

Predicción de demanda: Análisis de la incertidumbre y modelos de predicción en España

**Mar González - Savignat
Anna Matas
José Luis Raymond
Adriana Ruíz**



***Proyecto:* EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FINANCIERA DE PROYECTOS DE TRANSPORTE**

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

Ministerio de Fomento

Ref. PT-2007-001-02IAPP

www.evaluaciondeproyectos.es

**PREDICCIÓN DE DEMANDA:
ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE Y
MODELOS DE PREDICCIÓN EN ESPAÑA**

29/Marzo/2009

Mar González - Savignat

Anna Matas

José Luis Raymond

Adriana Ruíz

Resumen

Este documento de trabajo consta de dos partes. En la primera parte se presentan los principales resultados que se derivan de la literatura respecto al nivel de error en las predicciones de la demanda de transporte. La segunda parte es un resumen de los modelos de predicción aplicados en España según modos de transporte.

Tabla de contenidos

1. ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LAS PREDICCIONES DE LA DEMANDA..	1
1.1. NIVEL DE ERROR EN LAS PREDICCIONES	1
1.2. INCERTIDUMBRE EN LAS PREDICCIONES DE DEMANDA DE TRANSPORTE	4
2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN SEGÚN MODO DE TRANSPORTE	6
2.1. PUERTOS DEL ESTADO	7
2.2. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS	9
2.3. DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES	11
2.4. TRANSPORTE AÉREO	11
2.5. PROYECTOS DE AUTOPISTAS DE PEAJE Y AUTOVÍAS.....	13
3. BASES DE DATOS DISPONIBLES EN ESPAÑA.....	14
REFERENCIAS	19

1. ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LAS PREDICCIONES DE LA DEMANDA.

A pesar de los miles de estudios publicados en relación con la predicción de la demanda de transporte, el número de artículos dedicados a analizar el grado de error de dichas predicciones es realmente escaso. En este documento, se presentan los principales resultados hallados en la literatura, distinguiendo entre los estudios que miden directamente el nivel de error en las predicciones y aquellos que intentan cuantificar el grado de incertidumbre asociado a las variables explicativas y al propio modelo.

1.1. Nivel de error en las predicciones

La revisión de la literatura se ha centrado en aquellos estudios que contemplan un número elevado de proyectos y que permiten, por lo tanto, extraer conclusiones válidas para nuestro trabajo. Esta literatura puede agruparse alrededor de los trabajos de B. Flyvbjerg, por un lado, y de R. Bain, por el otro.

Bent Flyvbjerg, conjuntamente con otros autores, ha llevado a cabo un amplio estudio que presenta resultados significativos acerca de las predicciones de tráfico en proyectos de infraestructura de transporte (Flyvbjerg, 2005; Flyvbjerg *et al.*, 2005; Flyvbjerg *et al.*, 2006; Flyvbjerg, 2008 y Naess *et al.*, 2006).

Estos autores fundamentan su trabajo en 210 proyectos de infraestructura de transporte en 14 países distintos, 27 de ellos corresponden a inversiones ferroviarias y el resto a proyectos de carretera. El periodo analizado abarca desde el año 1969 hasta el año 1998. Los proyectos analizan la demanda en ferrocarriles urbanos, trenes de alta velocidad, trenes convencionales, túneles, puentes, y autopistas con y sin peaje.

El error de predicción se define como la variación porcentual entre el tráfico estimado y el tráfico observado en el primer año de operación. El tráfico estimado corresponde a la predicción realizada cuando se toma la decisión de construir el proyecto. Por lo tanto, no se toman en consideración estimaciones posteriores del tráfico cuando ha sido modificada alguna de las condiciones iniciales o se dispone de información adicional. De estos estudios se derivan distintos resultados para los modos de transporte analizados.

En el *ferrocarril* se observa una sobrepredicción del tráfico en 9 de cada 10 proyectos estudiados. El promedio de sobreestimación es del 106%. Los autores afirman que existe un sesgo sistemático en la predicción del tráfico en este modo de transporte. Las razones de

esta desviación residen en el modelo de distribución modal que es excesivamente optimista acerca de la capacidad del ferrocarril para captar una parte de la demanda.

Para la *carretera* los errores de predicción son también significativos; en un 50% de los proyectos la diferencia entre el tráfico estimado y el tráfico observado es de aproximadamente $\pm 20\%$. Sin embargo, en este caso no existe un sesgo hacia la sobreestimación.

No se observa una diferencia significativa para la desviación estándar en las predicciones de demanda de carretera y ferrocarril; en ambos casos dichas desviaciones son elevadas, lo que indica un alto nivel de incertidumbre y riesgo.

Por otro lado, no existen indicios de que las predicciones de tráfico hayan mejorado a lo largo del tiempo. Así, según estos autores, la mejora en los modelos de demanda estimados no parece haber repercutido en una mejora de las predicciones. Además, se observa que los errores de predicción no guardan ninguna relación con el plazo de construcción del proyecto y sólo aparece una relación muy débil con el coste del mismo.

