

El transporte y la contaminación. Posibles estrategias y soluciones

Juan Carlos CÁDIZ DELEITO

Director Técnico de la D.G. de Planificación Territorial

RESUMEN: La contaminación ambiental se configura como una de las más importantes restricciones al desarrollo de los transportes y en consecuencia al desarrollo de la actividad económica. Se plantean tres niveles para definir estrategias óptimas de política pública. Neutralidad ambiental y fiscal de un sistema integrado con los diferentes modos de transportes una vez internalizados los costes externos globales. Prioridad al transporte colectivo como más eficiente en términos de consumo energético, menor contaminación, menor uso de suelo. Selección del modo más idóneo para cada servicio en función de sus ventajas comparativas.

La transferencia de usuarios del vehículo privado al transporte colectivo en ámbito urbano aparece como el objetivo prioritario de la política ambiental en el sector transportes dado que la mitad del consumo de carburantes se realiza en medio urbano donde existen otros medios alternativos, por lo que no redundaría en descenso de actividad. La política fiscal sobre carburantes se muestra como efectiva como instrumento de actuación sobre la demanda. Se adjunta un caso práctico realizado para Madrid donde se observa que el usuario del vehículo privado es sensible al coste del combustible.

INTRODUCCIÓN

El sector transportes ha evolucionado durante las dos últimas décadas con un crecimiento especialmente intenso en comparación con otras actividades económicas. Desde 1970 la tasa de crecimiento anual de los transportes interiores en la CE ha sido del 3,1% en pasajeros y 2,3% en mercancías y a medio plazo, es previsible que se mantengan tasas elevadas en función de la ampliación de los mercados y la especialización de los sistemas de producción con economías de escala cada vez mayores.

Las previsiones de crecimiento en el ámbito de la UE del tráfico de pasajeros y de

mercancías teniendo en cuenta las tendencias de la motorización, de la integración del Espacio Económico Europeo y la evolución de los países de la Europa Oriental, configuran un escenario con crecientes problemas de contaminación y congestión.

En caso de mantenerse la actual distribución modal, con un tráfico de carretera que absorbe el 85-90% del total del transporte realizado, son previsibles mayores tensiones sobre la red vial, mayor necesidad de infraestructuras, mayor consumo de energía y mayores niveles de contaminación ambiental.

La carretera, el ferrocarril y el transporte aéreo constituyen las tres alternativas

básicas, sobre los que se articula el sistema de transportes. Los tres modos se caracterizan por ser consumidores intensivos de energía dentro del conjunto de las actividades económicas, con una participación creciente en la demanda global. *Durante la década de los 80, el consumo de energía de los transportes ha mantenido elevadas tasas de crecimiento, mientras que el resto de los sectores ha aplicado políticas de ahorro energético capaces de estabilizar sus consumos, o incluso reducirlos.*

En tanto que gran consumidor de energía el transporte es el sector que más contribuye al deterioro ambiental, especialmente en ambientes urbanos donde la contribución de los automóviles a la contaminación atmosférica alcanza valores de extrema gravedad. *En medio urbano los problemas de congestión y contaminación imponen la urgente necesidad de introducir nuevos procedimientos de control sobre la demanda de tráfico.*

El impacto ambiental aparece como la principal, y más urgente, limitación al desarrollo de las opciones de transporte más consumidoras de energía, en especial al uso indiscriminado del vehículo privado. La política de transportes es determinante en relación con la emisión de gases contaminantes ya que los vehículos de transporte consumen en España el 40-45% de la energía primaria y constituyen el sector que mayor nivel de gases emite.

En relación a las emisiones gases contaminantes de efectos locales CO, NOx, CxHx, Pb se han adoptado ya políticas correctoras con la incorporación del catalizador de tres vías, que posiblemente den resultados positivos a medio plazo cuando se haya producido una suficiente renovación del parque de automóviles. El rápido crecimiento en el consumo de gasolina sin plomo en los últimos años (del 2% en 1991 al 10% en 1993) permite ser optimista en este sentido, especialmente si se adoptan medidas que favorezcan la renovación del parque automovilístico.

Sin embargo, en relación a los gases que producen el efecto invernadero, CO₂ y NO₂, que no pueden considerarse contaminantes estrictamente, ya que son elementos

naturales de la atmósfera, no existen soluciones técnicas posibles y la única forma de reducir las emisiones es disminuir el consumo de energía global, lo que sin duda podría afectar al nivel de actividad económica. Los compromisos internacionales adoptados en relación a las emisiones de CO₂, solo podrán alcanzarse a través de una reducción del consumo, bien sea desplazando parte de la demanda hacia el transporte público, mejorando el control el tráfico, o en última instancia imponiendo limitaciones al uso del vehículo privado.

En consecuencia, el criterio para definir una política de transportes dirigida a mitigar el efecto invernadero, sin afectar los niveles de actividad del transporte y del conjunto de la economía, debe incidir prioritariamente en la mejorara de la gestión de la demanda transfiriendo tráficos hacia los modos energéticamente más eficientes.

Los estudios realizados sobre el nivel de eficiencia energética de los diferentes modos del transporte y en consecuencia, sobre su mayor o menor aportación de gases de efecto invernadero, medidos en función de los consumos específicos de energía en MJoule por kilómetro recorrido o tonelada transportada, indican como es lógico que los transportes colectivos son los que tienen consumos específicos menores.

Dentro de los transportes colectivos las ventajas comparativas favorecen aparentemente al transporte por carretera cuyos consumos son del orden 0,5 MJ-pas-km para el autobús y 0,7-1,0 MJ-trn-km para el camión. El ferrocarril presenta consumos algo superiores para pasajeros, del orden de 0,8-1 MJ-pas-km y similares para mercancías. El transporte aéreo presenta consumos superiores a 2 MJ-pas-km.

No obstante el consumo de energía del tráfico viario puede ser en algunos casos mucho mayor puesto que la congestión supone un incremento importante en el consumo global que debe ser considerada. Estudios realizados sobre la contaminación por efectos de la congestión indican valores del 100% de incremento en el consumo de energía. (1). Los consumos adicionales producidos por la congestión en corredores de

(1) Estudio de los costes derivados de la congestión en las ciudades. Instituto de Estudios del Transporte y las

Comunicaciones. Fundación Agustín de Betancourt. Mayo 1993.

mucho tráfico que inciden básicamente sobre el transporte por carretera y la importancia que esta tiene como factor de oferta en el uso del vehículo privado alteran el balance energético de los diferentes modos a favor del ferrocarril.

Por otra parte las ventajas energéticas y ambientales del ferrocarril depende de las tasas de ocupación, de su relación tracción eléctrica/tracción Diesel y de las fuentes de energía primaria utilizadas en cada país en la producción de energía eléctrica. En relación a las tasas de ocupación el ferrocarril presenta ventajas comparativas en los tráficos de cercanías, pero dadas sus características de oferta (rigidez, tiempos de viajes mas largos, retardos en centros de distribución de mercancías...) en trayectos interurbanos son habitualmente inferiores al transporte por carretera.

En cuanto a la energía de tracción también las ventajas comparativas del ferrocarril parecen bastante inciertas. La posibilidad de utilizar electricidad diversifica las fuentes de energía y evita los efectos de contaminación local, pero incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero. Desde 1993 existe una exención fiscal para el gasóleo de uso ferroviario que favorece la tracción Diesel frente a la tracción eléctrica, mejorando sus ventajas comparativas en relación a los costes y al efecto invernadero. La participación de la tracción eléctrica en el transporte ferroviario español era del 80% en 1991 y el 46% de la generación de energía eléctrica procedía de origen térmico (cuyo rendimiento es del orden del 33%) basado en el carbón, combustible de mayor incidencia en la emisión de CO₂.

En conclusión, teniendo en cuenta el papel estratégico que la energía desempeña en las economías modernas, el factor energético constituye un elemento susceptible de modificar las ventajas comparativas entre los diferentes modos de transporte. La incertidumbre sobre el abastecimiento de petróleo, que inevitablemente se traducirá a medio plazo en un incremento sensible del precio de los carburantes, y las restricciones impuestas por criterios ambientales, condicionan el futuro desarrollo del sector transportes, y la definición de políticas públicas.

Por otra parte las mejoras tecnológicas solo presentan buenas expectativas en relación a una diversificación de las fuentes de energía, lo que reducirá, en cierta medida la emisión de gases contaminantes de carácter local. En este sentido, los combustibles alternativos pueden reducir el impacto ambiental de los transportes y disminuir la presión que actualmente ejercen sobre la demanda de petróleo, aunque por el momento no son competitivos y requieren del apoyo público a través de subvenciones, exenciones fiscales, normalización y homologación de nuevos productos, y de normas cada vez más estrictas de calidad medioambiental para los combustibles convencionales.

Los objetivos de una política de transportes "sostenible", en su aspecto ambiental, se orientan a un diseño integrado del sistema de transportes con una adecuada planificación intermodal y una internalización más ajustada de los costes externos que cada uno genera. Una política de transportes compatible con un desarrollo sostenible de la economía, implica una actuación intensiva de apoyo a los transportes energéticamente más eficientes, especialmente en medios urbanos, con medidas que penalicen el uso del vehículo privado y modifiquen los hábitos de consumo.

DISEÑO DE ESTRATEGIAS ÓPTIMAS

En general, el transporte opera con niveles de precios inferiores a los costes en los que incurre al no internalizar los costes de inversión, ni de mantenimiento de las infraestructuras, ni de la externalidades que produce. No existe un sistema de precios relativos consolidado que tenga en cuenta el conjunto de los factores externos que conforman el coste de prestación del servicio.

