



Facultad de Ciencias Económicas y de Administración
Universidad de la República



CONVENIO OPP – FCEyA (UdelaR)

Fortalecimiento del Sistema Nacional de Inversión Pública

Metodologías General y Sectoriales de Formulación y Evaluación de Proyectos

Metodología de Proyección de la Demanda de Transporte

Docente Responsable: Alvaro Santos ¹

**Versión Final
Agosto 2012**

¹ Profesor Agregado de Preparación y Evaluación de Proyectos en FCEA. Realizado en colaboración con docentes de la cátedra de Preparación y Evaluación de Proyectos

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 DEMANDA Y TIPOS DE TRÁFICO	3
1.2 DEMANDA E INTERRELACIONES EN LOS MODELOS DE TRANSPORTE	4
2. MODELOS DE PREDICCIÓN DE DEMANDA.....	6
2.1 ASPECTOS GENERALES	6
2.2 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO EXISTENTE	7
2.3 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO EXISTENTE Y/O GENERADO	9
2.4 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO DESVIADO	10
2.5 PREDICCIÓN EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS ESTANDARIZADOS	12
2.6 INCERTIDUMBRE	14
2.7 EJEMPLOS	15
3. REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN.....	19
3.1 ENCUESTA ORIGEN Y DESTINO	19
3.2 ENCUESTAS DE PREFERENCIA DECLARADA	19
3.3 TIEMPOS DE VIAJE Y COSTOS DE OPERACIÓN.....	19
3.4 PROYECCIÓN DEL PARQUE VEHICULAR.....	20
3.5 DATOS SOCIOECONÓMICOS	20
3.6 ACTIVIDADES ECONÓMICAS, PROYECTOS RELEVANTES Y PBI	20
3.7 ELASTICIDADES.....	21
BIBLIOGRAFÍA	22

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La evaluación económica de un proyecto de transporte implica medir el cambio que se verifica en el bienestar social como consecuencia de la intervención que se propone en la infraestructura o en los servicios de transporte. Para ello es preciso comparar los beneficios y costos sociales que están asociados a la actuación planeada o situación con proyecto respecto de aquellos que derivan del caso base o situación sin proyecto.

En consecuencia disponer de una predicción confiable de la demanda futura del proyecto es un factor clave para la correcta estimación de su rentabilidad económica, puesto que los principales beneficios y costos dependen de su correcta cuantificación. Similar conclusión puede efectuarse para aquellos proyectos donde además participen como operadores agentes privados, para los cuales estimar en forma precisa la rentabilidad privada es una condición necesaria para viabilizar y hacer sustentable un proyecto que puede ser socialmente conveniente.

Por otra parte, la proyección de la demanda de transporte tiene una incidencia muy importante en el dimensionamiento de las inversiones del proyecto. Esta situación es particularmente relevante en los proyectos de infraestructura de transporte, puesto que por las propias características de este tipo de inversiones los errores cometidos en la proyección de la demanda pueden generar problemas de subestimación o sobreestimación de la capacidad de transporte de muy difícil solución. No es sencillo volver a ampliar la capacidad de una infraestructura saturada ni tampoco lograr un mayor aprovechamiento de una infraestructura sobredimensionada.

Es claro pues que la tarea de predecir el comportamiento de la demanda del proyecto de transporte resulta clave, pero también es una tarea compleja que plantea grandes desafíos para el equipo de evaluación del proyecto, tal como se expone en los dos apartados siguientes.

1.1 DEMANDA Y TIPOS DE TRÁFICO

Los proyectos de transporte tienen en general como principales beneficios sociales por un lado, la reducción de los costos generalizados de viaje (CGV) que es el “precio” que implícitamente pagan los usuarios de la infraestructura o servicio de transporte en términos del importe abonado por el usuario por cada viaje, del valor de los tiempos de viaje y de los costos de operación de vehículos, y por otro la disposición a pagar (DAP) por los nuevos viajes que son inducidos por las mejoras en la infraestructura o servicios que introduce el proyecto.

De esta manera, los cambios que introduce un proyecto de transporte puede dar lugar a una variedad de situaciones como por ejemplo generar nuevos viajes y desviar otros ya

existentes de otras rutas o modos alternativos de transporte, mejorar las condiciones de viaje de los usuarios actuales, etc.

Esta diversidad de situaciones que son consecuencia del proyecto, expresan diferentes tipos de tráfico que están asociados a distintos beneficios sociales (reducción de los CGV y aumento de la DAP).

Esto implica que para la situación con y sin proyecto la estimación de la demanda deberá identificar y proyectar las distintas clases de tráfico relacionadas con la intervención propuesta en el mercado de transporte, lo que agrega complejidad al proceso predictivo.

La clasificación de los tráficos que usualmente se emplea es la siguiente:

A. Tráfico normal o existente

Es el tráfico realizado por los usuarios que hacían uso de la infraestructura o ruta antes del proyecto en estudio y que seguirían haciéndolo aunque este no se ejecutara.

B. Tráfico inducido

Es el tráfico que induce el proyecto que se propone y comprende:

a. Tráfico generado

Corresponde al tránsito que no existía ni existiría sin el proyecto. Se incluye al tránsito ocasionado por nuevos usuarios del sistema cuyo beneficio marginal de realizar los viajes era menor al precio vigente sin proyecto, así como al generado por usuarios ya existentes que aumentan el número de viajes.

b. Tráfico desviado

Refiere al tráfico que haría uso de la ruta o infraestructura sobre la que actúa directamente el proyecto, abandonando otra infraestructura o modo de transporte. En algunos textos suele incluirse en esta categoría solamente a aquel tráfico que cambia su ruta pero mantiene origen y destino, incluyendo en una categoría diferente al tráfico transferido, es decir aquel que como consecuencia del proyecto cambia su origen o destino.

