



INSTRUCTIVO:

“Cortes temporales de modelación y tasa de crecimiento de beneficios en proyectos de transporte”

División de Evaluación Social de Inversiones

1. Contexto

Actualmente el Ministerio de Desarrollo Social cuenta con 8 metodologías para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte. Dependiendo del subsector al que corresponda el proyecto, éste es evaluado siguiendo las recomendaciones que indique la metodología correspondiente. Específicamente, se cuenta con metodologías para proyectos ferroviarios, infraestructura aeroportuaria, pequeños aeródromos, vialidad urbana estructurante, vialidad urbana intermedia, vialidad local, vialidad interurbana y ciclovías.

En cuanto a la demanda de transporte, las técnicas de modelación propuestas en todas las metodologías dependen de las fuentes de información disponible y del nivel de detalle que se requiera en la etapa a la que postula el proyecto¹. Estas tienen por objetivo predecir las matrices de viaje origen destino para cortes temporales futuros, estimando tasas de crecimiento usualmente a partir de técnicas de series de tiempo o métodos de generación y atracción de viajes². En general, los métodos para analizar la demanda de transporte utilizados en todos los proyectos del sector son similares e independientes del subsector al que pertenezcan.

En cuanto a la oferta de transporte, tanto a nivel táctico como estratégico, se suele recurrir a técnicas de modelación que buscan representar con cierto grado de certeza, los fenómenos de oferta que existen o se prevé existirán, y que se consideran relevantes dentro del sistema de transporte, como cambios de capacidad u otros proyectos en que hay cierta certeza en su ejecución futura y puedan impactar directamente los beneficios del proyecto analizado, en una determinada área (generalmente en el área de influencia del proyecto) y en un determinado período de tiempo (dentro del horizonte de evaluación). Los enfoques de modelación difieren principalmente en el nivel de agregación con que estos fenómenos son representados.

De esta manera, a partir de la modelación de oferta y predicción de la demanda, se obtienen los consumos de recursos (tiempo, combustible, y otros) para cortes temporales futuros (los años modelados). Para los años siguientes al último año modelado, se aplican técnicas de proyección de beneficios hasta el final del horizonte de evaluación de un proyecto.

2. Problemática

De lo anteriormente señalado, hay dos elementos que requieren especial atención: los cortes temporales de modelación y las técnicas de proyección de beneficios del proyecto.

En primer lugar, es sabido que los problemas de transporte son multidimensionales, en el sentido que pueden implicar cambios de partición modal, pueden tener un área de influencia de diversa índole (por ejemplo, urbana e interurbana a la vez), pueden generar beneficios en red y entre diferentes modos³, entre otros. En este sentido, cualquier técnica de proyección de beneficios de un proyecto debe recoger el aspecto multidimensional y seguir un mismo lineamiento general que permita capturar correctamente las interacciones mencionadas.

¹ El concepto de **modelación es entendido en este instructivo como una forma de representar la realidad** y que no necesariamente requiere del uso de softwares especializados.

² Existen otras técnicas, pero no es parte del objetivo de este documento reportarlas.

³ Por ejemplo, es usual que un buen proyecto de transporte público produzca además impactos positivos en el transporte privado.

En segundo lugar, la modelación de oferta y demanda, que son similares e independientes del subsector relevante, están sujetas a las mismas limitaciones:

a) Incertidumbre de modelación de transporte de cortes temporales futuros.

La modelación de cortes temporales futuros se construye a partir de diversos supuestos que pueden o no ocurrir:

- Supuestos sobre comportamiento del sistema de actividades.
Los escenarios de usos de suelo definidos para modelar años futuros impactan directamente en la generación y atracción de viajes. La definición de éstos tiene un grado de certeza limitado, toda vez que las regulaciones (como planes reguladores) y políticas públicas asociadas al uso de suelo (subsidios, incentivos de localización, etc.) son dinámicas y pueden o no estar sujetas a actualizaciones. Ello impide tener un conocimiento acabado del comportamiento del mercado inmobiliario residencial u otras edificaciones que impactan, en el corto plazo, directamente en los flujos del área de estudio. Por otra parte, en el largo plazo, los proyectos de transporte, dados los cambios en el patrón de flujos, suelen impactar en la localización espacial y temporal del sistema de actividades, fenómeno muy difícil de predecir.
- Supuestos socioeconómicos de la población.
Es común que los modelos de generación y atracción de viajes incluyan variables de ingreso de los hogares, tamaños del hogar, tasa de motorización, entre otros. Si bien, en el largo plazo y a nivel de agregación zonal se usan técnicas robustas para obtener buenos resultados de predicción, es complejo en niveles desagregados del territorio tener un elevado grado de certeza sobre cómo se comportarán todas estas variables y sus interacciones.
- Supuestos sobre el sistema de transporte.
La infraestructura vial, que se proyecta en la situación base de un proyecto, varía en el tiempo, existiendo distintas configuraciones y jerarquías viales (por ejemplo, a través de la implementación de infraestructura especializada). Además, las características de los modos de transporte (frecuencia, rutas, tarifas, tamaño de flota, tipo de la flota, tecnología, entre otros) son altamente dinámicas y dependen de decisiones de corto plazo⁴.
- Supuestos de la regulación u optimización del sistema que decida realizar la autoridad respectiva.
Ante la presencia de problemas en el sistema de transporte (elevados niveles de congestión, baja velocidad del sistema de buses, problemas de esquemas tarifarios, niveles de ruido y vibraciones, u otros) puede ocurrir que la autoridad respectiva decida impulsar nuevas inversiones o ajustes al sistema, no previstos al momento de formular un proyecto. Todos estos cambios, que incluso pueden ser legales o normativos, usualmente están fuera de la modelación de una situación base en cortes temporales futuros, pues son decisiones imposibles de predecir con anticipación.

De esta manera, la capacidad predictiva sobre el comportamiento de los usuarios (elección de modo y ruta) y la estructura de los flujos proyectados (de acuerdo a la proyección de matrices origen

⁴ Por ejemplo, frecuencias y rutas de transporte público se actualizan continuamente. Así mismo, el sistema de tarifas de bajo costo del transporte aéreo, impacta directamente en las decisiones de los viajeros.

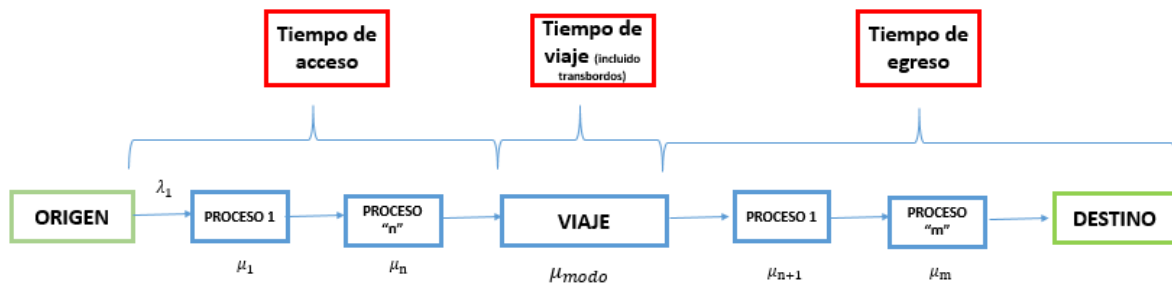
destino y a los niveles de servicio que resulten del equilibrio oferta-demanda) dependerán directamente del nivel de certeza que se tenga sobre los supuestos anteriormente mencionados.

Lo evidente es que **mientras más lejano sea el primer año de operación del proyecto, respecto al año actual, mayor será el nivel de incertidumbre de la modelación de transporte**, teniendo relación directa con el periodo de ejecución considerado en el horizonte de evaluación del proyecto⁵.

b) Capacidad del sistema de transporte.

Todo proyecto de transporte, al igual que cualquier proceso productivo, está sujeto a una restricción de capacidad. La capacidad del sistema corresponde el cuello de botella del mismo, y será el que limita la producción y el tiempo de ciclo del proceso. En términos simples, para el caso de proyectos de transporte, el cuello de botella será lo que defina hasta qué momento un proyecto puede o no transportar a más personas en un determinado periodo de tiempo.

