

---

## **METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE INVERSIÓN EN MANTENIMIENTO DE CAMINOS, UTILIZANDO EL SOFTWARE HDM-4**

Mg. Ing. Mauricio Pradena, (Autor de Correspondencia), Ing. Joaquín Rivera,  
Dr. Ing. Tomás Echaveguren,  
Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Correo 3, Concepción, Chile.  
E-mail: mpradena@udec.cl, joarivera@udec.cl, techaveg@udec.cl

### **RESUMEN**

En el presente estudio se construyó una metodología de conservación de carreteras a nivel de red, la cual contempló el uso del software HDM-4. Una de las principales ventajas de utilizar este software, radica en la factibilidad de contar en Chile con la calibración de los modelos de deterioro y de operación vehicular.

El principal objetivo de este estudio fue construir una herramienta metodológica que entregue planes de inversión en mantenimiento de carreteras que sean rentables desde el punto de vista de la evaluación social. Además se analizó las posibilidades del software HDM-4 para incorporar en la evaluación, las externalidades producidas por el transporte.

Finalmente se realizó una aplicación de la metodología propuesta a una parte de la Red de la IV región del país.

*Palabras claves: Mantenimiento, Carreteras, HDM-4.*

### **ABSTRACT**

In the present study a methodology for roads conservation was constructed at network level, which contemplated the use of the HDM-4 software. One of the main advantages of using this software is the feasibility of having in Chile the calibration of deterioration and traffic operation models.

The main aim of this study was to construct a methodological tool that delivers investment plans in maintenance of roads to be profitable from the social evaluation's point of view. In addition, the possibilities of the HDM-4 software to incorporate in the evaluation the externalities produced by transport were analyzed.

Finally, an application of the methodology proposed was realized to a part of the IV region's Network of the country.

*Keywords: Maintenance, Highway, HDM-4*

## 1. INTRODUCCIÓN

La inversión en mantenimiento de caminos requiere de análisis profundos que permitan determinar la bondad del proyecto, esto debido a la importancia de los recursos necesarios que requiere la inversión, ya que éstos generalmente son elevados y deben ser soportados por la sociedad. Junto con esto, la existencia de limitaciones en recursos económicos no admiten la ocurrencia de una inversión mal ejecutada, como puede ocurrir en la ejecución arbitraria de una inversión. A todo esto se debe sumar aspectos particulares de la conservación vial como son las oportunidades de intervención, la elección de las acciones de mantenimiento con las cuales se intervendrá el camino, los costos asociados y los efectos que produzcan.

Considerando todo lo anterior es necesario contar con una metodología para la elaboración de planes de inversión en mantenimiento de caminos. Sin embargo, en Chile existen muy pocas metodologías, siendo a nivel de red las más escasas. Además, las que existen son insuficientes y presentan una serie de limitantes que deben ser corregidas. Por este motivo, surge la necesidad de elaborar una metodología que ayude a evaluar de mejor manera, estrategias de mantenimiento de una red vial.

El objetivo de esta investigación es elaborar una metodología que entregue planes de inversión en conservación de caminos a nivel de red. Para realizar parte de esto, la metodología contempla el uso del software HDM-4.

Primeramente se realizó un estudio y análisis de las metodologías existentes en Chile, tanto a nivel de proyecto como a nivel de red. Luego se identificó las limitaciones que presentaban cada una de ellas. Además se analizó la posibilidad de incorporar en el software HDM-4 los beneficios directos, indirectos y las externalidades en la evaluación de proyectos de mantenimiento. Posterior a ello, se elaboró una metodología que sirva de ayuda para evaluar de mejor manera proyectos de conservación de caminos a nivel de red.

Finalmente, se realizó un ejemplo de aplicación de la metodología propuesta a una parte de la red de la IV Región. Allí se definieron distintos escenarios, como el caso con restricción presupuestaria, considerando distintos criterios para su solución, como impactos debido al transporte, cobertura, priorización y la reasignación.

## 2. GENERALIDADES

Las carreteras que forman parte de una red vial, cualquiera sea su estándar y nivel de tránsito, se deterioran con el paso del tiempo. Este deterioro es lento durante los primeros años, a veces casi imperceptible, pero se incrementa drásticamente si no se efectúan oportunamente labores de conservación. En algunos casos puede producirse la destrucción completa del camino en un plazo inferior al período de diseño.

