
METODOLOGIA DE ELABORACION Y GESTION DE PROGRAMAS DE CONSERVACION DE CAMINOS PARA LA RED VIAL AUSTRAL.

Tomás Echaveguren N., Jaime Correa F., Mónica Woywood Y.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción
Casilla 53-C, Correo 3, Concepción, Chile
Tel: 41-234985, Anexo 2320; Fax 41-259190

RESUMEN

La red vial austral está constituida por 2600 Km de caminos, de los cuales cerca de 1400 son de tierra o ripio, distribuidos en una vía longitudinal y siete transversales. Adicionalmente, se pretende a largo plazo construir cerca de 2500 Km. más, correspondientes a la red de bajo estándar. Dada la restringida disponibilidad de fondos, es necesario paralelo al proceso de construcción y consolidación, destinar esfuerzos a mejorar las técnicas de asignación de fondos para el mantenimiento de caminos de tierra y/o ripio en la red austral.

El trabajo, tuvo por objetivo crear un marco metodológico orientado a la asignación de recursos para programas de conservación de la red vial austral, en virtud de las características particulares antes indicadas.

La metodología, integra los aspectos más relevantes del modelo HDM-III en la estimación de parámetros de deterioro, la experiencia de los profesionales del área de conservación, y variables socioeconómicas para la determinación de un indicador de estado global para cada tramo de la red. En la determinación del indicador de estado, se plantea un conjunto de estrategias de conservación por tramo, las que forman un conjunto de combinaciones factibles para la red.

El modelo toma en cuenta las combinaciones factibles de indicadores de estado (que caracteriza cada tramo de la red), para efectuar una priorización de estrategias de conservación por tramo, mediante técnicas decisionales que permiten ordenar y seleccionar las combinaciones de programas que reportan un mayor beneficio social neto, con o sin restricción presupuestaria.



1.- INTRODUCCION

En la actualidad, en la XI^a Región se gasta cerca de US\$ 5 millones por año en conservación de la red vial, de los cuales US\$1.75 millones se invirtieron en el último año en dos proyectos en la modalidad de conservación global. La región, cuenta con más de 2400 Km de red básica y comunal, en su mayor parte de tierra y ripio, que se pretende ampliar con alrededor de 2500 Km de características similares (Vargas y Echaveguren, 1995). La principal limitación de este tipo de caminos es su rapidez de deterioro, tanto por sus condiciones estructurales, como por las severas condiciones invernales que les afectan. Los factores de mayor incidencia corresponden por un lado a los efectos térmicos, temperatura y nivel de precipitaciones, que están directamente relacionados con las condiciones orográficas de la zona, y por otro, al material utilizado en la confección de carpeta de rodado, características de diseño de la carpeta, drenaje, suelo soportante, diseño geométrico del camino, clima, entre otros.

Estos, generan problemas de deterioro que si bien son comunes a los caminos de tierra y ripio, en la zona sur austral se ven exacerbados por las condiciones climáticas. Los problemas de deterioro detectados en los caminos de la XI^a Región por el departamento de Conservación de la Dirección Regional de Vialidad son: pérdida de coronamiento, corrugación, ahuellamiento, baches, zanjas, pérdida de material de la carpeta, desplazamiento del material del talud de corte sobre la calzada, hundimiento de la calzada por desplazamiento del talud del terraplén, fosos con crecimiento vegetal o acumulación de material, colapso de alcantarillas por acumulación de material, deterioro de señalización vial y defensas camineras.

La necesidad de administrar en forma eficiente la conservación de la red, obliga al cumplimiento de los siguientes objetivos:

- a) Proteger la inversión que significa la construcción de caminos, prolongando su duración mediante una conservación oportuna y efectiva,
- b) proporcionar buenas superficies de rodado, continuidad en las vías y seguridad en el desplazamiento de los usuarios, de modo de disminuir los costos de operación, y
- c) distribuir el presupuesto asignado en forma eficiente a la red, de modo que los objetivos anteriores se cumplan al máximo posible.

