



SOCIEDAD CHILENA DE
INGENIERÍA DE TRANSPORTE

NOTA TÉCNICA

GUÍA PARA PROYECTOS DE AUTOPISTAS URBANAS

MARCO INSTITUCIONAL
DISEÑO DE AUTOPISTAS URBANAS
OPERACIÓN
IMPACTOS URBANOS

Santiago, Junio de 2022

Índice

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE

Filial Instituto de Ingenieros de Chile
www.sochitran.cl
Fidel Oteiza 1921 Oficina 706, Providencia
Santiago, CHILE

La Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN) tiene por misión crear, estudiar, estimular, promover, coordinar y difundir toda clase de iniciativas que tiendan a desarrollar la investigación en Ingeniería de Transporte y a fomentar la aplicación de nuevas tecnologías en el sector transporte nacional.

Promover, organizar y colaborar en la realización de congresos, jornadas, seminarios, cursos y simposios, de carácter nacional e internacional, sobre materias de transporte. Debatir y elaborar documentos que ayuden a detectar y solucionar los grandes problemas del sector transporte en el país.

Este documento "Guía para Proyectos de Autopistas Urbanas" es de distribución gratuita y abierta. Se prohíbe su venta o comercialización.

Diseño: Margarita Valenzuela.

| | | | |
|--|-----------|--|--|
| 1. MARCO INSTITUCIONAL | 5 | | |
| 1.1. Estudios previos, generales y específicos | 5 | | |
| 1.2. Evaluación social | 5 | | |
| 1.3. Opinión del Consejo de Concesiones | 6 | | |
| 1.4. Rol del Ministerio de Hacienda | 6 | | |
| 1.5. Licitación y subsidio | 6 | | |
| 1.6. Evaluación ambiental | 6 | | |
| 1.7. Protocolo de Acuerdo | 7 | | |
| 1.8. Modificación de planes reguladores | 7 | | |
| 1.9. Ingeniería de detalle y construcción | 8 | | |
| 1.10. Fiscalización | 8 | | |
| 1.11. Monitoreo y rendición de cuentas | 8 | | |
| 1.12. Renegociación de contratos | 8 | | |
| 2. DISEÑO DE AUTOPISTAS URBANAS | 9 | | |
| 2.1. Introducción | 9 | | |
| 2.2. Norma aplicable y conceptos y direcciones generales | 10 | | |
| 2.3. Información General (Capítulo 3.000) | 11 | | |
| 2.4. Controles Básicos de Diseño (Capítulo 3.100) | 11 | | |
| 2.5. Diseño Geométrico del Trazado (Capítulo 3.200) | 11 | | |
| 2.5.1. Aspectos Generales (Sección 3.201) | 11 | | |
| 2.5.2. Distancias de visibilidad y maniobras asociadas (Sección 3.202) | 13 | | |
| 2.5.3. Trazado en planta (Sección 3.203) | 13 | | |
| 2.5.4. Trazado en alzado (Sección 3.204) | 15 | | |
| 2.5.5. Sección 3.205 Directrices para el diseño espacial de una carretera | 16 | | |
| 2.5.6. Efecto del entorno de la carretera con el diseño espacial (párrafo 3.205.303) | 16 | | |
| 2.6. La Sección Transversal (Capítulo 3.300) | 16 | | |
| 2.7. Capítulo 3.400 Intersecciones | 17 | | |
| 2.8. Capítulo 3.500 Enlaces | 17 | | |
| 2.8.1. Trazado en Planta de Enlaces (Sección 3.504.2) | 18 | | |
| 2.8.2. Definición de la Elevación en Enlaces (Sección 3.504.3) | 18 | | |
| 2.8.3. Definición de Secciones Transversales en Enlaces Sección 3.504.4 | 18 | | |
| 2.9. Túneles 2-19 | 18 | | |
| 2.9.1. Definición Geométrica de Túneles (Sección 3.802) | 18 | | |
| 2.9.2. Trazado en Planta en Túneles (Sección 3.802.2) | 19 | | |
| 2.9.3. Trazado en Alzado en Túneles (Sección 3.802.3) | 19 | | |
| 2.9.4. Sección Transversal (Sección 3.802.4) | 19 | | |
| 3. OPERACIONES | 21 | | |
| 3.1. Generalidades | 21 | | |
| 3.1.1. Integración de enfoques de modelación | 21 | | |
| 3.1.2. Áreas de Influencia | 22 | | |
| 3.1.3. Grado de Saturación | 22 | | |
| 3.2. Modelación | 23 | | |
| 3.2.1. Situación base | 23 | | |
| 3.2.2. Etapas de la modelación de transporte | 24 | | |
| 3.2.3. Calibración | 24 | | |
| 3.2.4. Recomendaciones para la fase predictiva | 26 | | |
| 3.2.5. Proyección de la demanda | 26 | | |
| 3.2.6. Errores comunes en la modelación / Lista de chequeo | 27 | | |
| 3.2.7. Análisis de impactos | 27 | | |
| 3.3. Accidentes | 29 | | |
| 3.4. Emisiones atmosféricas y ruido | 29 | | |
| 3.4.1. Contaminación atmosférica | 29 | | |
| 3.4.2. Contaminación atmosférica en túneles | 29 | | |
| 3.4.3. Ruido y vibraciones | 30 | | |
| 3.5. Desvíos de tránsito | 30 | | |
| 3.5.1. Definición de etapas constructivas | 30 | | |
| 3.5.2. Plan de Desvíos de Tránsito, Señalización, Demarcación y Semaforización | 30 | | |
| 3.5.3. Modelación del Plan de Desvíos de Tránsito | 31 | | |
| 3.5.4. Desagregación y agregación de los resultados por tipo de usuarios | 31 | | |
| 4. IMPACTOS URBANOS | 32 | | |
| 4.1. Análisis General de los Impactos Urbanos | 32 | | |
| 4.2. Cuantificación de impactos urbanos derivados del tráfico | 32 | | |
| 4.2.1. Segregación | 32 | | |
| 4.2.2. Intimidación | 34 | | |
| 4.2.3. Intrusión visual | 34 | | |
| 4.3. Erradicaciones de residentes y comerciantes | 34 | | |
| 4.4. Desagregación y agregación de los resultados por tipo de usuarios | 34 | | |
| 5. BIBLIOGRAFÍA | 36 | | |

Sobre el propósito de esta guía para proyectos de autopistas urbanas

La evidencia muestra que las autopistas urbanas no resuelven el problema de la congestión y además tienen efectos negativos de largo plazo en el entorno urbano en aspectos como la contaminación, el ruido, la segregación espacial y la intrusión visual.

A pesar de la evidencia científica en contra, desde los 2000 en la ciudad de Santiago se han construido más de 200 km de autopistas urbanas, y hay otras por venir en el futuro cercano. Esta ha sido, posiblemente, la mayor intervención urbana de Santiago en su historia. En muchos casos estas obras, además de ser ineficaces, han tenido deficiencias en varios aspectos que

van desde el análisis y evaluación de los proyectos de inversión, hasta el diseño y el funcionamiento de la infraestructura.

Con esta nota técnica la Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte (SOCHITRAN) no intenta promover la construcción de más autopistas urbanas. Todo lo contrario. Lo que se busca es que, en el futuro, los estudios y diseños de autopistas urbanas, si se hacen, se hagan correctamente. Con este fin, esta guía está dirigida principalmente a profesionales del sector que deban asumir tareas y responsabilidades relacionadas con proyectos de autopistas urbanas, y en particular, a quienes deban supervisar los respectivos proyectos de ingeniería. Del mismo modo, esta guía busca además dotar a los miembros de la sociedad (municipios, gobernaciones, ONG) de herramientas objetivas para realizar análisis, evaluación y para presentar observaciones en los procesos de participación ciudadana, cuando el caso lo amerite.

El presente trabajo es el resultado de un encargo de la Sociedad Chilena de Ingeniería de Transporte a un grupo de trabajo compuesto por los siguientes socios.

Rafael Delpiano C.
Rubén Godoy M.
Ángelo Guevara C.
Juan Carlos Herrera M.
Sergio Huerta G.
Ariel López L.
Viviana Muñoz D.
Rodrigo Quijada P.
Jaime Valenzuela S.
Alfredo Vega F.

Coordinador y Editor General

Rodrigo Fernández A.

1. Marco Institucional

Los principales elementos del ciclo de vida de un proyecto de concesiones de autopistas urbanas son los siguientes:

1. Estudios previos, generales y específicos
2. Estudio de evaluación social
3. Opinión del Consejo de Concesiones
4. Rol del Ministerio de Hacienda
5. Licitación y subsidio
6. Evaluación ambiental
7. Protocolos de acuerdo
8. Modificación de planes reguladores
9. Ingeniería de detalle y construcción
10. Fiscalización
11. Monitoreo y rendición de cuentas
12. Renegociaciones de contrato

A continuación, nos referiremos brevemente a cada uno de estos elementos.

1.1. ESTUDIOS PREVIOS, GENERALES Y ESPECÍFICOS

La gran mayoría de los proyectos de infraestructura surge en el Ministerio de Obras Públicas (MOP) como ideas a partir de procesos creativos que no son documentados y que, desde fuera, parecieran no tener un proceso formal. Una vez definida la idea, el MOP hace un análisis a nivel de perfil¹ de sus costos y viabilidad como negocio privado. Si la idea sigue avanzando, a continuación se realizan otros estudios para definir las características del proyecto a un nivel de detalle suficiente como para licitarlo, pero que aún no es un nivel de ingeniería de detalle. Ninguno de estos estudios es de acceso público.

La Ley de Concesiones admite, por otra parte, que un privado pueda presentar una idea propia, en cuyo caso se denomina

“Proyecto de Iniciativa Privada”. Si el MOP, luego de una revisión general, considera que tiene posible mérito, le señala al privado que realice estudios formales a su propio costo y riesgo. Estos estudios son principalmente de costos de construcción, con un análisis de transporte compatible con el análisis a nivel de perfil. Luego de revisados estos resultados, el MOP, si se convence de la iniciativa, declara el proyecto “de interés público”, con lo cual se apropia formalmente de la idea pasando a ser ahora un proyecto del Estado que puede o no licitar. A cambio, el privado que propuso y estudió preliminarmente el proyecto, recibe pago por los estudios realizados y el derecho a un premio, en la forma de puntaje adicional en la licitación, en caso de que el proyecto sea finalmente licitado. Esto le da una ventaja en la licitación a quien propuso la idea -en caso de que decida participar- pero no le asegura ganársela. Este proceso tiene plazos precisos definidos en la ley, sobre todo para resguardar la propiedad intelectual privada. Sin embargo, existen casos en que un proyecto se mantiene por años en un estado de propiedad intelectual privada. Mientras así permanece, el acceso público a información es nulo pues la Ley 20.285 Sobre Acceso a la Información Pública Ministerio² solo es aplicable a la documentación del Estado.

1.2. EVALUACIÓN SOCIAL

La Ley Orgánica de Administración Financiera del Estado³ exige que todo proyecto de inversión estatal de cierta envergadura posea un estudio de rentabilidad social (también conocido como estudio de evaluación social) que demuestre que sus beneficios para la sociedad en su conjunto son mayores que los costos involucrados. A diferencia de un proyecto privado en el que los beneficios se evalúan en base a, por ejemplo, la recaudación de tarifas o ventas, en un proyecto que involucra bienes o fondos públicos los beneficios que interesan se refieren a los impactos que este produce en todos los mercados involucrados. El Estado no está interesado en recuperar la inversión mediante la recolección de tarifas, sino que dicha

inversión produzca, en algún sector de la economía, beneficios mayores a la inversión realizada. En el caso de proyectos de transporte, estos beneficios se reflejan principalmente en ahorros de tiempo, pero también se manifiestan en la forma de reducción de costos operacionales, impactos ambientales, reducción de accidentes y otros.

Las evaluaciones sociales de proyectos de transporte en Chile se rigen por el MESPIVU (Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana), el cual establece las exigencias técnicas para tal evaluación según la etapa del ciclo de vida en que se encuentre el proyecto bajo análisis (idea, prefactibilidad, factibilidad, ingeniería de detalle y ejecución). El estudio de evaluación social es realizado por el ministerio respectivo (MOP en el caso de Concesiones) y validado por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF), entidad encargada de recomendar o no las inversiones públicas en el marco de lo que se denomina el Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

En el caso de los proyectos de transporte, el MOP invita al Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT) a participar como contraparte técnica de esta evaluación. Dentro del MTT, esta tarea la toma el Programa de Vialidad y Transporte Urbano (SECTRA), la que, eventualmente, aprueba la estimación de beneficios del proyecto. Con esta aprobación, el MDSF aprueba o no la evaluación social del proyecto.

El Estado por ley no puede gastar dinero en un proyecto si no ha obtenido primero una rentabilidad social sobre el umbral mínimo exigido y establecido por el MDSF. Sin embargo, excepcionalmente el/la Presidente de la República puede imputar a un proyecto de inversión la calidad de Prioridad Presidencial, con lo cual es eximido de cumplir las exigencias del SNI.

1.3. OPINIÓN DEL CONSEJO DE CONCESIONES

La Ley de Concesiones de Obras Públicas⁴ exige que todo proyecto de concesiones sea presentado por el MOP al Consejo de Concesiones para que emita una opinión al respecto. El Consejo está formado por cinco expertos nombrados por el Ministro de Obras Públicas⁵. La opinión del Consejo no es vinculante y, por ende, el MOP mantiene sus atribuciones para llevar adelante los proyectos con independencia de lo acordado por el Consejo. La ley exige que, para dar su opinión, los consejeros tengan a la vista el estudio de evaluación social del proyecto (ver Sección 1.2).

1.4. ROL DEL MINISTERIO DE HACIENDA

La modalidad de asignación de aquellos proyectos que siguen adelante es la licitación pública. Para esto, el MOP debe preparar las respectivas bases de licitación. El Reglamento de la Ley de Concesiones exige que el Ministerio de Hacienda apruebe estas bases de licitación preparadas por el MOP, teniendo a la vista todos los estudios que las sustentan y justifican.

1.5. LICITACIÓN Y SUBSIDIO

La tramitación de las licitaciones de concesiones no es significativamente distinta de otras licitaciones importantes del sector público, salvo por tres aspectos. El primero corresponde al puntaje extra que podría recibir la empresa que hubiere presentado la idea del proyecto, si es que fue concebido como “Iniciativa Privada” (ver Sección 1.1). El segundo corresponde a la aprobación del Ministerio de Hacienda (ver Sección 1.4). El tercero se refiere a la provisión de un subsidio fiscal.

Hay varias formas de licitar carreteras, pero en general se pueden agrupar en contratos con plazo fijo y con plazo variable. La elección del mecanismo tiene fuertes implicancias en las tarifas que percibirán los usuarios, las garantías fiscales que el Estado deberá comprometer, y la rentabilidad y riesgo del negocio. Como se ha analizado en la academia, esta es una decisión donde se juegan fuertes intereses⁶.

1.6. EVALUACIÓN AMBIENTAL

La normativa ambiental está dada por la Ley del Medio Ambiente⁷ y su Reglamento, el cual es dictado por el Ministerio del Medio Ambiente. Esta ley exige que todo proyecto de autopista debe hacer un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

La normativa ambiental de Chile establece como impactos no solo aquellos relacionados con la ecología. También son impactos los efectos sobre el medioambiente construido (calles y edificios), la erradicación de grupos humanos, la afectación de la manera en que las personas se ganan la vida, el ruido, y los tiempos perdidos por la congestión⁸.

A diferencia del estudio de evaluación social descrito en la Sección 1.2, que tiene interés solo por el efecto neto global sin segmentar a la población, en la evaluación ambiental es crucial identificar grupos específicos perjudicados, a fin de diseñar mitigaciones y compensaciones para ellos. Esta diferencia es importante de remarcar, pues sugiere que los

modelos utilizados en la evaluación social y sus resultados no necesariamente son los mismos que requiere un EIA.

El EIA es producido por el titular del proyecto (MOP), si es que todavía no ha ocurrido la licitación. En caso contrario, la encargada es la empresa concesionaria. Nótese que el MOP decide si licitar antes o después de realizar el trámite ambiental, lo cual tiene consecuencias prácticas: si el proyecto ya está licitado las variables económicas del negocio ya quedaron definidas. Por lo tanto, los costos de mitigaciones y compensaciones ambientales posteriores solo pueden reducir la rentabilidad de la concesionaria.

