



PROYECTO MUNICIPAL

MANUAL PARA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Preparado por: Laura Ramírez

Agosto 2004

CRITERIO PARA PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar una metodología que sirva de guía a los decisores de la gestión vial municipal para optimizar las inversiones; seleccionando de manera efectiva cuándo y cuáles proyectos deben ser intervenidos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir conceptos básicos de la gestión de pavimentos a nivel de red
- Establecer una metodología para la selección de la alternativa de conservación, mantenimiento o rehabilitación
- Definir qué son los modelos de deterioro, su aplicabilidad y calibración
- Proponer distintas metodologías de priorización de inversiones.

1. INTRODUCCIÓN

Con la entrada en vigencia de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria, las municipalidades recibirán recursos provenientes del impuesto único sobre los combustibles. Dicho ingreso, será proporcional a la extensión de la red (motivo por el cual es muy importante contar con un buen inventario de la red) y al índice de desarrollo social (IDS) de cada municipio.

Cada año las municipalidades entran en un ciclo en el cual deben ejecutar el presupuesto del año en curso, luego deben preparar un presupuesto para el año próximo, el cual debe ser presentado a la Contraloría General de la República en el mes de setiembre para su aprobación y finalmente recibir los desembolsos y empezar nuevamente el ciclo. Todo este ciclo se enfoca en mejorar la red vial actual hasta alcanzar una red vial objetivo.

Para lograr llegar a esta red vial objetivo, es necesario que las municipalidades tengan inventariada su red vial y además que optimicen sus inversiones, para así lograr obtener los mayores beneficios con el dinero recibido.

Para desarrollar una buena metodología, que ayude a los dirigentes de la gestión vial municipal a optimizar las inversiones, es necesario conocer los conceptos básicos de administración de pavimentos, estrategias de mantenimiento rutinario, periódico y rehabilitación, deterioro de pavimentos y aplicación de modelos de deterioro, entre otros.

2. CONCEPTOS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

La gestión de pavimentos es un proceso de toma de decisiones económicamente efectivas acerca del de diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras.

El mantenimiento preventivo es una política orientada a la mejora de las condiciones de servicio de un pavimento que puede ser aplicada generalmente con un análisis no exhaustivo, como por ejemplo tratamientos superficiales o capas de sello.

Por otro lado la rehabilitación es una política orientada a la mejora de las condiciones de servicio de un pavimento que debe ser aplicada únicamente después de un análisis detallado de situaciones particulares, como por ejemplo sobrecapas, conformación de bases granulares y reconstrucción.

El análisis de los problemas de la gestión de pavimentos se puede hacer desde tres distintas perspectivas: la legislativa, la administrativa y la técnica. Sin embargo, esta gestión solo opera en dos niveles principales, conocidos como nivel de proyecto y nivel de red y que son considerados como las instancias más importantes en la toma de decisiones. Las decisiones globales afectan a la red vial como un todo y las decisiones más específicas afectan a los proyectos individuales.

Las actividades de la gestión de pavimentos se definirán según el nivel en que se esté trabajando (nivel de red o nivel de proyecto), según las siguientes características¹:

- Nivel de red: incluye fundamentalmente un proceso de observación de un conjunto de pavimentos que conforman una red de caminos, para planificar decisiones para grandes grupos de proyectos o una red de caminos completa, a fin de optimizar la asignación de recursos.
- Nivel de proyecto: incluye la observación de un proyecto o pavimento en particular, con el propósito de determinar el momento en que se deben realizar las actividades de mantenimiento o de rehabilitación. Usa datos específicos de cada proyecto y otorga varias opciones de acuerdo a los objetivos; los modelos usados a este nivel requieren de información detallada en secciones individuales de un camino.

2.1 GESTIÓN A NIVEL DE RED

Cuando se trabaja a nivel de red se busca desarrollar un programa prioritario y organizado de rehabilitación, mantenimiento o construcción de nuevos pavimentos, teniendo en cuenta la restricción de presupuesto. En este nivel, se busca establecer una priorización de los proyectos que se podrían desarrollar dentro del período que contempla el monto presupuestario.

En este nivel es necesario:

- Hacer una sectorización para la toma de datos (rugosidad, deterioro, costos, etc) y para procesarlos

¹ Solminihac, Hernán. Gestión de infraestructura vial.

- Establecer criterio de umbrales de conservación: serviciabilidad mínima aceptable, máxima rugosidad, etc
- Aplicar modelos de predicción de deterioro
- Evaluar las opciones disponibles de conservación considerando las restricciones de presupuesto
- Desarrollar programas de conservación y planes de trabajo para el futuro.

2.2 DETERIORO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

El fin de un pavimento es que cumpla con los siguientes objetivos:

- Resistir esfuerzos mecánicos producto de las sollicitaciones de tránsito, reduciendo las tensiones a niveles aceptables para las capas inferiores.
- Resistir los agentes climáticos y proteger a la subrasante de las condiciones climáticas
- Permitir la circulación cómoda y segura de los usuarios

El deterioro de un pavimento impide que éste cumpla con sus objetivos en forma adecuada, y ocurre cuando es sometido a sollicitaciones externas, tales como esfuerzos mecánicos elevados y condiciones climáticas o ambientales agresivas. Sin embargo, la tasa y tipo de deterioro dependen de la intensidad en que se presenten las sollicitaciones y una serie de otros factores de proyecto que actúan en muy diversas combinaciones. Entre los principales factores de proyecto se consideran:

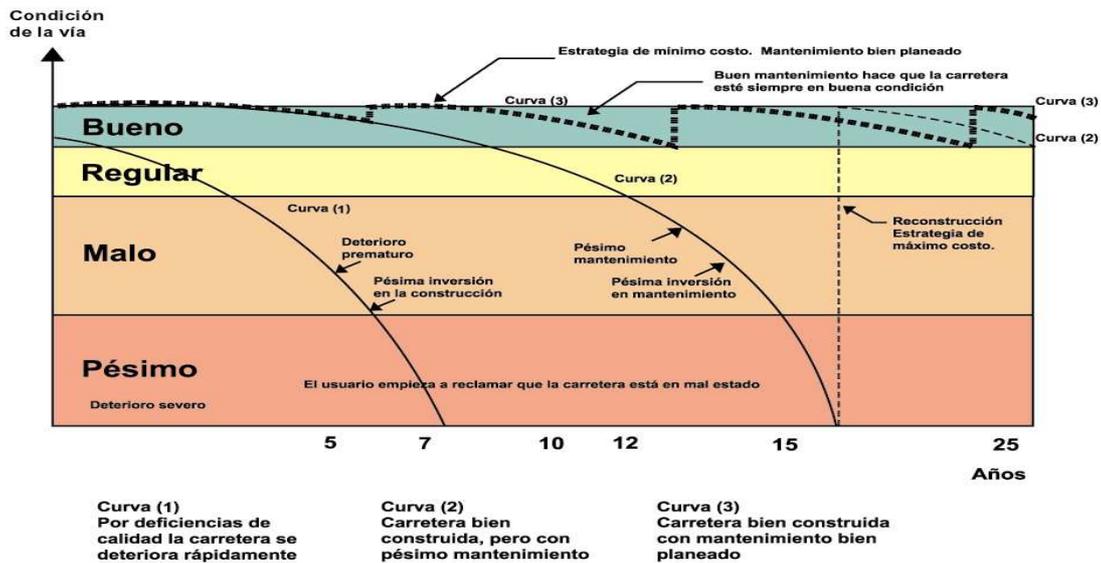
Calidad de la capacidad estructural del suelo de fundación

- Calidad de los materiales usados en la construcción
- Calidad del diseño
- Calidad de la construcción
- Tipo de uso (principalmente magnitud de las cargas de tráfico)
- Condiciones climáticas (hidrológicas e hidráulicas)
- Calidad y oportunidad de la conservación

La proyección del comportamiento en el tiempo, de una estructura de pavimento, se define mediante curvas de deterioro. Estas curvas se basan en modelos matemáticos que identifican cómo se irá deteriorando el pavimento a lo largo de los años. Estos modelos se construyen a partir de la información existente de la red vial, por ejemplo, año de construcción o intervención y estado actual, considerando aquí tanto la serviciabilidad como la capacidad estructural de la vía.

En la figura 1, se presentan 3 curvas de deterioro: la curva 1 representa un modelo de deterioro acelerado de una carretera, debido a deficiencias en la calidad, la curva 2 representa el deterioro de una carretera bien construida, de buena calidad pero con un pésimo mantenimiento y la curva 3 representa el

deterioro de una carretera bien construida y con un mantenimiento adecuado y bien planeado.



Fuente: M. Arce

Figura No. 1: Curvas de deterioro

Este ejemplo enfatiza la importancia de aplicar tempranamente técnicas que permitan restaurar la serviciabilidad de un pavimento. Estas técnicas se conocen como técnicas de conservación.

2.3 TIPOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS

Existen dos tipos de deterioro básicos a saber:

- **Deterioro funcional:** se relaciona principalmente con la calidad de la superficie del pavimento y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran la rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción.
- **Deterioro estructural:** se origina por la pérdida de la capacidad estructural de una o más de sus capas componentes y/o la pérdida de capacidad estructural del suelo de fundación. Este deterioro se puede manifestar en forma de deformaciones o agrietamiento.

Además de cuantificar el deterioro es importante si éste tiene un carácter puntual o generalizado:

- **Deterioro puntual o aislado:** este tipo de deterioro no presenta ninguna sintomatología en especial y por lo general su causa es producto de situaciones singulares, relacionadas a fallas locales o a la variabilidad natural de materiales y procesos constructivos. También puede asociarse a problemas aislados de las fundaciones o sistemas de drenaje. Por lo general este tipo de deterioro es difícil de predecir y se debe esperar la ocurrencia de la falla, la cual debe ser correctamente diagnosticada para adoptar una solución de reparación adecuada. La reparación debe

asegurar que la falla se detendrá y que la causa se eliminará, de modo que no se repita nuevamente en el mediano plazo.

- Deterioro generalizado: el pavimento presenta una sintomatología muy repetida, la cual, dependiendo del tipo de falla, se puede manifestar en forma continua o discreta, pero siempre en forma repetida a lo largo del pavimento. Este tipo de deterioro por lo general es más fácil de diagnosticar y cuantificar, pero según la intensidad que este presente al momento de la evaluación, puede resultar más difícil poder aislar la causa principal que dio origen al deterioro. Las causas de un deterioro generalizado pueden tener su origen en el diseño, calidad de materiales y construcción, clima y uso que se le haya dado al pavimento.

Para los tipos de deterioro que se presentan en forma aislada no se requiere de un programa de conservación, sino más bien de una adecuada organización, que permita una rápida acción de reparación.

En la siguiente tabla se resumen los tipos de defectos en pavimentos asfálticos y sus causas.