Flyvbjerg (2005) mantiene que la elección del primer año de funcionamiento del proyecto para medir el error de predicción no influye en el resultado, por lo tanto, los errores de predicción se mantienen a lo largo del tiempo. Por último, confirman que el sesgo en la predicción está relacionado con la posibilidad de influir en el resultado de la inversión.

Los autores proponen como método de predicción alternativo el *Reference class forecasting*, basado en la teoría de toma de decisiones bajo incertidumbre desarrollada por D. Kahneman. La aplicación de dicha teoría a la evaluación de proyectos de inversión puede hallarse en Flyvbjerg (2008). El método consiste en obtener predicciones para un proyecto concreto analizando otros proyectos similares ya realizados con el fin de obtener una distribución de resultados probables para el caso concreto bajo estudio. Con este método, al estar basado en precedentes existentes, es posible establecer un mayor grado de control sobre los errores sistemáticos y deliberados o los sesgos estratégicos que pueden esconder el interés político de determinadas inversiones.

Para inversiones en carreteras, los trabajos realizados por Robert Bain investigan los errores de predicción en los proyectos de autopista de peaje y los compara con los habidos en los proyectos de carreteras sin peaje (Bain y Wilkins, 2002; Bain y Plantagie, 2004 y Bain y Polakovic, 2005). En estos tres artículos los autores examinan los errores de predicción para 32, 87 y 104 proyectos de inversión en autopistas de peaje, carreteras, túneles y puentes de varias regiones del mundo. El error de predicción se mide como la diferencia

porcentual entre el tráfico real y el tráfico estimado en el primer año de operación del proyecto.

Obtienen que la estimación de la demanda en las autopistas de peaje tiende a sobreestimar el tráfico. Bain y Wilkins (2002) hallan que en 28 de los 32 casos la demanda se sobreestima. El porcentaje de sobreestimación se sitúa entre un 20 y un 30%. En las carreteras no sujetas a peaje los errores de predicción se observan por igual en ambos sentidos; no existe, pues, un sesgo optimista sistemático tal y como ocurre en las autopistas de peaje.

Comprueban además que la desviación estándar es elevada y muy similar tanto en las autopistas de peaje como en las carreteras libres. Nuevamente, la alta dispersión es indicativa del grado de incertidumbre asociado a la predicción del tráfico. La eliminación del sesgo optimista en las predicciones de las autopistas muestra un grado de error similar al hallado para las carreteras sin peaje.

Al igual que en el caso de la investigación desarrollada por Flyvbjerg, se observa que el grado de acierto en las predicciones no mejora a lo largo del tiempo. Por lo tanto, ni el sesgo ni el error de la predicción cabe atribuirlos a los efectos imprevisibles del primer año de funcionamiento. Por último, la variabilidad de las predicciones de tráfico resultó más alta para los vehículos pesados que para los turismos.

Bain propone una herramienta analítica, “Traffic Risk Index”, que contribuye a identificar y cuantificar las principales dificultades que afectan a los estudios de tráfico. El índice se compone de una lista de situaciones que influyen en los errores de predicción de tráfico. Dicho índice puede ser usado para examinar la incertidumbre en los proyectos específicos, a la vez que le permite al analista hacerse una serie de preguntas que le ayudarán a interpretar la fiabilidad de las predicciones.

Desde otra perspectiva en la predicción de la demanda, el trabajo de Riddington (2006) supone una crítica de las predicciones realizadas del tráfico aéreo en el Reino Unido para el horizonte temporal de 2030. Aunque en este trabajo no se analiza el grado de error de dichas predicciones, se presentan las debilidades existentes en los modelos y variables utilizadas por el Departamento de Transporte del Reino Unido. Sus resultados apuntan a la falta de fiabilidad de las predicciones realizadas debido a errores metodológicos y econométricos en el modelo estimado. En concreto, señalan que bajo la apariencia de un modelo logit multinomial aparentemente más complejo, que considera población y costes generalizados, la predicción se ajusta por un modelo tendencial relativamente simple que además es estimado de manera incorrecta. La omisión de variables relevantes, el tratamiento inadecuado de series no estacionarias o supuestos *ad hoc* acerca de la tasa de

crecimiento del PIB son algunos de los problemas analizados y que derivan en la escasa fiabilidad de las predicciones realizadas. Entre otros datos señalan que el crecimiento predicho del 635% en el mercado internacional para el horizonte temporal analizado, es muy poco creíble. En general concluyen que las predicciones del tráfico aéreo son excesivamente optimistas y además no se realiza ninguna consideración acerca de las restricciones de capacidad existentes para atender a esta demanda prevista.

Por otro lado, la Administración Federal de Aviación en EEUU lleva a cabo en el 2007 un programa en el que se sintetiza la predicción del tráfico aéreo. En el informe (Transportation Research Board, 2007) se señala que pocas predicciones en transporte aéreo han sido sometidas a una evaluación *ex-post* con el fin de valorar el grado de error de las mismas. En este informe se analizan de forma general las cuestiones de relevancia en predicción de demanda, tratando desde la información disponible y recogida de datos, los métodos de predicción, los modelos y las variables en función del tipo de predicciones que se desean obtener (macroeconómicas, demográficas, de mercado, de costes y tecnológicas, factores regulatorios, restricciones de capacidad, etc.) y la fiabilidad de las mismas.

