

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES**



**APLICACIÓN DE MÉTODOS DE TOMA DE  
DECISIONES MULTI-ATRIBUTO EN LA  
DEFINICIÓN DE PRIORIDADES EN LA  
GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS EN SAN  
LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

**TESIS DOCTORAL**

**FRANCISCO JAVIER MORALES FLORES**

**Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos**

**Madrid, 2011**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MONTES**

**Departamento de Proyectos y Planificación Rural**



**APLICACIÓN DE MÉTODOS DE TOMA DE DECISIONES  
MULTI-ATRIBUTO EN LA DEFINICIÓN DE PRIORIDADES EN  
LA GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS EN SAN LUIS POTOSÍ,  
MÉXICO**

**TESIS DOCTORAL**

**AUTOR**

**FRANCISCO JAVIER MORALES FLORES**

**Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos**

**Directora:**

**SUSANA MARTÍN FERNÁNDEZ**

**Dr. Ingeniera de Montes**

**Madrid, 2011**





**POLITÉCNICA**



Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magnífico de la Universidad Politécnica de Madrid, el día \_\_\_\_ de Diciembre de 2011.

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día \_\_\_\_ de Diciembre de 2011 en la Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Montes, Madrid, España.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO





## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.	Contexto de la investigación .....	3
1.2.	Objetivo general de la tesis .....	4
1.3.	Objetivos específicos de la tesis.....	4
1.4.	Límites de la tesis.....	6
1.5.	Aportación.....	7
1.6.	Metodología .....	8
1.7.	Estructura de la tesis.....	9
2.	SOCIAL LEARNING AS A REQUIREMENT FOR RURAL DEVELOPMENT: THE CONNECTIVITY OF SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO .....	11
3.	EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO Y SU EFECTO EN INDICADORES DE LA CALIDAD DE VIDA RURAL: ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.....	14
4.	INTEGRACIÓN DE LA OPINIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS PARA LA DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE GESTIÓN, UTILIZANDO PROCESOS DE JERARQUÍA ANALÍTICA (AHP) .....	16
4.1.	Introducción .....	16
4.2.	La participación social en la inversión pública .....	17
4.3.	La Toma de decisiones.....	20
4.4.	Proceso de jerarquía analítica.....	23
4.5.	Objetivos del trabajo tutelado.....	27
4.6.	Situación de los caminos de Salinas.....	27
4.6.1.	Ubicación de Salinas.....	27
4.6.2.	Extensión de los caminos en Salinas.....	28
4.7.	Proceso de jerarquía analítica (AHP) en la definición de prioridades de gestión, caso: caminos rurales de Salinas, San Luis Potosí, México.....	35
4.8.	Estructura de la decisión multicriterio.....	37
4.8.1.	Criterios .....	37
4.8.2.	Preferencias.....	39
4.9.	Conclusiones .....	44
4.10.	Referencias.....	45
4.11.	Anexos .....	50
4.11.1.	Anexo 1. Cédula de priorización de la comunicación entre padres e hijos en Salinas .....	50
4.11.2.	Anexo 2. Diferencias en los mecanismos de participación ciudadana.....	51
4.11.3.	Anexo 3. Análisis de correspondencia .....	52
4.11.4.	Tiempo de recorrido hacia Salinas y población 2005 de las principales localidades de Salinas. ....	53

5.	PRIORIZACIÓN EJIDAL DE CRITERIOS SOBRE BIENES PÚBLICOS: EL CASO DE CAMINOS RURALES.....	54
6.	MANTENIMIENTO DE CAMINOS RURALES .....	58
6.1.	Introducción .....	59
6.1.1.	Objetivo .....	67
6.2.	Análisis del problema.....	67
6.3.	La zona de estudio.....	69
6.4.	Focalización .....	71
6.4.1.	La forma de la red de caminos .....	72
6.4.2.	Descripción de la red .....	73
6.4.3.	Modelo del sistema .....	74
6.4.4.	Coste de mantenimiento.....	84
6.4.5.	El límite presupuestal del mantenimiento de caminos .....	86
6.4.6.	Limitaciones del sistema.....	93
6.4.7.	Aportación del modelo.....	95
6.5.	Algoritmo de recocido simulado .....	95
6.6.	Implementación del recocido simulado.....	97
6.6.1.	Definición del problema .....	97
6.6.2.	Modelo de toma de decisiones .....	104
6.6.3.	Función objetivo .....	105
6.6.4.	Implementación del sistema.....	109
6.6.5.	Los elementos .....	111
6.7.	Implementación.....	117
6.8.	Análisis del desempeño.....	121
6.8.1.	Tiempo de ejecución del programa .....	121
6.8.2.	Convergencia .....	123
6.8.3.	Caminos sugeridos .....	129
6.9.	Conclusiones .....	149
6.10.	Bibliografía .....	150
7.	CONCLUSIONES GENERALES .....	152
8.	RECOMENDACIONES .....	155
9.	BIBLIOGRAFÍA GENERAL .....	157

## *Agradecimientos*

*Si no pides permiso para hacer algo,  
Por lo menos agradece después de hacerlo.*

Quisiera expresar mi agradecimiento a aquellas personas e instituciones que con su interés y desinterés han apoyado este proceso de aprendizaje:

A la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID** por haberme brindado la oportunidad de transitar por su campus.

Al **COLEGIO DE POSTGRADUADOS, Campus San Luis Potosí**, por el apoyo en esta etapa de mi formación.

A la **Escuela Superior de Ingenieros de Montes** y a la **Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos** por recorrer sus laberintos físicos y mentales.

A la Doctora D<sup>a</sup>. **Susana Martín Fernández**, que ha dirigido mi aprendizaje sobre oscuros caminos para mí.

A los Doctores **Andrés Monzón de Cáceres, María de los Ángeles Martín Rodríguez-Ovelleiro, Javier Velázquez Saornil, Javier García Cañete, María Asunción Martín Lou y Javier Gutiérrez Puebla** por las observaciones señaladas en esta obra.

A los Doctores **Antonio García Abril, Eugenio Martínez Falero y Luis Gonzaga García-Montero** por sus comentarios vertidos a lo largo de este proceso de investigación.

A los Doctores **Benjamín Figueroa Sandoval y Félix V. González Cossío**, Hic sito et Phaëton cirrus auriga paterni, quem si non tenui magris tamen escidit ausis

A los Doctores **Jorge Cadena Iñiguez, José Pimentel López**, A leader is best when people barely know he exists, when his work is done, his aim fulfilled, they will say: we did it ourselves.

Al **personal del Campus San Luis Potosí**, por las horas en que hemos arreglado el mundo.

## *Dedicatoria*

*La memoria del corazón,  
elimina los malos recuerdos y  
magnifica los buenos,  
y gracias a ese artificio,  
logramos sobrellevar el pasado.*

A mi Madre, ***Doña Rutila Flores Hernandez*** con la esperanza de reencontrarla cuando sea el momento.

A mi Padre, ***Don Francisco Morales Nicolás***, que será siempre el faro de mi vida.

A mis ***hermanos*** y las nuevas adquisiciones que nos han enriquecido: las familias Palacios Aguirre, Morales Sánchez, Morales Montes y Morales Barrientos.

A la ***Familia Trejo Téllez*** que ha integrado a este personaje en su estructura extendida, haciéndolo sentir parte integrante.

A ***Brenda***, por ser el tesoro que ha decidido acompañarme en este viaje, solidaria en los buenos tiempos y firme ante las tempestades. Te amo con todo mi corazón.

A ***Francisco Javier*** y ***Abraham***, que son mis renuevos y vehículos de mi viaje hacia el final de los tiempos. Los amo más que a mí mismo.

# Aplicación de métodos de toma de decisiones multi-atributo en la definición de prioridades en la gestión de infraestructuras en San Luis Potosí, México.

## *RESUMEN*

La presente investigación realiza análisis y realiza propuesta a diferentes niveles de operación. Se centra en el mantenimiento de caminos rurales a cargo de una administración municipal en el Centro de México, como acción orientada hacia el empoderamiento de los usuarios de las infraestructuras públicas en respuesta a uno de los componentes del desarrollo rural: la intervención ascendente de los actores sociales. Se utiliza la red de caminos rurales por ser uno de las primeras percepciones que tiene la sociedad de la atención municipal al mantenimiento de las infraestructuras públicas, y constituye parte importante de la cadena de valor así como de la red de movilidad de personas y bienes y servicios. El concepto de la “última milla” en la cadena de distribución, representa las primeras millas en la colecta de materias primas. La conservación de la red en características óptimas permite fluir a los capitales y las empresas operar con un menor nivel de inversión.

# Application of decision-making methods in multi-attribute priorities definition in infrastructure management in San Luis Potosi, México

## *ABSTRACT*

This investigation offers an analysis and make a proposal at different operation level. It focuses on rural road maintenance by a local government in Central Mexico, as an action oriented towards the empowerment of the users of public infrastructure in response to one component of rural development: stakeholders' involvement. It uses the network of rural roads as one of the first society's perceptions of municipal attention to the maintenance of public infrastructure, and is an important part of the value chain and network mobility of people and goods and services. The concept of the "last mile" in the distribution chain represents the very first miles in the collection of raw materials. The conservation of the road network enables optimum flow of capitals and run companies at lower level of investment.

# Aplicación de métodos de toma de decisiones multi-atributo en la definición de prioridades en la gestión de infraestructuras en San Luis Potosí, México

## 1. INTRODUCCIÓN

---

### 1.1. Contexto de la investigación

Uno de los problemas enfrentados por la comunidad, en general, es el uso de los bienes públicos por parte de las autoridades que gobiernan una región delimitada administrativamente. Este problema se agrava más en el caso de municipios, condados, comarcas que tienen muy baja o nula capacidad de generación de recursos propios para financiar las actividades municipales. Este es el caso de demarcaciones de la zona rural, donde la generación de un producto interno bruto es baja o la recolección de impuestos está destinada a ser colectada en una bolsa de carácter nacional para luego ser redistribuida mediante criterios de “equidad”. Por ello, se quiere investigar sobre la forma en que la sociedad puede ser consultada y verter una opinión sobre el uso de los bienes públicos en su propio beneficio.

Si bien el gasto público municipal se invierte en las construcciones que pueden usarse y auditarse de manera pública como el mantenimiento de vías urbanas, la construcción de edificios públicos, el mantenimiento y construcción de las redes de agua potable y drenaje, la instalación y mantenimiento de alumbrado público, la construcción y mantenimiento de caminos rurales, la ampliación y construcción de cementerios, las obras de conservación del medio ambiente, el desarrollo de redes de internet, la ampliación de la electrificación rural; también se invierte en gasto corriente que “desaparece” de la vista de la sociedad en la forma de apoyos directos a la educación, promoción del deporte, conservación de tradiciones y fiestas populares como ejemplos de gasto corriente.



Por todo ello se considera que se puede realizar una investigación que permita medir la participación de la sociedad sobre la decisión del uso del bien público de una manera estructurada; actualmente, ya se ha caracterizado la naturaleza de las partes interesadas (Mitchell, Agle and Wood, 1997) y los grados de participación (Levasseur *et al*, 2010); así como ya están definidas las herramientas metodológicas que interpretan las preferencias de las partes interesadas en la toma de decisiones utilizando diferentes criterios cualitativos (Díaz-Balteiro and Romero,2008).

Un bien público de uso recurrente y que es sensible a la observación de la sociedad es la red de caminos rurales que conectan a los habitantes dispersos por la geografía. En esta obra pública es fácilmente observable por los habitantes su mejora y la disposición de las autoridades para resolver problemas de la población a través del uso de fondos públicos. Por tanto se considera que los caminos rurales pueden ser enfocados como variable de repuesta sobre la toma de decisiones de los habitantes del medio rural.

En esta tesis se propone formular artículos sobre un modelo de consulta pública para valorar las prioridades en el diseño de una estrategia de mantenimiento de los caminos rurales. Esta valoración se ha realizado a través del uso de Procesos de Jerarquía Analítica (Saaty, 1980) y se ha integrado en un algoritmo de optimización combinatoria “simulated annealing” (Kirkpatrick et al, 1983) a fin de proponer un calendario de mantenimiento de caminos.

## **1.2. Objetivo general de la tesis**

El objetivo general de la investigación se enmarca en el siguiente enunciado

“Formular un modelo que incorpore la opinión de la sociedad en el mantenimiento de los caminos rurales a fin de recibir mayores beneficios socioeconómicos, en el marco de la gestión pública limitada en objetivos y con fondos financieros finitos ajenos al municipio.”

## **1.3. Objetivos específicos de la tesis**

Los objetivos se muestran a continuación:

- a) Definir el marco de referencia de la importancia de los caminos rurales a nivel nacional y el comportamiento de la inversión a nivel estatal, así como el perfil de inversión municipal en caminos rurales.
- b) Esbozar un modelo de intervención basado en aprendizaje para regular los criterios de decisión en la actualización y mantenimiento de caminos rurales enfocándose al aprendizaje social como herramienta
- c) Medir la influencia de las vías de comunicación terrestres de un municipio rural en algunos indicadores de la calidad de vida de la población rural utilizando el tiempo de desplazamiento desde las localidades hacia la cabecera municipal
- d) Reflexionar sobre el proceso de decisión multi-criterio.
- e) Evaluar e integrar la información relevante en el proceso de elección de la “mejor” alternativa de mejora de los caminos rurales y en la evaluación de un grupo de alternativas
- f) Definir los criterios relevantes a los caminos rurales que lo orienten en el proceso de toma de decisión
- g) Aplicar un proceso de decisión multi-criterio en los caminos rurales de Salinas.
- h) Identificar los criterios en que puede participar la sociedad en el manejo de los bienes sociales, representados por la red de caminos rurales.
- i) Aplicar una metodología para definir las preferencias de la población sobre el mantenimiento de los caminos rurales como vías de flujo de bienes y servicios que usan cotidianamente
- j) Diseñar una metodología para priorizar el mantenimiento de caminos rurales incorporando la opinión de la población rural aplicándola en un municipio rural del altiplano mexicano.
- k) Formular un programa (software) que permita priorizar la actualización y mantenimiento de una red de caminos rurales que incorpore la opinión de la población rural aplicada en un municipio del altiplano mexicano.

Con ello se considera que se puede apoyar la incorporación de la opinión de sociedad en los proyectos de inversión en infraestructura de beneficio social.

#### **1.4. Límites de la tesis**

Los límites que se plantean a esta tesis se encuentran enmarcados en varias dimensiones:

La dimensión social excluyó una escalera de participación que estructure la forma en que la sociedad puede aportar una opinión que sea considerada como pertinente o válida por una administración. Además se excluye la identificación de partes interesadas en partes interesadas con poder, con urgencia y con legitimidad.

La dimensión ingenieril en términos de los retos que presentan las actuaciones en caminos: el cumplimiento de una normativa de construcción, la exigencia del cumplimiento de estándares nacionales, estatales de calidad, la forma de participación público-privada en proyectos de infraestructura, la apertura de nuevas vías, la señalización de las vías; la ubicación de instalaciones y servicios así como los riesgos de seguridad asociados a las vías.

La dimensión de educación en términos del correcto empleo de la vía, el respeto a las directivas de tránsito señaladas, el cumplimiento de sanciones a las que se hace acreedor el infractor; el respeto a la propiedad social de las señales, el cumplimiento en el pago de impuestos relacionados con el mantenimiento de caminos (impuesto a combustibles, impuestos locales, impuestos sobre uso de vehículos, impuesto por tenencia vehicular) se han dejado de lado.

La dimensión económica en función de las variables de impacto derivadas de la presencia de la mejora en los caminos rurales y su relación con la geografía del transporte: los sistemas de transporte, el transporte urbano, los volúmenes transportados, la agregación de valor, la logística de una red de transporte se ha simplificado por estar más allá de los límites de esta investigación.

La dimensión ecológica fue revisada sin que se ubicara un modelo de impacto para vías menores de escaso tránsito. El paradigma de los modelos ecológicos ha sido las obras de muy alto impacto: ejes de comunicaciones, puentes, modificaciones a los hábitats ecológicos y a las poblaciones animales.

La dimensión gubernamental en términos de una visión de gobierno de largo plazo a pesar de las diferentes opciones de gobierno, la tendencia a realizar proyecto de coparticipación privada-gubernamental en la construcción, la concesión de vías de comunicación a la iniciativa privada para el mantenimiento de vías, la continuidad a los esfuerzos de una comunidad o de un municipio en lugar de ser los esfuerzos de una administración pública local de término finito.

## **1.5. Aportación**

Se realiza una aportación al conocimiento regional en un nuevo campo de investigación, la geografía del transporte con énfasis en geografía regional al seno de un grupo de investigación que ha sido orientado a la producción agropecuaria y que ahora enfrenta retos en el acopio y transporte de los productos hacia los mercados locales y regionales.

Se considera haber enfocado una red de caminos de carácter municipal como unidad básica de mantenimiento de caminos. Algunos de los trabajos revisados analizan una red de caminos abstracta o delimitada teóricamente. El presente trabajo se basa en una red rural de caminos, limitada por la responsabilidad administrativa y con problemas de financiamiento, en una zona de escasa precipitación lo que no acelera el proceso de intemperización de la infraestructura.

Se realiza una aportación al conocimiento regional y al ámbito mexicano relacionada con la formulación de un grupo de alternativas de mantenimiento y actualización como formas de actuación sobre una red de caminos rurales, que es uno de los bienes públicos a los que la sociedad tiene un acceso democrático.

La formulación de alternativas utiliza una hoja electrónica de cálculo como herramienta de captura de información ampliamente utilizada, que utiliza un lenguaje de programación básico que puede modificarse fácilmente para adecuarlo a las necesidades de cualquier proyecto similar en participación pública y en beneficios sociales y realizar técnicas de análisis combinatorio a nivel individual o de grupo organizado a fin de influir en la toma de decisiones de órganos de decisión como puede ser un grupo, un municipio (como las formas más bajas de gobierno más cercanas a la

sociedad local) así como en gobiernos regionales o estatales, los ministerios nacionales aunque obviamente presentan mayor competencia por parte de otros intereses como lejanía de los territorios que interesa al formulador además de falta de visión requerida por un gobierno nacional (observar el bosque en lugar de ver solo el árbol).

## **1.6. Metodología**

La metodología empleada para la incorporación de la opinión pública en el mantenimiento de infraestructuras de carácter público sigue las siguientes etapas:

- a. Construir un marco de referencia sobre la infraestructura en cuestión (indicadores de desempeño, formas de actuación, criterios para definir una actuación).
- b. Identificar a las partes interesadas, diferenciando en las tres esferas de atributos: usuarios con poder, usuarios legítimos y usuarios urgentes, enfatizando el peligro de convocar a usuarios peligrosos dependientes y dominantes (Mitchell et al, 1997).
- c. Delimitar un mecanismo de participación social (comunicación, consulta o participación) y caracterizarlo por la escalera de la participación social.
- d. Realizar una AHP con los participantes dentro del mecanismo de participación utilizado y definir los criterios importantes para realizar las actuaciones programadas
- e. Obtener los criterios priorizados según preferencia expresada, analizar la coherencia de las preferencias.
- f. Aplicar el modelo de optimización combinatoria “simulated annealing”: para obtener la mejor alternativa de gestión incorporando las siguientes restricciones.
  - i. Incorporar los criterios de opinión de la población que influyen en la toma de decisiones
  - ii. Adaptar el algoritmo de simulated annealing propuesto en tres etapas:
    - a. Incorporar los indicadores de desempeño, incluyendo la función de coste o la función de utilidad.