Es importante señalar, que cuando las redes viales se encuentran en malas condiciones, cada dólar “ahorrado” en conservación cuesta US \$3 más en costos de operación vehicular que deben pagar los usuarios y US \$3 más en costos de reconstrucción y rehabilitación que debe pagar la agencia vial (Bull, 2002).

## **2.1 Metodologías de Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Usadas en Chile**

A continuación se presentan brevemente metodologías o métodos existentes en Chile.

### **2.1.1 Ministerio de Planificación (MIDEPLAN)**

El Ministerio de Planificación cuenta con una serie de metodologías para la evaluación social de proyectos, entre las cuales se cuenta con la Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Transporte Interurbano. Ésta permite determinar la rentabilidad social de una serie de proyectos camineros, dentro los cuales se incluye la conservación de caminos.

Sin embargo, esta metodología utiliza el modelo HDM-III simplificado, una versión que presenta una serie de limitantes que deben ser consideradas. Una de las más significativas, se refiere al hecho que el deterioro no depende del estado del camino, modelando una situación que puede estar muy lejos de la realidad. Además, se sabe que este modelo se basa en estudios realizados hace más de 20 años, por lo que no incluye los resultados de muchas investigaciones realizadas en el mundo. Esto afecta, por ejemplo, el caso de los costos de operación de vehículos. Se sabe que la tecnología de estos ha mejorado mucho en los últimos años, por lo cual los costos típicos de operación podrían ser bastantes mayores que los reales.

### **2.1.2 Ministerio de Obras Públicas (MOP)**

Actualmente, la Dirección de Vialidad utiliza la metodología mencionada en el punto anterior, para proyectos de mejoramiento, tales como pavimentaciones, ampliaciones de calzada, entre otros. Sin embargo, para el caso de la conservación, ellos no poseen una metodología formal en este tema. Ellos internamente poseen un procedimiento para realizar esta tarea, pero no está claro ni disponible cuál es. Solamente se conoce, que el Departamento de Gestión Vial organiza y coordina cada dos años campañas para conocer el estado de los caminos. Posteriormente, estos resultados, junto con la información proveniente de otras dependencias de la Dirección de Vialidad, son utilizados como parámetros de entrada para hacer evaluaciones técnico-económicas con el software HDM-4 (MOP, 2008).

## **2.2 Uso del HDM-4 en la Gestión de Carreteras**

Esta herramienta ofrece tres tipos de aplicaciones, a saber:

- Análisis de proyecto: El análisis de proyectos tiene relación con la evaluación de uno o más proyectos carreteros a través de una detallada evaluación económica del ciclo de vida.
- Análisis de programa: Este análisis trata con la priorización de una serie de proyectos de inversión considerados en un programa de trabajo, para uno o más años de inversión bajo restricciones presupuestales.

- Análisis de estrategia: Se utiliza para el estudio de redes completas o subredes, cuyo objetivo es preparar estimaciones a mediano y largo plazo de los gastos necesarios para el desarrollo y la conservación de carreteras, bajo diferentes escenarios presupuestarios.

### 3. METODOLOGÍA

La presente metodología es una guía para evaluar socialmente estrategias de conservación de caminos a nivel de red.

#### 3.1 Teoría en la que se basa la Metodología

La realización de esta metodología tiene como principal objetivo asignar eficientemente los recursos destinados a la conservación de una red vial, llevando a cabo aquellos planes de inversión que maximicen el bienestar del país.

Esta metodología consiste básicamente en comparar los beneficios provenientes de los ahorros de los costos de los usuarios, con los costos de conservación que se producen a lo largo del ciclo de vida de la red.

Como ayuda para la toma de decisión se consideran los siguientes indicadores económicos:

a).- VAN SOCIAL: Es igual a la diferencia entre los flujos de los beneficios y los costos sociales, actualizados a la tasa de descuento pertinente. La fórmula para el cálculo del VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Donde:

B<sub>t</sub> = Disminución en costos de los usuarios con respecto a la alternativa base, en el período "t".