No obstante, y dado que el transporte es el sector que más externalidades genera, tanto en el sentido positivo, como factor de integración y localización de la actividad económica, como en el negativo, en el que destacan los impactos sobre el medio ambiente, la eficiencia del sistema no puede ser medida exclusivamente en términos económico-financieros, sino de rentabilidad

social teniendo en cuenta tanto el conjunto de los beneficios, como el de los costes sociales que la actividad transporte implica.

En la actualidad, el uso libre de la red de carreteras, con la excepción de las autopistas de peaje y la política de subvenciones al ferrocarril, desvirtúa el sistema de precios que regula el mercado, especialmente en el transporte de mercancías. La carretera presenta un amplio espectro fiscal a través del impuesto sobre carburantes, circulación, matriculación., a la vez que una elevada factura al presupuesto público en inversión de infraestructuras. La creciente factura por conceptos no computables como la congestión, la contaminación ambiental, la accidentalidad.., es especialmente imputable al uso del vehículo privado que es el que presenta mayores ineficiencias energéticas, de uso de suelo viario y elevado índice de accidentalidad, pero que no está sometido estrictamente a las reglas del mercado. Por su parte, el modo ferroviario, socialmente menos costoso, presenta un balance presupuestario más negativo percibiendo subvenciones por valor de 6 Pta por cada Pta de valor añadido.

En definitiva el desequilibrado balance que sistema presenta y la no internalización de los costes externos conlleva a un replanteamiento del problema. En etapas de desarrollo en que los efectos positivos del transporte sobre la productividad del sistema y sobre la sociedad es claramente superior frente a los efectos negativos de la contaminación, congestión o accidentalidad, la definición de un sistema equilibrado de transportes puede no ser muy necesaria, pero a medida que el sistema evoluciona y los beneficios marginales decrecen mientras que los costes marginales son cada vez mayores se requieren planteamientos diferentes.

El primer criterio para diseñar un sistema de transporte sostenible considerado como un sector integrado, debe ser su neutralidad global en el medio social. De alguna manera, metodológicamente no resuelta, debería realizarse un balance de sus impactos positivos y negativos, internalizando beneficios y costes desde una perspectiva social, económica y ambiental.

En un segundo nivel y antes de intentar optimizar la asignación de recursos entre los diferentes modos de transporte, conviene diferenciar entre el transporte colectivo sometido a reglas de mercado y cuyos precios relativos deben ajustarse a criterios de competencia, demanda y el transporte privado que se rige por otro tipo de criterios no necesariamente económicos. La cuantificación de las externalidades y de los costes sociales no monetizables resulta difícil como regla general. Desde un punto de vista cualitativo, en cambio podemos asegurar que dichos costes son muy superiores en el caso del transporte privado. En este segundo nivel parece mas adecuado plantear en primer lugar el debate entre transporte colectivo y transporte privado donde se pueden establecer valoraciones comparativas claras, en contraposición con el debate entre carretera y ferrocarril en el que las ventajas de carácter ambiental son mas confusas.

En una tercera fase, y sólo en el ámbito del transporte colectivo se plantea la selección de los modos de transporte más adecuados para cada segmento de la demanda, con criterios homologables desde un punto de vista de la calidad del servicio, requerimientos de infraestructuras, rendimiento energético, emisiones contaminantes.

La consideración del sistema de transportes de forma integral sobre el que realizar balances globales e imputación de costes externos está ganando posiciones en la literatura técnica e institucional especializada y tal vez, la falta de metodología para llevarlo a la práctica constituye el problema básico. En este sentido la posición común adoptada desde el ámbito de los poderes públicos, comunitarios y nacionales, de favorecer el ferrocarril frente a la carretera impide definir unas bases adecuadas de análisis.

En el caso español y teniendo en cuenta nuestras peculiaridades territoriales, en cuanto a la distribución de población y de actividad, muy diferentes de las del resto de los países comunitarios, el sistema de transporte se basa en la carretera como modo dominante en función de sus características operativas. No obstante, la intermodalidad

propone la incorporación de todos los modos de transporte dentro de sus respectivos ámbitos de especialización. El ferrocarril se orienta hacia el tráfico suburbano de cercanías y al tráfico de mercancías, y se limita en los interurbanos a los corredores de alta densidad. El transporte aéreo hacia el tráfico insular y hacia los trayectos de largo recorrido.

En el caso del ferrocarril en ámbito interurbano, las consideraciones de rentabilidad social y ambiental adquieren significación especial. El ferrocarril se configura como el único modo sustitutivo de una carretera cada vez más congestionada y cuyas tendencias crecientes permiten prever escenarios insostenibles en ciertos corredores. En este sentido, la rentabilidad del ferrocarril se obtiene de una disminución de los costes de congestión de la carretera tanto como de sus propias cuentas de explotación y del uso de una red de infraestructuras ya existente y amortizada, pero aún así es difícil de obtener una rentabilidad positiva dado que las características de oferta del ferrocarril no resultan competitivas en el mundo actual.

Por otra parte, las exigencias de calidad del servicio sugieren otro tipo servicios ferroviarios dirigidas a desarrollar líneas de alta velocidad dentro de un marco más competitivo con el resto de los modos pero a su vez menos ventajoso desde el punto de vista ambiental. En relación al tráfico de mercancías, la eliminación de los puntos de conflicto entre diferentes modos, puede incrementar la competitividad del ferrocarril reduciendo tiempos de transferencia mediante intercambiadores que faciliten su acceso a los centros de distribución, puertos y aeropuertos.

En definitiva la acción integrada de todos los modos de transporte permite especializar los diferentes modos y potenciar un sistema global más eficiente en base a la complementariedad de los mismos. *En el transporte interurbano el objetivo es establecer un marco competitivo entre los diferentes modos, asignando a cada uno los costes de sus infraestructuras y de las externalidades que generan y permitiendo que las reglas del mercado impongan sus criterios de selección en función de las preferencias del consumidor.*

LAS SOLUCIONES AMBIENTALES DEL SECTOR PASAN POR SOLUCIONAR EL TRANSPORTE URBANO

En el transporte urbano la contaminación atmosférica y la congestión se configuran como problemas ambientales de extrema gravedad. El incremento de la contaminación del aire, especialmente en áreas metropolitanas donde la situación se agrava debido a su escasa capacidad de dispersión de elementos contaminantes, se debe cada vez más a las emisiones gaseosas de los vehículos de transportes. En cuanto al ruido ambiental, el análisis de las tendencias actuales relativas a la exposición de los ciudadanos al mismo tampoco permite ser optimista.

Los transportes urbanos adquieren consideración especial desde el punto de vista del consumo energético en función de la contaminación atmosférica que generan. En áreas metropolitanas el tráfico produce alrededor del 100% de las emisiones de CO y plomo, el 60% de las de hidrocarburos y NOx, el 50% de las emisiones de partículas y el 10% de las de SO₂.

Es en el ámbito urbano donde los vehículos privados consumen el 50% del combustible utilizado en el sector transportes con bajos niveles de eficiencia energética y donde existen modos colectivos alternativos *donde se plantea la estrategia más adecuada para reducir la aportación del sector transportes a la contaminación atmosférica global con el menor impacto posible sobre los niveles de actividad económica potenciando los modos colectivos en el transporte urbano.*

En medio urbano, la cuantía de los costes sociales derivados de la congestión y la contaminación ambiental introduce serias dudas sobre la eficiencia de una asignación de recursos basada en las preferencias del consumidor y justifican una intervención correctora de los poderes públicos con criterios distintos de la simple valoración coste-beneficio.

La búsqueda de instrumentos de gestión de la demanda que permitan incorporar otros criterios al de la preferencia del consumidor

constituye el verdadero reto de la política ambiental en el sector transportes.

En el contexto definido la Dirección General de Planificación Territorial ha realizado un estudio analizando el comportamiento de los usuarios y sus preferencias en la elección del modo de transporte en función de sus costes. Se han estimado las elasticidades de la demanda de transporte en relación al precio, identificando los elementos que intervienen en la toma de decisión, con objeto de analizar la posible eficacia del mecanismo de los precios como instrumento capaz de modificar las preferencias del consumidor transfiriendo usuarios del vehículo privado hacia los transportes públicos.

El análisis de la demanda del transporte urbano realizado incluye un estudio detallado de la composición de los tráficos diarios de vehículos privados, del número de usuarios del metro y de su comportamiento en determinados períodos recurrentes (una descripción detallada del mismo se incluye como Anexo).

Para analizar el fenómeno se ha utilizado la información estadística obtenida sobre 7 controles del tráfico en Madrid y sobre los pasajeros del Metro. La información disponible correspondiente a los pasajeros de autobuses no resulta estadísticamente válida dadas las características del sistema tarifario de los mismos, por lo que se ha prescindido de ella debido a su escasa fiabilidad.

En consecuencia, las relaciones de competencia entre transporte público y privado se han limitado en este estudio al análisis de demanda entre el metro y el vehículo privado. La exclusión del autobús como modo alternativo no afecta fundamentalmente a los objetivos del mismo de establecer los parámetros determinantes del comportamiento del consumidor entre el uso de su propio vehículo y el uso del transporte colectivo.

En esquema el procedimiento utilizado para establecer las preferencias del consumidor en relación a los precios ha sido el de observar las variaciones de demanda entre el metro y el vehículo privado a lo largo del mes, sobre la hipótesis contrastada de que este período responde a la secuencia de percepción y gasto de los salarios y que la disponibilidad

monetaria del público disminuye durante el transcurso del mismo. Este fenómeno es bien conocido de las instituciones bancarias que ajustan sus saldos de caja a funciones decrecientes de periodicidad mensual.