- b. Incorporar la opinión de los participantes en condicionantes de actuación o mediante incorporación de ponderadores.
- c. Definir la temperatura, el grado de enfriamiento y el criterio de paro propios del “simulated annealing”.
- g. Realizar simulaciones para observar la eficacia de las sugerencias revisando los escenarios propuestos de actuaciones.

## **1.7. Estructura de la tesis**

Los apartados anteriores, han servido de introducción y descripción del problema que se pretende abordar en la tesis, la cual se estructura de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se expresa la *justificación de la investigación*, la descripción de los objetivos generales y específicos; las limitantes de la tesis así como la estructura de la tesis donde se define el contexto global del trabajo.

En el capítulo 2 se reproduce un diagnóstico publicado por el suscrito que identifica el sistema carretero mexicano al año 2009, caracterizando la tipología de combinaciones de carreteras y caminos rurales empleando métodos multivariados. Fue publicado por la Asociación Española de Ingeniería de Proyectos en los *Selected Proceedings of the 13th International Congress on Project Engineering* del año 2009 bajo el título “SOCIAL LEARNING AS A REQUIREMENT FOR RURAL DEVELOPMENT: THE CONNECTIVITY OF SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO”.

En el capítulo 3 se identifican los impactos de una estructura actual de la red de caminos sobre la calidad de la vida de los pobladores rurales en un entorno finito: una administración pública local con baja recaudación tributaria y fondos de origen exógeno para mantenimiento de infraestructuras. El principal hallazgo es la existencia de una relación entre el ingreso, forma fundamental de mantenimiento de una familia, y la condición de comunicación expresada a través del tiempo de desplazamiento que emplea un habitante para desplazarse hacia la cabecera municipal como punto

de encuentro para el intercambio de bienes y servicios. Se presenta en la forma de artículo publicado por la revista *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* en su número de Mayo-Agosto de 2011 bajo el título “EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO Y SU EFECTO EN INDICADORES DE LA CALIDAD DE VIDA RURAL: UN ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO”.

En el capítulo 4, se define el marco de referencia que se emplea en los métodos de análisis jerárquico (AHP) reseñándolos y aplicándolo para el caso de la opinión sobre el mantenimiento de los caminos rurales.

En el capítulo 5, se analiza la opinión de la sociedad rural del municipio (principal beneficiaria de los caminos rurales por el acceso que ofrecen) mediante una caracterización de criterios que algunos miembros de la sociedad consideran importante para incluir en los programas de mantenimiento de caminos rurales. Entre los principales criterios se encuentra privilegiar el dinero de mantenimiento por encima de los montos destinados para la construcción. Este capítulo se presenta como aceptado para publicación por la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* dentro del volumen 2, número 6 de noviembre-diciembre 2011 bajo el título “PRIORIZACIÓN EJIDAL DE CRITERIOS SOBRE BIENES PÚBLICOS: EL CASO DE CAMINOS RURALES”.

En el capítulo 6, se construyen el sistema de caminos considerando las restricciones que servirán para definir una función de costo y la forma de implementar “simulated annealing” para validar la metodología propuesta. Se esboza el modelo de computadora desarrollado para este efecto

En el capítulo 7 se presentan las conclusiones y futuras líneas de investigación, resumiendo la visión general del desarrollo de la tesis. Se realizan algunas recomendaciones sobre las fortalezas y debilidades del trabajo examinado. En la última parte se identifican los futuros trabajos que se deben de seguir, relacionados con el tema tratado de la presente tesis doctoral.

Por último, en el capítulo 8 se presentan las referencias y la bibliografía de apoyo para el desarrollo de esta tesis doctoral.

## **2. SOCIAL LEARNING AS A REQUIREMENT FOR RURAL DEVELOPMENT: THE CONNECTIVITY OF SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

---

### ***Resumen***

La construcción de caminos integra espacios geográficos y es un requisito para la competitividad y desarrollo de las comunidades. En México, la construcción y mejora de la red de caminos rurales usa el trazo de los caminos existentes (para traslado de ganado o caminos trazados en el pasado), sin considerar algún plan de desarrollo municipal o comarcal.

Se buscó definir un marco de referencia sobre la importancia de los caminos, primero en México, en el estado de San Luis Potosí y el comportamiento de inversión en el municipio de Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí y esbozar un método de intervención que permita normar criterios para la decisión en la construcción de caminos utilizando como herramienta de planeación el aprendizaje social.

### ***Abstract***

It is postulated that communities using social learning on rural planning will achieve sustainable development. The construction of roads integrates geographic spaces and it is a requirement for competitiveness and development of the communities. In Mexico, the construction of roads and its improvement use existing ways originated by the transfer of cattle or the pathways drawn over past times, without considering any municipal or local development plan.

One looked for to define a reference frame on the importance of the ways, first in Mexico, the state of San Luis Potosí and the behavior of investment in the municipality of Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí and to outline an intervention method that allows to design criteria for the decision in the road construction using like planning tool the social learning.

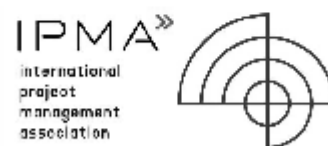


Any alternative of road selection it is desirable that should include local actors weighting their needs along with the technical criteria as well under an IPMA competence baseline scheme.

Se presenta Facsimil del artículo publicado en AEIPRO. 2010. Selected Proceedings from the 13th International Congress on Project Engineering. AEIPRO 2009, ISBN-13: 978-84-614-0185-7. páginas 350-364. (18 paginas)

# SELECTED PROCEEDINGS FROM THE 13TH INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT ENGINEERING

*BADAJOS, JULY 2009*



(Haga clic en la página o en esta [liga](#) para acceder a la versión electrónica del documento)

### **3. EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO Y SU EFECTO EN INDICADORES DE LA CALIDAD DE VIDA RURAL: ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.**

---

Francisco J Morales Flores, Susana Martín Fernández y Jorge Cadena Íñiguez

#### ***Resumen:***

El uso de los bienes públicos por parte de las autoridades que gobiernan una región delimitada administrativamente es uno de los problemas enfrentados por las sociedades, incluyendo la rural. Una red de caminos rurales constituye un ejemplo de bienes con escaso mantenimiento por parte de la autoridad, además de ser la vía de flujo de bienes y servicios, su buen estado y/o mantenimiento constituye un factor de influencia en el desarrollo rural. La presente investigación analiza el efecto de los caminos rurales en indicadores sociales relacionados con la calidad de vida de la población rural. Se estimó el tiempo de desplazamiento de las comunidades hacia la cabecera municipal como medida de alejamiento de los servicios, se revisaron indicadores indirectos sobre marginación, electrificación, y niveles de educación básica así como efectos directos en el ingreso económico, gasto familiar y condiciones escolares con que cuentan las familias rurales debido al estado de los caminos. La marginación y la electrificación no mostraron dependencia con el alejamiento de las poblaciones rurales; sin embargo se identificó un menor aprovechamiento escolar en los planteles fuera de la cabecera municipal, además de que el ingreso familiar se reduce hasta en un 40% conforme aumenta el tiempo de desplazamiento.

Palabras clave: Participación social, camino rural, mantenimiento, escuela primaria

Facsimil del artículo publicado en la Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 2011. 8(2):261-280. (20 hojas)

## EL TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO Y SU EFECTO EN INDICADORES DE LA CALIDAD DE VIDA RURAL: UN ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

### TRAVEL TIME AND ITS EFFECT ON INDICATORS OF THE QUALITY OF RURAL LIFE : A STUDY IN THE MUNICIPALITY OF SALINAS, SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

Francisco Javier Morales-Flóres<sup>1</sup>, Susana Martín-Fernández<sup>2</sup>, Jorge Cadena-Iñiguez<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Inrbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, 78600. (franciscojmf@colpos.mx) (jocadena@colpos.mx) <sup>3</sup>Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, s/n. 28040, Madrid. (susana.martin@upm.es)

#### RESUMEN

El uso de los bienes públicos por parte de las autoridades que gobiernan una región delimitada administrativamente es uno de los problemas enfrentados por las sociedades, incluyendo las rurales. Una red de caminos rurales es un ejemplo de bienes con escaso mantenimiento por parte de la autoridad, además de ser la vía de flujo de bienes y servicios. Su buen estado y mantenimiento es un factor que influye en el desarrollo rural. En esta investigación se analiza el efecto de los caminos rurales en indicadores sociales relacionados con la calidad de vida de una población rural. Se estimó el tiempo de desplazamiento de las comunidades hacia la cabecera municipal como medida de alejamiento de los servicios; se revisaron indicadores indirectos sobre marginación, electrificación, y niveles de educación básica, así como efectos directos en el ingreso económico, gasto familiar y condiciones escolares con que cuentan las familias rurales debido al estado de los caminos. La marginación y la electrificación no mostraron dependencia con el alejamiento; sin embargo se identificó un menor aprovechamiento escolar en los planteles fuera de la cabecera municipal, además de que el ingreso familiar se reduce hasta en 40% conforme aumenta el tiempo de desplazamiento.

Palabras clave: camino rural, escuela primaria, mantenimiento, participación social.

#### INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de los bienes públicos por parte de la autoridad es la respuesta de la administración pública a las necesidades de una población, y generalmente su mantenimiento se realiza con dinero recaudado a través de las haciendas nacionales vía la recaudación tributaria. En países miembros de la OECD los impuestos varían entre 20% y 50% del Producto Interno Bruto -PIB- (OECD, 2008); además de recolectar los impuestos nacionales, algunos países permiten a sus entidades sub-nacionales recaudar impuestos; países como Dinamarca y Suecia recaudan más de 30% de impuestos, los cuales se transfieren a

#### ABSTRACT

The use of public goods by authorities that rule a region with administrative limits is one of the problems faced by societies, including the rural ones. A network of rural roads is an example of goods with scarce maintenance by the authorities, which is also the way for the flow of goods and services. Its good state and maintenance is a factor that influences rural development. In this research, we analyze the effect of rural roads on social indicators related with the quality of life in a rural population. Travel time from communities to the head town of the municipal government was estimated, as a measure of distance from services; indirect indicators were reviewed regarding marginalization, electrification and levels of basic education, as well as direct effects in financial income, family expenditure and schooling conditions that rural families, have due to the state of the roads. Marginalization and electrification did not depend on distance; however, a lower use of schooling was found in schools outside the municipal head town, and family income is reduced up to 40% as the travel time increases.

Key words: rural roads, primary school, maintenance, social participation.

#### INTRODUCTION

Maintaining public goods by authorities is the answer given to the needs of the population by public administrations, and this is generally done with money collected by the treasury department through tax collection. In OECD member countries, taxes range between 20% and 50% of the Gross Domestic Product - GDP - (OECD, 2008); in addition to collecting national taxes, some countries allow their subnational entities to collect taxes. Countries like Denmark and Sweden collect more than 30% in taxes, which are transferred to the local administrations; others, like Australia, transfer only 3% of the total 31% collected. In México, tax collection has an impact of 3.4%, from which 1% is transferred (Blöchliger and King, 2006).

(Haga clic en la página o en esta [liga](#) para acceder a la versión electrónica del documento)

## **4. INTEGRACIÓN DE LA OPINIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS PARA LA DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE GESTIÓN, UTILIZANDO PROCESOS DE JERARQUÍA ANALÍTICA (AHP)**

---

### **4.1. Introducción**

Como planeadores en la toma de decisiones con experiencia local y regional en el semi-desierto mexicano, el Colegio de Postgraduados se plantea reflexionar sobre los criterios y la forma en que se toman las decisiones relacionadas con temas de interés general o común que implican generalmente la inversión pública. El interés del suscrito por reflexionar sobre este proceso es la oportunidad que se desea aprovechar.

En los temas de inversión pública es difícil de ponderar el aspecto en que los interesados se ponen de acuerdo a fin de alinear un curso de acción en la búsqueda de un bien común. Se ha recurrido diversos mecanismos para ponerse de acuerdo: discusiones, plenarias, juntas de gobierno, asambleas en ellas priva un sentimiento de improvisación y premura frente a la toma de decisiones.

Por ello se quiere reflexionar sobre la forma en que la falta de información, la toma de decisión apresurada y el estilo de dirección afectan la forma de planeación. Este aprendizaje se aplicará a un tema de planeación pocas veces estudiado como es la planeación de caminos rurales.

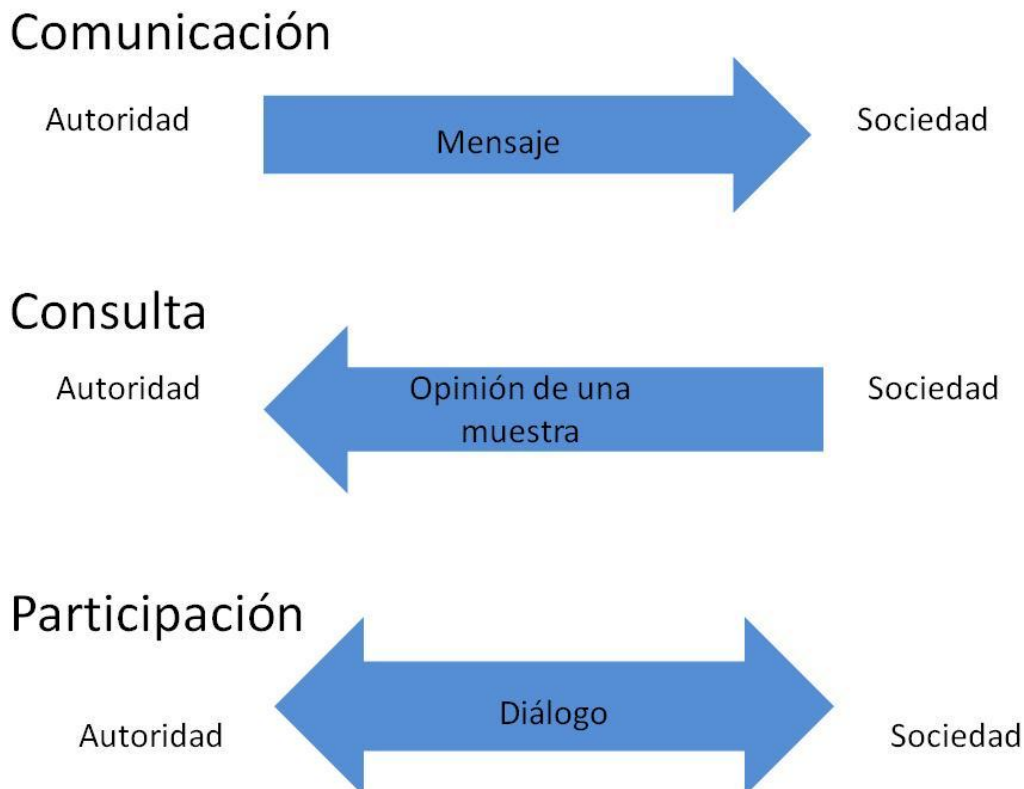
Esta planeación se considera un ejemplo de política de infraestructura de largo plazo que debe ser analizado de manera común debido a que convergen muy diversos intereses que financian el desarrollo local, los intereses del ayuntamiento responsable de realizar las acciones, la opinión de los expertos en el trazo de los caminos, y finalmente el público usuario de estas infraestructuras.

## 4.2. La participación social en la inversión pública

La participación social implica involucrar a los miembros de la sociedad en definir una agenda de trabajo, realizar una toma de decisiones y en las actividades de las organizaciones e instituciones responsables del desarrollo de una política. Sin embargo existe mucho espacio en la indefinición y en el debate de la participación en la toma de decisiones, Rowe y Frewer (2005) definen tres tipos de participación de la sociedad: la comunicación pública; la consulta pública y la participación pública. La diferencia básica entre cada tipo es la dirección de la comunicación entre el público y las autoridades (Figura 1).

El flujo de información en la **comunicación pública** es bajo una sola premisa: informar. No se requiere de una retroalimentación del público; en caso de que exista un intento de retroalimentación no existen mecanismos para canalizar esa opinión, lo más que puede lograrse es recopilar esa retroalimentación sin mayor compromiso por parte de las autoridades emitenes de la información.

Figura 1. Tipos de compromisos públicos



La **consulta pública** es dirigida a miembros de la sociedad tiene como premisa: coleccionar. Las autoridades coleccionan información sin que exista un dialogo formal entre las partes y la información coleccionada se considera representativa sobre el t3pico en cuesti3n y se extrapola a toda la sociedad.

En la **participaci3n p3blica**, la informaci3n es intercambiada entre miembros del p3blico y las autoridades, existe un cierto grado de di3logo en los procesos que se realizan dentro de un grupo dirigido que puede involucrar a m3s de dos partes en diferentes proporciones, diferentes inteligencias y diferentes intereses o inclusive a representantes de p3blico que sirvan como receptores de informaci3n adicional. M3s que opiniones simples, el dialogo y la negociaci3n sirven para transformar las opiniones e posiciones afirmativas de los participantes.

**Tabla 1. Formas de participaci3n p3blica.**

Tipo de intervenci3n	Características
Comunicaci3n	Maximizar informaci3n relevante del responsable y transferirla eficientemente a la m3xima cantidad de poblaci3n relevante con un procesamiento eficiente de informaci3n por los receptores (el p3blico y los participantes)
Consulta	Maximizar la informaci3n relevante al m3ximo n3mero de poblaci3n relevante y transferirla eficientemente a los responsable con el procesamiento eficiente de esa informaci3n recibida por los receptores (los responsables)
Participaci3n	Maximizar la informaci3n relevante del m3ximo n3mero de fuentes relevantes y transferirla a otros interesados con el procesamiento eficiente de esa informaci3n por los receptores (los responsables y participantes) y la combinaci3n de ellas en una composici3n adecuada.

Hern3ndez y Kempton (2003) reseñan un ejemplo de participaci3n del p3blico en la modificaci3n en el comportamiento de las instituciones mexicanas en el 3rea de la pesca. Los resultados obtenidos variaron desde una agitaci3n social infructuosa derivada del predominio de la pesca industrial sobre la pesca artesanal durante las reuniones de coordinaci3n de alto nivel, hasta un choque con la utilizaci3n de cient3ficos con visiones incompletas (muy costosos argumentando el pago por la recopilaci3n de informaci3n o con muchas limitantes debido a la improvisaci3n de su actuar como acad3micos en campos de conocimiento alejados de los propios) originando un debate pseudocient3fico.