Los autores agrupan de manera global estas predicciones entre las de corto y largo plazo y las que consideran limitada o no la demanda, cada una de ellas puede dar lugar a predicciones distintas y elegir la más adecuada dependerá del objetivo analizado.

Se destaca la importancia de incorporar la incertidumbre en la predicción de una manera sistemática y de un modo menos informal al que se aplica normalmente con el análisis de hipótesis de crecimiento distintas a partir de estimaciones puntuales que, según los autores, se deben evitar. Un análisis más detallado de la incertidumbre en las predicciones se realiza en el siguiente apartado.

1.2. Incertidumbre en las predicciones de demanda de transporte

Una vez se ha constatado la existencia de errores de predicción significativos cabe indagar acerca de cuáles son las causas que explican dichos errores y cómo pueden incorporarse en la evaluación de proyectos. Los errores se deben, esencialmente, a la incertidumbre acerca de la evolución de las variables explicativas del tráfico, o inputs, y a la incertidumbre asociada al modelo estimado. A continuación se exponen los resultados del trabajo de de Jong *et al.* (2007) respecto a la incertidumbre basados en la revisión de 21 estudios y en la elaboración de una aplicación propia para un proyecto de inversión en una autopista holandesa.

Dado que los valores futuros de las variables exógenas son desconocidos, una parte del error de la predicción es debida a la incertidumbre acerca de la evolución de dichas variables. De acuerdo con de Jong et al (2007) el método más usual para cuantificar este tipo de incertidumbre es algún tipo de simulación de Monte-Carlo. En general, se postula una distribución estadística para las variables y se extraen muestras aleatorias a partir de las cuales se computa la predicción del tráfico.

El impacto de la incertidumbre de los inputs sobre la predicción se calcula a partir de la varianza de dichas predicciones. Los estudios revisados por los citados autores hallan que los flujos de tráfico se sitúan entre el 18% y el 33% de la media para un intervalo de confianza del 95%.

Una de las principales críticas que recibe este enfoque es que se postulan distribuciones univariantes para las variables explicativas sin tener en cuenta la correlación que existe entre ellas.

Una segunda fuente de incertidumbre está asociada a la especificación de la ecuación de demanda – variables omitidas, supuestos inadecuados sobre la forma funcional y sobre la distribución estadística de los componentes aleatorios – y/o al error debido al uso de parámetros estimados en vez de valores reales.

Los enfoques utilizados para aproximar la incertidumbre son diversos. Una posible forma de proceder es utilizar los métodos de Bootstrap y Jack-knife para crear submuestras a partir de las cuales se estiman repetidas veces los parámetros del modelo. Una vez calculados adecuadamente los errores estándar de los parámetros, éstos se emplean, bien para construir expresiones analíticas del error estándar del output del modelo o bien en información que permite construir una función de distribución de los parámetros y aplicar simulaciones de Monte-Carlo. La dificultad para construir expresiones analíticas explica el uso de las simulaciones en la mayoría de los estudios.

Según los estudios revisados, la incertidumbre derivada de los parámetros es menor que la incertidumbre derivada de los inputs.

De Jong *et al.* (2007) aplican un análisis de la incertidumbre asociada tanto a los inputs como al modelo estimado para la predicción de la extensión de una autopista en el área de Rotterdam. El modelo utilizado consiste en un sistema de ecuaciones de demanda que comprende distintas etapas del viaje y se estima con datos micro. Se trata de un modelo de ámbito nacional (LMS) que comprende la frecuencia de los viajes según motivo, la elección del destino y modo de transporte y la hora del día.

La incertidumbre ligada a las variables explicativas del modelo se aproxima a partir de un análisis de series temporales. Este análisis permite construir una distribución multivariante para los siguientes inputs del modelo: renta disponible, motorización, costes por kilómetro, población por estratos de edad y empleo. Utilizan la desviación estándar y las correlaciones para medias móviles de orden 20 de los últimos 40 años. La idea es que la variación para los próximos 20 años (horizonte de predicción) está determinada a partir de todas las medias móviles de orden 20 calculadas para los últimos 40 años. La construcción de la función de distribución les permite generar distintos valores para los inputs del modelo.

Respecto a la incertidumbre relacionada con el modelo, utilizan la técnica de Bootstrap para reestimar las distintas etapas del mismo. Sin embargo, no hallan diferencias significativas respecto a las estimaciones iniciales. El análisis de incertidumbre se llevó a cabo a través de simulaciones múltiples que permitían la variación de los parámetros estimados, de los inputs o de ambos a la vez. La incertidumbre relacionada con los inputs dominaba claramente a la relacionada con los coeficientes estimados. Adicionalmente, el uso de tren/autobús y metro resultó más incierto que el uso del automóvil privado. A modo de ejemplo, la incertidumbre asociada al número de coches-kilómetro predichos medida como desviación estándar respecto a la media era del 8,3%. En términos del intervalo de confianza del 95%, supone un rango de variación entre 289 y 399 millones de coches-kilómetro.

