

Gestión de Pavimentos Urbanos

Caso de Estudio: Chile

Ing. Alelí Osorio Lird, MSc
Estudiante de Doctorado
Pontificia Universidad Católica de Chile
y University of Waterloo

23 de Octubre de 2014

Contenido

- Introducción
- Proyecto de Gestión de Pavimentos Urbanos
- Recomendaciones Institucionales
- Índice de Condición de Pavimentos Urbanos
- Modelos de Deterioro
- Estándares de Conservación
- Evaluación Económica y Optimización
- Priorización
- Sistema de Información Geográfica

Condición de Pavimentos Urbanos

Grietas



Baches



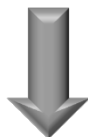
Daños Sellos



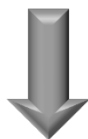
Grietas

Conservación Infraestructura Vial

¿Cuál es la mejor forma de preservar el patrimonio vial de un país?



Gestión de
Infraestructura Vial

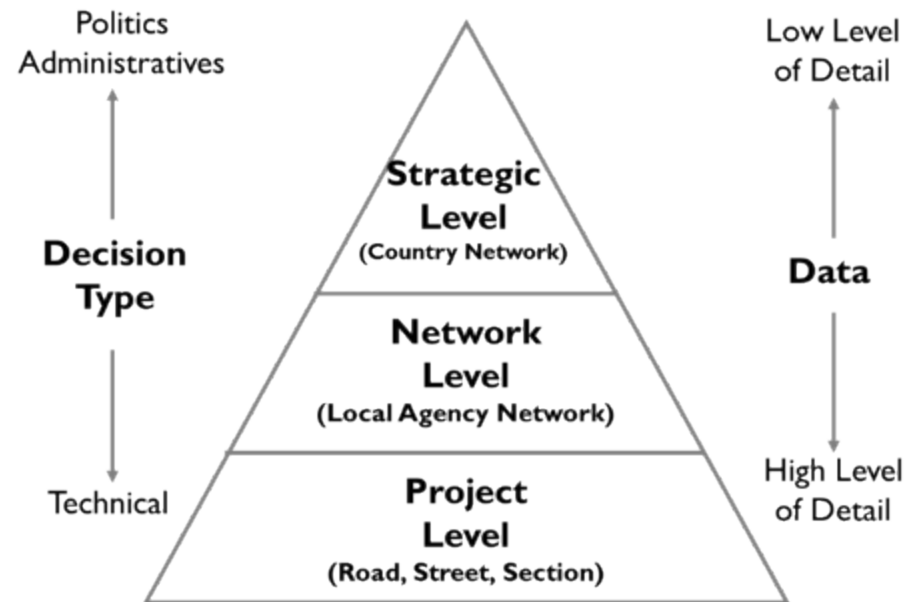


Proporcionar **herramientas** que permitan apoyar la **toma de decisiones** sobre mantenimiento vial y asignación de recursos



Gestión de Infraestructura Vial

- Estrategias óptimas para mantener la infraestructura en forma sustentable
- Mantenimiento costo-eficiente
 - Acción correcta
 - Pavimento correcto
 - Tiempo óptimo
- Sistema de Gestión de Infraestructura
 - Búsqueda de estrategias óptimas
 - Facilita toma de decisiones



Componentes de un SGP

- Base de datos
- Evaluación Técnica de Pavimentos
- Modelos de Comportamiento en el tiempo
- Componente Geográfica => Sistema de Información Geográfica
- Evaluación Económica => Estándares óptimos de mantenimiento
- Priorización de Corto y Largo Plazo
- Herramienta computacional
- Aspectos Institucionales

Pavimentos Urbanos Vs. Interurbanos

- Diferencia de Jerarquías de Pavimentos en la red
- Heterogeneidad de estructuras de pavimentos
- Compleja estimación de las cargas de tráfico debido al patrón de flujo de tráfico variado
- Evaluación económica compleja
- Alto impacto directo e indirecto sobre los usuarios
- Concentración de servicios y sus requerimientos
- Distribución espacial y programación mantenimiento

Proyecto Investigación SGPU - Chile

- Fondef D09I1018 “Investigación y Desarrollo de Soluciones para la Gestión de Pavimentos Urbanos en Chile”

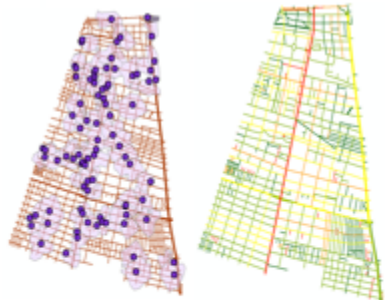
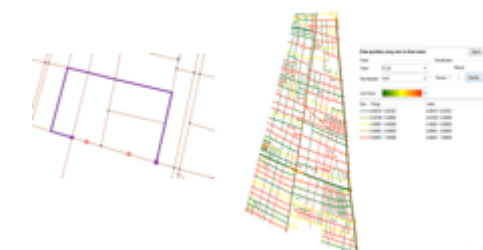
Beneficiaria Principal	Mandante	Entidades Socias
Pontificia Universidad Católica de Chile	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno Regional Metropolitano de Santiago • Ilustre Municipalidad de Macul • Ilustre Municipalidad de Santiago • Dirección de Vialidad – MOP

- Duración: 36 meses
- Director de Proyecto: Carlos Videla
- Investigadores Principales: Claudio Mourgues (SIG), Robert Gillmore (Legal), Alondra Chamorro (SGPU), Susan Tighe (SGPU, Canadá)

Conjunto sistemático de soluciones a los principales problemas institucionales, técnicos y económicos que enfrentan las entidades a cargo de la gestión de pavimentos bajo criterios de optimización de recursos.



Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos con SIG integrado



Draw quantities using color to show values.