C<sub>t</sub> = Incrementos en costos de la Administración con respecto a la alternativa base en el período "t".

r = tasa social de descuento.

n = horizonte de evaluación del proyecto.

b).- IVAN SOCIAL (VAN/INVERSIÓN): Corresponde a la razón del valor actual neto y el monto total de la inversión, actualizado a la tasa de descuento social.

#### 3.2 Determinación de Tramos Homogéneos

Para lograr un correcto análisis de una red vial, es necesaria dividirla en tramos homogéneos, para así ordenar y simplificar la estructura de datos. Este procedimiento es indispensable, especialmente cuando se analiza una gran cantidad de kilómetros. Se procederá entonces a dividir

la red vial en estudio, en tramos homogéneos de acuerdo con las características físicas y las variables que más influyen en el comportamiento de los pavimentos y en los costos de los usuarios.

### **3.3 Definición de las Alternativas**

a).- Alternativa base optimizada: La alternativa base se determina ejecutando obras menores de conservación que mejoren las condiciones de operación del camino. Además, esta alternativa servirá como referencia para efectos de comparación con otras alternativas más intensivas en conservación.

b).- Alternativas con proyectos: Estas alternativas requieren obras mayores de conservación con respecto a la situación base, y generalmente incluyen trabajos de rehabilitación o reconstrucciones. Se deben describir, al menos 2 alternativas de inversión, pues estas se compararán para cada tramo, con la intención de calcular los beneficios y elegir la más conveniente para la sociedad.

### **3.4 Horizonte de Evaluación**

Para evaluar una estrategia de una red vial, se debe definir un período de análisis u horizonte de evaluación, el cual dependerá de las características particulares del proyecto. No obstante, se recomienda utilizar un período de 10 o 20 años, pues es el que recomienda MIDEPLAN y el que utiliza comúnmente la Dirección de Vialidad.

### **3.5 Valor Residual**

El valor residual del proyecto representa el valor de la carretera en el último año del horizonte de evaluación. En el presente estudio, no se considera el valor residual, pues conceptualmente se utiliza más bien en obras de construcción o mejoramiento. Además por esta misma razón, el HDM-4 no lo considera en obras de conservación.

### **3.6 Estimación de Costos y Beneficios**

La metodología contempla el uso del software HDM-4 para calcular los costos de los usuarios y los costos en conservación. En vista que el principal objetivo de este estudio es generar una estrategia de inversión a mediano y largo plazo para un conjunto de tramos de una red vial, se utilizará el análisis de estrategia como herramienta para evaluar la red vial en estudio.

Para utilizar el software se necesitan una serie de datos que se resumen en las siguientes tablas:

**Tabla 1. Datos y fuentes generales para todo proyecto carretero**

Datos	Fuentes sugeridas	Observación
Datos del parque de vehículos.	Actualización de la Metodología para la Estimación de los Costos de Operación Vehicular. Dirección de Vialidad. MOP 2008.	El parque vehicular corresponde a los distintos tipos de vehículos que transitan por la red vial. En este estudio, se definieron 14 categorías de vehículos.
Calibración del modelo de costos operacionales.	Actualización de la Metodología para la Estimación de los Costos de Operación Vehicular. Dirección de Vialidad. MOP 2006.	En este estudio, se calibró el modelo de velocidades, sobre la base de la calibración de los modelos de consumo de recursos (combustibles, lubricantes, neumáticos, repuestos y mano de obra).
Factores de calibración de modelos de deterioro.	Recomendaciones para la Utilización del HDM-4 en Chile. MOP y DICTUC 2003.	En este informe se encuentran los factores de ajuste de los modelos de agrietamiento, pérdida de áridos, baches, ahuellamiento y rugosidad para el caso de Chile.
Tasa social de descuento.	Tasa Social de Descuento. MIDEPLAN 2009.	Actualmente, la tasa social de descuento es un 6%.
Precios sociales para proyectos de transporte.	Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos. MIDEPLAN 2009.	Los precios sociales corresponden al valor que refleja el verdadero costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de los factores de un proyecto de inversión.
Estándares de Conservación	Recomendaciones para la Utilización del HDM-4 en Chile. MOP y DICTUC 2003.	Los estándares de conservación se utilizarán para construir las alternativas de inversión.

Fuente: Adaptado de MOP 2008.