Como conclusión general que se deriva de la literatura consultada, en los modelos de predicción de demanda, el tratamiento de la incertidumbre de manera sistemática y rigurosa desde un punto de vista estadístico es escaso. Se recurre de manera habitual a hipótesis acerca de escenarios alto/medio/bajo sin una justificación adecuada de los mismos. Por otro lado, de la literatura se desprende la necesidad de dirigir más atención a la evaluación de las predicciones *ex-post* con el fin de analizar desde un punto de vista crítico el grado de error de modelos y métodos alternativos.

2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN SEGÚN MODO DE TRANSPORTE

En esta parte se analizan los modelos de predicción de demanda que se utilizan por los distintos organismos públicos de transporte en España. En concreto, se explican los modelos, cuando existen, que utilizan Puertos de Estado, Aeropuertos y Navegación Aérea (AENA), Dirección General de Carreteras y Dirección General de Ferrocarriles.

2.1. Puertos del Estado

Puertos del Estado, cada cuatro años realiza, según una metodología consolidada y al mismo tiempo sujeta a una constante mejora, una predicción del tráfico para el Sistema Portuario Español. El objetivo general de este trabajo es la elaboración de una previsión del tráfico para cada Autoridad Portuaria y para cada Puerto del Sistema Portuario según tipología de mercancía y tipo de producto que se extiende al medio y corto plazo. El último estudio, publicado en el 2004, contiene las previsiones para el año base y para los años 2007, 2010 y 2020.

La metodología prevista para la previsión de tráfico portuario consta de las siguientes fases:

- *Fase 1:* Recogida de información (directa e indirecta) y estimación de los modelos.
- *Fase 2:* Convergencia de los procedimientos usados.
- *Fase 3:* Contrastes con las Autoridades Portuarias.
- *Fase 4:* Elaboración de los resultados.

Además, debido a la relevancia que las inversiones portuarias tienen para el conjunto de la economía y a la variabilidad de los factores que influyen en la evolución del tráfico marítimo, en un horizonte temporal de dos años desde la elaboración de cada estudio, se plantea la realización de un trabajo de actualización con el objetivo de evaluar el grado de acierto conseguido en el primer año y consecuentemente aportar las oportunas correcciones. Este trabajo supone la elección de los flujos que, según algunos criterios (cuantitativos y directos) exhiben desviaciones relevantes respecto al pronóstico y la realización de una nueva previsión que incorpora la información adicional obtenida sólo para estos flujos. A continuación se detallan cada una de las fases.

Fase 1: Recogida de información y estimación de modelos

La metodología utilizada resulta de la combinación de tres aproximaciones:

- a. Encuestas directas a grandes cargadores;
- b. Modelo de series temporales que incorpora variables económicas;
- c. Proceso casual: modelo basado en las Tablas Input-Output.

La encuesta se dirige a clientes y agentes del sistema portuario y permite obtener información tanto cuantitativa (tráfico previsto, cadena de transporte), como cualitativa (nivel de calidad esperado, criterios de elección modal). El grado de fiabilidad de la encuesta es función del nivel de cobertura que ésta alcanza, que a su vez depende de cuán atomizado es el sector. Para el sector energético, dado que se concentra generalmente en

unas pocas grandes empresas, es razonable suponer que la encuesta alcance para este sector un nivel de significatividad muy elevado. En efecto, este tipo de información predomina cuando hay pocos importadores/exportadores de una determinada mercancía, mientras que cuando el nivel de cobertura es tan bajo que no permite un suficiente grado de fiabilidad de previsión, se aceptan las predicciones obtenidas con los otros procedimientos.

Si por un lado, las informaciones encuestadas son importantes en cuanto reflejan problemáticas individuales de las empresas y específicas a cada sector, por el otro, las empresas no tienden a desvelar sus proyectos a medio/largo plazo o, de todas formas, muestran resistencia a efectuar previsiones a largo plazo ante el desconocimiento de la evolución futura de la economía.

En el último estudio realizado, las informaciones directas así obtenidas han sido integradas por la Consulta Delphi: un panel de expertos en economía y logística reunido con el objetivo de lograr un consenso cuanto más amplio posible sobre el probable escenario que caracterizará al sector de Logística y Transporte en el largo plazo.

El análisis de las series temporales, basándose en la información histórica, trata de ajustar una curva que explique la evolución del tráfico de cada uno de los productos considerados por tipo de movimiento y por puertos (máxima desagregación posible) con el objetivo de detectar tendencias y ciclos.

Estas dos aproximaciones de carácter microeconómico se acompañan por una tercera, definida como proceso casual, que se propone estimar la evolución de los diferentes sectores desde una perspectiva macroeconómica. Básicamente, se trata de un enfoque que, utilizando diferentes fuentes de información (Comercio Exterior, Aduanas), trata de predecir la evolución del escenario macroeconómico para cada sector en que se agrupan las mercancías (en termino de valor añadido bruto o comercio exterior, por ejemplo).

Fase 2: Convergencia de los procedimientos usados

A partir de las predicciones obtenidas de acuerdo con los tres procedimientos antes mencionados, se aplican criterios de convergencia para garantizar la coherencia general de las previsiones. En general, se impone la información obtenida a través de la campaña de entrevistas cuando el nivel de cobertura es suficientemente elevado para asegurar un buen nivel de fiabilidad, mientras que en el resto de los casos se contrastan los resultados de cada procedimiento y se revisan las hipótesis hasta que resulten convergentes.