Fields
 Value:
 Normalization:

Classification
 Natural Breaks (Jenks)
 Classes:

Color Ramp:

Sym...	Range	Label
	0.121370 - 0.222231	0.121370 - 0.222231
	0.222232 - 0.304419	0.222232 - 0.304419
	0.304420 - 0.383921	0.304420 - 0.383921
	0.383922 - 0.474259	0.383922 - 0.474259
	0.474260 - 0.840265	0.474260 - 0.840265



Metodología del Proyecto

ETAPA 1: REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

**ETAPA 2:
AJUSTE METODOLÓGICO**

**ETAPA 3:
DIAGNÓSTICO INSTITUCIONAL**

- Análisis Técnico-Económico
- Análisis Jurídico-Administrativo
- Manual Recomendaciones Institucionales

**ETAPA 4:
I+D HERRAMIENTAS TÉCNICO-ECONÓMICAS Y
GEOGRÁFICAS**

- Indicador de Condición de Pavimentos Urbanos
- Modelos de Comportamiento de Pavimentos Urbanos
- Sistema de Información Geográfica
- Evaluación Económica, Optimización y Priorización

**ETAPA 5:
I+D SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS**

- Desarrollo Software
- Aplicación y Ajustes del Sistema

ETAPA 6: DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

Diagnóstico Legal

- Estudio y análisis de la legislación Chilena en materia de pavimentos urbanos en Chile
- Evaluación de legislación internacional y análisis comparado con legislación chilena



