



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE

MONOGRAFÍA

SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS



FONDEF
Fondo de Fomento al Desarrollo
Científico y Tecnológico

INSTITUCIONES BENEFICIARIAS



INSTITUCIÓN MANDANTE



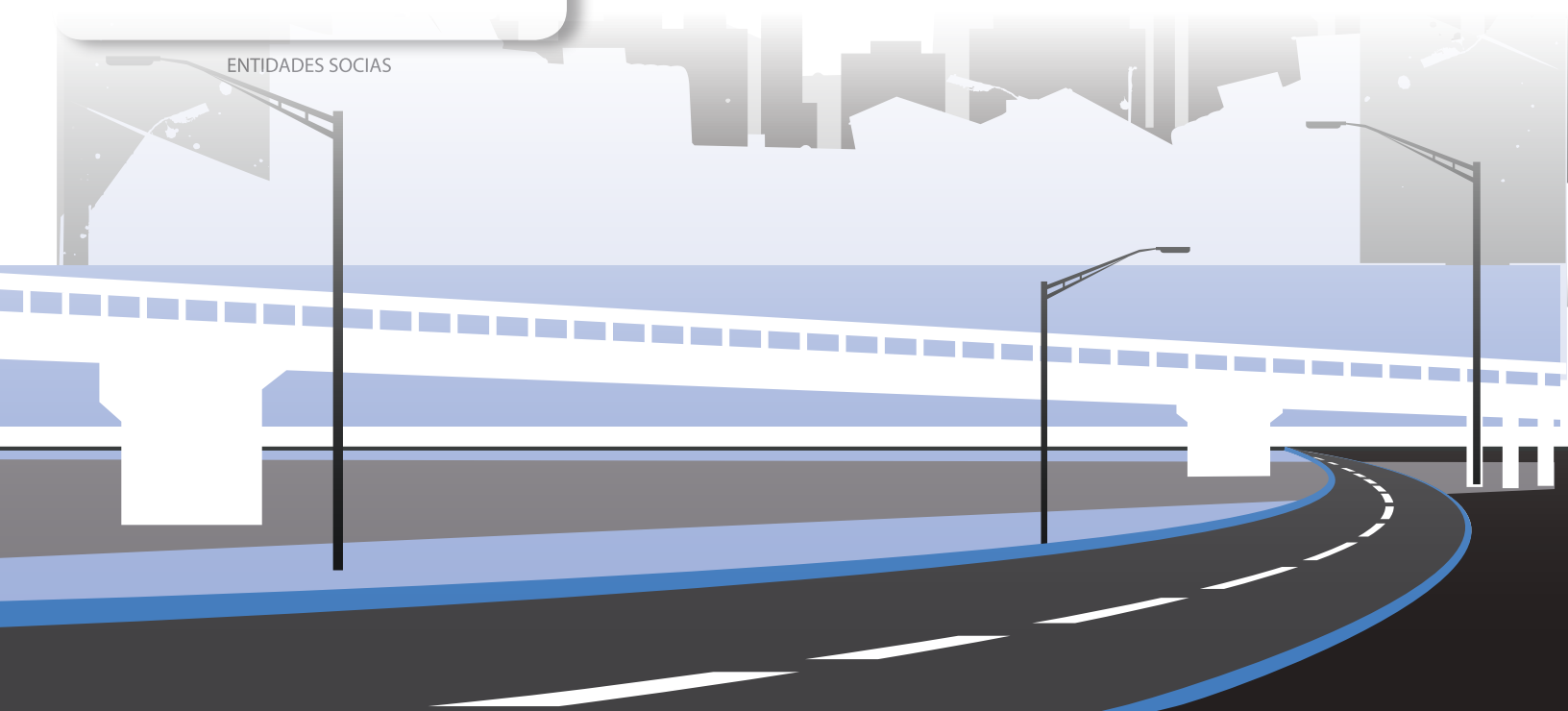
stg
GOBIERNO REGIONAL
METROPOLITANO DE
SANTIAGO



ENTIDADES SOCIAS

Proyecto FONDEF D09I1018:
Investigación y Desarrollo de Soluciones
para la Gestión de Pavimentos Urbanos en
Chile

Abril 2015
Santiago, Chile



Índice

Prólogo.....	4
1 Introducción.....	6
1.1 El Proyecto FONDEF D09I1018 “Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile”	7
1.2 Objetivos Específicos del Proyecto FONDEF D09I1018.....	8
1.3 Metodología de Trabajo	8
1.4 Organización del Proyecto y Reconocimiento a Instituciones y Personas Participantes..	9
1.5 Principales Resultados del Proyecto FONDEF D09I1018.....	11
1.6 Documentos Generados en el Proyecto FONDEF D09I1018	12
2 Recomendaciones Institucionales.....	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Estado del Arte de nuestra Legislación	14
2.3 Marco Institucional. Órganos Responsables de la Conservación de Pavimentos y Aceras en Chile de Conformidad con la Ley.....	16
2.4 Legislación Comparada	16
2.4.1 Órganos responsables de la conservación de pavimentos y aceras de conformidad con los fallos de nuestros tribunales superiores de justicia	17
2.5 Propuesta de Ajustes Institucionales	17
2.5.1 Política regional de conservación de infraestructura y espacios públicos.....	17
2.5.2 Descentralización de atribuciones en la actividad de conservación de pavimentos: modificaciones de largo plazo	18
2.5.3 Transición hacia la reforma: modificaciones de corto plazo	18
2.5.4 Financiamiento de los programas de conservación de infraestructura vial.....	19
2.5.5 Estudios, diagnósticos y contratos de mantención.....	19

2.5.6	Modificaciones legislativas y reglamentarias	20
3	Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos	24
3.1	Marco Conceptual	24
3.2	Evaluación Técnica de la Condición de Pavimentos Urbanos	28
3.3	Modelos de Deterioros	29
3.4	Estándares de Conservación.....	32
3.5	Priorización Técnica.....	36
3.6	Priorización Socio-Política.....	37
4	Plataforma Computacional SGPU.....	40
5	Balance y Conclusiones del Proyecto.....	46



Prólogo

La infraestructura de un país es fundamental para su desarrollo. Específicamente su vialidad, tanto urbana como interurbana, cumple un rol fundamental en la movilidad de personas, bienes y servicios.

Mantener un nivel adecuado de serviciabilidad de la red vial, permite satisfacer las necesidades de los usuarios y optimizar el uso de los recursos públicos que se invierten en la construcción, operación y conservación de las vías.

Los pavimentos de las ciudades del país presentan, en general, un bajo nivel de servicio, afectando directamente la calidad de vida de la población. Esta realidad se contrapone considerablemente con las vías interurbanas; donde en las principales carreteras se exige un nivel de servicio mínimo que deben cumplir las autopistas concesionadas.

Una importante proporción de los pavimentos deteriorados triplica los costos en conservación y operación vehicular en las ciudades. Además el mal estado de la red vial aumenta las emisiones contaminantes, así como los niveles de ruido.

El deseo de las autoridades, en mi experiencia como titular de Obras Públicas, es que el país alcance su desarrollo productivo a través de obras de infraestructura, sin dejar de lado a sus usuarios.

Una forma de acelerar este proceso es incluir nuevas tecnologías, promover la innovación y gestionar eficientemente el desarrollo y operación de nuestra infraestructura. La relación entre la universidad, la empresa y el gobierno a través de la investigación en conjunto, nos permite encontrar soluciones que mejoren el comportamiento de la infraestructura y con ello se benefician los usuarios de dichas vías. Si a esos nuevos desarrollos le agregamos una visión sustentable, tanto con el medio ambiente como en el tiempo, nos permite no solo encontrar soluciones para los actuales usuarios, sino que también para los usuarios del futuro.

Un aporte a este desafío lo representa el proyecto Fondef de Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile, liderado por el Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC).

El estudio no sólo busca ser un aporte al desarrollo de soluciones a la gestión de infraestructura vial, sino también a la calidad de vida de las personas.

Gracias al trabajo de investigación UC, los diferentes actores públicos y privados pueden conocer hoy las causas del problema de gestión de pavimentos urbanos en Chile. También tomar conciencia de la incidencia que tiene la organización institucional, cuya estructura limita la optimización del uso de recursos, y la falta de un sistema de gestión actualizado para un adecuado mantenimiento vial.

Valoramos el desarrollo de soluciones que entregan los profesores UC del proyecto, como el manual con recomendaciones legislativas e institucionales, que incorpora -entre otros- la figura de un revisor independiente de pavimentos, y una propuesta de plataforma on line de gestión vial urbana con información geográfica, para priorizar el uso de recursos públicos en la conservación de la red.

Asimismo, confiamos que la iniciativa sea un aporte a la institucionalidad vial en el país, que permita evaluar técnica y económicamente los tramos de la red urbana que requieren una mayor conservación.

Hernán de Solminihac

Ex ministro de Obras Públicas y actual Director
del Departamento de Ingeniería y Gestión de la
Construcción UC

1 Introducción

La Gestión de Infraestructura es hoy en día un requerimiento básico de los países, debido al impacto que tiene su condición o estado en el desarrollo económico y social y en el bienestar de la sociedad (las personas). Es aún más importante si se consideran los desafíos de sustentabilidad que enfrenta el mundo.

Es así como en las décadas de los 80 y 90 la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile emprende una serie de proyectos de investigación y desarrollo, que encarga a las Escuelas de Ingeniería de las Universidades de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile, que terminan con la implementación en el país de un Sistema de Gestión Vial para carreteras interurbanas y una importante actividad de transferencia tecnológica. El éxito de esta iniciativa es evidente al observar la calidad de nuestras carreteras.

Por el contrario, los pavimentos urbanos en Chile en general presentan un bajo nivel de servicio, no obstante la introducción, en las últimas décadas, de conocimientos, tecnologías y desarrollos en el área de diseño, construcción y gestión de pavimentos. El mal estado de los pavimentos urbanos genera costos elevados de operación vehicular, aumento en los tiempos de viaje en ciudades, problemas de seguridad vial y contaminación, todo lo cual se traduce en externalidades negativas para la sociedad y calidad de vida de la población y altos costos para la economía del país.

Se postula que una de las causas del problema de gestión de pavimentos urbanos en Chile es la institucionalidad responsable de la gestión establecida legalmente. Esta visión ha sido compartida por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, como se desprende del documento elaborado conjuntamente “Gestión Institucional para la Conservación de Pavimentos Urbanos - Diagnóstico y Propuesta de Mejora, Mayo 2012”, que concluye que la institucionalidad vigente promueve la dilución de responsabilidades, una gestión en forma desarticulada y reactiva y una visión de tramo y no de red para analizar el problema.

Otra causa que conspira contra la gestión de pavimentos urbanos en Chile, es la falta de un sistema de gestión actualizado para una adecuada conservación vial, observándose la carencia

de herramientas técnico-económicas efectivas que faciliten la toma de decisiones objetivas para el mantenimiento de la red urbana.

1.1 El Proyecto FONDEF D09I1018 “Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile”

Para resolver la problemática planteada anteriormente, el año 2010 la Pontificia Universidad Católica de Chile postuló el proyecto “**Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile**” al XVIII Concurso de Proyectos de I+D de FONDEF, el que fue aprobado y comenzó en Agosto de 2011.

Se planteó desarrollar, a partir del análisis de la situación en que se encuentra la Gestión de Pavimentos Urbanos (GPU) en Chile, un conjunto sistemático de soluciones a los principales problemas institucionales, técnicos y económicos que enfrentan las entidades a cargo de la gestión bajo criterios de optimización de recursos.

En el área institucional se consideró proponer recomendaciones para el ajuste y/o rediseño de aspectos legislativos e institucionales que contribuyan al mejoramiento de la gestión de pavimentos urbanos en Chile.

En el área tecnológica se propuso generar un sistema de gestión para asistir en la toma de decisiones para la elaboración de programas de conservación de redes de pavimentos. Para tal efecto el proyecto consideró desarrollar un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU) integrado con un Sistema de Información Geográfica (SIG), que incluyera metodologías de evaluación técnica de la condición de pavimentos urbanos, definición de metodologías de optimización económica y priorización, y desarrollo de una metodología para la implementación y adaptación del Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitiera incorporar variables espaciales en el proceso de toma de decisiones de mantenimiento vial urbano. Requiere, por lo tanto, de un algoritmo que permita evaluar la idoneidad de las alternativas de conservación de forma que se logre una gestión más eficiente de los recursos disponibles para la conservación de redes de pavimentos.

Los principales usuarios serán las instituciones y organismos públicos involucrados en el proceso de gestión y de asignación de recursos para el mantenimiento de pavimentos urbanos. Entre

éstos se encuentran el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Dirección Nacional de Vialidad del MOP, gobiernos regionales y municipalidades.

1.2 Objetivos Específicos del Proyecto FONDEF D09I1018

En el proyecto se postularon objetivos en los siguientes campos de acción:

1. Objetivo Científico: Proponer recomendaciones para el ajuste y/o rediseño de aspectos legislativos e institucionales que contribuyan al mejoramiento de la gestión de pavimentos urbano en Chile.
2. Objetivo tecnológico y de costos: Desarrollar metodologías para la evaluación técnico-económica de pavimentos urbanos que permitan optimizar los recursos disponibles y disminuir en el largo plazo los costos a usuarios.
3. Objetivo tecnológico: Desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que incorpore variables espaciales en el proceso de toma de decisiones de mantenimiento vial urbano.
4. Objetivo de negocio y uso de productos en condiciones reales: Desarrollar un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU) el cual integre las metodologías técnico-económicas y el Sistema de Información Geográfica (SIG) y que sea adaptable a las condiciones particulares de instituciones usuarias.
5. Objetivo de mercado: Desarrollar seminarios y talleres para la difusión y transferencia de los resultados del proyecto a futuros usuarios y entidades participantes.

1.3 Metodología de Trabajo

La Figura 1-1 muestra el esquema de la propuesta metodológica utilizada para la investigación. En esta es posible destacar las 6 principales etapas cronológicas de desarrollo: revisión de antecedentes, ajuste de la metodología en función de la revisión anterior, diagnóstico jurídico - institucional, desarrollo de herramientas técnico-económicas y geográficas necesarias para un

sistema moderno de gestión, I+D para el desarrollo de la plataforma computacional del sistema de gestión y finalmente, actividades de difusión y transferencia de resultados.