Los dos análisis realizados utilizando metodologías diferentes, apoyan la hipótesis propuesta de que las familias motorizadas con ingresos medios reducen el uso de sus vehículos privados a medida que disminuye su disponibilidad monetaria, lo que indica que la distribución modal del transporte urbano es sensible al coste variable percibido (básicamente el coste del combustible, pero también podrían incluirse los peajes urbanos, los costes de aparcamiento, etc.).

Las conclusiones del análisis, junto con otras evaluaciones sobre la repercusión de los coste del combustible en los transporte públicos, son las siguientes:

- *Se observa cierta sensibilidad del usuario del vehículo privado a los costes percibidos (combustible, peajes, aparcamiento...). El fenómeno se observa a pesar del bajo precio en términos reales de los combustibles por lo que se puede suponer que la elasticidad de la demanda de transporte en vehículo privado al precio es elevada.*
- *El comportamiento del usuario del vehículo privado en ámbito urbano se manifiesta razonablemente elástico al precio de la gasolina.*
- *El coste del combustible en transportes colectivos no superan en ningún caso el 10-15% de los costes totales por lo que incrementos moderados del mismo tendrían escasa repercusión sobre los mismos.*
- *El transporte colectivo no compite con el privado en términos de costes reales, comparando tarifas con los costes del uso del vehículo (depreciación, mantenimiento, seguros, impuestos fijos, etc.), sino en términos de calidad del servicio (frecuencia, tiempo, confort).*

Los resultados obtenidos indican que una política de precios que incida sobre los costes percibidos del usuario del vehículo privado, y no sobre las tarifas del transporte público, podría ser efectiva para modificar la demanda del transporte urbano.

El precio del automóvil no se traduce en una reducción del uso del vehículo privado. En general, los costes fijos del automóvil

precio del mismo, impuestos de matriculación, seguros, etc.) que intervienen en el proceso de adquisición del mismo y condicionan el incremento o renovación del parque, no intervienen en el uso del mismo. En el estudio realizado sobre el tráfico en Madrid se observa un tendencia creciente del mismo debido al crecimiento del parque, pero dado que el estudio no pretende analizar esa tendencia y que solo se ha estudiado una serie de dos años los resultados en este sentido no tienen validez estadística.

El comportamiento del usuario del automóvil depende básicamente de los costes percibidos (carburantes, peajes, aparcamientos..) y de ciertos factores de necesidad, en los que interviene la calidad del servicio del transporte público como modo alternativo.

Teniendo en cuenta las diferencias existentes entre las tarifas actuales de los transportes públicos y los costes "percibidos" por el usuario del vehículo privado, entre 5 y 10 veces superior en función del tipo y del trayecto, no parece que una reducción de las tarifas del metro o del autobús pudiera tener ningún efecto sobre las preferencias de los usuarios del automóvil, e incluso, si dicha reducción llegase a traducirse en una pérdida de calidad en el servicio podría afectar negativamente a los usuarios de los mismos. *La demanda de transporte público no depende tanto de las tarifas como de la calidad del servicio* (comodidad, puntualidad y frecuencia) y en su contra actúa la inclinación que ejerce el vehículo privado sobre los usuarios que pueden soportar su coste superior.

El impuesto sobre el carburante sería el instrumento más eficaz para actuar sobre la demanda de transporte privado en medio urbano (fácil de gestionar, de acción inmediata y flexible); sin embargo, su mayor inconveniente es la imposibilidad de separar el consumo en ámbito urbano del de ámbito interurbano, y la necesidad de que la política sobre carburantes se adopte por igual entre todos los países del entorno. La situación española con un nivel de imposición de los mas bajos de la UE justifica todavía más este

instrumento de control de la demanda. (En marzo de 1994 el precio de la gasolina super era en España algo inferior a 110 pts mientras que la media en los países de la UE era de 130 pts aproximadamente).

El peaje urbano presenta el inconveniente de su difícil gestión, aunque los desarrollos que están en estudio actualmente mediante sistemas informáticos no descartan su aplicación a medio plazo. Este instrumento ya ha sido utilizado con relativo éxito en París y en Londres, donde la imposición de una tarifa simplificada e integrada ("carta naranja" "Travel card") para circular por la ciudad produjo una reducción en el caso de París de 2-3% del número de vehículos diarios, y en el caso de Londres del 10-15 % de los vehículos que circulaban en horas punta. En Hong-Kong se ha utilizado el sistema de peaje sobre autopistas periféricas con reducciones de un 15 % de la congestión.

ANEXO⁽²⁾ **DEMANDA DE TRANSPORTE URBANO**

La diversificación horizontal caracterizada por la oferta de bienes y/o servicios substitutivos próximos aumenta el excedente de los consumidores y por extensión el de la sociedad en su conjunto. Si los individuos pueden elegir el modo de transporte más acorde con sus preferencias, entran en juego tanto las restricciones presupuestarias (tiempo y dinero) como la heterogeneidad de las preferencias por los bienes en función de su naturaleza pública o privada y por razones de calidad.

Mientras el ferrocarril (urbano-metro e interurbano) es un bien público gestionado en régimen de monopolio público, en la carretera compiten servicios privados y públicos, independientemente de que los operadores sean empresas privadas. En consecuencia, un estudio riguroso exige una triple diferenciación: ferrocarril, carretera-público (autobús), carretera-privado (vehículo particular).

(2) «Estudio sobre los consumos y costes de los diferentes modos de transporte» realizado por la empresa consultora SET SOPORTE INFORMATICO SL, por encargo de la Dirección

General de Planificación Interregional de Grandes Infraestructuras. Junio 1993.

El estudio realizado tiene por objeto analizar el comportamiento de la demanda de transporte urbano, considerando las preferencias de los usuarios ante las alternativas disponibles metro, autobús, y vehículo privado. A los efectos de este trabajo las diferencias que interesa valorar son las que conducen al usuario a elegir para sus traslados urbanos un medio público o bien su automóvil privado.

El análisis de la demanda del transporte urbano realizado incluye en su planteamiento inicial un estudio detallado de la composición de los tráficos viarios de vehículos privados, del número de usuarios del metro, del autobús, y de su comportamiento en determinados períodos recurrentes. Sin embargo, una vez procesada la información estadística disponible en el Consorcio de Transportes de Madrid, se ha prescindido de los datos sobre el número de pasajeros de la red de autobuses debido a su escasa fiabilidad, dadas las características de su sistema tarifario.

Las relaciones de competencia entre transporte público y privado se han limitado en este estudio al análisis de demanda entre el metro y el vehículo privado, en el supuesto de que la exclusión del autobús como modo alternativo no afecta a los objetivos del mismo de establecer los parámetros determinantes del comportamiento del consumidor y su especial sensibilidad al coste del transporte. A los efectos del análisis se han utilizado los datos referentes a Madrid tanto en lo que se refiere al Metro como a los aforos de circulación viaria a lo largo del mes.

El análisis de substitución de un modo de transporte por otro permite abordar dos cuestiones específicas con implicaciones importantes en política de transportes (infraestructuras y precios-peajes e impuestos sobre carburantes): i) se pretende medir la respuesta de los ciudadanos a las inversiones en infraestructura que mejoran la capacidad y la calidad, reducen los riesgos y el tiempo de servicio en un modo y no en el otro; ii) se trata de estimar la elasticidad renta a corto

plazo en condiciones de infraestructura estable en ambos modos, en el supuesto de que existen diferencias perceptibles en la calidad y en el coste variable de utilización.

En esquema el procedimiento utilizado para establecer las preferencias del consumidor en relación a los precios ha sido el de observar las variaciones de demanda entre el metro y el vehículo privado a lo largo del mes, en la consideración de que este periodo responde a la secuencia de percepción y gasto de los salarios y que la disponibilidad monetaria del público es recurrente durante el transcurso del mismo. Este fenómeno es bien conocido de las instituciones bancarias que ajustan sus saldos de caja a funciones decrecientes de periodicidad mensual.

Como procedimiento de trabajo se ha formulado en una primera aproximación al problema, la hipótesis nula de la no existencia de una transferencia de pasajeros del vehículo privado al metro durante los períodos estudiados. Una vez rechazada esta hipótesis en función de los resultados analíticos, se propone la hipótesis contraria de que las familias motorizadas con ingresos medios reducen el uso de sus vehículos privados a medida que disminuye su disponibilidad monetaria. La aceptación de esta hipótesis indica que la distribución modal del transporte urbano es sensible al coste "percibido" por el usuario del vehículo privado (básicamente el coste del combustible, pero también podrían incluirse los peajes urbanos, los costes de aparcamiento, ...)

DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Para analizar el fenómeno planteado se ha dispuesto de la información que se presenta en la tabla "Información sobre 7 controles del tráfico y viajeros del metro" de Madrid(3) y que contiene:

- Información de 7 estaciones de aforos de vehículos, suministrada por el Área de Circulación y Transportes del Ayuntamiento

(3) La información utilizada ha sido facilitada por D. Luis M^a ÁLVAREZ VÁZQUEZ del "Consorcio Transportes Madrid" y por D.

Sebastián de la Riva del "Área de Circulación y Transporte del Ayuntamiento de Madrid".

de Madrid: número de vehículos diarios contabilizados en cada una de las estaciones de aforo, en los meses de mayo, octubre y noviembre de 1991 y 1992.