Hermans y Thissen (2009) reseñan algunos métodos de análisis de actores para reflejar y enfocar las partes que intervienen en la toma de decisiones.

¿Qué tipo de planeación fomenta el fortalecimiento de las instituciones en el Mundo, en México y en Salinas?

El concepto de planeación ha estado ligado a la práctica humana que busca la asignación concreta de recursos y actividades dentro de la sociedad y en interacción con otras personas. Se distinguen cuatro tipos de planeaciones: Asignativa, Innovadora, Planificación radical y Práctica revolucionaria. La diferencia radica en la mayor ausencia de la autoridad por parte del Estado y la creciente movilización de la sociedad. De las diversas escuelas de planeación, se busca fomentar en Salinas el fortalecimiento de las capacidades locales de autogestión mediante un enfoque de abajo hacia arriba (“bottom-up”) como lo ha buscado el programa LEADER, en Europa ahora integrado el programa FEADER, orientándose hacia un aprendizaje social. En la Figura 2 se muestra de forma resumida las diferencias en las formas de planeación de la escuela de Friedmann.

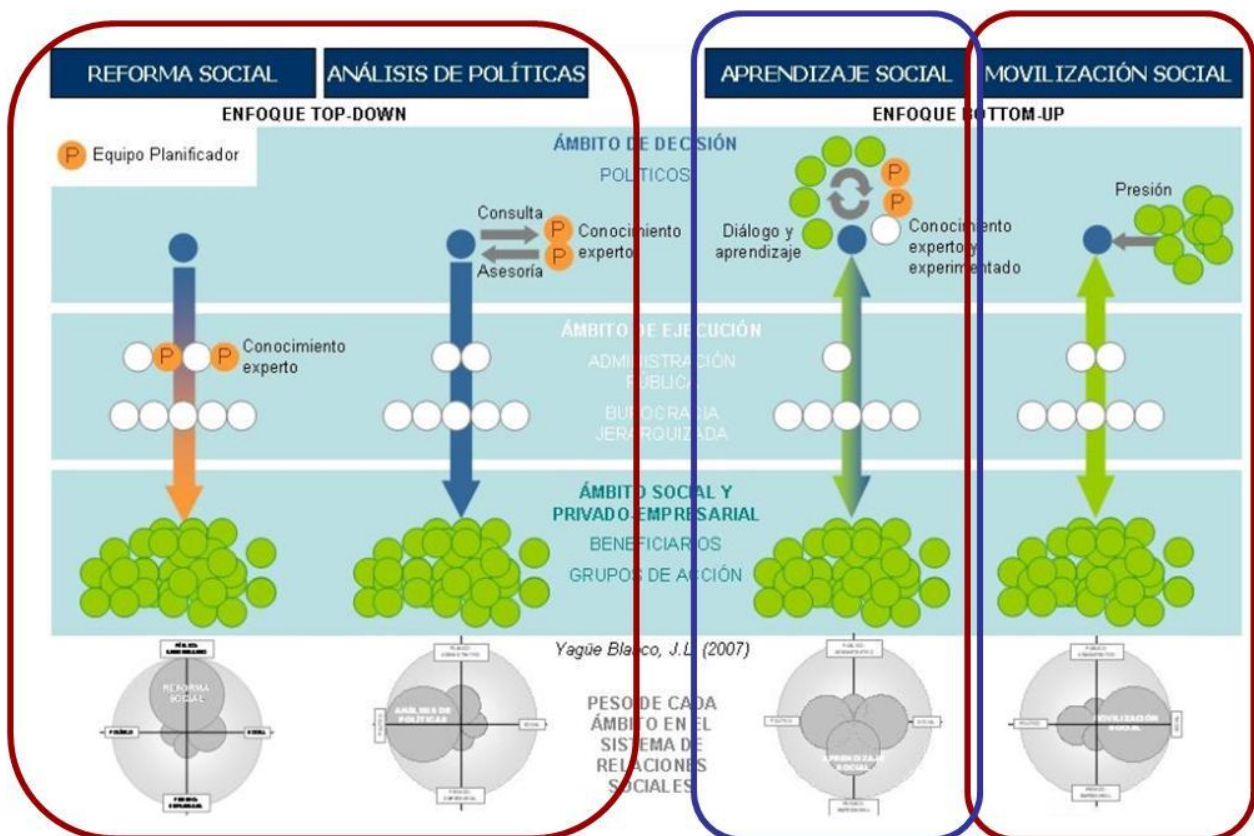


Figura 2. Formas de planeación (Yagüe Blanco, 2007).



Por ello, se considera que la toma de decisiones es una herramienta que apoya a los decisores y se convierte en un marco de referencia para acordar criterios conflictivos y para realizar la evaluación de los proyectos.

### **4.3. La Toma de decisiones**

Las organizaciones siempre buscan efficientar el uso de recursos financieros. El sector agrícola y rural es un sector con varios niveles de protección debido a la producción de alimentos así como a la generación de empleo.

Un componente crítico del desarrollo rural ha sido constantemente la innovación. Gran parte de esa innovación establecida previamente en mecanismos verticales de análisis de política ha sido reemplazada por una identificación estructurada de la problemática, el diseño innovador de proyectos para el desarrollo de la comunidad y la toma de decisiones por los actores del desarrollo local como herramienta de acuerdo en los planes de acción.

La toma de decisiones en el campo de la planeación es parte integral del aprendizaje social, en conjunto con los elementos de aprendizaje y reflexión, las instituciones y grupos sociales y la participación e integración de grupos. El aprendizaje social establece la premisa de que las decisiones de una sociedad pueden mejorarse con mayores oportunidades de dialogar y en la manera en que este diálogo genera ideas y motiva acciones que van más allá de reunir o acopiar un consenso de opiniones.

Una toma de decisiones lleva necesariamente a diferentes actores a exponer su experiencia, sus conveniencias y sus deseos de participación al escrutinio público en la búsqueda de un beneficio colectivo socialmente justo. Un ejemplo es la toma de decisiones en el ámbito rural donde los recursos públicos cada vez más competidos y se orientan para maximizar metas de muy distinta naturaleza en la búsqueda de optimizar el uso de las subvenciones.

Los problemas de toma de decisión dentro de las más diversas organizaciones no se toman considerando una sola meta. La dirección de proyectos es más compleja, a menudo cuando se logran algunas metas se generan conflictos con otras metas, sobre todo en proyectos que involucran personas. Por ello se hace necesario analizar cada alternativa según la aportación que genera en la solución o en el alcance de las metas globales de la decisión.

La toma de decisiones es realizada por una persona o por un grupo de tomadores de decisiones, alcanzar la decisión en grupo es un proceso muy lento, muy conflictivo pero al mismo tiempo muy enriquecedor y que incrementa la aceptación y la legitimidad de la decisión. En el caso de intereses privados existe una autoridad jerárquica responsable de la toma de decisiones, pero cuando se trata de intereses públicos, la decisión se acuerda en comités, juntas u órganos de gobierno con la participación de los más distintos actores e intereses.

Estos tomadores de decisiones deben dirigir personal, tiempo, dinero a través de planear, organizar, dirigir, y controlar. Se han orientado diversos esfuerzos para poder dirigir apropiadamente esta toma de decisiones ya sea disminuyendo los riesgos durante el desarrollo del proyecto como el Project Management Institute o demostrando competencias en la dirección de proyectos como el International Project Management Association. Como lo reflexionan Bots y Lootsma (2000), la toma de decisiones en el ámbito privado es muy distinta a la toma de decisiones en el sector público (Tabla 2)

**Tabla 2. Diferencias en la toma de decisiones en el sector privado y en el sector público.**

Sector privado	Sector público
La decisión depende de un solo individuo con autoridad jerárquica	La decisión es el resultado de interacciones complejas a diferentes niveles de decisión (nacional, comunitario, provincial, municipal, hasta llegar al nivel grupal)
Las decisiones se ejecutan por interés de muy pocos (lograr una posición competitiva)	Las decisiones debe incorporar incluso intereses divergentes de la sociedad
Las alternativas de solución son evaluadas con parámetros económicos medibles (participación de mercado a lograr, ganancias a obtener)	Los criterios de evaluación se vuelven demasiados, e incluyen evaluaciones cualitativas difícil de medir o complejas de entender
Las decisiones se toman con un horizonte de meses e incluso años	El impacto de las decisiones lleva décadas observarlo, sobre todo si se trata de decisiones sobre infraestructura

Existen métodos de toma de decisión para cada tipo de problemas: problemas estructurados cuya solución es un método estándar clásico (por ejemplo, una operación matemática, una prueba estadística); problemas no estructurados que son difusos y donde no existe un método de solución definido (elegir personal, apoyar una investigación); problemas semi-estructurados donde se requiere de la combinación de soluciones paramétricas y creatividad humana (decidir una inversión pública).

El análisis con decisiones multicriterio han mostrado ser una herramienta útil para este tercer grupo de problemas, tienen como propiedades implícitas en su formulación: considerar múltiples criterios de una manera explícita; ayudar a estructurar un problema de manejo o de dirección; ofrecer un modelo que sirva para enfocar la discusión sobre un tema y aportar una decisión racional, explicada y justificada.

La toma de decisiones se caracteriza por tener elementos característicos:

- ✓ Las **Metas** que son las cosas que se desea lograr expresadas en términos de estados específicos en tiempo y espacio.
- ✓ Los **Objetivos** son las reflexiones de los deseos que indican la dirección en la que se debe trabajar.
- ✓ Los **Criterios** que son los estándares de juicio o reglas que validan la aceptabilidad de la decisión.
- ✓ Los **Atributos** son las características, cualidades o parámetros de desempeño de las alternativas a considerar para tomar la decisión.
- ✓ Las **Alternativas** son las posibles decisiones que favorecen el logro de las metas establecidas.

Algunos métodos de decisión se listan en la tabla siguiente

**Tabla 3. Resumen de métodos de decisión**

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Proceso de jerarquía analítica (AHP)	Reduce la complejidad a comparaciones uno a uno y se sintetizan los resultados, Considera aspectos cuantitativos y cualitativos de la decisión
Análisis de comparaciones pareadas	Define la importancia de opciones relacionadas con otras opciones, facilitando la elección del problema más importante a considerar, determina el criterio más importante, y selecciona la solución que daría mayor ventaja, ayuda a definir prioridades donde exista conflicto en el uso de

Método	Descripción
	recursos
Teoría de utilidad multi-atributo	Este método lista las alternativas y factores, se pondera la importancia relativa de los factores y los ponderadores definirán las preferencias de los tomadores de decisiones
Árbol de decisión	Utiliza una gráfica de decisiones y sus posibles consecuencias para crear un plan para llegar a la meta.
Modelo de optimización	Son métodos que maximizan o minimizan una función eligiendo valores de variables de un grupo determinado. El método de optimización es lo que hace muy variable estos métodos
Programación Lineal	Se trata de funciones objetivo y restricciones de carácter lineal.

Se considera que el proceso de jerarquía analítica apoya la toma de decisiones en puede ser útil cuando se refiere a asuntos del orden público cuando los tomadores de decisiones tienen un diverso bagaje intelectual y orientan su decisión respecto a su propia conveniencia

#### 4.4. Proceso de jerarquía analítica

El proceso de jerarquía analítica o AHP (Analytic Hierarchy Process) es una herramienta de toma de decisión multi-atributo útil en planeación, selección de alternativas, ubicación de recursos, solución de conflictos así como optimizaciones.

El Proceso de Jerarquía Analítica es un modelo para Toma de Decisiones, que fue desarrollado en el año de 1980, por el profesor Thomas Saaty, de la Universidad de Pittsburgh y es considera como una técnica multicriterio y multiatributo. La mecánica de aplicación es relativamente simple: 1) descomponer el problema; 2) realizar juicios comparativos; y 3) sintetizar los resultados. La técnica AHP descompone un complejo problema en jerarquías o niveles; cada uno de estos niveles se descompone sucesivamente en elementos más simples. En el primer nivel, se ubica la meta a lograr; en el segundo nivel se enuncian los criterios que se consideraran para cumplir esa meta, en un tercer nivel se muestran los subcriterios en que se puede descomponer esos criterios y finalmente en un cuarto nivel, las alternativas a considerar.

El punto central de la AHP es el proceso de asignar ponderación a los criterios relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados. Para obtener estos ponderadores son necesarias respuestas (numéricas o verbales) a una serie de preguntas que comparan dos criterios o dos alternativas. Las opciones varían entre 1 y 9 aunque se han propuesto conversión de escalas verbales, logarítmicas, potencias geométricas y negativas, finalmente se toma como base la escala de 1 al 9.

El atractivo de la AHP reside en el hecho de que no requiere una escala común de medidas de todos los factores. Por esta razón se pueden incorporar en el análisis consideraciones sociales, culturales, económicas donde la importancia de los criterios puede ser diferente, pero la AHP comienza determinando la relativa importancia de estos criterios y compara el peso de los criterios por parejas de juicios.

La propuesta original del Dr Saaty consiste en una escala de 9 puntos con diferentes acepciones comparativas (Tabla 4). La escala comparativa básica se construye basada en juicios tipo como el siguiente:

Señale como considera la contribución de la alternativa 1 comparada con la alternativa 2 en el cumplimiento del criterio n:										
Alternativa 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Alternativa 2
	Extremadamente fuerte	Muy Fuerte	Muy Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Muy Fuerte	Muy Fuerte	Extremadamente fuerte	

Algunos autores han evaluado la correspondencia de la escala verbal de comparaciones con una escala de valores adecuada para identificar cuál es la mejor valoración para cada individuo (Liang et al, 2008, Dong, 2008).

**Tabla 4. Escala de comparaciones de alternativas pareadas.**

Intensidad	Definición	Explicación
1	Igual	Las dos alternativas contribuyen de igual forma al cumplimiento del criterio
3	Moderada	Una alternativa quizá contribuye levemente más que la otra alternativa al cumplimiento de un criterio
5	Fuerte	Una alternativa contribuye fuertemente en el cumplimiento de un criterio respecto a la otra alternativa
7	Muy fuerte o demostrada	Una alternativa contribuye definitivamente al cumplimiento de un criterio respecto a la otra alternativa; su predominancia se ha demostrado en la práctica.
9	Extrema	Una alternativa es absoluta y claramente preferida para el cumplimiento de un criterio respecto a la otra alternativa.
2,4,6,8	Valores intermedios	Grados intermedios que necesitan un compromiso de las partes

Recientemente, Vaida y Kumar (2006) han mostrado un resumen de las aplicaciones en que ha sido utilizada la jerarquía de análisis de procesos, principalmente en el campo de la ingeniería, los aspectos sociales, así como decisiones personales. Diaz-Balteiro y Romero (2008) clasifican los métodos de toma de decisión en el sector forestal donde sobresale la AHP como método más utilizado en biodiversidad, en sostenibilidad y en calendarios extendidos de manejo forestal.

La aplicación de la AHP en temas agrícolas se ha concentrado en la ubicación de depósitos de agua en la rivera del río Chaliyar en la provincia Kerala en la India (Rajuy y Pillai, 1999); en el análisis de agricultores de la Cuenca del Duero sobre posibles futuros de la política agrícola en la Unión Europea (Riesgo y Gómez-Limón, 2006); Oddershede y Arnoldo Arias (2007) realizan un AHP en la planeación del desarrollo rural en una región portuaria de Chile; Parra-López et al (2008) analizan el cultivo del olivo para elegir entre sistemas de producción tradicional, integrado y orgánico, incluso en maquinaria agrícola ya se ha utilizado el AHP para diseñar las dimensiones de una cosechadora de trigo (Ebrahimi Nika et al, 2009). Incluso la AHP ha sido utilizada para definir el grado de daño moral (Stein, 2008).

En el área de caminos rurales, algunos de los esfuerzos relacionados con la definición de caminos rurales son: Cazorla et al (2008) realizan una evaluación multicriterio para evaluar rutas de manejo en el área protegida para aves en Encinares del Río Alberche y Cofío al suroeste de la Comunidad de Madrid; Gallego et al (2008a y 2008b) proponen una metodología para caracterizar la condición de caminos de bajo volumen.

La integración de todas las decisiones ha sido un tema recurrente en los temas de investigación sobre la AHP, se ha buscado la suma simple de decisiones, expresiones equivalentes a la media geométrica así como coeficientes de desviación de las opiniones (Parra-López et al, 2008). Recientemente Lipovetsky (2008) hace una revisión de la estructura óptima de las jerarquías para

reducir el número de comparaciones pareadas totales con el beneficio de reducir el esfuerzo de obtener datos y sintetizar preferencias locales en prioridades globales (ver Figura 3).

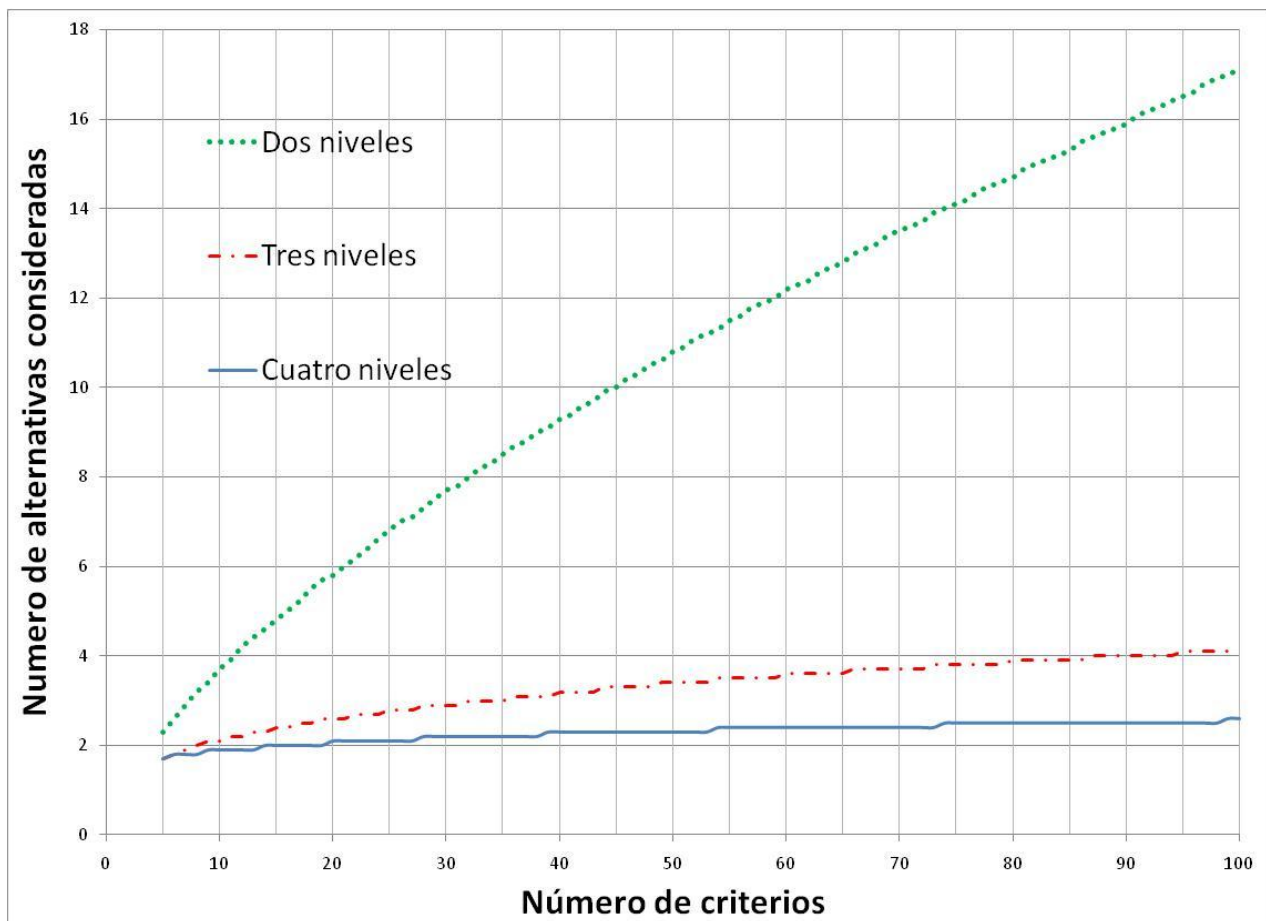


Figura 3. Estructura óptima de una AHP según el número de criterios y su nivel de profundidad.