El siguiente diagrama muestra el típico sistema de espera al que está sujeto un viaje desde su origen a destino. En él se muestran las capacidades de distintas componentes, incluida la más típicamente analizada que es la capacidad del modo o infraestructura principal, que corresponde a la carga máxima de pasajeros que puede transportar.⁶



Fuente: Elaboración Propia.

Desde el punto de vista de la demanda de transporte, si la capacidad del proyecto es alcanzada, pueden ocurrir principalmente tres fenómenos:

- 1) Aumento del tiempo de viaje. Efecto que típicamente se observa en modos altamente atractivos y confiables como metros y trenes, donde los usuarios prefieren hacer largas colas para acceder al modo y además esperar tiempos adicionales para iniciar su viaje. El incremento en tiempo de viaje puede ocurrir en cualquier etapa (acceso, espera, trasbordo o viaje).
- 2) Efecto de cambio de horario. Efecto que suele observarse en viajes en que la restricción de horario de llegada se relaja, como pueden ser viajes con propósitos distintos al trabajo o

⁵ Entendiendo que el horizonte de evaluación incluye el periodo de ejecución y operación.

⁶ En proyectos aeroportuarios suele ocurrir que el cuello de botella del sistema viene dado por los tamaños de pista más que de los aviones, por lo que según la figura correspondería a una restricción en el "egreso".

estudio (pues con horarios laborales principalmente fijos, la posibilidad de cambio de horario es limitada). De esta manera, el usuario planifica su viaje, adelantando o retrasando su hora de inicio, para no viajar en el horario de mayor demanda y obtener un mejor nivel de servicio.

- 3) Efecto de cambio de modo y/o ruta. Cuando el proyecto de transporte no es capaz de movilizar más personas, puede ocurrir que algunos viajeros no prefieran esperar tiempos adicionales y opten por utilizar modos y/o rutas menos atractivas e incluso de mayor tiempo de viaje. Este efecto suele darse cuando la oferta de transporte es variada y los niveles de servicio de las alternativas no son tan inferiores al proyecto⁷.

Desde el punto de vista de la oferta de transporte, si se alcanza la capacidad del proyecto pueden llevarse a cabo las siguientes tres acciones o medidas, siendo las dos primeras de largo plazo y la última de mediano o corto plazo:

- 1) Nuevas inversiones para ampliar la capacidad del proyecto: Si el cuello de botella se localiza en el modo o infraestructura principal del proyecto, entonces se puede invertir para ampliar su capacidad y dar mayor holgura, permitiendo aplazar el instante en que se vuelva a alcanzar la saturación del proyecto.
- 2) Nuevas inversiones para ampliar la capacidad de la red: Si se detecta que ya no es posible seguir mejorando e invirtiendo en el mismo proyecto, entonces se formula otro proyecto posiblemente de alto costo y que crea un efecto de red produciendo nuevas holguras de capacidad en el resto del sistema.
- 3) Medidas de gestión para mover el cuello de botella: Si el cuello de botella está en algún proceso intermedio del viaje⁸, entonces pueden hacerse medidas de menor costo para mover el cuello de botella de manera de ampliar la capacidad del proyecto. Parte de estas medidas pueden incluir cambios en tecnología o incentivos en esquemas tarifarios, por ejemplo, cobrando tarifas reducidas en periodos valle.

Para efectos de la evaluación social de proyectos de transporte, resulta evidente que el criterio de capacidad del proyecto debe ser considerado para proyectar los beneficios sociales del mismo. **A partir del año en que se alcanza la capacidad dada por el cuello de botella del proyecto, la demanda asociada al periodo saturado, y en consecuencia sus ahorros de tiempo, tienden a permanecer constantes.**

En proyectos altamente atractivos, en los que hay evidencia para demostrar que la demanda sigue aumentando pese a haber alcanzado la capacidad del sistema, se debe considerar que no resulta claro que los ahorros de tiempo de viaje de esa demanda adicional sean suficientes para compensar los aumentos de tiempo de espera, acceso e incremento en niveles de hacinamiento que experimentan los usuarios. Por lo tanto, resulta razonable omitir esto para efectos de la evaluación social y considerar que una vez alcanzada la capacidad del cuello de botella del proyecto, los ahorros de tiempo permanecerán constantes para ese periodo.