Regulación Jurídica Dispersa

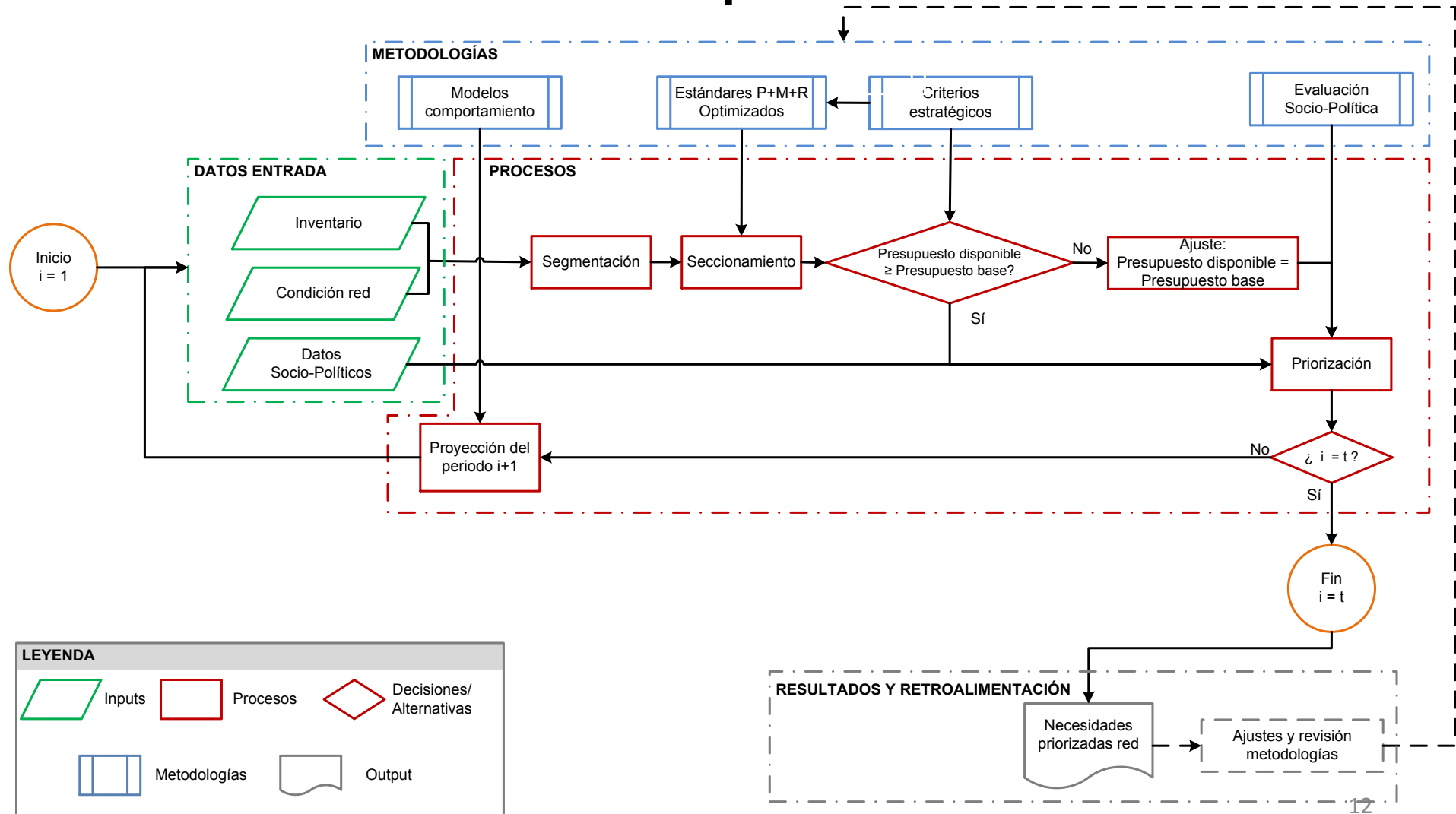


Dificultad en la Gestión



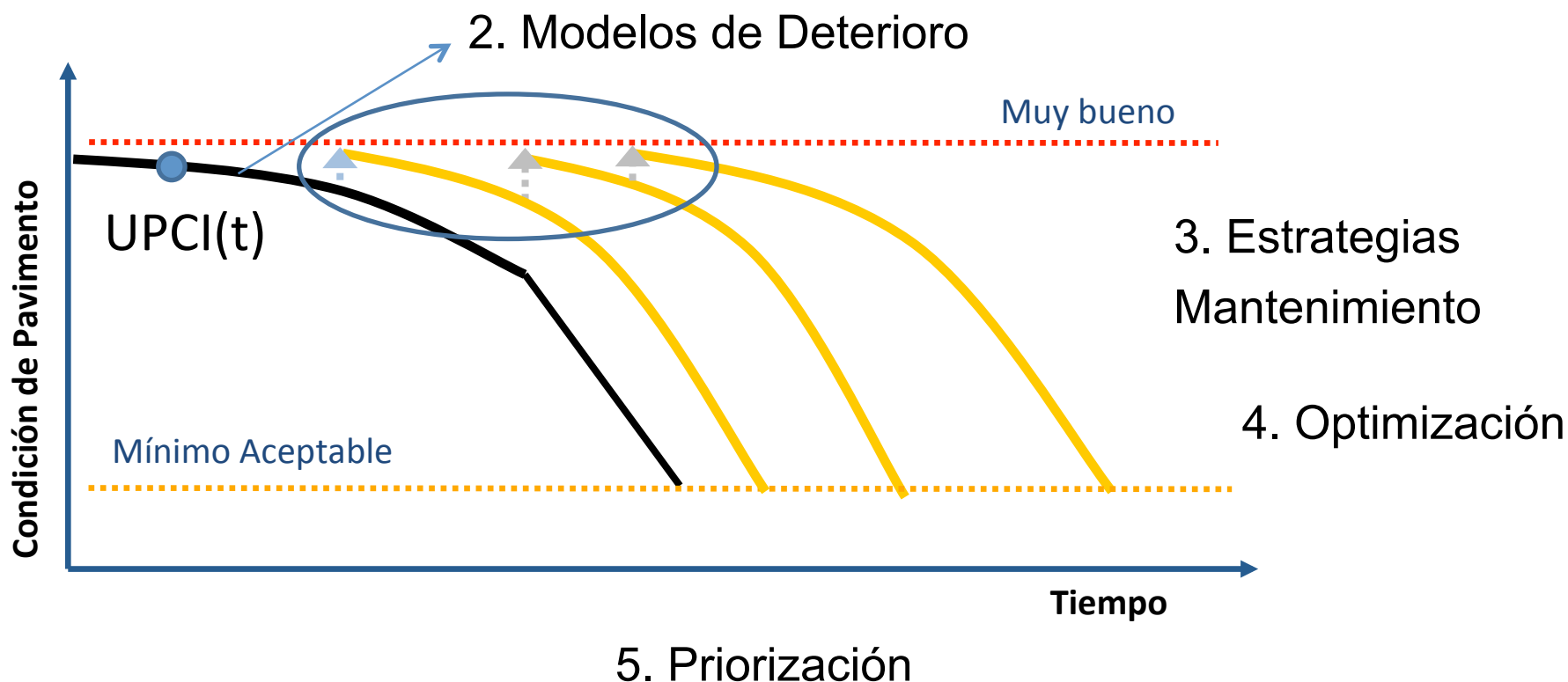
**Manual de Recomendaciones Legales sobre
Gestión de Conservación de Pavimentos
Urbanos en Chile**

Marco Conceptual de SGPU



Área de Gestión de Pavimentos

1. Evaluación de Condición



Evaluación de Condición

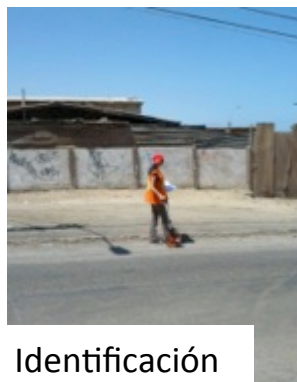
- **Principal objetivo:** Recolectar datos de la condición de los pavimentos, en forma objetiva, eficiente, confiable y segura.
- La condición del pavimento es el principal dato de entrada del Sistema de Gestión de Pavimentos para toma de decisiones.
- Preguntas que se deben responder:
 - Qué evaluar? Deterioros superficiales (red y proyecto)
Índice de Condición para toma decisiones estratégicas
 - Cómo evaluar? Metodología de Evaluación de Deterioros
 - Cuánto/Cuándo? Muestreo
 - Dónde? Jerarquía

Deterioros Pavimentos Urbanos

Pavimentos Asfálticos (18)	Pavimentos de hormigón (19)
- Grieta de Fatiga	- Grieta de Esquina
- Grieta de Bloque	- Grieta de Durabilidad (D)
- Grieta de Borde	- Grieta Longitudinal
- Grieta Longitudinal en la huella	- Grieta Transversal
- Grieta Longitudinal fuera de la huella	- Grieta Oblicua
- Grieta de Reflexión	- Deterioro de Sello de Junta
- Grieta Transversal	- Desconche de Junta Longitudinal
- Parche deteriorado	- Desconche de Junta Transversal
- Baches	- Grietas de malla/Mapeo
- Ahuellamiento	- Desintegración de la superficie
- Ondulaciones	- Parche deteriorado
- Exudación	- Pulimiento de Árido
- Pulimiento de Árido	- Baches
- Pérdida de áridos	- Levantamiento
- Deterioro en borde/solera	- Escalonamiento
- Bombeo o Surgencia de finos	- Deterioro en borde/solera
- Deterioro en tapas o alcantarillas	- Bombeo o Surgencia de finos
- IRI	- Deterioro en tapas o alcantarillas
	- IRI

Tipos de Evaluación

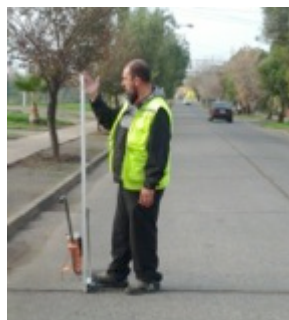
- Manual



Identificación



Evaluación



Escalonamiento



Ahuellamiento

- Automática



Perfilómetros Láser



Roughometer III



Pave Inspect



FWD



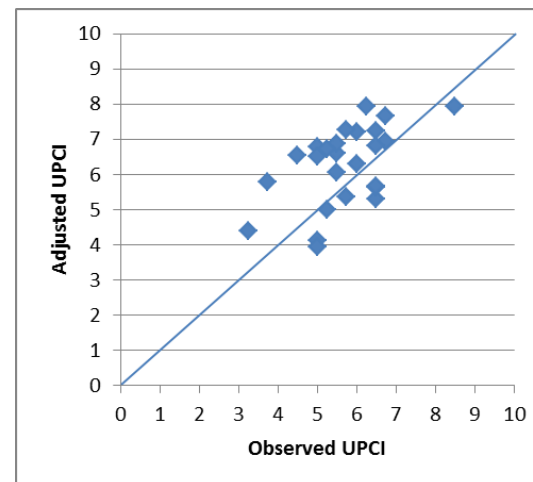
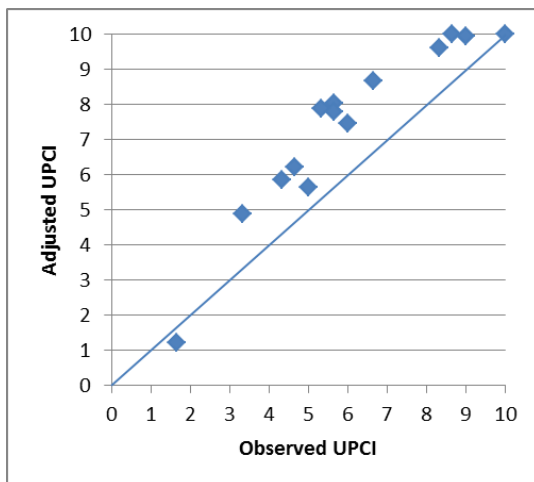
Péndulo Británico