El mismo Dr. Saaty ha revisado el concepto de la votación para incluir la intensidad de las preferencias en un intento de validar el resultado para integrarlo al mundo real. (Saaty and Shang 2007).

Tres son las grandes debilidades que diversos autores han encontrado en la AHP: el problema de rankeos inversos (Perez, Jimeno y Mokotoff, 2006; y Wang y Elhag, 2006); el método de derivación de prioridades y la escala de comparación.

El ranqueo inverso sucede cuando una alternativa considerada como mejor, ya no es la mejor alternativa cuando se incorpora una nueva alternativa que altera el balance de preferencias, sin llegar a ser la nueva alternativa preferida. Algunos autores lo atribuyen a que el peso de cada

ponderador es independiente durante la evaluación de las alternativas existentes por lo que respecta a este criterio. Las alternativas para evitar este inconveniente son dos: evitar realizar una AHP sin considerar completamente las alternativas posibles; y una segunda alternativa más elaborada y discutible: normalizar los ponderadores para ubicar de manera estadística la inclusión de la nueva preferencia.

#### **4.5. Objetivos del trabajo tutelado**

Los objetivos que se buscan en el trabajo tutelado son que el tutorando:

- ✓ Reflexione sobre el proceso de decisión multi-criterio.
- ✓ Evalúe e integre la información relevante en el proceso de elección de la “mejor” alternativa y en la evaluación de un grupo de alternativas
- ✓ Defina información relevante a los caminos rurales que lo orienten en el proceso de toma de decisión
- ✓ Aplique un proceso de decisión multi-criterio en los caminos rurales de Salinas.

#### **4.6. Situación de los caminos de Salinas**

##### **4.6.1. Ubicación de Salinas**

El Municipio de Salinas de Hidalgo se encuentra ubicado al oeste del Estado de San Luis Potosí, en la Región denominada Altiplano Potosino, a una altitud de altitud es de 2,099 metros sobre el nivel del mar (entre 23°11'a 22°28' Latitud Norte y 101°23' a 101°57' Longitud Oeste), a 99 km de la capital del Estado, San Luis Potosí. La extensión del municipio abarca 2,116 Km<sup>2</sup> (3.4% de la superficie del estado), donde habitan 26,985 habitantes (para 2020 se calcula un población de 21,000 habitantes y para 2030 de 18,000 habitantes).





**Figura 4.** Ubicación geográfica de Salinas, San Luis Potosí.

La importancia económica de región de Salinas (los municipios de Villa de Ramos, Santo Domingo y Salinas) contribuye con un 7.0% del PIB estatal con una generación de riqueza per cápita de 40,318 pesos anuales (que representa 0.22 del valor promedio generado en México (13,141 USD)).

#### **4.6.2. Extensión de los caminos en Salinas**

En el mes de marzo se realizó un levantamiento de los caminos que conectan a las principales localidades de Salinas, San Luis Potosí. El levantamiento de los caminos durante el mes de enero de 2009 utilizó un GPS Trimble Juno ST y ArcPad versión 7.1 para capturar el trazo geográfico, la velocidad de recorrido y el tipo de superficie de rodamiento que comunican a las localidades del municipio.

En la Figura 5 se observa que existen dos caminos pavimentados que cruzan el municipio: en sentido Oriente-Poniente como principal vía de comunicación de la cabecera municipal con los polos económicos regionales de Zacatecas y San Luis Potosí, capitales de los estados del mismo

nombre; y de Sur a Norte una carretera estatal dirigida hacia el municipio de Santo Domingo como eje conector con el Noreste de San Luis Potosí. La diferencia entre ambas carreteras es el número de carriles para la circulación en 4 carriles en la carretera federal y 2 carriles en carreteras estatales.

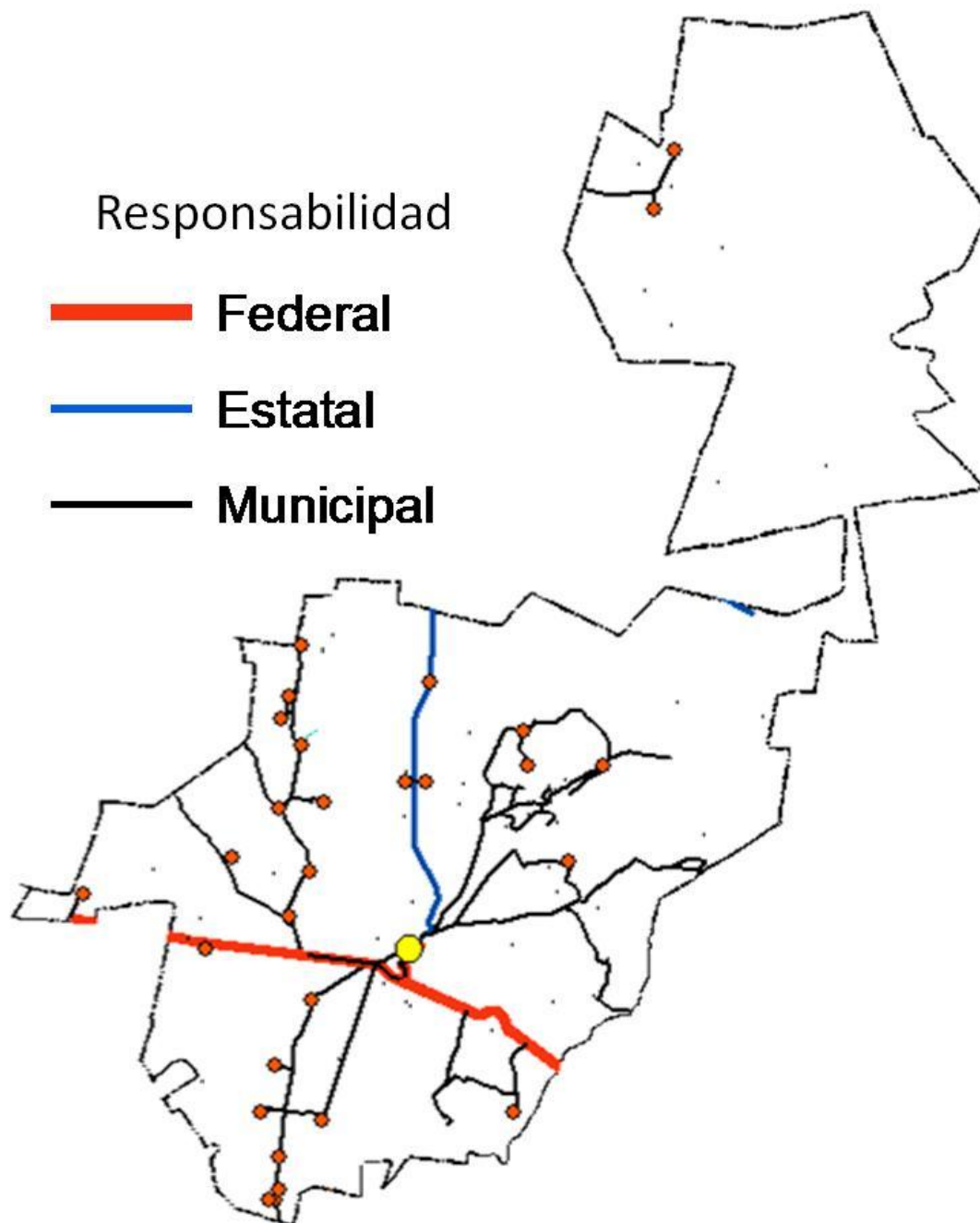


Figura 5. Caminos existentes en Salinas, San Luis Potosí (2009).

El resto de los caminos rurales comunican a localidades menores de 2,500 habitantes con calidades como las que se muestra en la Figura 6. Los principales inconvenientes relacionados con estos caminos rurales son, en palabras de los habitantes de Salinas son: **la calidad de la terracería del camino** ya que el Programa de Empleo Temporal, que otorga un pago al habitante a cambio de

realizar mantenimiento de su camino rural, solo logran paliar ligeramente el problema de camino que el uso y desgaste normal volverá a general una mala condición del camino; la **falta de transporte rural**, tanto en transporte de pasajeros como el transporte de mercancías rurales, derivado del mal estado de los caminos lo que obliga a que los habitantes tengan un abasto semanal de mercancías y un viaje semanal hacia Salinas para adquirir los bienes que no se pueden adquirir en la misma localidad; y finalmente, **el desgaste que impacta en los vehículos rurales** cuyo origen es la importación irregular de vehículos con más de 10 años de antigüedad.



**Figura 6. Camino y construcción de paso de cruce de avenidas pluviales incompleto.**

Durante los últimos 11 años, la inversión municipal en caminos se ha orientado en construcción, mantenimiento y reconstrucción varía entre 5 y 30% del presupuesto anual que recibe el municipio. Los menores valores dedicados a los caminos se dieron durante el trienio de administración 2001-2003, y la administración 2007-2009 se están observando nuevamente las menores cantidades de presupuesto (Tabla 5 y Figura 7). Del informe municipal se deduce que: por construcción se identificó la pavimentación de caminos rurales existentes; por mantenimiento de caminos se definen los programas de bacheo de los caminos revestidos; y finalmente, por reconstrucción se identifica



reconstrucción de caminos rurales que en tiempo de lluvia son destruidos por las avenidas extraordinarias de precipitación pluvial.

**Tabla 5. Monto de inversión en Caminos en Salinas, 1998-2008 (miles de pesos constantes de 2002, expresados en Euros)**

Año	Construcción de caminos	Mantenimiento de caminos	Reconstrucción de caminos	<b>Total dedicado a caminos</b>	Presupuesto del municipio	<b>Participación (%)</b>	Administración municipal
2008	100.7	16.5	-	<b>117.2</b>	1,470.8	<b>8.0</b>	2007-2009
2007	28.6	94.0	-	<b>122.6</b>	1,186.3	<b>10.3</b>	2007-2009
2006	205.9	11.0	3.4	<b>220.2</b>	945.2	<b>23.3</b>	2003-2006
2005	144.7	27.8	-	<b>172.6</b>	1,094.0	<b>15.8</b>	2003-2006
2004	216.3	44.7	-	<b>261.0</b>	931.6	<b>28.0</b>	2003-2006
2003	87.5	-	-	<b>87.5</b>	906.2	<b>9.7</b>	2000-2003
2002	-	3.2	48.7	<b>51.9</b>	1,058.5	<b>4.9</b>	2000-2003
2001	76.5	0.3	-	<b>76.8</b>	849.8	<b>9.0</b>	2000-2003
2000	83.1	0.8	2.4	<b>86.3</b>	666.1	<b>13.0</b>	1997-2000
1999	75.1	12.9	-	<b>88.0</b>	658.5	<b>13.4</b>	1997-2000
1998	18.9	4.3	47.7	<b>70.9</b>	349.3	<b>20.3</b>	1997-2000

Nota: Las cantidades expresadas están deflactadas a Junio de 2002 (mes de referencia para comparaciones financieras por el Banco de México: calculadora de inflación) y convertidas en Euros a la Tasa de cambio del 31 de diciembre de 2008: 19.56 Pesos por Euro).

Fuente: SIDESORE, 2009

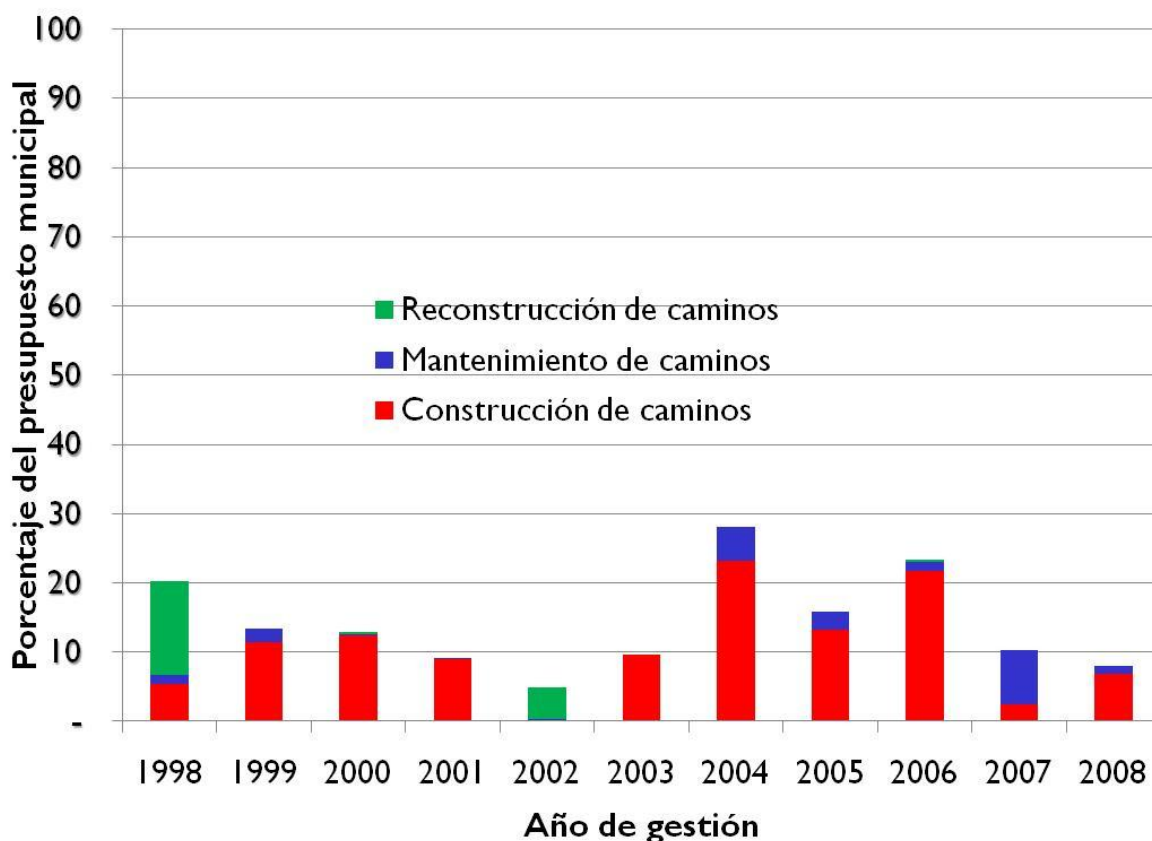


Figura 7. Destino de la inversión en caminos rurales en Salinas, 1998-2008 (% del presupuesto municipal).

A diferencia de los estilos de financiamiento que reseña Jaarma y Dijk (2002), la situación de Salinas no se ubica como la africana y asiática donde los organismos internacionales le construyen la red carretera al país con el posterior abandono; la situación de Salinas en el tema de financiamiento de caminos se encuentra entre el estilo europeo donde hay que aumentar la eficiencia y productividad de la inversión en caminos a pesar de las limitaciones presupuestales y la visión del político que no advierte en el tema de caminos de un tema atractivo para el desarrollo local y su proyección política.

En la Figura 8 se muestra la concentración de la población según el tiempo de recorrido. El tiempo de recorrido se registró utilizando un vehículo de carga a una velocidad promedio recomendada para cada tipo de superficie de rodamiento (80 km/h para carretera pavimentada (de dos o cuatro carriles), 60 km para camino revestido, 40 km/h para terracería y 30 km/h para brecha mejorada). La medición se inició desde el centro del poblado hasta puntos definidos en las afueras de Salinas y

viceversa. La relación de comunidades en donde se ha medido el tiempo de traslado hacia Salinas se muestra en el Anexo 4.

El 55% de la población del municipio vive en Salinas por lo que no realizan un desplazamiento significativo dentro del municipio, es lo que Módenes (2008) identifica como espacio de vida; un 30% de la población vive a menos de 25 minutos y el restante 20% de la población vive en poblaciones de 25 a 45 minutos de Salinas. Solo El Mezquite y El Estribo se ubican a más de 100 minutos de la cabecera municipal y representan el 3% de la población.

Se puede observar que el traslado del 45% de la población rural, que se localiza fuera de la cabecera municipal, es realizado por cuenta propia. La red suburbana de transporte público con origen en Salinas y con destino en las localidades rurales cuenta con corridas semanales a diferentes los destinos con una duración promedio de 2 horas lo que no representa una alternativa confiable para el traslado de alumnos de educación superior, ni de cumplir con necesidades de traslados en busca de ayuda médica.