⁷ Por ejemplo, en el caso de urbano pueden darse traspasos de usuarios de modo metro a modo bus.

⁸ Por ejemplo, en los torniquetes de entrada de un proyecto ferroviario, en el control de aduana para un proyecto aeroportuario, o en las plazas de peaje de un proyecto interurbano.

c) Modelación de la Situación Base Optimizada.

La situación base se define como la situación a partir de la cual se estiman los beneficios e indicadores de rentabilidad social del proyecto. La proyección de la oferta y demanda son el punto de partida para la definición de la situación base de los cortes temporales futuros. Sin embargo, una correcta modelación de éstos requiere, al menos, que el nivel de agregación en la modelación de la situación base sea adecuado al proyecto en estudio y que la situación base sea optimizada.

En redes de modelación con un nivel de agregación inadecuado puede ocurrir que, al implementar el proyecto, se produzcan reasignaciones poco realistas de los flujos en el área de estudio, adjudicando consumos de tiempo del sistema de transporte (y posibles beneficios inclusive) que no serían propios de la entrada en operación del proyecto.

Lo anterior se agrava en presencia de situaciones base saturadas. Cuando la situación base contiene una cantidad relevante de arcos congestionados, puede ocurrir que, ante una variación marginal en los niveles de flujos por arcos, producto de la implementación del proyecto, se obtengan ahorros de tiempo relevantes. Si la congestión considerada en la situación base no está debidamente justificada (por ejemplo, con mediciones en terreno o micro simulaciones), es incorrecto atribuir estos beneficios al proyecto, pues corresponden a una incorrecta representación de las demoras en el área de estudio, que se refleja en el deterioro sostenido de los niveles de servicio de la situación base considerada.

Por lo tanto, **desde el punto de vista de la evaluación social, se deben aplicar criterios razonables para optimizar la situación base** y no atribuir estos beneficios adicionales al mismo proyecto.

Como criterio general, se entenderá que la situación base está saturada cuando al modelar este escenario, el resultado indique que existen arcos con grados de saturación⁹ superiores al 90% en el área de modelación del proyecto. Este criterio debe ser cuidadosamente aplicado, pues la cantidad de arcos a considerar en la **recomendación** anterior será un análisis específico de cada proyecto, ya que depende de la ubicación geográfica del mismo, del nivel de agregación en la red de modelación, niveles de congestión de la ciudad, entre otros. De esta manera, y tal como se indicó anteriormente, en redes de transporte en que los niveles de saturación superen la recomendación, deberá justificarse adecuadamente los niveles de servicio considerados, procurando objetividad en los resultados.

Se entenderá que la situación base se encuentra optimizada, cuando se aplican medidas operacionales (como cambios de tecnología de cobro), de gestión (como optimización de procesos o infraestructura secundaria¹⁰) y/o nuevas inversiones relativamente bajas respecto al costo total del proyecto (como ampliaciones de capacidad sin modificación de servicios ni expropiaciones). De lo anterior se concluye que la determinación de los cortes temporales de modelación no está desligada de los niveles de servicios. Es recomendable que, al modelar situaciones base de cortes temporales futuros, éstas sean optimizadas de manera que se obtengan niveles de saturación razonables. Así, los ahorros de tiempo que se produzcan una vez implementado el proyecto serán objetivos y representativos.

⁹ Entendida como la razón de flujo/capacidad.

¹⁰ Por ejemplo, en proyectos viales serán medidas de gestión la optimización de semáforos o intersecciones. En proyectos aeroportuarios, serán medidas de gestión la optimización de procesos en terminales y/o pistas.