- Estación "ES01" Paseo de la Castellana
- Estación "ES02" Calle de la Princesa
- Estación "ES03" Doctor Esquerdo
- Estación "ES04" San Francisco de Sales
- Estación "ES05" Santa María de la

Cabeza

- Estación "ES08" Príncipe de Vergara
- Estación "ES09" Calle de Atocha

-Número de viajeros del metro de Madrid, suministrada por el Área de Transportes Metro y EMT del Consorcio Transportes de Madrid, contabilizados diariamente por torno y venta de billetes durante los meses de mayo, octubre y noviembre de 1991 y 1992. Esta información se identifica en la columna denominada "metro".

Las columnas de la tabla generadas durante el proceso de cálculo son las siguientes:

"tendr" empieza en el 1 de mayo de 1991 con el valor "1", asigna a cada uno de los días analizados el número de días transcurridos desde el 1 de mayo de 1991 incluido.

"diames" día del mes.

"semana" número de cada día de la semana. Como el 1 de mayo de 1991 era miércoles se le asigna al miércoles el número 1 resultando:

- 1 miércoles
- 2 jueves
- 3 viernes
- 4 sábado
- 5 domingo
- 6 lunes
- 7 martes

PASAJEROS DE TRÁFICO VIARIO Y DE METRO

N	DIA	MES	SEMANA	METRO	ES01	ES02	ES03	ES04	ES05	ES08	ES09
1	1	Mayo	1	464734	42457	33643	52670	20493	47108	28672	15768
2	2	Mayo	2	364564	39093	29900	55180	18123	46601	26063	14409
3	3	Mayo	3	874011	79185	50354	84586	42107	77006	43837	22268
4	4	Mayo	4	542362	61275	37807	79172	37130	57910	33083	19510
5	5	Mayo	5	407736	50367	35200	62008	24752	41671	26500	14302
6	6	Mayo	6	1445361	90719	60314	72593	37775	88717	48890	22842
7	7	Mayo	7	1485466	88616	56768	85972	38097	80833	49146	23780
8	1	Octubre	1	1522296	91568	62902	82098	34650	81437	48400	24719
9	2	Octubre	2	1496995	87673	55549	83633	34683	78313	48654	63846
10	3	Octubre	3	1523539	102329	66405	101079	40718	85687	55910	25973
11	4	Octubre	4	747975	85009	55533	74313	26753	77062	41164	20101
12	5	Octubre	5	466085	50541	57615	51251	19388	57817	38299	17228
13	6	Octubre	6	1441293	83970	63252	90505	32799	85711	54165	22335
14	7	Octubre	7	1514749	82476	61394	87758	28033	81218	47529	22875
15	1	Noviembre	1	539054	47528	44907	48140	16933	50725	31233	16925
16	2	Noviembre	2	1451414	84139	57141	85376	33152	80543	44698	22826
17	3	Noviembre	3	1472438	87286	53795	88276	37372	87329	49106	23227
18	4	Noviembre	4	675151	70147	48525	65784	27591	74223	36585	18466
19	5	Noviembre	5	471140	56507	47045	42627	22027	50575	37063	16705
20	6	Noviembre	6	1458664	87051	61783	86698	29382	91911	62187	23149
21	7	Noviembre	7	1445306	82464	60858	82963	33098	84086	70442	23280
22	1	Diciembre	1	14522418	85567	58488	88339	34871	81210	50021	23412
23	2	Diciembre	2	1415258	86318	58119	90859	34687	80126	50192	22312
24	3	Diciembre	3	1406209	98393	63749	36941	89201	57695	24854	
25	4	Diciembre	4	674917	72843	50379	75246	30627	75189	47542	21396
26	5	Diciembre	5	395034	49844	47000	54795	23556	57125	41110	19480
27	6	Diciembre	6	1387034	87247	51713	87579	31239	83914	51418	23022
28	7	Diciembre	7	1394759	88306	58538	84493	32846	81974	52496	21564
29	1	Diciembre	1	1387519	85936	56426	81820	31651	80983	51522	22106
30	2	Diciembre	2	1374705	89028	57680	84783	37104	81521	54851	22321
31	3	Diciembre	3	1399980	92524		89622	32809	98256	53862	23003
1	7	Enero	1	1362362	90772	64300	94444	36455	85776	65381	24426
2	1	Enero	2	1402637	88929	55854	91988	37830	82314	61697	23803
3	2	Enero	3	1382366	88647	54184	93391	36675	82327	60563	24333
4	3	Enero	4	1363619	95903	62694	98981	41677	89240	59483	26436
5	4	Enero	5	681055	71467	53820	78089	32327	69141	45844	20034

TENDEN	DIAMES	SEMANA	METRO	ES01	ES02	ES03	ES04	ES05	ES08	ES09
159	6	5	479327	57945	42440	61561	26613	54254	35989	14553
160	7	6	1395082	90271	59024	95439	37986	82980	64500	26821
161	8	7	1375007	88092	54739	89952	38741	80803	61014	25070
162	9	1	1487259	84566	54959	99211	39457	78331	61643	24354
163	10	2	1485879	84850	56986	94202	38547	76265	58709	23919
164	11	3	1476499	91364	58623	97030	39377	85958	61374	25172
165	12	4	549514	61941	46605	60483	27378	68288	41069	19766
166	13	5	430945	57565	45049	57993	24457	55869	33347	15109
167	14	6	1457301	89060	56333	95933	40666	84895	58616	26308
168	15	7	1526015	85586	52651	92625	40048	82553	61356	24347
167	14	6	1457301	88060	56333	95933	40666	84895	58616	26308
168	15	7	1526015	85586	52651	92625	40048	82553	61356	24347
169	16	1	1488457	85404	54946	90918	39381	79173	60044	23984
170	17	2	1485684	86418	51489	93563	38486	81687	60642	24188
171	18	3	1484424	92127	58734	98297	40009	86222	63657	24192
172	19	4	772840	66664	53236	78666	27632	67606	43437	20464
173	20	5	448364	55135	47140	59880	25453	52097	32537	13326
174	21	6	1484449	87889	58853	95080	38698	85401	54500	25120
175	22	7	1482962	83492	54453	91698	41043	82600	57200	23736
176	23	1	1532562	86909	47830	88847	37736	80675	53976	25128
177	24	2	1487402	85748	51969	89995	38140	81314	56069	24039
178	25	3	1539033	93712	62073	95656	39610	87609	60321	23238
179	26	4	743193	59507	51642	75170	32321	62510	42692	26715
180	27	5	457051	55898	47607	58104	28644	59913	40746	14329
181	28	6	1524125	88740	62132	94950	39010	85301	62290	26083
182	29	7	1556401	90653	54757	92652	38376	81433	61238	24155
183	30	1	1560919	89758	54954	92045	36550	81132	59340	22650
184	31	2	1532204	89777	57282	96663	40581	82811	59055	24463
185	1	3	527314	64246	48284	62630	28044	46305	33557	14260
186	2	4	626374	66265	49707	78884	29299	53079	38948	19414
187	3	5	443988	56386	44659	58431	26173	44083	29114	13090
188	4	6	1505327	94438	62891	100826	44239	83435	57611	27276
189	5	7	1547113	95662	60220	96844	40540	79323	59969	24013
190	6	1	1546850	89298	56745	91412	40217	75756	55583	23312
191	7	2	1490142	87846	57409	95183	39956	79490	57705	24449
192	8	3	1518795	96755	64687	102433	42011	84801	63318	26496
193	9	4	634096	61150	48962	66697	26588	54773	37951	21401
194	10	5	495944	60197	46661	60525	23512	51460	36409	17062
195	11	6	1555297	92684	62670	98185	41933	81016	55639	25222
196	12	7	1536362	89867	56538	88012	39513	77244	56132	24770
197	13	1	1559710	86716	52343	90193	37747	74657	54925	25589
198	14	2	1553558	88409	54644	93332	38211	75617	54744	24708
199	15	3	1544998	97143	67807	101437	41384	83833	56474	27146
200	16	4	751094	68351	58876	79739	29720	63756	42964	21495
201	17	5	472959	57313	49318	58382	24720	50337	36392	19119
202	18	6	1471535	90471	58324	46952	42464	82291	58343	22604
203	19	7	1532682	87656	53449	93567	39206	72842	55511	24375
204	20	1	1523945	90785	52134	94046	37861	75279	53327	24055
205	21	2	1540281	87538	52604	92892	39089	75037	54403	25001
206	22	3	1534330	96567	66129	99576	41217	81775	58783	26326
207	23	4	746436	66776	55740	69966	27538	67211	40920	23293
208	24	5	496514	59226	46198	54811	27836	55469	36870	18978
209	25	6	1495663	91487	60260	96105	46410	82421	60000	25785
210	26	7	1491958	88502	55823	93300	39826	77330	53468	24342
211	27	1	1524894	88974	52269	91521	38178	78675	54612	23263
212	28	2	1497691	91009	53942	93631	38982	76423	55617	25846
213	29	3	1565157	98934	63010	102795	43104	84074	60782	28160
214	30	4	782577	72230	60638	80810	27195	70422	46008	21401
367	1	3	489918	66000	53437	55281	29250	62152	43801	17641
368	2	4	478757	70924	50291	57097	28970	62449	43908	18841
369	3	5	448109	66421	48370	62189	30585	70807	45583	18156
370	4	6	1417304	99495	59676	89622	44528	93783	64177	22649
371	5	7	1441295	100622	58265	89342	45889	92184	62706	22867
372	6	1	1529880	103037	59054	89653	45781	92970	63537	22752
373	7	2	1477567	105149	60038	92538	46005	94083	65113	20343
374	8	3	1467187	111622	59821	97988	48649	97983	70053	22991
375	9	4	737727	94734	53722	79873	40962	86429	55228	23376
376	10	5	457573	79550	47422	61354	35454	74726	44439	22207
377	11	6	1413948	101015	51160	89731	45436	93377	64839	20878
378	12	7	1497934	101896	54888	88255	44542	92329	64071	24129
379	13	1	1529802	99737	55299	91236	44156	96332	65087	23294
380	14	2	1452205	102894	57177	93483	44060	100559	65165	22560
381	15	3	477990	67280	46084	54593	28671	67959	37893	20495
382	16	4	557735	72150	46469	62148	33271	71602	44544	23006