**Tabla 2. Datos y fuentes necesarias para el análisis de los tramos de la red vial**

Datos	Características	Fuentes Sugeridas
Datos de Inventario Vial	- Longitud.	Inventario Vial de Caminos Pavimentados. Dirección de Vialidad. MOP 2008.
	- Números de carriles.	
	- Anchos de calzada y bermas.	
	- Terreno (pendiente y curvatura).	
	- Estructura por capa.	
	- Espesores.	
Datos de Auscultación de Pavimentos	- Historia de construcción y mantenimiento	Proposición de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada y Bermas para Caminos Pavimentados de la Red Vial Nacional. Departamento de Gestión Vial. Dirección de Vialidad. MOP 2008.
	- Rugosidad.	
	- Área fisurada.	
	- Número de baches.	
	- Textura.	
Datos de Tránsito	- Rozamiento.	Departamento de Estadísticas y Censos de Tránsito. Dirección de Vialidad. MOP 2008.
	- TMDA.	
	- Volumen por tipo de vehículo.	
	- Crecimiento futuro.	

Fuente: Adaptado de MOP 2008.

### 3.7 Elección de alternativas óptimas sin restricción presupuestaria

En esta etapa se procede a calcular los indicadores económicos de las alternativas para cada tramo de la red vial. Se define como criterio de elección, escoger la alternativa que reporte un mayor IVAN. No se eligió el VAN, pues se podría dar el caso de que alguna alternativa produzca un VAN un poco mayor pero que los costos de inversión sean mucho mayores. En ese caso esa opción no sería la más conveniente, considerando que los recursos estatales en conservación generalmente son reducidos.

Ahora bien, en toda ejecución de obras de mantención, se generan impactos adversos durante el período en que duran los trabajos. Uno de los más afectados por estos impactos son los usuarios que sufren costos adicionales por usar la vía donde se realizan los trabajos. También se ven afectadas las actividades económicas que se desarrollan contiguas al camino, por ejemplo, una baja en el nivel de ventas, debido a problemas de accesos. Estos impactos, si bien son de difícil cuantificación, deben ser considerados a la hora de tomar una decisión, como privilegiar las alternativas que requieran un número menor de intervenciones durante el ciclo de vida del camino.

Finalmente, una vez realizado la comparación y posterior selección de las alternativas más convenientes, se procede a entregar el plan de inversiones de toda la red vial. Los trabajos y los años de intervención son obtenidos con el análisis de estrategia del software HDM-4.

### 3.8 Análisis con Restricción Presupuestaria

Si las necesidades presupuestarias del proyecto son mayores al presupuesto disponible, entonces el usuario debe seguir los siguientes pasos:

1.- Ejecutar un análisis económico y una optimización con el HDM-4.

La optimización se realiza usando la escala de aumento VAN/coste y el objetivo es seleccionar la combinación de opciones de inversión que maximicen el VAN/coste de los tramos seleccionados de la red y cuyos costes de inversión sean menores que el presupuesto disponible.

Sin embargo, existe la posibilidad que el HDM-4 excluya algunos tramos cuyo VAN/coste no alcancen a ser seleccionados debido a la restricción presupuestaria, entregando resultados que pudieran considerarse como inaceptables. Por ejemplo, un alto valor en el IRI de algunos tramos, no permitiría una adecuada circulación para los usuarios, por motivos de seguridad y elevados costos operacionales.

2.- Revisar las alternativas elegidas y realizar la reasignación de los umbrales de conservación.

Estableciendo como criterio la maximización de la cobertura de la red, y en particular alcanzar el 100% de cobertura, se procederá a bajar la exigencia de los umbrales de intervención de las respectivas alternativas, con el fin de cubrir tramos que el HDM-4 no alcanzaba a considerar.