Desarrollo de Índice de Condición

- Evaluaciones
 - Evaluación de expertos: profesionales de instituciones a cargo de la gestión de pavimentos urbanos
 - Evaluación manual y automática de deterioros
- Análisis de regresiones:
 - ICPU_{OBS} Vs Deterioros**
 - Condición Cuantitativa (escala 1 al 10): Índice de Condición de Pavimentos Urbanos Observada (ICPU_{OBS})
 - Condición Cualitativa: Para Redes Estructurantes y Secundarias
- Unidades Muestrales Evaluadas:
 - >200 para asfalto y hormigón
 - Tamaño Unidad Maestral: Ancho de pista x 50 m de largo o 10 losas, subdividida en segmentos de 10 m

Validación de Índice de Condición

- Se desarrolló con el 25% de los datos para cada tipo de pavimento
- Se comparó el valor ICPU obtenido del modelo ajustado Vs. el ICPU obtenido en la evaluación subjetiva
- Se realizó test t para diferencia de medias con un 95% de confiabilidad
- Satisfactoria validación ecuaciones de asfalto (manual y automático) y hormigón (manual)



Índices Condición Pavimentos Urbanos

$$ICPU_{\text{ASFALTO-MANUAL}} = 10 - 0.038 \text{ GF} - 0.049 \text{ GTR} - 0.046 \text{ PD} - 0.059 \text{ A} - 0.237 \text{ B}$$

$$ICPU_{\text{ASFALTO-AUTO}} = 10 - 0.031 \text{ GF} - 0.040 \text{ GTR} - 0.028 \text{ PD} - 0.082 \text{ A} - 0.143 \text{ IRI}$$

$$ICPU_{\text{HORMIGÓN-MANUAL}} = 10 - 0.042 \text{ GL} - 0.025 \text{ GT} - 0.063 \text{ PD} - 0.263 \text{ E} - 0.038 \text{ GEO} - 0.018 \text{ SD}$$

(Osorio et al, 2014)

Asfalto

GF: Grietas de Fatiga (%)

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

PD: Parches Deteriorados (%)

A: Ahuellamiento (mm)

B: Baches (%)

Hormigón

GL: Grietas Longitudinales (%)

GT: Grietas Transversales (%)

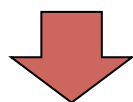
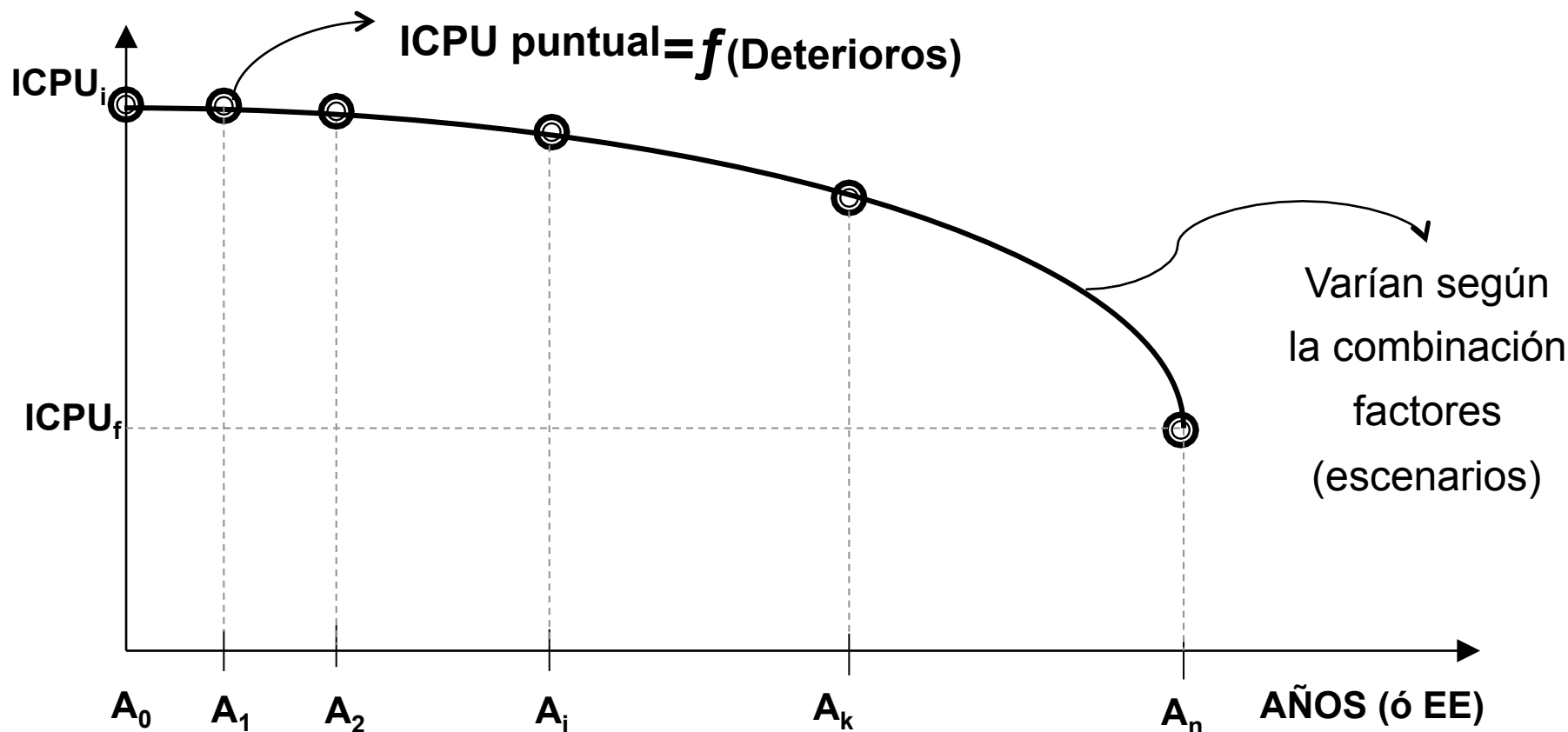
PD: Parches Deteriorados (%)

E: Escalonamiento (mm)

GEO: Suma de grietas de esquina y oblicuas (%)