TENDEN	DIAMES	SEMANA	METRO	ES01	ES02	ES03	ES04	ES05	ES08	ES09
383	17	5	400914	57997	44858	55246	30434	65836	41735	21186
384	18	6	1389203	98218	54047	91519	44475	95225	66388	21884
385	19	7	1479226	96009	56902	89178	44167	91862	65724	20640
386	20	1	1451005	97616	63410	87213	44403	90470	65580	21050
387	21	2	1412104	99892	62311	89588	44837	93041	66750	22009
388	22	3	1410783	103275	67973	94316	46561	97966	69876	24807
389	23	4	703868	88429	64353	78358	37937	84074	54769	23513
390	24	5	453048	71366	45143	66156	31467	71203	42021	19571
391	25	6	1407097	95933	44610	88034	43962	92020	65708	21323
392	26	7	1433899	96936	44317	88077	43659	91946	65281	23171
393	27	1	1392868	100612	45561	90550	44683	94781	66454	22821
394	28	2	938970	98156	55181	87389	42103	90245	65588	21920
395	29	3	1427506	104206	63716	95249	44663	96242	68354	22937
396	30	4	711863	92261	56607	78046	37924	85217	55318	24157
397	31	5	460281	85396	51853	66647	31792	75591	52755	21430
520	1	2	1331826	104615	58552	98975	49747	95365	64399	20558
521	2	3	1347804	105308	61237	102762	48901	98757	69086	20745
522	3	4	652944	88586	61632	80953	38594	82871	51738	21798
523	4	5	474514	79254	55141	71506	33975	76729	42889	19783
524	5	6	1377484	96473	62443	98588	45189	93560	63541	20546
525	6	7	1436644	97724	61514	102478	44586	92638	63302	19482
526	7	1	1444600	95418	66570	102277	44641	93045	64371	20013
527	8	2	1461091	98835	67970	101157	45863	95363	65939	21239
528	9	3	1463473	100626	68245	103047	47476	99041	66323	22898
529	10	4	671282	85889	65830	80365	35566	80922	49545	23186
530	11	5	437618	74229	53072	62843	28497	66726	39249	19221
531	12	6	395958	66484	47938	66768	28927	67439	41537	17386
532	13	7	1402655	93805	60675	101174	44836	94701	64563	20884
533	14	1	1524281	94364	60943	101210	45742	93391	65103	21300
534	15	2	1493402	102116	65754	102641	46438	93766	66267	21777
535	16	3	1525175	93557	67217	104438	46625	87961	66860	22484
536	17	4	774663	89410	68562	92386	40288	84986	55346	22376
537	18	5	528533	80396	61990	74548	35447	76516	46469	20041
538	19	6	1492629	92099	55604	100534	45929	91642	64188	19683
539	20	7	1495587	95713	54505	102252	47141	91658	62695	21932
540	21	1	1518415	95132	50248	103694	46560	92380	67217	22633
541	22	2	1510403	97479	46523	104822	48541	94317	66297	22211
542	23	3	1498993	102451	56968	109545	50386	98478	65793	24465
543	24	4	740299	91595	57217	91438	43155	86013	54122	24781
544	25	5	499497	81730	53204	74789	35852	77184	42765	20087
545	26	6	1518610	80609	55563	100293	42620	90521	61334	21738
546	27	7	1529314	93141	56610	101588	45804	91713	62400	21729
547	28	1	1530366	95691	57732	98868	47380	91906	60452	22300
548	29	2	1491603	97979	58491	99586	47010	94253	61379	22887
549	30	3	1557902	101225	58008	104943	48959	97040	62105	23362
550	31	4	748956	91434	60492	90948	41331	85675	51325	23927
551	1	5	541568	77695	55845	77120	35778	73441	43708	20379
552	2	6	1488721	94193	58236	103616	46519	94768	63186	21441
553	3	7	1519846	94525	57283	100856	45991	91980	64110	22144
554	4	1	1537293	96258	60661	102313	46968	92502	67712	22068
555	5	2	1521201	98358	58921	103390	47223	94065	67496	22900
556	6	3	1495195	102993	63288	106926	48117	98043	69898	24801
557	7	4	702425	84766	59093	82620	39871	82387	52426	24495
558	8	5	488543	722666	55563	65317	33709	70854	43545	20543
559	9	6	434822	56429	48871	66084	29553	65766	40122	17484
560	10	7	1506141	93788	60906	103064	47168	93329	64900	21356
561	11	1	1517611	95905	61764	103523	47765	93135	65389	23293
562	12	2	1551490	98823	62804	103887	49838	93903	66244	22921
563	13	3	1536773	104928	65645	110132	49974	98937	69193	24201
564	14	4	793529	91733	61375	91793	44132	86303	57445	23674
565	15	5	508553	78457	57148	76686	35627	74523	46955	20769
566	16	6	1528736	93052	61072	102503	46452	92538	64435	22251
567	17	7	1532812	94238	59828	104268	47046	91244	64663	22146
568	18	1	1508117	95518	61138	102032	47107	91641	66001	22087
569	19	2	1511712	98476	61951	104073	48016	92856	66975	22705
570	20	3	1490747	101644	64530	108926	50616	97983	70054	24456
571	21	4	745658	88477	53865	90297	42275	83687	56246	23953
572	22	5	522782	72942	57681	76809	37164	74943	47279	19036
573	23	6	1447048	83743	55100	89149	41926	77897	56567	19416
574	24	7	1478445	123109	78432	139020	62456	120680	88208	28947
575	25	1	1503421	96308	61175	102732	47028	92065	67466	22270
576	26	2	1429636	95872	60956	102566	46249	91729	68044	23439
577	27	3	1514660	103773	64710	109476	50434	97143	71144	24714
578	28	4	760287	90151	62003	91112	43258	85628	58210	23411
579	29	5	538673	77589	58199	78189	37567	76089	51293	20477
580	30	6	1519241	92423	61597	103471	45901	91043	66873	19942

ANÁLISIS REALIZADO POR JUAN ANTONIO CAÑADA VICINAY

En este análisis se considera que los desplazamientos por razones de actividad profesional se caracterizan por su rigidez, ya que el individuo acude necesariamente a su punto de destino y decide el modo de transporte en función de sus preferencias y restricciones. Por ello limitaremos el estudio a los días laborables, excluyendo los sábados y festivos.

No se consideran posibles cambios en las infraestructuras durante los períodos contemplados, por lo que resulta razonable trabajar con la hipótesis de estabilidad en la oferta, quedando, por tanto, excluidas las transferencias de un modo a otro derivadas de mejoras relativas en la prestación del servicio, sea por razones de seguridad, de ampliación de capacidad del tráfico rodado o

de aumento de frecuencias en el metro, o apertura de nuevas vías.

La estabilidad en las características de la oferta intermodal permite aproximar en condiciones aceptables la elasticidad renta a corto plazo. A tal efecto se considera que:

- la demanda de servicios de transporte urbano está principalmente vinculada a la actividad productiva de la ciudad, es por tanto rígida.
- los individuos reciben sus rentas salariales con regularidad a fin de mes y, por tanto, su renta disponible decrece monótonamente a lo largo del siguiente período.

- existen diferencias perceptibles en el coste de uso de los modos alternativos: se considera que el precio del billete de metro (55 pta. con bono-metro) es inferior a los costes monetarios (carburantes, aparcamiento -ORA u otros no contratados