#### 4. EXTERNALIDADES

En esta sección se analizan las posibilidades del software HDM-4 para incorporar en la evaluación, las externalidades producidas por el transporte. A continuación se analizan brevemente las externalidades más importantes:

- Emisiones: Con el uso del modelo de efectos ambientales incluido en el HDM-4, se tiene la posibilidad de conocer, aproximadamente, la cantidad de emisiones generadas en la red vial. Sin embargo, en el desarrollo de este estudio, se pudo verificar que el HDM-4 no permite discriminar adecuadamente entre las emisiones de la situación base y la situación con proyecto.
- Accidentes en carreteras: Los accidentes en carreteras se consideran al ingresar la tasa de accidentalidad en el modelo “tipo de velocidad capacidad”. Para realizar una disminución de la cantidad de accidentes es necesario realizar una mejora en la carretera, pues solamente de esta manera podemos disminuir la cantidad de accidentes. Sin embargo, esta metodología no considera la realización de mejoras. Por lo tanto, no es posible comparar distintas alternativas con el HDM-4, para encontrar la alternativa que reporte una menor cantidad de accidentes.
- Ruido: El módulo de ruido no se ha incluido en el programa HDM-4 (hasta la versión 2.05), dejando su inclusión para futuras versiones de este software.

#### 5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

##### 5.1 Datos de la Red Vial Analizada

Como ejemplo de aplicación de la metodología se analizó una parte de la red vial de la IV región. A continuación se muestran los caminos considerados en este estudio. De acuerdo con el punto 3.2 de la metodología se procedió a dividir la red vial en 68 tramos homogéneos:

**Tabla 3. Características de caminos de la red vial**

Camino	KM Inicial	KM Final	Longitud (Km)	Nº de Tramos Homogéneos
1	5,7	151,5	145,8	29
2	3,2	65,5	62,3	8
3	0	41,6	41,6	9
4	0,45	36,2	35,75	7
5	0	29,3	29,3	2
6	0	29,9	29,9	4
7	0	27,1	27,1	6
8	3,7	10,75	7,05	2
9	0,3	11,9	11,6	1
<b>TOTAL</b>			<b>390,4</b>	<b>68</b>

Fuente: Adaptado de MOP 2008.



## 5.2 Definición de Alternativas

De acuerdo con el punto 3.3 de la metodología, se procedió a definir las alternativas de mantenimiento con la que se evaluó la red vial en estudio:

**Tabla 4. Alternativas de mantención de carreteras utilizadas**

Alternativas	Descripción
Base	Bacheo. Conservación Rutinaria Asfalto. Sello de Agregados al 25% del área agrietada.
1	Bacheo. Conservación Rutinaria Asfalto. Lechada Asfáltica al 10% del área agrietada. Recapado T2 IRI>4,0 para TMDA<300. Recapado T3 IRI>3.5 para 300 <TMDA<1200. Recapado T4 IRI>3.5 para 1200<TMDA<3000. Recapado T5 IRI>3.5 para TMDA>3000.
2	Bacheo Conservación Rutinaria Asfalto Sello de Agregados al 15% del área agrietada. Repavimentación asfáltica T1 para 5,0 < IRI < 7,0 y TMDA < 300 Repavimentación asfáltica T2 para 5,0 < IRI < 7,0 y 300 < TMDA < 1200 Repavimentación asfáltica T3 para 5,0 < IRI < 7,0 y 1200 < TMDA < 3000 Repavimentación asfáltica T4 para 5,0 < IRI < 7,0 y 3000 < TMDA

Fuente: Adaptado de MOP 2008.

Repavimentaciones Asfálticas: Tipo 1: 60 mm de carpeta; Tipo 2: 70 mm de carpeta y 80 mm de base asfáltica; Tipo 3: 50 mm de carpeta, 60 mm de binder y 80 mm de base asfáltica; Tipo 4: 60 mm de carpeta, 70 mm de binder y 100 mm de base asfáltica.

Recapados Asfálticos: Tipo 1: 50 mm de carpeta; Tipo 2: 60 mm de carpeta; Tipo 3: 50 mm de carpeta y 80 mm de base asfáltica; Tipo 4: 50 mm de carpeta, 60 mm de binder y 80 mm de base asfáltica; Tipo 5: 50 mm de carpeta, 70 mm de binder y 90 mm de base asfáltica.

## 5.3 Elección de alternativas óptimas

Debido a la gran cantidad de información generada, se presenta como muestra en esta aplicación de la metodología sólo el análisis de dos tramos representativos de la red. Sin embargo, el análisis fue realizado para toda la red.