SD: Sellos dañados

(% del total de las juntas de la unidad muestral)



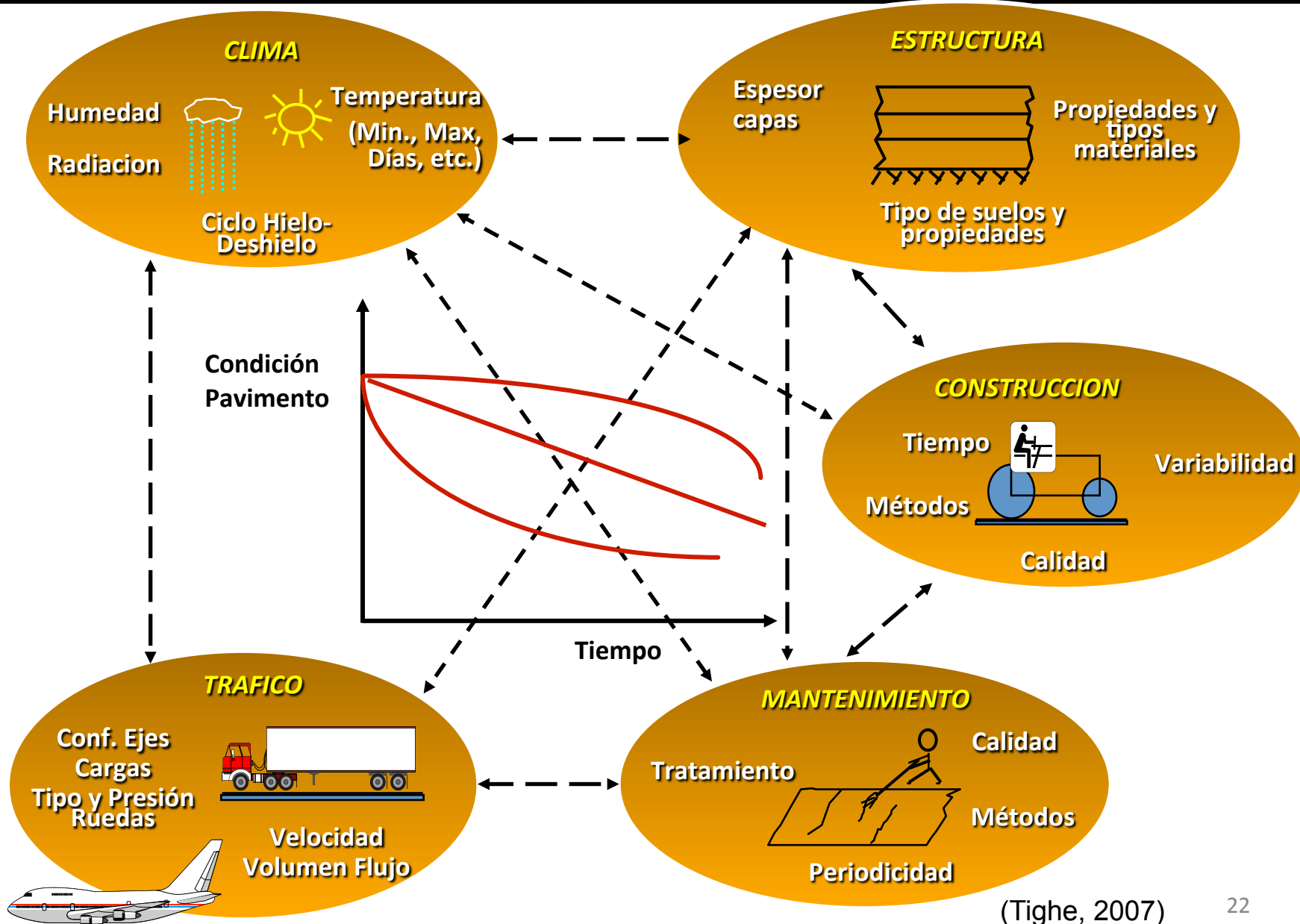
Para cada escenario

Datos históricos
Datos de condición
Estimaciones de solicitaciones

Limitaciones

Datos Históricos no disponibles
Corto periodo de evaluaciones

Método	Descripción	Ventaja	Desventaja
Regresiones	Buen método de modelación estadística	<ul style="list-style-type: none"> - Modelación simple - Modela Relaciones no lineales 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiente sólo con abundancia de datos - Extrapolación no precisa
Redes Neuronales	Modela soluciones simulando relaciones entre las variables de entrada (regresiones múltiples)	<ul style="list-style-type: none"> - Método de modelación avanzado (computarizado) 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad en el planteamiento de la modelación - Eficiente sólo con abundancia de datos
Bayesiano	Método probabilístico. Utiliza regresiones bayesianas (Dist. Previas+Datos)	<ul style="list-style-type: none"> - Entrega objetividad a evaluaciones de expertos - No requiere abundancia de datos 	<ul style="list-style-type: none"> - Compleja modelación no lineal con pocos datos
Markoviano	Método probabilístico. Utiliza matrices probabilísticas.	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere abundancia de datos. - Modela relaciones no lineales 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere el desarrollo de la matriz para todas las combinación de datos



Jerarquías

Jerarquía	Clasificación Funcional	Tráfico	Estructura
1	Expresas	Rangos de volumen de tráfico y ejes equivalentes	Rangos de resistencia de estructuras en MPa
2	Troncales		
3	Colectoras		
4	Servicio		
5	Locales		



Evaluaciones en terreno



Conteos de tráfico
Estimación de cargas por ejes



Evaluaciones con Deflectómetro de Impacto (FWD)

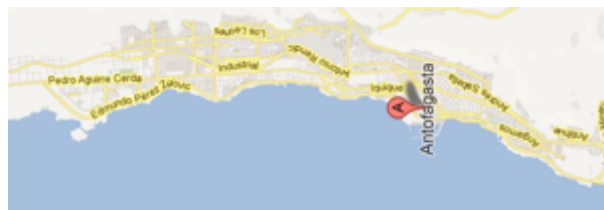
Clima

Clima		Seco		Mediterráneo		Húmedo	
Factores							
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 Candidatas (DGAC y DMC,2011)		Arica Iquique Antofagasta La Serena	Calama Copiapó	Viña Valparaíso Concepción	Santiago Curicó Chillán Los Angeles	Puerto Montt Pto Aysén Pta Arenas	Temuco Valdivia Osorno Coihaique Cochrane