Todo EIA debe contener un “Plan de Seguimiento” que lista las variables que, durante la ejecución del proyecto, deberán ser periódicamente inspeccionadas a fin de chequear que evolucionaron tal como se proyectó en el estudio. Por ejemplo, en el caso de proyectos de autopistas urbanas, es esperable que este Plan incluya variables como la congestión, el ruido, la emisión de contaminantes o la dificultad de acceso al entorno producto de la segregación espacial. Esto es crucial para evitar el incentivo perverso de declarar en el estudio que un impacto no existe y que luego exista, sin que esto conlleve una sanción. En la práctica, si una variable no se incluye en este Plan, nunca será fiscalizada.

Es el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), dependiente del Ministerio del Medio Ambiente, quien debe validar que el EIA esté bien hecho. Para ello solicita el pronunciamiento sobre el estudio⁹ a los demás ministerios, municipalidades donde se emplaza el proyecto y a cualquier persona natural o jurídica de todo Chile que desee hacerlo. Esto último es lo que se conoce como el proceso de Participación Ciudadana de la evaluación ambiental y consta esencialmente de un buzón donde cada persona entrega su apreciación sobre el estudio. Cabe destacar que el SEA posee metodologías que guían a sus funcionarios en cómo identificar correctamente impactos y ubicar mitigaciones en áreas temáticas variadas como, por ejemplo, caudales de agua en Centrales hidroeléctricas¹⁰. Sin embargo, no hay metodología alguna que oriente para proyectos de transporte.

Hecho el análisis ambiental por el SEA, éste presenta sus conclusiones y recomendaciones de Plan de Seguimiento, mitigaciones y compensaciones a la Comisión de Evaluación Ambiental liderada por el Delegado Presidencial de la región y compuesto además por todos sus Seremis. Es esta Comisión

la que autoriza o rechaza ambientalmente el proyecto y quien decide el Plan de Seguimiento, las mitigaciones y compensaciones, que pueden o no ser las sugeridas por el SEA.

La decisión de la Comisión Ambiental toma la forma de una Resolución de Calificación Ambiental (RCA), la que es exigible de aquí en adelante. Dentro de un cierto plazo, quien esté en desacuerdo puede hacer una reclamación, en cuyo caso pasa a ser analizado por otro comité, el Comité de Ministros, que es un grupo de ministros con alguna relación con el tema¹¹.

Desde la RCA en adelante, la institución encargada de fiscalizar que se cumpla lo allí estipulado es la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Este punto se aborda en la Sección 1.10.

1.7. PROTOCOLOS DE ACUERDO

En teoría la evaluación ambiental es la que determina si hay impactos nocivos sobre ciertos grupos humanos y cómo deben compensarse. Sin embargo, las debilidades del sistema ambiental, reales o percibidas, han llevado a que en la práctica los grupos que consideran que serán afectados busquen negociar compensaciones directamente con el MOP. Los acuerdos a los que se llega en tales casos toman la forma de un “Protocolo de Acuerdo” firmado entre el MOP y los afectados. Usualmente las municipalidades donde se emplazan los proyectos son las más activas en buscar estos acuerdos, que típicamente se traducen en construcciones de plazas, pavimentaciones de calles e instalación de alumbrado público, entre otros, en cualquier parte de la comuna, afecta o no al proyecto. Sin embargo, también existen grupos organizados que buscan la firma de estos protocolos. Estos protocolos no siempre son de acceso público.

1.8. MODIFICACIÓN DE PLANES REGULADORES

El Plan Regulador Comunal (PRC) es un instrumento que define, entre otras cosas, el uso de suelos en una comuna (habitacional, trabajo, equipamiento y esparcimiento) y la jerarquía de las vías. Comunas urbanas usualmente no contemplan en su PRC grandes proyectos de infraestructura, como por ejemplo una autopista. Por otra parte, el MOP solo puede administrar vías que están bajo la categoría de “camino público”, y hay pocos de estos dentro de las ciudades. Por consiguiente, cuando el MOP desea realizar un proyecto de envergadura en una comuna, como puede ser

la construcción de una autopista urbana, requiere cambiar su plan regulador a fin de que el proyecto aparezca en éste. Esto puede requerir, a la vez, que se cambie la categoría de algunas vías. Por lo tanto, la formalización del proyecto en el PRC y su conversión administrativa es un paso estándar en el ciclo de vida de las concesiones viales.

El mecanismo normal para modificar un plan regulador es lento y es encabezado por la municipalidad. Sin embargo, el Presidente de la República puede dictar un Decreto Supremo por el cual cambia los planes reguladores necesarios y otorga la calidad de camino público a la vía, quitándosela a la administración local. Estos decretos pueden ocurrir en cualquier momento durante la vida del proyecto.

1.9. INGENIERÍA DE DETALLE Y CONSTRUCCIÓN

La confección de los planos de ingeniería (es decir, el diseño detallado de las obras civiles) comienza solo después que la vía ha sido licitada y dura meses o años. La construcción comienza en la medida que estén listos al menos parte de estos planos, asumiendo que ya se cuenta con la autorización ambiental. El encargado de supervisar este trabajo de la concesionaria es el MOP a través de la figura del Inspector Fiscal (IF). Es común que el MOP haga una licitación de un estudio paralelo para apoyar la inspección fiscal.

El IF debe asegurar que lo que se construye sea lo que se planificó en los estudios previos. En caso de requerir cambios significativos durante la construcción del proyecto, los estudios previos debieran actualizarse para determinar el impacto de las nuevas condiciones del proyecto. Si lo anterior no se realiza, podría ser el caso que la rentabilidad social efectiva del proyecto y/o sus impactos ambientales no se condigan con los que fueron tenidos en cuenta a la hora de la toma de decisiones de inversión y el análisis de medidas de mitigación. Por ejemplo, en el caso de la autopista Américo Vespucio I (AVO I) la vía se licitó con túnel en el sector de La Pirámide, pero poco después de la licitación se cambió por un viaducto¹².

1.10. FISCALIZACIÓN

La entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento de las exigencias ambientales emanadas del proceso de evaluación ambiental es la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Esta fiscalización debe ser efectiva en la práctica, a fin de evitar que sea la misma concesionaria la encargada

de determinar si se cumple lo esperado o no. A modo de contra ejemplo, en el caso reciente de AVO I, actualmente en construcción, la información por transparencia muestra que en dos años de faenas fue fiscalizada por la SMA solo una vez, en cuya ocasión además no se realizaron mediciones de ruido, gases ni ninguna otra variable relevante, limitándose a una conversación con el capataz de la obra¹³.

1.11. MONITOREO Y RENDICIÓN DE CUENTAS

Cada concesión tiene en la web del MOP, una página con su Documentación oficial¹⁴. Allí pueden descargarse los informes que mensualmente producen las concesionarias con datos básicos como el flujo y accidentes registrados. Las concesionarias entregan información más detallada al MOP, aunque estos reportes no se hacen públicos.

Asimismo, no existen reportes públicos de la autoridad ambiental sobre el monitoreo de cumplimiento de exigencias ambientales. Tampoco existen estudios ex-post que busquen determinar si las predicciones ex-ante de tráfico o de variables ambientales fueron acertadas¹⁵.

1.12. RENEGOCIACIÓN DE CONTRATOS

El MOP puede renegociar repetidas veces, por distintos motivos, el contrato de concesión con las concesionarias. De esta forma, por ejemplo, enmienda errores de su planificación o introduce nuevas obras que considera necesarias. A cambio, la concesionaria recibe pagos, incrementos de años de concesión, incrementos de tarifas, la posibilidad de instalar nuevos portales de peaje, o alguna combinación de aquellos¹⁶. En teoría, es de suma importancia que las modificaciones de proyectos que pasaron por autorización ambiental deban someterse a un análisis ambiental de la modificación. En la práctica, sin embargo, esto solo sucede a veces. Costanera Norte, por ejemplo, se extendió hacia el oriente y el poniente varios kilómetros, producto de renegociaciones de contrato y reconstruyó profundamente la Rotonda Pérez Zujovic. Sin embargo, solo algunas de estos cambios tuvieron una nueva evaluación ambiental, y ninguno tuvo un análisis de rentabilidad social.

2. Diseño de Autopistas Urbanas

2.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de un proyecto de autopistas urbanas considera el levantamiento de la información de terreno y la elaboración de todos los proyectos de especialidades requeridas para su materialización, los que se resumen en forma generalizada a continuación:

- » Ingeniería Básica (topografía, suelos, hidráulica e hidrología, en otros)
- » Diseño Geométrico
- » Diseño de pavimentos
- » Puentes y Estructuras
- » Diseño de Pasarelas Peatonales
- » Proyecto de Drenajes y Saneamiento
- » Proyecto de Seguridad Vial
- » Proyecto de Desvíos de Tránsito
- » Proyecto de Defensas Fluviales
- » Proyecto de Cambios de Servicios
- » Proyecto de Modificación de Canales
- » Proyecto de Paisajismo, Riego y espacio Público
- » Proyecto de Iluminación
- » Proyecto de Parada de Buses
- » Proyecto de Expropiaciones
- » Proyectos de Accesos Privados
- » Proyecto de Citofonía de Emergencia o Teléfonos S.O.S.
- » Proyecto de Centro de Control

- » Proyecto de Áreas de Atención de Emergencia
- » Proyecto de Plazas de Peaje y de los Pórtico
- » Proyecto de Ciclovías

De las especialidades anteriores se destaca el diseño geométrico, que incide directamente sobre el resto de las especialidades, determinando la capacidad de una autopista y su desempeño operacional, tema que se aborda con más detalle en el presente capítulo.

Un aspecto relevante es que no existe un área de diseño operacional que analice y justifique la conectividad de la autopista con el resto de la vialidad y sus necesidades de permeabilidad en función de las actividades del entorno, de tal manera de afectar lo menos posible a los usuarios del sector. Los análisis normalmente se efectúan de manera temprana en el estudio del proyecto, con un análisis de alternativas en función de la rentabilidad; sin preocuparse normalmente de los impactos locales.

Esta carencia de diseño operacional es probablemente la explicación más importante de las deficiencias que se ven en las autopistas urbanas que se encuentran en operación, por lo que se aborda con mayor detalle en el Capítulo 3 de Diseño Operacional y en el Capítulo 4 de Impactos Urbanos.

De esta manera, este capítulo persigue apoyar la revisión de un proyecto de autopista en sus aspectos de diseño geométrico. Se basa en un recorrido parcial de las normas relativas a diseño de carreteras y caminos contenidas en el Volumen 3 Instrucciones de Diseño del Manual de Carreteras (MOP, 2020). De los diez capítulos que constituyen este Volumen, se abordan sólo los capítulos 3.100 al 3.500 y 3.800, des-

tacados abajo con negrita. De estos capítulos se revisan los contenidos de sus Secciones, Tópicos o Numerales del Volumen 3 que se refieren a los aspectos del diseño que más directamente pueden afectar la seguridad de la operación de la autopista. Estos aspectos son los relativos a su geometría, cuya definición sitúa y caracteriza la obra en el espacio.

- » **Capítulo 3.000** Información General
- » **Capítulo 3.100** Controles Básicos de Diseño
- » **Capítulo 3.200** Diseño Geométrico del Trazado
- » **Capítulo 3.300** La Sección Transversal
- » **Capítulo 3.400** Intersecciones
- » **Capítulo 3.500** Enlaces
- » **Capítulo 3.600** Diseño Estructural de la Obra Básica y de la Plataforma
- » **Capítulo 3.700** Diseño del Drenaje, Saneamiento, Mecánica e Hidráulica Fluvial
- » **Capítulo 3.800** Túneles
- » **Capítulo 3.900** Riesgo y Protección de Avalanchas de Nieve
- » **Capítulo 3.1000** Puentes y Estructuras Afines

El presente Capítulo 2 está dirigido a profesionales que conocen los objetivos públicos de su trabajo y que tienen experiencia en la materia específica del diseño material y geométrico de una autopista, y da por sentado su buen criterio (Tópico 3.000.2 Concepción del Volumen) para definir física y geométricamente una autopista en medio de las dependencias y circunstancias de todo tipo que condicionan esa definición y que a veces llevan a su flexibilización (Tópico 3.000.3 Validez de Límites Normativos y Recomendaciones).

Ese buen criterio supone la aplicación de aquellos expresados en el Volumen 3, por lo general en las introducciones a capítulos y secciones y en aquellos textos que abordan “aspectos generales”, entre estos la Sección 3.101 Factores que Intervienen en el Diseño de una Carretera o Camino y la Sección 3.102 Criterios para Definir las Características de una Carretera o Camino.

En general, el Volumen 3, si bien menciona factores que in-

fluyen en el diseño provenientes de otras disciplinas concurrentes (Sección 3.101), no los aborda directa y menos normativamente. Dicho de otra manera, aunque se entiende que las relaciones entre la materialidad de una autopista (perfiles tipo) y su forma (perfiles en planta, sección y alzado) se relacionan con un entorno físico y social (urbe), los aspectos propios de esos ámbitos no son abordados en el Manual de Carreteras al nivel de Instrucción.

Se supone también que los perfiles tipo proyectados se corresponden con la cuantía de la demanda, y que problemas de nivel superior, como los urbanísticos y políticos que podrían afectar la implantación de estos perfiles a lo largo del trazado de la autopista, están resueltos. Lo que no significa que estos problemas no podrían surgir de la revisión del proyecto.

2.2. NORMA APLICABLE Y CONCEPTOS Y DIRECCIONES GENERALES

Hay dos definiciones básicas para el inicio de un proyecto vial: su o sus perfiles tipo y las velocidades consideradas para la selección de los parámetros de diseño que definen su geometría.

A lo primero que se debe atender en la revisión de la geometría de un proyecto vial es a estas dos características básicas: se debe comprobar que los perfiles tipo establecidos (Capítulo 3.300) son aplicados en los distintos dispositivos que constituyen la obra, que son: el tronco, en sus distintos tramos (Capítulo 3.200), las intersecciones (Capítulo 3.400) y los enlaces (Capítulo 3.500).

Luego, se debe anotar las velocidades de proyecto consideradas para cada una de las unidades de diseño que constituyen esos dispositivos (arcos del tronco y ramales). Los elementos de los perfiles tipo responden a los requerimientos de la demanda a la que servirán y de la seguridad de sus usuarios.

Los radios de curvatura también incidirán en la capacidad de los dispositivos, según sean los valores que se le asignen y su proximidad a los mínimos que aseguran la estabilidad de los móviles que los recorren. Un ejemplo nítido de esto se tiene en los ramales de enlace, en los cuales el uso de velocidades de proyecto mínimas (Tabla 3.504.203.A), que permiten radios menores, puede llevar a proyectar ofertas viales insuficientes.

Después de las revisiones anteriores se debe hacer lo mismo con los ejes de replanteo sobre los cuales se articularán las

distintas unidades viales que constituyen la plataforma vial. Esta plataforma incluye las calzadas, bermas, sobreechamientos y separadores, y determina los límites de la obra según sea la existencia y características de obras de drenaje, corte, terraplén y contención, todas ellas directamente relacionadas con el diseño geométrico en alzado de dichos ejes.

La secuencia de curvas en planta -rectas, curvas circulares y clotoideas- y en elevación -rectas y parábolas- y las relaciones espaciales entre unas y otras son aspectos geométricos que deben ser atendidos en la revisión de un proyecto vial. Se debe comprobar que las curvaturas dispuestas en el trazado se corresponden con las velocidades de proyecto y las adecuaciones de éstas a las circunstancias del trazado; tema al cual se le da especial importancia a continuación. Lo mismo con las pendientes de las rectas en los perfiles longitudinales y los parámetros que definen los acuerdos verticales entre esas rectas. Por último, se debe intentar, a través del análisis de las relaciones entre la planta y el perfil de los ejes, imaginar la espacialidad de la obra, o interpretarla si el proyecto muestra imágenes tridimensionales, y aplicar si fuese posible las recomendaciones del Volumen 3 al respecto, teniendo en cuenta que las especificaciones del MOP, en este sentido y en el caso urbano, deben ser abordadas más como recomendaciones que como normas.

Los Contenidos del Volumen 3 relativos al diseño geométrico de carreteras que se resumen en esta nota son los siguientes.

2.3. INFORMACIÓN GENERAL (CAPÍTULO 3.000)

El contenido de este capítulo que está directamente relacionado con el diseño geométrico es el de su Sección 3.005 Vehículos Tipo.

2.4. CONTROLES BÁSICOS DE DISEÑO (CAPÍTULO 3.100)

En los tópicos 3.101 y 3.102 de este capítulo se identifican los factores que concurren al diseño y los criterios considerados para caracterizar las carreteras.

En su Tópico 3.103 se aborda el primer asunto relevante para la tarea del revisor de un proyecto de carretera: lo relativo a su clasificación. La categoría de esta define un marco dentro del cual su geometría debe inscribirse. Este marco se resume en la Tabla 3.103.201.A.