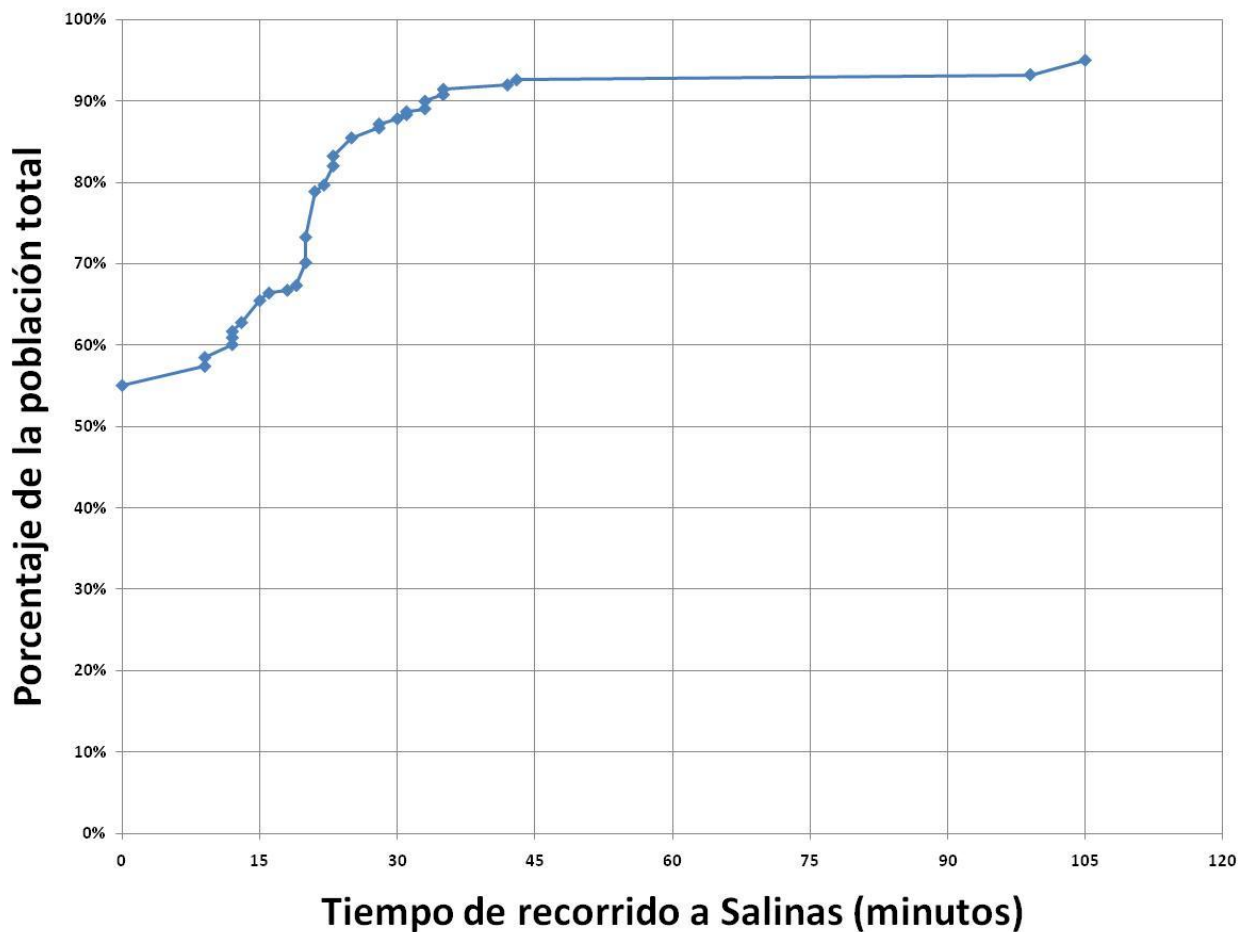


Figura 8. Comparación de la predicción de tiempos de recorrido en Salinas, SLP.

Con la información recopilada durante esta investigación se puede advertir que el tema de los caminos en Salinas, San Luis Potosí se caracteriza por una inversión pública, que oscila alrededor de 8 a 10% del presupuesto anual del municipio, orientada al revestimiento de caminos existentes debido a que los caminos son construidos basándose en una compresión de la capa de suelo con un revestimiento ligero de asfalto, lo que le da un poco resistencia a los dos principales factores de desgaste: el paso de vehículos así como el intemperismo propio de condiciones semidesérticas.

Esta condición de revestimiento favorece una velocidad de desplazamiento entre 20 y 40 km por hora que el tráfico diario va desgastando hasta crear un camino altamente disgregado acelerando el desgaste de un vehículo que ya tiene alrededor de 10 años de edad y que es producto del trabajo de la mano de obra migrante que ya tiene su residencia en el área de Georgia, principalmente.

La mayoría de la población no realiza desplazamientos de importancia en forma frecuente ya que la adquisición de víveres sucede durante los días martes en el mercadillo que se instala en Salinas y donde el transporte público tiene su corrida semanal, por lo que los traslados extraordinarios como conseguir ayuda médica es solventado por los propios habitantes mediante vehículos propios. Las necesidades de educación básica son provistas en casi todas las localidades de Salinas y con la incorporación a las actividades agrícolas de la mano de obra de 12 años el transporte con fines educativos se reduce sensiblemente. Por ello el concepto de movilidad a que hace referencia Módenes (2008) se identifica como espacio de vida porque la familia hasta los 12 años no sale de la localidad de forma cotidiana.

#### **4.7. Proceso de jerarquía analítica (AHP) en la definición de prioridades de gestión, caso: caminos rurales de Salinas, San Luis Potosí, México.**

La evaluación de infraestructura de caminos debe considerar criterios que normen la toma de decisiones, apoyados en su conceptualización. Los criterios elegidos varían según su objetivo y propósito específicos para cada caso.

El esquema que se propone es una evaluación de múltiples criterios basada en un proceso de jerarquías analíticas que permite definir el peso de los criterios que se consideran que intervienen en la decisión de caminos, y la valoración de las alternativas candidatas según sus diferentes atributos para apoyar la toma de decisiones.

En esta sección mostraremos un ejemplo con dos niveles de AHP para ilustrar el proceso de jerarquía analítica. La estructura jerárquica de este ejemplo puede ser como sigue:



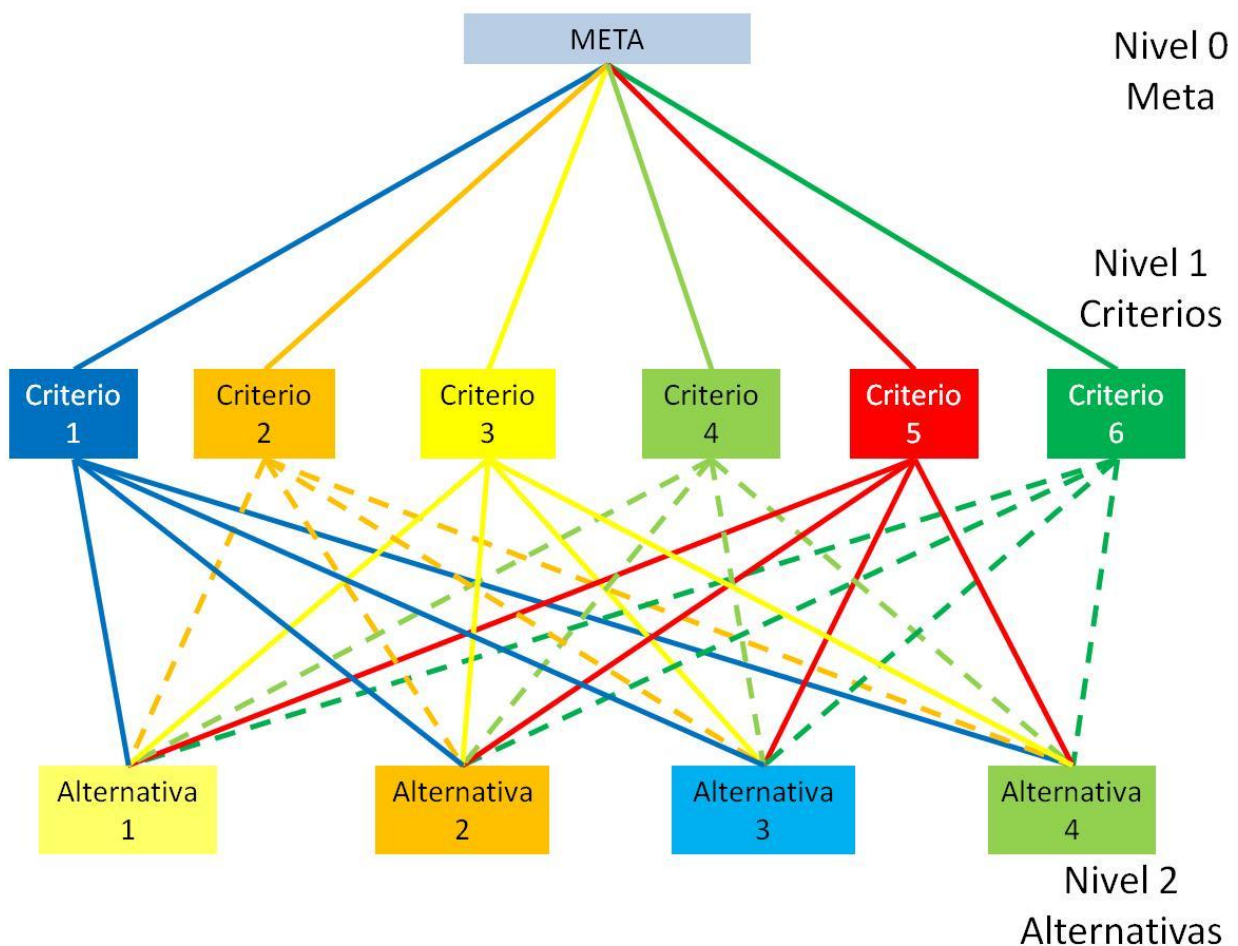


Figura 9. AHP para la toma de decisiones sobre los caminos de Salinas, SLP.

El nivel cero es la meta del análisis. El nivel 1 es multicriterio que consiste de diferentes factores. Se pueden adicionar muchos otros niveles de subcriterios o sub-subcriterios. El segundo nivel son las alternativas a elegir. Las líneas entre los niveles indican la relación entre las alternativas, los factores y la meta. En el nivel 1 se tiene que hacer una matriz de comparación correspondiente a los cuatro factores con respecto a la meta, la matriz de comparación tiene tamaño de  $4 \times 4$ .

Debido a que cada elección está conectada con cada factor y tienes 3 alternativas y 4 factores, que originarán 4 matrices de comparación en el nivel 2. Cada una de estas matrices tiene tamaño  $3 \times 3$ . Sin embargo, observarás en este ejemplo, que la ponderación de las matrices nivel 2 contribuye poco a la decisión final, por lo que podremos ignorarlas.

## 4.8. Estructura de la decisión multicriterio

La estructura de la decisión multi-criterio considera tres grandes criterios de sostenibilidad: el criterio social relacionado con los beneficios e inconvenientes para la sociedad de Salinas; el criterio ambiental sobre el impacto del desarrollo de caminos en el medio ambiente; y el criterio económico sobre el impacto en las condiciones económicas de Salinas. El detalle de cada uno de los criterios se observa en el apartado 9.1 y la Figura 10 ilustra esta toma de decisiones.

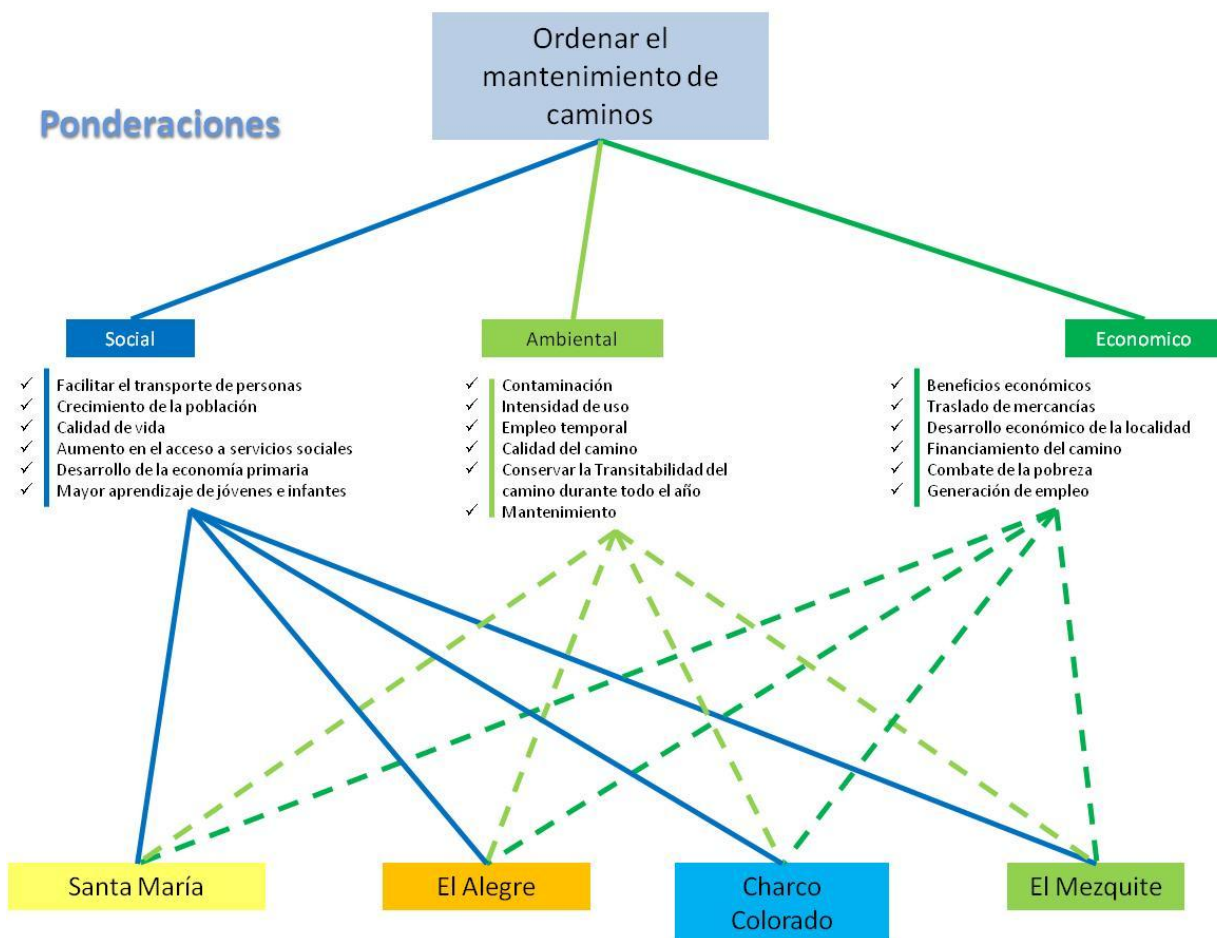


Figura 10. Estructura de la AHP para la toma de decisiones sobre caminos

### 4.8.1. Criterios

#### **Social**

En este apartado se ubican los criterios relacionados con la población y su bienestar que favorecen o demeritan la pavimentación de un camino rural por encima de otros. Se pone énfasis en las

percepciones de los beneficios sociales en lugar de concentrarse en las limitaciones de carácter social.

<b>Dimensión</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Definición</b>
Social	Facilitar el transporte de personas	Percepción de la necesidad de resolver un problema estructural definido (Beneficiar a determinado sector de la población rural de Salinas, reducir el tiempo de recorrido facilidad para conseguir transporte, así como el tiempo de trasbordo)
	Crecimiento de la población	Percepción que se tiene del crecimiento de la población de la localidad para los próximos 10 años
	Calidad de vida	Percepción sobre la mejora de la calidad de vida derivada de una mejora al camino actual
	Aumento en el acceso a servicios sociales	Percepción de mejora en la consecución de servicios sociales como clínicas, hospitales y educación superior
	Facilidad para conseguir transporte rural	Percepción sobre la introducción de nuevas rutas de transporte
	Desarrollo de la economía primaria	Percepción sobre la facilitación de las condiciones para realizar comercio
	Mayor aprendizaje de jóvenes e infantes	Percepción de impacto en los niveles de educación básica y secundaria

### ***Ambiental***

En este segundo apartado se ubican criterios relacionados con el impacto ambiental de los caminos rurales en el entorno rural.

<b>Dimensión</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Definición</b>
Ambiental	Contaminación	Percepción del grado de contaminación que ocasionaría una modificación al estado actual del camino
	Intensidad de uso	Percepción sobre la intensidad de uso de camino en su estado actual
	Empleo temporal	Percepción sobre el aporte de empleo temporal que la comunidad estaría dispuesta a aportar para mantener el estado de su camino
	Calidad del camino	Percepción sobre la calidad técnica del estado del camino
	Conservar la Transitabilidad del camino durante todo el año	Percepción sobre las dificultades y retrasos para el movimiento de personas a lo largo del año
	Mantenimiento	Percepción sobre la necesidad de mantener el camino en condiciones de transitar

### ***Económico***

El estado de un camino rural siempre logra un impacto en la economía de las localidades. En esta categoría se identifican a los criterios que disminuyen los costos de transacción, aumentan el desarrollo económico de la sociedad, así como la percepción de las necesidades de financiamiento del camino, entre otros.

<b>Dimensión</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Definición</b>
Económica	Beneficios económicos	Percepción de beneficios concretos que se obtendrán de modificar la configuración de caminos
	Traslado de mercancías	Percepción de los beneficios en la mejora de los tiempos de traslado de mercancías y sus repercusiones en la agregación de valor de los productos
	Desarrollo económico de la localidad	Percepción de la predicción del desarrollo económico que se generaría con la modificación de caminos
	Financiamiento del	Percepción de las necesidades de financiamiento para construir el camino

Dimensión	Subcriterio	Definición
	camino	
	Combate de la pobreza	Percepción de la ayuda al combate a la pobreza generada con una posible modificación de caminos
	Generación de empleo	Percepción del impacto en la modificación de caminos en la generación de empleo

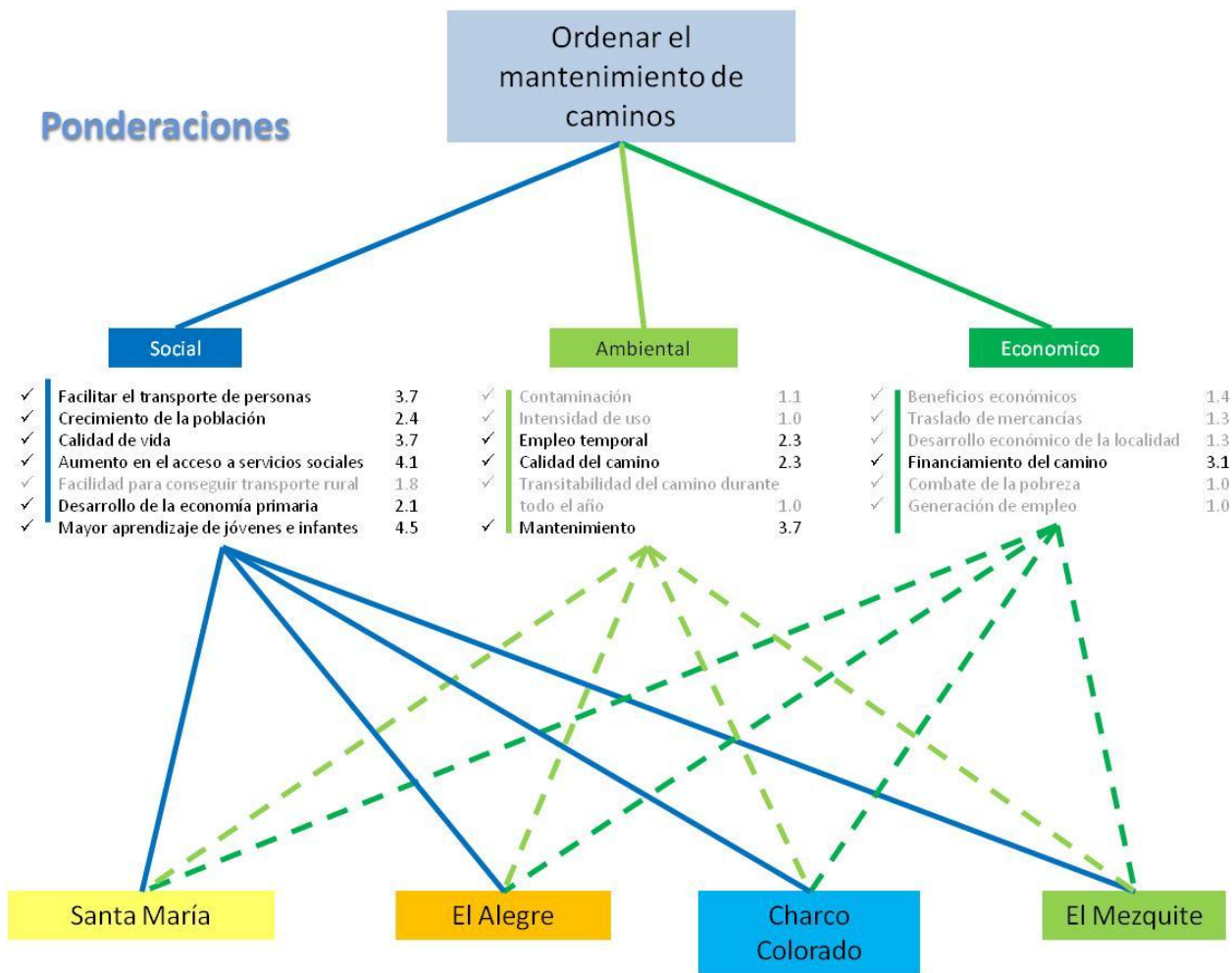
#### 4.8.2. Preferencias

Se mostró esta lista de criterios a algunos jueces de las comunidades rurales de Salinas como máxima autoridad local con responsabilidad inmediata en el desarrollo futuro de la localidad, así como diferentes habitantes de las localidades. Los jueces son nombrados por la comunidad en una asamblea formal.