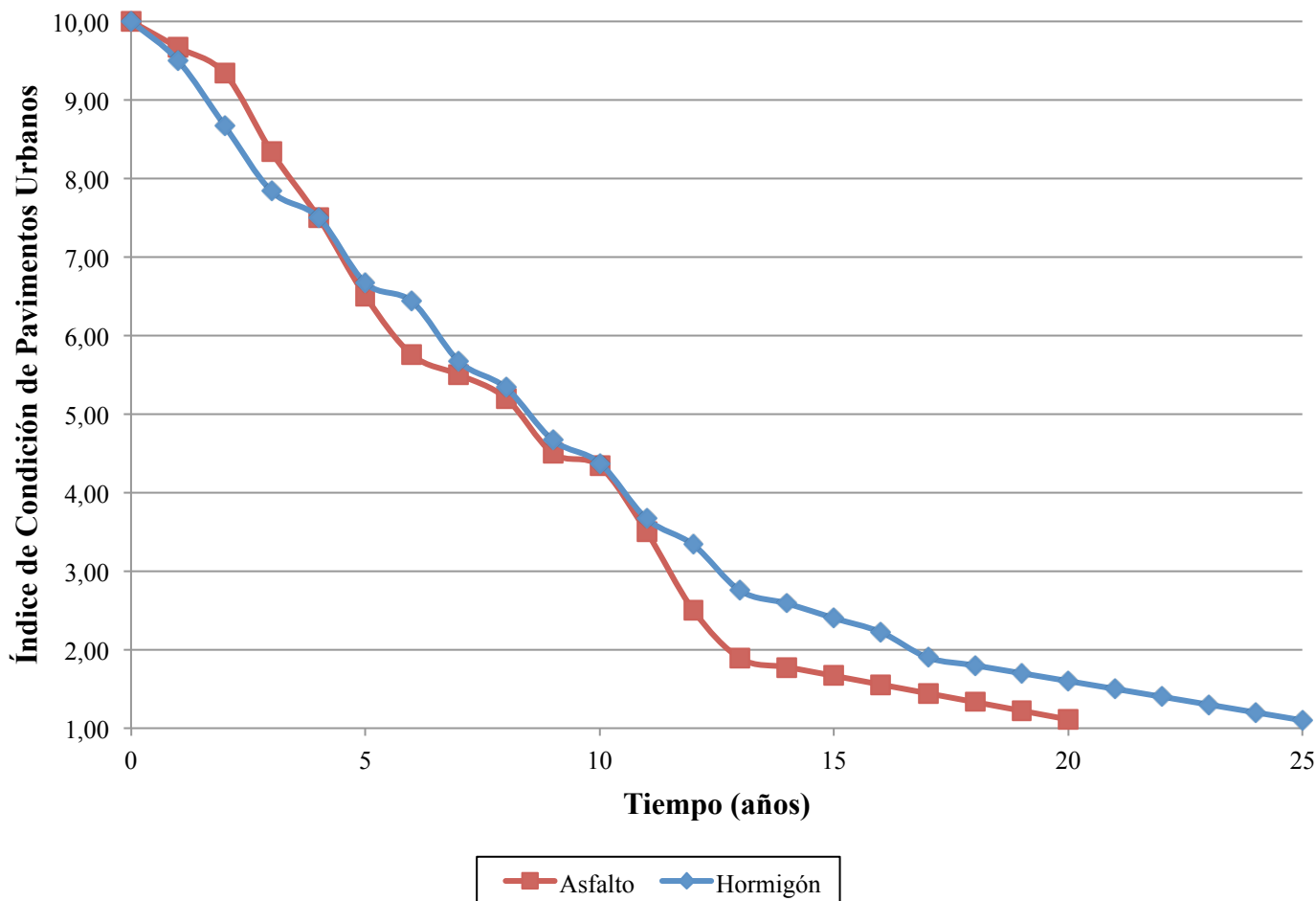
Factorial

Pavimentos de Hormigón									
Pavimentos Asfálticos									
Jerarquías	Clima								
	Seco			Mediterráneo			Húmedo		
	ICPU 1	...	ICPU 10	ICPU 1	...	ICPU 10	ICPU 1	...	ICPU 10
Expresa	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2
Troncal	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2
Colectora	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2
Servicio	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2
Local	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2	Año 1,2	...	Año 1,2

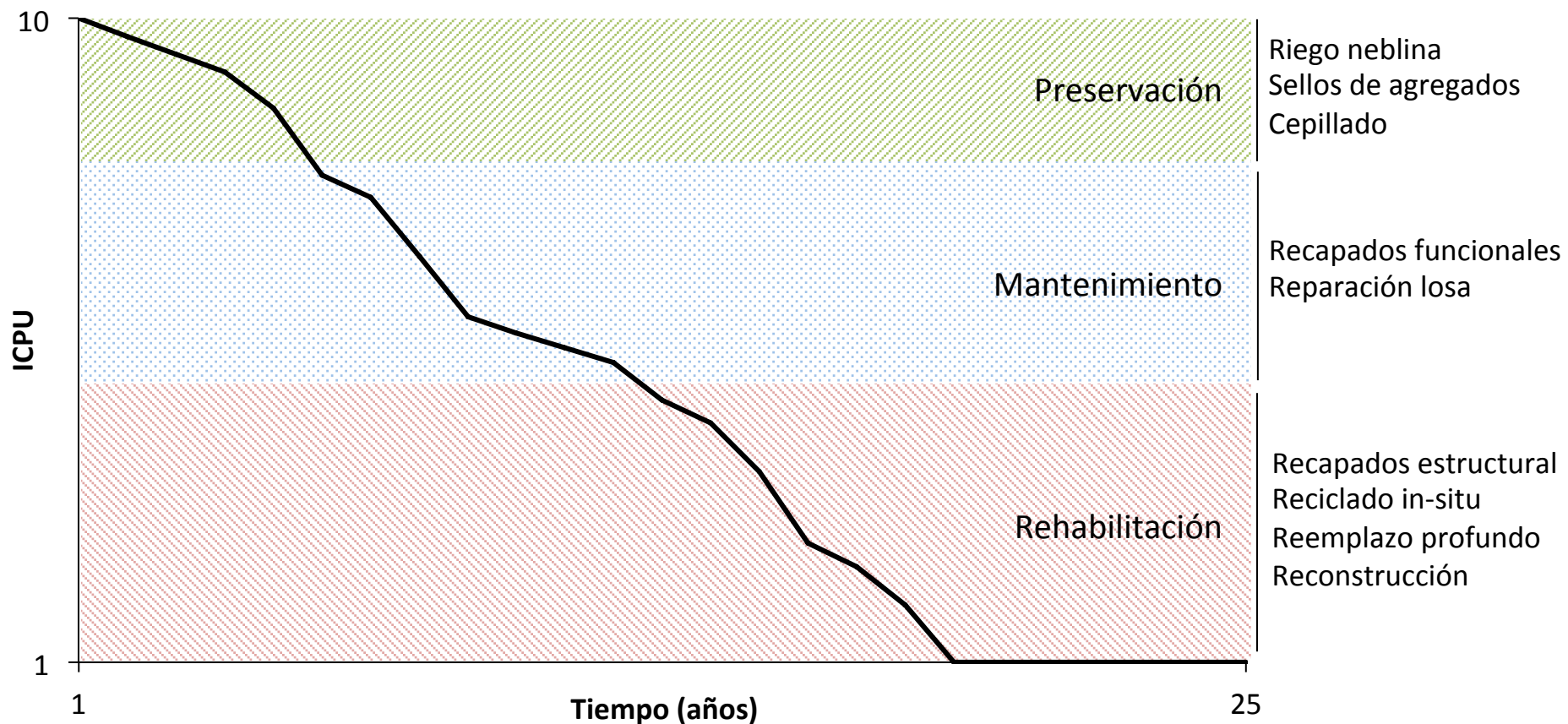
- Antofagasta
 - 285.255 hab
 - 2.686 Ha
 - Clima Seco
- Santiago
 - 5.631.839 hab
 - 69.781 Ha
 - Clima Mediterraneo
- Puerto Montt
 - 175.140 hab
 - 2.343 Ha
 - Clima Húmedo