El proyecto en revisión debe tener establecida la catego-

ría de la carretera y definida la velocidad de proyecto (V_p) considerada para su diseño geométrico, o las velocidades de proyecto si se consideran tramos en los que este parámetro se adapta a diferentes condiciones de su trazado.

2.5 DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAZADO (CAPÍTULO 3.200)

2.5.1. Aspectos Generales (Sección 3.201)

El contenido de esta sección ofrece una base para la comprensión de los criterios que deben ser respetados en el proyecto que se revisa. Se debe tener en cuenta que estos criterios fueron modificados sustancialmente desde la versión anterior del Volumen 3 del Manual de Carreteras (1981), y que la geometría de los elementos en planta y elevación de una vía, dependientes de la categoría y de la velocidad de proyecto establecidas para ella, se acomodan a la dinámica de los desplazamientos previsibles en ella, que muestra en la práctica velocidades mayores a V_p . Este acomodo apunta a conseguir que el diseño de una sucesión de rectas y curvas en planta considere dicha conducta y la dinámica resultante para que las curvas que hayan de tener una geometría mínima para esa V_p estén flanqueadas por elementos preparatorios con otra más generosa.

En efecto, además de asegurar que los movimientos en las calzadas sean dinámicamente estables, las instrucciones de diseño consideran que los conductores se comportan respondiendo a la percepción que tienen de la geometría de la vía y de las condiciones imperantes del tránsito, y decidiendo según ello su velocidad de circulación. Esta subjetividad determina, en el colectivo, distribuciones de velocidad que han sido estudiadas y de cuyo análisis surge que la velocidad que debe considerarse para el trazado en planta de una vía es aquella que es superada solo por el 15% de sus usuarios (Velocidad Percentil 85 o $V_{85\%}$ o V_{85}), situación que se da cuando los flujos son moderados. Surge entonces el requerimiento de criterios para predecir esa V_{85} en los diferentes tramos de la vía, y la necesaria consideración, durante el diseño geométrico de su planta, de tiempos suficientes para que los conductores adecúen sus velocidades a la geometría de la vía cuando esta presenta cambios significativos.

Lo anterior significa, en la práctica, que los valores de los parámetros mínimos de diseño correspondientes a una velocidad de proyecto no son aplicables a lo largo de la carretera consi-

derando solo el equilibrio dinámico que debe asegurarse para los vehículos circulando a esa velocidad -concepto expresado como Velocidad Específica V_e - sino que deben adecuarse al contexto del trazado de la vía en cada punto de ella.

En el Acápite 3.201.301(1) del Volumen 3 se presentan los criterios de predicción de la V85 en trazados rectos en función de la velocidad de proyecto (VP) y la longitud de la recta, distinguiéndose para ello dos casos.

Tabla 3.201.301(1).A

Criterios de Predicción de la V85 en función de V_p y L_r para V_p entre 40 y 120 km/h

| Situaciones Posibles | | V85% determinada por |
|----------------------|--------------------|--|
| Caso I | $L_r (m) > 400$ | Longitud de la recta |
| Caso II | $L_r (m) \leq 400$ | Las características de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida |

Para el Caso I, la predicción de la V85 al final de una recta de longitud L_r superior a 400 metros de longitud depende de la longitud de la recta, medida entre los puntos de tangencia de las clotoides anterior y posterior a la recta o de las curvas circulares respectivas si no existen clotoides. El Volumen 3 recoge la empírica del caso y aconseja considerar para la V85 los valores de su Tabla 3.201.301(1).B siguiente. Esto, para carreteras bidireccionales o unidireccionales en terreno llano o con mediana ondulación; con pistas de ancho igual a 3.5 metros y bermas y sobrecanchos, sumados, mayores o iguales a 2.0 metros, y con flujos que no restringen la velocidad que los usuarios eligen.

Tabla 3.201.301(1).B

V85% al final de una recta según longitud y velocidad de proyecto

| V Proyecto km/h | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 |
|---------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $400 m \leq L_r (m) \leq 600 m$ | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 125 |
| $L_r (m) \leq 600 m$ | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 115 | 130 |

Los valores de la tabla anterior se pueden reducir en 5 km/h en vías trazadas en terrenos ondulados o montañosos ($40 \text{ km/h} \leq V_p \leq 60 \text{ km/h}$) si se tienen pistas de 3.0 metros y bermas y sobrecanchos, sumados, menores que 2.0 metros.

Una conclusión de lo anterior es que los trazados curvilíneos amplios con un mínimo de rectas -o ausencia total de éstas- implican velocidades V85 más cercanas a la velocidad de proyecto, lo que las hace más seguras. Una ventaja adicional de eliminar rectas largas es que se evita tener que incorporar curvas amplias al final de ellas, con parámetros de diseño correspondientes a velocidades de proyecto con valores superiores, como se explica más adelante.

Las curvas horizontales que siguen a una recta de longitud superior a 400 metros deben tener curvaturas que se correspondan con velocidades específicas $V_e \geq V_{85}^{17}$ de la Tabla 3.201.301(1)B, considerando las excepciones del caso (i).

Si la primera curva de una secuencia está precedida por una recta con $L_r \geq 600$ metros y entre las dos curvas de la secuencia que se analiza $400 m < L_r \leq 600 m$, es deseable que la segunda curva sea diseñada para una V_e mayor o igual que la V85 aplicada a la primera, salvo cuando se esté entrando a una zona de trazado restrictivo; caso en el cual se aceptarán las velocidades V85 de la tabla anterior (ii).

Cuando $L_r \leq 400 m$ (Caso II en Tabla 3.201.301(1)A) y se tiene una secuencia de curvas en planta con rectas intermedias de longitud inferior a 400 metros - o sin recta intermedia - la V_e de la curva inicial habrá resultado de las consideraciones anteriores (i o ii) y los radios sucesivos deberán mantenerse dentro de los rangos que muestran las láminas 3.203.304.A y 3.203.304.B, para carreteras con $V_p \geq 80 \text{ km/h}$ y $V_p \leq 80 \text{ km/h}$ respectivamente.

Una curva de $R_{mín}$ correspondiente a la V_p de la vía sólo podrá emplearse si: (i) está precedida por una recta con $0 m \leq$

$L_r \leq 400 m$, y (ii) si a la curva existente al inicio de dicha recta (radio de entrada en las láminas 3.203.304.A y 3.203.304.B), están asociados radios de salida que estén dentro de un rango que comprenda el $R_{mín}$ correspondiente a V_p .

La visibilidad de parada¹⁸ debe existir en todo el trazado para los elementos en planta y elevación. La velocidad V^{*19} es aquella empleada para verificar la existencia de D_p en curvas horizontales con obstrucciones laterales de la visibilidad, así como en las curvas verticales convexas.

En su Tabla 3.201.5A se sintetizan los valores normativos que se derivan de las instrucciones contenidas en el Volumen 3 para el trazado en planta y alzado de una carretera.

2.5.2. Distancias de visibilidad y maniobras asociadas (Sección 3.202)

En esta sección se establecen valores normativos para los parámetros de diseño -en planta y elevación- relacionados con el concepto de visibilidad analizado desde los siguientes puntos de vista (tipos de visibilidad en carreteras): visibilidad de parada, de adelantamiento (en caminos bidireccionales), al punto de atención, en intersecciones y para cruzar una vía. En autopistas sólo es pertinente la visibilidad de parada. Para cada tipo de visibilidad se exponen en la Sección 3.202 los factores concurrentes a su definición; se definen y establecen los parámetros considerados para su estandarización, a partir de sus relaciones con otras variables del diseño vial. Además, se presentan procedimientos de verificación de la visibilidad en planta y elevación, y criterios para abordar el deslumbramiento.

2.5.3. Trazado en planta (Sección 3.203)

En esta sección se resumen los condicionantes del diseño en planta (Párrafo 3.203.101), se definen las posibles localizaciones del eje de replanteo (Párrafo 3.203.102), y se establecen valores normativos para las combinaciones de elementos rectos y curvos de los caminos (Párrafo 3.203.103), considerando las tendencias de diseño y el problema de la visibilidad.

Para los alineamientos rectos (Tópico 3.203.2) se establece longitudes máximas de rectas como $L_r (m) = 20 V_p$ (Párrafo 3.203.202) y longitudes mínimas de las rectas (Párrafo 3.203.203).

Caso de las curvas en "S": el término de la clotoide de la primera curva debe coincidir con el inicio de la clotoide de la segunda. Si en los casos de recuperaciones o cambios de

estándares esto no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud $L_{rs} \text{ máx} = 0.08 (A1 + A2)$, siendo $A1$ y $A2$ los parámetros de las clotoides del caso. Los tramos rectos intermedios de mayor longitud deben tener longitudes mínimas L_r según los de la Tabla 3.203.203(1).A.

Los tramos rectos entre curvas del mismo sentido deben tener L_r mínimos según los valores de la Tabla 3.203.203(2).A.

Para las curvas circulares (Tópico 3.203.3) se establece valores máximos para el peralte y la fricción transversal (Tabla 3.203.302.A) y radios mínimos absolutos (Párrafo 3.203.302 y Tabla 3.203.302.B)

Los radios mínimos absolutos sólo podrán ser usados al interior de una secuencia de curvas horizontales si el radio de la curva a la que se le va a aplicar se encuentra dentro del rango aceptable para curvas consecutivas (Lámina 3.203.304.A).

Al final de tramos rectos de más de 400 m de largo el $R_{mín}$ autorizado será el correspondiente a una V_e igual o mayor que la V85 expuesta en 3.201.301(1).

El $R_{mín}$ debe aumentarse considerando la distancia entre el eje de replanteo y el borde interior de la calzada.

En curvas críticas el peralte podrá ser de hasta 8%, con línea de máxima pendiente $\leq 11\%$. Para el recálculo de $R_{mín}$ se usa la fricción transversal correspondiente.

La visibilidad debe ser comprobada según lo expuesto en el Párrafo 3.202.402.

Curvas en planta con radios sobre los mínimos (Párrafo 3.203.303)

El antiguo criterio que se consideraba para estas curvas amplias, consistente en que el peralte mantenía con el coeficiente de fricción transversal la relación $p = t/2$, no se mantuvo. En la nueva norma el peralte se independiza de la velocidad de proyecto. Así, las curvas de radio mayor que el mínimo aceptan velocidades V_e mayores que la de proyecto.

Peralte en función del radio de curvatura (Acápites 3.203.302[1])

Los peraltes que se deben utilizar en carreteras y caminos en función de los radios seleccionados son los de las láminas 3.203.303(1)A y 3.203.303(2)A.

Radio (R) - Peralte (p) - Velocidad específica (V_e) - coeficiente de fricción (t) (Acápites 3.203.302[2]):

Reemplazando en la expresión $V^2 - 127R(p+t)$ el valor de t por la expresión de la Tabla 3.203.302.A para cada rango de velocidad indicado en ella, y denominando V_e a la variable V , se tiene:

$$\text{Para caminos con } V_p \leq 80 \\ V_e^2 + (0.211R)V_e - 127R(p+0.265) = 0$$

$$\text{Para carreteras con } V_p \geq 80 \\ V_e^2 + (0.211R)V_e - 127R(p+0.193) = 0$$

Resolviendo estas expresiones para valores de R y p presentes en la Tabla 3.203.301.A, e iterando para valores crecientes de V_e , se obtiene valores para R , p , V_e y t de la Lámina 3.203.303[2]A). Se considerarán V_e de 110 y 130 km/h para radios mayores o iguales a 900 m en carreteras y 700 m en caminos, respectivamente.

Radios mínimos en contraperalte (RL) (Acápito 3.203.302[3])

Aplicable a radios mayores a 3.500 m en caminos y mayores a 7.500 m en carreteras. En sectores singulares y debidamente señalizados, se podrá aplicar contraperaltes según la Tabla 3.203.303.(3).A.

Desarrollo mínimo en curvas horizontales (Acápito 3.203.303[4]a y Tabla 3.203.303(4).A).

Deflexiones totales con $2g \leq \omega \leq 6g$ (Acápito 3.203.303[4]b y Tabla 3.203.303(4).B).

Línea de máxima pendiente q : no debe sobrepasar el 11% o el 10% en caminos y carreteras respectivamente (Acápito 3.203.303[5]).

Relación entre radios de curvas circulares sucesivas (Párrafo 3.203.304)

Ver Lámina 3.203.304.A para $V_p \geq 80$ km/h.

Desarrollo de peralte en curvas circulares sin curva de enlace (Párrafo 3.203.305)

No se contempla uso de clotoides en:

- » Caminos de Desarrollo con ≤ 30 km/h
- » Curvas cuya deflexión $2g \leq \omega \leq 6g$ en las que no se emplearán curvas de enlace (Acápito 3.203.303[4]B)
- » Curvas cuyos radios superan los 1.500 m y los 3.000 m

para caminos con $V_p \leq 80$ km/h y para carreteras con $V_p \geq 80$ km/h, respectivamente.

Eje de giro de peralte (Acápito 3.203.305[2]):

- » Vías bidireccionales: el eje de giro coincide con el eje de simetría; excepcionalmente (intersecciones, enlaces) puede coincidir con un borde.
- » Vías unidireccionales con mediana: el eje de giro coincide con el borde interior de cada calzada (cotas coincidentes con eje de proyecto).
- » Vías unidireccionales de tres o más pistas, con peraltes mayor o igual que 4%: es conveniente desplazar el eje de replanteo hasta al eje de la calzada.

Longitud del desarrollo del peralte l (Acápito 3.203.305[3]):

$$l = \frac{(n \cdot a \cdot \Delta p)}{\Delta}$$

l = longitud del desarrollo del peralte
 n = N° de pistas entre eje de giro del peralte y borde de calzada
 a = ancho normal de una pista (se omiten ensanches)
 Δp = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre $-b$ y $+p$ en caminos bidireccionales o entre $-b$ y $+p$ o $-p$ para el borde exterior en carreteras unidireccionales
 Δ = Pendiente Relativa de Borde de la Calzada, respecto de la del eje de la vía (Tabla 3.203.305(3)A)

Los valores máximos se usan cuando hay restricciones de espacio para el desarrollo del peralte o para minimizar zonas de pendientes transversales cercanas a cero en zonas con pendientes longitudinales cercanas a cero.

En la Lámina 3.203.305.A se muestra la manera de desarrollar y transitar el peralte en curvas circulares sin curva de enlace.

En la Tabla 3.203.305(4)A se tabulan las proporciones del peralte que se debe desarrollar en recta.

Sobreecho en curvas circulares (Párrafo 3.203.306)

Ver Tabla 3.203.306(2).A. Los ensanches totales $E(m)$: 3.0

$m \leq E(m) \leq 0.5$ m en calzadas de 7.0 m de ancho, y $3.2 m \leq E(m) \leq 0.35$ m en calzadas de 6.0 m de ancho.

Desarrollo de sobreecho en clotoides (Acápito 3.203.306[4])

Se realizará en 40 m, dentro de clotoide, antes de la curva requerida de sobreecho, o en el total de la curva de enlace si ésta tiene una longitud inferior.

Arcos de enlace o transición - clotoides (Tópico 3.203.4)

En el Párrafo 3.203.402 se describen las características geométricas de las clotoides, las ecuaciones paramétricas y cartesianas que la definen analíticamente.

Elección del parámetro A de las Clotoides (Párrafo 3.203.403)

Los cuatro criterios que determinan la elección del parámetro A son:

- » Por guiado óptico, criterio a: $R/3 \leq A \leq R$.
- » Por guiado óptico, criterio b: $A \geq (12R^3)^{0,25}$
- » Longitud de la clotoide debe bastar para desarrollar el peralte: $A \geq \sqrt{\frac{(n \cdot a \cdot p \cdot R)}{\Delta}}$
- » Longitud de la clotoide debe permitir que el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte se distribuya a lo largo de ella a una tasa uniforme J (m/s^3). Ver Tabla 3.203.403.A.

Parámetros A mínimos y normales (Acápito 3.203.403[1])

La Tabla 3.203.403(1).A muestra estos valores, para carreteras con $V_p \geq 80$ km/h según el caso que se enfrente.

Parámetros A mínimos y normales (Acápito 3.203.403[1])

La Lámina 3.203.403(1)A muestra estos valores, para carreteras con $V_p \geq 80$ km/h según el caso que se enfrente.

Radios que no requieren clotoides (Acápito 3.203.403[3])

- » En caminos con $V_p \leq 80$ km/h si $R > 1.500$ m.
- » En carreteras con $V_p \geq 80$ km/h si $R > 3.000$ m

Desarrollo de peralte en arcos de enlace (Párrafo 3.203.405)

En las láminas 3.203.405.A y 3.203.405.B se muestran

ejemplos de desarrollos y transiciones de peraltes para calzadas bidireccionales y unidireccionales, respectivamente, y en la Lámina 3.203.405.C, se tiene el caso de desarrollo de peralte en curvas en S.