La calificación de las preferencias evaluó en forma absoluta la importancia de cada uno de los criterios respecto al resto de criterios mencionados. De esta manera el juez o el habitante rural calificaron su preferencia sobre los diferentes criterios propuestos para evaluar la prioridad de caminos. Las preferencias resultantes se observan en la Tabla 6 y en la Figura 11:

**Tabla 6. Preferencias de los jueces y habitantes de Salinas sobre los criterios para considerar en la mejora de caminos**

Calificación	Igual importancia que el resto de criterios	Moderada importancia respecto al resto de criterios	Fuerte preferencia respecto al resto de criterios	Muy Fuerte preferencia respecto al resto de los criterios	Extremada importancia respecto al resto de criterios	Promedio
Facilitar el transporte de personas	7	17	1	4	3	<b>3.7</b>
Crecimiento de la población	13	16	3	0	0	<b>2.4</b>
Calidad de vida	4	18	5	5	0	<b>3.7</b>
Aumento en el acceso a servicios sociales	7	3	19	3	0	<b>4.1</b>
Facilidad para conseguir transporte rural	22	8	2	0	0	<b>1.8</b>
Desarrollo de la economía primaria	15	17	0	0	0	<b>2.1</b>
Mayor aprendizaje de jóvenes e infantes	4	6	19	0	3	<b>4.5</b>
Contaminación	31	1	0	0	0	<b>1.1</b>
Intensidad de uso	32	0	0	0	0	<b>1.0</b>
Empleo temporal	22	4	2	3	1	<b>2.3</b>
Calidad del camino	23	1	4	4	0	<b>2.3</b>
Transitabilidad del camino durante todo el año	32	0	0	0	0	<b>1.0</b>
Mantenimiento	6	13	9	4	0	<b>3.7</b>
Beneficios económicos	25	7	0	0	0	<b>1.4</b>
Traslado de mercancías	28	4	0	0	0	<b>1.3</b>
Desarrollo económico de la localidad	28	4	0	0	0	<b>1.3</b>
Financiamiento del camino	13	9	7	1	2	<b>3.1</b>
Combate de la pobreza	32	0	0	0	0	<b>1.0</b>
Generación de empleo	32	0	0	0	0	<b>1.0</b>



**Figura 11. Estructura de la AHP propuesta por los habitantes de Salinas a ser considerada.**

Se observa en la Tabla 6 que considerando a todas las localidades los criterios “mayor aprendizaje de jóvenes e infantes”, “mayor acceso a servicios sociales”, “incremento en la calidad de vida”, y “mantenimiento regular” son las alternativas más preferidas en general por los habitantes encuestados de Salinas, que se perciben como necesidades inmediatas y sentidas de la gente.

Con la mayor indiferencia, para los habitantes de Salinas, se ubican los criterios de asignación de recursos económicos: “combate a la pobreza”, “generación de empleo”, “desarrollo económico de la localidad”, “traslado de mercancías”, “beneficios económicos” utilizados por los gobiernos mexicanos para la asignación de recursos así como los criterios relacionados con el impacto ambiental: “intensidad de uso” y “contaminación”.

A fin de poder identificar las preferencias definidas por los habitantes a nivel de cada localidad se realizó un análisis de correspondencia de las localidades y los criterios mostrados por cada una de

las localidades utilizando SAS (Statistical Software System) versión 9.1, que agrupan componentes principales para tipificar el comportamiento de las preferencias detectadas. Los resultados se muestran en la Tabla 7 se muestra que con dos dimensiones se explica 54% de la variabilidad de las preferencias de criterios relacionados con caminos a nivel de localidad (34.3+19.8), con un elevado grado de independencia entre la dimensión 1 y la dimensión 2 (chi cuadrada = 105.2 y 19.8).

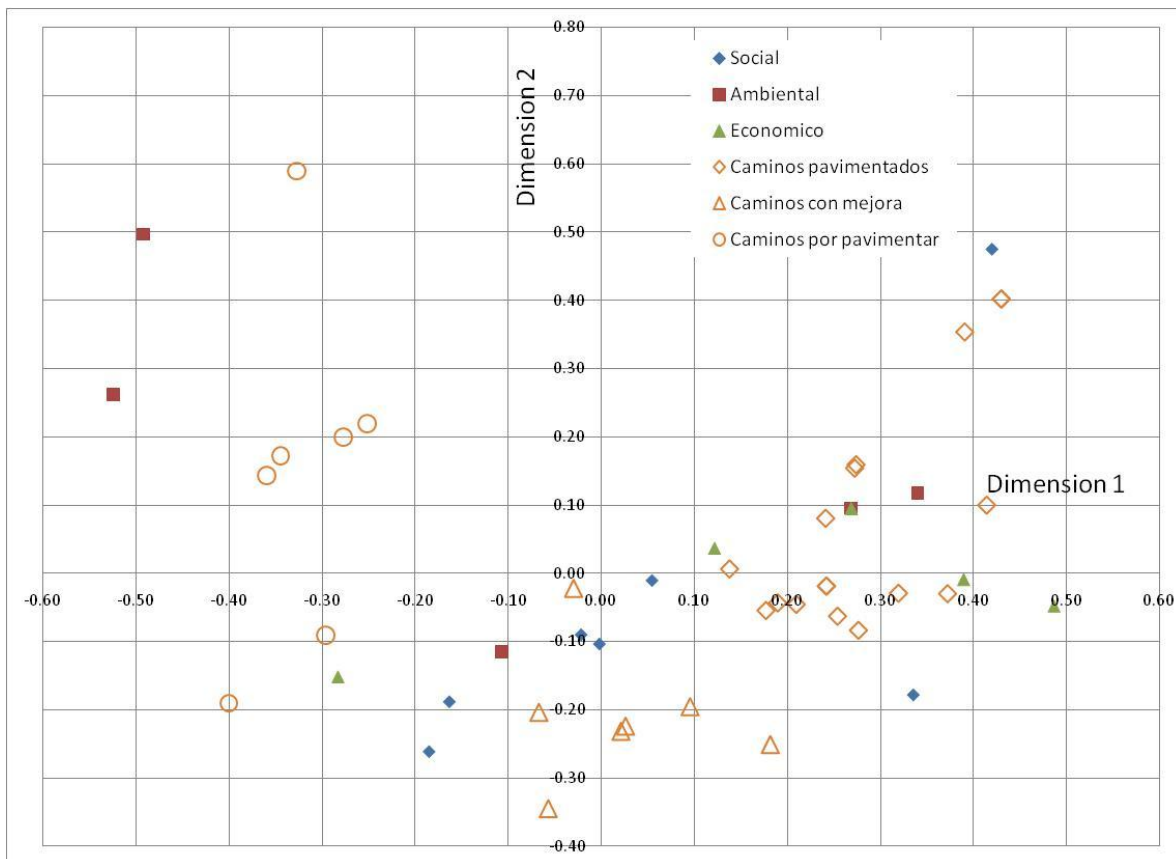
**Tabla 7. Estadísticos del análisis de correspondencia sobre las preferencias sobre caminos de las localidades de Salinas**

Singular Value	Principal Inertia	Inertia and Chi-Square Decomposition							
		Chi-Square	Percent	Cumulative Percent	7	14	21	28	35
0.27773	0.07714	105.213	34.35	34.35	*****				
0.21083	0.04445	60.627	19.79	54.15	*****				
0.15396	0.02370	32.332	10.56	64.70	*****				
0.15214	0.02315	31.572	10.31	75.01	*****				
0.11562	0.01337	18.233	5.95	80.96	****				
0.10604	0.01124	15.336	5.01	85.97	****				
0.09623	0.00926	12.630	4.12	90.10	***				
0.07629	0.00582	7.939	2.59	92.69	**				
0.07469	0.00558	7.609	2.48	95.17	**				
0.06242	0.00390	5.314	1.74	96.91	*				
0.04831	0.00233	3.183	1.04	97.95	*				
0.04144	0.00172	2.342	0.76	98.71	*				
0.03680	0.00135	1.847	0.60	99.31					
0.03301	0.00109	1.486	0.49	99.80					
0.02122	0.00045	0.614	0.20	100.00					
Total	0.22454	306.278	100.00						

Degrees of Freedom = 558

La clasificación formada muestra que se agrupan en el grupo 1 las localidades de Salinas cuyas preferencias están ligadas a la existencia de un camino pavimentado por el cual se arriba a la localidad; un segundo grupo de localidades (grupo 2) cuyas preferencias son expresadas por localidades que cuentan con caminos y que requieren mantenimiento a los caminos que conducen a la localidad; finalmente el grupo 3 agrupa a aquellas localidades cuyas preferencias se caracterizan por no contar con un camino pavimentado (Figura 12 y Anexo 3).

Finalmente, al mismo tiempo que se clasificaron las localidades, se agruparon los criterios según las preferencias declaradas por los habitantes de Salinas (Figura 12). Se observa que se agruparon hacia la parte positiva de la dimensión 1 los criterios que tienen que ver con la asignación de recursos (crecimiento de la población, combate a la pobreza, generación de empleo); hacia la parte negativa de la Dimensión 1 se agruparon los criterios de empleo temporal, calidad del camino, financiamiento, facilitación del transporte, y mantenimiento.



**Figura 12. Análisis de correspondencia considerando las localidades y la preferencia de criterios a nivel de localidad**

Al analizar en forma conjunta las preferencias y las localidades, se puede concluir que las localidades comunicadas por carretera o ubicadas a pie de carretera privilegian criterios como crecimiento de la población, combate a la pobreza, y la generación de empleo, entre otros criterios, en este tipo de carreteras se ubican comunidades como el Alegre, Charco Colorado, Salitrillo se encuentran ya comunicadas por algún tipo de carretera. Las localidades que consideran al fomento de empleo temporal, la calidad del camino, el financiamiento en la construcción del camino, y la

facilidad del transporte de personas tienen camino de terracería como San Juan Sin Agua, Santa María, San Evaristo, El Tecolote y Pozo seco.

Las preferencias para la definición de caminos que han expresado los habitantes de Salinas deben ser consideradas por el ayuntamiento municipal para incorporarlo en la formulación de los planes de gobierno municipal, particularmente en el inicio de la administración 2010-2012. Este esfuerzo representa el reto del aprendizaje de los procesos de decisiones multicriterio por parte de las autoridades municipales y la sociedad de Salinas identificada en la forma de célula de planeación o fuerza de tarea con tiempos definidos, recurrencia determinada y formas de participación abierta que permitan una formulación transparente para los habitantes del municipio.

En esta tarea se debe de calificar las preferencias de cada uno de los candidatos de caminos a mejorar, por parte de las autoridades, con especial énfasis en un programa de mejora que abarque varios años así como varias administraciones.

Algunos indicadores para medir las alternativas se resumen en la siguiente tabla:

<b>Criterio</b>	<b>Indicador</b>
Facilitar transporte de personas	Tiempo de recorrido medido de la localidad hacia Salinas
Crecimiento de la población	Tasa de crecimiento de la población 2000-2005
Calidad de vida	Diferencia en el Índice de marginación a nivel localidad 2000, 2005
Aumento en el acceso a servicios sociales	Población beneficiada por programas de desarrollo social
Desarrollo de la economía primaria	Numero de beneficiario de PROCAMPO
Mayor aprendizaje de jóvenes e infantes	Calificación de prueba ENLACE aplicada a nivel de escuela
Empleo temporal	Monto de pagos para realizar obras como mantenimiento de caminos a la población en general que participa realizando estas tareas
Calidad del camino	Revisión visual del camino
Mantenimiento	Monto destinado a mantenimiento del camino
Financiamiento del camino	Monto destinado a la construcción del nuevo camino

Algunas consideraciones que surgieron durante la aplicación de la encuesta de preferencias fue la identificación de los diferentes niveles de preferencia por parte de los encuestados. Un ejercicio orientado al aprendizaje de decisiones multicriterio debe fortalecer la ponderación directa y la ponderación relativa, observando las recomendaciones de diversos autores sobre mantener la escala de comparaciones de 1 a 9 de Saaty (Bodin y Gaas, 2003).



Jaarsma 1997 señala una metodología que primero clasifica la red de caminos de manera funcional, después compara la infraestructura existente con el diseño deseado del camino, en tercer lugar compara las características de los caminos con la función asignada utilizando como base la prioridad de las necesidades de la gente más que las necesidades de tráfico. Esta visión de red permite resolver problemas de tráfico a nivel regional. Como parte de la evaluación de esta visión se aplicarán mediciones de intensidad de uso de los caminos rurales (frecuencia, tipo de vehículo, tipo de mercancías). La metodología que promueve el organismo mexicano en la construcción de caminos con visión social (Instituto Mexicano del Transporte) considera solamente indicadores de marginación y magnitud de la población, sin embargo no considera las necesidades de las poblaciones (Arroyo y Torres, 2003). En la propuesta de investigación, se buscará identificar factores junto con los tomadores de decisiones que promuevan un análisis sistemático de las preferencias de los habitantes en forma conjunta con las necesidades de desarrollo municipal, ampliando las preferencias de los habitantes y fortaleciendo con las autoridades municipales las capacidades de análisis del ayuntamiento, mediante la AHP.

Por ello se considera que esta investigación puede establecer una metodología que permita ordenar y planear un plan de mantenimiento de caminos rurales considerando las preferencias de los habitantes del municipio bajo la responsabilidad de la administración municipal.

#### **4.9. Conclusiones**

En este escrito se ha logrado establecer varios hechos:

- ✓ El municipio de Salinas por sus características tiene una extensión de caminos rurales que limita el desarrollo de las economías locales. La extensión de caminos federales o estatales no ayudará a resolver el problema de movilidad de los habitantes de Salinas.
- ✓ El nivel de inversión en el tema de caminos rurales ha variado a lo largo de las últimas 4 administraciones municipales con una inversión media anual de 10% del presupuesto

municipal por lo que se considera que se debe de reforzar una manera de hacer rentable la inversión en caminos.

- ✓ Cuarenta y cinco por ciento de la población de Salinas depende de la red de caminos rurales, donde el uso de transporte privado con determinada edad parece ser la alternativa local, más que el uso de transporte público; sin embargo esto debe ser profundizado.
- ✓ Las preferencias generales de los habitantes sobre los criterios de caminos se reducen a las necesidades inmediatas que son resueltas por los caminos (aumento en el acceso a servicios sociales, fomentar un mayor aprendizaje de los niños, facilitar transporte de personas, incremento de la calidad de vida) pero hicieron énfasis en los aspectos prácticos de los caminos: mantenimiento regular, financiamiento de las obras, y calidad de la obra además del empleo temporal como fuente de ingresos.
- ✓ Las preferencias de los habitantes encuestados permite relacionar las necesidades inmediatas de mejora de caminos en aquellas localidades que tienen caminos deficientes o incompletos; a diferencia de los habitantes que viven alrededor de los caminos donde prefieren temas relacionados con el crecimiento de la economía.



#### **4.10. Referencias**

AEIPRO. (2006). Bases para la competencia en la Dirección de Proyectos. Versión 3. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. International Project Management Association. Valencia, España.

Arroyo Osorno, José Antonio y Torres Vargas, Guillermo (2003). Metodología social de evaluación de proyectos de caminos rurales en México. Publicación técnica 234. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandilla, Querétaro.

Belton, S., Stewart, T.S. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

- Bodin, Lawrence and Gaas, Saul I. (2003). On teaching the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*. (30):1487-1497.
- Botsa, Pieter W.G.; y Lootsma, Freerk A. (2000). Decision Support in the Public Sector. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. (9):1-6.
- Cazorla, A; De Los Ríos, I; Salvo, M. (2007). *Desarrollo Rural: Modelos de Planificación*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2007.
- Cazorla, A; De los Ríos, I; Merino, J; Alier J.L. (2008). A multicriteria assessment model for evaluating driving networks. *Biosystems Engineering* (100). 601-611.
- Cliquet, Gerard. (2006). *Geomarketing: methods and strategies in spatial marketing*. Ed. Wiley-ISTE (International Scientific and Technical Encyclopedia). 327 p.
- Diaz-Balteiro, Luis; Romero, Carlos (2008). Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment. *Forest Ecology and Management*, 255:3222–3241.
- Dong, Yucheng; Xu, Yinfeng; Li, Hongyi, and Dai, Min. (2008). A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. *European Journal of Operational Research* 186 (2008) 229–242
- Ebrahimi Nika, M.A.; Khademolhosseini, N.; Abbaspour-Fardb, M.H.; Mahdiniac, A.; Alami-Saiedd, K. (2009). Optimum utilisation of low-capacity combine harvesters in high-yielding wheat farms using multi-criteria decision making. *Biosystems Engineering*. 103:382-388.
- Gallego, E.; Moya, M.; García, A.I. y Ayuga, F. (2008a). Valuation of low volumen roads in Spain. Part 1: Methodology Development. *Biosystems Engineering* (101):123-134.
- Gallego, E.; Moya, M.; García, A.I. y Ayuga, F. (2008b). Valuation of low volumen roads in Spain. Part 2: Methodology validation. *Biosystems Engineering* (101):135-142.