Sucesivamente, una vez alcanzada la convergencia, se busca un refinamiento de los resultados considerando explícitamente en el análisis de factores de competencia entre

puertos (método de reparto). En esta fase interviene el denominado “contexto de transporte”. Dado que en un contexto de competencia portuaria asume relevante el concepto de cadena de transporte, se seleccionan las cadenas de transporte en competencia y se define un coeficiente de atracción de cada puerto con base en su accesibilidad. Sucesivamente se calculan los porcentajes de reparto del tráfico en función del coeficiente de atracción; el contraste con el reparto de tráfico realmente observado permite comprender la influencia de otros factores en la competencia entre puertos diferentes de la accesibilidad. La idea, es que este “refinamiento” del análisis permita definir un *hinterland* teórico de los puertos y conocer limitaciones y ventajas de cada puerto en comparación con los demás.

Fase 3: Contrastes con las Autoridades Portuarias

Los resultados obtenidos en las anteriores etapas se contrastan con las previsiones realizadas por las Autoridades Portuarias que se supone tengan una base de conocimiento muy importante. Frente a los resultados expuestos, las Autoridades Portuarias pueden manifestar su conformidad u ofrecer su previsión alternativa correspondiente.

Fase 4: Elaboración de los resultados

El resultado de las precedentes fases es un conjunto de previsiones por cada Autoridad Portuaria y por cada Puerto del Sistema Portuario con el siguiente nivel de desagregación:

- i.** Navegación: Exterior, cabotaje.
- ii.** Operación: Carga, descarga.
- iii.** Naturaleza de la mercancía (9 sectores, 40 productos).
- iv.** Forma de presentación.

2.2. Dirección General de Carreteras

La D.G. de Carreteras dispone de un modelo de predicción de tráfico por grandes corredores denominado “Sistema de Previsión de Parque, Tráfico y Consumo” que es propiedad del Ministerio de Fomento. Este modelo es operativo desde el año 1975. La última documentación disponible se halla en la publicación “Previsiones de parque de tráfico y consumo para el Plan Sectorial de Carretera 2005/2012”.

Las predicciones de tráfico se realizan para tres escenarios de crecimiento económico: alto, medio y bajo. El modelo abarca las siguientes etapas:

1. Predicción de matriculaciones por tipo de vehículo

Se extrapola a partir de las series temporales de matriculaciones. Teniendo en cuenta el coste medio de cada tipo de vehículo, se calcula el porcentaje respecto a una variable macroeconómica, bien consumo, bien FBCF del gasto en compra de cada tipo de vehículo, en cada año. Aplicando los porcentajes extrapolados de gasto en cada tipo de vehículo a las correspondientes variables macroeconómicas, y con una evolución de los precios prácticamente constante, se obtienen unas estimaciones de matriculaciones anuales de cada tipo de vehículo hasta el año 2020.

2. Estimaciones del parque de vehículos

Se corrigen a la baja los datos de parque de la Dirección General de Tráfico (DGT) para obtener el parque por edad en cada año y tipo de vehículo. El parque se predice a partir de los datos de matriculaciones desde 1945 y se les aplica la tendencia a causar baja estimada para cada tipo de vehículo. Las estimaciones se obtienen analizando las bajas por vehículo que suministra la DGT. El sistema modeliza estas bajas cada año de acuerdo con una función logística que tiene en cuenta los planes RENOVE. Finalmente, los parques por edad y tipo se agrupan y se contrasta con los datos disponibles. Los incrementos del parque son decrecientes según va madurando el tráfico.

3. Estimaciones de tráfico en cada año según edad y tipo de vehículo

Esta estimación se obtiene a partir del parque de vehículos al que se le aplica un recorrido medio. Dicho recorrido es máximo en el primer año de vida y se va reduciendo progresivamente. Se realizan extrapolaciones – alta y baja – a partir de datos del año 2005. En la primera, el recorrido se mantiene constante y en la segunda va disminuyendo hasta alcanzar una disminución del 10% en el año 2020. Además, el sistema distribuye el tráfico en tres tipos de recorrido: urbano, periurbano e interurbano. Las predicciones se contrastan con los datos observados sobre kms. recorridos y son coherentes.

Los datos de elasticidades de tráfico con respecto al PIB son para las distintas décadas: 60's: 1,77; 70's: 1,27; 80's: 1,45; 90's: 1,47; 2000: 1,22.

4. Consumo de gasolina

En la última etapa se predice el consumo de gasolina por tipo de vehículo.

Una comparación del tráfico predicho para el periodo 1989-2005 en el año 1989 con el tráfico observado muestra que en términos agregados el nivel de error en la predicción del tráfico interurbano es bajo.

2.3. Dirección General de Ferrocarriles

La D.G. de Ferrocarriles no dispone de un modelo de predicción de la demanda. Por otro lado, se constata que las predicciones que aparecen en los *Estudios Informativos* de los proyectos sometidos a evaluación por el Ministerio de Fomento sobreestiman significativamente la demanda futura en la mayor parte de los casos. En particular, la predicción de la demanda inducida que genera un proyecto nuevo lleva consigo una sobreestimación sistemática de la demanda.