En todos los casos la parte de las transiciones que se ejecutan entre valores de inclinación transversal nula y la correspondiente al bombeo, o las que se ejecutan entre valores del bombeo $+b$ y $-b$, deben hacerse usando la máxima pendiente relativa de borde que corresponde a cada caso, para minimizar la longitud de los tramos con inclinaciones transversales menores que el valor del bombeo.

2.5.4. Trazado en alzado (Sección 3.204)

Ubicación de la rasante respecto del perfil transversal (Tópico 3.204.2)

Calzada única: la rasante se ubica por lo general en el eje de la calzada.

Calzadas unidireccionales con medianas de hasta 13 m de ancho: el eje en planta normalmente está definido en el centro de la mediana y la rasante se proyectará al borde interior de los pavimentos de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes pueden ser necesarias dos rasantes, cada una de ellas asociada a l respectivo eje en planta o al borde izquierdo de los pavimentos, según el sentido de circulación en ellas.

Inclinación de las rasantes (Tópico 3.204.3):

Pendientes máximas: son las de la Tabla 3.204.301.A. En calzadas de carreteras independientes las pendientes de bajada pueden ser hasta un 1% superiores a las de dicha tabla.

Pendientes mínimas:

Si se tiene bombeo de 2% y no existen soleras se pueden aceptar pendientes mínimas de 0,2%. Si el bombeo o peralte de una zona en curva es de 2,5% o más, el mínimo es de 0%.

Si al borde de la calzada existen soleras, la mínima deseable es de 0,5% y la absoluta es de 0,35%.

En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se hace cero, la mínima será de 0,5%.

En cortes, en los casos anteriores, las pendientes de las

cunetas deben permitir la evacuación de aguas de la manera más rápida posible, con revestimientos si es necesario.

Longitud en pendiente y velocidad de operación (Párrafo 3.204.303)

En la Lámina 3.204.303.A se ilustra el efecto de pendientes de subida de longitudes crecientes sobre la velocidad de operación de los camiones. Este gráfico establece la longitud máxima que puede tener una pendiente de magnitud dada si se desea evitar una reducción de velocidad de X km/h. En la Tabla 3.204.303.A se muestra la longitud crítica en pendiente para una velocidad de entrada del orden de 88 km/h y una caída de velocidad del orden de 24 km/h y 40 km/h. Si la longitud y magnitud de una pendiente produce descensos superiores, se debe analizar la conveniencia de proyectar pistas lentas.

Enlaces de rasantes (Tópico: 3.204.4)

Los parámetros mínimos por visibilidad de parada para curvas verticales convexas y cóncavas son los de la Tabla 3.204.403.A.

Cuando se tiene curvas verticales cóncavas con zonas de iluminación artificial, los parámetros mínimos son los de la Tabla 3.204.403.B.

Hay situaciones en que se pueden aceptar Valores de $2T < Vp$ (párrafos 3.204.401 y 3.204.406).

Verificación de Visibilidad en curvas verticales: Tópico 3.202.4

Composición del alineamiento vertical: (Tópico 3.204.6):

En este tópico se mencionan los criterios generales que apuntan a un buen trazado longitudinal. Se advierte que un resultado óptimo depende de una buena coordinación del alzado con la planta (Sección 3.205). También se abordan los casos en que estructuras existentes o proyectadas condicionan la rasante.

2.5.5. Sección 3.205 Directrices para el diseño espacial de una carretera

Esta sección aborda las carreteras en su condición tridimensional, destacando la coordinación que debe existir entre el diseño en planta y en alzado para que el "alineamiento espacial" (Tópico 3.205.2) cumpla con criterios aplicables a los siguientes aspectos:

» Visión de la carretera dinámicamente estable y su transcurso predecible (Tópico 3.205.3, Lámina 3.205.2.A).

» Combinaciones de trazado en planta y elevación, que son los elementos del alineamiento espacial (Párrafo 3.205.302).

2.5.6. Efecto del entorno de la carretera con el diseño espacial (párrafo 3.205.303).

2.6. LA SECCIÓN TRANSVERSAL (CAPÍTULO 3.300)

Los perfiles tipo proyectados para el tronco y los ramales de una vía concurren, junto a la definición de un conjunto de parámetros fundamentales, al punto de partida de un proyecto vial.

Los efectos de una obra vial en el entorno resultan de su geometría, definitoria del espacio y de la forma y la cuantía de las superficies ocupadas, y de las características de dicho entorno. Los efectos sobre el entorno permanente son de variada índole, y los problemas que deben ser resueltos antes y durante el proyecto son materia de otras instancias de éste. El Capítulo 3.300 del Manual de Carreteras se ocupa de los aspectos geométricos.

En los capítulos anteriores se instruye con respecto a las categorías de vías y los rangos de velocidades de proyecto asociadas a ellas. En la Sección 3.300 se establecen los anchos, las inclinaciones y las relaciones entre sí de los elementos presentes en las secciones transversales de un camino.

En las láminas 3.301.A y 3.301.B se tienen perfiles transversales que describen dichos elementos para el caso de calzadas separadas en recta y el de calzada única en curva, respectivamente.

En la Tabla 3.301.1.A se instruye acerca de las dimensiones transversales de esos elementos, asociándolas a las categorías de las vías y a sus velocidades de proyecto.

En este Capítulo 3.300 se aborda, primero, **la plataforma** (Sección 3.302) y sus componentes:

» Calzadas (Tópico 3.302.2), con sus anchos y las modificaciones de éstos que resultan de la disminución o aumento del número de sus pistas (Acápites 3.302.203[2]), de la aparición de pistas auxiliares (Acápites 3.302.203[1]) y de la aparición de sobrecanchos en curva (Acápites 3.302.203[3]).

» Bombeos en calzadas bidireccionales (Acápites 3.302.204[1]) y unidireccionales (Acápites 3.302.204[2]).

Luego, en el Tópico 3.302.3 se abordan las **bermas**, sus anchos (Párrafo 3.302.302) e inclinaciones (Párrafo 3.302.303).

En el Tópico 3.302.4 se aborda los **sobrecanchos de la plataforma** (SAP), sus anchos (Párrafo 3.302.401) y sus pendientes (Párrafo 3.302.402).

En el Tópico 3.302.5 se aborda la **mediana**: sus justificaciones (Párrafo 3.302.501), sus anchos según categorías de vía (Párrafo 3.302.502) y las modificaciones de sus anchos (Párrafo 3.302.503).

El tema de las **pistas auxiliares complementarias** y los parámetros para su diseño son materia del Tópico 3.302.6. Las **paradas de buses**, en la berma, fuera de ella y otras, son abordadas en el Párrafo 3.302.601. Los relativos a **lechos de frenado** se abordan en el Párrafo 3.302.602. Las ciclovías son materia del Párrafo 3.302.603, que refiere al Capítulo 6.600 del Manual de Carreteras.

Luego, en la Sección 3.303 de este Capítulo 3.300, se aborda la **sección transversal de la infraestructura**. O sea, los elementos del perfil transversal que configuran y delimitan las obras de tierra: la **plataforma de subrasante** (Tópico 3.303.2), los taludes de terraplén (Tópico 3.303.3), las **cunetas** y los **taludes de corte** (Tópico 3.303.4), los alabeos de taludes (Tópico 3.303.5), las **obras de contención** (Tópico 3.303.6) y las que se ejecutan en el suelo de cimentación de la vía.

Se consideran obras de **protección de taludes** (Sección 3.304) las **soleras** (Tópico 3.304.1), los fosos (Tópico 3.304.2) y los contrafosos (Tópico 3.304.1).

Todos estos elementos se muestran gráficamente en las láminas anteriores 3.301.1.A y 3.301.1.B.

2.7. INTERSECCIONES (CAPÍTULO 3.400)

Los cruces a nivel de una autopista con otra vía no son permitidos ni considerados. Los accesos a las autopistas y las salidas desde ésta se realizan a través de ramales a los cuales se debe aplicar las normas de ramales (Capítulo 3.500 Enlaces), con las flexibilidades que puede requerir el diseño en un entorno urbano. Aquellas partes de dichos dispositivos que están contenidos en el nivel de la plataforma vial urbana -cuñas y pistas de cambio de velocidad- deben

ser diseñados de acuerdo con las Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU).

2.8. ENLACES (CAPÍTULO 3.500)

Los intercambios vehiculares proyectados entre una autopista y otra vía se producen mediante ramales, de distinto tipo (Lámina 3.503.3.A), configurados según el tipo de enlace proyectado (Lámina 3.503.2.A). En los ejes en planta de esos ramales se distinguen su tronco y los tramos en los cuales ellos empalman con otras vialidades.

La definición de la geometría en planta del tronco de un ramal sigue criterios distintos a los considerados en el caso del tronco de una autopista. Las relaciones entre velocidades, radios de giro y peraltes son determinadas según el criterio aplicado en la versión 1984 del Manual de Carreteras para todos los elementos viales de un enlace: que la aceleración transversal propia del movimiento circular sea compensada en un 25% por el peralte y en un 75% por la fricción transversal, y que los radios mínimos absolutos puedan ser calculados con valores máximos de t (Tabla 3.404.304.A), y $p = 8\%$ en la fórmula: $R_{\min} = V^2/127(t+p)$ para velocidades inferiores a 70 km/h (Tabla 3.504.203[3]A).

En ramales, las velocidades de proyecto mínimas, los radios mínimos absolutos con peraltes máximos y los parámetros mínimos para las clotoides son los de las tablas 3.504.203(2).A, 3.504.203(3).A y 3.504.203(4).A.

Conviene que el diseño de las partes de los ramales - pistas y cuñas - que quedan alojadas en la plataforma vial urbana al nivel de ciudad acojan las recomendaciones contenidas en las Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU, 2009), si se consideran los condicionantes que la vialidad de las ciudades suelen imponer. Estas condicionantes son espaciales, a veces difíciles de satisfacer con pleno respeto de las geometrías recomendadas, y también operativas, ya que las maniobras de salida y entrada hacia y desde la autopista se ejecutan en un sistema vial demandado por vehículos y peatones afectos a regulaciones determinadas por esas demandas en contextos de redes muchas veces complejas. Esto hace que el diseño de ramales, principalmente de las pistas que conectan la vialidad urbana con las autopistas, deba ser parte de los procesos de modelación y simulación propios del caso urbano, los cuales

podrán revelar conveniencias o dificultades que impongan parámetros de diseño distintos a los recomendados.

En el Volumen 3 del Manual de Carreteras no se mencionan las recomendaciones del REDEVU. En las REDEVU, en cambio, se establece que para velocidades de diseño iguales o superiores a 80 km/h, el diseñador debe remitirse al Volumen 3. Esto deja claro que, en principio, las normas para el diseño de rampas, pistas de cambio de velocidad y cuñas son las del Volumen 3. De allí que la conveniencia mencionada en el párrafo anterior, de ser atendida, debe contar con la aprobación de la Dirección de Vialidad.

En la Sección 3.501.1 se define enlace como un dispositivo vial compuesto por estructuras a distinto nivel y ramales de interconexión (o enlaces) que permite el intercambio de vehículos entre dos o más vías.

El Capítulo 3.500 se estructura en cuatro secciones:

- » **3.501.** Aspectos Generales
- » **3.502.** Antecedentes para Abordar el Diseño de un Enlace
- » **3.503.** Elección del tipo de Solución
- » **3.504.** Diseño Geométrico de un Enlace

En adelante, se resumirán los contenidos de la Sección 3.504, siguiendo el objetivo principal de la presente nota.

2.8.1. Trazado en Planta de Enlaces (Sección 3.504.2)

Las velocidades de proyecto mínimas en ramales de enlace se encuentran en la Tabla 3.504.302(2).A, en función del tipo de ramal, de las velocidades específicas de las carreteras y si este es de salida o entrada respecto a la carretera principal.

El eje en planta de un ramal de enlace se compone de alineaciones rectas y curvas empalmadas mediante curvas de acuerdo circulares o clotoides. La Tabla 3.504.203(3).A resume los R_{min} absolutos de arcos circulares y peraltes máximos.

La Tabla 3.504.203(4).A resume los valores de A_{min} de las clotoides de transición entre curvas circulares y la V_p del ramal.

Para anchos de calzada y bermas en ramales el lector debe remitirse a la Tabla 3.504.204.A.

El empalme entre ramales y pistas de aceleración y deceleración se guían por las siguientes referencias que son las mismas que para intersecciones (Numeral 3.403.307):

- » Formas básicas: Lámina 3.404.307(1).A
- » Pistas de aceleración tipo: Lámina 3.304.307(2).A

- » Longitudes de pistas de aceleración: Tabla 3.404.307.A
- » Pista de deceleración directa: Lámina 3.404.307(3).A
- » Pista de deceleración en paralelo: Lámina 3.404.307(3).B
- » Ángulo de incidencia de pista de deceleración directa: Tabla 3.404.307(3).A
- » Largos de cuña de pistas de deceleración: Tabla 3.404.307(3).B
- » Longitud de zona de deceleración para pendiente nula: Láminas 3.404.307(3)A y B

Cuando sean necesarias entradas y salidas sucesivas en un tramo de carretera se generan maniobras de entrelazado. La Lámina 3.504.207.B muestra soluciones para estos casos.

2.8.2. Definición de la Elevación en Enlaces (Sección 3.504.3)

En los enlaces es preciso resolver diferencias de cota en tramos cortos. La Tabla 3.504.3.A indica los parámetros de curvas verticales cóncavas y convexas en función de la Velocidad de Proyecto, con la salvedad que para los acuerdos vecinos a los empalmes se deben usar valores de V_p 10 km/h más altos. Esta exigencia también es válida para longitudes mínimas absolutas de dichos acuerdos.

2.8.3. Definición de Secciones Transversales en Enlaces Sección 3.504.4

Para resumir el contenido del Tópico 3.504.403, secciones transversales tipos en ramales, remitirse a la Lámina 3.504.403.A.

Las secciones transversales en su paso sobre o bajo estructuras o al interior de túneles se tratan en el numeral 3.1003.101 del Capítulo 3.1000, Puentes y Estructuras Afines. Igualmente, las secciones transversales en pasos desnivelados se abordan en:

- » Pasos Bajo Nivel: 3.1003.102(1)
- » Pasos Sobre Nivel: 3.1003.102(2)

2.9. TÚNELES

2.9.1. Definición Geométrica de Túneles (Sección 3.802)

Por tratarse de un tema recurrente en el diseño de autopistas urbanas, aquí se hace una síntesis del diseño geométrico de túneles.

2.9.2. Trazado en Planta en Túneles (Sección 3.802.2)

El trazado en planta de un túnel está sujeto a las mismas li-

mitaciones y recomendaciones del diseño geométrico de un camino, excepto algunas peculiaridades.

La velocidad de circulación dentro de un túnel definirá el diseño geométrico de éste. Pero, la velocidad **máxima** dentro de un túnel corresponderá a la Velocidad de Proyecto (V_p) en superficie, **menos** 20 km/h. La velocidad **mínima** de circulación en túnel será la misma que la mínima de la carretera exterior, pero será deseable que los vehículos pesados (camiones y buses) no experimenten una disminución de su velocidad de operación mayor a 25 km/h. De lo anterior deriva la importancia de limitar las pendientes en túneles largos.

Una recomendación de diseño es evitar que el conductor pueda ver la salida del túnel desde una gran distancia, ya que tiende a distraer su atención y aumentar su velocidad. Para ello se recomienda diseñar curvas suaves a la entrada y salida de los túneles o a través del trazado en alzado.

2.9.3. Trazado en Alzado en Túneles (Sección 3.802.3)

El trazado en alzado de un túnel está sujeto a las mismas limitaciones y recomendaciones del diseño geométrico de un camino. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en la evacuación de aguas provenientes de filtraciones permanentes u ocasionales.

Por lo anterior, se recomiendan pendientes no menores de 0,3 a 0,5% y no haciendo curvas cóncavas que puedan acumular agua. Si es inevitable tener curvas cóncavas al interior del túnel, hay que prestar atención a la limitación de visibilidad debido al techo de este.

El efecto de las pendientes longitudinales sobre la velocidad de un camión tipo se puede ver en la Lámina 3.204.303.A.