Tabla No. 1: Tipos de defectos en pavimentos asfálticos²

Tipo de defecto	Defecto	Afecta la capacidad		Causa	
		Estructural	Funcional	Asociado a cargas	No asociado a cargas
Agrietamiento	Por fatiga	X		X	
	Por bloques	X			X
	Juntas y bordes	X			X
	Deslizamiento	X		X	
	Reflexión	X		X	X
	transversales	X			X
Deformaciones	Ahuellamiento		X	X	
	Corrugaciones		X		X
Desintegración	Baches	X	X	X	
	Pérdida de agregado		X		X
	Pérdida de asfalto		X		X
Pérdida de fricción	Agregado pulido		X	X	
	Exudación		X		X

² Centro de ingeniería e investigación vial. Guía para la selección, diseño y construcción de sellos asfálticos de conservación. Chile.2000

2.4 TIPO DE ACCIONES

Frente al deterioro del pavimento asfáltico, es posible aplicar una serie de técnicas que permiten reparar o monitorear el deterioro y extender la vida útil del pavimento. Entre las acciones se encuentran:

- Acciones de reparación o respuesta: se asocia a una acción correctiva y corresponde a la ejecución de trabajos de eliminación de defectos puntuales. Se puede decir que la aplicación de este tipo de técnica no tiene repercusión sobre el deterioro general de un pavimento.
- Conservación: corresponde a un tratamiento generalizado del pavimento (en toda su extensión), que tiene como objetivo disminuir la tasa de deterioro, extendiendo la vida útil del pavimento.
- Rehabilitación: estas técnicas además de extender la vida útil del pavimento, proveen una mejora de la capacidad estructural o de la serviciabilidad.

2.5 ESTRATEGIAS DE ACCIÓN

Las estrategias que se pueden emplear para aplicar alguna de las acciones de conservación pueden ser de dos tipos: preventiva o correctiva.

En general las acciones de conservación (ya sea funcional o estructural) que se aplican en los sistemas de administración de pavimentos son del tipo correctivo, puesto que se usan una vez que se detecta una deficiencia, sea esta funcional o estructural.

A pesar de que las técnicas de conservación pueden ser aplicadas bajo los dos enfoques arriba mencionados, los mejores resultados se obtienen aplicando las técnicas de conservación en forma temprana o preventiva.

Las acciones preventivas se aplican previo a la aparición de un determinado defecto o cuando el deterioro está en un estado de evolución inicial. También se puede definir como acción preventiva aquella que se aplica al pavimento antes que éste alcance un umbral de deterioro preestablecido.

Este tipo de conservación retarda el deterioro del pavimento, restituye la capacidad funcional y posterga la necesidad de una intervención más costosa.

Las estrategias de conservación correctivas se aplican como una reacción frente a un determinado problema específico y/o localizado, el cual también puede estar asociado a un umbral de deterioro preestablecido.

2.6 CRITERIO DE UMBRALES DE CONSERVACIÓN

Para la gestión de una red se deben establecer los niveles límites de servicio del pavimento, considerando la condición global del pavimento (estructural y funcional).

El límite inferior corresponde a la condición en la cual la intervención de un tramo es obligatoria, ya que si no se hace, la carretera ameritará trabajos de reconstrucción y no de mantenimiento, los cuales son bastante más costos.

El límite superior corresponde a la condición en la cual la intervención del tramo es recomendable pero no obligatoria.

3. DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN

Para seleccionar las técnicas de rehabilitación de la forma más efectiva, es necesario realizar un enfoque sistemático, tomando en cuenta todos los parámetros aplicables y el impacto de la elección de las alternativas. Estos parámetros deben considerar tanto el pavimento como los elementos complementarios.

En la figura 2 se presenta un proceso a seguir para definir cuál alternativa de conservación emplear (metodología de análisis de ciclos de costo de vida).

Para la elección de la alternativa, es necesario contar con al menos seis tipos de información:

1. Datos de diseño: parámetros de diseño, espesor de capas, detalles sobre componentes del pavimento y elementos complementarios entre otros.
2. Datos de construcción: conocer la forma de construcción tanto del pavimento como de los elementos complementarios.
3. Datos de tránsito: se debe conocer tanto el volumen como la carga.
4. Datos de medio ambiente: condiciones climáticas, gradientes de temperatura, precipitación, humedad, entre otros.
5. Condición de deterioro: definir la severidad y la cantidad del deterioro.
6. Datos de los costos (de construcción, mantenimiento, rehabilitación y costos de operación)

No todas las rehabilitaciones requerirán de los mismos datos ni de la misma calidad de la información, por lo que es necesario definir los tipos de datos a ocupar previo a la evaluación del proyecto.