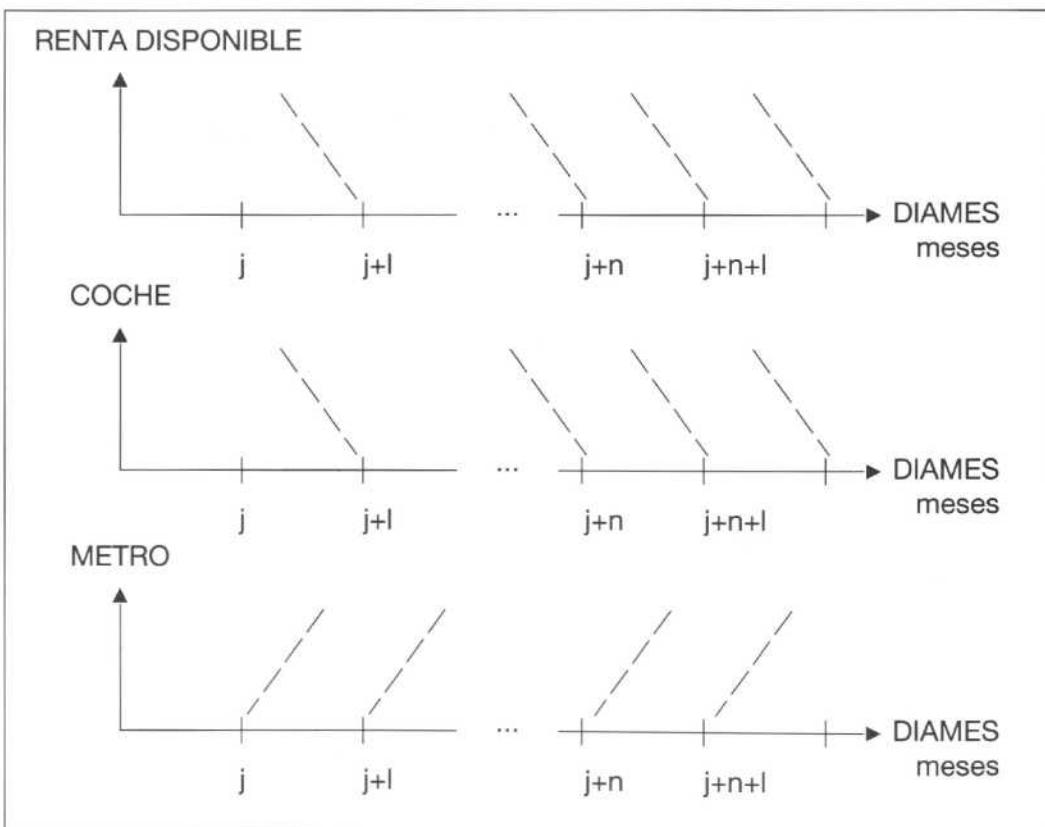


Figura 1. Evolución respecto a la tendencia

previamente por períodos mensuales) y no monetarios (distribución aleatoria de la duración del servicio, riesgo de siniestro) que acompañan el uso de coche particular.

La hipótesis de partida es que los individuos perciben un incremento de la utilidad marginal del dinero, evaluada sobre la renta disponible, a lo largo del mes y que tienden a substituir calidad por dinero. Cabe, por ello, sugerir una propensión creciente al abandono del vehículo privado en favor del transporte público durante los días laborables a medida que avanza el mes.

La sustitución entre modos de transporte urbano es una buena aproximación de las respuestas del público a la pérdida de liquidez entre dos percepciones de salarios. A lo largo del mes cabe, por tanto, esperar una evolución positiva del uso del metro y negativa del coche particular respecto a sus tendencias respectivas.

Este es el modelo que nos proponemos contrastar, pese a que los datos no permiten una aproximación completa. En el supuesto de que la transición del coche al taxi responde a motivos ajenos a los aquí tratados, se considera que una parte de los abandonos del coche en beneficio del transporte público va al metro y su complementaria al autobús: sólo la primera puede ser identificada por los datos, no la segunda, la cual no afecta diferencialmente al tráfico rodado en la medida en que la frecuencia de las líneas de superficie permanece estable.

La figura I recoge gráficamente la evolución respecto a sus propias tendencias de la renta disponible, RD, y del uso de los modos alternativos METRO y del COCHE a lo largo del mes, de forma que:

- RD = D(diames); D' < 0, la renta disponible disminuye durante el mes.
- COCHE = C(RD) = K(diames); C' > 0
 - > K' < 0, el uso del coche disminuye a lo largo del mes con la renta disponible.
- METRO = M(RD) = N(diames); M' < 0
 - > N' > 0, el uso del metro aumenta a lo largo del mes con la caída de la renta disponible.

Con relación a su tendencia particular, el modelo predice una evolución en diente de sierra de periodo mensual descendente para el automóvil y ascendente para el metro, que

siguen en positivo y negativo la evolución de la renta disponible de origen salarial.

Estos hechos se abordan econometricamente mediante estimaciones por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y por modelos autorregresivos con inclusión de heterogeneidad complementaria de la inercia de la propia serie.

Los modelos estimados, en especificaciones lineal y semi-doble logarítmica, son interactivos entre los modos de transporte suburbano y de superficie:

MCO:

lineal

$$Y_t = \mu + \sum_j (\beta_{t-j} \times Y_{t-j}) + \gamma \times TENDEN + \delta \times DIAMES + \zeta \times Z_t + \varepsilon;$$

doble-log

$$L(Y_t) = \mu + \sum_j (\beta_{t-j} \times L(Y_{t-j})) + \gamma \times TENDENC + \delta \times DIAMES + \zeta + L(Z_t) + \varepsilon;$$

o también:

$$Y_t = \pi_j (Y_{t-j})^{\beta_{t-j}} \times (Z_t)^{\zeta} \times \text{EXP}(\mu + \gamma \times TENDENC + \delta \times DIAMES + \varepsilon).$$

donde:

Y_t y Z_t representan los tráficos registrados en los modos alternativos, en tanto que variables dependiente e independiente respectivamente.

Y_{t-j} indica el retardo de j períodos de la variable endógena (en nuestro caso 1 y 7 con el fin de captar los efectos de los días anterior y homólogo de la semana previa).

TENDENC y DIAMES recogen el calendario en tiempo sucesivo y en intervalos mensuales.

μ la constante o punto de corte con el eje de ordenadas.

ε

termino estocástico que sigue una distribución normal de sucesos independientes.

$L(Y)$ y $L(Z)$ ilustran los tráficos de ambos modos en escala logarítmica.

En este punto cabe señalar que, dada su naturaleza las variables que indican el calendario son abordadas exclusivamente en forma lineal. El interés de contemplar estas dos especificaciones reside en que mientras la lineal informa sobre los efectos absolutos (derivada), la doble logarítmica lo hace sobre los relativos (elasticidad).

ARMAX:

$$y_t = \mu + \gamma X TENDENC + \delta x DIAMES + \zeta x Z_t + \phi_1 x y_{t-1} + \dots + \phi_p x y_{t-p} + \varepsilon_t + \Theta_1 x \varepsilon_{t-1} + \dots + \Theta_q x \varepsilon_{t-q}$$

$$y_t = (1-L)^d Y_t$$

donde ϕ , Θ son los coeficientes que evalúan el efecto de los retardos de la variable dependiente y del error de estimación. L es el operador de retardo, d es el orden de la diferenciación y y_t es la variable Y_t diferenciada d veces.

Cabe esperar un comportamiento opuesto a lo largo del mes entre el tráfico de superficie y el metro. Mientras el primero disminuye como consecuencia de las disidencias inducidas por la caída de la liquidez intra-mensual, el segundo aumenta en la medida en que recoge parte de los flujos que

abandonan el automóvil en el proceso continuo de substitución entre calidad y dinero. Subrayemos el término «parte» ya que no trata del total de esos abandonos: su complemento, el conjunto de ciudadanos que optan por el autobús como segunda preferencia, no es posible detectarlo ya que no se dispone de datos diarios adecuados (marcadores de bonobús y billeteaje vendido en los coches de la EMT).

Por otro lado, en la medida en que los registros de tráfico rodado no diferencian entre coche y autobús y en que no existe evidencia razonable respecto al cambio (aumento) de frecuencias de la EMT para captar los contingentes intra-mensuales que le llegan del coche conservando la calidad del servicio, cabe pensar que la evolución mensual del tráfico rodado responde

Tabla I. Substitución entre modos de transporte urbano: automóvil

	(estimaciones MCO)						(estimaciones ARMAX)			
	Y = COCHE			Y = Log (COCHE)			Y = COCHE	Y = Log (COCHE)		
cte.	,20*E6 (16,2)	,20*E6 (12,1)	,20*E6 (7,7)	7,557 (30,6)	7,805 (18,9)	8,026 (11,8)	Y[-1] (,4)	,029 (-1,5)	-,096 (-1)	-,005 (-,6)
Y[-1]		0,008 (0,2)	0,017 (0,4)		-,0025 (-,9)	,0007 (,3)	Y[-2] (4,5)	,257 (,2)	,009 (5,0)	,250 (,3)
Y[-7]			0,002 (0,0)			-,0036 (-,1)	DIAMES	-666,1 (-2,7)	-331,6 (-1,4)	-0,016 (-3,0)
TENDENCI	126,9 (11,8)	123,9 (10,3)	123,2 (8,9)	,0003 (12,6)	,0003 (11,3)	,0003 (10,1)	TENDENCI	136,9 (9,9)		,0003 (10,5)
DIAMES	-348,8 (-1,4)	-379,6 (-1,5)	-360,3 (-1,4)	-,0008 (-1,4)	-,0009 (-1,7)	-,0009 (-1,6)	METRO	,141 (12,3)	,139 (14,9)	
METRO	0,141 (16,2)	0,137 (14,7)	0,135 (13,6)				log (METRO)		,358 (14,8)	,362 (19,6)
log (METRO)				,377 (21,3)	,361 (19,6)	,346 (17,7)	μ	,12*E6 (4,9)	,23E6 (9,0)	4,761 (8,6)
							$\Theta[-1]$,272 (2,4)	,121 (1,1)	,356 (3,5)
R2a	,778	,751	,717	,841	,821	,785				,057 (,6)
D-W	1,58	1,93	1,90	1,77	1,90	1,88				
RHO	,208	,033	,048	,113	,051	,061				
n,obs	131	130	126	131	130	126				

t-ratio entre parentesis

d-w estadístico Durbin-Watson; rho coeficiente de autocorrelación de los errores.

fielmente a la del vehículo particular. Esto es así en cuanto a la variación (modelo lineal) pero no por lo que se refiere a la elasticidad, ya que la variación porcentual $[d(\log(Y)=d(Y)/Y]$ está afectada por el peso de la EMT en el tráfico de superficie.

El modelo subestima, en su signo negativo, la elasticidad DIAMES que aproxima la elasticidad renta a corto plazo del uso de coche particular. Por el contrario, en el caso del metro la elasticidad DIAMES, positiva, es captada con precisión.