2.9.4. Sección Transversal (Sección 3.802.4)

Las dimensiones mínimas de la sección transversal que deben respetarse en el diseño de un túnel son las siguientes:

- » Gálibo vertical : 5 m o mayor
- » Ancho de pistas : 3,5 a 4,0 m
- » Bermas : 0,5 m a cada lado de la calzada
- » Aceras laterales : 0,75 a 0,85 m (con excepciones justificadas)
- » Pendiente transversal única : 2%

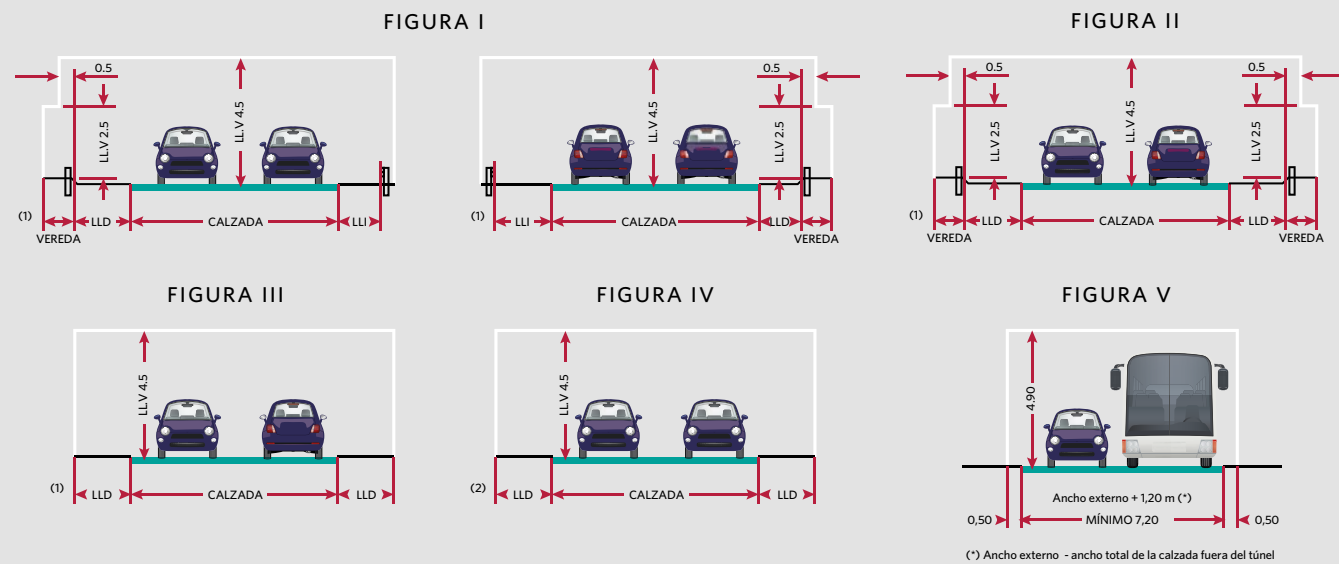
En los túneles de autopistas con $V_p \geq 100$ km/h el ancho de berma deberá ser de 1,5 m o, excepcionalmente, 1,0 m.

En el Tópico 3.802.4 la figura muestra un ejemplo de la sección transversal de un túnel, mostrando los elementos que la definen.

En caso de autopistas urbanas se presenta a continuación la Lámina 2.4-1 del REDEVU que describe los gálibos de túneles. Se hace hincapié que estos valores son aplicables a túneles urbanos, con velocidades de diseño inferiores a 80 km/h, y por lo tanto son alternativos a los normados en el Volumen 3. Su aplicación, por lo tanto, debe someterse a la revisión y aprobación de la Dirección de Vialidad.

La visibilidad de parada está asociada a la Distancia de Parada D_p , determinada por V_p (Tópico 3.202.2)

Los valores adoptados para V^* son mayores o iguales que V_p , pero por lo general menores que la V_{85} (Párrafo 3.201.302(2) y Sección 3.202).



(1) Para peatones o bicicletas si no se necesita LLD, se trata como en la figura III
 (2) Si hubiese acera, rigen los detalles correspondientes de las figuras I y II

| LLI (m) | | LLD (m) | | | |
|-----------|-----------|--------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | | Sin pista auxiliar | | Con pista auxiliar * | |
| MIN. ABS. | MIN. DES. | MIN. ABS. | MIN. DES. | MIN. ABS. | MIN. DES. |
| 0,50 | 1,25 | 0,50 | 1,75 | 0,50 | 1,25 |

* Pueden ser pistas lentas o ramales, donde la velocidad es menor.



El diseño geométrico de una autopista determina su capacidad y desempeño.

3. Operaciones

3.1. GENERALIDADES

Los análisis técnicos de este tipo de proyectos se realizan principalmente con dos objetivos: (1) estimación de la demanda para la evaluación social, y (2) Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

La estimación de demanda necesaria para la **evaluación social** de un proyecto estructural, como es el caso de una autopista urbana, debe considerar los cambios que se producirán a nivel de la estructura de los viajes (generación, atracción, distribución, partición modal) debido a la entrada en operación de un proyecto de esta naturaleza, y no solo su efecto a nivel de asignación de viajes en la red vial. Es importante que durante esta misma etapa de evaluación se aborde la validación o ajuste del diseño del proyecto, lo cual permite tanto la valoración de la inversión como la mejor definición del proyecto. Para ello, en esa etapa deben realizarse los estudios técnicos que ilustren sobre el costo generalizado de transporte de la(s) solución(es) analizada(s) y los ahorros de recursos sociales que se recogen de él.

Por su parte, el someter un proyecto a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) permite acreditar el cumplimiento de la normativa y obtener las autorizaciones ambientales respectivas. De esta forma, los EIA permiten determinar si el proyecto se hace cargo de los efectos ambientales que genera mediante la implementación de medidas u obras de mitigación, reparación y/o compensación, que son identificadas o validadas utilizando modelos de transporte que permiten objetivar tales medidas. Más específicamente y reiterando lo expuesto en el capítulo anterior, los aumentos en los tiempos de viaje y la reducción en la accesibilidad a servicios son un impacto ambiental en nuestra normativa y por ende deben ser identificados en aquellos puntos del proyecto que ocurren y para los usuarios afectados.

3.1.1. Integración de enfoques de modelación:

Los análisis técnicos requeridos tanto para la estimación de demanda como para el EIA de los proyectos de autopistas,

requieren de la integración de distintos enfoques de modelación según el nivel de resolución espacial necesario para cumplir ambos objetivos.

En efecto, la adecuada inserción de proyectos estructurales en contextos urbanos requiere la integración de escalas de análisis de mayor detalle (mesoscópica o microscópica) a la escala estratégica que normalmente se utiliza en este tipo de proyectos. Esto hace que sea posible identificar y dimensionar los efectos del proyecto sobre la trama urbana, y con ello corregir el diseño del proyecto o bien identificar proyectos complementarios que mitiguen los efectos negativos en su entorno. Si bien una modelación macroscópica resulta suficiente para la evaluación social de un proyecto, la misma es deficitaria para validar el diseño del proyecto o para estimar niveles de servicio en tramas urbanas densas, donde los virajes, los entrecruzamientos, la operación del transporte público, entre otros, generan efectos que no se pueden capturar en una modelación con este nivel de agregación. Por esto, se considera necesario complementar la modelación agregada o macroscópica, con una modelación más detallada y enfocada en el área de influencia directa del proyecto, utilizando enfoques tácticos de modelación, dentro de los que se identifican los modelos mesoscópicos y microscópicos.

En términos generales, los **modelos estratégicos o macroscópicos**²⁰ permiten realizar una modelación agregada de la operación de un sistema de transporte, la que resulta adecuada para estimar la demanda de proyectos cuyo impacto se considera de gran escala, esto es, impactos de nivel intercomunal o metropolitano, pudiendo llegar a afectar la estructura de los viajes, o bien afectar solo la asignación de flujos vehiculares y pasajeros en la red vial. De este tipo de modelaciones es posible obtener flujos de pasajeros y vehículos consistentes con los niveles de servicio resultantes del modelo. Sin embargo, dado el carácter agregado de los modelos estratégicos, es necesario detectar y dimensionar el impacto de atributos específicos de un proyecto emplazado en zonas urbanas. Por lo tanto, hay que integrar enfoques de modelación con mayor resolución

espacial como los modelos tácticos, de manera que se pueda evaluar socialmente el proyecto de autopista con el modelo macro o estratégico, y simultáneamente validar el diseño del proyecto a través de modelos más detallados, identificando aquellos puntos o sectores del proyecto que muestran un nivel de complejidad operacional que harían aconsejable corregirlos, previo a su evaluación social.

Los modelos de simulación mesoscópicos y microscópicos, en tanto, simulan las interacciones de los vehículos en el tráfico, donde la modelación microscópica considera la simulación detallada vehículo a vehículo considerando tanto las características de los conductores como de los vehículos que circulan en la red modelada. Consistente con este mayor nivel de detalle de la modelación a nivel de la oferta del sistema de transporte, la demanda de viajes debe considerar una mayor desagregación espacial, incorporando los viajes locales que en la modelación macroscópica no son representados debido a la mayor agregación espacial de la demanda.

Integrando este tipo de herramientas es posible proporcionar una mejor proyección de la operación de este tipo de proyectos emplazados en entornos urbanos, donde la complejidad operacional no es correctamente reflejada en un modelo agregado o macroscópico, y por lo tanto, menos adecuado para validar o corregir el diseño del proyecto considerado en la evaluación social, como tampoco lo es para definir, en el contexto del EIA, las medidas de mitigación necesarias para su operación.

Se hace hincapié, además, en que los resultados obtenidos de la simulación para el proyecto deberán validarse con datos reales disponibles de autopistas preexistentes en el área de estudio o que sean comparables. La idea es poder asegurar que los resultados predichos representan la demanda del proyecto mediante una validación de los resultados.

3.1.2. Áreas de Influencia

Se deduce del punto anterior que existirán dos áreas de influencia, dependiendo la escala de análisis que se esté abordando:

- » **Área intercomunal o metropolitana**, consistente con una modelación macroscópica, donde la agregación espacial de la demanda permite estimar el impacto del proyecto sobre los viajes de mediana y larga distancia, sin representar los viajes locales producidos en el área de análisis.

- » **Entorno directo**, consistente con una modelación de mayor táctica (mesoscópica o microscópica) en la cual es posible validar el diseño del proyecto durante el desarrollo de la estimación de demanda y evaluación social, y posteriormente estimar el impacto del proyecto en su entorno inmediato, y a partir de ello identificar proyectos que mitiguen sus impactos negativos en el marco del EIA.

3.1.3. Grado de Saturación

El grado de saturación es la razón entre el flujo y la capacidad de cualquier elemento vial (tramo de vía, intersección, parada de transporte público, enlaces, tramos de trenzado en autopistas). El concepto y forma de cálculo es:

$$x = \frac{\text{Demanda de tráfico}}{\text{Oferta de tráfico}} = \frac{q}{Q}$$

donde q (veh/h) es el flujo promedio horario en el elemento vial y Q (veh/h) es su capacidad en el mismo período.

El grado de saturación mide el nivel de congestión que se traduce en tres variables físicas que la describen: número de detenciones, longitudes de colas y demoras. La congestión se genera cuando la demanda por utilizar una determinada infraestructura es mayor a la capacidad que esta infraestructura ofrece, es decir, cuando el grado de saturación es mayor o igual a 1,0. En el caso de una autopista, los potenciales lugares donde se puede generar congestión son aquellos que presentan discontinuidad. Por ejemplo, los puntos o tramos en que se encuentran las rampas de entrada y salida, las secciones de trenzado, curvas cerradas, los cuellos de botella en que se reduce el número de pistas, en donde comienza una pendiente, etc. Así, es necesario estimar de buena forma la capacidad vial en estos puntos, ya sea con modelos de microsimulación de tráfico o modelos analíticos.

El Manual de Carreteras del MOP ofrece en el Volumen 3, Sección 3.102.804, los siguientes valores de capacidad en "condiciones ideales" para caminos bidireccionales de calzada simple (una pista por sentido) y para caminos de doble calzada con dos o más pistas por sentido.

- » **Camino de calzada simple:** 2.800 vehículos livianos por hora en ambos sentidos
- » **Camino de doble calzada:** 2.200 vehículos livianos por hora por pista

Como el Manual de Carreteras no se explica en este aspecto, se recomienda seguir las indicaciones del Manual de Capacidad de Carretera (HCM) de EE. UU. (Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board), según el cual las condiciones ideales son:

- » Circulación ininterrumpida, no afectada por entradas y salidas de vehículos.
- » Flujo compuesto solo por vehículos livianos
- » Sin restricciones para adelantar.
- » Terreno plano con pendiente menor o igual al 2%
- » Conductores habituales.
- » Pistas de 3,60 m de ancho (12 pies).
- » Bermas de 1,80 m de ancho, libres de obstáculos (6 pies).
- » Velocidad de flujo libre de 112 km/h (70 mph)
- » Factor Hora Punta (FHP) igual a 1,0.

El factor hora punta se calcula como:

$$FHP = \frac{q}{4q_{15}}$$

Donde q (veh/h) es el flujo horario promedio en la hora punta y q₁₅ (veh/15 min) el flujo en los 15 min punta de la hora punta.

En tramos de autopistas en que no se den las condiciones ideales, las capacidades indicadas por el MOP deben reducirse por:

- » Porcentaje de vehículos pesados en el flujo (buses y camiones).
- » Reducción del ancho de pistas y bermas.
- » Tipo de conductores (habituales o no habituales).
- » Factor hora punta.

Para estimar la capacidad en tramos de trenzado (entradas y salidas a corta distancia) y en rampas de entrada y salida se recomienda seguir las instrucciones del HCM 2000.

Cuando la rampa de salida de una autopista desemboque en una intersección semaforizada, el Flujo de Saturación, es decir, la descarga de una cola de vehículos durante el verde efectivo de un semáforo bajo condiciones ideales, denominado Flujo de Saturación Básico, dependerá del período de día (punta mañana

u otro) y la ubicación de la pista (derecha, central o izquierda), según muestra la Tabla 1. Para determinar el Flujo de Saturación en vehículos "reales por hora", considerando distintos tipos de vehículos y maniobras al entrar a la intersección, se recomienda el uso de los factores de equivalencia de la Tabla 2¹.

Tabla 1
Flujos de Saturación Básicos (automóviles que siguen directo por hora)

| Período | Tipo de pista | | |
|--------------|---------------|---------|-----------|
| | Derecha | Central | Izquierda |
| Punta mañana | 2.055 | 2.292 | 2.121 |
| Otro | 1.933 | 2.141 | 1.992 |

Tabla 2
Factores de equivalencia (conversión de vehículos a vehículos-equivalentes)

| Tipo de vehículo | Tipo de movimiento | | | |
|------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| | Directo | Viraje sin oposición | | Viraje con oposición |
| | | Normal (1) | Restringido (2) | |
| Liviano | 1,00 | 1,15 | 1,30 | 3,00 |
| Pesado | 2,00 | 2,30 | 2,60 | 6,00 |

(1) Radio de 10 m ; (2) Radio de 5 m

Como regla general, grados de saturación por encima de 0,9 son preocupantes, y sobre 1,0 representan problemas agudos de congestión en términos de longitudes de colas y demoras. Esto es una invitación a corregir diseños, y si no es posible, debe entenderse como un hallazgo central de la modelación. En este sentido cabe recordar que la modelación no se debe realizar por simple trámite, sino para encontrar dónde se prevén problemas.

3.2. MODELACIÓN

3.2.1. Situación base

Mediante el uso de modelos de transporte en fase predictiva, es posible proyectar la operación futura de una autopista emplazada en su entorno. Sin embargo, para que estos modelos

predictivos puedan apoyar de forma efectiva las decisiones, es necesario previamente construirlos utilizando las metodologías contenidas en los siguientes documentos y links de acceso, donde se detallan de manera rigurosa las distintas etapas que deben desarrollarse para modelar un sistema de transporte urbano:

- » (MESPIVU). http://sni.gob.cl/storage/docs/1496175178wpm_mespivu_2013.pdf
- » Metodología de Análisis de Sistemas de Transporte de Ciudades de Gran Tamaño. <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/mespe.htm>
- » Metodología de Análisis de Sistemas de Transporte de Ciudades de Tamaño Medio. <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/mespe.htm>

No obstante lo anterior, en esta sección se describen algunos aspectos críticos a tener en consideración durante la etapa de la modelación de transporte, que se recomiendan para un mejor desarrollo y revisión de este tipo de proyectos.

3.2.2. Etapas de la modelación de transporte

La Figura 1 contiene un diagrama general que muestra las etapas que contempla una modelación de transporte que se ilustran para dar contexto de las fases básicas requeridas para la modelación de transporte.