**Tabla 5: Resumen de los datos de los tramos representativos**

CAMINO	TRAMO	KM Inicial	KM Final	Longitud (Km)	Ancho (m)	TMDA inicial	IRI inicial (m/Km)	Tipo de Rodadura
1	1	5,7	9,14	3,44	7,00	5.846	2,57	AC
7	4	14	19	5,00	7,00	1.088	4,90	DTS

Fuente: Adaptado de MOP 2008.

Se procedió a utilizar el programa HDM-4 con un período de análisis de 20 años a contar del año 2009 para toda la red. De acuerdo al punto 3.7 se asignó a cada tramo la opción con el IVAN más

alto. A continuación se muestra las alternativas elegidas y el plan de inversión correspondiente a los dos tramos elegidos, sin considerar restricción presupuestaria:

**Tabla 6: Elección de alternativas óptimas para los tramos representativos**

CAMINO	TRAMO	IVAN (US \$ millones)		Alternativa elegida
		Alternativa 1	Alternativa 2	
1	1	36,381	22,009	1
7	4	3,160	2,356	1

**Tabla 7: Plan de inversión de los tramos representativos**

Camino	Tramo	TMDA	Año de Intervención	Descripción del Trabajo	Costes de la Administración (US \$)
1	1	8483	2015	RECAPADO T4	\$ 731.068,8
		14245	2026	LECHADA	\$ 70.795,2
7	4	1193	2009	RECAPADO T2	\$ 751.450,0

En esta sección se presentó el comportamiento de sólo 2 tramos de la red, no obstante, este análisis es extensible para toda la red vial. De esta manera, se obtuvo una inversión total de US\$ 53,2 millones y el IRI promedio para toda la red fue de 2,38 m/Km.

#### 5.4 Caso con Restricción Presupuestaria

Como ejemplos de aplicación, se seguirá mostrando los mismos tramos del punto anterior. Para ejemplificar el punto 3.8 de la metodología, se ha considerado la utilización del 60% del presupuesto sin restricción presupuestaria. Como el costo total de inversión para toda red vial fue de US\$ 53,2 millones, se supondrá que los trabajos no deberán superar los US\$ 31,9 millones. En la tabla 8 se muestra las condiciones de los tramos representativos bajo este escenario.

**Tabla 8: Condiciones de los tramos con restricción presupuestaria**

Camino	Tramo	Restricción Presupuestaria					
		100%			60%		
		Alternativa Elegida	IRI promedio (m/Km)	IRI máx (m/Km)	Alternativa Elegida	IRI promedio (m/Km)	IRI máx (m/Km)
1	1	1	2,3	3,5	1	2,3	3,5
7	4	1	2,6	3,3	Base	5,5	6,8

Después de realizar el paso 1 del punto 3.8 de la metodología, se observa que para el tramo 1 no presenta condiciones de servicio inaceptables. Sin embargo para el segundo tramo, en la tabla se observa que alcanza un IRI máximo cercano a los 6,8 m/Km, considerado como inaceptable, pues este valor de regularidad no permitiría una adecuada circulación para los usuarios, por motivos de seguridad y elevados costos operacionales. En cuanto a la red vial completa, el valor promedio del IRI subió a 2,88 m/Km.

Para solucionar esto, se procedió a aplicar el paso 2 del punto 3.8 de la metodología. La reducción de la exigencia de los umbrales de conservación produjo una redistribución completa de la inversión para toda la red, asignando mayores recursos a tramos que el HDM-4 no alcanzaba a considerar. En la tabla 9 se muestran los umbrales modificados a considerar:

**Tabla 9: Umbrales de intervención modificados para las alternativas 1 y 2**

Descripción		TMDA
Alternativa 1	Alternativa 2	
Recapado T2 IRI>6,0 para TMDA<300.	Repavimentación T1 para 6,0 < IRI < 7,0	TMDA<300.
Recapado T3 IRI>5,5 para 300 <TMDA<1200.	Repavimentación T2 para 5,5 < IRI < 7,0	300 <TMDA<1200.
Recapado T4 IRI>5,0 para 1200<TMDA<3000.	Repavimentación T3 para 5,0 < IRI < 7,0	1200<TMDA<3000.
Recapado T5 IRI>4,5 para TMDA>3000.	Repavimentación T4 para 5,0 < IRI < 7,0	TMDA>3000.