La conclusión es que no se dispone de ningún método para estimar la demanda que esté basado en un estudio del tráfico relevante. Por lo tanto, los datos acerca de la demanda futura en transporte ferroviario, que se proporcionan en los Estudios Informativos, deben tratarse e interpretarse con limitaciones al no derivarse de un modelo de predicción de demanda riguroso que pueda ser fiable. El Ministerio de Fomento trabaja con datos facilitados por RENFE, datos muy agregados como los que se incluyen en el Anuario Estadístico. Desde la liberalización, el acceso a la información es más complicado y los nuevos operadores de mercancías, hasta la fecha, no están facilitando ningún tipo de información.

2.4. Transporte aéreo

Las previsiones de tráfico de los aeropuertos de AENA la realiza la División de Desarrollo de Estudios y Técnicas de Planificación de la Dirección de Planificación de Infraestructuras (DPI).

La DPI, en coordinación con la Dirección de Operaciones y Sistemas de Red (DOSR), se encarga de actualizar las previsiones de evolución del tráfico de pasajeros, aeronaves y mercancías de los aeropuertos de la red de AENA.

Los datos de tráfico se actualizan dos veces al año, en marzo y en octubre, y se realizan proyecciones a largo plazo para un período de 15 años con resultados de demanda de pasajeros y aeronaves, mercancías, pasajeros-hora en llegadas y salidas, aeronaves-hora y aeronaves-hora en llegadas y salidas para distintos tipos de tráfico. La previsión del global de AENA es el resultado de agregar la previsión desagregada de cada uno de los

aeropuertos de la red de AENA, segmentados a su vez en tráfico nacional, internacional, comercial y total.

Para realizar la predicción se elabora un modelo econométrico que relaciona el tráfico aéreo con variables observadas cuya correlación con los valores de tráfico sea plausible, tales como variables demográficas (población civil, población activa, población desempleada, etc), de turismo (entradas y salidas hacia y desde nuestro país), variables microeconómicas (elasticidad-precio, considerando el precio del “billete” como un agregado del coste de mantenimiento, tasas, precio del combustible, amortización del activo, etc.), variables macroeconómicas (agregados que miden la política fiscal y monetaria tales como tipo de interés, inflación, gasto público, tasa de desempleo, salarios, producción, volumen de exportaciones e importaciones, etc.) que se aglutinan en el PIB, variable principal a la que se asocia el tráfico aéreo. El modelo introduce una tendencia media, dando valores predichos según lo observado en el pasado y lo previsto para las variables asociadas.

Un elemento importante en la predicción que realiza AENA es que también se incorporan cambios en la oferta de transporte como la entrada en operación del AVE en un corredor determinado, la entrada en competencia directa de un nuevo aeropuerto o la puesta en funcionamiento de infraestructuras ya proyectadas.

Además también se realizan predicciones a corto plazo con estudios de las compañías más significativas operando en el aeropuerto, rutas actuales y posibles modificaciones a corto plazo. Para ello, se recurre al departamento de coordinación de *slots* y a las propias compañías aéreas, se caracteriza el tipo de pasajero mediante encuestas, la flota de cada compañía o su cartera de pedidos, lo que permite estimar, por ejemplo, el tamaño medio de aeronave y número de asientos ofertados en un futuro. Estos estudios particulares son especialmente útiles para una previsión a corto plazo más realista que la del modelo tendencial a largo plazo.

Como conclusión, la previsión global de AENA es el resultado agregado del análisis de corto plazo, junto con la tendencia a largo asociada al modelo econométrico y las variaciones específicas para cada aeropuerto. La demanda prevista se presenta siempre en tres escenarios (bajo, medio y alto).

Por último, es importante destacar que estas predicciones son sometidas a consulta con cada aeropuerto en cuestión, así como al juicio de la plantilla de la división que permite incorporar su experiencia y trabajo desarrollado en los últimos años.

2.5. Proyectos de autopistas de peaje y autovías

Las propuestas de inversión en carretera en España deben presentar un estudio informativo que incluye un estudio detallado de las previsiones de tráfico. A modo de ejemplo se han seleccionado cinco proyectos de inversión en autopistas de peaje y se ha comparado el tráfico predicho con el tráfico observado en los primeros años de funcionamiento de la autopista. Para estos proyectos se ha consultado bien el Estudio Informativo, bien el Anteproyecto. La ventaja del primero es que presenta el estudio de tráfico de manera detallada. Sin embargo, el anteproyecto ya contempla el trazado definitivo de la carretera. En la mayor parte de los casos, el anteproyecto mantiene las predicciones realizadas en el Estudio Informativo.