3.2.3. Calibración

Dentro de las distintas etapas de la modelación descritas en la Figura 1, la etapa de mayor complejidad y consumo de tiempo es la calibración del modelo, de la cual depende en gran medi-

da la capacidad predictiva de los modelos que finalmente se utilicen. El objetivo de la calibración es crear una representación matemática de la situación actual, es decir sin proyecto y en el presente, a fin de demostrar que el modelo matemático funciona. En su esencia, por ende, corresponde a construir una red con nodos y arcos y sus respectivas capacidades, aplicarlo obteniendo flujos, velocidades y grados de saturación, para luego comparar esas cifras con las que efectivamente se observan en la calle hoy en día. La elección de las cifras de capacidad suele ser el punto central en la calibración, y es donde más comúnmente se cometen errores o se debate la credibilidad del modelo. Un modelo bien calibrado es aquel que, teniendo cifras realistas para las capacidades, muestra bajo error, es decir, escasa diferencia entre los resultados del modelo y la realidad. La disponibilidad de datos de la situación actual en la calle es por tanto crucial y consecuentemente la utilización de observaciones con varios años de antigüedad debe ser evitada. No es aceptable utilizar un modelo sin previamente haber demostrado que está bien calibrado, y en consecuencia es parte inherente del trabajo ingenieril exponer los errores entre modelo y realidad (el llamado nivel de ajuste de la calibración) previo a la etapa de predicción a futuro.

Habida cuenta que las metodologías de calibración de los modelos de transporte se encuentran reportadas en detalle en los documentos señalados como referencia, en esta sección se enuncian recomendaciones generales que se estiman aportarán al desarrollo de esta etapa del análisis, cuyo alcance depende del tipo de modelo que se utilice:

- » Los modelos macroscópicos o estratégicos que se utilizan para estimar la demanda de un proyecto estructural, como es el caso de una autopista, integran en el mismo modelo

submódulos de demanda (distribución-partición modal) y de oferta (asignación). Estos modelos son calibrados periódicamente para las grandes ciudades y ciudades de tamaño medio del país, por lo que no requieren ser calibrados en el contexto de un proyecto en particular. No obstante lo anterior, resulta crucial antes de utilizar el modelo directamente en fase predictiva, analizar el nivel de ajuste general del submódulo de asignación, a fin de validar o ajustar la modelación para precisar o mejorar la representación de algunos atributos del área de influencia del proyecto que sea necesario incorporar o modificar. En este sentido, es posible que sea necesario ajustar conectores, densificar la red vial en algún sector, u otro ajuste o corrección que sea necesario considerar para el uso del modelo en fase predictiva.

- » Los modelos mesoscópicos requieren para su calibración la demanda de viajes, por lo que previamente debe construirse una matriz de viajes basada en los estudios de base de tránsito levantados con este propósito. Sin embargo, en algunos paquetes de simulación es posible estimar la matriz de vehículos basado en una matriz a priori, la que normalmente es extraída del modelo estratégico utilizado en el estudio de demanda de la autopista, mediante un proceso iterativo que permite calibrar el modelo de asignación de manera simultánea, estimando una matriz origen-destino de vehículos cuya asignación a la red es consistente con los flujos medidos y los costos por ruta estimados para la red modelada.
- » En relación con los modelos de microsimulación, normalmente los parámetros de comportamiento de los usuarios provienen de una calibración anterior y, por lo tanto, en esta etapa los esfuerzos deben orientarse a validar que la demanda de viajes que se desea representar efectivamente ingrese al área de modelación, donde es posible realizar pequeñas variaciones solo en caso de ser necesario, de los parámetros de comportamiento en el entorno de los valores inicialmente establecidos.

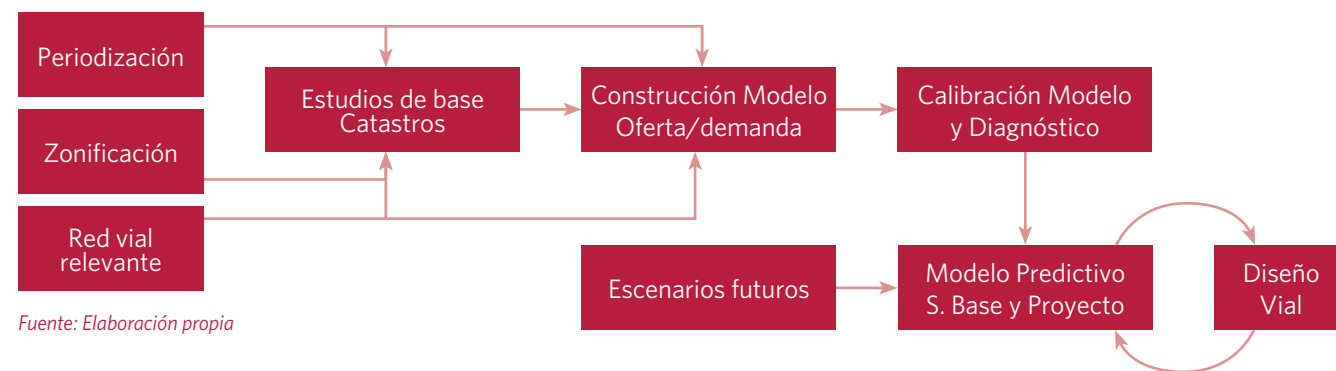
Para la calibración de los modelos señalados se recomienda tener en consideración que:

- » Los distintos objetivos y áreas de influencia considerados en cada modelo, determinan la necesidad de considerar levantamientos de datos adicionales a los considerados normalmente en los estudios de demanda de este tipo de proyectos, de forma tal que sea posible representar los fenómenos que se tornan relevantes en estas escalas de análisis

de mayor detalle. Se recomienda, por lo tanto, considerar en las primeras etapas de estudio, el levantamiento de datos necesario de las distintas escalas requeridas, de forma que tanto la demanda como los niveles de servicio registrados sean consistentes entre los distintos modelos que se utilicen.

- » Lo anterior hace recomendable que el diseño inicial de los modelos sea simultáneo, al menos en relación con la zonificación, la red vial relevante y los períodos a modelar, de forma tal que se pueda planificar, dimensionar y desarrollar de forma adecuada, un levantamiento de datos que procure mantener consistencia en los datos registrados en los distintos modelos. Se hace notar que en periodos muy congestionados los tiempos de viaje tienen mayor variabilidad, y por lo tanto mayor probabilidad de obtener datos menos consistentes.
- » En relación con la selección de la herramienta táctica que se debe integrar a la modelación estratégica, no es clara la necesidad de utilizar ambas modelaciones de forma consecutiva, mesoscópica primero y microscópica al final o utilizar una en particular. Ello, por cuanto ambos enfoques de modelación no son directamente consistentes entre sí, y cada uno cuenta con supuestos y restricciones distintas a partir de las cuales se obtienen los indicadores operacionales que se busca representar. A modo de ejemplo, se puede mencionar que los modelos mesoscópicos no representan bloqueos de intersecciones de la vialidad urbana producto del flujo que sale de la autopista. Esto debe ser considerado por el analista utilizando modelos analíticos como los contenidos en Fernández (2011)²².
- » Por su parte, el uso de modelos de microsimulación requieren un gran nivel de detalle que no solo abarca la representación de la vialidad, sino que considera una gran cantidad de parámetros de comportamiento, que a ojos del revisor pueden resultar invisibles pero que, sin embargo, pueden llegar a distorsionar de manera relevante la calibración que finalmente se obtenga. A modo de ejemplo, se menciona el tiempo de reacción de los conductores, espaciamiento de vehículos en cola, la regla de cambios de pista, el porcentaje de bloqueo de cruces, que impactan directamente la capacidad modelada en el sistema.
- » En la calibración de la modelación mesoscópica, es particularmente relevante que el analista enfoque esfuerzos

Figura 1
Etapas de la modelación de un proyecto de transporte.



Fuente: Elaboración propia

en el ajuste de los flujos vehiculares y niveles de servicio de las vías que serán “competencia” del proyecto de la autopista una vez entre en operación. De la misma forma, serán relevante revisar los ajustes logrados en aquellos movimientos que serán muy relevantes o por el contrario prohibidos en la situación con proyecto, pudiendo en este sentido, ser necesario densificar la red vial relevante, a fin de incorporar aquella Vialidad de conectividad que pueda ser esencial para representar la situación con proyecto. Todo ello, como complemento a todos los indicadores globales de calibración de la red, como GEH, R2, entre otros.

- » En la calibración (y uso predictivo) del modelo de microsimulación, es muy relevante considerar no solo los indicadores promedio del total de replicaciones realizadas, sino que también, revisar los indicadores de cada replicación realizada, pues en sistemas muy congestionados pueden ocurrir bloqueos mayores que distorsionen los resultados de alguna replicación que deba ser reemplazada.

3.2.4. Recomendaciones para la fase predictiva

Usualmente, la mayor complejidad de las modelaciones en fase predictiva, independiente del tipo de modelo, se relaciona con la saturación de las redes modeladas en los cortes temporales futuros. Ello, por cuanto los proyectos futuros que deben incorporarse a la situación base son aquellos con baja incertidumbre de concreción, siendo imposible por lo tanto, prever la capacidad real de la red vial proyectada, más allá de la optimización de las programaciones de semáforos que se realiza para cada corte temporal analizado. Por lo anterior, se recomienda tener especial cuidado en identificar los cortes temporales futuros (años de análisis) que no presenten sobresaturación, y de esa forma evitar la sobreestimación de los beneficios del proyecto. Los métodos vigentes para determinar los cortes temporales futuros están descritos en el MESPIVU. En este sentido, se hace notar que los modelos estratégicos utilizados en Chile no tienen restricción de capacidad estricta, por lo que la demanda modelada en el sistema puede superar ampliamente la capacidad máxima de las vías, siendo reflejada esta sobresaturación en los niveles de servicio dependientes de las curvas flujo-demora consideradas en sobrecapacidad. Por lo tanto, sigue en pie la recomendación anterior respecto a utilizar modelos analíticos.

El modelo macroscópico utilizado en fase predictiva es útil para comparar alternativas “conceptuales” del proyecto. Sin embargo, es relevante tener en consideración que este enfoque analítico no permite sancionar o validar el diseño de la alternativa seleccionada, cuya validación o ajuste sí se puede realizar mediante el uso de modelos de mayor resolución. Por lo anterior, es que resulta esencial la iteración diseño vial-modelo predictivo, tal como se recomienda en el MESPIVU.

En relación con el uso de modelos de microsimulación para la situación con proyecto, al igual que con la calibración resulta esencial controlar que la demanda de viajes pueda entrar al sistema modelado, evitando de esta forma validar un diseño de proyecto basado en una carga parcial del sistema que subestimar los conflictos. De igual forma, es importante revisar los resultados de cada replicación a fin de reemplazar las replicaciones anómalas.

Posteriormente, el análisis de medidas de mitigación debiera realizarse en lo posible sobre el mismo modelo predictivo utilizado para validar el diseño del proyecto.

3.2.5. Proyección de la demanda

Toda modelación incluye la proyección de la demanda, es decir, una estimación del número de viajes que se realizará en el futuro. Gruesamente existen dos formas de realizar esto: (a) se proyecta tendencialmente el crecimiento demográfico, el número de vehículos por hogar, y el número de viajes promedio por persona, para luego aplicar un modelo de partición modal que determine cómo se repartirán esos viajes en los distintos modos de transporte (automóviles, buses, bicicletas, etc.); (b) se proyecta tendencialmente el número de viajes de cada modo de transporte.

La primera requiere más esfuerzo computacional, pero es más realista. La segunda es simple pero poco confiable, pues asume que a las personas no les importan las tarifas de peaje, los tiempos de viaje ni hace comparaciones entre alternativas, teniendo una preferencia absoluta para ciertos modos de transporte. La recomendación por consiguiente es usar siempre el primer método.

3.2.6. Errores comunes en la modelación / Lista de chequeo

Un buen trabajo de modelación se preocupa de mostrar que no se están cometiendo errores usuales. Esto incluye:

- » Explicitar la completitud y antigüedad de los datos levantados de la calle usados para la calibración.
- » Mostrar los arcos de la red donde la calibración arrojó malos resultados (alta diferencia entre lo que el modelo predice y la realidad).
- » Mostrar que todo flujo relevante está representado con algún arco. Vehículos livianos, camiones, buses, peatones, etc.
- » Mostrar que toda intersección y todo punto donde los vehículos tienden a disminuir notoriamente su velocidad está representada en el modelo con uno o más nodos. Esto incluye intersecciones comunes, intersecciones entre calzadas y ciclovías, puntos de conexión entre entradas y salidas de la autopista con el resto de la autopista o con la vialidad local, y pasos cebra, por ejemplo.
- » Mostrar que cada elemento vial tiene definida en el modelo una capacidad realista, acorde a sus características físicas (número y ancho de pistas, semaforización versus ceda el paso/pare, etc.).
- » Explicitar las cifras usadas respecto de los supuestos sobre el comportamiento de los usuarios, como por ejemplo disposición a cumplir los límites de velocidad o la tendencia a bloquear las intersecciones.
- » Mostrar que los resultados finales tales como velocidades están dentro de los rangos usuales conocidos para infraestructura similar, como otras autopistas ya existentes.

3.2.7. Análisis de impactos:

Accesibilidad al transporte público y modos activos

Un aspecto usualmente soslayado en diseño de autopistas urbanas tiene que ver con su impacto en el transporte público y modos activos, como caminata o bicicleta. Dado que este tipo de proyectos se materializa en zonas en que ya existe desarrollo urbano, su materialización significa necesariamente un impacto en fragmentación de barrios y deterioro de niveles de servicio. En los casos en que el proyecto de autopista se materialice completamente en túnel, este impacto se reducirá a las rampas de entrada y salida, pero en el otro extremo, en proyectos materializados a nivel (como Autopista Américo Vespucio Sur) el impacto será significativo e irreversible en toda su longitud.

Los proyectos de autopistas urbanas impactan a otros modos

de transporte que operan en el área. Por ejemplo, para los viajes a pie la creación de la autopista usualmente implica una reducción en las oportunidades de cruce, aumentando las distancias y demoras para realizar el mismo tipo de actividades que antes del proyecto. Impactos similares se observan en el transporte público, tanto debido a la eliminación o relocalización de paraderos que empeoran la accesibilidad al sistema como por cambios de rutas que la obra implica. Del mismo modo, el uso bicicletas y otros modos activos también se ve afectado por obras de este tipo.

Los impactos descritos pueden ser de corto plazo en la etapa constructiva o de largo plazo, cuando se relacionan con el diseño de rampas de entradas y salidas o pasos a distinto nivel. Se debe poner énfasis en los efectos de largo plazo mediante la consideración de un diseño que permita minimizar (más que mitigar) posibles impactos en este ámbito. Esto significa, por ejemplo, que antes de diseñar la autopista es indispensable catastrar (y proyectar) las rutas de transporte público y cruces peatonales que pudiesen verse afectados por el proyecto.

En el caso particular del transporte público, la movilidad se define como la facilidad para ir lejos y rápido en este modo. Sus componentes son: (1) la accesibilidad al sistema; (2) el acceso a los vehículos; y (3) la circulación de los vehículos.

La accesibilidad es la facilidad para alcanzar el sistema de transporte público desde el punto de origen, así como alcanzar el destino final desde el sistema. Estas etapas de viaje se hacen generalmente caminando. Por lo tanto, los elementos físicos que contribuyen son las veredas y los cruces peatonales. El acceso es la capacidad para ingresar y egresar del transporte público. Involucra esperar, subir y bajar de los vehículos en los paraderos. Los elementos físicos que ayudan son la existencia de andenes para la espera, subida y bajada de pasajeros y zonas adecuadas para la detención de los vehículos. Finalmente, la circulación es la facilidad para que los vehículos, se muevan fluidamente dentro del resto del tráfico. Elementos físicos que ayudan son calles en buen estado y medidas que priorizan la circulación vehículos con altas tasa de ocupación (buses) por sobre vehículos con uno o dos ocupantes (automóviles), como -pero no exclusivamente- pistas sólo bus. Se hace notar que, si alguno de los elementos de la cadena de movilidad es deficiente o inexistente, todo el sistema de transporte público será inaccesible.

Hay que aclarar que en la nomenclatura de modelos estratégicos de transporte se suele llamar acceso a lo que aquí se denomina accesibilidad. Sin embargo, para el estudio a escala operacional es necesario diferenciarlos, ya que son procesos de distinta naturaleza que involucran actividades e infraestructuras distintas.

Una buena accesibilidad y acceso al transporte público se obtiene con una adecuada localización de los paraderos. El problema es que las autopistas suelen llevar a una relocalización de paraderos, ya sea por su cercanía a las rampas de entrada y salida como por la segregación que ésta produce y, por ende, deterioran el sistema de transporte público.