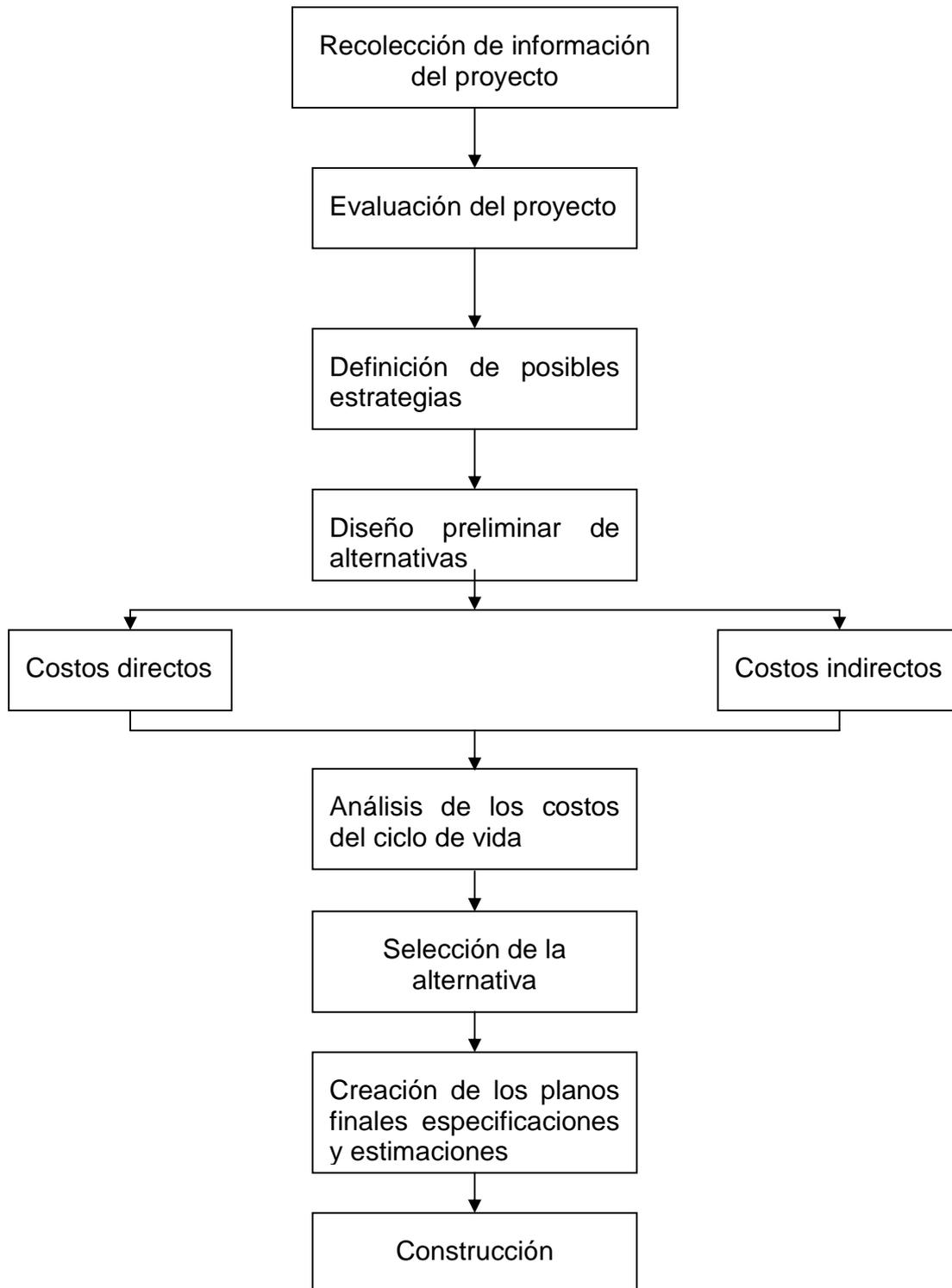


Figura No. 2³: Proceso para definir alternativa de conservación

³ Solminihac, Hernán. Gestión de infraestructura vial.

Para determinar la mejor opción de conservación de una carretera es necesario determinar qué es lo que se encuentra muy mal en el pavimento y qué es lo que se desea hacer. Si se desea hacer una inversión para un período de diseño de 15 años o un desembolso más pequeño para disminuir la tasa actual de deterioro y lograr que el pavimento se mantenga por otros cinco años.

Para simplificar la selección, se puede separar la naturaleza del problema (en dos categorías: superficial y estructural) del lapso requerido (corto o largo plazo).

Existen otros procedimientos de selección de alternativas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción que presentan menos complejidad. Estos métodos son:

- Métodos matriciales: se asocia el conjunto de fallas o deficiencias en el pavimento actual con la política de mantenimiento o rehabilitación que permita corregir la mayoría de los problemas presentes. La asignación de los procedimientos óptimos de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción se basa en la experiencia y el juicio ingenieril.
- Árboles de decisión: la asignación de la alternativa de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción óptima involucra la combinación de la clasificación funcional y tipo de fallas o deficiencias.

4. APLICACIÓN DE MODELOS DE DETERIORO⁴

4.1 CONCEPTOS GENERALES

Los modelos de deterioro por lo general corresponden a expresiones matemáticas que permiten predecir la posible evolución del estado del pavimento en el tiempo, con base en el conocimiento de las condiciones del mismo al momento de su puesta en servicio y al momento de la realización del análisis. Además permiten pronosticar los efectos, a corto y largo plazo, de la mantención efectuada sobre ellos, con el objetivo de realizar estimaciones razonables tanto de las oportunidades en que sea necesario llevar a cabo alguna conservación, como del nivel de deterioro resultante luego de la misma y su progresión con el tiempo.

Estos modelos pueden surgir a partir de desarrollos empíricos y/o mecánicos. Los modelos empíricos tienen su origen en bases de datos reales conformados a partir de pavimentos existentes. Las bases de datos tienen información general de los pavimentos, datos de diseño, características del drenaje y de las cunetas, datos de tránsito, condiciones climáticas y de deterioros a lo largo de su vida útil.

Para determinar el modelo de deterioro se debe primero determinar las variables más relevantes en la formación de cada deterioro, para luego realizar con estas variables seleccionadas un análisis estadístico que dará origen al modelo que predice el comportamiento futuro del pavimento.

El desarrollo de modelos mecánicos se basa no solo en datos de pavimentos existentes, sino que particularmente en características del comportamiento de las

⁴ Solminihac, Hernán. Gestión de infraestructura vial.

diversas capas y materiales que conforman los pavimentos, específicamente en las propiedades físicas y mecánicas de la sub-base, la base y la capa de ruedo.

Existen diferentes programas de cómputo que permiten, a partir de los modelos de deterioro, elegir la mejor planificación para la conservación de un camino, optimizando los resultados tanto de su nivel de servicio como de los costos involucrados.

Además con los modelos de deterioro se pueden definir políticas y estándares de mantención, basados en condiciones de deterioro relevantes del pavimento.

De los resultados obtenidos con los modelos de deterioro y los programas de cómputo adecuados (HDM), es posible desarrollar planes de conservación los cuales son una valiosa herramienta de programación a corto, mediano y largo plazo. Con base en estos planes se proyectan tanto las inversiones como las actividades a realizar año tras año.