1.2 DEMANDA E INTERRELACIONES EN LOS MODELOS DE TRANSPORTE

Las infraestructuras y servicios de transporte surgen como consecuencia de las necesidades que tienen los individuos y los agentes económicos de realizar actividades que implican un desplazamiento. En consecuencia el transporte es una demanda derivada puesto que no se demanda per se, sino para realizar una actividad en otro momento y lugar que puede ser de carácter productivo, comercial, recreacional o de otro tipo (por ejemplo salud, educación, etc).

De esta forma ese conjunto de actividades que se desarrollan en distintos lugares establece la demanda de transporte que será satisfecha por un sistema de transporte conformado por la red de infraestructuras, vehículos y diferentes modos, mediante flujos de transporte que se expresan a través de la realización de viajes de personas o de carga entre ciertos orígenes y destinos.

Es claro pues que cambios en los niveles de actividad por parte de los agentes económicos o de los individuos afectarán al sistema de transporte dando lugar a modificaciones en los flujos. Inversamente transformaciones en el sistema tales como una mejora en la calidad de los servicios que presta o el surgimiento de ellos en localizaciones donde antes no existían, también causarán cambios en los niveles de actividades o en su relocalización y como respuesta a ello originarán variaciones en los flujos de transporte.

Estas interrelaciones entre las actividades desarrolladas por agentes e individuos y el sistema de transporte que se expresa a través de la demanda de transporte, debe ser modelizada para la predicción de la demanda del proyecto.

El primer paso es identificar los factores que inciden y explican la demanda y especificar un modelo que refleje dicha relación. La demanda depende principalmente de los CGV además de factores económicos, sociales, demográficos y culturales y de las características de la infraestructura o modo de transporte evaluado respecto de sus alternativas competitivas.

La demanda será una respuesta a diversas decisiones individuales: elección del destino, elección del modo de transporte, elección de ruta y día y hora del viaje. Todas estas elecciones dependerán de variables socioeconómicas, de los cambios en la accesibilidad, del motivo de los viajes pero como se dijo fundamentalmente de los cambios en los costos generalizados del viaje. Sin embargo el CGV también puede depender del tráfico, estableciéndose de esta forma una relación dinámica entre estas variables que exige que el modelo seleccionado se aplique en forma iterativa.

El modelo de demanda deberá predecir la elección de los agentes e individuos ante cambios en estos factores. La multiplicidad de factores explicativos, la falta de información sobre varios de ellos e incluso la necesidad de predecir sus valores futuros son fuente de incertidumbre. En cualquier caso el modelo que se elija no será más que una aproximación simplificada de la realidad y por ende estará sujeta a error, de ahí la necesidad que el análisis incorpore el riesgo y la incertidumbre.

La elección y la complejidad del modelo de predicción de demanda de transporte que se adopte no es sencilla, pero en última instancia dependerá por un lado de la magnitud de la inversión del proyecto de transporte que se evalúa y de los cambios que ésta genera en la oferta de transporte, y por otro de la disponibilidad de datos estadísticos y de las posibilidades reales de relevamiento de nueva información.

2. MODELOS DE PREDICCIÓN DE DEMANDA

2.1 ASPECTOS GENERALES

Una inversión en transporte afecta diversas decisiones individuales y de los agentes que desarrollan actividades económicas que deben ser contempladas en la estimación de la demanda, tales como generación de nuevos viajes, elección del destino, selección del modo de transporte, de la ruta, fecha, etc.

Por esta razón antes de estimar la demanda es necesario precisar con claridad el área geográfica de influencia del proyecto. Deben identificarse todas las rutas y los modos de transporte alternativos al servicio o a la infraestructura bajo análisis, así como también cuantificarse los costos generalizados de viaje que tienen asociados.

El modelo de estimación de la demanda puede a su vez dividirse en cuatro etapas para intentar responder cada una de aquellas interrogantes, que suelen conocerse como etapas de generación, distribución, elección modal y asignación a la red:

- La generación de viajes pronostica el número de viajes que pueden realizarse.
- La distribución de viajes determina el destino de los viajes generados.
- La elección modal predice el modo de transporte en el que se realizarán los viajes.
- La asignación a la red predice las rutas que tomaran los diferentes modos de transporte para efectuar los viajes.

Generalmente, por relevancia, carencia de datos y dificultad de estimación la mayoría de los estudios suelen estimar la generación y la distribución modal.

La determinación del método e incluso del modelo a utilizar para predecir la demanda debe hacerse teniendo en cuenta las características particulares del proyecto sujeto de estudio, la disponibilidad de datos, el costo de obtenerlos y la magnitud de los recursos humanos disponibles para estudiar el proyecto.

Debe existir un equilibrio entre los recursos a destinar en la predicción, el monto de la inversión requerida por el proyecto y la irreversibilidad o al menos posibilidad de ajuste que tenga el proyecto una vez concretadas las inversiones. Difícilmente no existan errores en la predicción de la demanda, en general son inevitables, pero el margen de error está asociado al método de estimación empleado. En algún punto, reducirlo se vuelve cada vez más costoso y se hace necesario encontrar un equilibrio entre el tiempo y los costos necesarios para mejorar la estimación por un lado, y los costos que puede ocasionar el error de predicción o incluso su irreversibilidad por otro.

Por ejemplo, si se trata de un proyecto para incrementar la flota de buses de transporte interurbano de pasajeros en función de la demanda estimada, siempre es posible a

posteriori aumentar o reducir el número de vehículos de la flota a un costo no demasiado elevado. En cambio, en el caso del ensanche de una carretera, una vez realizada la misma esta no puede ser desmontada aunque la demanda real sea mucho menor a la esperada. En este caso, se habrá invertido recursos de la sociedad en una infraestructura con escasos beneficios sociales.