La mayoría de los métodos existentes que cumplen con objetivos similares al que se persigue, se orientan al seguimiento control y mantención de caminos pavimentados, como es el caso de los sistemas GEFIREX de España, ERASMUS de Francia (Alvarez, 1993) o PARADIGM en Estados Unidos (Ritchie, 1987), todos ellos destinados al análisis y diseño de estrategias de conservación óptimas y costo-eficientes con el apoyo de un gran soporte computacional, basado en sistemas expertos.

Con respecto al mantenimiento de caminos no pavimentados, se han desarrollado modelos orientados principalmente a la evaluación económica, basados en la estimación del deterioro de la carpeta, siguiendo la evolución de algunos de los parámetros citados en párrafos anteriores. Es este el caso del modelo HDM-III desarrollado por el Banco Mundial (Watanatada *et al*, 1985) y el modelo MDS, desarrollado en la Universidad de Pretoria (Gaete y Visser, 1994).¹

La metodología que se propone, adopta varias de las relaciones desarrolladas en el modelo HDM-III, como son los modelos de deterioro para caminos no pavimentados y de costos de operación. Evidentemente, todas las relaciones que se utilizan, se someterán en lo sucesivo a un proceso de validación, especialmente aquellas cuyo rango de validez se acerca al límite establecido en los modelos, dadas las condiciones climáticas regionales.

2.- METODOLOGIA

Las características que posee la metodología le confieren una ductilidad adecuada para su implementación computacional en un sistema interactivo. Entre ellas, las más relevantes son:

- a) Permite desarrollar los cálculos básicos en forma independiente para cada tramo del camino, de manera que se requieren pautas definidas para la subdivisión de la red, facilitando el manejo de información y la aplicación de modelos específicos,
- b) posee la capacidad de utilizar la información existente actualmente en la XI^a Dirección Regional de Vialidad, tanto la obtenida por procedimientos formales como la obtenida de la experiencia de los encargados de conservación de caminos,
- c) es capaz de determinar para cada tramo de la red las distintas estrategias de conservación que pueden ser aplicadas para obtener distintos niveles de mejoramiento y
- d) es capaz de determinar el conjunto de estrategias de conservación por tramo que maximiza el beneficio social neto.

1 Citado por Echaveguren y Correa (1995).



La metodología, en un corte transversal con respecto al tiempo, se muestra en figura 1.

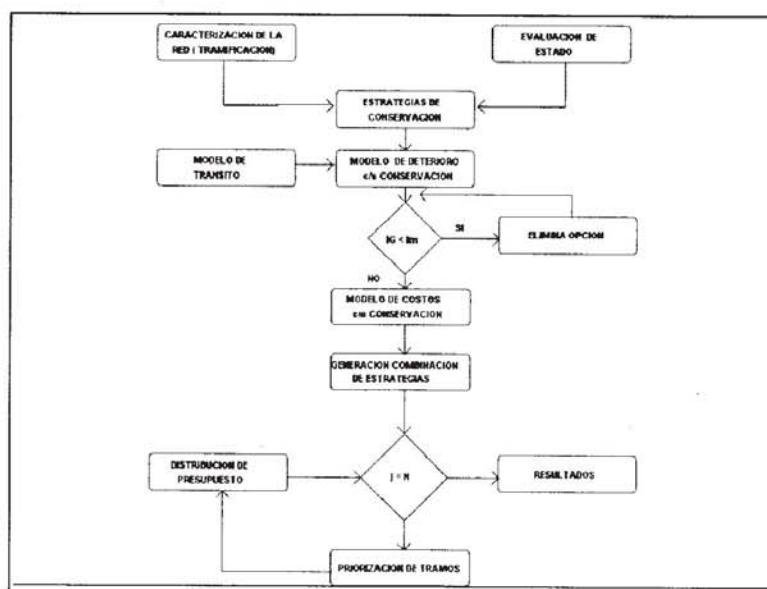


Figura 1: Diagrama de flujo metodología. (Echaveguren y Correa, 1995)