3. Criterios a aplicar en la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte.

A partir del análisis presentado, se concluye que los siguientes criterios serán los que deben aplicarse en la **evaluación social** de todas las iniciativas de inversión del sector transporte postuladas a financiamiento público:

1. Independientemente del tipo de proyecto y subsector al que pertenezca, **se considerarán válidos cortes temporales de modelación de hasta 12 años a partir del periodo de referencia**, procurando la vigencia de los supuestos utilizados.¹¹.
2. Para efectos de modelación del proyecto, el primer corte temporal corresponderá al primer año de operación del proyecto sujeto a análisis.
3. Si se modela un segundo corte temporal, este debe corresponder como máximo al décimo año a partir del periodo de referencia o el año anterior al que se produce la saturación de la situación base optimizada.
4. Las iniciativas de inversión a considerar en la situación base de los cortes temporales futuros deberán ser validadas por la División de Evaluación Social de Inversiones o las Secretarías Regionales Ministeriales del MDSF, según corresponda. Los proyectos que requieran de modelación en software especializados de transporte, deberán contar con la aprobación de Sectra-MTT.
5. En etapas de pre-inversión, se considerará que el proyecto llegará a capacidad cuando la demanda de viajes en el periodo punta, del tramo de mayor carga, alcance la oferta disponible, independiente del sentido. Es decir, se aceptará omitir análisis de capacidad en procesos intermedios del viaje, y deberá limitarse a la capacidad del modo o infraestructura principal¹².
6. En etapas de inversión, el proyecto llegará a capacidad cuando se alcance la capacidad del cuello de botella. De esta manera y si es que no se ha realizado en etapa de pre-inversión, deberá estudiarse detalladamente las capacidades de todos los procesos relevantes por los que pasa el viajero de manera que los beneficios del proyecto sean correctamente recogidos en la evaluación social.
7. Si la capacidad del proyecto es alcanzada dentro de los 10 años a partir de la situación actual, entonces deberá modelarse el año intermedio en que se alcanza la saturación (Hs)¹³. A partir de ese año, los ahorros de tiempo del periodo saturado del proyecto (incluidos los tiempos de acceso, espera, transbordo y viaje), se congelan, manteniendo constante los beneficios, de ese periodo, desde el año Hs hasta el último año del horizonte de evaluación (Ht). **(ver caso 1 en anexo)**.

¹¹ Se entenderá por periodo de referencia al año a partir del cual se realizan las proyecciones de oferta y demanda. Típicamente será el año que se catastró niveles de servicio o el año de calibración de la red de transporte utilizada.

¹² Proyectos ferroviarios, su capacidad estará dada por la capacidad de las vías y/o vagones. Proyectos viales, su capacidad estará dada por el flujo máximo que admite la vía. Proyectos aeroportuarios, su capacidad estará dada por la capacidad de las pistas de aterrizaje y/o edificio terminal.

¹³ Para ello, deberá ajustarse también la situación base considerada.

8. Si la capacidad del proyecto no es alcanzada dentro de los cortes temporales modelados, y para definir los ahorros de tiempo entre el último año modelado y el año Ht deberá realizarse una interpolación de los ahorros de tiempo de viaje¹⁴ entre los cortes temporales modelados y determinar la tasa de crecimiento anual de la máxima carga del proyecto. Luego, aplicando la tasa de crecimiento anual estimada, se determinará el periodo en que el tramo de mayor carga alcanza la capacidad (Hs). A partir de ese año, los ahorros de tiempo del periodo saturado del proyecto se mantienen constantes (**ver caso 2.1 en anexo**).
 - El criterio anterior debe ser cuidadosamente aplicado. En general, los proyectos cuyo modo o infraestructura principal presentan elevada holgura de capacidad, el crecimiento de los ahorros de tiempo que resulten de la modelación serán similares al crecimiento de flujos del área de estudio del proyecto.
 - Para estos casos en particular, si la capacidad del modo o infraestructura principal no es alcanzada dentro de los cortes temporales modelados, se recomienda hacer crecer los ahorros de tiempo del segundo corte de modelación con la tasa de crecimiento de los flujos futuros hasta el año Ht, **debiendo comprobarse que efectivamente se mantiene holgura de capacidad en todo el proyecto y no se activan otros cuellos de botella que limiten el crecimiento de los beneficios (ver caso 2.2 en anexo)**.
 - La estimación de la tasa de crecimiento de flujos que se aplicará para proyectar los beneficios se realizará en base a la proyección de flujos en el área de estudios. La información histórica sobre la cual se realizará la proyección, podrá ser obtenida de fuentes de información externas adecuadas al proyecto a evaluar (por ejemplo, el Plan Nacional de Censos, Planes de Transporte Urbano, plazas de peaje, informes estadísticos de tráfico aéreo, u otros).
9. Si existen limitaciones legales, normativas, operacionales o restricciones geográficas propias del emplazamiento del proyecto, entonces deberá analizarse cuidadosamente que en el periodo en que el proyecto alcanza su saturación, estas normas o limitaciones no sean superadas. Si ello ocurre, entonces deberá definirse el periodo de tiempo en que se superaría la norma o limitación detectada y mantenerse constantes los ahorros de tiempo del proyecto a partir de aquel periodo.
10. Los criterios descritos deben aplicarse, por separado, para cada periodo de modelación del proyecto.