En línea con estos aspectos, es necesario tener presente que el modelo de predicción de demanda de transporte que se defina debe responder a un doble propósito, el explicativo y el predictivo.

En su rol explicativo, el modelo supone la definición de una variable o un conjunto de variables que necesita ser explicado y por otra parte, la definición de una serie de variables explicativas que son las determinantes del fenómeno que interesa analizar. En su rol predictivo va a ser utilizado para cuantificar los valores futuros de la variable a explicar a partir de los valores proyectados de las variables explicativas.

En consecuencia, se debe tratar de evitar el conflicto entre ambos roles, por esta razón si el objetivo final del modelo será predecir el comportamiento futuro de la demanda de transporte del proyecto, entonces en su formulación será necesario privilegiar la inclusión de aquellas variables explicativas (por ejemplo actividades productivas, parque de vehículos, etc) cuya evolución en el tiempo sean factibles de determinar razonablemente.

Se presentan a continuación algunos métodos para proyectar la demanda. Debe tenerse en cuenta que la aplicación de estos métodos en su estado puro no es habitual, sino que suelen combinarse en función de la información y los recursos disponibles.

2.2 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO EXISTENTE

Modelos de Series de Tiempo

Se llaman series de tiempo a un conjunto de observaciones regulares sobre valores que toma una variable (cuantitativa) en diferentes momentos del tiempo. Un análisis de series temporales busca explicar la evolución futura de una variable en función de sus valores pasados.

El análisis de una serie temporal se basa en la idea de que ésta puede descomponerse siempre en una serie de componentes parciales que, agregados (sumados o multiplicados) configuran el aspecto global de la serie observada. Estos componentes son la tendencia, el ciclo, la estacionalidad y el componente errático o no sistemático.

Estos modelos asumen que el comportamiento futuro del tráfico se explica únicamente por su comportamiento pasado. Tienen como ventaja que para su aplicación solamente se necesita una serie de mediciones del tráfico en la ruta de interés y no es necesario contar con información sobre las variables que puedan explicar el mismo. Estas técnicas permiten

predecir la evolución de tráfico existente pero no incorporan al análisis ni el tráfico generado ni el tráfico desviado.

Modelo tendencial

El método más sencillo dentro de series de tiempo, muchas veces utilizado para estimar el tráfico existente, es el que se centra únicamente en la tendencia.

Para determinar la relación entre el tráfico y el tiempo, es decir la tasa de crecimiento del tráfico, suelen utilizarse dos relaciones funcionales, la lineal y la semi logarítmica que suponen tasas de crecimiento (□□) decrecientes y constantes respectivamente.

Relación lineal: $y_t = \alpha + \beta \cdot t + u_t$

Relación semilogarítmica: $\ln(y_t) = \alpha + \beta \cdot t + u_t$

Donde:

- y es la demanda
- α y β los parámetros a estimar
- t el tiempo
- u el error aleatorio

Para su aplicación, solamente se requiere una serie temporal del tráfico en la ruta de interés. Sin embargo, es frecuente que solo se disponga de apenas unas pocas mediciones que inhabiliten una estimación basada en probabilidad. En muchos casos no existen mediciones para la ruta de interés, ya sea porque nunca se tomaron o por tratarse de una nueva ruta. En estos casos suele proyectarse el tráfico estimando una tasa de crecimiento anual en función del promedio que surja de las pocas mediciones existentes, de promedios nacionales, de proyectos de rutas similares o incluso a partir de opiniones de expertos.

En ocasiones, suele incorporarse en la evolución futura proyectada una tasa de crecimiento para el tráfico generado. Este crecimiento puede incorporarse para el momento de puesta en marcha del proyecto o determinarse un incremento gradual que acompañe los primeros años del proyecto. Esta es una forma muy sencilla, rápida y poco costosa de proyectar, sin embargo el margen de error puede ser muy importante. Debe tratar de evitarse su aplicación en proyectos que impliquen una inversión de envergadura o en aquellos donde existe un alto grado de irreversibilidad.

Modelo ARIMA

Hay modelos de series de tiempo que buscan ir más allá de los componentes cíclicos, tendenciales y estacionales, analizando el componente no sistemático, de carácter

aparentemente aleatorio, para tratar de identificar algún patrón de interés en su evolución que ayude a entender la progresión de la serie completa. Este es el caso de los modelos ARIMA.

La aplicación de modelos ARIMA suele realizarse por descomposición, analizando en primer lugar la tendencia de la serie, pasando después a observar la estacionalidad y concentrándose después en la identificación del componente filtrado de tendencia y estacionalidad.

El residuo obtenido luego de estimar los componentes estacionales y tendenciales constituye un proceso estocástico (sucesión de variables aleatorias), que se explica en función de modelos de probabilidad.

Para ello, se utilizarán dos tipos de formas funcionales lineales sencillas: los modelos AR (Modelos Autorregresivos), y los modelos MA (de Medias Móviles); se utilizan también combinaciones de estos (ARMA o ARIMA).

La metodología utilizada para este tipo de análisis fue presentada por Box y Jenkins y consiste en un proceso iterativo de tres pasos: identificación, estimación y validación. Primero se identifica uno o unos pocos modelos ARIMA tentativos basado en análisis gráficos de la serie temporal. A continuación se estiman, para finalmente validar su potencial contrastando sus predicciones contra datos conocidos seleccionando el que mejor ajusta.

La principal restricción a la hora de aplicar este método es la misma que en el modelo tendencial, es decir la disponibilidad de una serie de mediciones, extensa y a intervalos regulares del tráfico. Si se dispone de la serie, los modelos ARIMA suelen ser un instrumento preciso para predecir el tráfico existente. Si bien la aplicación de esta técnica es más sencilla que la utilización de otros modelos de regresión econométricos que se presentarán más adelante, el procedimiento no es trivial y debe ser aplicado por personal capacitado.