2.1.- PROCEDIMIENTO DE UTILIZACION

El uso del sistema es de carácter iterativo en dos niveles. El primero de ellos se refiere al número de ciclos que realiza el proceso dependiendo del número de períodos de tiempo a considerar. El segundo, se refiere a la evaluación sucesiva de combinaciones de estrategias de conservación por tramo en el proceso de maximización de beneficio social neto. En figura 2, se aprecia el ciclo de cálculo utilizado en el primer nivel.

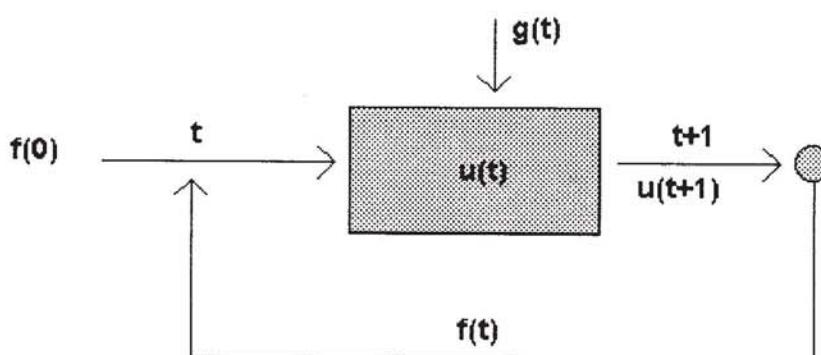


Figura 2: Ciclo primario de evaluación (Echaveguren y Correa, 1995).

en donde ,

$g(t)$	:	función de características exógenas en estado intermedio entre t y $t+1$.
$u(t)$	:	función de estado de la red vial al final de t .
$u(t+1)$	:	función de estado de la red vial al final de $t+1$.
$f(t)$	:	características de estado de la red al final de $t+1$.
$f(0)$	:	características de estado al final de $t=0$. Corresponde a una condición de borde.

En la figura 2, se aprecia que la información de salida en cada iteración, obtenida a partir de la función $u(t+1)$, sirve de entrada para el siguiente ciclo y se representa por $f(t)$. La función de estado $u(t)$, representa la combinación de estrategias que maximiza el beneficio neto, priorizadas, determinado en el segundo nivel de cálculo (Ver figura 1).

La operación en el segundo nivel, esta compuesta de los siguientes pasos:

- a) Previo a la operación del modelo, se prepara la información que utiliza, mediante la ejecución de dos pasos. El primero se refiere a la **caracterización de la red**, y consiste en tramificar la red en base a características homogéneas por tramo. El segundo, es la **evaluación del estado** de cada tramo de la red, el cual entrega una descripción del estado actual de los elementos del camino.
- b) La información obtenida en paso anterior se almacena en base de datos compuesta por dos tipos de registro, uno para los factores exógenos/endógenos y otra para la evaluación de estado.
- c) A cada tramo se le asignan estrategias de conservación en base a un procedimiento de búsqueda binaria.
- d) Aplicación de modelo de tránsito para determinar su evolución en cada tramo y en las situaciones base y con proyecto.
- e) Aplicación de modelo de deterioro para determinar el estado del tramo al final de cada período de análisis, para cada estrategia de conservación propuesta, mediante el modelo HDM-III.
- f) Se realiza una primera selección en base a una comparación con el estado mínimo aceptable y el estado final. Ambos estados se representan mediante índices que integran grupos de indicadores de estado de elementos individuales.
- g) Determinación de costos de operación de vehículos y de conservación para cada estrategia de conservación posible por tramo.
- h) Determinación de combinaciones de estrategias de conservación posibles en la red, eliminando las que no cumplen las restricciones impuestas.
- i) Asignación de prioridades de conservación (si es que las hay) y cálculo de beneficios sociales para la red.