Modelos de Deterioro Preliminares



Estándares de Conservación



Acciones de Conservación

Pavimentos de Hormigón						
Pavimentos Asfálticos						
Acciones de Conservación	Tipo de Conservación	Políticas de Aplicación	Recomendaciones Aplicación	Efecto en ICPU	Vida Útil	Costo
Acción 1	Preservación, Mantenimiento Rehabilitación?	Programada Por respuesta?	Tráfico, clima, número de aplicaciones?	?	?	?
Acción 2				?	?	?
Acción 3				?	?	?
⋮				⋮	⋮	⋮

Evaluación Económica

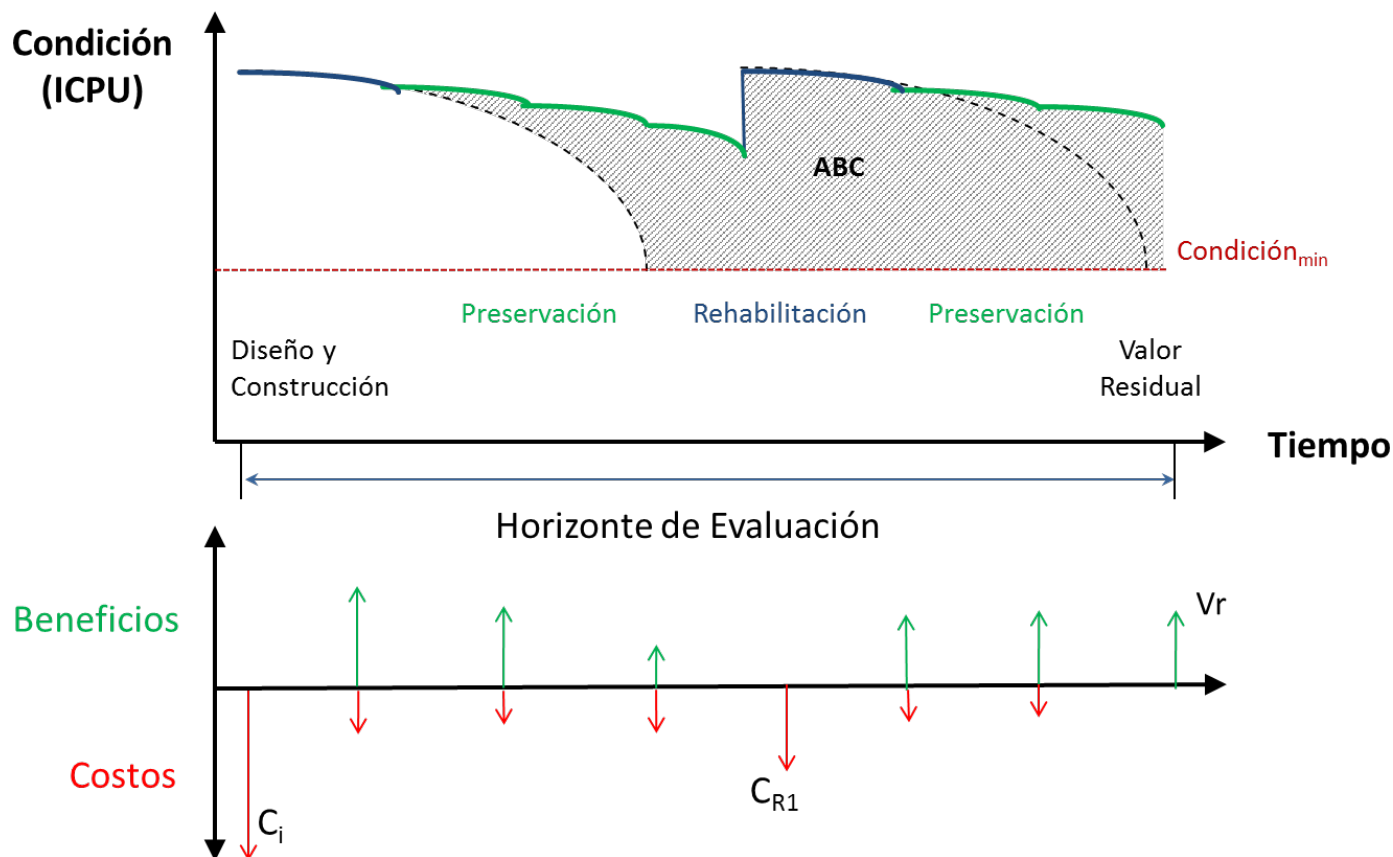
- Revisión del Estado del Arte y la Práctica relativa a la evaluación económica, ambiental y métodos de optimización para la gestión de pavimentos.
- Propuesta de indicadores y métodos para evaluación económica y ambiental aplicada a gestión de pavimentos urbanos.
- Propuesta de proceso de toma de decisión para la gestión sustentable: consideración integrada de aspectos técnico, económicos, ambientales, sociales y político-institucionales durante el ciclo de vida de los pavimentos.
- Recopilación de datos técnico-económico-ambientales: entrevistas y cuestionarios.
- Inicio desarrollo modelos de optimización y priorización.