Los resultados de la estimación econométrica de estos modelos para los días laborables están recogidos en las Tablas I y II. La primera, que estudia la evolución del tráfico de superficie y la segunda la del metro. Ambas, de idéntica factura, contienen seis estimaciones MCO (tres en especificación lineal y otras tres en semi-doble-log) y cuatro ARMAX (dos y dos) con dos retrasos de la variable dependiente y un término de inercia del error.

Todos los casos, tanto del coche como del metro, confirman el modelo de comportamiento anticipado: evolución complementaria en diente de sierra mensual sobre la tendencia de ambos modos de transporte (DIAMES con signo + y -, METRO y COCHE respectivamente).

Por tanto, las conclusiones del análisis sostienen la hipótesis de sustitución del vehículo privado a favor del transporte público como consecuencia de la caída de la renta disponible de las familias entre dos ingresos salariales.

Se observa, sin embargo, una evolución ascendente a medio plazo (TENDENC) en el uso del vehículo privado por encima de la que sigue el metro. Sometido al test de Chow, el efecto renta a corto plazo captado por DIAMES, negativo como era de esperar, es significativo respecto de la TENDENC: en todos los casos se mantiene la hipótesis de diferencia en magnitud y signo entre los coeficientes γ y δ de TENDENC y DIAMES. El coeficiente γ es significativamente positivo al igual que negativo el δ de DIAMES referido a la tendencia (aunque no directamente respecto a la evolución neutral).

El modelo ARMAX aisla el uso del vehículo a lo largo del mes, tanto en la versión lineal como en la logarítmica, y apunta un efecto

negativo y significativo de DIAMES. Este resultado muestra un mejor ajuste del modelo sobre la aproximación MCO en la representación del fenómeno, máxime cuando las estimaciones MCO no presentan problemas de autocorrelación (estadístico Durbin-Watson próximo a 2 y coeficiente RHO próximo a cero).

El modelo indica que 666 vehículos abandonan el tráfico rodado diariamente, lo que supone 1,55 por mil de los 428.550 registrados como media diaria y un 3,5% mensual. Por ello y a efectos de cálculo de la elasticidad renta a corto plazo, se considera relevante el coeficiente $\delta = -0,0016$ del ARMAX logarítmico, en lugar de $\delta = -0,0010$ aportado por el modelo equivalente de MCO. En estas circunstancias la elasticidad automóvil/diames es:

$$\zeta_{\text{COCHE,DIAMES}} = \frac{\delta}{\text{DIAMES}_{\text{med}}} = -0,0016/15 = -0,000107$$

cuya magnitud aproxima la elasticidad renta a corto plazo de uso del vehículo privado.

Por otro lado, cabe señalar que ésta estimación de la elasticidad a corto plazo está sesgada a la baja por un efecto de calidad: la reducción del tráfico rodado implica su descongestión y por tanto el aumento de la velocidad de circulación con la consiguiente reducción de los tiempos de trayecto. En un contexto de decisión por la calidad sobre la base de los precios heónicos este factor actúa en favor del uso del vehículo privado. Por lo tanto, las verdaderas estimaciones de la elasticidad renta a corto plazo deben incorporar una corrección de calidad en términos de valor del tiempo atribuido a la descongestión.

Por lo que respecta al Metro llama la atención su importante capacidad de atraer usuarios a lo largo del mes. Aquí el efecto de DIAMES es positivo incluso después de corregir por el calendario. Las estimaciones con TENDEN y COCHE conjuntamente señalan una evolución positiva del metro pero a un ritmo inferior al observado por el coche (signo negativo de TENDENC).

Cuando se confronta el primer ARMAX lineal para cada modo de transporte se aprecia que mientras el coche pierde 666 registros cada día, el metro gana 5700

Tabla II. Substitución entre modos de transporte urbano: metro.

	(estimaciones MCO)							(estimaciones ARMAX)			
	Y = METRO			Y = Log (METRO)				Y = METRO		Y = Log (METRO)	
cte.	-,5E*6 (-4,7)	-,5E*6 (-4,2)	-,5E*6 (-3,5)	-12,6 (-10,1)	-13,2 (-9,8)	-13,6 (-8,4)	Y[-1]	-118 (-1,3)	,066 (1,1)	-,054 (-,7)	-,037 (-,8)
Y[-1]		,040 (1,4)	,024 (0,8)		-,0026 (1,2)	,017 (,7)	Y[-2]	,052 (,9)	,031 (,6)	,050 (1,0)	,004 (,1)
Y[-7]			,059 (1,4)			,041 (1,2)	DIAMES	5693,6 (4,8)	3325,6 (2,5)	,0049 (3,5)	,0034 (2,6)
TENDENCI	-562,9 (-7,5)	-548,9 (-7,2)	-573,0 (-7,5)	-,0006 (-9,2)	-,0006 (-9,1)	-,0006 (-9,2)	TENDENCI		-566,0 (8,4)		-,0006 (-10,1)
DIAMES	4273,3 (3,0)	3959,5 (2,7)	2814,7 (1,9)	,0037 (2,8)	,0036 (2,7)	,0020 (2,0)	COCHE	3,748 (12,1)	4,662 (15,3)		
COCHE	4,770 (16,2)	4,628 (14,6)	4,528 (13,7)				log (COCHE)			1,621 (13,4)	2,098 (20,1)
log (COCHE)				2,075 (21,3)	2,089 (19,6)	2,090 (17,7)	μ		-,19*E (-1,8)	-,60E*6 (-4,4)	-6,893 (-5,0)
							Θ[-1]		,416 (3,4)	,128 (1,2)	,237 (2,0)
R2a	,695	,663	,621	,795	,772	,728					
D-W	1,58	1,70	1,69	1,72	1,82	1,78					
RHO	,208	,146	,152	,140	,088	,108					
n.obs	131	130	126	131	130	131					

t-ratio entre parentesis

d-w estadístico Durbin-Watson; rho coeficiente de autocorrelación de los errores.

viajeros. Esta ganancia supone un 4,05 por mil de pasajeros diarios y un 8,9% a lo largo del mes (magnitudes relativas que triplican las observadas para el coche).

Al margen de los viajeros que abandonan el coche por el autobús, el estudio conjunto de los flujos automóvil-metro resulta a primera vista incoherente: el efecto sustitución es insuficiente para justificar el incremento de pasajeros del METRO. Esta apreciación se desvanece cuando se tiene en cuenta la composición de los datos: mientras en el METRO se refieren al total de pasajeros, los del automóvil no recogen la totalidad del tráfico urbano, ya que se limitan a siete puntos de observación. Este hecho sugiere una corrección del siguiente tipo:

$$\delta_{\text{COCHE}} = \alpha^{-1} \times n^{-1} \times \delta_{\text{METRO}}$$

donde:

 α^{-1}

es el inverso de la fracción de los ciudadanos

que abandonando el automóvil privado durante el mes optan por el metro en lugar de por el autobús.

 n^{-1}

inverso del número medio de ocupantes por vehículo

ANÁLISIS REALIZADO POR JAVIER ALBERDI ALONSO

En el análisis de regresión realizado se han usado como explicativas las variables "tenden" que indica la tendencia a largo plazo (a lo largo de los dos años analizados) y "diames" que indica la tendencia dentro del mes. En casi todas las regresiones realizadas el estadístico de Durbin-Watson indica que no se puede rechazar la hipótesis nula de correlación serial positiva, es decir, que el error de la regresión tiende a ser del mismo

Análisis de aforos de vehículos en cada día de la semana

Día	Media	Orden	Durbin	R ² ajustado	Variables independientes		
lunes	422.002	4	1,86	0,81	tenden	+ metro	- (diames)
martes	429.921	2	1,77	0,88	tenden		- diames
miercoles	416.089	5	0,84 *	0,95	tenden	+ metro	
jueves	427.371	3	0,80 *	0,86	tenden	+ metro	
viernes	439.381	1	1,45 ?	0,92	tenden	+ metro	- (diames)
sábado	367.593	6	0,93 *	0,80	tenden	+ metro	
domingo	313.722	7	2,31	0,87	tenden		+ (diames)

Análisis de viajeros de metro en cada dia de la semana

Día	Media	Orden	Durbin	R ² ajustado	Variables independientes		
lunes	1.378.077	4	1,74	0,83	- tenden	+ esto	+ diames
martes	1.480.271	1	1,18 *	0,10 *	tenden	- (esto)	
miercoles	1.421.958	2	0,65 *	0,90	- tenden	+ esto	
jueves	1.412.643	3	0,89 *	0,67	- tenden	+ esto	
viernes	1.344.802	5	1,21 *	0,91	- tenden	+ esto	+ diames
sábado	692.873	6	1,41 ?	0,55	- tenden	+ esto	+ diames
domingo	470.204	7	1,78	0,30	tenden		

signo en grupos de elementos sucesivos. Esto se debe, en gran parte, al hecho de haber intentado explicar ambas tendencias con una variable lineal. En las pruebas que se han hecho utilizando el neperiano y un exponente de las dos variables (seis en total) se incrementa el coeficiente de Durbin-Watson(4).