2.2.- COMPONENTES DEL MODELO

El modelo está compuesto de una serie de elementos, ordenados de manera que sirvan de base para su implementación computacional.

2.2.1.- Base de datos

La base de datos contiene dos fuentes: Una la caracterización de la red y la otra, evaluación del estado de los elementos del camino.

La *caracterización de la red*, contiene la información obtenida en la fase de tramificación, que consiste en la subdivisión en tramos en que las condiciones ambientales, de tránsito, de diseño, y factores exógenos que afectan al camino sean similares. Luego a un nivel específico, a través de la descripción de factores endógenos del camino.

Los *factores endógenos* son aquellas características que de no mediar un cambio de estándar no cambian. Entre ellos se cuentan: diseño geométrico, perfil transversal, características del material de carpeta de rodado, subrasante y suelo de fundación. Los *factores exógenos* en tanto, corresponden a las características propias del sector en que se encuentra ubicado el camino y que lo afectan en forma externa. Entre ellos se cuentan la pluviosidad, temperatura, viento, nivel de tránsito, entre otros.

Las *características particulares de los tramos* corresponden a la información basada en la evidencia empírica de los encargados de conservación y describe aspectos no medibles del camino, tales como mínimo deterioro admisible, probabilidad de ocurrencia de suelo heladizo, tasa de deterioro de elementos complementarios al camino distintos a la carpeta, entre otros.

La *evaluación de estado*, corresponde al conjunto de indicadores en que se traduce la información proveniente del inventario vial, que describe el estado de los elementos del camino (rugosidad, calificación por condición). Esta evaluación obedece a un procedimiento estándar y se realiza en períodos de tiempo prefijados. De esta manera, el estado de los elementos del camino será el resultado de la acción de los factores exógenos, propios de la ubicación del tramo, sobre los factores endógenos propios del camino. Esta interacción se muestra en figura 3.

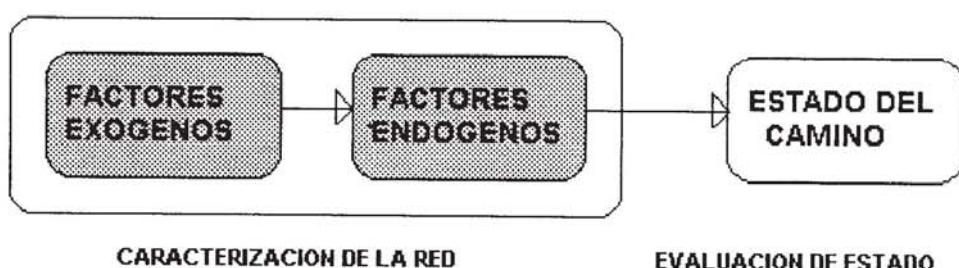


Figura 3: Interacción Estado del camino vs. factores endógenos y/o exógenos
(Echaveguren y Correa, 1995).

2.2.2.- Estrategias de conservación

Una *estrategia de conservación* se define como el conjunto de operaciones de conservación posibles de aplicar en una tramo del camino. Dicho conjunto de operaciones le conferirá al tramo intervenido un grado de serviciabilidad proporcional al nivel de conservación efectuado en él.

Las estrategias de conservación posibles de realizar en un tramo de camino dado, se ajustan a las condiciones del deterioro en que se encuentra el tramo y los factores exógenos y endógenos. La forma de operar del sistema corresponde a una búsqueda binaria, que consiste en preguntar para cada indicador considerado si cumple con cierta característica (valor umbral); si la respuesta es positiva la búsqueda continúa. Si no, sigue a la alternativa siguiente. Sólo existen dos vías posibles para cada pregunta.