4.2 APLICABILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO

Se aplican a diversos aspectos relacionados con la administración de pavimentos, como por ejemplo:

- Creación de un sistema de administración de pavimentos, que sirva de modelo para predecir los futuros deterioros del pavimento y para evaluar los resultados de aplicar diversas alternativas de mantenimiento, para elegir la mejor planificación para la conservación de caminos, que optimice los resultados tanto del nivel de servicio como de los costos involucrados en lograrlo.
- Generación de un conjunto de políticas y estándares de mantenimiento basados en condiciones de deterioro relevantes del pavimento, cuya conducta puede predecirse con base en los modelos de comportamiento de dichas condiciones. Conociendo los deterioros en el tiempo es posible generar una política de mantenimiento adecuada y coherente que permita mantener el nivel de servicio requerido del pavimento a lo largo del tiempo.
- La evaluación del efecto relativo de algunas características del diseño con respecto a otras.

Los modelos de deterioro deben ser bien cuantificados y adecuadamente validados. Entre los requerimientos que deben cumplir se cuentan:

- Los modelos matemáticos deben predecir la condición del camino en el tiempo, además de permitir conocer los efectos de corto y largo plazo de las actividades de mantenimiento y estimar el momento más adecuado para realizarlas.
- La calidad del nivel de servicio del pavimento y la tendencia de su condición debe ser cuantificada de modo tal que se tenga directa relación con los factores que provocan su cambio y con la decisión ingenieril de intervenir el camino.

- Para que su implementación dentro de un sistema de administración de pavimentos sea factible, los modelos de predicción deben utilizar sólo parámetros que puedan ser medidos físicamente y obtenidos con facilidad con base en los recursos humanos y materiales con que se cuente en las correspondientes entidades encargadas de la administración de pavimentos.
- Para ser válidas, las predicciones deben tener una base empírica bien cuantificada.
- Los modelos deben ser aplicables a la región de interés, en todo sentido, inclusive en lo referido a tránsito, medio ambiente, materiales y métodos de construcción. Por lo general, modelos que han sido desarrollados para una región con características específicas no son del todo extrapolables a otros pavimentos en otras regiones diferentes a la original.
- Deben tenerse siempre en cuenta los conceptos estadísticos de probabilidad y confiabilidad asociados a las predicciones que realizan los modelos, dado que la confiabilidad de las predicciones es dependiente de tres fuentes de variación principal:
 - o El comportamiento aleatorio de los materiales bajo condiciones naturales.
 - o La imposibilidad de contar con un modelo cuyos parámetros sean capaces de representar a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento.
 - o Los errores surgidos de las diferencias entre comportamientos observados en los pavimentos (comportamiento histórico) al momento de originar los modelos y comportamientos actuales de los mismos.

4.3 TIPOS DE MODELOS DE DETERIORO

Se pueden clasificar, de acuerdo con las fases del deterioro presentado por los pavimentos, en dos tipos:

- Modelos de primera fase: Son aquellos que consideran el deterioro que se produce entre la puesta en funcionamiento de una vía, inmediatamente después de su construcción y el momento en que se lleva a cabo en ella una reparación de importancia. Para tal efecto es necesario precisar que se considera como reparación de importancia en un pavimento aquella que genere un mejoramiento en el nivel de servicio de la vía.
- Modelos de segunda fase: Son aquellos que consideran el deterioro que se produce desde la realización de un mantenimiento de importancia en adelante. Al llevar a cabo una rehabilitación siempre se elimina o se reduce el deterioro existente, o bien, se afecta a la progresión del mismo para el futuro, por lo que el comportamiento del pavimento en la etapa posterior a la actividad de mantenimiento es, por lo general, diferente al de la primera fase, ya sea porque

el deterioro inicia desde cero nuevamente o porque la progresión con que avanza el mismo es menor (o mayor) que antes de la reparación.

Dependiendo de la forma de predicción que presentan los modelos de deterioro, se pueden clasificar en dos tipos a saber:

- Modelos de deterioro agregados (acumulados): son aquellos que para predecir un deterioro futuro requieren conocer por completo la historia previa del comportamiento del pavimento (tasa de crecimiento del tránsito a lo largo de la vida del pavimento, tránsito medio anual al inicio del servicio del pavimento, ejes equivalentes acumulados al momento de la evaluación, nivel de servicio inicial al momento de la puesta en servicio).
- Modelos de deterioro de tipo incremental: no requieren conocer la historia previa para predecir los comportamientos futuros, sino que permiten hacerlo con base en un conjunto de ecuaciones y operaciones lógicas, necesitando conocer sólo el estado o condición actual del pavimento, además de las características estructurales y climáticas existentes y el tránsito que circula en el año de evaluación por dicho pavimento.

4.4 CALIBRACIÓN DE MODELOS DE DETERIORO

Cuando un modelo de deterioro, desarrollado con información empírica asociada a determinadas condiciones de clima, tipo y forma de cargas, materiales y técnicas constructivas, es usado en condiciones diferentes a las que sirvieron para su desarrollo, pueden presentarse diferencias de cierta importancia entre los deterioros que el modelo predice y los que se observan en la realidad. Dichas diferencias pueden deberse a diversas causas, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- Errores en los datos observados: inadecuada técnica de medición, mal registro de datos, uso incorrecto del modelo aplicado.
- Errores en los datos estimados
- Condiciones diferentes a las originales del modelo
- Inadecuación del modelo: Eliminar o no considerar variables significativas en el modelo de predicción.
- Aleatoriedad del comportamiento de los materiales y las estructuras.

Para minimizar y verificar la competencia del modelo es necesario calibrarlos. Calibrar un modelo de deterioro consiste en definir un procedimiento de cálculo de factores de calibración numéricos, que modifican la predicción del modelo ajustándolo de acuerdo a la información provista por bases de datos de pavimentos de una región o país. Esto se realiza a través de la minimización de

la diferencia entre las predicciones del modelo y un conjunto de datos de deterioro medidas en el terreno.