- Hernandez, Alvaro; Kempton, Willett. (2003). Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean & Coastal Management* (46) 507–526.
- Ho, William. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research* (186) 211–228.
- Jaarsma, Catharinus F. (1997). Approaches for the planning of rural road networks according to sustainable land use planning. *Landscape and Urban Planning* (39):47-54.
- Jaarsma, C.F. and Dijk, T. van (2002). Financing local rural road maintenance. Who should pay what share and why?. *Transportation Research. Part A.* (36):507-524.
- Liang; Liang; Wang, Guohua; Hua, Zhongsheng, y Zhang, Bin. (2008). Mapping verbal responses to numerical scales in the analytic hierarchy process. *Socio-Economic Planning Sciences* (42):46-55.
- Lu, Jie; Zhang, Guangquan; Ruan, Da; y Wu, Fengjie (2007). *Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques.* Imperial College Press. 390 p.
- Módenes, Juan A. (2008). Movilidad especial, habitantes y lugares: retos conceptuales y metodológicos para la geodemografía. *Estudios geográficos LXIX* (264):157-178.
- MONNIKHOF, RENÉ A.H.; and BOTS, PIETER W.G. (2000). On the Application of MCD A in Interactive Spatial Planning Processes: Lessons Learnt from Two Stories from the Swamp. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* (9): 28–44.
- Oddershede, Astrid; Arnoldo Arias, Hugo Cancino. (2007). Rural development decision support using the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling* (46):1107–1114.

Parra-López, Carlos; Calatrava-Requena, Javier; de-Haro-Giménez, Tomás. (2008). A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework. *Ecological Economics*. (64):820-834.

Pérez, Joaquin; Jimeno, José L.; y Mokotoff, Ethel. (2006). Another Potential shortcoming of AHP. *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa* (14):99-111.

Raju, K.S.; Pillai, C.S.R. (1999). Multi-criteria decision making in river basin planning and development, *European Journal of Operational Research* 112 (2):249–257.

Riesgo, Laura; Gómez-Limón, José A. (2006). Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural Systems* 91:1–28.

Rowe, Gene and Frewer, Lynn J. (2005). A Typology of Public Engagement Mechanisms. *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 30, No. 2 (Spring, 2005), pp. 251-290.

Saaty, Thomas L. (2004). Decision Making – The analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering* (13):1-35.

Saaty, Thomas L. and Shang, Jen, S. (2007). Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. *Socio-economic Planning Sciences* (41):22-37.

SEDESORE. Sistema de Información del Desarrollo Social y Regional. Secretaría de Desarrollo Social y Regional. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. Pagina WEB: [www.sedesore.gob.mx/SIDESORE/sidesore.html](http://www.sedesore.gob.mx/SIDESORE/sidesore.html), visitada el 24 de abril de 2009.

Stein, Eric W. and Ahmad, Norita (2008). Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) to Construct a Measure of the Magnitude of Consequences Component of Moral Intensity. *Journal of Business Ethics* Springer 2008

Stein, Eric W. and Ahmad, Norita. (2008). Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) to Construct a Measure of the Magnitude of Consequences Component of Moral Intensity. *Journal of Business Ethics* Springer 2008

Vaidya, Omkarprasad S.; y Kumar, Sushil. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169:1–29.

Walle, Dominique Van De. (2002). Choosing Rural Road Investments to Help Reduce Poverty. *World Development* (30) 4:575–589.

Wang, Ying-Ming and Elhag, Taha M.S. (2006). An approach to avoiding rank reversal in AHP. *Decision Support Systems*. (42):1474-1480.

Yagüe Blanco, Jose Luis. (2007). Modelo de regionalización para el desarrollo local. Aplicación a la república oriental del Uruguay. TESIS Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid.

## 4.11. Anexos

### 4.11.1. Anexo 1. Cédula de priorización de la comunicación entre padres e hijos en Salinas

COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
**INTEGRACIÓN DE LA OPINIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS**  
**PARA LA DEFINICIÓN DE PRIORIDADES DE GESTIÓN**  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
CAMPUS SAN LUIS POTOSÍ

Número de cuestionario

\_\_\_\_\_

#### PRESENTACIÓN

El Colegio de Postgraduados es una institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, que tiene un Campus en Salinas de Hidalgo donde se enseña a nivel postgrado, usando la investigación como herramienta práctica a los estudiantes, además realiza actividades de apoyo al desarrollo de las comunidades. El presente estudio busca conocer las preferencias de los habitantes en los criterios para la planeación de caminos para derivar propuestas de mejoramiento de los caminos.

Como parte del objetivo de esta propuesta se está aplicando un cuestionario en forma aleatoria a productores y usted ha sido seleccionado para ser entrevistado. Le solicitamos de la manera más atenta, su valiosa colaboración para que nos proporcione información CONFIABLE sobre sus condiciones de vida y las actividades económicas y productivas que usted y su familia realizan. Tenga la seguridad que toda la información que usted nos proporcione será manejada en forma estrictamente confidencial y será utilizada única y exclusivamente para los propósitos del Proyecto.

Nombre del productor: \_\_\_\_\_

Comunidad: \_\_\_\_\_

Fecha de entrevista: (01/12/2011)

1. Seleccione de la siguiente lista, los 5 criterios que a usted le gustaría que se consideraran para mejorar el camino que lo comunica con Salinas y el resto de localidades:

- |  |                          |  |                          |
|--|--------------------------|--|--------------------------|
| 1. Facilitar el transporte de personas.....            | <input type="checkbox"/> | 11. Contaminación.....                     | <input type="checkbox"/> |
| 2. Crecimiento de la población .....                   | <input type="checkbox"/> | 12. Intensidad de uso .....                | <input type="checkbox"/> |
| 3. Calidad de vida .....                               | <input type="checkbox"/> | 13. Empleo temporal.....                   | <input type="checkbox"/> |
| 4. Aumento en el acceso a servicios sociales .....     | <input type="checkbox"/> | 14. Calidad del camino.....                | <input type="checkbox"/> |
| 5. Reducción del tiempo de recorrido .....             | <input type="checkbox"/> | 15. Beneficios económicos.....             | <input type="checkbox"/> |
| 6. Facilidad para conseguir transporte rural .....     | <input type="checkbox"/> | 16. Traslado de mercancías .....           | <input type="checkbox"/> |
| 7. Transitabilidad del camino durante todo el año..... | <input type="checkbox"/> | 17. Fomento del desarrollo económico ..... | <input type="checkbox"/> |
| 8. Desarrollo de la economía primaria .....            | <input type="checkbox"/> | 18. Financiamiento del camino .....        | <input type="checkbox"/> |
| 9. Mayor aprendizaje de jóvenes e infantes.....        | <input type="checkbox"/> | 19. Combate de la pobreza .....            | <input type="checkbox"/> |
| 10. Reducción del tiempo de trasbordo.....             | <input type="checkbox"/> | 20. Generación de empleo.....              | <input type="checkbox"/> |

Criterios definidos:

Criterio 1: .....

Criterio 5: .....

Criterio 2: .....

Criterio 3: .....

Criterio 4: .....

2. Ahora por favor díganos que prefiere:

Criterio	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Criterio 1	1				
Criterio 2	-	1			
Criterio 3	-	-	1		
Criterio 4	-	-		1	
Criterio 5	-	-	-	-	1

Le agradecemos su participación en la definición de esta definición de prioridades de camino

#### 4.11.2. Anexo 2. Diferencias en los mecanismos de participación ciudadana.

Mecanismos	Nivel	Selección de Participantes	Facilitación en la obtención de información	Tipo de respuesta	Información	Transferencia de información	Agregación de puntos de vista	Ejemplos
Comunicación	1	Controlada	-	-	Fija	Indirecto	-	Difusión de información, publicidad
	2	No controlada	-	-	Flexible	Cara a cara	-	Audiencias públicas Reuniones públicas (Preguntas y respuestas)
	3	No controlada	-	-	Fija	Indirecto	-	Puntos de información Página Web
	4	No controlada	-	-	Flexible ajustada a duda individual	Indirecto	-	Teléfono ciudadano
Consulta	1	Controlada	No	Cerradas	-	Indirecto	Si	Encuestas de opinión, referéndums Encuesta telefónica
	2	Controlada	No	Abiertas	-	Indirecto	No estructurada	Consulta de documentos enviados a un público definido para comentarios
	3	No controlada	No	Abiertas	-	Indirecto	No estructurada	Consulta electrónica (sitio web interactivo)
	4	Controlada	Si	Abiertas	-	Cara a cara	No estructurada	Grupo de enfoque que da más calidad que cantidad
	5	No controlada	Si	Abiertas	-	Cara a Cara	No estructurada	Círculo de estudio (5 a 20 personas discuten un tema) Espacio abierto (participantes voluntarios que se organizan en talleres más pequeños antes de integrarlos en una sesión general)
	6	Controlada	Si	Abiertas	-	Cara a cara	Estructurada	Panel ciudadano con diversos temas varias veces al año
Participación	1	Controlada	Si	Abierta	Flexible	Cara a cara	No estructurada	Taller de planeación de acciones Jurado ciudadano Conferencia de consenso
	2	Controlada	No	Abierta	Flexible	Cara a cara	No estructurada	Formulación de reglas negociadas Fuerza de tarea
	3	Controlada	Si	Abierta	Flexible	Cara a cara	Estructurada	Encuesta de opinión deliberativa Célula de planeación
	4	No controlada	No	Abierta	Flexible	Cara a cara	Estructurada	Reunión del pueblo con voto después de debate



### 4.11.3. Anexo 3. Análisis de correspondencia

Localidades agrupadas según similitud de preferencias derivadas del análisis de correspondencia.

Localidades	DIM1	Caminos pavimentados	Caminos con mejora	Caminos por pavimentar	Grupo
La Reforma	0.138	0.006			1
Salitrillo	0.177	-0.055			1
Conejillo	0.190	-0.044			1
Noria de Cañas	0.210	-0.046			1
Diego Martín (Charco Colorado)	0.241	0.080			1
El Potro	0.242	-0.019			1
El Llano del Conejillo	0.242	-0.019			1
Estación Peñón Blanco	0.254	-0.064			1
El Cuervo	0.272	0.154			1
Viborillas	0.274	0.159			1
Azogueros	0.276	-0.084			1
San Isidro de Peñón Blanco	0.319	-0.030			1
Palma Pegada	0.372	-0.030			1
San Antonio de la Paz	0.390	0.354			1
Salinas de Hidalgo	0.414	0.100			1
Colonia Zaragoza (Garabaillo)	0.430	0.402			1
Vicente Guerrero (La Cocona)	0.430	0.402			1
Guadalupito	-0.067		-0.204		2
La Mesilla	-0.057		-0.345		2
Bajío de los Encinos (Los Encinitos)	-0.030		-0.022		2
La Bolsa	0.021		-0.232		2
Colonia Juárez (Colonias)	0.026		-0.224		2
Punteros (San José de Punteros)	0.096		-0.196		2
El Alegre	0.182		-0.251		2
El Estribo	-0.401			-0.190	3
El Mezquite	-0.401			-0.190	3
San Juan Sin agua	-0.360			0.143	3
Santa María	-0.345			0.172	3
Pozo Seco	-0.328			0.590	3
La Mantenedora	-0.297			-0.091	3
San Evaristo	-0.278			0.200	3
El Tecolote	-0.252			0.219	3

### Preferencias de los criterios por los habitantes de Salinas

Criterio	DIM1	DIM2
Facilitar el transporte de personas	-0.19	-0.26
Crecimiento de la población	0.42	0.48
Calidad de vida	0.00	-0.10
Aumento en el acceso a servicios sociales	-0.02	-0.09
Facilidad para conseguir transporte rural	-0.16	-0.19
Desarrollo de la economía primaria	0.34	-0.18
Mayor aprendizaje de jóvenes e infantes	0.05	-0.01
Contaminación	0.34	0.12
Intensidad de uso	0.27	0.10
Empleo temporal	-0.49	0.50
Calidad del camino	-0.52	0.26
Conservar la Transitabilidad del camino durante todo el año	0.27	0.10
Mantenimiento	-0.11	-0.12

Beneficios económicos	0.49	-0.05
Traslado de mercancías	0.12	0.04
Desarrollo económico de la localidad	0.39	-0.01
Financiamiento del camino	-0.28	-0.15
Combate de la pobreza	0.27	0.10
Generación de empleo	0.27	0.10

#### 4.11.4. Tiempo de recorrido hacia Salinas y población 2005 de las principales localidades de Salinas.

Orden	Nombre de localidad	Población total (habitantes)	Tiempo hacia Salinas (minutos)	Orden	Nombre de localidad	Población total (habitantes)	Tiempo hacia Salinas (minutos)
1	Salinas de Hidalgo	14866	0	32	San Isidro de Peñón Blanco	330	28
2	El Alegre	294	13	35	Santa María	178	35
3	Azogueros	638	9	36	San Vicente	14	47
4	Bajío de los Encinos (Los Encinitos)	168	43	37	Sotol	42	30
5	La Mesilla (Colonia Juárez)	17	42	38	El Tecolote	135	31
6	La Bolsa	158	19	41	Colonia Zaragoza (Garabatillo)	247	16
7	Colonia Juárez (Colonias)	759	20	47	La Mantenedora	174	30
8	Conejillo	631	23	49	El Llano del Conejillo	219	22
10	San Pedro de Alcántar	53	30	51	Viborillas	96	18
11	Diego Martín (Charco Colorado)	425	12	53	Estación Peñón Blanco	130	28
13	El Estribo	479	105	54	San Juan sin Agua	73	15
14	Guadalupito	97	33	56	Vicente Guerrero (La Cocona)	203	12
15	Guadalupe Victoria (La Noria del Jacalón)	65	10	59	Santa Elena	49	58
16	Salto Matorral	32	17	73	El Cuervo	98	31
17	La Mesilla	146	42	79	Noria de Cañas	325	23
18	El Mezquite	171	99	88	El Mezquital	30	43
21	Palma Pegada	1511	21	89	El Jabonero	35	42
22	El Potro	291	9	92	El Camarón	42	24
23	Pozo Seco	251	33	93	Laguna el Marrano	34	34
24	Punteros (San José de Punteros)	604	25	94	Piedras Negras	53	34
26	La Reforma	839	20	96	San Ángel del Río	23	11
28	Salitrillo	729	15	98	Los Montecitos	45	7
29	San Antonio de la Paz	233	12	100	San Pedro Alcántar (La Chinche)	4	26
30	San Evaristo	216	35	104	El Carajo	51	26
31	San Expedito	19	23	137	Rancho los Lara (Triana)	25	23

## **5. PRIORIZACIÓN EJIDAL DE CRITERIOS SOBRE BIENES PÚBLICOS: EL CASO DE CAMINOS RURALES**

---

### ***Resumen***

La participación de la sociedad en el diseño de políticas públicas es un tema recurrente en el ejercicio de la autoridad. En este artículo se fijó como objetivo definir las preferencias de la población sobre el mantenimiento de los caminos rurales como vías de flujo de bienes y servicios que usan cotidianamente, para ello se presenta un modelo de participación de la sociedad rural donde se integra la opinión de los beneficiarios en el mantenimiento de los caminos rurales basado en un proceso de análisis jerárquico que valora la importancia de criterios económicos, sociales y ambientales. Estas preferencias se obtuvieron durante 2009 en el municipio de Salinas, San Luis Potosí. Los resultados señalan que las preferencias de los pobladores para mantener un camino se centraron en los beneficios prácticos de contar con un camino: mayor aprendizaje de jóvenes e infantes y mayor acceso a servicios sociales, principalmente. La participación social es un ejercicio práctico de ciudadanía como derecho de domicilio.

Palabras clave: Participación social, políticas públicas; mantenimiento de infraestructuras.

### ***Abstract***

The social participation in the design of public policies is a recurring theme in the exercise of authority. This article elicitate the population preferences on road maintenance using a model of rural society participation which includes the opinion of the beneficiaries in the

maintenance of rural roads through a Analytic Hierarchy Process which considers economic, social and environmental criteria. The results indicate that the preferences of the people in order to maintain a road are focused on the practical benefits of having one way: more training of children and young people and greater access to social services. Social participation is an exercise of citizenship as a “jus domicile”.



Chapingo, Edo. de México, 01 de noviembre de 2011  
Ref.: 877-11

**M. C. FRANCISCO JAVIER MORALES FLORES  
COLEGIO DE POSTGRADUADOS  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PRESENTE:**

Por medio de la presente se hace constar que el artículo titulado:  
"PRIORIZACIÓN EJIDAL DE CRITERIOS SOBRE BIENES PÚBLICOS: EL  
CASO DE CAMINOS RURALES" del cual son autores: Francisco Javier  
Morales-Flores, Susana Martín-Fernández y Jorge Cadena-Íñiguez, fue  
aceptado para ser publicado en el Vol. 2 (6) noviembre-diciembre 2011 de la  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo

Atentamente

**DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN  
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA  
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

c.c.p. \* Archivo  
DMSJ/mdpg

Carta de aceptación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Facsímil del artículo enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas que se publica en el volumen: 2, número 6 Noviembre-Diciembre de 2011 (19 hojas).

1      PRIORIZACIÓN EJIDAL DE CRITERIOS SOBRE BIENES PÚBLICOS: EL CASO DE CAMINOS  
2  
3      RURALES  
4  
5      EJIDOS-PRIORITIZATION OF CRITERIA ON PUBLIC GOODS: THE CASE OF RURAL ROADS

6      Francisco Javier Morales-Flores<sup>1§</sup>; Susana Martín-Fernández<sup>2</sup>; Jorge Cadena-Íñiguez<sup>3</sup>

7      <sup>1</sup> Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí.  
8      78600. Fax: +52(496)963-0240. Correo: [franciscojmf@colpos.mx](mailto:franciscojmf@colpos.mx). <sup>2</sup> Escuela Técnica Superior de  
9      Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040. Madrid.  
10     Fax:+34(914-526-401). Correo [susana.martin@upm.es](mailto:susana.martin@upm.es). <sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus San Luis  
11     Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. 78600. Fax: +52(496)963-0240.  
12     [jocadena@colpos.mx](mailto:jocadena@colpos.mx). § Autor para correspondencia: [franciscojmf@colpos.mx](mailto:franciscojmf@colpos.mx)

13     **Resumen**

14     La participación de la sociedad en el diseño de políticas públicas es un tema recurrente en el ejercicio de la  
15     autoridad. En este artículo se fijó como objetivo definir las preferencias de la población sobre el  
(Haga clic en la página o en esta [liga](#) para acceder a la versión electrónica del documento)

## 6. MANTENIMIENTO DE CAMINOS RURALES

---

### *Resumen*

La asignación de prioridades usando métodos estadísticos es la respuesta matemática al problema del uso eficiente de recursos públicos. El mantenimiento de caminos rurales representa un problema con múltiples restricciones: de presupuesto, de necesidades de diseño y de resistencias diferenciales en los tramos atendidos, que debe ser optimizado en la formulación de soluciones.