2.2.3.- Modelo de deterioro

Para estimar la evolución de la rugosidad de la carpeta, se utiliza el Submodelo de deterioro del modelo HDM-III (Watanatada *et al*, 1985). Para estimar la evolución del estado de los demás elementos del camino se considera suficiente el uso de relaciones lineales. Estas, se determinan por medio de la evidencia empírica existente más un seguimiento continuo de dichos elementos.

2.2.4.- Índice global de deterioro

Al final de cada período de tiempo, para cada estrategia de conservación por tramo, se calcula un índice global de deterioro (*IGD*), el cual corresponde a la agregación de los indicadores de deterioro resultantes de la aplicación del modelo. Este índice se compara con un valor mínimo admisible, *Im*, característico para cada tramo. Corresponde a un valor agregado de datos empíricos, obtenidos en base a antecedentes determinados por expertos en conservación. De esta manera, es posible comparar y descartar aquellas estrategias de conservación ineficientes.

Una restricción importante es la condición sin proyecto, en la cual al no realizarse conservación el índice global de deterioro es menor que el valor mínimo admisible ($IGD < Im$), que es inaceptable y por lo tanto es obligatorio considerar un valor de *IGD* igual a *Im* (situación base optimizada).

2.2.5.- Modelo de costos

El modelo de costos se compone de dos submodelos.

El *submodelo de costos de operación*, utiliza el módulo de costos de operación del modelo HDM-III, el cual calcula costos en base a la rugosidad de la carpeta, diseño geométrico del camino, condiciones ambientales y de tránsito. Los costos se calculan al final del período de análisis para cada estrategia de conservación considerada (situación con proyecto) y para el caso en que no se realice conservación o se realiza conservación mínima (situación sin proyecto).



El **submodelo de costos de conservación** en tanto, aprovecha la experiencia práctica de los encargados de conservación, debido a que las características particulares de cada tramo impiden la determinación de valores estándares para toda la red, para determinar los precios unitarios de las actividades asociadas a una estrategia en particular.

2.2.6.- Modelo de tránsito

El modelo de tránsito, permite determinar la evolución del tránsito a partir de un año base hasta el final del período de análisis. La primera aproximación desarrollada, utiliza como insumo las mediciones de tránsito con que cuenta la XI^a Dirección Regional de Vialidad. En tanto no se cuente con un procedimiento más exacto, se utilizan tasas de crecimiento de tránsito locales.

2.2.7.- Alternativas de programas de conservación

Se generan todas las combinaciones posibles de proyectos de conservación factibles de realizar en la red. El procedimiento consiste en ordenar en una matriz los tramos por un lado y las estrategias de conservación por otro. Se determinan todas las alternativas de proyectos, donde cada alternativa considera una estrategia cualquiera de conservación por tramo, siendo el conjunto de estrategias una combinación posible. En tabla 1, se muestran tres posibles combinaciones (números entre paréntesis). Por ejemplo, la combinación (2) es aplicar en los tramos 1 y 2 la estrategia 1 y en el tramo n la estrategia 2. Si se definen restricciones de algún tipo, se generarán combinaciones no factibles reduciendo el número de alternativas a analizar. Ejemplos de éstas restricciones son:

- a) IGD<Im, Índice global de deterioro al final del período de análisis para cada tramo, debe ser mayor que el índice mínimo, y
- b) debe mantenerse una continuidad en tramos sucesivos de camino, en lo relativo a indicadores funcionales que describen el estado de la red desde la perspectiva del usuario. Esto con el fin de evitar que en tramos vecinos se presente mucha variabilidad en las condiciones de servicio.