Los modelos de predicción de tráfico utilizados difieren según el estudio e incorporan distintos grados de complejidad. No obstante, todos ellos contemplan los siguientes pasos:

1. Previsión de tráfico en el corredor analizado. El punto de partida es la predicción del tráfico del corredor para el primer año de puesta en marcha de la autopista. Esta predicción se fundamenta en datos históricos de las estaciones de aforos, en encuestas de aforamiento y/o en encuestas de movilidad. Las proyecciones desde el año base hasta el primer año de funcionamiento del proyecto (aproximadamente 10 años) se realizan en función del crecimiento de PIB y/o de la población. En algunos casos se contemplan las posibles consecuencias de cambios urbanísticos en el territorio. Generalmente, se distingue entre tráfico de largo y corto recorrido; ligero/pesado; punta/no punta. Algunos estudios basan las predicciones en modelos de demanda estimados mientras otros utilizan valores estándares para las elasticidades de la demanda respecto al PIB o la población.
2. Distribución del tráfico entre la autopista de peaje y la carretera libre. El modelo más común es una regresión logística de distribución del tráfico entre carreteras en función del coste generalizado de las mismas. Esta etapa requiere conocer los tiempos de viaje y el coste monetario de cada alternativa. Algunos proyectos incorporan estudios más sofisticados a partir de datos individuales que les permiten estimar valores del tiempo. Este es el caso, por ejemplo, del estudio realizado por Steer Davies Gleave para la autopista A-41 a partir de un experimento de *Stated Preferences*. En otros casos, el reparto modal se basa en valores del tiempo estándares. Por ejemplo, en el estudio de la autopista Ocaña-La Roda, el valor del tiempo empleado se situó entre los 9,6 €/h y los 15 €/hora según el tipo de tráfico. Se utilizó el programa informático *Modasign* para asignar el tráfico entre carreteras.

3. A partir de la predicción para t_0 se suponen unas tasas de crecimiento del tráfico que decrecen con el tiempo. En general, no se presenta una justificación rigurosa de las tasas elegidas.
4. Algunos estudios incluyen un análisis de sensibilidad del tráfico a distintos supuestos incorporados en la predicción.

Una comparación del tráfico predicho respecto al tráfico observado para las autopistas de peaje más recientes en España muestra una clara sobrepredicción del tráfico que no parece guardar relación con la complejidad del modelo utilizado. En concreto, en los proyectos consultados la predicción dobla prácticamente el tráfico observado.

Se ha realizado también una comparación con los errores de predicción de algunas autovías libres de peaje. En el caso de las autovías, la desviación de las predicciones es menos acusada y no se observa un sesgo positivo. Estos resultados coinciden con los aportados por Bain (2004).

Implicaciones de la información disponible para la evaluación de proyectos

Los modelos de demanda existentes para Puertos, Carreteras y Aeropuertos ofrecen una predicción del crecimiento de tráfico para un horizonte a medio y largo plazo que puede constituir un punto de partida para la predicción de la demanda del proyecto a evaluar. Dado que la demanda de transporte guarda una estrecha relación con el crecimiento económico, las predicciones agregadas por corredores de tráfico constituyen un buen punto de partida para el análisis del tráfico de proyectos individuales. En cualquier caso, pueden contemplarse como un *benchmark* para realizar comparaciones y descartar variaciones de la demanda poco creíbles.

No obstante, en los tres casos se trata de modelos relativamente complejos y para los puertos, y en menor medida aeropuertos, combina predicciones a partir de los datos históricos con opiniones cualitativas de los gestores de las infraestructuras. Por este motivo, es difícil incorporar de forma sistemática dichas predicciones en la evaluación de proyectos.

3. BASES DE DATOS DISPONIBLES EN ESPAÑA

Aunque es probable que para realizar un estudio particular de una inversión en transporte sea imprescindible obtener datos desagregados o detallados, recurriendo para ello al organismo competente o a los propios operadores, es importante conocer las bases de datos

disponibles y accesibles en la actualidad. Esto puede ser muy útil bien para una primera aproximación, bien para completar datos de otras fuentes.

Las bases de datos existentes en España sobre transporte y movilidad no están sistematizadas, ni centralizadas en ningún organismo de transporte o asociado que faciliten su accesibilidad. Una revisión de estas bases de datos permite confirmar que el tipo de información que puede obtenerse a partir de ellas es muy limitada si se pretende utilizar en la predicción de la demanda. Una de las mayores carencias es la ausencia de matrices origen-destino de los viajes, tanto con datos de flujos agregados de tráfico como con datos individuales, para cualquier modo de transporte. Respecto a los datos de flujos de viajes, es recomendable presentarlos con una mayor desagregación en origen-destino o tipo de usuario. Este nivel de desagregación es fundamental para estimar modelos de demanda que sean útiles en la predicción y, por lo tanto, en la evaluación de inversiones.

Por lo tanto, se destaca la necesidad de mejorar y completar las bases de datos para poder estimar y valorar de forma más precisa los cambios en la demanda de transporte, elemento fundamental en la evaluación de proyectos de transporte y en el que se sustenta la rentabilidad de una inversión.

A continuación se presentan las bases de datos existentes en España que contienen información de transporte y viajes y se realiza una breve descripción de las mismas. Se puede comprobar que en la mayor parte de ellas los datos disponibles son excesivamente agregados como para poder estimar y predecir la demanda de forma adecuada.