2.3 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO EXISTENTE Y/O GENERADO

Modelo econométrico

El modelo econométrico de estimación de demanda puede ser utilizado para la predicción tanto del tráfico normal o existente como del tráfico generado por el proyecto puesto que incorpora al análisis variables explicativas de cualquier índole: económicas, sociodemográficas, de costos monetarios y temporales, etc. Por ejemplo del tipo crecimiento de la población, del PBI, parque vehículos, volumen de comercio, tarifas, etc.

Al incluir más factores explicativos mejoran las predicciones generadas por el método anterior y hace posible incorporar el análisis del tráfico inducido. Permite diseñar escenarios y realizar proyecciones condicionadas a ellos.

Como contrapartida estos modelos requieren mayor información y el método de estimación es más complejo. Si bien pueden incorporar un mayor número de variables

explicativas, sus valores futuros no se conocen y es necesario estimarlos para luego estimar los parámetros del modelo especificado y realizar proyecciones. Fijar valores futuros de las variables explicativas incorpora incertidumbre al modelo y aumenta el margen de error.

En forma matricial, la ecuación de demanda puede expresarse como:

$$Y_t = X_t' \beta + u_t$$

Donde:

Y , es la demanda
 X , las variables explicativas
 β , los parámetros a estimar
 u , la perturbación aleatoria

Los modelos econométricos de predicción de demanda de transporte suelen estimarse a partir de datos de sección cruzada. Para realizar predicciones de largo plazo se recomienda la utilización de series temporales que permiten incorporar el defasaje en el ajuste de la demanda a cambios en la oferta.

Lo ideal es trabajar con datos de panel, que combinan las ventajas de las dos opciones anteriores ya que permiten modelizar relaciones específicas entre variables que afectan la generación de tráfico y a su vez permiten incorporar al ajuste temporal.

En cualquier caso es necesario plantear la forma funcional que relacione el tráfico con las variables explicativas identificadas inicialmente. Las gama de opciones son muchas y los métodos de estimación también, excediendo el alcance de este capítulo.

2.4 PREDICCIÓN DEL TRÁFICO DESVIADO

Modelo de elección modal

Un proyecto de transporte que por ejemplo cree una nueva ruta, un nuevo modo de transporte o reducir los costos en uno ya existente, puede llevar a que los individuos cambien la alternativa por la que optaban antes del proyecto. Si fuera posible determinar cómo un individuo toma sus decisiones en relación a los cambios en los costos de viajes (en tiempo y en dinero) así como en las calidades de las alternativas de transporte, se mejoraría sensiblemente la estimación de la demanda del proyecto.

Para estimar el tráfico desviado se aconseja utilizar modelos de elección discreta a partir de microdatos individuales. Trabajar con datos agregados es posible, pero implica asumir que los individuos en la zona de influencia del proyecto son de similares características que los individuos que conforman los datos agregados. La base de datos desagregada debe contar con un tamaño relevante e incluir las características más importantes para los individuos a la hora de optar por un modo de transporte. Estos datos pueden obtenerse a

partir de observaciones reales de decisiones individuales o a partir de encuestas o experimentos donde los individuos deban tomar decisiones ante situaciones hipotéticas.

Nuevamente, contar con una base de datos adecuadas es una de las principales restricciones, ya que sea porque no está disponible o porque resulta costoso construirla.

Estos modelos parten del supuesto que la demanda total es fija, buscan determinar el tráfico desviado y presentan muy buenas estimaciones de las elasticidades de la demanda de un modo de transporte ante cambios en las variables explicativas. Se busca a través de ellos modelar la función de utilidad de los individuos, que optarán por el modo de transporte que maximice su utilidad esperada. Cada individuo debe optar entre alternativas excluyentes y lo hará por aquella que le proporcione mayor utilidad que el resto de las opciones.

Según el número de alternativas posibles se distinguen modelos de respuesta dicotómica de los denominados modelos de respuesta o elección múltiple. Cuando la opción se plantea entre dos modos de transporte alternativos, los modelos más utilizados son el logit y el probit, los que son relativamente sencillos de estimar. Ante tres o más opciones, deben plantearse modelos multinomiales y las elasticidades deben estimarse a través de complejos algoritmos de aplicación iterativa.

En el siguiente cuadro se presenta una clasificación de los modelos de elección discreta.

Nro de modos de transporte alternativos	Función de distribución de probabilidad	Modelo
2 modos posibles	Lineal	Modelo de Probabilidad Linea
	Logística	Modelo Logit
	Normal estándar	Modelo Probit
3 o más modos posibles	Logística	Logit Multinomial
		Logit Condicional
		Logit Ordenado
	Normal estándar	Probit Multinomial
		Probit Condicional
		Probit Multivariante
		Probit Ordenado

A modo de ejemplo se presenta a continuación en forma simplificada un modelo de elección dicotómica.

El modelo se basa en que la utilidad se deriva de una elección que depende y es función de las características propias de cada uno de los modos de transporte alternativos, de variables de contexto (macroeconómicas, culturales, etc.) y de características personales de cada individuo. Llamando 0 y 1 a los dos modos de transporte posible, Uti a la utilidad

que para el individuo t representa el modo de transporte i y asumiendo linealidad en la función de utilidad se tiene que:

$$U_{i0} = X_{i0}'\beta_0 + c_0$$

$$U_{i1} = X_{i1}'\beta_1 + u_{i1}$$

donde los u_{ti} recogen las desviaciones que los agentes tienen respecto a lo que sería el comportamiento del agente medio y que se debe a factores aleatorios. El agente i elegirá la opción 1 si la utilidad de esa decisión supera la de la opción 0 y viceversa, de manera que,

$$Y_i = 1 \text{ si } U_{i1} > U_{i0}$$

o

$$Y_i = 0 \text{ si } U_{i1} < U_{i0}$$

Y el modelo dicotómico quedaría definido por,

$$\begin{aligned} \text{Probabilidad (Y = 1)} &= \text{Probabilidad (} U_{i1} > U_{i0} \text{)} = \\ &= \text{Probabilidad (} U_{i1} - U_{i0} > 0 \text{)} = \text{Función (} X_i' \beta \text{)} \end{aligned}$$