La localización y espaciamiento de paraderos es un problema que debe estudiarse caso a caso, por ejemplo, cuál debe ser el espaciamiento entre un paradero y otro, cuántos sitios de detención son necesarios según la frecuencia de los buses, cuál debe ser su layout, dónde ubicarlos con respecto a las intersecciones semaforizadas (aguas arriba, aguas abajo o a mitad de cuadra). Por lo anterior, solo se pueden dar recomendaciones generales que deberán ser precisadas por el ingeniero dependiendo del flujo de buses, demanda de pasajeros y distancias de caminata (Fernández, 2013)²³.

Para el espaciamiento de paraderos se recomienda:

- » Vías colectoras-distribuidoras o de servicio ("caleteras"): 200 a 300 m.
- » Vías troncales: 300 a 400 m
- » Corredores segregados de buses: 400 a 500 m

En relación con la ubicación del paradero respecto a un semáforo, para que no se reduzca la capacidad del paradero, se recomienda dejar una distancia de al menos 35 m aguas arriba de la línea de detención de la intersección.

Un aparente beneficio que la materialización de autopistas puede tener en el transporte público corresponde a permitir la implementación de servicios expresos que circulan a mayores velocidades y se detienen en menos paraderos. Sin embargo, el real beneficio de esta opción es cuestionable porque los servicios de buses que se podrían ver favorecidos no cuentan con las medidas de seguridad necesarias para circular a velocidades altas. Debido a esto, los buses que hagan uso de la autopista deben circular a bajas velocidades, aumentando el riesgo de colisión por interacción con los otros vehículos. Por otro lado, deben circular a velocidades altas, poniendo en

riesgo a los pasajeros que viajan de pie o sentados sin cinturón de seguridad. Adicionalmente, el volumen de recorridos que se podría ver favorecido por este potencial y cuestionable beneficio es marginal con relación al tamaño del sistema y, por la naturaleza de las autopistas, tienen baja accesibilidad, reflejada en un número reducido de paradas.

Los modos activos, como la bicicleta y la caminata, también se ven impactados por las autopistas urbana. Dependiendo del diseño, la implementación del proyecto hará en muchos casos casi imposible, o al menos muy costoso, cruzar la autopista, dificultando la interacción a ambos lados de la carretera. En el extremo, estos impactos se verán exacerbados cuando los cruces para peatones y ciclistas sean escasos y espaciados o se deban hacer mediante pasos superiores a los que hay que acceder mediante escaleras. Además de los costos en tiempo y seguridad frente a accidentes impuestos a los usuarios de modos activos, las soluciones usualmente se materializan en la forma de infraestructuras aisladas que, además del deterioro estético, afectan la seguridad personal de los usuarios por robos o asaltos.

Deterioro del tejido urbano

Íntimamente ligado a los impactos en transporte público y modos activos, se debe destacar la fragmentación del tejido urbano. A medida que se vuelve muy difícil cruzar la autopista en modos activos o en transporte público, el entorno directo verá reducido el comercio minorista y el sistema de actividades, impactando en la calidad de vida de las personas. Dependiendo del diseño y los flujos involucrados, las áreas aledañas al proyecto tenderán a convertirse en áreas desiertas, peligrosas que se deteriorarán en el mediano plazo. Los proyectos de autopistas urbanas actuales ignoran casi por completo este efecto.

Para este efecto, resulta indispensable que, como primer paso, cada proyecto de autopista haga un catastro pormenorizado de los impactos que causará en estas áreas y, dependiendo de la magnitud, tome las acciones que sean necesarias para compensarlas, mitigarlas o corregirlas, de la misma manera que se hace con otro tipo de externalidades de proyectos.

Lo anterior significa identificar y cuantificar los flujos peatonales, especialmente de personas de movilidad reducida, ciclistas y pasajeros del transporte público que se podrían ver afectados por el proyecto, poniendo especial atención en la accesibilidad a centros educativos, de salud o de comercio en el área. En caso de que los impactos sean reducidos se podrán establecer

medidas de compensación o mitigación, como apoyo a relocalizaciones menores, subsidios directos, compensaciones por pérdida de plusvalía, apoyos en traslados, mejoras en iluminación, seguridad, áreas verdes, veredas u otras. En caso de que los impactos sean mayores se deberían considerar los rediseños del proyecto que sean necesarios para minimizar estos impactos producidos. Esto significa, por ejemplo, que siempre que sea posible se debiera favorecer soluciones en las que la vía expresa va soterrada y las vías locales van a nivel. Finalmente, cabe destacar que ninguno de los impactos mencionados en esta sección se relaciona con efectos negativos en la salud de las personas, ya sea por emisiones de contaminantes o ruidos, las que deberán ser siempre resueltas con los mejores estándares internacionales disponibles para tales efectos, en todas las áreas de la ciudad.

3.3. ACCIDENTES

El aumento del riesgo en una nueva infraestructura de transporte es el aumento del número y gravedad de los accidentes de tránsito. La estimación del cambio en accidentes debe realizarse para toda el área de influencia, esto es, tanto para los tramos de la autopista propiamente dicha como la vialidad aledaña donde se proyecta cambios importantes de flujos y/o velocidades. Al respecto, se recomienda utilizar las recomendaciones de la Metodología Simplificada de Estimación de Beneficios Sociales por Disminución de Accidentes en Proyectos de Vialidad Interurbana y Huenupi et al (2018)²⁴.

3.4. EMISIONES ATMOSFÉRICAS Y RUIDO

3.4.1. Contaminación atmosférica

La contaminación del aire en un proyecto de autopista se separa en tres: la directamente relacionada con las faenas de construcción, la asociada al tráfico producto de los ruidos durante la construcción, y la asociada al funcionamiento normal de la autopista una vez en operación. La primera no es abordada en este documento pues no corresponde a la especialidad de la ingeniería de transporte. Las otras dos deben seguir la lógica descrita a continuación.

Todo proyecto vial urbano produce impactos ambientales en la medida que aumenta el grado de saturación en los distintos elementos viales. La contaminación atmosférica es el aumento de emisiones de contaminantes que en transporte corresponden fundamentalmente a COV, COx, NOx, PM10, PM2.5, PTS, SOx. De estos, algunos tienen más impacto a nivel local como

el CO y el material particulado respirable PM2.5. La emisión de contaminantes por hora en un tramo de vía se calcula con la relación desarrollada en por SECTRA (2010) (<http://www.sectra.gob.cl/metodologias/modem.htm>)

$$E_{ijkt} = q_{jkt} \cdot l_j \cdot F_{ik}(v_{jkt})$$

Donde E_{ijkt} son las emisiones del contaminante i en el tramo j emitidas por un vehículo tipo k en un período t (g/h); q_{jkt} es el flujo por el tramo j de vehículos tipo k en el período t (veh/h); l_j es la longitud del tramo j (km); $F_{ik}(v_{jkt})$ es el factor de emisión del contaminante i por el vehículo tipo k (g/veh-km); y v_{jkt} es la velocidad promedio en el tramo j del vehículo tipo k en el período t (km/h). Los factores de emisión F_{ik} pueden consultarse en las siguientes fuentes:

- » http://www.declaracionemision.cl/docs/GUIA_CONAMA.pdf
- » <https://naei.beis.gov.uk/data/ef-transport>

Los modelos de transporte a distinta escala entregan q_{jkt} y v_{jkt} , y la mayor parte de los micro simuladores de tráfico producen como resultados niveles de emisión de distintos contaminantes, así como el consumo de combustible.

3.4.2. Contaminación atmosférica en túneles

Los contaminantes atmosféricos dentro de un túnel se acumulan y representan un riesgo para los automovilistas, lo cual exige evacuarlos. Cuando el tráfico es bajo basta ductos que actúan como chimeneas, mientras que a mayor tráfico es necesario forzar la salida con ventiladores. El presente documento no define sugerencias al respecto pues la tarea mecánica de expulsión no es materia de la ingeniería de tránsito. Dicho esto, es imprescindible que en autopistas urbanas bajo tierra se realice un monitoreo permanente y automatizado de las concentraciones de contaminantes en tales tramos.

La instalación de ductos/chimeneas en áreas urbanas densas representa un riesgo para los residentes y usuarios del espacio público en su entorno que no está bien estudiado pues la mayoría de las autopistas urbanas en el mundo no están bajo tierra. Por consiguiente, solo cabe recomendar que, en proyectos que las contemplen, el entorno urbano de cada chimenea sea periódica o permanentemente monitoreado para determinar la exposición real de la población a contaminantes.

3.4.3. Ruido y vibraciones

El ruido y vibraciones en los proyectos de autopista se producen por la maquinaria durante la construcción, y luego en la fase de operación de la vía por el flujo vehicular. La parte de construcción no es abordada en el presente documento pues no pertenece a la ingeniería de tránsito.

Existen dispositivos para medir directamente el ruido y hay modelos matemáticos que lo ligan al flujo vehicular, así como estudios sobre vibraciones en edificios. Para la predicción del nivel de ruido en función del flujo vehicular en un tramo de vía, existe la guía del Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales (SEIA) en el siguiente sitio:

https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia_ruido_y_vibracion_websea.pdf

3.5. DESVÍOS DE TRÁNSITO

3.5.1. Definición de etapas constructivas

Para la modificación en superficie prevista por el proyecto entre los límites de éste, debe definirse una secuencia de etapas constructivas factible de implementar, buscando optimizar la ocupación de la vialidad adyacente requerida como alternativas de desvíos de tránsito en los casos que sea necesario, de tal suerte de minimizarla en la medida de lo posible. Para lo anterior será necesario abordar los siguientes aspectos:

- » Realizar una descripción general de las etapas constructivas.
- » Revisión de oferta vial relevante para los desvíos en área de influencia directa definida.
- » Definición de la secuencia en la ocupación del espacio público para la materialización del proyecto.
- » Estimación de los tiempos requeridos en la ejecución de las etapas previstas.
- » Representación gráfica de las etapas constructivas que se requieren.

3.5.2. Plan de desvíos de tránsito, señalización, demarcación y semaforización

Considerando la información generada en el punto anterior y los antecedentes provenientes de los proyectos de ingeniería de detalle de las obras del proyecto que intervienen o

afectan de alguna manera la infraestructura vial (y peatonal) existente, debe plantearse la estrategia general de desvíos. En este sentido deben abordarse como mínimo los siguientes aspectos:

- » Definición de las áreas ocupación de las obras y las afecciones que se producen en las vías de circulación de vehículos y peatones.
- » Obras complementarias (y/o provisorias) previstas en el plan de desvíos para los distintos sectores que lo requieren.
- » Medidas provisorias requeridas para acoger los desvíos que se generan.

En términos generales, para la formulación de esta estrategia deben considerarse las siguientes premisas:

- » En lo posible, solo se efectuarán cierres parciales de tránsito en las vías, manteniendo en todo momento, de alguna manera, calzadas habilitadas para la libre circulación del tránsito.
- » Privilegiar el uso de la vialidad aledaña que presente condiciones de capacidad adecuadas para acoger los flujos vehiculares que eventualmente se defina a reasignar, en caso de que esta exista.
- » Considerar de ser necesario la posibilidad de habilitar pavimentos provisorios con el fin de generar nuevos itinerarios para acoger las reasignaciones de vehículos y/o peatones que el desvío genera.
- » Considerar la instalación de toda la señalización y semáforos provisorios que se requiera para implementar el plan de desvíos propuesto.
- » Evitar, en lo posible, afectar significativamente los itinerarios de la locomoción colectiva.
- » Plantear las condiciones de seguridad necesarias para minimizar el riesgo de accidentes en la circulación de vehículos y peatones.
- » Todos los sectores con vías afectadas por las obras deberán estar debidamente señalizadas, conforme a la normativa vigente y en lo particular, a lo indicado en el Capítulo 5 "Señalización Transitoria y Medidas de Seguridad para Trabajos en la Vía" del Manual de Señalización de Tránsito del Ministerio de Obras Públicas y por la Guía de Seguridad Para Trabajos en las Vías Públicas de las Ciudades de CONASET.

» Para efectos de optimizar la visibilidad de los encauces hacia y desde desvíos, cuando se requiera, deben instalarse luces intermitentes eléctricas, incluyendo balizas (faros) y paneles con flechas para encauces de desvíos.

» Todos los sectores de calzadas y aceras donde se ejecuten obras en superficie deberán disponer de cierros. Adicionalmente, los límites entre áreas de excavaciones profundas y calzadas habilitadas al tránsito deberán protegerse mediante barreras plásticas y/o hormigón según sea la necesidad.

» En los accesos a las zonas de trabajo deberá disponerse de "bandereros", dotados de ropa y elementos de seguridad, quienes darán indicaciones a los conductores para las maniobras de entrada y salida de camiones y maquinarias.

» Las señales, luces intermitentes eléctricas, barreras y defensas camineras que se instalen, así como los pavimentos provisorios que se habiliten para desvíos, deberán ser debidamente mantenidos durante el plazo en que duren las faenas, debiendo en todo momento mantenerse en buenas condiciones físicas, operacionales, y de visibilidad.

» Se deberá evitar el estacionamiento de camiones y maquinaria, así como el depósito de materiales en las calzadas habilitadas al tránsito.

» El plan de desvíos debe considerar toda la señalización y demarcación transitoria para su implementación en planos escala 1:1000 en el área de proyecto y fuera de esta área, en los planos o laminas que sea posible generar con la cartografía disponible.

3.5.3. Modelación del plan de desvíos de tránsito

Importante, dado el crecimiento del parque automotor, es poder contar con un respaldo a los desvíos de tránsito que se desarrollen en alguna de las etapas en las cuales se materializa el proyecto y por el impacto temporal que generará en la vialidad intervenida y en el área de influencia propuesta, se requerirá de modelaciones que avalen las soluciones adoptadas. Una metodología para lo anterior requerirá de estudios de base, la realizaciones de modelaciones (SATURN-TRANSYT) y micro simulaciones de sectores más conflictivos en el área de influencia definida en estudio original. Como guía puede usarse la pauta sugerida para la modelación en el capítulo

3.1.1 de este documento, adaptando lo que sea necesario para modelar los desvíos.

3.5.4. Desagregación y agregación de los resultados por tipo de usuarios

Aunque las herramientas matemáticas para evaluación social y evaluación ambiental son casi las mismas, los objetivos de ambas legislaciones son diferentes, y esa diferencia debe verse reflejada por sobre todo en el nivel de agregación de los resultados: en la evaluación social solo importa el neto total, mientras que en la evaluación ambiental importan los resultados por grupos de personas a fin de determinar si hay algún grupo que resulta perjudicado y por ende requiere mitigación/compensación.

En el caso ambiental nuestra normativa no establece para el caso de proyectos de transporte cuáles exactamente deben ser los grupos de personas considerados, dejándolo a criterio del funcionario que analiza el proyecto. Basado en la experiencia internacional sobre los grupos que típicamente pueden verse impactados negativamente, se sugiere segmentar a los grupos humanos al menos en:

- » Automovilistas
- » Usuarios de transporte público
- » Peatones
- » Residentes localizados a medio kilómetro de la autopista, segmentados en varias zonas (barrios)
- » Residentes de zonas más alejadas
- » Residentes inmediatamente aledaños a entradas/salidas de la autopista
- » Viajeros que cruzan transversalmente la autopista (tienen origen y destino en distinto lado de la autopista)

Así, las distintas variables mencionadas más atrás en este capítulo (tiempos perdidos, accidentes, ruido, etc.) deberían reportarse separadamente para cada grupo.

4. Impactos Urbanos

En este capítulo se abordan los impactos urbanos derivados del tráfico en general. Primeramente, se entrega un panorama general sobre el análisis de estos impactos, para luego proceder a recomendaciones generales: sobre la cuantificación de algunos de ellos, sobre el caso específico de las erradicaciones a la luz de la experiencia comparada, y sobre la forma de presentar los resultados.

4.1. ANÁLISIS GENERAL DE LOS IMPACTOS URBANOS

El MESPIVU (2013) plantea en su Sección 3.3 el “Análisis urbano-ambiental”, como una dimensión que debe estar presente en el diagnóstico de la situación actual, así como en el análisis de los impactos del proyecto, identificando 3 categorías principales: Población, Entorno y Regulaciones.

Las dos primeras, deben estudiarse dentro de los impactos del proyecto, mientras que la tercera se debe tener en todo momento presente en virtud de las restricciones normativas que establece.

Así, el análisis urbano-ambiental se centrará en el espacio público y considera las zonas vehiculares, las peatonales y aquellas compartidas, en donde calzadas, aceras, separadores y unidades mixtas se desarrollan con todos sus componentes.

Más adelante, el mismo MESPIVU (2013), en su Parte III sobre “Metodologías específicas” dedica su Capítulo 14 al “Análisis urbano-ambiental” detallando las variables que se deben caracterizar: salud, seguridad, actividades y usos, espacios públicos, áreas verdes, áreas naturales, edificios públicos y patrimoniales y edificios privados. El proyecto en análisis debe incluir un reporte con el nivel de impacto de todas ellas.