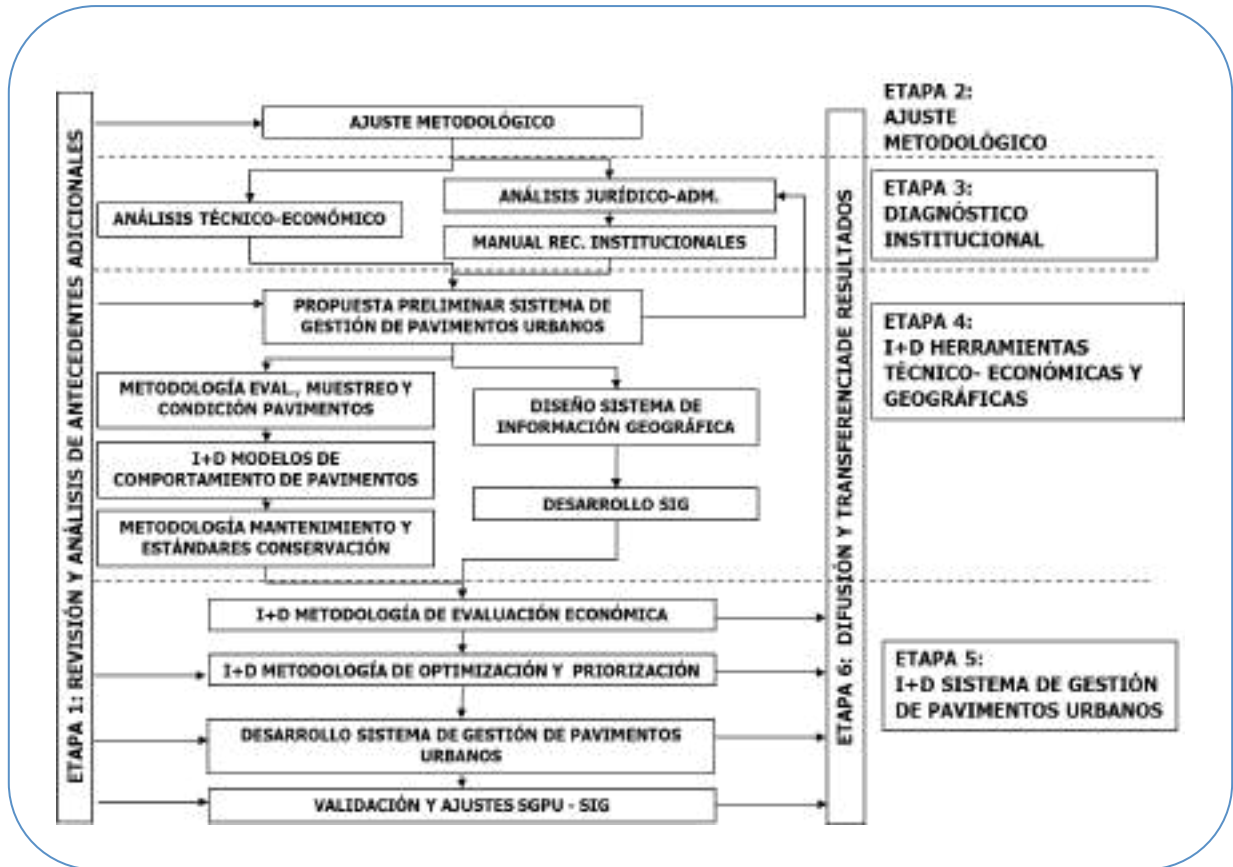


Figura 1-1. Metodología del proyecto

1.4 Organización del proyecto y reconocimiento a instituciones y personas participantes

La organización incluyó la participación de investigadores responsables en cada una de las áreas relevantes del proyecto: jurídica – institucional el Sr. Robert Gillmore, gestión de pavimentos la Sra. Alondra Chamorro y sistema de información geográfica el Sr. Claudio Mourgues. Cabe destacar que en cada una de las áreas antes mencionadas se contó con la participación de al menos un estudiante de postgrado de las Facultades de Ingeniería y/o Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Chile, contribuyendo a la formación de profesionales con capacitación

superior y al aumento de la capacidad de investigación del país. También se contó con la participación de la Sra. Carolina Videla, coordinadora del proyecto y secretaria del Comité Directivo, de la Sra. Agnes Dekock, anterior coordinadora del proyecto, del Sr. Carlos Pattillo a cargo del desarrollo del software, del Sr. Aníbal Godoy como técnico de las evaluaciones manuales del terreno, de personal de apoyo del proyecto y de las instituciones asociadas MINVU y MOP y de las empresas APSA y Dynatest para las evaluaciones en terreno (ver Figura 1-2).

Especial mención se debe hacer de la asesora internacional Susan L. Tighe, PhD, PEng, profesora y Canada Research Chair en Administración Sustentable de Pavimentos e Infraestructura, Norman W. McLeod Professor en Ingeniería Vial Sustentable y Directora del Centre for Pavement and Transportation Technology, University of Waterloo, Department of Civil and Environmental Engineering.

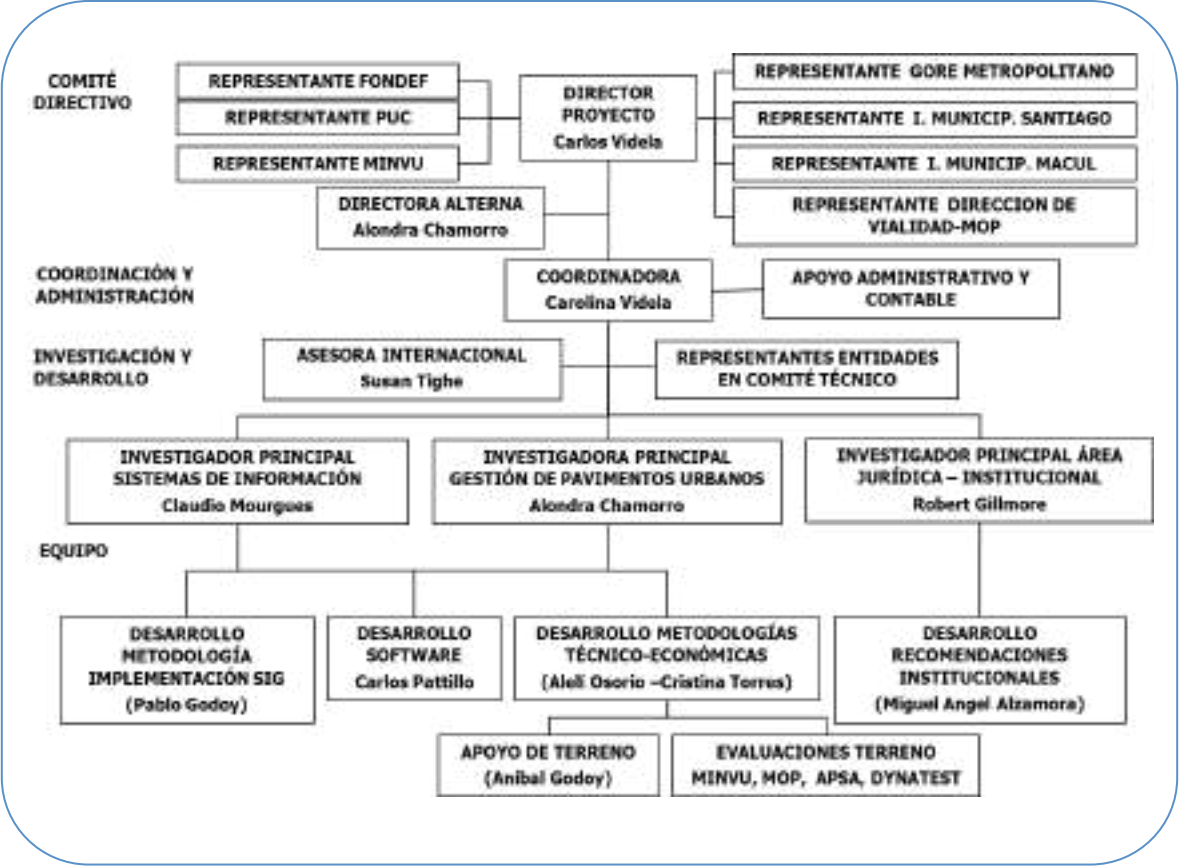


Figura 1-2. Organigrama del Proyecto

Es también importante destacar el compromiso del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile como institución mandante del proyecto y del aporte del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, las Ilustres Municipalidades de Santiago y Macul y de la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile como entidades asociadas. La destacada participación de los siguientes profesionales de estas instituciones en los Comités Directivo y Técnico es reconocida y agradecida:

- Srs. Marcelo Longas y Fernando Colchero, Presidentes del Comité Directivo, y Manuel González en representación del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Sra. Lucía Tomic, Srs. Pablo Fuentes, Andrés Díaz y Ángeles Vargas en representación del Gobierno Regional Metropolitano de Santiago.
- Sr. Alberto Butler en representación de la Ilustre Municipalidad de Santiago.
- Srs. Leoncio Delgado y Héctor Barahona en representación de la Ilustre Municipalidad de Macul.
- Sr. Ernesto Barrera, Carlos Ruíz y Miguel Valdes en representación de la Dirección Nacional de Vialidad – MOP.
- Sra. Carolina Torres, en representación de la Dirección de Transferencia y Desarrollo de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Sr. Esteban Zapata, Ejecutivo Técnico del Proyecto, en representación de FONDEF

1.5 Principales resultados del Proyecto FONDEF D09I1018

Los principales resultados que se planteó el proyecto fueron:

Resultado 1 Manual técnico con recomendaciones para ajuste y/o rediseño de aspectos legislativos e institucionales.

Resultado 2 Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU) complementado con un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Resultado 3 Metodología de evaluación técnica de la condición de pavimentos urbanos.



Resultado 4 Metodología para la implementación del Sistema de Información Geográfica.

Resultado 5 Seminario sobre Estado del Arte en Gestión de Pavimentos Urbanos.

Resultado 6 Taller de capacitación para el uso de nuevas herramientas.

1.6 Documentos generados en el Proyecto FONDEF D09I1018

A lo largo del proyecto se generaron documentos que describen en detalle las metodologías y herramientas utilizadas para el desarrollo de los resultados así como también de las recomendaciones de uso de cada una de ellas:

- a. Recopilación de Antecedentes de Sistemas de Gestión de Pavimentos Urbanos.
- b. Experiencias Exitosas Internacionales de Sistemas de Gestión de Pavimentos Urbanos.
- c. Informe Revisión Estado del Arte: Evaluación Económica, Evaluación Ambiental Y Optimización.
- d. Manual de Recomendaciones y Ajustes Institucionales para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile, documento protegido a través de Derecho de Autor (inscripción 235367).
- e. Diseño Conceptual del Sistema de Información Geográfica.
- f. Diseño Experimental para el Desarrollo y Validación del Índice de Condición de Pavimentos Urbanos.
- g. Desarrollo y Validación del Índice de Condición de Pavimentos Urbanos.
- h. Diseño Experimental de Modelos de Comportamiento.
- i. Desarrollo y Validación de Modelos de Comportamiento.
- j. Desarrollo de Estándares Optimizados de Conservación y Mantenimiento de Pavimentos Urbanos.

- k. Manual del Usuario de la Plataforma Computacional del Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU) complementado con un Sistema Información Geográfica (SIG).

Además se realizaron actividades de difusión del proyecto y de sus resultados considerando: seminarios de difusión nacional e internacional (Transportation Research Board (TRB), American Concrete Institute (ACI)), visitas a instituciones internacionales que realizan gestión de pavimentos urbanos como por ejemplo Municipios en EE.UU., University of Waterloo y Federal Highway Administration (FHWA), talleres de capacitación y se publicaron 11 artículos en revistas científicas y proceedings de conferencias.

En los capítulos que siguen se revisan y describen, resumidamente, los principales desarrollos realizados en esta investigación.



2 Recomendaciones Institucionales

2.1 Introducción

El trabajo de investigación jurídica sobre regulación e institucionalidad sobre gestión y conservación de pavimentos urbanos se inicia con un estudio y análisis de la legislación nacional en materia de pavimentos urbanos, el cual, concluye que la regulación jurídica referida a la pavimentación urbana en Chile se encuentra dispersa en normas contenidas en diversos cuerpos normativos y que la institucionalidad contempla distintos órganos que forman parte de la Administración del Estado con atribuciones y competencia en esta materia, lo que dificulta el conocimiento y la aplicación de las mismas, perjudicando con ello la tarea de gestión y conservación de pavimentos urbanos por parte de las autoridades que les corresponde dicha tarea.

Con el objeto de comparar nuestra legislación e institucionalidad, se realiza un estudio y análisis de las legislaciones de algunos países seleccionados, en este caso Colombia, México, España y Francia, rescatando algunas similitudes y diferencias.

Por último, se realiza una propuesta para fortalecer la institucionalidad y unificar la normativa, con propuestas de reformas legislativas en el corto y mediano plazo.