- **INE: Instituto Nacional de Estadística**

- Datos: Tráfico, vehículos y conductores, empresas, infraestructura e inversión, seguridad en el transporte, sobre todo a nivel nacional y algún dato a nivel europeo.
- Modos: Carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo.
- Movilidad: Nacional e internacional, interurbana y regional.
- Web: www.ine.es

- **DGT: Dirección General de Tráfico**

- Datos: Vehículos y conductores, seguridad (series sobre accidentes y víctimas).
- Modos: Carretera.
- Movilidad: Nacional, urbana e interurbana.
- Web: www.dgt.es

- **Informe Anual de los Transportes y Servicios Postales**
 - Información detallada pero agregada del sector acerca de todo tipo de movilidad y modo de transporte.
 - Web: www.fomento.es

- **AENA: Aeropuertos Nacionales y Navegación Aérea**
 - Datos: Tráfico de pasajeros y mercancías según origen y destino por aeropuerto (desde 1990).
 - Modos: Aéreo.
 - Web: www.aena.es

- **MOVILIA: Encuesta sobre la movilidad del Ministerio de Fomento**
 - *Movilia 2006 y Movilia 2000*: Datos de movilidad cotidiana desagregados por motivos del viaje, modos de transporte, duración, sexo, nivel de estudios, horario, etc., a nivel provincial, de área metropolitana y por tamaño de municipio. Están disponibles los dos años para los que se ha realizado esta encuesta.
 - *Movilia 2007 y Movilia 2001*: Movilidad de larga distancia (más de 50 km en la del 2007 y más de 100 en la del 2001) en la que se presenta el número de viajes por provincia de residencia, por área metropolitana, por tamaño de municipio, por motivos del viaje, por nivel de estudios, duración, por modos de transporte, distancia, etc.
Además ofrece datos de flujos de viajes origen-destino entre comunidades autónomas según motivos del viaje y modos de transporte. No existen flujos a nivel provincial y las consultas realizadas con técnicos del Ministerio de Fomento responsables de la encuesta confirman que la muestra no es representativa para flujos provinciales.
 - Web: www.fomento.es

- **FAMILYTUR Y FRONTUR**

Son encuestas realizadas por el Instituto de Estudios Turísticos (Secretaría de Estado de Comercio y Turismo). Los datos son periódicos y por modos de transporte.

 - *Frontur* recoge información de viajes de ciudadanos no residentes en España que entran en España.

- *Familytur* recoge los viajes de residentes en España que salen de España. Proporciona una información menos sesgada por modos que la anterior.
- **Encuestas pantallas dobles de carretera (1999, 2000)**

Datos muy desagregados y con relaciones de origen-destino bien recogidas para una muestra aleatoria en día laborable.
- **ADIF: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias**
 - Proporcionan datos de circulaciones de trenes y viajeros que entran en las estaciones.
 - Web: www.adif.es

REFERENCIAS

- ACRP (2007), *Airport Aviation Activity Forecasting*, Transportation Research Board.
- AENA (2008), *Metodología de actualización de las previsiones de tráfico de los aeropuertos de AENA*, AENA.
- Bain, R. y Plantagie, J.W. (2004), 'Traffic Forecasting Risk: Study Update 2004. Standard & Poor's Infrastructure Finance.
- Bain, R. y L. Polakovic, (2005), 'Traffic Forecasting Risk Study Update 2005: Through Ramp-up and Beyond'. Standard & Poor's Corporates.
- Bain, R. y M. Wilkins, (2002), 'Credit implications of traffic risk in start-up toll facilities'. Standard & Poor's Project & Infrastructure Finance Review: 85-92.
- Dirección General de Carreteras (2007), *Previsiones de parque tráfico y consumo para el Plan Sectorial de Carretera 2005 / 2012*. Ministerio de Fomento.
- Flyvbjerg, B. (2005), 'Measuring inaccuracy in travel demand forecasting: methodological considerations regarding ramp up and sampling'. *Transportation Research Part A* 39: 522-530.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. y Buhl, L. (2005), 'How (In)accurate are demand forecasts in Public Works Projects?. The case of Transportation', *Journal of the American Planning Association*, vol 71-2.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. K., Skamris y Buhl, S.L., (2006), 'Inaccuracy in Traffic Forecasts', *Transport Reviews*, 26:1, 1-24.
- Flyvbjerg, B., (2008), 'Curbing Optimism Bias and Strategic Misrepresentation in Planning: Reference Class Forecasting in Practice'. *European Planning Studies*, 16:1, 3-21.
- de Jong, G. A. Daly, M. Pieters, S. Miller, R. Plasmeijer y Frank Hofman, (2007), 'Uncertainty in traffic forecasts: literature review and new results for The Netherlands'. *Transportation* 34: 375-395-
- Naess, L., Flyvberg, B y Buhl, S.L. (2006), Do road planners produce more honest numbers than rail planners?. An analysis of accuracy in road traffic forecast in cities versus peripheral regions', *Transport Reviews*, 26, 537-555.
- Puertos del Estado (2007), *Actualización de las previsiones de tráfico portuario del Sistema Portuario Español (2007, 2010 y 2020)*, Ministerio de Fomento.
- Riddington, G., (2006), 'Long Range Air Traffic Forecasts for the UK: A Critique'. *Journal of Transport Economics and Policy*, 40:2, 297-314.