El primer análisis de regresión se ha realizado sobre las series de los viajeros de metro y los aforos acumulados de las seis estaciones elegidas, observándose las diferencias en el comportamiento de las series en los diversos días de la semana. En las tablas «Análisis de aforos de vehículos en cada día de la semana» y «Análisis de viajeros

(4) En las pruebas, afinando el influjo alolargo delmes, se nota un crecimiento fuerte durante la primera decena de días

del mes, un crecimiento mucho más suave en la segunda y un ligero decrecimiento en la tercera.

de metro en cada día de la semana» se presentan para cada día de la semana los siguientes resultados parciales:

- Media de vehículos o viajeros que circulan en los días considerados.
 - El orden de los días de la semana en función del tráfico medio.
 - Valor del coeficiente de Durbin-Watson. Se indica con "?" cuando es dudoso rechazar la hipótesis de correlación serial positiva y con "*" cuando no se puede rechazar la hipótesis de correlación serial positiva.
 - Coeficiente de correlación lineal ajustado por el número de variables independientes utilizadas. Se indica con "*" cuando no se puede rechazar la hipótesis de que el coeficiente de correlación es igual a 0.
 - Variables independientes, cuyo coeficiente se puede aceptar como distinto de cero con una confianza del 95% con el signo con que tienen el coeficiente (entre paréntesis aquellas cuyo coeficiente se puede aceptar como mayor de cero con una confianza sólo del 90%).
- En los resultados obtenidos se observa:
- Sólo existe un caso con una correlación no significativamente distinta de cero.
 - La correlación serial positiva es dudosa o no se puede rechazar en la mayoría de los casos, lo que implica que el modelo empleado es demasiado simple.
 - El número de pasajeros del metro presenta una media máxima el martes y la media decrece a lo largo de la semana hasta el domingo hacia delante y hacia atrás. Las estaciones de aforos tienen dos máximos relativos, el martes y el viernes.
 - El número de usuarios del metro decrece mucho más los sábados y domingos.
 - La diferencia de las funciones de regresión utilizando diversos días de la semana es significativa.
 - Entre pares de regresiones de un mismo día de la semana resultan incoherentes entre sí los de los días martes, sábado y domingo.
 - La separación en la regresión de conjunto posterior los días sábado y domingo se justifica para establecer controles de diferencias posibles.
 - La observación de la distribución modal en fines de semana permite establecer la hipótesis de dos tipos diferenciados de tráfico: el que responde a motivaciones "necesarias" y

el correspondiente a motivaciones "hedónicas".

ANÁLISIS DE REGRESIÓN GLOBAL

En una segunda fase se ha realizado un análisis de la relación entre los aforos de vehículos y viajeros de metro, partiendo de la información sobre los días de la semana y definiendo las variables «viernes», «sábado» y «domingo» que toman valor "1" cuando es ese día de la semana y valor "0" cuando es cualquier otro día de la semana. Estas variables permiten relacionar las dos series, a pesar de su evidente asimetría, en cuanto al valor relativo de las medias por días de la semana.

Como ya se ha observado, en el tráfico del sábado y domingo disminuye mucho más la serie de viajeros de metro que la de aforos de vehículos y el viernes los aforos de vehículos presentan su máximo semanal. Al suavizar la diferencia en la evolución de las dos series con estas variables se observa la influencia de las variables «tenden» y «diames» que nos indican la tendencia de crecimiento de cada serie a lo largo del tiempo y dentro de cada mes. Esta última influencia es la que define el comportamiento del consumidor en función de su disponibilidad de gasto y requiere la elaboración de modelos que puedan medirla por separado.

El análisis se ha realizado mediante una regresión del número de viajeros del metro, como variable dependiente, y como variables independientes los aforos de vehículos y las 5 variables complementarias explicadas. Paralelamente se ha realizado otra regresión en que la variable dependiente han sido los aforos de vehículos y las variables independientes los viajeros del metro y las 5 variables complementarias explicadas. Complementariamente se ha realizado otra regresión prescindiendo de los datos de los sábados y domingos; y otra con datos sólo de los sábados y domingos, utilizando sólo la variable explicativa de día de la semana «domingo». Este análisis considera posibles diferencias adicionales entre los tráficos de los sábados y domingos.

Las seis regresiones realizadas dan resultados básicamente coherentes entre sí, que confirman la hipótesis de

Regresiones con la variable metro como dependiente

Suma de estaciones	Nº de registros	Durbin	R ² ajustado	Aumento viajeros	Aumento día-mes	Problemas con la significación	Problemas en regresión realizada
						de las variables	con metro como variable independiente
123458	182	1,29 *	0,93	2,402	-634		diames
1458	182	1,06 *	0,91	2,496	-618		diames, domingo
123458	129	1,17 *	0,82	3,941	-615		
1458	129	0,89 *	0,74	3,865	-628		diames
123458	53	1,35 *	0,86	1,379	-173	diames	diames, domingo
1458	53	1,59 ?	0,82	2,010	-40	tenden	diames, domindo

transferencia de tráficos entre vehículos privados y el metro a lo largo del mes. Las regresiones se repiten utilizando como variable representativa de los aforos de vehículos la suma de las cuatro estaciones (1, 4, 5 y 8) que en el análisis factorial resultaban más similares entre sí en el primer factor. Los resultados de este último análisis son coherentes con los del anterior.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de estos análisis:

- número de registros utilizado.
- coeficiente de Durbin (indicando con un signo de interrogación el único caso en que no es segura la regresión serial positiva).
- coeficiente de correlación ajustado.
- coeficiente de la variable «diames» que se interpreta como el complemento diario de viajeros adicionales que se ajusta a la variable viajeros del metro a lo largo del mes.
- coeficiente de la variable «tenden» que se interpreta como el complemento diario de viajeros adicionales que se ajusta a la variable viajeros del metro a lo largo del tiempo..
- variables independientes cuyo coeficiente no es significativamente distinto de cero con el 90% de confianza. Entre paréntesis aquellas cuyo coeficiente no es significativamente distinto de cero con el 95% de confianza.

En la ecuación en que la variable metro pasa a ser independiente, la variable suma de estaciones de aforo utilizada pasa a ser dependiente y todas las demás variables independientes son las mismas, se indican las variables independientes cuyo coeficiente no es significativamente distinto de cero con el 90% de confianza, o tiene el signo impropio. Entre paréntesis se indican aquellas cuyo coeficiente no es significativamente distinto de cero con el 95% de confianza.

Al explicar la variable «metro» en todas las variantes de regresión realizadas se observa que los signos de todas las variables son siempre los mismos. Aunque, trabajando con datos muy similares, esto implica que no hay diferencias sensibles entre sábados y domingos con respecto al resto de la semana en su forma de evolucionar a lo largo del mes y del tiempo.

La relación entre la variable «metro» y la variable suma de aforos es siempre positiva. Cuando la variable dependiente es "metro" las variables «viernes», «sábado» y «domingo», que intervienen como variables independientes, siempre tienen signo negativo. Al utilizar la variable «metro» como independiente para explicar la variable dependiente suma de aforos que corresponda, el signo cambia, excepto cuando se usan los

datos de sábado y domingo por separado.

Al explicar la evolución diaria de los viajeros de metro con cualquiera de las dos sumas de aforos estudiadas y en cualquier grupo de días (laborables, festivos y todos) aparece un complemento positivo diario de viajeros de metro necesario para ajustar la ecuación de regresión.

En las regresiones en que la variable «metro» es la variable dependiente sólo trabajando con los datos de sábados y domingos con la suma de las seis estaciones de aforo resulta el coeficiente de diámetro no significativamente distinto de 0 con el 95% de confianza. Se pone en la tabla entre paréntesis pues es significativamente distinto de 0 con el 90% de confianza.

En conjunto se puede asumir que coexisten dos tendencias definidas:

– A largo plazo la suma del tráfico registrado en las estaciones de aforo tiene un crecimiento constante, mientras que el número de viajeros del metro no muestra una clara tendencia a aumentar con el tiempo. Esta tendencia, que se explica por el aumento tendencial del parque de vehículos, se utiliza para corregir las tendencias mensuales.

– Se observa otra tendencia de carácter mensual en la que decrece el tráfico de vehículos. Este resultado parece estar asociado a la disminución de recursos monetarios disponibles por el público y manifiesta la sensibilidad del usuario al coste percibido del transporte.

– Estas dos tendencias aparecen como significativas con una confianza superior al 95%, excepto cuando se utiliza en solitario la información de sábados y domingos. Esto implica que la explicación del

comportamiento diario de los usuarios de metro utilizando los datos registrados por las estaciones de aforos de vehículos requiere considerar:

- las variables «viernes», «sábado» y «domingo» para explicar el diferente comportamiento en esos tres días de la semana con bajadas mucho más fuertes en los viajeros de metro que de tráfico de vehículos.
- la variable «tendencia» para tener en cuenta el menor crecimiento a largo plazo del metro que ronda unos 600 viajeros menos diarios en media.
- la variable «diámetro» para tener en cuenta el mayor crecimiento dentro del mes del metro que ronda los 2.500 pasajeros diarios como media, teniendo en cuenta todos los días, o hasta unos 4.000 si se prescinde de los sábados y domingos.

En conjunto, utilizando el análisis factorial se detecta que el metro se sitúa en el factor 2 junto con algunas de las series divergentes de los aforos, principalmente la que corresponde a la calle Atocha. Al analizar los datos de aforo y de metro por separado en cada día de la semana se ven algunas diferencias concretas entre ambas series.

Fundamentalmente la diferencia de comportamiento de viernes, sábado y domingo.

Al intentar explicar el metro con los aforos, se aportan tres variables especiales para compaginar las diferencias ya observadas en viernes, sábado y domingo. El resultado es que aparecen claramente dos diferencias adicionales entre las series:

- El tráfico de vehículos privados muestra tendencia a crecer a largo plazo.
- El número de usuarios del metro muestra tendencia a crecer dentro de cada mes.