2.2 Estado del Arte de nuestra Legislación

La normativa vigente aplicable a la pavimentación urbana en Chile se encuentra dispersa en más de 15 cuerpos normativos distintos,¹ lo que evidentemente dificulta el estudio de la materia y es

¹Decreto N° 411, de 1948, del Ministerio de Obras Públicas, Ley N° 8.946, de 5 de junio de 1948; Ley N° 11.150, de 28 de enero de 1953; Decreto con Fuerza de Ley N° 206, de 1960, del Ministerio de Obras Públicas; Ley N° 15.840, de 1964, Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas; Ley N° 16.391, de 1965, Ley Orgánica que crea el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ley N° 16.742, de 1968, Decreto Supremo N° 323, de 1968, Ley Orgánica de la Corporación de Obras Urbanas, Decreto con Fuerza de Ley N° 458, de 1976, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; Ley N° 18.695, de 1976, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades; Decreto Ley N° 1.305, de 1976; Decreto Supremo N° 12 del MINVU, de 1984 y sus modificaciones. Decreto N° 89, de 1985, del Ministerio de Transportes; Decreto con Fuerza de Ley N° 164, de 1991, del Ministerio de Obras Públicas, Decreto Supremo N° 89, de 1985, del MTT, Decreto N° 47, de 1992, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; Decreto con Fuerza de Ley N° 850, de 12 de septiembre de 1997, del Ministerio de Obras Públicas, de la Ley N° 15.820, de 1964, y del Decreto con Fuerza de Ley N° 206, de 1960; Ley N° 20.035, de 23 de junio de 2005; Decreto con Fuerza de Ley N° 1/19.175, de 8 de agosto de 2005, del Ministerio del Interior, de la Ley N° 19.175; Decreto con Fuerza de Ley N° 2/20.035, de 30 de junio de 2006, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; Decreto Ley N° 1.263, de 1975, Ley Orgánica de la Administración Financiera del Estado.

una de las causas del desconocimiento, tanto de las autoridades como de los particulares, sobre los entes responsables, las potestades y las obligaciones de éstos en la ejecución, conservación, reparación y mantención de los pavimentos urbanos de nuestro país. Lo anterior impide, al mismo tiempo, determinar con exactitud, el ente responsable en caso de accidentes o incumplimientos normativos referidos a pavimentación urbana, lo cual aumenta el problema. Las principales normas aplicables a la pavimentación urbana en Chile son la Ley N° 8.946, sobre Pavimentación Comunal, la Ley General de Urbanismo y Construcciones, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, la Ley N° 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades, la Ley N° 19.175, sobre Gobierno y Administración Regional, y la Ley de Presupuestos del Sector Público, de cada año.

La última reforma más importante experimentada por nuestro ordenamiento jurídico en esta materia son las modificaciones introducidas a la Ley N° 19.175 sobre Gobierno y Administración Regional, por el Decreto con Fuerza de Ley N° 2/20.035 del año 2005 que establece como una de las funciones generales de los Gobiernos Regionales (GORE) la de construir, reponer, conservar y administrar en las áreas urbanas las obras de pavimentación de aceras y calzadas, con cargo a los fondos que al efecto les asigne la Ley de Presupuestos, facultando a estos organismos celebrar con las Municipalidades convenios para estos efectos, esto es, actos administrativos bilaterales a través de los cuáles estos Gobiernos Regionales entregan a las Municipalidades los fondos para desarrollar y ejecutar obras de pavimentación.

Con todo, el artículo 4° de la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades establece que estas corporaciones, en el ámbito de su territorio, podrán desarrollar, directamente o con otros órganos de la Administración del Estado, funciones relacionadas con la urbanización y la vialidad urbana y rural. En el caso de los Municipios, es muy importante destacar que la Municipalidad de Santiago goza de un estatuto único y diferenciado respecto de todas las Municipalidades del país, consagrado en la Ley N° 11.150, de 28 de enero de 1953, que refunde y coordina todas las disposiciones vigentes relacionadas con pavimentación en Santiago que establece, en lo medular, que todos los trabajos relacionados con la ejecución, renovación, conservación, reparación y vigilancia de los pavimentos de las calzadas y aceras de las vías de esta comuna están radicados en la propia Municipalidad.



2.3 Marco institucional. Órganos responsables de la conservación de pavimentos y aceras en Chile de conformidad con la ley

Es un imperativo constitucional el deber del Estado de garantizar la libertad de circulación, la cual se ejerce por medio de vías o caminos los cuales constituyen uno de los instrumentos de integración y comunicación en el territorio. De esta manera, la libertad de circulación es una realidad cuando se ejerce materialmente a través de vías en buen estado de mantención y conservación. En tanto la red vial es un bien nacional de uso público, quien debe asegurar su conservación es el Estado –a través de cada Municipio según la ubicación geográfica de los bienes nacionales de uso público- al que ha sido entregado con el objeto de garantizar la accesibilidad a todo el territorio nacional, promover la integración armónica de todos los sectores de la Nación, procurar la seguridad del tránsito, evitar la pérdida del patrimonio vial nacional y realizar todas las acciones que permitan que el transporte vial se efectúe al menor costo y con el mejor nivel de servicio.

2.4 Legislación Comparada

Al estudiar la normativa e institucionalidad de países como Francia, España, México y Colombia, podemos advertir que son los municipios o ayuntamientos o gobiernos locales los organismos encargados de la construcción, conservación y reposición de pavimentos urbanos. Se puede advertir que en las legislaciones extranjeras estudiadas, se incentiva y se le da mucha importancia a la asociatividad entre municipios, por cuanto permite potenciar la unión entre municipios, sobre todo cuando éstos son más pequeños, todo ello con el objeto de lograr sinergias técnicas, humanas, presupuestarias y de gestión en general.

El financiamiento de estas tareas proviene principalmente del presupuesto nacional, pero también del propio financiamiento del municipio o ayuntamiento, así como también del aporte de privados.

2.4.1 Órganos responsables de la conservación de pavimentos y aceras de conformidad con los fallos de nuestros Tribunales Superiores de Justicia

Nuestros Tribunales de Justicia han reconocido permanentemente la obligación de los Municipios de reparar los daños sufridos por particulares a raíz del mal estado de pavimentos y aceras, sancionando la “falta de servicio”² por parte de los Municipios, acción consagrada en la Constitución de la República.

2.5 Propuesta de Ajustes Institucionales

A continuación se presentan recomendaciones de ajustes institucionales que forman parte de la propuesta para fortalecer la institucionalidad y unificar la normativa, con propuestas de reformas legislativas en el corto y mediano plazo.

2.5.1 Política Regional de conservación de infraestructura y espacios públicos

Aun cuando el Decreto Ley 1305, promulgado el año 1975, que Reestructura y Regionaliza el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, establece que corresponderá a la División de Desarrollo Urbano del Ministerio de Vivienda y Urbanismo proponer la política nacional de equipamiento comunitario, de infraestructura sanitaria, pavimentación y vialidad urbana, en coordinación con los sectores socio-económicos, esta cartera de Estado, desde su creación el año 1965, no ha formulado Política alguna al respecto. Por ello, se propone que los Gobiernos Regionales promulguen una “Política Regional de Conservación de Infraestructura y Espacios Públicos”, entre los cuales se encuentra el patrimonio vial. Dentro de estas normas programáticas o indicativas debe contemplarse una Política Regional de Conservación de las Vías, por parte de cada uno de los Gobiernos Regionales, cuyo propósito es fijar determinados principios, objetivos, niveles de servicio, líneas de acción y de gestión. Esta política, de acuerdo con nuestra legislación, debiera ser formulada por cada uno de los Gobiernos Regionales.

² Artículos 4° de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado y 38 inciso 2° de la Constitución Política de la República

2.5.2 Descentralización de atribuciones en la actividad de conservación de pavimentos: modificaciones de largo plazo

La Ley General de Urbanismo y Construcciones³ distingue distintos tipos de vías urbanas y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones se encarga de precisar sus características. Para la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones la “Red Vial Estructurante” es el conjunto de vías existentes o proyectadas, que por su especial importancia para el desarrollo del centro urbano, deben ser definidas por el respectivo instrumento de planificación territorial.⁴ En seguida, de acuerdo con la normativa urbanística, corresponde a los Planes Reguladores Intercomunales clasificar la red vial pública de mayor jerarquía, mediante la definición de las vías expresas y troncales.⁵ En seguida, a los Planes Reguladores Comunales les corresponde la definición de la red vial local distinguiendo entre vías colectoras, de servicio, locales y pasajes, con sus respectivos anchos mínimos y líneas oficiales y su clasificación. Es preciso destacar que los Planes Reguladores Comunales también pueden clasificar las vías expresas y troncales, cuando estas no hubieran sido definidas en la planificación intercomunal.

Como en el origen de las vías urbanas, se distinguen dos niveles para su definición, el intercomunal y comunal, resulta razonable entregarles a estas mismas autoridades su organización y gestión. Por lo demás, las respectivas leyes orgánicas de gobiernos regionales y de municipalidades consagran atribuciones de estos gobiernos para la conservación de las vías urbanas. Así los Gobiernos Regionales debieran tomar a su cargo la red vial pública de mayor jerarquía, esto es, las vías expresas, troncales y colectoras, y las Municipalidades la red vial local, esto es, las vías de servicio, locales y pasajes.

2.5.3 Transición hacia la reforma: modificaciones de corto plazo

El estado de las acciones en materia de conservación de pavimentos urbanos, da cuenta de que aún el SERVIU, como entidad a cargo muchos años de la conservación de las vías urbanas, continua ejerciendo sus actividades con algunos matices, fundamentalmente a partir de la asignación de recursos, los cuales por ley desde el año 2005 deben ser asignados en la Ley de

³ Artículo 59 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones

⁴ Art 1.1.2 OGUC.

⁵ El artículo 2.3.2. de la OGUC



Presupuesto a los Gobiernos Regionales. En especial, los SERVIUs continúan con atribuciones legales en la fiscalización de las obras.⁶ Esta experiencia y equipos en funcionamiento de los Servicios de Vivienda y Urbanización deben acompañar el proceso de transferencia de competencia en tanto los Gobiernos Regionales y los Municipios no cuenten con departamentos de obras viales y la experiencia necesaria para asegurar los niveles de servicio esperados. En esta etapa los SERVIUs deberán asistir a los Gobiernos Regionales y a los Municipios desde el inicio del proceso, captando la necesidad pública, para lo cual, como en el caso de las vías concesionadas bajo la tuición del Ministerio de Obras Públicas, las tareas de diagnóstico y propuesta del programa de conservación puede ser encargadas a contratistas independientes quienes deben sujetarse a las instrucciones, modelos y procedimientos aprobados por el Ministerio de la Vivienda.

2.5.4 Financiamiento de los programas de conservación de infraestructura vial

Una vez que una política pública cuenta con el financiamiento a partir de la aprobación de sus partidas en la Ley de Presupuesto, viene la etapa de ejecución presupuestaria en la cual es el Ministerio de Hacienda a través de la DIPRES quien se preocupa de que los recursos asignados sean efectivamente gastados. A nivel sectorial son las distintas reparticiones públicas las encargadas de llevar a cabo la política pública acordada, según el presupuesto asignado a cada partida contemplada en la Ley de Presupuesto.

2.5.5 Estudios, diagnósticos y contratos de mantención

La evolución del estado de las vías urbanas debe ser monitoreada constantemente por lo que es necesario hacer una auscultación y seguimiento permanente a la condición de los pavimentos, los cuales se deterioran en el tiempo por condiciones de clima y tráfico. En primer término, las municipalidades y los Gobiernos Regionales podrán contratar los servicios de empresas que entreguen información sobre la condición de los pavimentos de las vías que se encuentran bajo su responsabilidad. Para el monitoreo de la red el presupuesto Regional o Comunal debe contemplar un monto que permita al Gobierno Regional o a las Municipalidades encomendar la auscultación y/o el diagnóstico de la condición de sus pavimentos. Las tareas de auscultación y/o diagnóstico podrán ser realizadas por empresas privadas calificadas e inscritas en un registro

⁶ Ley N° 8.946, sobre Pavimentación Comunal, Artículo 11°



nacional.⁷ A partir del diagnóstico, la Municipalidad podrá celebrar convenios con los Gobiernos Regionales justificados en los informes sobre la condición de las vías. Sin perjuicio de lo anterior, los Municipios también podrán desarrollar las competencias para realizar la auscultación y el diagnóstico de la condición de las vías locales dentro de su jurisdicción.

2.5.6 Modificaciones legislativas y reglamentarias

Con el propósito de armonizar el ordenamiento jurídico aplicable, directa o indirectamente, en materia de conservación y mantenimiento de pavimentos urbanos, para así conseguir un mejor funcionamiento del sistema en general, y una mayor eficiencia por parte de los organismos que forman parte de la institucionalidad en esta materia; pero sin pretender realizar grandes modificaciones legales sino más bien pequeñas adecuaciones que permitirían una mayor funcionalidad del ordenamiento jurídico aplicable en materia de mantención y conservación de pavimentos urbanos, proponemos realizar modificaciones a los siguientes cuerpos normativos:

A. Ley de pavimentación comunal.

B. Oficio Circular N° 33, que actualiza las instrucciones contenidas en el Oficio Circular N° 36, de 2007, ambas del Ministerio de Hacienda, de fecha 13 de julio de 2009.

C. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

A continuación, en la Figura 2-1 a la Figura 2-3 se presentan esquemas de estructuras para la implementación del SGPU en redes estructurante, intermedias y secundarias, a corto y largo plazo.