4.4.1. Calibración de modelos a nivel de red

- Método de “ventanas”: Se deben seleccionar un conjunto de secciones de caminos que tengan características similares, pero edades lo más diferentes posibles, a fin de registrar el estado de deterioro de cada uno y reconstruir curvas de deterioro representativas del conjunto. Estableciendo las condiciones de similitud, con base en la fijación de niveles en cada una de las variables explicativas del deterioro, pueden obtenerse distintos grupos de pavimentos en una red; a cada grupo de pavimentos con características similares corresponderá una serie de factores de calibración para las correspondientes curvas de evolución de los distintos tipos de deterioro. Los modelos calibrados según este método representan condiciones medias dentro de cada conjunto de pavimentos, por lo cual son muy útiles para evaluar políticas de mantenimiento a nivel de red.
- Análisis de deterioro predicho vs observado: mediante este análisis no se ajusta la curva de comportamiento en forma directa, sino el conjunto de datos de deterioro predichos y observados para un determinado grupo de pavimentos. Este método tiene la ventaja de que el análisis no requiere que los pavimentos seleccionados sean similares entre sí, ya que no se ajustan curvas medias de la evolución del deterioro, sino que se corrige una tendencia global a la sub o sobre predicción del deterioro.

5. CRITERIO DE PRIORIZACIÓN DE INVERSIONES

Las municipalidades deben asumir la responsabilidad de mantener y mejorar el nivel de servicio de la red vial bajo su jurisdicción, además, deben asegurar los recursos, en forma permanente, para el mantenimiento de dichas carreteras y determinar la lista de proyectos que ingresarán al programa de inversiones del período. Para la priorización de proyectos, deben considerarse tanto la evaluación funcional y estructural como los costos de operación de los usuarios durante un período de análisis que refleje el ciclo de vida de cada proyecto.

Existen tres tipos de metodologías de priorización:

- Priorización anual
- Priorización multianual
- Priorización multicriterio

Las dos primeras están enfocadas al periodo para el cual se realizará la priorización, mientras que la última se enfoca más a los factores que influirán en la priorización de los proyectos o de las inversiones.

5.1 PRIORIZACIÓN ANUAL

Como un primer acercamiento a la eficiente gestión vial municipal, se puede pensar en programas de priorización anual, a partir de los cuales, se empiece a desarrollar la “cultura de la priorización” hasta llegar a niveles mas detallados donde se aplican programas multianuales.

Los programas de un solo año deben derivarse a partir de una lista de proyectos prioritarios, los cuales deben ser consistentes con las restricciones presupuestarias.

Esta selección de proyectos puede realizarse mediante los criterios de análisis matricial, árboles de decisión o criterios más complejos como el análisis de ciclos de costo de vida.

Además, es necesario considerar algunos costos adicionales tales como: sistemas de drenajes, pavimentación de espaldones, alumbrado, medianeras y ajustes geométricos.

A partir de la lista de proyectos seleccionados, se aplican procesos de priorización. Existen diversos métodos, entre los cuales están:

- Priorización por deterioro o desempeño: se utilizan las determinaciones individuales de deterioro y/o desempeño para priorizar los proyectos.
- Priorización por indicadores combinados: los diferentes indicadores individuales de deterioro y/o desempeño se combinan de acuerdo con un sistema de ponderación, para obtener un índice combinado. La priorización se inicia con los proyectos más cercanos a un valor inaceptable para el indicador individual.
- Priorización por un criterio compuesto: corresponde a una combinación de los métodos anteriores. Para una primera selección se puede establecer como punto crítico un tipo de deterioro y/o el desempeño. Luego los proyectos seleccionados se priorizan a partir del indicador combinado de desempeño u otro criterio de falla o deterioro individual.
- Priorización por menor costo inicial: la priorización se hace con base en el costo inicial (valor de construcción), así los proyectos con menores costos de construcción se realizarán primero.
- Priorización por menor costo presente neto: se realizan análisis de ciclos de costo de vida para cada proyecto y se clasifican los proyectos de acuerdo con su costo presente neto. Se realizan los proyectos con menor costo presente neto.
- Priorización por razón beneficios/costos: en caso de que sean cuantificables los beneficios relacionados con el pavimento (crecimiento económico, producción, peajes, ahorro en costos de operación, etc), se calcula el valor presente neto de todos los beneficios (entradas de dinero) y se calcula la razón beneficios/costos.

$$B/C = \frac{VPN(\text{beneficios})}{VPN(\text{cos tos})}$$

Donde VPN: Valor presente neto

5.2 PRIORIZACIÓN MULTIANUAL

Comprende una programación para varios años, utilizando modelos de desempeño para establecer en qué momento se requiere una intervención en cada proyecto.

Lo usual es programar para períodos de aproximadamente 10 años, revisando las curvas de deterioro en forma periódica (por ejemplo cada año), de acuerdo con la realidad de la situación del pavimento.

Para la priorización multianual se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Utilizar el método de análisis de costos por ciclo de vida, definiendo las opciones de rehabilitación más económicas para cada sección de pavimentos.
- Para cada proyecto de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción se evalúa su beneficio, analizando el área entre las curvas de desempeño de aplicar la medida de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción y no hacer nada. Dicha área puede ser afectada por el volumen de tránsito y la longitud de la sección.

$$B \text{ ajustado} = B * TPD * longitud * FC$$

donde:

B ajustado: beneficio relativo al proyecto (valor presente)

B: beneficio del proyecto, a partir de la diferencia entre las curvas de desempeño de la intervención y la de no hacer nada.

