta, aún teniendo en cuenta su elevado coste, un beneficio social claramente positivo, con una tasa de retorno del 5,24%, que duplica la tasa social de descuento. ♦

Referencias

-Alcaide, T. (2000). *Efectos ambientales del tráfico urbano: evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
 -Álvarez, T. y Fuertes, A. (2002). *Patente 2178544 16/12/2002*. Instituto de carboquímica.
 -Boardman, A. et al. (2001). *Cost-Benefit Analysis. Concepts and Practice*. Prentice Hall, New Jersey.
 -COPERT III. (2000). *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport. Methodology and Emission factors*. EEA, Copenhagen.
 -CRTM. (2003). *El Consorcio de Transportes de Madrid 1985-2003. La Integración del sistema de transportes en la Comunidad de Madrid*
 -ECMT (2001). *Assessing the benefits of transport*. European Conference of Ministers of Transport, OECD, París.
 -EVA Manual. (1991). *Evaluation Process for Road Transport Informatics*. Commission of the European Communities DG XIII. Technische Universität München, Munich
 -Fontaine, E. (1999). *Evaluación Social de Proyectos*. Alfaomega, Bogotá.
 -García, A. (2003). *Diseño e implementación de un silenciador de túneles urbanos*. Revista de Obras Públicas. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid

-Guerrero, M.J. y Monzón, A. (2003). *Cuenta Económica y Socioambiental del Transporte Terrestre de viajeros en la Comunidad de Madrid, en 1996*. Consorcio de Transportes de Madrid.
 -Izquierdo, R. y Vasallo, J. M. (2004). *Nuevos sistemas de gestión y financiación de infraestructuras de transporte*. CICCIP, Colección Señor 35, Madrid.
 -Joumard, R. (1999). *Methods for estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state of the art*. COST Action 319. Final Report
 -Litman, T. (2003). *Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, estimates and implications*. Victoria Transport Policy Institute. En www.vtppi.org
 -Maibach, M. et al. (2000). *External Cost of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe*. INFRAS-IWW, UIC, France.
 -Ministerio de Economía (2004). *Precios de Combustibles y Combustibles*. Febrero 2004, Madrid.
 -Ministerio de Fomento (1996). *Manual para la evaluación de inversiones de transporte en ciudades*, Madrid.
 -Moliner, R., Lazaro, M. y Suelves, I. (1999). *V Reunión del grupo Español del carbón*. Instituto de Carboquímica, Departamento de Energía y Medio Ambiente.
 -MOPTMA (1994). *Hacia la Reconversión Ecológica del Transporte en España*. Dirección General de Política Territorial y Obras Públicas, Madrid

-O'Reilly et al. (1994). *The Value of Road Safety, UK research on preventing non-fatal injuries*. Journal of Transport Economics and Policy.
 -OCDE (1995). *Reducción del Ruido en el entorno de las Carreteras*. Serie Monografías, MOPTMA, Madrid.
 -Ortuzar, J. and Willumsen L. (1994). *Modelling Transport*. 2. Ed. John Wiley and Sons, Chichester.
 -Ortuzar, J. (2000). *Modelos de demanda de Transporte*. Alfaomega, México.
 -Pardillo, J.M. (2004). *Procedimientos de estudio, diseño y gestión de medidas de seguridad vial en las infraestructuras*. Fundación Agustín de Betancourt, Madrid.
 -Powell, T. (2001). *The principles of Transport Economics*. PTRC, London.
 -Schneider, F., Mayerhofer, P. & Kiesewetter, J. (1988). *Ein Simulationsmodell fuer Oberoesterreich: Eine Untersuchung wirtschaftspolitischer Massnahmen anhand eines nach Sektoren disaggregierten oekonomischen Regionalmodells*. Universitaetsverlag Rudolf Trauner, Linz (versión revisada en 1996).
 -Schneider, F. (2001). *The calculation of the value added of infrastructure investments (traffic area) with the help of an econometrically estimated simulation model*. University of Linz.
 -Schreyer, C. (2004). *External Cost of Transport. Update study*. INFRAS-IWW, UIC, Zurich/Karlsruhe.
 -TRANSECON (2003). *Socio-economic Impact Assessment*. Deliverable 5, Tyne and Wear.