⁷ El Artículo 10 de la ley N° 8.946, de Pavimentación Comunal



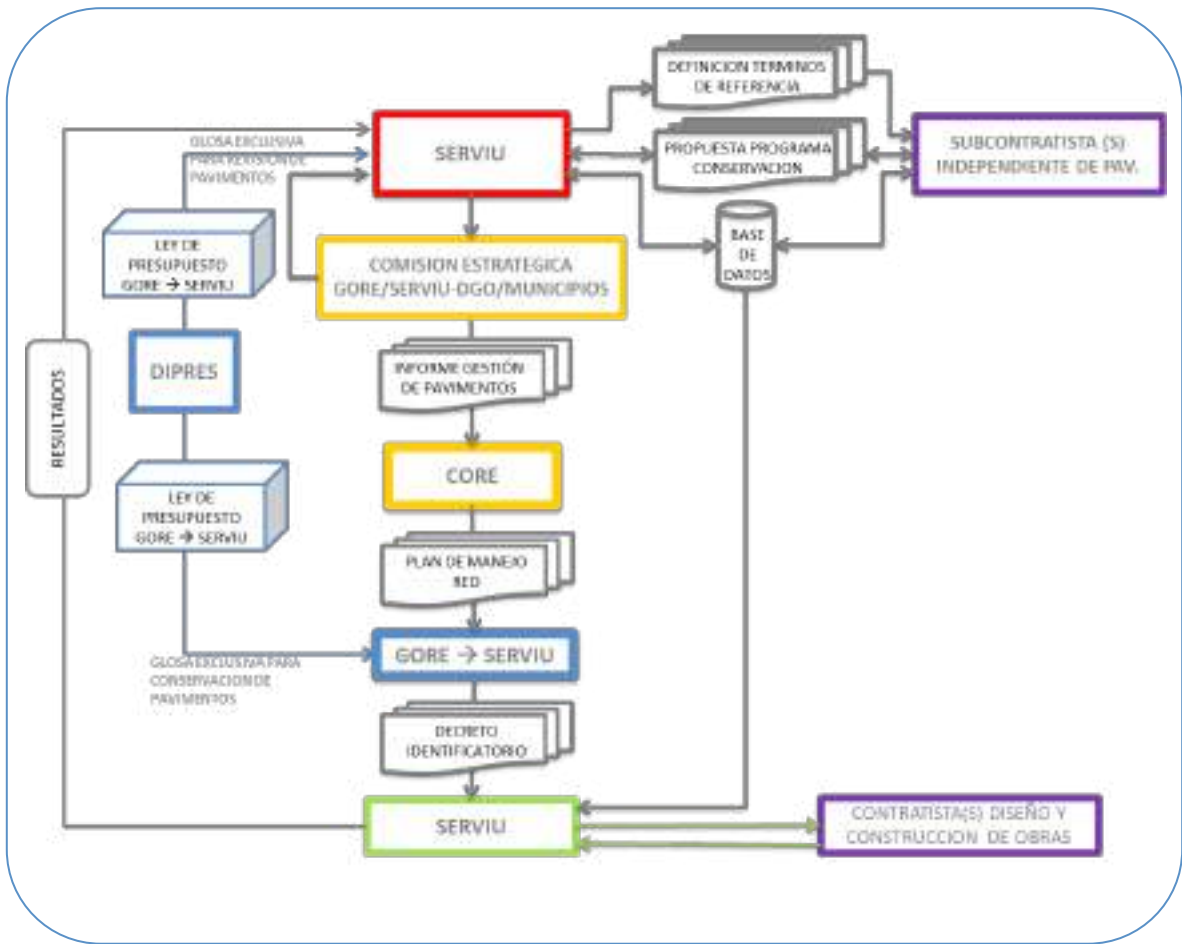


Figura 2-1. Propuesta de SGP para Redes Estructurantes e Intermedias a Corto Plazo

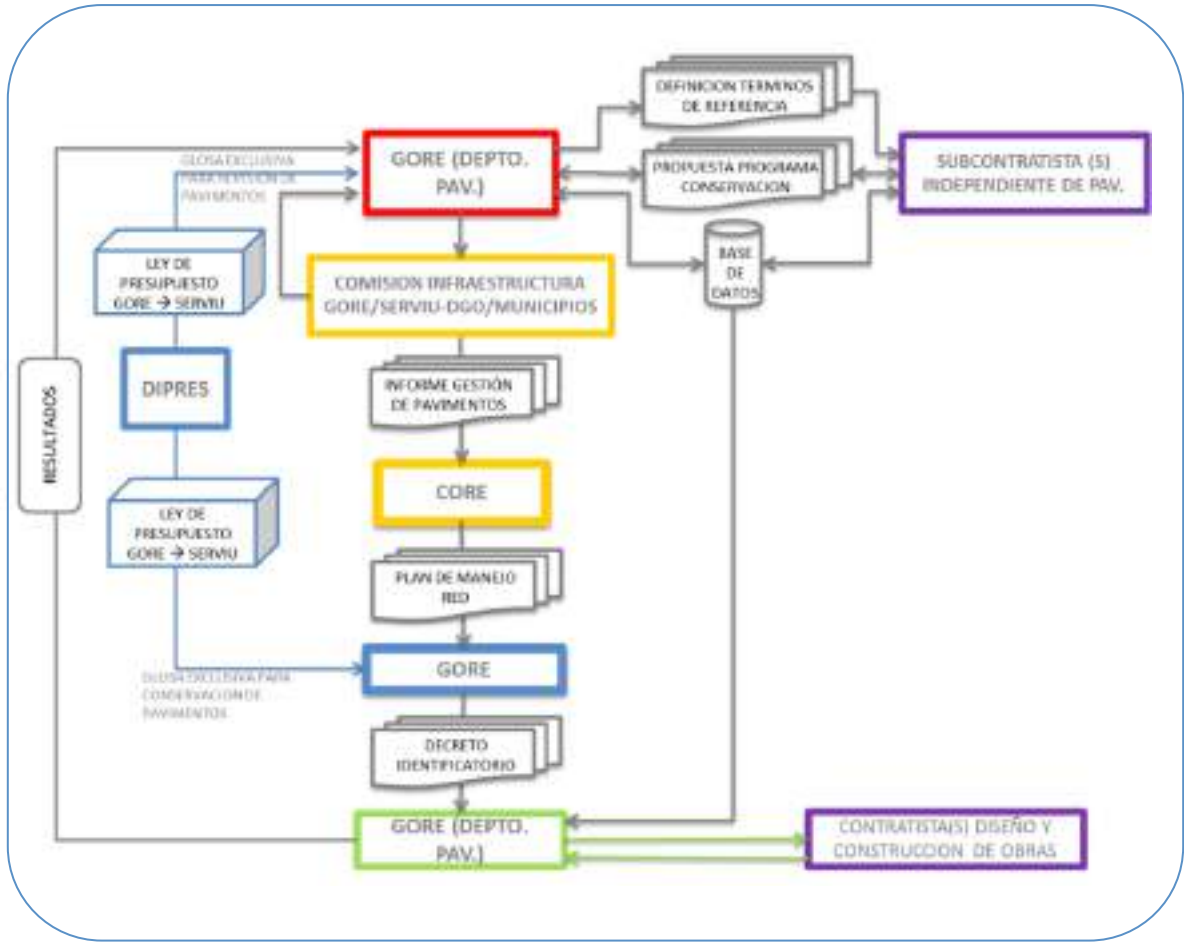


Figura 2-2. Propuesta de SGPU para Redes Estructurantes e Intermedias a Largo Plazo

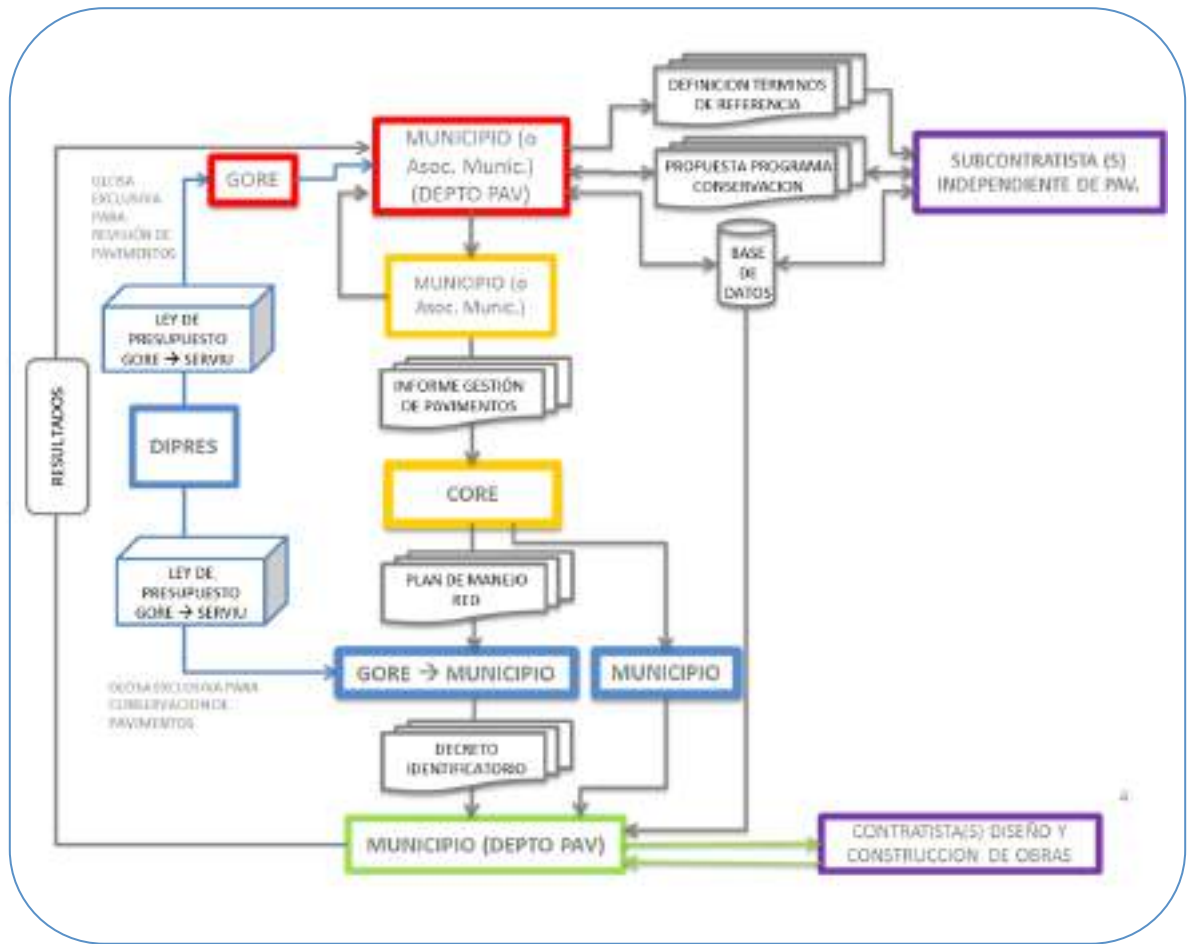


Figura 2-3. Propuesta de SGPU para Redes Secundarias a Corto y Largo Plazo

3 Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos

3.1 Marco Conceptual

El proceso de toma de decisión llevado a cabo en el SGPU para la selección de proyectos de conservación queda definido por la Figura 3-1. Este proceso se compone de cuatro tipos de componentes: inputs, metodologías de evaluación, procesos y outputs. Los inputs consisten en información introducida en el sistema. Las metodologías de evaluación son módulos que evalúan las alternativas de conservación, mantenimiento y rehabilitación considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales, políticos y sociales. La ejecución de un proceso da lugar a outputs del SGPU y/o a la ejecución de otro proceso.

El proceso de selección de proyectos de conservación (definido en la Figura 3-1) tiene por objetivo definir la lista priorizada de secciones de la red que deben tratarse en un periodo de tiempo. En cada uno de los años de este periodo de tiempo (definido como t) se lleva a cabo un análisis de las necesidades de conservación de la red y de priorización del presupuesto disponible. Es por esto que el análisis consiste en un proceso iterativo para cada uno de los años del periodo de tiempo que se desea analizar (desde $i = 1$ hasta $i = t$, siendo t el periodo de análisis).

Para cada año del periodo de análisis, el primer proceso que se lleva a cabo es el de segmentación de la red. Este proceso consiste en dividir la red de pavimentos en un conjunto de segmentos con características (tipo de pavimento, jerarquía y tráfico) y condición (ICPU) similares. Es por esto que el proceso de segmentación se alimenta de dos inputs: inventario y condición de la red.

El inventario reúne la información característica de las secciones de pavimento que componen la red, tales como: jerarquía, estructura del pavimento y características geométricas. También se recoge información del tráfico de cada una de las secciones y clima.

Por su parte, la base de datos de condición red recoge la información de condición de los pavimentos en el año de análisis (i). La condición del pavimento se evalúa a partir del Índice de Condición de Pavimentos Urbanos (ICPU), que puntúa los pavimentos en una escala 0-10, siendo 10 la mejor condición posible.

Una vez definidos los segmentos, se lleva a cabo una partición de la red en secciones. Estas secciones se obtienen en base a los segmentos definidos por condición del pavimento y a los estándares óptimos de conservación. Los estándares de conservación consisten en un conjunto óptimo de tratamientos definidos para un determinado segmento, un umbral de aplicación y el efecto resultante de su aplicación. La metodología para definir los estándares óptimos de P+M+R requiere de un desarrollo independiente al proceso de selección de proyectos, por lo que vendrán precargados en el SGPU. Como resultado del seccionamiento de la red se obtiene una lista de los proyectos candidatos a ser tratados en el año de análisis, los costos y la puntuación técnico-ambiental-económica de los posibles estándares de conservación.