La probabilidad de que cada individuo opte por la opción 1 será función de los valores de las variables explicativas. Como función que relaciona dichas variables explicativas con la elección del modo, que será también la distribución asociada a la perturbación aleatoria u_t , suele utilizarse una función de distribución uniforme, una función de distribución de la normal tipificada o una curva logística, obteniéndose un Modelo Lineal de Probabilidad Truncado, un Probit o un Logit, respectivamente. Por las propiedades que presentan, son recomendables los dos últimos, los que a su vez arrojan resultados muy similares.

2.5 PREDICCIÓN EN FUNCIÓN DE PARÁMETROS ESTANDARIZADOS

No siempre es posible disponer de la base de datos adecuada para aplicar un modelo econométrico o un modelo de elección modal. En algunos casos puede resultar muy costoso obtenerla o no existir suficiente confianza sobre la calidad de la misma. En estos casos es posible recurrir a la experiencia observada en proyectos similares. Aún en caso de disponer de los datos suficientes y poder aplicar modelos complejos, especialmente cuando las inversiones son por un monto significativo, es recomendable contrastar las estimaciones con los resultados de experiencias comparables. Por ello cuando las decisiones a adoptar revistan importancia deber tomarse este método como complementario de otros.

Los proyectos de transporte suelen tener características muy particulares que deben ser consideradas antes de realizar comparaciones. Previo a utilizar información de otros trabajos es necesario verificar que los proyectos sean comparables. Deben considerarse, según de qué trate el proyecto sujeto a estudio, los modos alternativos de transportes disponibles, los niveles de costos y características de población y peso de los sectores de actividad.

Hay más de un camino para utilizar los resultados de otros proyectos, pero en general suele resumirse en elasticidades. En términos generales las elasticidades muestran la variación en la demanda ante cambios marginales en una variable explicativa (precio, tiempo de viaje, ingreso disponible de los hogares, etc.). Estas suelen ser útiles para determinar generación de tráfico y distribución modal.

$$\eta_t = \frac{\partial Y \cdot X_t}{\partial X_t \cdot Y}$$

Donde:

η_t es la elasticidad de la demanda ante cambios en X_t
 Y es la demanda
 X_t es la variable explicativa t

Debe tenerse cuidado al aplicar las elasticidades, ya que al estar calculadas para cambios marginales pueden llevar a errores si se aplican a inversiones que generan cambios sensibles en las variables explicativas.

Existe una vasta experiencia empírica en proyectos de transporte donde se han calculado elasticidades. Es recomendable establecer categorías o seleccionar un conjunto de proyectos comparables y utilizar los valores promedios determinados a partir de los mismos o incluso aprovechar la variabilidad observada para realizar análisis de sensibilidad o definir escenarios.

Una de las elasticidades más comunes y útiles es la elasticidad precio de la demanda. Esta mide la sensibilidad de la demanda (número de viajes, número de pasajeros, volumen de carga transportado, etc.) ante cambios en el precio del viaje.

La experiencia indica que dicha elasticidad depende del motivo del viaje. Los viajes de negocio suelen mostrar elasticidades menores que los viajes por placer, lo que se vincula con la obligatoriedad o necesidad de realizar el mismo.

La elasticidad precio del uso del vehículo privado suele ser menor a la unidad. Los transportes ferroviario o aéreo suelen mostrar elasticidades mayores. En el caso de transporte de carga, se relaciona con la mercancía transportada, pero muestra generalmente una demanda elástica.

La elasticidad renta mide los cambios en la demanda ante variaciones en la renta, manteniendo constantes el resto de los factores explicativos de la demanda. Como renta y según el caso puede considerarse el PBI, el ingreso de la población u otras medidas.

A nivel agregado, el transporte es un bien normal y su elasticidad renta es positiva. El transporte privado, el aéreo, el número de viajes, el número de pasajeros, el volumen de carga transportada suelen estar positivamente correlacionados con la renta.

Sin embargo, esto no aplica necesariamente a todos los modos de transporte. El transporte público ha mostrado en algunos casos elasticidades renta negativas o incluso mayores a la unidad. Ante un descenso de la renta, personas de nivel socioeconómico medio dejan de lado opciones más confortables y aumentan sus viajes en el transporte público en tanto algunos pasajeros de ingresos bajos ya no pueden acceder a este medio de transporte o lo sustituyen por la bicicleta o la caminata. Del resultado neto de estas dos fuerzas dependerá el valor de la elasticidad. Estudios recientes realizados para Uruguay muestran que para el primer quintil de la distribución del ingreso, el transporte público tiende a ser un bien de lujo (elasticidad renta mayor a 1), para el último quintil un bien inferior (elasticidad negativa), y para los 3 quintiles restantes, un bien de primera necesidad (elasticidad renta entre 0 y 1).

También suele calcularse la elasticidad de la demanda ante cambios en el tiempo de viaje. Esta elasticidad depende del tipo de viaje y del tiempo esperado de permanencia en destino. A la inversa de la elasticidad precio, los viajes de negocio suelen mostrar una alta elasticidad ante cambios en el tiempo de viaje en tanto los viajes por ocio en general no son muy sensibles a cambios en dicho factor. Por otro lado, cuanto menor es el tiempo de permanencia esperado en destino, mayor es la sensibilidad de la demanda de un modo de transporte a cambios en el tiempo de viaje.