	Tramo 1	Tramo 2	.....	Tramo n
Estrategia 1	(1) (2)	(2)		(1)
Estrategia 2	(3)	(1)		(2) (3)
.....				
Estrategia m		(3)		

Tabla 1: Matriz de combinaciones (Echaveguren y Correa, 1995)

2.2.8.- Distribución de montos de inversión

La primera parte de este proceso corresponde a la asignación de prioridades de ejecución a cada proyecto de conservación, considerando como proyecto a las acciones de conservación que se ejecutarían en un tramo durante el período base de análisis. Lo que sigue es asignar a cada una de las combinaciones factibles los costos de conservación y beneficios sociales (ahorro de costos), que cada proyecto de conservación propone.

Finalmente se determinan, para cada una de las combinaciones factibles, los proyectos que podrían ser abordados el período de análisis teniendo en cuenta las restricciones de presupuesto y el orden de prioridad que tengan, ya que sólo se podrán abordar aquellos cuya inversión social neto total no supere el marco presupuestario asignado, descartando aquellos cuya prioridad sea la más baja. Se elegirá aquella combinación que proporcione el máximo beneficio social neto asociado a la red.

a.- Procedimiento de priorización

El procedimiento se basa en el uso de una herramienta decisional que proporcionará prioridad a cada tramo a conservar, a la manera de un ordenamiento objetivo. El ordenamiento se basa en un subconjunto de criterios definidos por el evaluador a partir de un conjunto preestablecido.

Los *criterios de priorización* de partida propuestos son: Beneficio neto de conservar, descompuesto en ahorros de costo de los usuarios y costos de conservación; índice de deterioro; importancia estratégica del tramo. Adicionalmente, el evaluador puede incorporar asignaciones arbitrarias según la particularidad de alguna situación, tales como: tramos que no hayan sido incluidos en un programa de conservación durante cierta cantidad de períodos de tiempo, tramos que requieran de accesibilidad todo el año, cambios de estándar, asignación en base a la categoría del tramo dentro de la red.

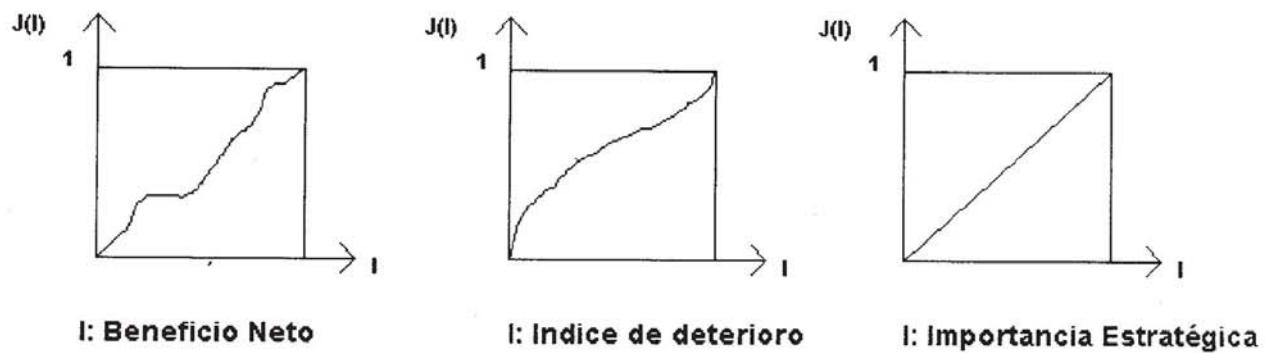
El método de priorización consiste en la integración de los indicadores cuantitativos y cualitativos en un índice global que refleje el peso que cada uno de ellos tenga en la decisión final. Esto se logra mediante el uso de una *función de utilidad*. Para obtenerla, es necesario definir previamente un vocabulario que permita transformar los indicadores cualitativos o literales a valores numéricos representativos. Un ejemplo de esto se muestra en tabla 2.

LITERAL	NUMERAL
muy poca	0 - 2
poca	2 - 4
normal	4 - 6
mucho	6 - 8
muchísima	8 - 10

Tabla 2: Vocabulario de transformación de indicadores. (Echaveguren y Correa, 1995)

Posterior a esto se define una función de utilidad consistente en establecer para cada indicador I una función $J(I)$, $I \in [0,1]$ que normalice los valores de los indicadores y transformarlos así a valores adimensionales. Un ejemplo de tales funciones se muestra en figura 4.