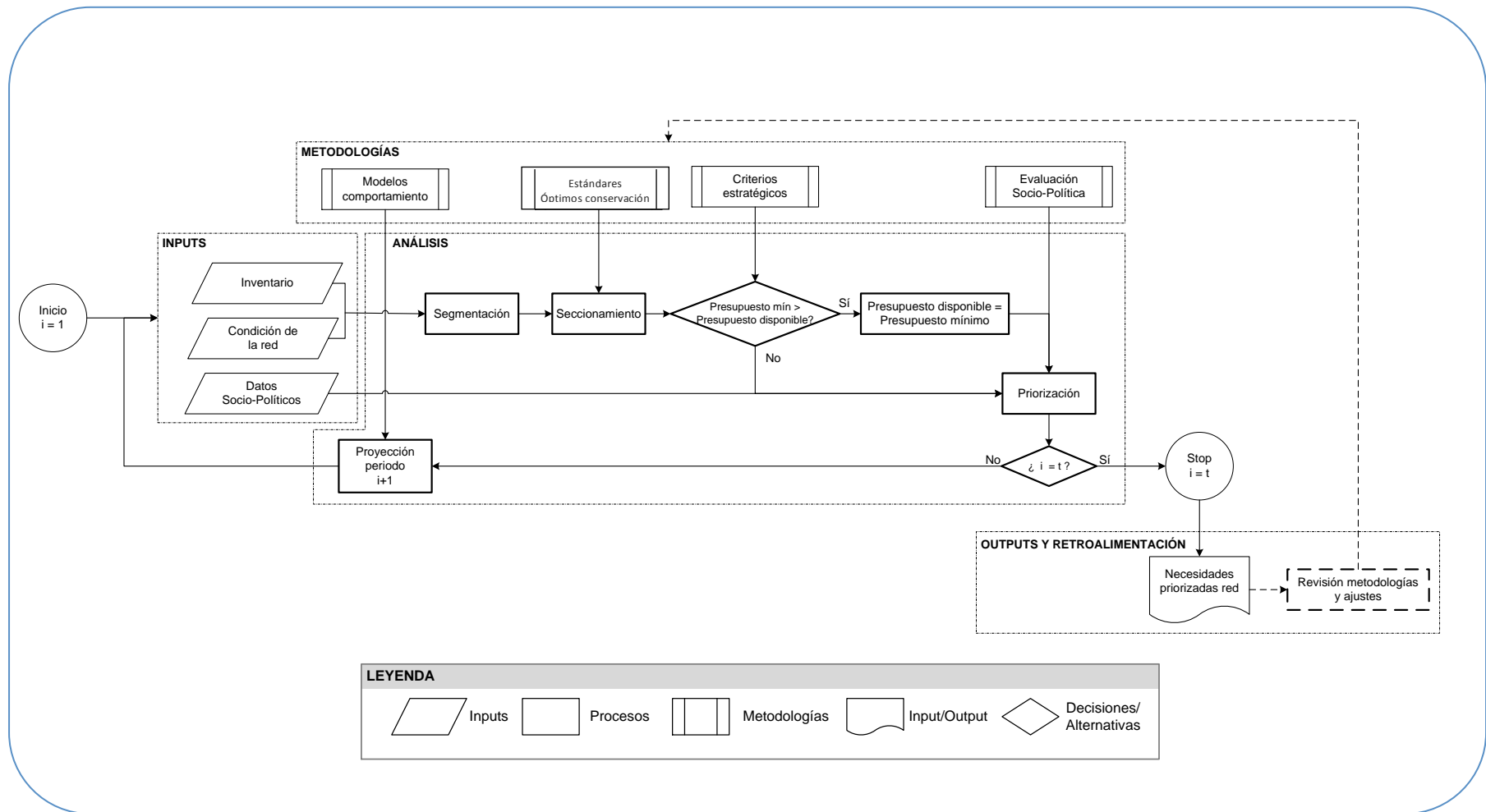


Figura 3-1. Marco conceptual del proceso de selección de proyectos de conservación en el SGPU

A partir de los costos de mantenimiento de las secciones de la red puede evaluarse el presupuesto mínimo necesario para cumplir con los requerimientos mínimos definidos a nivel estratégico. Este presupuesto mínimo es comparado con el presupuesto disponible en el año de análisis (i). Tanto los requerimientos mínimos definidos a nivel estratégico como el presupuesto disponible vienen definidos por la metodología de criterios estratégicos. De la comparación del presupuesto disponible con el presupuesto mínimo se derivan dos posibles escenarios:

Escenario de presupuesto insuficiente para cumplir requerimientos mínimos: Este escenario se produce cuando el presupuesto disponible es inferior al costo necesario para cumplir los requerimientos mínimos definidos a nivel estratégico. En este caso, el sistema hace prevalecer los requerimientos y objetivos definidos a nivel estratégico frente a la capacidad presupuestaria real para el año de análisis y continúa el análisis considerando un presupuesto igual al mínimo. Estas carencias de presupuesto serán analizadas en detalle al finalizar el periodo de análisis de forma que se propongan revisiones y ajustes a los criterios estratégicos.

Escenario de presupuesto suficiente para cumplir requerimientos mínimos: En este caso, el presupuesto disponible es igual o superior al mínimo requerido para satisfacer los requerimientos definidos a nivel estratégico. Por lo tanto, no es necesario ningún ajuste y el proceso de priorización se inicia sin necesidad de ningún ajuste presupuestario.

El Sistema entregará además la opción de realizar la simulación con o sin Restricción Presupuestaria. Independientemente del escenario presupuestario existente en el año de análisis, el siguiente proceso a llevar a cabo es el de priorización. La priorización de la red define un listado ordenado de las secciones y sus estándares de conservación más idóneos para mantener la red con el presupuesto disponible. La idoneidad de las secciones y estándares de conservación se define a partir de la metodología de evaluación socio-política y la base de datos socio-políticos.

La metodología de evaluación socio-política evalúa la idoneidad de los estándares de conservación para cada sección de la red en base a criterios sociales y políticos. Esta evaluación utiliza información almacenada en la base de datos socio-políticos. En base a esta información se evalúan cuatro criterios socio-políticos: Percepción Social, Infraestructura Crítica, Población Beneficiada y Presencia de Vías Alternativas. Estos cuatro criterios son ponderados a partir de un algoritmo de forma que se obtiene un factor global de ponderación social-político (FPSP). Este FPSP se aplicará a la puntuación técnica-económica-ambiental obtenida para cada estándar óptimo de las secciones de la red. De esta forma se obtiene, para cada sección de la red y cada estándar optimizado, una puntuación global que



considera de forma integrada aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y políticos en la toma de decisión.

En el proceso de priorización se ordenan las secciones de la red en base a la puntuación global obtenida. Las secciones a tratar en el año de análisis se seleccionan de este listado priorizado hasta agotar el presupuesto disponible.

Una vez seleccionadas las secciones a tratar, se chequea si se han analizado todos los años del periodo de análisis. En este caso se plantean dos escenarios:

No se han analizado todos los años del periodo de análisis ($i < t$): Debe repetirse el proceso descrito anteriormente considerando la condición del pavimento en el nuevo año de análisis ($i + 1$). Esta condición se obtiene a partir de la metodología de modelos de comportamiento, la cual vendrá precargada en el SGPU.

Se han analizado todos los años del periodo de análisis ($i = t$): En este caso, la selección de proyectos se ha realizado para todos los años del periodo de análisis, por lo que el proceso iterativo se detiene.

Una vez analizados todos los años del periodo de análisis, se obtiene el output del SGPU que consiste en las necesidades priorizadas de la red. En este output se detallan las secciones de la red que deben ser tratadas en cada año del periodo de análisis, los estándares de conservación que deben aplicarse, la condición de las secciones a lo largo del periodo de análisis así como los costos asociados al programa de mantenimiento resultante.

La lista priorizada de necesidades de la red se somete a continuación a un proceso de ajuste y revisión de las metodologías utilizadas, de forma que existe una retroalimentación en el proceso.

3.2 Evaluación Técnica de la Condición de Pavimentos Urbanos

La metodología de evaluación técnica de pavimentos urbanos considera el cálculo del Índice de Condición de Pavimentos Urbanos (ICPU), que representa la condición global de pavimentos urbanos obtenidos con evaluaciones en terreno, en forma manual o automática. Se desarrollaron 3 ecuaciones satisfactoriamente validadas:

$$\text{ICPU Asfalto}_{\text{MANUAL}} = 10 - 0.038 \text{ GF} - 0.049 \text{ GTR} - 0.046 \text{ PD} - 0.059 \text{ A} - 0.237 \text{ B} \quad (1)$$

$$\text{ICPU Asfalto}_{\text{AUTOMÁTICO}} = 10 - 0.031 \text{ GF} - 0.040 \text{ GTR} - 0.028 \text{ PD} - 0.082 \text{ A} - 0.143 \text{ IRI} \quad (2)$$

$$\text{ICPU Homigón}_{\text{MANUAL}} = 10 - 0.042 \text{ GL} - 0.025 \text{ GT} - 0.063 \text{ PD} - 0.263 \text{ E} - 0.038 \text{ GEO} - 0.018 \text{ SD} \quad (3)$$

where:

GF: Grietas de fatiga (%)

GTR: Suma de grietas transversales y de reflexión (%)

PD: Parches Deteriorados (%)

A: Ahuellamiento (mm), calculado como el promedio de ahuellamiento dentro de la unidad muestral

B: Baches (%)

IRI: International Roughness Index (m/Km), medida de rugosidad calculada como el promedio de los valores evaluados dentro de la unidad muestral

GL: Grietas longitudinales (%)

GT: Grietas Transversales (%)

PD: Parches Deteriorados (%)

E: Escalonamiento (mm), calculado como el promedio de escalonamiento de las losas dentro de la unidad muestral.

GEO: Suma de las grietas de esquina y oblicua (%)

SD: Sellos Dañados en porcentaje de la longitud total de juntas de la unidad muestral.

La metodología define unidades muestrales para pavimentos de asfalto y hormigón así como también frecuencias de muestreo para distintas jerarquías de la red urbana.

3.3 Modelos de Deterioros

Se desarrollaron modelos de deterioros del ICPU para predecir el comportamiento futuro de los pavimentos urbanos. La predicción del deterioro de pavimentos en el tiempo es esencial para el desarrollo de la gestión de pavimentos para predecir en que momentos se llegarán a los umbrales de



acción de mantenimiento, estimar los costos de vida del pavimento, optimizar las acciones de mantenimiento, evaluar el impacto a largo plazo de distintos programas de mantenimiento y proveer retroalimentación al proceso de diseño de los pavimentos.

Los modelos de comportamiento fueron desarrollados a través de análisis probabilísticos del ICPU para cada tipo de pavimento, clima y estado de la red, como se describe a continuación:

- Climas: Fueron considerados los climas seco, correspondientes al norte de Chile, mediterráneo, correspondiente al centro; y húmedo correspondiente al sur. En la Tabla 3-1 se presentan las características de cada tipo de clima considerado.
- Tipos de pavimentos: Fueron considerados pavimentos asfálticos y de hormigón. Sin embargo, estos dos tipos de pavimentos son utilizados en cantidad equivalente sólo en el clima mediterráneo. En el clima seco se utiliza en mayor porcentaje pavimentos asfálticos así como en climas húmedos pavimentos de hormigón.
- Estado: Esta variable fue creada para incluir el efecto combinado del tráfico, estructura y subrasante de los pavimentos urbanos, caracterizándose el estado en tramos con estructuras acorde a la demanda del tránsito y tramos con estructuras inferiores a su demanda de tráfico.

Tabla 3-1. Climas considerados para el desarrollo de los modelos de deterioro

Factores		Clima		Seco		Mediterráneo		Húmedo	
		Humedad (MOP, 2007; Chamorro, 2012)	Periodo Lluvias	< 4 meses		4 – 8 meses		> 8 meses	
Precipitaciones Mensual Max.	< 50 mm		50 – 400 mm		> 400 mm				
Precipitación Mensual Promedio Anual	< 20 mm		20 – 200 mm		> 200 mm				
Temperatura (DGAC y DMC,2011)	Mensual Promedio Anual	> 12 °C		8 – 12 °C		< 8 °C			
	Diferencia Máx. mensual	≤ 10 °C	> 10 °C	≤ 12 °C	> 12 °C	≤ 8 °C	> 8 °C		
Ciudades Seleccionadas (DGAC y DMC,2011)		Antofagasta		Santiago		Puerto Montt			

Se desarrollaron 5 campañas de evaluación de pavimentos urbanos a lo largo del Proyecto ya que no se contaba con datos históricos de evaluaciones técnicas. Para el desarrollo de los modelos se utilizaron modelos markovianos con simulaciones de Monte Carlo para realizar el análisis probabilístico de los datos recolectados en terreno.

Como se presenta en la Figura 3-2 y Figura 3-3, se desarrollaron 6 modelos de comportamiento: 3 para pavimentos asfálticos y 3 para pavimentos de hormigón, para climas mediterráneo, seco y húmedo.