2.6 INCERTIDUMBRE

Como ya se mencionó, la proyección de la demanda es fundamental para la evaluación de un proyecto y errores en la estimación pueden distorsionar el resultado y conducir a decisiones equivocadas que en algunos casos aparezcan graves consecuencias. Por ende, no es recomendable trabajar con estimaciones puntuales sino incorporar los posibles errores en la predicción a la evaluación.

Pueden identificarse dos fuentes de error. El primero se vincula a la incertidumbre sobre los valores futuros de las variables que se utilizan para predecir la demanda, la evolución de la renta, de la población, de algunos costos, etc. Estas variables deben ser estimadas previamente y los errores en estas estimaciones se trasladan a la estimación de la demanda. La segunda fuente de error es la incertidumbre del modelo, la que surge del método de estimación que se utilice y la especificación de la demanda que se defina. En los modelos econométricos hay que asumir, entre otras cosas, una forma funcional y una distribución estadística de los errores aleatorios que necesariamente implican supuestos simplificadores y variabilidad en la estimación que se logre.

Una forma habitual de tratar la incertidumbre es la conformación de escenarios razonables para las variables explicativas y de esta forma llegar a estimaciones alternativas. Si fuera posible asignar probabilidades a los distintos valores de las variables podría obtenerse una distribución de probabilidad de la demanda.

Otra forma de incorporar la incertidumbre es mediante procedimientos de simulación estocástica. Estas técnicas permiten obtener distribuciones de probabilidad de la demanda con un fundamento mayor que la asignación subjetiva de probabilidades.

2.7 EJEMPLOS

Se presentan a continuación dos ejemplos donde se estimaron demandas para proyectos de transporte. En el primer caso se partió de información limitada y secundaria y se utilizó con el objetivo de proyectar el tráfico existente y generado. En el segundo, con el objetivo de estimar el tráfico inducido, se generó información primaria y se aplicaron técnicas econométricas.

Caso 1:

El primer ejemplo es el planteado en el *Manual de evaluación económica de proyectos de transporte* del BID² y corresponde a una estimación de la demanda de sus autores para el proyecto de rehabilitación y duplicación de un tramo de la carretera BR-101 Florianópolis – Osorio en Brasil. Esta es una ruta federal de elevado tráfico que transcurre de norte a sur a lo largo del litoral brasileño, con una extensión total de 4.551 kilómetros aunque el proyecto de inversión analizado abarca únicamente 338 kilómetros. El estudio fue realizado previendo que las mejoras quedarían operativas en 2009.

El método empleado fue concebido para unas condiciones muy limitadas de información y recursos disponibles para la evaluación. Este puede asociarse al método presentado en 2.1.

Los últimos datos disponibles sobre tráfico existente databan de 1997. No era posible aplicar por tanto un modelo tendencial basado en una serie de tiempo. El método consistió en;

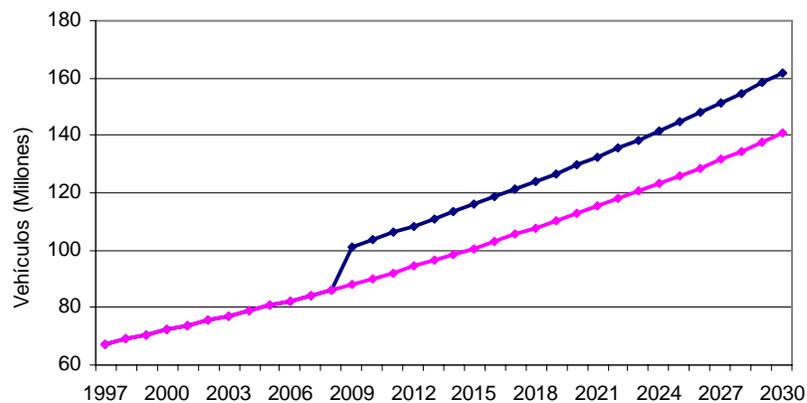
- 1) Proyectar el tráfico existente partiendo del tráfico inicial (la última medición disponible de 1997) e incrementándolo anualmente a razón de una tasa exógena, determinada en función de la experiencia, e incorporándole un componente aleatorio.
- 2) Incorporar a la estimación el tráfico generado incrementando el tráfico proyectado en el punto anterior por un porcentaje determinado en función de la experiencia, e incorporando nuevamente un componente aleatorio a dicha tasa.

² De Rus G., Bentancor O. y Campos J. (2006).

Para proyectar el tráfico de los años siguientes se aplicó a los datos de tráfico inicial una tasa lineal de crecimiento anual acumulativo de carácter aleatorio. En particular se consideró que esta tasa seguiría una distribución uniforme que toma valores entre 2% y 2,5%. Esta distribución se basó en datos reales observados para la misma ruta en años anteriores.

El porcentaje de aumento del tráfico a consecuencia del tráfico generado también es exógeno. Para estimar el tráfico generado por el proyecto se consideró que éste aparece a partir del año 2009 (fecha de finalización de las obras) de acuerdo con un porcentaje aleatorio (distribuido uniformemente entre el 10% y el 20%) que multiplica al tráfico del año anterior.

Los resultados del procedimiento anterior pueden apreciarse en el siguiente gráfico:



Una debilidad del método empleado es que determina la evolución futura de tráfico solamente en función de su evolución pasada, sin identificar e incorporar al análisis otras variables que en el caso del proyecto pueden ser relevantes para la predicción. Estas pueden ser variables macro, como ser el PBI o el nivel de actividad en el área de influencia, u otras variables asociadas específicamente a las características particulares del proyecto y que difícilmente puedan haber sido consideradas en la tasa de crecimiento lineal aplicada.