¹⁴ Sin ponderación de los valores sociales de tiempo urbano para las etapas que se realizan en transporte público

4. Agradecimientos

En el desarrollo de este instructivo participaron diversos equipos técnicos del Programa de Vialidad y Transporte Urbano SECTRA-MTT, los que aportaron valiosas sugerencias y recomendaciones.

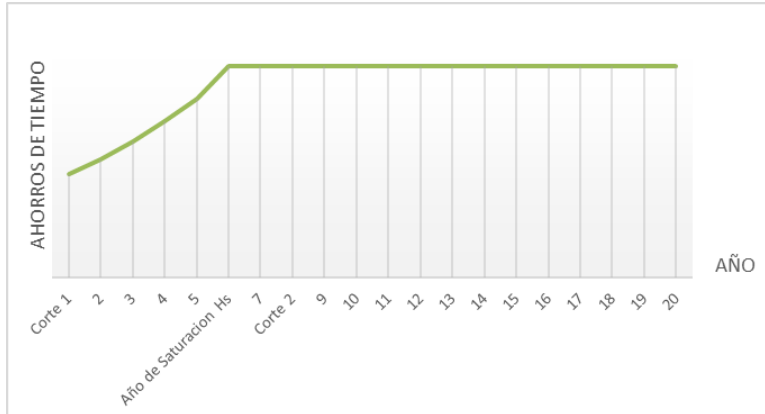
5. Anexo.

Corte 1: año de inicio de operación.

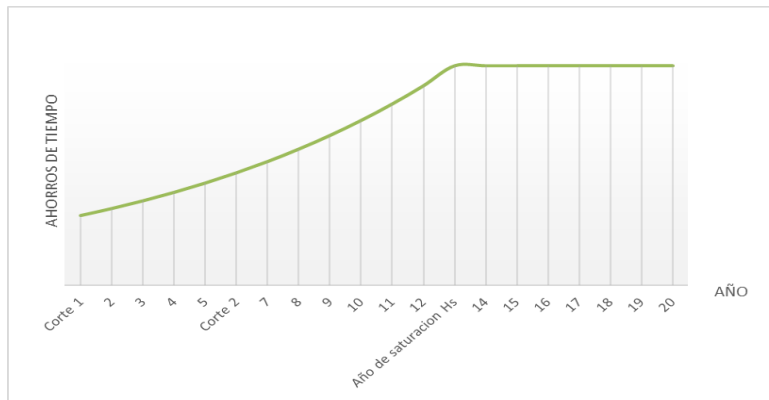
Corte 2: segundo corte temporal, como máximo el décimo año a partir del año actual

Hs: año de saturación del proyecto.

Caso 1: capacidad es alcanzada dentro de los 10 años a partir de la situación actual



Caso 2.1: proyecto sujeto a congestión en que capacidad no es alcanzada dentro de los 10 años a partir de la situación actual



Caso 2.2: proyecto no sujeto a congestión en que capacidad no es alcanzada dentro de los 10 años a partir de la situación actual