TPD: tránsito promedio diario

Longitud: extensión del pavimento

FC: factor de cuantificación del ahorro en los costos del usuario. Depende del tipo de pavimento, del tipo de proyecto y del tipo de usuario.

- Determinar el costo presente neto (C)
- Calcular la razón beneficio-costos (B ajustado/ C) para cada proyecto.
- Priorizar los proyectos con base en la mayor relación beneficio-costos.
- Seleccionar los proyectos con mayor razón beneficio-costos, hasta que se agota el presupuesto del período multianual.

5.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

El primer paso para seleccionar proyectos prioritarios consiste en el establecimiento de tramos que cumplan con ciertas condiciones mínimas. Una vez que se definen, estos tramos son evaluados y priorizados preliminarmente con criterios puramente económicos. Para esto se pueden emplear programas como el HDM, cuya función primordial es el análisis de los deterioros y los efectos de la conservación de carreteras, para una serie de alternativas de conservación especificadas.

Una vez realizada esta evaluación y priorización preliminar, se seleccionan los tramos que se analizarán para una priorización definitiva, basándose en una metodología de evaluación multicriterio.

Esta metodología establece un plan de inversiones sobre la base de una priorización de proyectos. Se consideran dos aspectos fundamentales en la formulación de los criterios de evaluación:

- De tipo económico-financiero y de corto plazo: se refiere al impacto que las inversiones tienen en la actividad económica regional como efecto de la ejecución de las obras.
- De tipo social – económico y de largo plazo: tiene que ver con los resultados en el cambio de los procesos de desarrollo regional de las zonas impactadas por las inversiones (beneficio no monetario).

5.3.1. Indicadores asociados al impacto de la inversión

Se han definido un conjunto de indicadores de evaluación basados en la cuantificación de los resultados o impactos esperados por el desarrollo de los proyectos. A partir de estos índices se construye un indicador único de evaluación multicriterio.

Criterios o índices asociados al impacto económico

- Índice de rentabilidad económica: generalmente la priorización de proyectos viales se basa en la tasa interna de retorno que cada uno genera. Este criterio refleja la bondad económica que se espera se genere con la inversión en un período determinado de tiempo. El criterio no considera los beneficios agregados en el ámbito productivo, ni los derivados por el mejoramiento en los niveles y calidad de vida de la población impactada, como tampoco muestra la velocidad de recuperación o de obtención de los beneficios.
- Índice de productividad: este índice permite medir el impacto relativo que el mejoramiento de la infraestructura vial tiene en la productividad o en el rendimiento económico, medido a través de los ingresos medios generados por una unidad básica de producción en el área de influencia directa del camino.

- Relación valor presente neto (VPN)/costo del proyecto: el VPN de un proyecto corresponde a la estimación de su valor en precios de hoy; es el equivalente en dinero actual de la totalidad de los ingresos y egresos esperados por el desarrollo del proyecto durante su vida de operación económica. Un VPN positivo con una relación con el costo de inversión alta, muestra que los beneficios del proyecto son significativos durante su vida útil. Con este indicador se busca medir la velocidad de generación de los beneficios en el tiempo.
- Generación de empleo/inversión: este indicador se refiere a la generación de empleo directamente relacionada con la ejecución y operación del proyecto.

Criterios o índices asociados al impacto social

- Inversión per cápita: con este indicador se busca medir la cobertura que el desarrollo del proyecto tiene sobre las personas localizadas dentro del área de influencia.
- Índice de accesibilidad de servicios: con el mejoramiento de los caminos se logra incrementar el acceso de las comunidades a los servicios básicos: educación, vivienda, agua potable, etc, con el fin de elevar sus posibilidades de progreso, integración social.
- Inversión por unidad de área de influencia directa: este indicador permite cuantificar el impacto distributivo de la inversión dentro de la región en la cual se desarrolla un proyecto específico.

Criterios o índices asociados al desarrollo global

- Índice de integración vial: mide la variable relacionada a la importancia que el camino tiene en su zona de influencia. Esta importancia siempre será relativa, y mide desde el punto de vista de la integración, el grado de importancia que el camino reviste para el municipio, es decir en orden de prioridades, se le da más valor específico a un camino que comunica una aldea con su cabecera municipal o que la comunica con otro camino de importancia superior, dentro de su clasificación, que a otro camino que comunique una aldea con otra aldea o con otro camino de igual categoría.
- Índice de integración nacional/regional: en todo plan de desarrollo se busca la integración territorial, entendida en términos geopolíticos, como el de la conformación de territorios de igual accesibilidad y uniformidad en términos

económicos. La medición de la cobertura geopolítica podría limitarse a la cuantificación del área física de una región determinada, o del área comprendida dentro de los límites establecidos en la distribución de un territorio.

- Consistencia con las políticas nacionales: la cuantificación de la consistencia de un proyecto con cada una de las políticas socioeconómicas nacionales o regionales, es sujeto de discusiones de tipo político, por lo que para su valoración es conveniente clarificar el objetivo de cada política y a su vez conformar un comité multidisciplinario para cuantificar o calificar el apoyo que un proyecto ofrece a una o varias de las políticas nacionales.
- Consistencia con planes de desarrollo regional: la inversión en infraestructura vial tiene impactos directos a niveles locales, independientemente del tipo de infraestructura propuesta.

Para obtener, a partir de estos índices, un indicador de evaluación multicriterio se propone la siguiente ponderación relativa y de grupo:

Tipo de impacto	Criterios o índices	Ponderación	
		Relativa	Grupo
Económico	Índice de rentabilidad económica	30	30
	Índice de productividad	25	
	Relación VPN/costo del proyecto	25	
	Generación de empleo/inversión	20	
Social	Inversión per cápita	50	40
	Índice de accesibilidad a servicios	30	
	Inversión por unidad de área de influencia directa	20	
Desarrollo global	Estructuración red vial	40	30
	Integración nacional/regional	20	
	Consistencia con las políticas nacionales	20	
	Consistencia con las políticas regionales	20	

En la figura No.3 se propone un esquema para la evaluación multicriterio.