Como ya se señaló, este método tiene la ventaja de ser poco costoso y de rápida implementación, entre otros motivos en razón de que los parámetros más difíciles de estimar son exógenos al modelo. Frecuentemente, parámetros tales como la tasa de crecimiento esperada para el PBI o del parque automotriz son objeto de estudio por expertos, a través de modelos complejos y pueden ser tomados como dato para proyectos específicos. En casos como el anterior, donde los parámetros o variables exógenos son la tasa de crecimiento del tráfico existente o la generación de tráfico, debe actuarse con mayor cautela. Las tasas de crecimiento del tráfico en la misma ruta en años anteriores, el tráfico generado ante proyectos similares o las elasticidades observadas del tráfico respecto a variables macroeconómicas pueden ser tomadas como una referencia importante. Sin embargo, previo a su aplicación en un proyecto específico deben ser analizadas críticamente de acuerdo a las particularidades del caso en estudio.

Caso 2:

Se estudió la demanda de un nuevo servicio de trenes que incorporaba importantes mejoras en relación al servicio que brindaba el ferrocarril existente en el corredor de transporte Galicia - Madrid³. El objetivo planteado era proyectar dicha demanda, incluyendo dentro del procedimiento un modelo para estimar el tráfico inducido, es decir un modelo de elección modal, considerando la opción entre el nuevo servicio y los varios ya existentes. Más precisamente se determinaron dos modelos de elección modal, uno para los viajes por ocio y otro para los viajes por trabajo. El método empleado coincide con el presentado en 4.1, en particular con el logit multinomial.

Como suele ser habitual al tratarse de proyectar demanda a servicios no existentes, se optó por trabajar con preferencias manifestadas o manifiestas, obtenidas a través de encuestas. Como se preveía que las mejoras generarían tráfico, no solo de los actuales usuarios sino también de aquellos que en el momento no utilizaban el servicio, se entendió que encuestar usuarios de los actuales sistemas de transporte podría generar sesgo y por ello se realizaron 2.703 entrevistas telefónicas sin discriminar a usuarios de no usuarios.

La población de interés se acotó a las poblaciones urbanas de Galicia y Madrid y las provincias de León, Zamora y Valladolid. Las entrevistas, entre otras variables de interés, relevaron la valoración subjetiva de cada persona del tiempo y el costo del viaje en los distintos modos de transporte disponible, para un conjunto de escenarios planteados.

Con estos insumos se construyó un modelo logit multinomial para la elección del modo de transporte por motivo de ocio y otro similar para motivos de trabajo, ambos con las mismas variables. Sin embargo la muestra para este segundo modelo surgió solamente de las entrevistas a personas que trabajan y que por su trabajo deben viajar. Las variables explicativas utilizadas fueron el precio y el tiempo, una constante específica para cada modo (auto, avión, autobús o tren) y una variable ficticia para recoger la preferencia de los entrevistados por el nuevo tren que se ofrecía, con características de frecuencia y puntualidad diferentes al existente. La estimación de este modelo calcula solamente n-1 constantes específicas, tomando uno de los modos de transporte disponibles como referencia. En este caso el modo de referencia es el tren, por lo que el resto de las variables deben interpretarse como las diferencias no explicadas por los regresores o gustos de los consumidores que provocan alteraciones en la probabilidad de elegir algún modo de transporte, frente al modo de referencia tren.

En el siguiente cuadro se presenta la estimación del modelo de elección modal en viajes por ocio:

Variable	Coeficiente	P-valor
Tiempo	-0.00205774	0.000
Precio	-0.00009316	0.000
Fut	3.051789845	0.000
A-Coche	1.622554132	0.000
A-Avión	-0.34716029	0.000
A-Autobús	-0.05072623	0.000
RsqaAdj=44,8% LogL=-11153225		

³ Caride M., González X. y Miles D. (2000).

Se observa que todos los parámetros tienen el signo esperado y todos son significativos. A mayor precio o mayor tiempo de viaje disminuye la probabilidad de realizar un viaje. La constante para el modo coche es positiva y significativa, lo que indica que a igual precio y duración del viaje los gustos de los consumidores hacen más probable la utilización del coche que el tren. Lo contrario ocurre con el caso del avión. La variable ficticia creada para el tren en el escenario hipotético tiene signo positivo y es significativa. Esto indica que la probabilidad de elegir el tren se incrementa cuando se ofrece un servicio de más calidad, puntual y con mayor frecuencia, aunque el resto de las variables permanezca constante.

En el siguiente cuadro se observa la salida del modelo para viajes por trabajo:

Variable	Coeficiente	P-valor
Tiempo	-0.00478553	0.000
Precio	-0.00004697	0.000
Fut	2.431570052	0.000
A-Coche	1.118261337	0.000
A-Avión	0.049531967	0.000
A-Autobús	-0.43949998	0.000
Rsquared=37,1% LogL=-3377028		

Nuevamente todos los parámetros son significativos y coherentes con los signos que de ellos se esperaría. Se observa en este modelo una mayor sensibilidad al tiempo de viaje y una menor sensibilidad relativa al precio en relación a los viajes por ocio. A diferencia de los viajes por ocio, se aprecia que, a igual precio y tiempo, las personas valoran más los viajes en avión frente a los viajes por tren.

Para aplicar este método es imprescindible contar o generar mucha información. Esta información no suele estar disponible y su recolección suele ser costosa y requerir algunos meses para concretarla. Además, el método empleado requiere conocimientos econométricos y por tanto ser aplicado por recursos humanos capacitados en estas técnicas. Más allá de estas dificultades, este tipo de métodos suele tener un grado alto de confiabilidad y se recomienda su uso cuando estén en juego inversiones de alto valor y de difícil reversibilidad.

3. REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN

La disponibilidad de información que exista y las posibilidades de relevamiento que se tengan son aspectos fundamentales para la determinación del modelo a utilizar para la proyección de la demanda de transporte.

A continuación se enumeran algunas técnicas y tipos de información que resulta conveniente recopilar a nivel de campo.