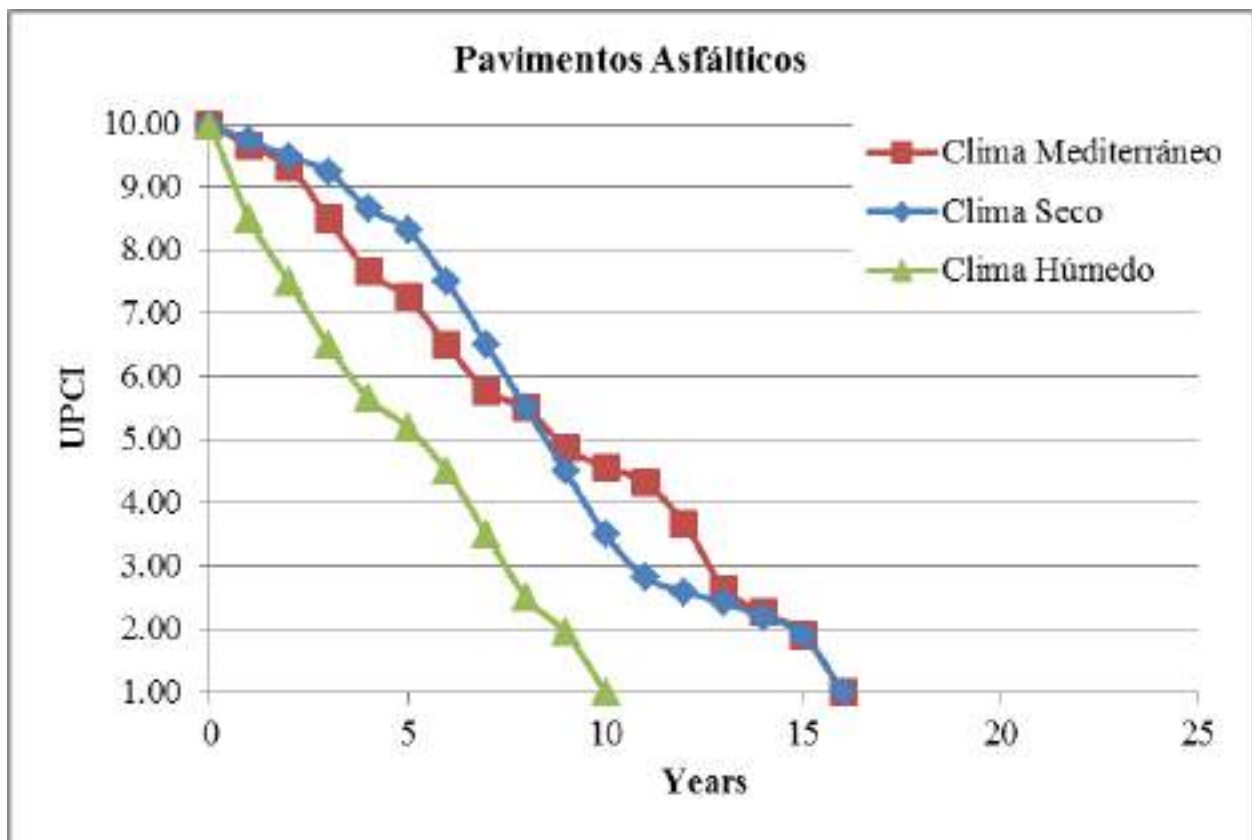


Figura 3-2. Modelos de Comportamiento Pavimentos Asfálticos

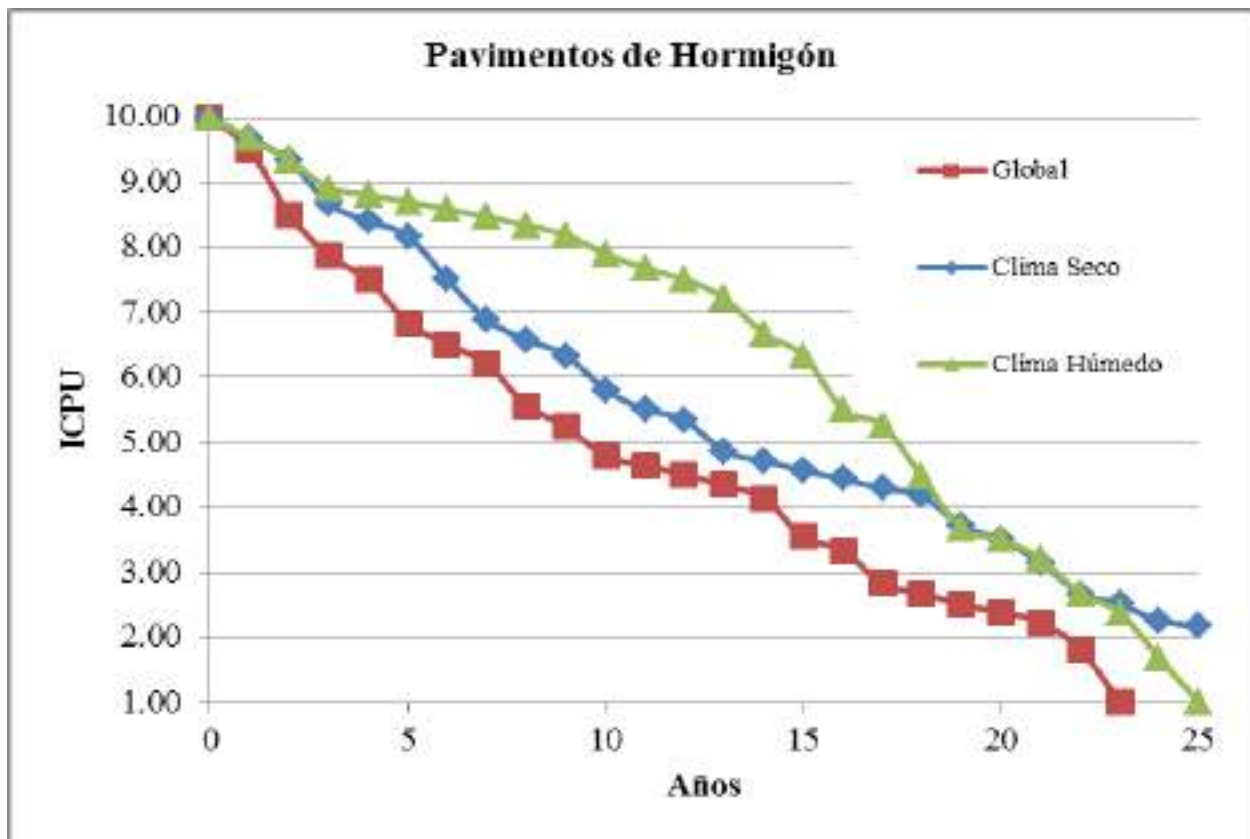


Figura 3-3. Modelos de Comportamiento Pavimentos de Hormigón – Clima Mediterráneo

3.4 Estándares de Conservación

En el SGPU se consideran distintos tratamientos de conservación y mantenimiento para pavimentos de asfalto y hormigón. En la categoría de conservación se consideran aquellos tratamientos que no mejoran la capacidad estructural del pavimento. En cambio, en la categoría de mantenimiento, se recogen tratamientos que mejoran la estructura del pavimento. A modo de resumen, en la Tabla 3-2 se indican los tratamientos considerados en cada categoría.

Tabla 3-2. Tratamientos considerados en el SGPU

Limpieza y sellado grietas Bacheo Riego de neblina Lechada asfáltica Sello de agregado Micropavimento Recapado funcional con asfalto	Limpieza y sellado de grietas y juntas Reparación esquinas y desconche Cepillado Recapado funcional con asfalto Recapado funcional con hormigón
Reciclado in-situ en caliente Reciclado in-situ en frío Recapado estructural con asfalto	Reparación de losa profundidad total Recapado estructural con asfalto Recapado estructural con hormigón

La optimización de los estándares de conservación tiene por objetivo definir los estándares base, óptimo y subóptimo de cada modelo de deterioro disponible en el SGPU. Cada estándar de conservación optimizado define, para distintos rangos de ICPU, qué acciones deben aplicarse en un escenario base, óptimo y subóptimo.

Los estándares base, óptimo y subóptimo difieren en el costo y en la costo-efectividad de las actividades de conservación que consideran. A modo de aclaración, la Figura 3-6 muestra un ejemplo de estándar optimizado para un pavimento de asfalto.

Rango ICPU		Acciones CMR optimizadas		
Superior	Inferior	Base	Subóptima	Óptima
10	9	-	-	Sellado de grietas
9	8	Sellado de grietas	-	Riego de neblina
8	7	Lechada asfáltica	Sello de agregado	Micropavimento
...
1	1	Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitación
		Mínimo costo	Costo y CE entre base y óptima	Máxima CE

Figura 3-4. Ejemplo conceptual de estándar optimizado para un pavimento de asfalto

El proceso de optimización se basa en una evaluación técnico-económica de las alternativas de conservación disponibles para cada rango de condición (medido en términos de ICPU). Esta evaluación considera, a largo plazo, los efectos técnicos y económicos resultantes de la aplicación de cada alternativa de conservación disponible.

La evaluación técnico-económica propuesta en esta investigación evalúa las alternativas en términos de su costo-efectividad unitaria (Eq. 1). Este indicador evalúa los costos con su valor presente (expresado en términos de VAN_{costo}), mientras que los beneficios se consideran de forma indirecta a través de un indicador que mide la efectividad de la inversión (ABC). La CE es un indicador ampliamente utilizado en la evaluación de alternativas de conservación de pavimentos porque permite comparar alternativas que generan respuestas no cuantificables en términos monetarios.

$$CE_{unitaria} = ABC / VAN_{costo} \quad (1)$$

Donde,

ABC es la efectividad de las acciones de conservación aplicadas en el ciclo de vida del pavimento y VAN_{costo} es el valor actual neto de las acciones de conservación aplicadas en el ciclo de vida.

Puesto que el objetivo de esta evaluación es comparar distintas alternativas de conservación y mantenimiento, la efectividad considerada es la generada, únicamente, por la acción de conservación que se está evaluando. Así, si se está evaluando una acción de conservación, el área computada en la efectividad corresponderá a la existente tras la aplicación del tratamiento en evaluación, excluyendo de este cálculo el área generada por las acciones de mantenimiento aplicadas en el periodo de análisis. A modo de aclaración, la Figura 3-7 muestra gráficamente el área considerada en el cálculo de la efectividad de una acción de conservación.



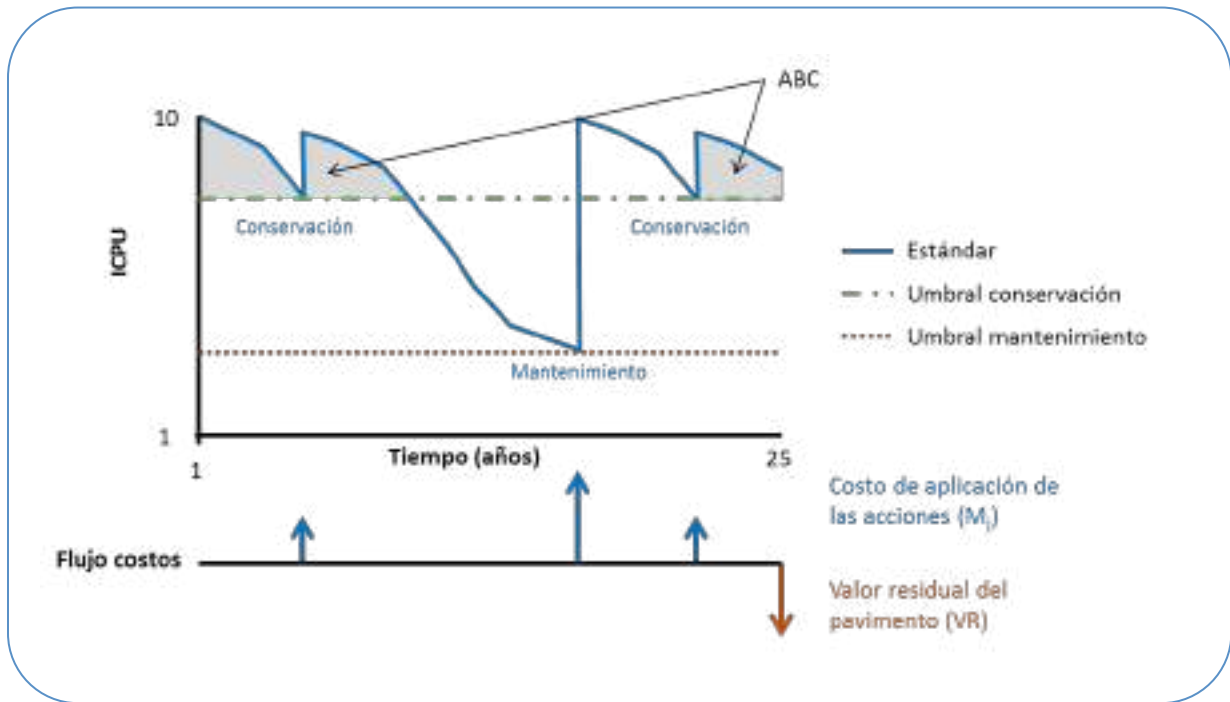


Figura 3-5. Conceptos considerados en la evaluación técnico-económica basada en costo-efectividad

Una vez evaluados todos los estándares para cada alternativa de conservación y mantenimiento existente para un determinado rango de ICPU, deben identificarse las acciones base, óptima y subóptima. Para ello se comparan los costos y la CE de las alternativas disponibles.

En esta comparación, la alternativa con mayor CE será la alternativa óptima. La alternativa base será aquella que presente menores costos en el ciclo de vida, es decir, menor VANcosto; siempre y cuando ésta tenga un costo anual inferior a la alternativa óptima. En caso contrario, se identificará como alternativa base la siguiente alternativa con menor VANcosto que tenga un costo igual o inferior a la alternativa óptima. Por último, la alternativa subóptima será aquella que tenga una CE menor a la óptima y presente, a su vez un costo superior al base e inferior al óptimo. Estas restricciones hacen que, en algunas ocasiones, no exista una alternativa subóptima disponible.

3.5 Priorización Técnica

La priorización a nivel de red tiene como objetivo definir, para cada año de análisis, la lista ordenada de las secciones que deben tratarse incluyendo, además, el estándar de conservación con el que deben ser tratadas.

La primera fase del proceso de priorización consiste en definir un presupuesto de referencia. Este presupuesto define el estándar mínimo que se aplicará a todas las secciones de la red. Con el presupuesto adicional disponible, definido como diferencia entre el presupuesto de referencia y el disponible, algunas de las secciones serán tratadas con un estándar de mayor calidad. Las secciones candidatas a mejorar su estándar se seleccionarán en base a su prioridad en la red, de acuerdo al listado ordenado resultante de la priorización. Este listado ordenado se define a partir del factor de prioridad de cada sección en la red.

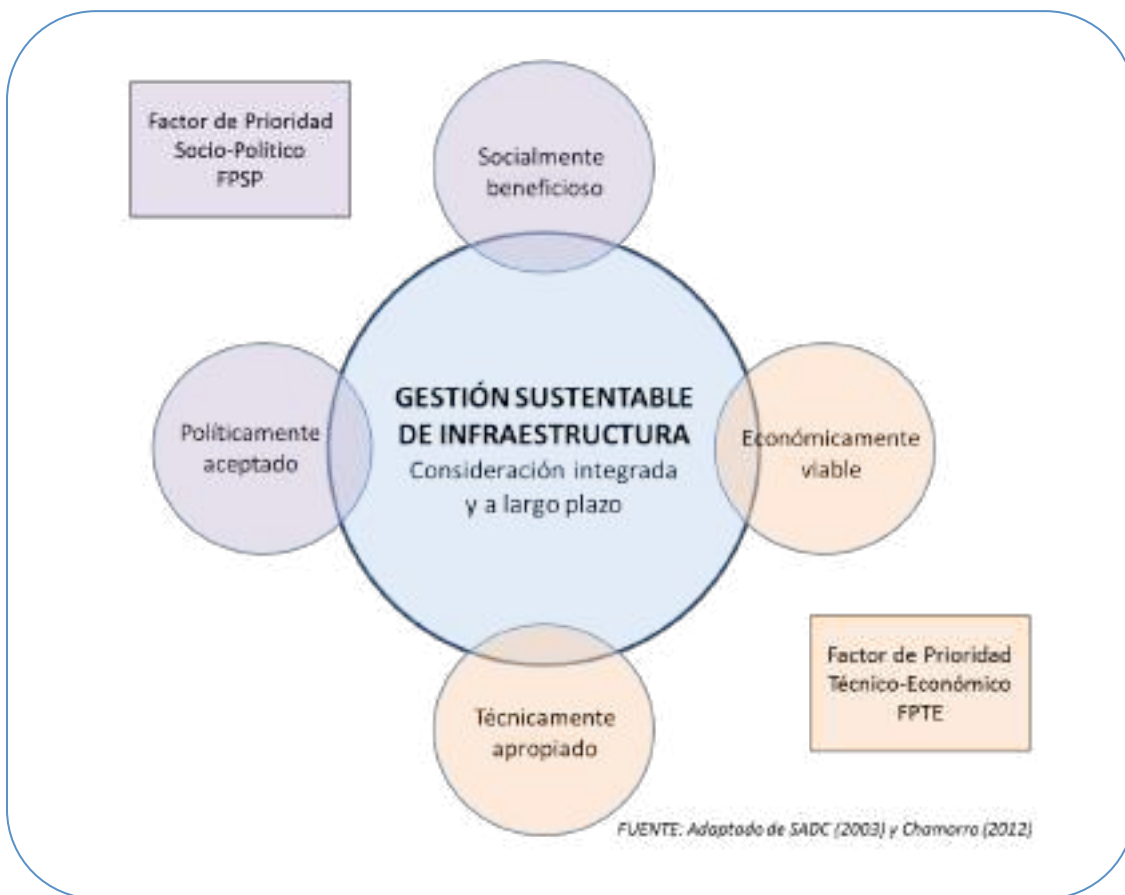


Figura 3-6. Aspectos a considerar en la gestión sustentable de infraestructura

El Factor de Prioridad (FP) define, para cada año de análisis, la importancia de cada sección en la red. El FP considera dos factores: el Factor de Prioridad Técnico-Económico (FPTE) y el Factor de Prioridad Socio-Político (FPSP). Al considerar, de forma integrada, los aspectos técnicos, económicos, sociales, políticos e institucionales en la provisión de fondos de conservación, el Factor de Prioridad propuesto permite una gestión más sustentable de la infraestructura vial (Figura 3-8).