**Figura 4:** Funciones de utilidad (Echaveguren y Correa, 1995).

Como se aprecia en tabla 3(c), cada criterio proporciona un orden de prioridad diferente, lo que en la práctica es inmanejable. Esto se resuelve integrando todos los criterios en un índice único que entregue el ordenamiento de los proyectos, para lo cual se utiliza el *método de la suma ponderada*.

		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Indicador 1	Beneficio Neto	300	400	100
Indicador 2	Índice de deterioro	50	20	40
Indicador 3	Importancia Estratégica	Poca	Mucha	Normal

(a)

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Indicador 1	300	400	100
Indicador 2	50	20	40
Indicador 3	2.5	7.5	5

(b)

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
J1	0.2	0.5	0.1
J2	0.8	0.3	0.7
J3	0.25	0.75	0.5

(c)

Tabla 3: Transformación de indicadores a valores normalizados (Echaveguren y Correa, 1995).

Este criterio requiere de la confección de una matriz de importancia relativa $\{a_{ij}\}$, que cumpla con las condiciones de reciprocidad y consistencia.² Si tales condiciones se cumplen, de la primera fila se pueden calcular todos los otros elementos y bastará para determinar los pesos, utilizar la expresión:

$$P_i = a_{i1}/\sum a_{ik} \quad (1)$$

Finalmente se realiza para cada tramo la suma ponderada de los indicadores, obteniéndose el valor de un índice agregado que proporciona la prioridad de los proyectos de conservación. Luego, el orden de prioridad lo dará la magnitud de los índices de priorización. La tabulación del proceso se muestra en tabla 4. Los valores de J_{ik} corresponden al valor del indicador normalizado J_i , en el tramo k.

P_i		Tramo 1	Tramo 2	.....	Tramo n
P_1	J_1	J_{11}	J_{12}	.....	J_{1n}
P_2	J_2	J_{21}	J_{22}	.....	J_{2n}
.....
P_n	J_n	J_{n1}	J_{n2}	.....	J_{nn}
	$\sum J_i P_i$	I_1	I_2	.....	I_n

Tabla 4: Índices de ponderación (Echaveguren y Correa, 1995).

b.- Determinación de la mejor alternativa

A cada una de las estrategias de conservación ejecutable en cada tramo, se le asocia un beneficio social, debido al ahorro de costos de operación de los usuarios, determinado simplemente como la diferencia entre las situaciones con proyecto y sin proyecto. Luego de haber obtenido el orden de prioridad de conservación para cada una de las alternativas consideradas, se seleccionan aquellos que pueden ejecutarse en función del presupuesto disponible y de acuerdo a la prioridad que tengan. Posteriormente se agregan los beneficios netos asociados a los tramos elegidos y se elige la combinación que otorgue el mayor beneficio social neto, constituyéndose así en el programa de conservación que será aplicado a la red durante el período de análisis.

c.- Previsión de escenarios

Las combinaciones factibles para cada período, configuran un escenario futuro que maximiza los beneficios netos en cada instante de tiempo de análisis. A partir de esto, se puede definir un horizonte de evaluación no mayor de 5 años para el cual es posible determinar la rentabilidad social de los escenarios anuales, de manera que en un proceso iterativo es posible encontrar el escenario que maximice no sólo los beneficios en cada período, sino que también la rentabilidad social neta para el horizonte de evaluación prefijado.

2

Reciprocidad : $a_{ij}=1/a_{ji}$
Consistencia : $a_{ik}=a_{ij}*a_{jk}$



3.- ALCANCES

Debido al rol preponderante que la red vial ha tenido y seguirá teniendo en el desarrollo económico de la undécima región, es fundamental la generación de herramientas que faciliten la administración de una red que en el futuro se espera se duplique en longitud. En tal sentido la metodología planteada corresponde a una base con la cual se pretende afrontar el problema de asignación de fondos para la conservación.