3.1 ENCUESTA ORIGEN Y DESTINO

Realizadas en la zona de influencia del proyecto estas encuestas constituyen una fuente de información muy importante en la medida que brindan una visión general de las características del sistema de transporte y de los patrones de comportamiento de los agentes afectados por el proyecto que lo utilizan. A través de ella será posible conocer características básicas de los viajes que se registran en la red tales como origen-destino, propósito de los viajes, horarios, etc..

Para este relevamiento la utilización de la técnica de encuestas directas es muy recomendable. Consiste en detener a los vehículos en la vía en ciertos puntos de control y relevar: tipo de vehículo, número de ocupantes, volumen y tipo de de carga, y hacer un conjunto de preguntas predeterminadas acerca de su viaje: destino, origen, destino intermedio, propósito y frecuencia del viaje como mínimo.

3.2 ENCUESTAS DE PREFERENCIA DECLARADA

Las técnicas de Preferencias Declaradas se refieren a métodos que se basan en juicios declarados por los individuos acerca de sus preferencias sobre diferentes situaciones hipotéticas. De esta manera es posible estudiar el comportamiento de los individuos mediante la descripción de situaciones en determinados contextos que podría estar introduciendo el proyecto de transporte.

Este tipo de encuesta permite la valoración de ciertos atributos (por ejemplo tiempos de viaje, seguridad, etc.) y por lo tanto puede ser aplicada para elección de carreteras o rutas para viajar y distribución entre modos de transporte.

3.3 TIEMPOS DE VIAJE Y COSTOS DE OPERACIÓN

Se deben hacer mediciones de los tiempos de viaje y de los costos de operación de vehículos en la situación actual y analizar las mejoras que podría introducir el proyecto en estas variables para testear que efecto podría tener en la generación y/o desvío de tránsito.

3.4 PROYECCIÓN DEL PARQUE VEHICULAR

El relevamiento del parque de vehículos actual y la determinación de su tasa de crecimiento en el período de evaluación del proyecto, resulta información de importancia para el estudio de demanda. Esta estimación debería realizarse en forma regular, independientemente de un proyecto específico. El incremento neto de la flota depende de los vehículos cero kilómetro que se incorporen así como de los vehículos que queden fuera de circulación. La incorporación de vehículos cero kilómetro está fuertemente correlacionada con la evolución de la actividad económica y el ingreso de los hogares. Los vehículos que queden fuera de circulación dependerán, entre otras variables, del estado de la flota. Todas estas variables deben incorporarse en un modelo explicativo de la evolución futura del total de vehículos y esta estimación excede el alcance de la proyección de demanda de un proyecto particular, para el cual, el tamaño y características del parque vehicular debe ser un dato. En el caso de un área determinada deben considerarse además los nuevos emprendimientos productivos cuya escala pueda afectar sensiblemente el tráfico de una ruta, por ejemplo la instalación de una nueva planta de celulosa.

3.5 DATOS SOCIOECONÓMICOS

Es de interés conocer como se distribuye la población en el área de influencia del proyecto y cuáles son sus características económicas, mientras que sus tasas de crecimiento pueden estimarse a través del método lineal complementado por un análisis de factores económicos que pueden intensificar las tendencias de crecimiento.

3.6 ACTIVIDADES ECONÓMICAS, PROYECTOS RELEVANTES Y PBI

La información relativa a la localización geográfica y caracterización de las principales actividades económicas y productivas en el área de influencia resulta trascendente por su impacto en los flujos de transporte entre las distintas zonas que dicha área de influencia involucra.

Por esa misma razón y dado que la modelación requiere realizar proyecciones, también es importante establecer el potencial de crecimiento de las actividades económicas de mayor relevancia en términos de generación y atracción de flujos de transporte.

En ese sentido, el análisis de esas actividades económicas realizado a nivel sectorial, debe complementarse con el relevamiento de proyectos productivos que de materializarse pueden tener un fuerte impacto en la demanda de transporte del proyecto.

Por último y a un nivel más general interesa el nivel de PBI y su tasa de crecimiento futura. De estas variables existen proyecciones realizadas por el Ministerio de Economía y Finanzas, organismos internacionales especializados y analistas privados que se encuentran disponibles al público en general.

3.7 ELASTICIDADES

Como ya se mencionó, una forma habitual de proyectar tráfico consiste en proyectar la evolución futura de variables macroeconómicas, como por ejemplo el PBI, y aplicar elasticidades que determinen los cambios del tráfico ante cambios porcentuales en la/s variables anteriores. En algunos proyectos de la Dirección Nacional de Vialidad se aplica este procedimiento⁴. Para mejorar su eficacia es recomendable actualizar las elasticidades que se emplean, basarlas en diversas experiencias nacionales y en lo posible desagregarlas por tipo de vehículos. Para ello es necesario registrar el tráfico vehicular en diversas rutas, medir su evolución y asociarla a la evolución de las variables macro de interés (por ejemplo PBI).

⁴ Ver por ejemplo el proyecto de Acondicionamiento de la ruta 7, Tala –Fray Marcos – Casupá.

BIBLIOGRAFÍA

Caride M., González X. y Miles D. (2000). Demanda de transporte en el corredor Galicia – Madrid. Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Vigo.

De Rus G., et al. (2010). Evaluación económica de proyectos de transporte. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, (CEDEX). Ministerio de Fomento. España.

De Rus G., Bentancor O. y Campos J. (2006). Manual de evaluación económica de proyectos de transporte. Banco Interamericano de Desarrollo.

González-Savignat Mar., et al. Predicción de demanda: Análisis de la incertidumbre y modelos de predicción en España. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, (CEDEX). Ministerio de Fomento. España.

Matas A. et al. La predicción de la demanda en la evaluación de proyecto. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, (CEDEX). Ministerio de Fomento. España.