El FPTE busca la mayor eficiencia técnico-económica del presupuesto disponible para mejorar el estándar de determinadas secciones de la red.

Esta prioridad cuantifica la relación entre los beneficios obtenidos al mejorar el estándar de una determinada sección de la red y el sobrecosto necesario para esta mejora. Los beneficios obtenidos al mejorar el estándar de una sección *i* de la red se cuantifican a partir del incremento de condición (evaluado en términos de ICPU) obtenido al mejorar el estándar de la sección. Para que estos beneficios sean comparables a nivel de red, esta relación se pondera con la longitud y el tránsito de la sección.

Como resultado de este análisis se obtiene, para cada sección de la red, el Factor de Prioridad Técnico-Económico (FPTE). Este factor toma valores entre 0 y 1, siendo 1 la máxima prioridad y 0 la mínima.

3.6 Priorización Socio-Política

La mayoría de los procesos de priorización de los sistemas de gestión de pavimentos sólo consideran aspectos técnicos y económicos. Sin embargo, los aspectos socio-políticos también son incluidos en el proceso de toma de decisiones para la conservación de pavimentos. El problema es que estos aspectos son difíciles de analizar porque los tomadores de decisión poseen información insuficiente o en un formato que no permite una evaluación adecuada. De hecho, la información necesaria para considerar los aspectos socio-políticos es parte del “know-how” que los tomadores de decisión y no están documentados o estandarizados, resultando en una alta variabilidad en los criterios para la toma de decisión de gestión de mantenimiento de las vías urbanas. Por lo tanto, el criterio utilizado por los tomadores de decisión normalmente tiene una alta subjetividad y no siempre son consistentes con las necesidades reales de la infraestructura vial urbana.

Se realizaron varios intentos para incorporar los aspectos sociales y políticos en el proceso de gestión de pavimentos. Cafiso et al. (2002) considera factores sociales y políticos como: accesos a escuelas y



centros de salud, seguridad de usuarios y vecinos a las vías, mejoramiento de la calidad de vida, promoción del turismo y actividades económicas, promoción de la estabilidad política, y priorización a la accesibilidad de las minorías. Además, Wolters et al. (2011) incluye criterios relacionados con las prioridades de la comunidad para la gestión de pavimentos en la ciudad de Folsom, Estados Unidos.

Los aspectos socio-políticos que son considerados en el SGPU fueron obtenidos a través de entrevistas a expertos de las municipalidades incluyendo ciudades de gran porte y comunidades rurales. De este estudio, se definieron criterios preliminares que posteriormente fueron analizados por un grupo de expertos para llegar a una formalización y cuantificación de estos criterios. Como resultado de este análisis, se estuvo estandarización de los criterios socio-políticos, incluyendo:

- Cercanía a infraestructuras públicas (CI): Este criterio considera dar prioridad a vías cercanas a centro de salud, educación y emergencia
- Población beneficiada (PB): Este criterio tiene en cuenta la población que vive, trabaja, hace turismo o circula cerca de las vías.
- Existencia de Vías Alternativas (EVA): Este criterio da prioridad a vías que no tiene vías alternativas.
- Percepción Social (PS): Este criterio tiene en cuenta las quejas de los usuarios con respecto a la condición de los pavimentos.
- Selección discrecional estratégica: Este criterio prioriza la selección de proyectos de compromisos o políticas públicas.

Estos criterios socio-políticos son cuantificados a través análisis espaciales y rutinas de cálculos matemáticos basados en un SIG (Sistema de Información Geográfica), los cuales determinan los índices de prioridad asociados a los criterios socio-políticos. Por ejemplo, el SIG calculará la distancia (a través de la red vial) desde una infraestructura crítica a un proyecto de mantenimiento vial de forma de evaluar el impacto que ese proyecto tendría en el flujo de vehículos hacia esa infraestructura. El SIG también evaluará la población beneficiada intersectando los proyectos de mantenimiento con las rutas de transporte público, bloques censales, zonas de interés turístico, y patentes comerciales, de forma de obtener un índice que considere el impacto de mejorar la condición del pavimento en la gente que realiza alguna actividad cercana al camino.



Los valores de estos criterios son integrados en un Factor Socio Político (FSP), el cual es calculado a través de diversos polinomios que representan las preferencias de tomadores de decisión en diversos escenarios. A continuación, se muestran los polinomios definidos en base a tomadores de decisión a nivel nacional. El criterio de selección discrecional estratégica no es incluido en los polinomios porque el utilizar este criterio excluye el uso de priorización para el tramo seleccionado.

Red vial estructurante e intermedia

$$FSP_{\text{Urbes Metropolitanas}} = 0,257 * PS + 0,298 * CI + 0,278 * PB + 0,167 * EVA$$

$$FSP_{\text{Otras ciudades menores}} = 0,264 * PS + 0,282 * CI + 0,300 * PB + 0,154 * EVA$$

Red vial secundaria

$$FSP_{\text{Urbes Metropolitanas}} = 0,314 * PS + 0,268 * CI + 0,278 * PB + 0,140 * EVA$$

$$FSP_{\text{Otras ciudades menores}} = 0,313 * PS + 0,276 * CI + 0,257 * PB + 0,154 * EVA$$



4 Plataforma Computacional SGPU

La plataforma computacional sigue el proceso presentado en la Figura 3-1 del Marco Conceptual. La simulación se basa en un proceso iterativo sobre tramos de la red vial, cuya condición de la carpeta de rodado cambia año a año de acuerdo a un modelo de deterioro que depende de tres variables, a saber: a) el clima representativo de la región de estudio (húmedo, mediterráneo, seco); b) el estado de la ruta o segmento (TMDA/Estructura) y el tipo de carpeta de rodado (asfalto, hormigón).

Dado un inventario completo de la red vial, el proceso de simulación se inicia con la selección de todo o parte de ese inventario, la selección del clima y la fecha a partir de la cual se inicializa la medición de condición del pavimento o ICPU. Además, se indica un monto en UF como presupuesto disponible (se puede indicar si se usa o no este monto como restricción de la simulación).

La relación entre la información de a) carpeta de rodado o pavimento, b) el índice de condición de un tramo o ICPU y c) el estado de la vía (segmento o conjunto de tramos), se hace a través de un “código único de tramo” o ID y la distancia, de inicio y término de la medición, a partir de un punto 0 relativo al tramo evaluado (inicio del tramo). Esta tablas, sobre todo la carpeta de rodado e ICPU, pueden diferenciarse también por calzada dentro del tramo. Así, por ejemplo, la calzada derecha puede ser de hormigón y la calzada izquierda de asfalto, con una condición (ICPU) diferente para cada una de ellas.

Esta información se indica en las tablas respectivas, a través de un campo que se llama “Distancia al Eje” y que toma valores de 1.75 o -1.75 (o sus múltiplos, si son más calzadas), dependiendo si corresponde a la calzada derecha o izquierda (de acuerdo al sentido de digitalización del eje).

A su vez, el tramo tiene en sus atributos el identificador único de la ruta a la cual pertenece y la distancia de inicio y término del tramo, a partir de un punto 0 de inicio de la ruta. De esta forma, todo el proceso se basa en datos relativos entre tablas, que se asocian entre sí con los identificadores únicos de tramos y rutas (segmentos).

De esta forma, la simulación puede o no tener una representación espacial en un mapa. Si la tabla de ejes tiene un campo con las coordenadas X,Y, que representan los vértices de ese eje, entonces la información, base y resultados, se podrá visualizar en un mapa, en caso contrario, solo se manejará el conjunto de tablas.



De esta forma, la simulación se corre en tres etapas, estas son:

1. Fecha de la simulación, clima y selección de todo o parte del inventario de ejes viales. Además se indica el presupuesto disponible y los años de simulación.
2. Generación de la información base para el Año 0 (o Año de inicio). En este paso se puede además, introducir una prioridad estratégica para las rutas y/o tramos que se deben arreglar si o si durante el año 1 de la simulación.
3. Se corre la simulación hasta completar los años indicados en la etapa 1.

En la Figura 3-9 se muestra un esquema gráfico de cómo funciona la simulación.



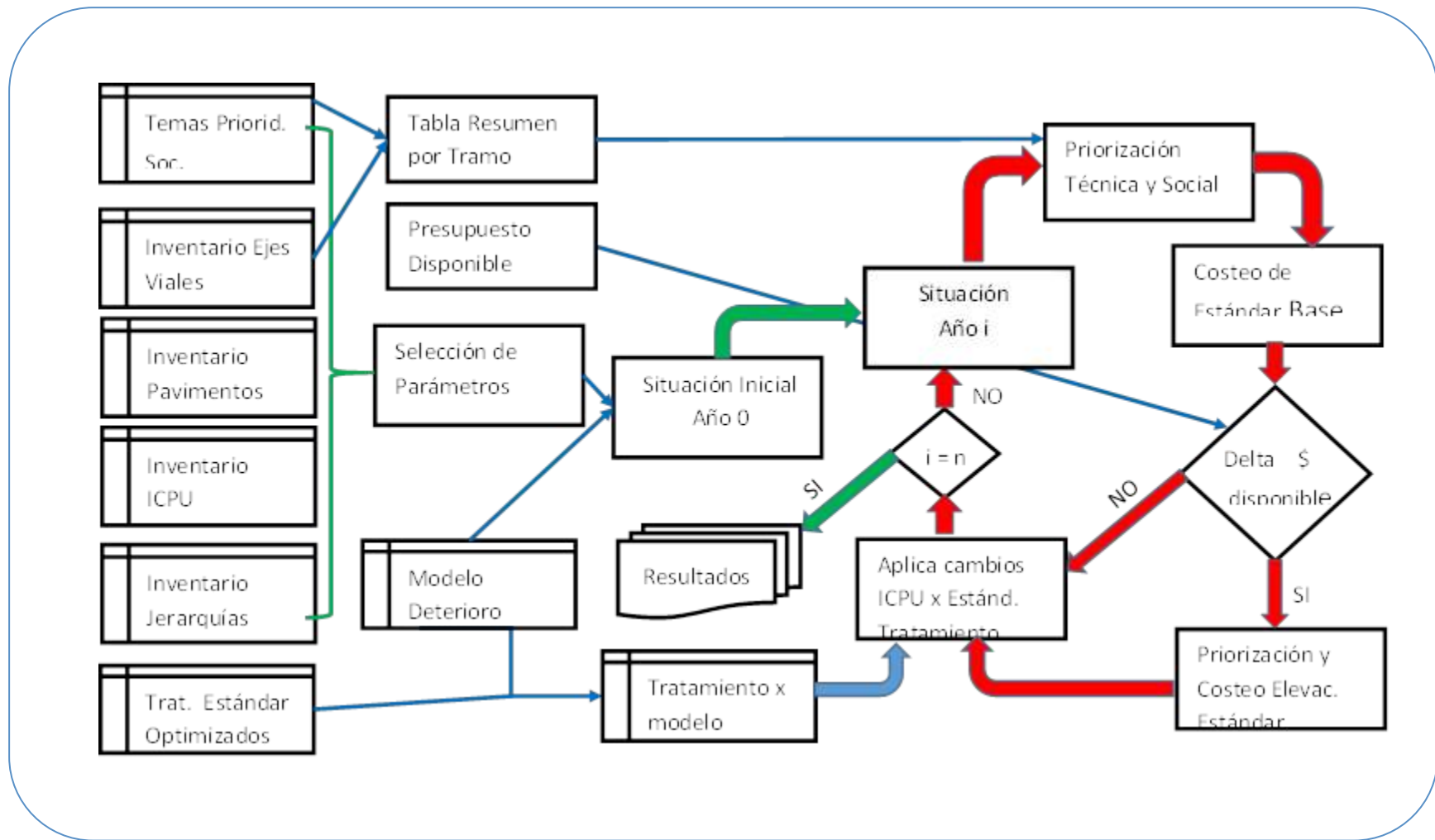


Figura 4-1. Esquema Funcionamiento Simulación

En las Figura 3-10 a la Figura 3-14 se muestran algunas imágenes de la plataforma computacional del SGPU, como la página de introducción, el menú de inicio a la simulación, el mapa con el inventario de la condición vial, entre otros.

Más detalles de cómo funciona la plataforma se encuentran en el manual de usuario.