De tal manera que la metodología en su estado actual de desarrollo, consta sólo de un esquema de operación para el cual se proponen los procedimientos que pueden ser utilizados para el manejo de la información, estimación de evolución de estado de los elementos del camino, y demás aspectos presentados.

El esquema modular con que se formuló la metodología, permite una fácil implementación computacional de modo que en tanto se tengan procedimientos específicos bien definidos, será posible implementar un software interactivo inclusive con el apoyo del sistemas de información geográfica para el procesamiento de la información.

El principal insumo de la metodología es la evaluación de estado y caracterización de la red. Dadas las condiciones geográficas de la undécima región, es posible contar con la participación activa de las direcciones provinciales de vialidad de manera tal que la primera etapa en el proceso de tramificación de la red corresponde a una definición de carácter administrativo.

Puesto que esta división no es suficiente, es necesario definir un procedimiento que permita tramificar la red en base a criterios objetivos, de manera de incluir fácilmente a la tramificación la red vial de bajo estándar, actualmente en programación.

Previo a la etapa de implementación computacional del modelo, será necesario realizar una serie de estudios destinados a la habilitación progresiva de cada componente de la metodología. Entre ellos, tal vez los que requerirán mayores esfuerzos corresponden a la validación de los procedimientos tomados del modelo HDM-III para adaptarlos dentro de lo posible a las condiciones de la mayoría de los caminos existentes en la undécima región.

Algunas de las áreas de trabajo que actualmente se están desarrollando en torno a ésta metodología, son la determinación de la distribución geográfica de los factores ambientales que inciden en el deterioro de los caminos, de manera de establecer áreas de condiciones homogéneas para cada uno de los factores considerados. En función de esto, se pretende lograr la construcción de un procedimiento de tramificación que permita obtener una caracterización de la red, relativa a factores de carácter permanente.

Dentro del esquema planteado de conformación de base de datos, es necesario además establecer un sistema estándar de evaluación de estado de los caminos, de manera que pueda ser ingresado directamente a la base de datos. Al respecto, Echaveguren y Correa (1995) proponen el uso del



formato utilizado actualmente por la Dirección Regional de Vialidad teniendo en cuenta lo planteado por Gaete y Visser (1994)³.

La metodología propuesta integra las capacidades del modelo HDM-III en cuanto al cálculo de costos de operación y estimación del deterioro de la carpeta, con un procedimiento de priorización basado en el análisis multicriterio, junto a un método para la definición de estrategias de conservación integrales, dentro de un contexto local. Esto presenta ventajas en relación al uso del modelo HDM-III como herramienta de gestión de la conservación de caminos ya que permite obtener resultados que toman en cuenta las condiciones particulares que afectan a la undécima región, requiriendo además bajos recursos computacionales.

REFERENCIAS

- Alvarez, R. (1993). Instalación de un sistema de gestión de firmes en España. **Rutas 38**, 19-23.
- Echaveguren, T. y Correa, J. (1995). **Modelo de gestión y planificación de programas de conservación para red vial austral**. Informe de Habilitación Profesional. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Vincke, P. (1986). Analysis of multicriteria decision aid in Europe. **European Journal of Operational Research 25**. 160-168.
- Ritchie, S. (1987). Expert system in pavement management. **Transportation Research Vol 21A 2**. 145-152.
- Vargas, J. Echaveguren, T. et al. (1994). **Metodología de evaluación de caminos de bajo estándar para la XI^a Región**. Informe de Habilitación Profesional. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.
- Watanatada, T. et al (1985). The highway design and maintenance standards model. **The Highway design and maintenance standards series Vol IV**. The World Bank. Washington.

3

Citado por Echaveguren y Correa (1995).