Evaluación Económica

Indicador propuesto para evaluación económica: Costo-Efectividad (CE)

$$\text{Efectividad} = ABC \cdot L \cdot TMDA$$

$$CE = \text{Efectividad} / VAN$$



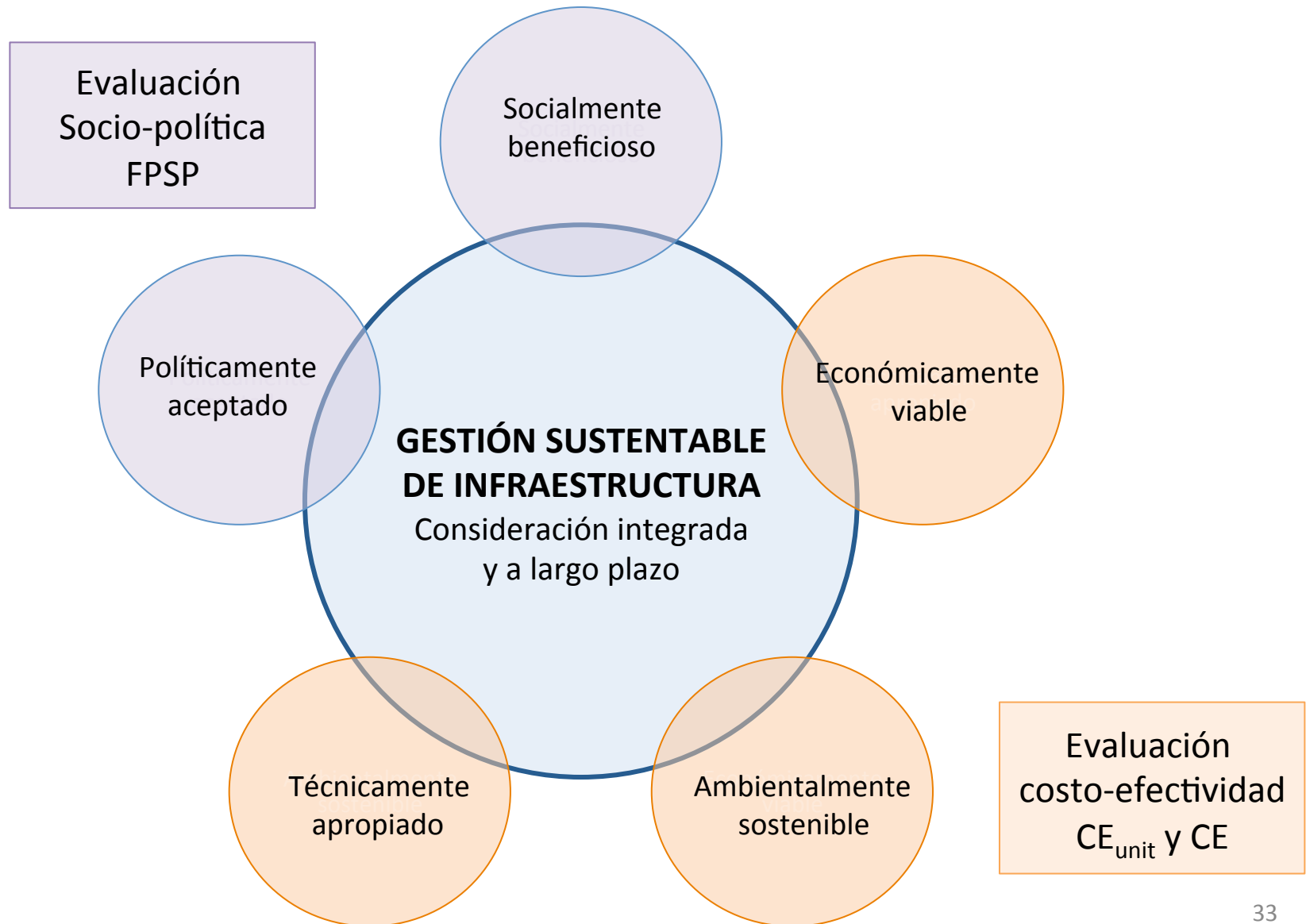
Optimización/Priorización

- Proceso de optimización de estándares M+P+R:
 Conjunto de estándares óptimos (máx CE) y subóptimos (menor CE y menor costo)

	Secciones			
Óptimo	S_{11}	S_{12}	...	S_{1N}
Subóptimo	S_{21}	S_{22}	...	S_{2N}
Base	S_{31}	S_{32}	...	S_{3N}

- Priorización
 Seleccionar los tramos a tratar y su estrategia de mantenimiento de forma que los costos no excedan el presupuesto disponible

	Secciones			
Óptimo	S_{11}	S_{12}	...	S_{1N}
Subóptimo 1	S_{21}	S_{22}	...	S_{2N}
Base	S_{31}	S_{32}	...	S_{3N}



Sistema de Información Geográfica

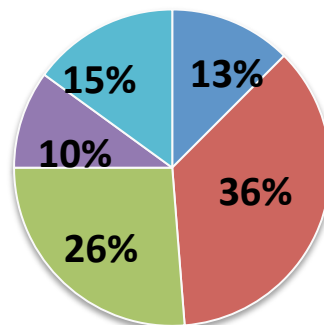
Potenciar el análisis de alternativas de proyectos de conservación vial urbana a través del potencial de visualización y análisis espaciales de los sistemas de información geográfica (SIG)



Utilizar un SIG para cuantificar criterios socio-políticos que juegan un rol en la priorización de proyectos de conservación vial urbana

Priorización Socio-Política

$$IPSP=0,257*SP+0,298*CI+0,278*BP+0,167*PAR$$



- Jerarquía
- Infraestructura Crítica
- Población Beneficiada
- Presencia de Vías Alternativas
- Selección Discrecional Estratégica

Condición mala



Desafío A largo plazo

Condición buena



Muchas Gracias!