En consecuencia, el revisor debe asegurar que los impactos urbanos que el proyecto genera hayan sido estudiados de acuerdo con las recomendaciones entregadas por el MESPIVU (2013).

4.2. CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS URBANOS DERIVADOS DEL TRÁFICO.

El tráfico de vehículos produce impactos urbanos a medida

que aumenta el grado de saturación (razón entre el flujo y la capacidad). Estos son:

- » Segregación: aumento en la distancia y tiempo de cruce de cauces vehiculares.
- » Intimidación: disminución del uso de las calles para otros fines (estar, jugar, pasear).
- » Intrusión visual: disminución del campo visual por vehículos o infraestructuras de transporte

La manera de cuantificarlos es la que se describe a continuación.

4.2.1. Segregación

Es el aumento en la distancia y tiempo de cruce de los cauces vehiculares por los peatones y rodados (bicicletas, coches para niños, carros de compras, sillas de ruedas, etc.). Se propone el siguiente método de predicción. Supóngase una corriente ininterrumpida de flujo vehicular, la segregación puede ser medida como la demora en cruzar la vía mediante brechas en el flujo. La brecha promedio (\bar{h}) es el inverso del flujo vehicular q ; es decir, $\bar{h} = 1/q$. Asumiendo racionalidad de los usuarios, estos utilizarán la ruta más corta para ir de un origen a un destino, por cuanto los peatones tenderán a cruzar en línea recta por cualquier punto de la vía. A medida que el flujo vehicular aumenta, la disyuntiva estará entre (a) esperar una brecha apropiada y cruzar la vía o (b) desviarse a una ruta más larga: caminar hasta el cruce regulado más cercano, esperar por el derecho de paso (v.g., luz verde), cruzar la vía, y caminar al destino. Para (a) un modelo de brechas para estimar la demora de cruce dará la medida de la segregación (ver por ejemplo TRB, 1992²⁵). En el caso (b) la segregación puede ser medida como el tiempo de caminata en ambos lados de la vía, más la demora para cruzar. Tanto las brechas como las demoras de cruce dependen del grado de saturación; luego la segregación también será directamente proporcional a éste.

Dado que una autopista nunca es cruzada caminando por sus pistas, el enfoque (b) arriba siempre debe ser usado para viajes que la cruzan. El enfoque (a) deberá considerarse en las calles aledañas a la autopista, tanto en intersecciones no semaforizadas

como pasos cebra, especialmente donde la autopista se conecta con la vialidad local (entradas/salidas). La estimación también debería hacerse en otras intersecciones no semaforizadas cuando la modelación de tráfico identifica importantes aumentos del flujo.

4.2.2. Intimidación

Es la disminución del uso de los espacios públicos para fines no relacionados con el transporte (estar, jugar, pasear). El trabajo seminal de Appleyard (1969)²⁶ muestra un estudio en calles de la ciudad de San Francisco (EE. UU.), en el cual se analizó el nivel de relaciones sociales (amistades y conocidos) por persona en una cuadra. Se observó que, si el flujo en una cuadra era de 200 vehículos por hora, el promedio de amistades era de 3 por persona y el de conocidos 6,3 por persona. Por el contrario, si el flujo alcanzaba los 1.900 vehículos por hora, estos números se reducían la tercera parte: 0,9 y 3,1 respectivamente. Este es un tema que debería tomarse en cuenta en grandes proyectos de infraestructura de transporte en Chile, para lo cual hay numerosa literatura y experiencia internacional²⁷.

4.2.3. Intrusión Visual

Corresponde a la disminución del campo visual del horizonte natural por vehículos (estáticos o en movimiento) o infraestructuras de transporte (viaductos, pasos superiores, etc.). Consiste en dos modelos, uno que permite estimar la magnitud de la intrusión pasando de una escala subjetiva a una objetiva, mediante la cuantificación de variables tales como: existencia de prados, cantidad de arbustos, existencia de bosques y casas, entre otras variables relevantes. Otro modelo permite estimar el grado de cambio antes y después de una intervención. Se puede utilizar las potencialidades de la fotografía digital e incorporar el paisaje afectado por el proyecto, según lo recomendado por el SEA²⁸.

4.3. ERRADICACIONES DE RESIDENTES Y COMERCIANTES

Es normal que los proyectos de transporte erradiquen residentes y comerciantes locales como un paso necesario para instalar la infraestructura. El desafío en este tema no es estimar el número de afectados -que casi siempre puede identificarse con gran precisión- sino las compensaciones razonables.

Un error común es referirse a este problema como “expropiaciones”, asunto con el que sin duda está ligado, pero no son sinónimos. Más específicamente: Un residente o empresario

que es arrendatario y es forzado a migrar, no es expropiado, y sin embargo enfrenta dificultades de erradicación producto del proyecto, por lo cual debería recibir una compensación que no es un pago expropiatorio. Por otra parte, el dueño de una propiedad arrendada debe recibir el pago por expropiación, pero no enfrenta ninguna dificultad de erradicación pues no es erradicado al no vivir allí, no mereciendo por ende ninguna compensación por ese concepto. Finalmente, quien es dueño de la propiedad y no la arrienda, sino que reside allí, enfrenta ambas pérdidas -propiedad y dificultades por erradicación- y por ende debe recibir compensación por ambas. Conceptualmente en consecuencia existe el erradicado-no-dueño, el dueño-no-erradicado, y el dueño-erradicado; dos de ellos con derecho de compensación por erradicación, pero no los tres, y dos de ellos con derecho de pago expropiatorio, pero no los tres.

Estados Unidos tiene una larga historia de erradicaciones producto de autopistas, con algunos casos más traumáticos que otros, que fueron generando lecciones prácticas sobre cómo abordar el asunto. Hoy en día el enfoque sigue la lógica descrita en el párrafo anterior y la recomendación de SOCHITRAN es imitar esas prácticas, descritas someramente abajo. Pero cabe primero aclarar la praxis en Chile:

Nuestra normativa es perfectamente consistente con el enfoque estadounidense gracias a dos leyes. La Ley de Expropiaciones asegura que cuando el Estado expropia el dueño sea pagado un precio por la propiedad. Y la Ley del Medioambiente señala por un lado que la erradicación de grupos humanos es un impacto ambiental y por ende susceptible de compensación; y por otro que también es un impacto ambiental la afectación de la manera en que las personas se ganan la vida, permitiendo en consecuencia resguardar casos como el del pequeño locatario que ve menoscabado su negocio por la construcción de una vía. En los hechos sin embargo no se siguen tan claramente estos preceptos. La Ley de Expropiaciones -más antigua y conocida- se respeta siguiéndose procedimientos formales ya bien establecidos, mientras que las compensaciones asociadas a la Ley del Medioambiente se aplican de manera más libre e interpretativa, caso a caso, produciendo incertidumbre y varianza, e incluso impidiendo el ejercicio de estos derechos.

Más concretamente, respecto de los empresarios locales afectados, a la fecha ningún proyecto de transporte en Chile ha compensado los problemas a negocios. Y respecto de las erradica-

ciones ha primado la visión de que el pago expropiatorio es en sí mismo la compensación para el dueño-erradicado, ignorándose el derecho medioambiental; mientras que paralelamente una compensación sí es considerada para no-dueños-erradicados, que a veces puede ser en dinero (definido sin metodología clara) y otras tan simple como un asesoramiento para encontrar nuevo hogar. En algunos casos (Costanera Norte, por ejemplo) se ha obligado a los dueños-residentes a elegir entre el pago expropiatorio y una compensación por erradicación, en la práctica condicionando el ejercicio de un derecho a la renuncia del otro.

El sistema estadounidense de compensaciones por erradicación es de nivel federal (es decir, aplicable a todo el país y por ende parejo) y con reglas suficientemente claras y aplicables²⁹:

- » Al dueño se le paga por su propiedad (expropiación).
- » Al dueño-residente se le paga un monto que, combinado con el pago expropiatorio, le permita adquirir una propiedad equivalente a precios de mercado en la misma región (radio de 75 km).
- » Al arrendatario se le paga un monto suficiente para, descontando el monto que ya pagaba de arriendo, cubrir arriendo y gastos de servicios básicos (electricidad, gas, etc) por dos años en una residencia similar a la que ocupaba.
- » A la empresa erradicada (de menos de 500 empleados) se le pagan todos los costos de acondicionamiento del nuevo local donde se instale, como también costos de publicidad que anuncien su nueva localización.
- » Si la empresa erradicada no es capaz de instalarse en un lugar cercano donde pueda mantener su actual clientela, se le paga un año de ingresos económicos calculados promediando los dos últimos años de ingresos declarados al fisco.
- » A todo erradicado, sea dueño o no, sea persona natural o empresa, se le pagan los costos de mudanza a precios de mercado.

4.4. DESAGREGACIÓN Y AGREGACIÓN DE LOS RESULTADOS POR TIPO DE USUARIOS

Como se describió en el capítulo 1, la necesidad de modelar matemáticamente las consecuencias del proyecto proviene de dos requerimientos de nuestra normativa nacional: evaluar socialmente un proyecto, y estimar sus impactos ambientales. Aunque las herramientas matemáticas son casi las mismas, los

objetivos de ambas legislaciones son diferentes, y esa diferencia debe verse reflejada por sobre todo en el nivel de agregación de los resultados: en la evaluación social solo importa el neto total, mientras que en la evaluación ambiental importan los resultados por grupos de personas a fin de determinar si hay algún grupo que resulta perjudicado y por ende requiere mitigación/compensación.

En el caso ambiental nuestra normativa no establece para el caso de proyectos de transporte cuáles exactamente deben ser los grupos de personas considerados, dejándolo a criterio del funcionario que analiza el proyecto. Basado en la experiencia internacional sobre los grupos que típicamente pueden verse impactados negativamente, se sugiere segmentar a los grupos humanos al menos en:

- » Automovilistas
- » Usuarios de Transporte Público
- » Peatones
- » Residentes localizados a medio kilómetro de la autopista, segmentados en varias zonas (barrios)
- » Residentes de zonas más alejadas
- » Residentes inmediatamente aledaños a entradas/salidas de la autopista
- » Viajeros que cruzan transversalmente la autopista (tienen origen y destino en distinto lado de la autopista)

Así, las distintas variables mencionadas más atrás en este capítulo (tiempos perdidos, accidentes, ruido, etc) deberían reportarse separadamente para cada grupo.

4.5. TRÁFICO INDUCIDO

Hay evidencia contundente (Duranton & Turner, 2011³⁰) de que la construcción de autopistas urbanas induce a un mayor uso del automóvil. Este fenómeno, conocido como “tráfico inducido”, es generalmente ignorado en los procesos de diseño de proyectos de autopistas, lo que se traduce en una subestimación de sus impactos urbanos y del grado de saturación de sus componentes viales, principalmente en enlaces, rampas de entrada/salida y conexión con la vialidad adyacente. Para dar cuenta de este fenómeno resulta indispensable utilizar un enfoque de proyección de la demanda que considere la partición modal, tal como se indica en la sección 3.2.5.



5. Notas y Referencias

- 1 Manual de Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU, 2013) <http://www.sectra.gob.cl/metodologias/mespivu.htm>
- 2 <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=276363>
- 3 Art. 19°bis de la Ley Orgánica de Administración Financiera del Estado. <http://bcn.cl/1ux06>
- 4 <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=16121&idVersion=2010-01-20&idParte>
- 5 http://www.concesiones.cl/Consejo_Concesiones/Paginas/default.aspx
- 6 Engel, Fischer y Galetovic (2014). "Economía de las asociaciones público-privadas"; Fondo de Cultura Económica, México.
- 7 <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>
- 8 El Reglamento en su artículo 7 define uno de los impactos ambientales posibles como la "alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos", y dentro de esto: "el aumento significativo de los tiempos de desplazamiento." y "La alteración al acceso o a la calidad de bienes, equipamientos, servicios o infraestructura básica."
- 9 Suele cometerse el error de asumir que el proceso es una oportunidad para opinar sobre el proyecto que, no obstante, es distinto de opinar sobre el estudio. Por ejemplo, podría opinarse que el proyecto no es acorde a objetivos declarados de desincentivos al automóvil, pero eso es irrelevante si lo único admisible son opiniones sobre el estudio, esto es, qué se omitió o qué se estimó mal en estudio respecto a las variables válidas según normativa ambiental.
- 10 <https://sea.gob.cl/documentacion/guias-evaluacion-impacto-ambiental/resoluciones-de-guidas-vigentes>
- 11 "Comité integrado por el Ministro del Medio Ambiente, quien lo presidirá, y los Ministros de Salud; de Economía, Fomento y Turismo; de Agricultura; de Energía, y de Minería." (Art. 77 del Reglamento de la Ley del Medioambiente).
- 12 La adjudicación de AVO I fue publicada en el Diario Oficial el 13 de marzo de 2014 (<http://coaliciontransportejusto.wdfiles.com/local--files/wiki:avo/adjudica-avo.pdf>) y no incluía viaductos como puede verse en las Bases de Licitación (http://www.concesiones.cl/proyectos/Documents/Americo%20Vespucio%20Oriente/BALI_AVO_Jul_13.pdf) Estos fueron incorporados como una modificación de contrato vía DGOP N° 2010 de febrero de 2015. Véase una descripción simplificada de esa y demás modificaciones realizadas en dicha ocasión, en palabras de la Concesionaria, en anexo a la Resolución Ambiental, pág. 358 y 359: https://seia.sea.gob.cl/archivos/2017/11/08/RCA_AVO_31_10_2017_Final_Final_.pdf
- 13 Según respuesta a requerimiento por transparencia a la Superintendencia del Medioambiente (AW003T0004758). El acta de la visita de inspección está disponible en <https://drive.google.com/file/d/1dgBMhMnCny50kh5G9FEknZULdIOwwqYQ/view?usp=sharing>.
- 14 <http://www.concesiones.cl/proyectos/Paginas/default.aspx>

- 15 Informado por el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medioambiente ante requerimientos por Ley de Transparencia (AW004T0005152 y AW003T0005506 respectivamente).
- 16 Engel, Fischer, Galetovic y Hermosilla (2009). "Renegociaciones de Concesiones en Chile", Estudios Públicos 113. <http://new.econ.uchile.cl/uploads/publicacion/06b27afd096c8e2350c75d2079435054891ccea6.pdf>
- 17 Velocidad Específica (Ve) es la máxima velocidad a la cual se puede circular por un elemento del trazado, considerado individualmente, en condiciones de seguridad y comodidad, sobre pavimento húmedo y neumáticos en buen estado y sin que existan circunstancias que limiten la velocidad. Se diferencia de la Velocidad de Diseño (1981) en el criterio aplicado para determinar su relación con los peraltes (Vol. 3; 3.102.402, 3.203).
- 18 La visibilidad de parada está asociada a la Distancia de Parada Dp, determinada por Vp (Tópico 3.202.2)
- 19 Los valores adoptados para V* son mayores o iguales que Vp, pero por lo general menores que la V85 (Párrafo 3.201.302(2) y Sección 3.202).
- 20 En Chile se utilizan principalmente los modelos macroscópicos ESTRAUS y VIVALDI.
- 21 Fernández (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Fondo Editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- 22 Fernández (2011). Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Fondo editorial, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima
- 23 Fernández (2013). Temas de Ingeniería y Gestión de Tránsito, RiL Editores, Santiago.
- 24 <https://estudiosdetransporte.org/sochitran/article/view/186>
<https://catalogo.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8896>
- 25 <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/tft>
- 26 <https://core.ac.uk/download/pdf/323897729.pdf>
- 27 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2015.1077286>
- 28 https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/03/13/guia_valor_paisajistico_websea.pdf
- 29 Federal Highway Administration (2018), "Project Development and Design", capítulo 12 "Right-of-Way and Utilities", disponible en <https://highways.dot.gov/federal-lands/pddm>. Consúltese además un manual de fácil aplicación en un lenguaje apto para la ciudadanía preparado por la misma institución: https://www.fhwa.dot.gov/real_estate/publications/your_rights/rights2014.pdf
- 30 Durantón, G. & Turner, M. A. (2011). The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities. American Economic Review, 101(6), 2616-52.



SOCIEDAD CHILENA DE
INGENIERÍA DE TRANSPORTE

NOTA TÉCNICA

GUÍA PARA PROYECTOS DE AUTOPISTAS URBANAS

MARCO INSTITUCIONAL
DISEÑO DE AUTOPISTAS URBANAS
OPERACIÓN
IMPACTOS URBANOS
SANTIAGO, JUNIO DE 2022