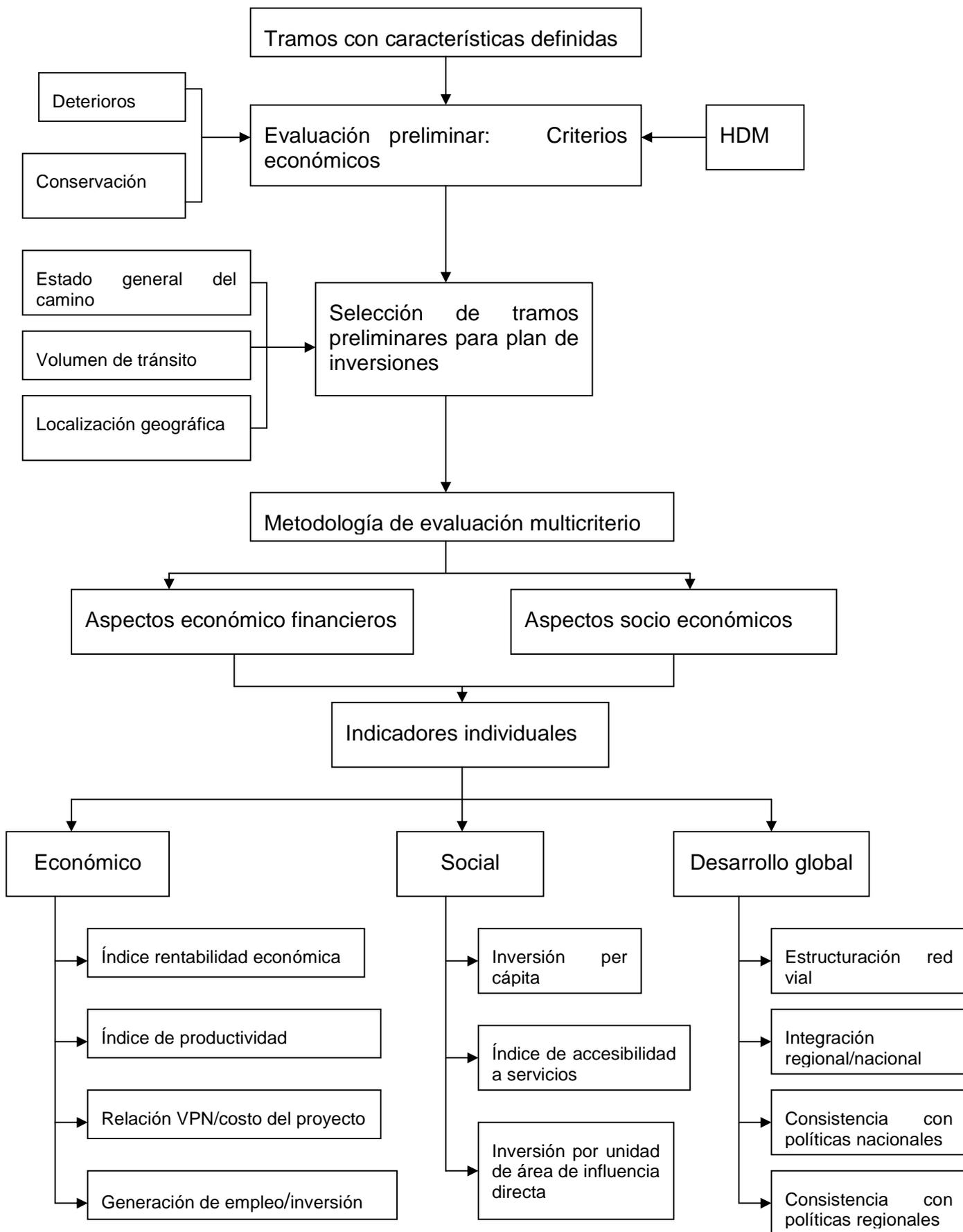


Figura No. 3: Priorización de inversiones

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arce M; Castro P; Gutierrez T. Evaluación de pavimentos. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, UCR. Costa Rica 2003.
2. Centro de Ingeniería e investigación vial. Guía para la selección y construcción de sellos asfálticos de conservación. Chile. 2000.
3. De Solminihac. Hernán. Gestión de Infraestructura Vial. Ediciones Universidad Católica de Chile. Primera edición, 1998
4. Gordillo C, Bockelmann C, Benzadon M, Sistema de administración y manejo integral de carreteras de Panamá: toda una experiencia convertida en una enorme herramienta. Technology and management, TNM LTD Colombia.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Conceptos de gestión de pavimentos	2
2.1	Gestión a nivel de red	2
2.2	Deterioro de pavimentos asfálticos	3
2.3	Tipos de deterioro de pavimentos.....	4
2.4	Tipo de acciones.....	7
2.5	Estrategias de acción.....	7
2.6	Criterio de umbrales de conservación.....	8
3.	Desarrollo de estrategias de mantenimiento y rehabilitación	8
4.	Aplicación de modelos de deterioro	10
4.1	Conceptos generales	10
4.2	Aplicabilidad de los modelos de deterioro.....	11
4.3	Tipos de modelos de deterioro.....	12
4.4	Calibración de modelos de deterioro.....	13
4.4.1.	Calibración de modelos a nivel de red	14
5.	Criterio de priorización de inversiones	14
5.1	Priorización anual.....	15
5.2	Priorización multianual	16
5.3	Metodología de evaluación multicriterio.....	17
5.3.1.	Indicadores asociados al impacto de la inversión.....	17
6.	Referencias bibliográficas	21