Luego, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 10: Condiciones de los tramos representativos como consecuencia de la reasignación**

Caminos	Tramos	Alternativa Elegida	IRI promedio (m/Km)	IRI máx (m/Km)
1	1	1	2,8	4,5
7	4	1	3,6	5,0

En la tabla 10 se observa que, en los tramos 1 y 4, la alternativa elegida es la 1, debido a que en ambos entrega el mayor IVAN. Además se muestra que, gracias a la reasignación, se logró conseguir una solución que permitiera mantener el tramo 4 en condiciones aceptables, pues el IRI no sobrepasa los 5,0 m/Km. Además, con esta reasignación, se consiguió que todos los tramos de la red se mantuvieran en condiciones aceptables.

Es importante mencionar, que si bien el IRI promedio de toda la red aumentó de un 2,88 a 2,96 m/Km debido principalmente a la disminución de la exigencia de los umbrales, se logra la cobertura del 100% de la red.

## 6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En este estudio se propuso una herramienta metodológica, cuya implementación permite conseguir una mayor eficiencia en la asignación de recursos para conservar una red vial, labor esencial de los organismos responsables de ello.

Se observó que para obtener mejores resultados, en algunos casos podría ser relevante considerar en el análisis impactos y factores de difícil cuantificación que no se incluyen en la evaluación netamente económica. Además, en el caso de restricción presupuestaria, se debe revisar el plan de inversión que entrega el análisis de estrategia, debido a que en ciertas ocasiones, éste deja fuera del programa, proyectos que pueden ser importantes.

Una posible solución a lo anterior, puede ser modificar los estándares de conservación, de tal manera, que el HDM-4 reasigne trabajos a sectores de la red, que no había considerado anteriormente.

En lo que se refiere a las emisiones, éstas se calcularon, pero al entregar valores similares entre las distintas alternativas, se observó que el HDM-4 no es capaz de discriminar entre distintas alternativas de mantenimiento.

En cuanto al ruido, el HDM-4 no lo ha incluido hasta ahora. El balance de energía, a pesar que está formulado para la versión 1.3 del HDM-4, no existe una salida del programa que entregue resultados. Además la información que existe en Chile es muy escasa.

Se recomienda revisar la calibración de los modelos de operación vehicular, pues la inclusión de algunos de ellos provoca incoherencia en los resultados.

## REFERENCIAS

Barrera, E., H. Solminihac, P. Hidalgo, J.C. Miranda (2003) **Recomendaciones para la utilización del HDM-4 en Chile**. Documentos de Trabajo. Ministerio de Obras Públicas y Pontificia Universidad Católica de Chile.

Bull, A. (2002) Un nuevo paradigma institucional para la conservación vial. **Actas del 6º Congreso Internacional Provia**. 5-8 de Noviembre 2002, Termas de Chillán.

Fontaine, E. R. (2008) **Evaluación Social de Proyectos**. 13<sup>st</sup> Ed. Pearson. México.

MIDEPLAN (2009) Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Transporte Interurbano. Sistema Nacional de Inversiones [en línea]. Disponible: [www.mideplan.cl](http://www.mideplan.cl) (Sitio Visitado en Abril de 2009).

MIDEPLAN (2009) Precios Sociales para la Evaluación Social de Proyectos. Sistema Nacional de Inversiones [en línea]. Disponible: [www.mideplan.cl](http://www.mideplan.cl) (Sitio Visitado en Abril de 2009).

Ministerio de Obras Públicas (2008) **Programa de Concesión de Mejoramiento, Rehabilitación y Conservación de Redes Viales Regionales, Región de Coquimbo**. Documentos de Trabajo. División de Proyectos de Redes. Dirección de Vialidad. MOP, Chile.

Ministerio de Obras Públicas (2008) **Proposición de Acciones de Mantenimiento y Estado de la Calzada y Bermas para Caminos Pavimentados de la Red Vial Nacional**. Documentos de Trabajo. Departamento de Gestión Vial. Dirección de Vialidad. MOP, Chile.

Miranda, J.C. y E.R. Barrera (2006) Actualización de la Metodología para la estimación de los costos de operación vehicular. **8º Congreso Internacional Provia**. 9- 13 de octubre de 2006, Antofagasta.

PIARC (2002) **Highway Development and Management, Version 1.3**. World Road Association. Paris.