Figura 4-2. Página de Introducción al SGPU

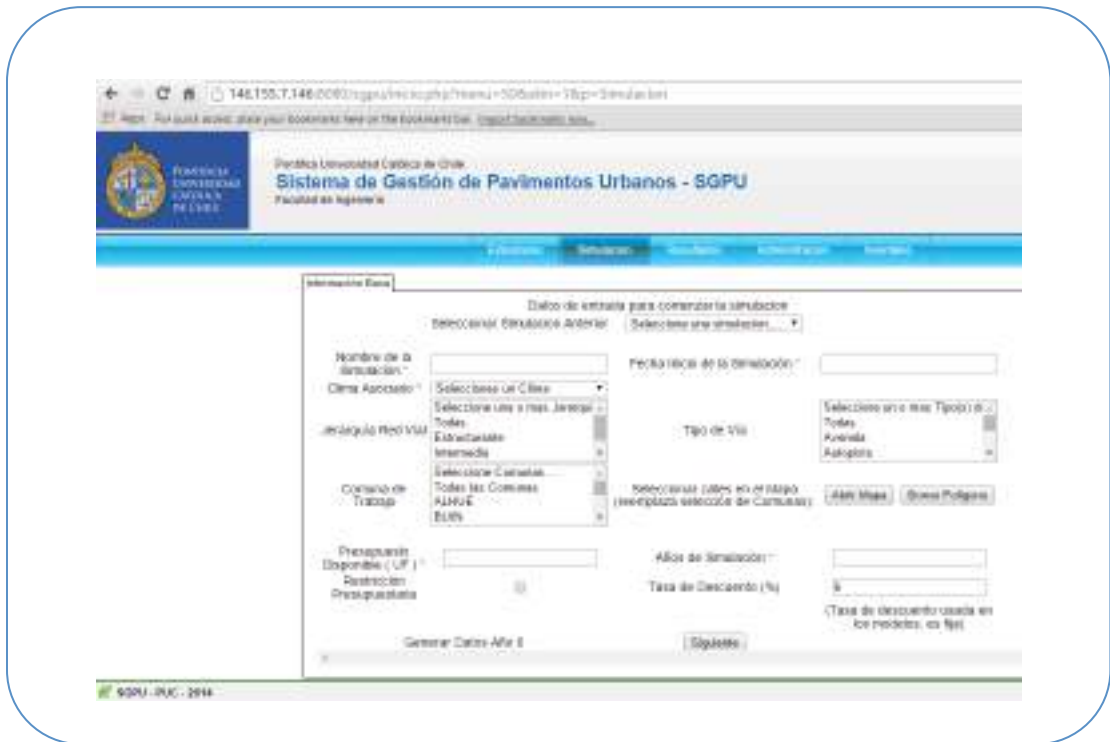


Figura 4-3. Menú de Simulación



Figura 4-4. Condición de la red vial



Figura 4-5. Ejemplo de Tabla de Resultados

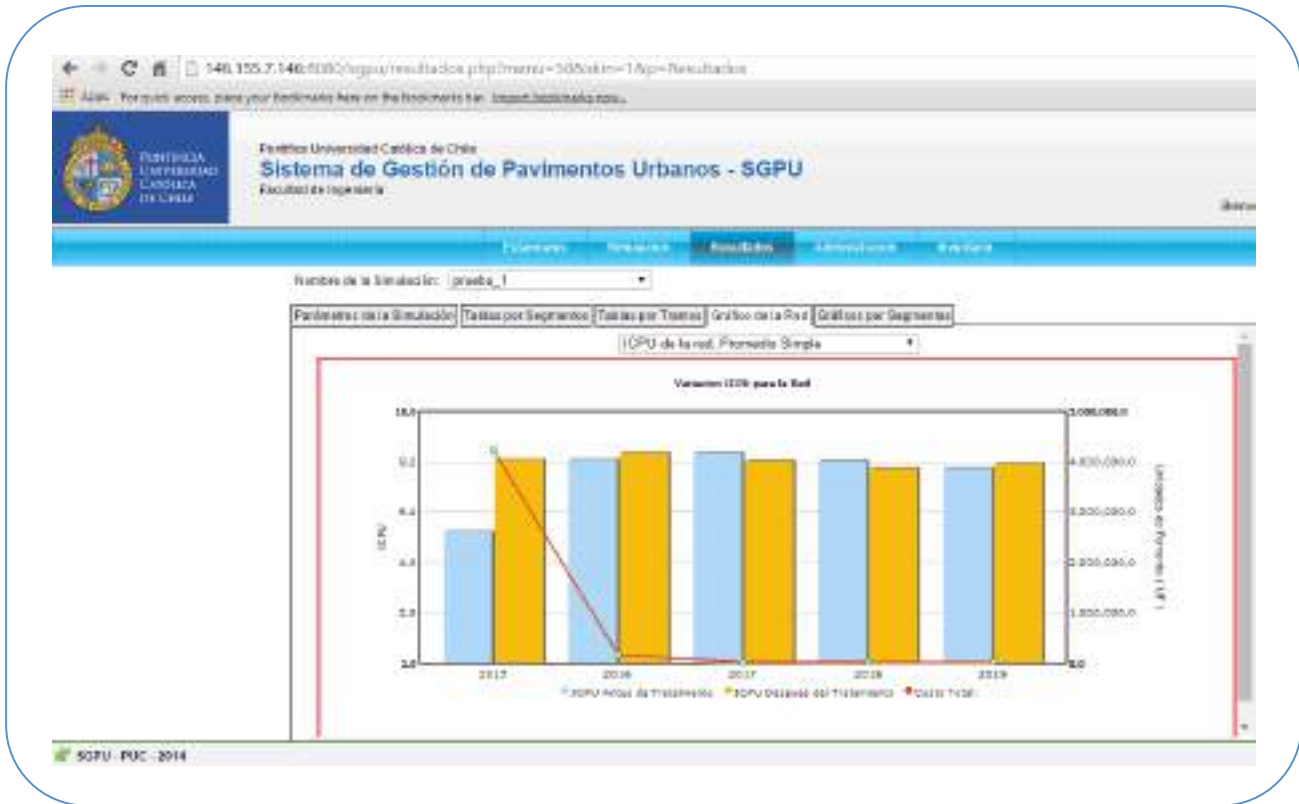


Figura 4-6. Ejemplo de Gráfico de Resultados para la Red

5 Balance y Conclusiones del Proyecto

Hace más de cinco años se gestó el Proyecto Fondef “Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile” a partir de la necesidad de contar en Chile con una red vial urbana que entregue a sus usuarios y ciudadanía un buen nivel de servicio. Para dar respuesta a esta necesidad, el proyecto planteó el desafío de abordar el problema bajo una mirada sustentable que reconociera e incorporara todos aquellos aspectos fundamentales en la gestión de pavimentos urbanos para cumplir con un adecuado nivel de servicio durante su ciclo de vida. Fue así como, de manera visionaria, el proyecto incorporó a la tradicional perspectiva técnico-económica, aspectos institucionales, legales, sociales y ambientales para dar una solución integral al problema de gestión.

Luego de concluir la ejecución del proyecto cabe realizar un balance de las hipótesis y objetivos planteados inicialmente y cómo los resultados desarrollados por el proyecto dieron respuesta a estos.

La hipótesis científica general del proyecto planteada inicialmente estableció que “El bajo nivel de servicio que presentan los pavimentos urbanos en Chile se debe a una organización institucional con una estructura que limita la optimización del uso de recursos y a la falta de un sistema de gestión actualizado para un adecuado mantenimiento vial”. Se planteó para ello el objetivo general de desarrollar, a partir del análisis de la situación en que se encuentra la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile, un conjunto sistemático de soluciones a los principales problemas institucionales, técnicos y económicos que enfrentan las entidades a cargo de la gestión bajo criterios de optimización de recursos.

Luego del análisis del estado del arte y de la práctica nacional e internacional sobre aspectos legales, institucionales, técnicos, económicos, sociales y ambientales fue posible detectar una serie de falencias de la práctica actual los cuales limitan una adecuada gestión de la red. Para dar respuesta a lo anterior fue que se desarrolló el resultado de producción y protección “Sistema de gestión de Pavimentos Urbanos complementado con un Sistema de Información Geográfica” y el resultado de protección “Manual técnico con recomendaciones legislativas e institucionales”. Con el desarrollo de estos resultados se dio cumplimiento a los objetivos específicos del proyecto los cuales plantean: Proponer recomendaciones para el ajuste y/o rediseño de aspectos legislativos e institucionales que contribuyan al mejoramiento de la gestión de pavimentos urbano en Chile (Objetivo Científico);



Desarrollar metodologías para la evaluación técnico-económica de pavimentos urbanos que permitan optimizar los recursos disponibles y disminuir en el largo plazo los costos a usuarios (Objetivo tecnológico y de costos); Desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que incorpore variables espaciales en el proceso de toma de decisiones de mantenimiento vial urbano (objetivo tecnológico); Desarrollar un Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos (SGPU) el cual considere las metodologías técnico-económicas y el Sistema de Información Geográfica (SIG) y que sea adaptable a las condiciones particulares de instituciones usuarias (Objetivo de negocio y uso de productos en condiciones reales).

Analizando con mayor detalle el cumplimiento de la hipótesis científica general del proyecto cabe destacar que luego de aplicar el sistema de gestión desarrollado fue posible evaluar distintas alternativas de mantenimiento de la red y sus impactos en los recursos, identificando y recomendando aquellos estándares que optimizan los recursos de manera sustentable. Asimismo, el proyecto desarrolló y protegió el documento “Regulación e Institucionalidad sobre Gestión y Conservación de Pavimentos Urbanos” el cual da cuenta de las limitaciones de la organización institucional y legal actual sustentado por el análisis comparado de prácticas internacionales. El documento propone recomendaciones para el mejoramiento en el mediano y corto plazo de la regulación e institucionalidad en Chile de manera de mejorar las falencias actuales y optimizar la gestión institucional.

La hipótesis tecnológica y de costos del proyecto planteó “Investigar y desarrollar metodologías técnico-económicas que, una vez implementadas, permitan disminuir en el largo plazo los costos a usuarios de la red vial urbana, optimizar los recursos disponibles del Estado y recuperar el déficit de patrimonio vial en un 10%”. Analizando el cumplimiento de esta hipótesis se puede establecer que el sistema de gestión desarrollado incorporó de manera integrada metodologías técnico-económicas, sociales y ambientales que permiten al usuario simular distintas alternativas de financiamiento que cumplan el cometido de reducir costos a usuarios de la red vial urbana, optimizar los recursos disponibles del Estado y recuperar el déficit de patrimonio vial. Con lo anterior el proyecto se hizo cargo no solamente del problema técnico-económico planteado en un comienzo sino de aspectos que abordan otras aristas de la sustentabilidad como lo son la viabilidad institucional, además de la idoneidad social y ambiental de distintas alternativas de gestión. Pese a ello, los impactos reales a los usuarios de la red y recuperación del déficit de patrimonio vial en el largo plazo sólo podrán ser demostrados luego de una adecuada implementación del sistema de gestión en la práctica.



Finalmente la hipótesis de mercado planteó “Implementar las herramientas desarrolladas en las entidades asociadas e institución mandante, permitiendo a esta última la transferencia de las soluciones propuestas al resto del país”. Al respecto, cabe destacar el desarrollo de tres seminarios de difusión del proyecto donde se presentaron el planteamiento inicial del proyecto, principales recomendaciones de la revisión del estado del arte y la práctica, además de los resultados obtenidos tras concluir el proyecto. La audiencia de dichos seminarios estuvo compuesta por representantes de las distintas instituciones a cargo de la gestión de pavimentos urbanos en Chile, así como también del mundo privado y académico. Asimismo, se realizaron dos talleres de transferencia de los resultados a personal de las instituciones mandantes y asociadas al proyecto. Los talleres incluyeron una revisión y aplicación en terreno de la “Metodología de Evaluación de Pavimentos Urbanos” y una capacitación en el uso e implementación de la “Plataforma Computacional- Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos”. Gracias a ello es posible concluir que durante la fase de ejecución fue posible el cumplimiento de la hipótesis de mercado, quedando en manos del mandante la futura masificación del uso de ambas herramientas a nivel nacional tanto dentro de la institución como en otros organismos del estado vinculados a la gestión de pavimentos urbanos.

Del balance anterior se puede constatar que las hipótesis planteadas para resolver la necesidad detectada durante la formulación del proyecto fueron demostradas satisfactoriamente, habiéndose cumplido además todos los objetivos planteados inicialmente por el proyecto. Lo anterior resulta aún más satisfactorio al considerar que los resultados obtenidos fueron fruto del trabajo colaborativo de un equipo de investigación interdisciplinario que incluye áreas del conocimiento, como son la ingeniería y el derecho, y de las valiosas contribuciones realizadas por representantes de las instituciones asociadas al proyecto, las cuales representan a los organismos del Estado que hacen frente a la gestión de pavimentos urbanos en Chile.

Pese al satisfactorio desenlace del proyecto, impera el desafío mayor de implementar los resultados del proyecto a la práctica actual. Para ello es trascendental contar con el trabajo conjunto de todas las instituciones involucradas en la gestión de pavimentos urbanos en Chile, tal como sucedió en la ejecución del proyecto. Dentro de los principales desafíos futuros que deberán cotejar dichas instituciones se encuentran:

- La coordinación conjunta entre instituciones para la implementación de recomendaciones institucionales y legales. Para ello se recomienda considerar la propuesta presentada en el documento “Regulación e Institucionalidad sobre Gestión y Conservación de Pavimentos



Urbanos”, definiendo una agenda de implementación de recomendaciones de corto y mediano plazo.

- Difusión de resultados del proyecto y su implementación dentro de las entidades mandante y asociadas al proyecto, es decir: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, Gobierno regional Metropolitano de Santiago, Ilustre Municipalidad de Santiago e Ilustre Municipalidad de Macul. Para ello se recomienda la aplicación de los dos talleres desarrollados durante la ejecución del proyecto, “Metodología de Evaluación de Pavimentos Urbanos” y “Plataforma Computacional- Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos”.
- En particular para el caso de la institución mandante, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, recae la responsabilidad de masificar a nivel nacional los resultados del proyecto tanto en el ámbito privado como a instituciones públicas. Para ello se recomienda generar instancias de difusión de resultados del proyecto y talleres de capacitación a entidades que no fueron incorporadas, como gobiernos de otras regiones y municipalidades que no participaron en el proyecto. Se sugiere para ello contar con la colaboración conjunta del Ministerio del Interior a través de su Subsecretaría de Desarrollo Regional.