A este problema de diseño, se suma la opinión de los habitantes beneficiados para ser incluidos dentro de la red de caminos. Se analizó la red de caminos rurales de un municipio mexicano de una zona rural caracterizado por una proporción elevada de caminos rurales respecto a la red de carreteras pavimentadas.

Se formuló una función de valor que optimiza la inversión para transformar el camino rural en carretera, la inversión para mantener al camino rural en su actual condición, la longitud de cada tramo, y los criterios de la población sobre el mantenimiento considerando la topología de la red como parte del sistema de transporte.

Los resultados indican que la optimización de la inversión se focaliza en tramos de caminos que se asocian a localidades con mayor cantidad de estudiantes del área rural, además de ubicarse en poblados con mayores diferencias en el nivel de ingreso comparado con los ingresos urbanos.

## ***Abstract***

Prioritization using statistical methods is the mathematical answer to efficient use of public resources. The maintenance of rural roads is a problem with multiple constraints: budget, design requirements and differential resistance observed in the road-sections that must be optimized in the formulation of solutions.

In this proposed solution it is incorporated the opinion of the inhabitants to be included within the road-network maintenance criteria. We analyzed the rural road network of a Mexican municipality rural area characterized by a high proportion of rural road for the network of paved roads.

It is generated a value function that optimizes the investment to upgrade the rural road into paved roads; the investment into maintain the current condition of the rural roads, the length of each segment, and the opinion of people benefited.

The results indicate that optimization of the investment focuses on rural roads associated with locations with more students from rural areas, as well as road that connect lower-income towns compared to urban ones.

### **6.1. Introducción**

El mantenimiento de la red viaria de carreteras y caminos forma parte de las competencias de la administración pública. En los últimos años ha habido una tendencia a transferir esta competencia de las administraciones nacionales hacia las instancias regionales o locales: **Donnges et al, 2007** señala los tipos de organización para el mantenimiento de caminos en el Sur de Asia (consejos provinciales, distritales, asociados con gobiernos locales, departamentos de transporte); **Canning et al, 2010** reseña la devolución de



responsabilidades en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Chile, Alemania y el Reino Unido hacia las administraciones locales. Desde el punto de vista tecnológico, el mantenimiento de las vías de comunicación forma parte del diseño de redes (Sheffi, 1985). Este mantenimiento se realiza mediante la construcción de nuevos tramos y/o la mejora de las vías existentes con el consecuente impacto ambiental (Jaarsma, 1997; Joumard y Gudmundsson, 2010) así como la modificación de la geografía del transporte (Rodrigue *et al.*, 2009).

Las vías de comunicación rural dan acceso al territorio dentro de los últimos kilómetros de recorrido complementando la función de las carreteras pavimentadas orientadas al traslado de volúmenes de personas y mercancías. La red viaria está en constante riesgo de interrupción de circulación por factores ajenos: bloqueos territoriales al afectar a más de una vía e inesperados en la forma de condiciones climáticas adversas o eventos naturales (sismos, inundaciones, deslizamientos de tierra); además de bloqueos puntuales al afectar una vía por un tiempo definido (colapso estructural, accidentes de tráfico, derrames industriales, sabotaje e inclusive el bloqueo social) con la consecuente paralización de la vida social y económica de las localidades además de afectar a otras infraestructuras creando un efecto dominó (Johansson y Hassel, 2010). Berdika, 2002; Jenelius *et al.*, 2006; y Jenelius, 2009 han desarrollado el concepto de vulnerabilidad de los carreteras que puede manejarse como un concepto a nivel nacional y con una visión de estado; sin embargo, la construcción de caminos responde a la demanda de crecimiento dictado por la necesidad del traslado de personas o mercancías heredada de antiguas rutas comerciales o como respuesta a un plan de modernización de la vía original con una visión de mediano plazo que sobrepasa los términos temporales de las administraciones locales o son confiadas a un

organismo público autónomo con horizontes de planeación más prolongados. Existen medidas fáciles de observar sobre la vulnerabilidad de la red: el número de intersecciones, la densidad de caminos, la existencia de rutas alternas, entre otras, que puede informar a los no expertos sobre la vulnerabilidad de su red viaria.

Dentro de las vías de comunicación, los caminos rurales juegan un papel muy importante en el transporte terrestre al favorecer la circulación de vehículos de bajo costo, con una velocidad de desplazamiento regulada por disposiciones legales y que brindan una flexibilidad de rutas para acceder al territorio; aunque existen diversas definiciones de camino rural (ILO<sup>1</sup>, OCDE<sup>2</sup>), la diferencia crucial entre una carretera y un camino es brindar el acceso a personas y mercancías dentro del territorio. En este capítulo se ha considerado camino rural a “la vía terrestre de bajas especificaciones técnicas que comunican localidades con población menor a la cabecera administrativa, construidos y/o recubiertos con materiales locales para facilitar el rodamiento elemental y financiado por las administraciones locales sobre la base de fondos fiscales ajenos al territorio y al gobierno local”.

El mantenimiento de cualquier infraestructura busca escenarios óptimos de gasto para conservar la funcionalidad de la estructura a un costo mínimo (Alvarez et al, 2007; Cundric et al, 2008; Rouse y Chiu, 2009) y el mantenimiento de caminos no es la excepción. Como factores relacionados con el mantenimiento se ha considerado al comportamiento de las rutas por los usuarios de la red (Scaparra y Church, 2005; Maya et al, 2010) la simple relación beneficio/costo (Cundric et al, 2008); el equilibrio entre la intensidad del uso de la vía y las decisiones para usarlas como rutas (Feng et al, 2010; Sheffi, 1985); el diseño de

---

<sup>1</sup> ILO: Instituto Internacional del Trabajo (International Labour Organization ([www.ilo.org](http://www.ilo.org)))

<sup>2</sup> OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development; ([www.oecd.org](http://www.oecd.org))

políticas interactivas entre cuerpos de gobierno y la iniciativa privada (Driessen *et al*, 2001), la minimización de los costos de mantenimiento y transporte (Olsson, 2007); la protección de la inversión de capital hacia el mantenimiento de caminos en función de la importancia del impacto ambiental ocasionado (Coulter *et al*, 2005); además de criterios netamente técnicos como el Índice de Condición del Pavimento (Ruotoistenmäki, y Seppälä, 2007) o el Índice de Servicio Actual (AASHO, 1962). Al mismo tiempo, en la literatura existen señalamientos sobre la implementación de modelos de mantenimiento de caminos, desde usar una base de datos relacional (Abudayyeh *et al*, 2005) hasta modelos teóricos que consideran la sostenibilidad de los caminos sin detallar el seguimiento técnico (citar autores).

Algunos ejercicios recientes de optimización del mantenimiento de los caminos son: Antunes *et al* (2003) analizan la red nacional de caminos de Portugal y su conexión con varias ciudades españolas a fin de promover condiciones de igualdad en accesibilidad. Coulter *et al*, (2006) que utilizan una AHP (Proceso de Jerarquías Analíticas, Analytic Hierarchy Process) en conjunto con Simulated Annealing (recocido simulado) para definir un calendario de mantenimiento al maximizar el beneficio o la relación beneficio-coste en función del presupuesto limitado. Olson (2007) compara modelos estocásticos con modelos determinísticos, privilegiando a los determinísticos. Bonneu y Thomas (2009) focalizan la optimización de estaciones de bomberos para minimizar el tiempo de transporte hacia los siniestros considerando tres fuentes estocásticas de variación sobre estos eventos: la incertidumbre de la ubicación del siniestro; la independencia con la que suceden los siniestros, y su distribución aleatoria. Maya *et al*, (2010) realizan un ejercicio de optimización considerando escenarios de presupuesto limitado (10, 25, 40, 50 y 70% del

presupuesto total necesario) en conjunto con tres criterios relacionados con la población (todas las localidades, las más pobladas y las más alejadas) concluyendo que con 60% del presupuesto se puede atender al 100% de la población en Haití. [Feng et al, \(2010\)](#) priorizan mantenimiento de vías urbanas para actividades especiales importantes (desfiles, conciertos) manejando demandas de viajes, limitaciones potenciales, rutas alternas y flujo de peatones.

La intervención de las partes interesadas en el mantenimiento de infraestructuras ha sido un ejercicio constante a lo largo de la escalera de la participación social ([Arnstein 1969](#)) o la identificación de partes interesadas ([Mitchell et al, 1997](#)) desde la no participación de la sociedad ([Morcusa y Lounis, 2005](#); [Alvarez et al, 2007](#); [Rebolj et al, 2008](#)), hasta la visión parcial de temas relevantes para el propio analista ([Mancebo et al, 2010](#)). El grado de participación está en constante flujo ya que existen intereses, responsabilidades y efectos de las decisiones tomadas en diferentes ámbitos de competencia, al no considerarse a la red viaria como parte de un sistema de transporte de bienes y servicios; ni como parte de una inversión pública local y solo admite como una obra social más por realizar. Se ha señalado que existen alternativas para optimizar el mantenimiento de una red viaria; sin embargo, son pocas las alternativas que utilizan criterios relacionados con el impacto en la sociedad de las estructuras como la red de transporte. En la revisión sobre investigación que incorpore la opinión de la población en el manejo de infraestructuras públicas se advirtió una ausencia de investigación al respecto. Se ubicaron investigaciones como [Abudayyeh et al, \(2005\)](#) que desarrolla un modelo de mantenimiento para el condado Calhoun en Michigan, Estado Unidos basado en datos relacionales sobre materiales, programación de mantenimiento, costes asociados a la actuación y un catálogo de caminos a dar

mantenimiento, y donde la actuación se inicia basado en una orden de trabajo. **Alvarez et al (2007)** crean un modelo de mantenimiento en Badajoz, España basado en el estado de diferentes elementos de la carretera: las marcas laterales, las marcas del eje central de la carretera, las pendientes a cada lado del camino, los señalamientos, la superficie de rodamiento y la preservación de las estructuras del camino dejando a un lado, la apreciación de los usuarios para “asegurar la calidad de la evaluación”. **Rouse y Chiu (2009)** realizan una propuesta de tipo ciclo de vida haciendo énfasis en la calidad del servicio, la cantidad de actuaciones, el coste de las actuaciones y el impacto ambiental de las actuaciones mismas en Nueva Zelanda. La presencia de la población solo se da lejanamente solo como financiadores indirectos vía cobros por uso, impuestos al combustible, registro de vehículos, expedición de licencias de conducir que se devuelven a las administraciones locales a partir del gobierno central. En estas cuatro propuestas se observa la ausencia total de la participación pública en el mantenimiento de la infraestructura carretera.

Las carreteras y caminos forman parte de las infraestructuras públicas que proporcionan movilidad a la economía de un territorio. Sin embargo, hay que reconocer que en la geografía del transporte existe la disyuntiva entre los flujos de transporte con un fin de agregación de valor (traslado de bienes hacia los centros de distribución, flujos laborales entre el hogar y el centro de trabajo) que generalmente ocurre entre los puertos de entrada en el caso de importaciones y los centros de producción masiva en el caso del comercio nacional y como parte de la cadena de distribución en las zonas urbanas incluyendo las redes de transporte público (Rodrigue *et al*, 2009). Por otro lado existen los flujos de transporte rural donde el objetivo es proveer infraestructura para que el transporte privado

realice las rutas que desea realizar (rutas de colecta de materias primas, traslado de población para aumentar sus capacidades, entre otras).

En México, la extensa red de caminos rurales proporcionan movilidad a los habitantes de las localidades dentro de un territorio bajo la responsabilidad de la administración pública local más cercana al ciudadano: los municipios. Los municipios, sin embargo, constituyen la primera línea de defensa de la administración, asumen una cantidad de responsabilidades con la población local: equipamiento para la distribución de agua potable, instalación de sistemas de alcantarillado para agua pluvial y drenaje para aguas negras, ampliación de la red de electrificación de voltaje de distribución y entrega a los hogares, actualización y equipamiento de infraestructura (educación básica y media, clínicas de salud, equipos para la producción agropecuaria), desarrollo de urbanización, mejoramiento de la vivienda así como emprender acciones de mejora continua propias del municipio como desarrollo institucional, fortalecimiento municipal, equipamiento de la policía local, y órganos de control de administración pública local. Todas estas actividades son financiadas con una limitada captación de recursos financieros a nivel local (impuestos a los bienes inmuebles (predios, calidad de la vivienda, pago por autorización de establecimientos mercantiles licencias de comercios, cambio de uso de suelo, venta de productos derivados de la administración y aprovechamientos financieros) lo que obliga a recurrir a una fuerte dependencia de las subvenciones nacionales o estatales. Como ejemplo, durante 2010, el acopio de impuestos por el municipio de Salinas representó el 7% de los ingresos con los que se destinó a pagar el 44% de los egresos propios del municipio: salarios, materiales de oficina y uso de servicios; mientras que los programas de subvenciones hacia el municipio (beneficios directos a la población incluidos), que representó el 92% de los ingresos y el

egreso directo en beneficio de la población fue de 46% solamente (Salinas, Informes de Gobierno Municipal). Es decir, el municipio empleo parte del dinero en pagar su propio funcionamiento. Esta situación es parecida en la mayor parte de los municipios no adyacentes a las 56 zonas metropolitanas de México delimitadas en 2005 (Figura 13).

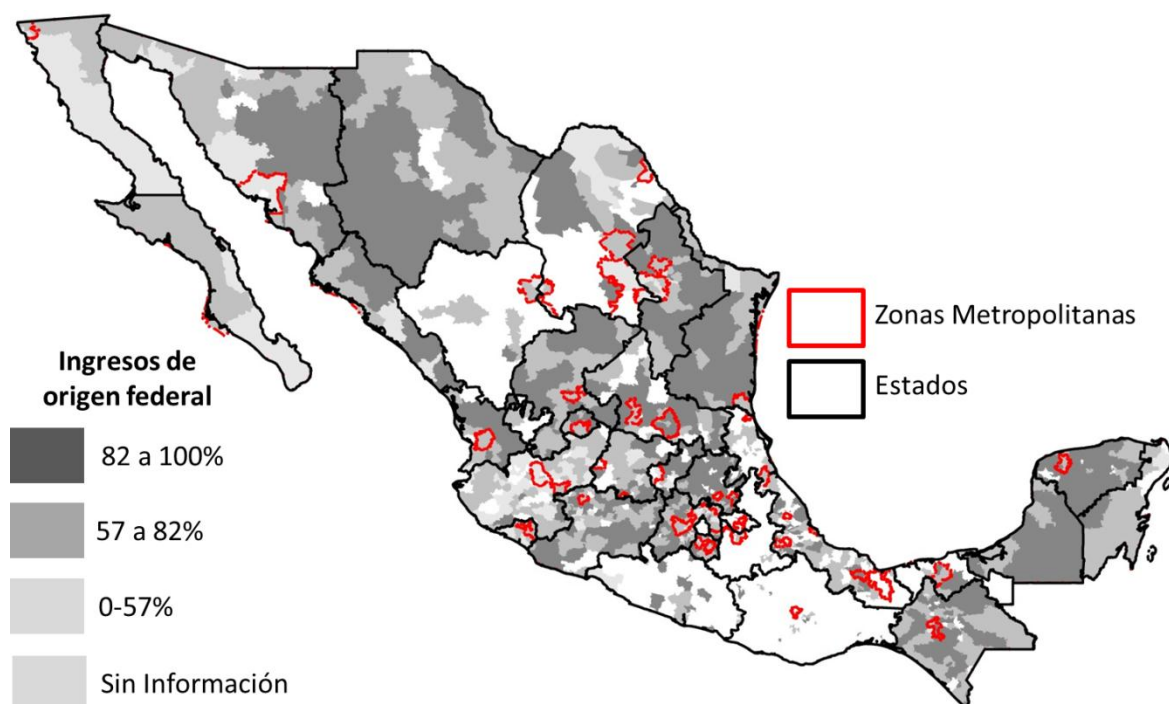


Figura 13. Importancia de los ingresos municipales de origen federal en el presupuesto municipal (elaboración propia con datos de INAFED, 2008)

El mantenimiento de una red viaria de caminos depende de factores climáticos que ejercen desgaste sobre infraestructuras a cielo abierto, además de la intensidad de tráfico, la cantidad de accidentes que dañan la infraestructura, así como la calidad de los materiales con que está construida la infraestructura misma.

El impacto de la red viaria como parte de la red de transportes se considera directo al mejorar la accesibilidad de las personas, incrementar la rentabilidad de los habitantes al trasladarse de una manera rápida, segura y barata, al proporcionar rutas a elegir para llegar a nichos de mercado más amplios; así como de manera indirecta: al aumentar el valor de las

propiedades ubicadas a lo largo o cerca de la red viaria, al recibir un mayor y más diverso abasto de mercancías donde penetran más alternativas de comercio, en la formación de redes de mercadeo, una mayor atracción de capital de inversión al contar con más conectividad de las localidades hacia fuera del territorio y en consecuencia al enfrentar una mayor competitividad regional (Rodrigue *et al*, 2009).

### **6.1.1. Objetivo**

Este artículo presenta una metodología para priorizar el mantenimiento de caminos rurales incorporando la opinión de la población rural aplicándola en un municipio rural del altiplano mexicano. La incorporación de la opinión señala la oportunidad que tiene la sociedad de participar en la toma de decisiones sobre los servicios provistos por la autoridad responsable en la construcción de políticas de largo plazo y aumentar así la gobernanza local. Representa un intento por incorporar en los modelos clásicos de mantenimiento de caminos conceptos de la geografía del transporte; el costo social del desplazamiento así como el tiempo de desplazamiento además de incorporar la opinión de los habitantes, que son los beneficiarios directos y visibles del estado físico de la red viaria.

## **6.2. Análisis del problema**

Aparentemente la decisión de dar mantenimiento a un camino rural varía entre la decisión política de favorecer a una población (expresado por la máxima cantidad de beneficiarios que se pueda realizar), el coste de actualizar el camino a una categoría de mayor servicio o mantenerlo en su condición actual solo realizando mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de la vía frente a escenarios de restricción de inversión (una fracción del



presupuesto municipal que no represente una carga mayor a la dedicada), además de la línea de política que se ha trazado para fomentar el crecimiento económico.

En un primer momento se considera que la red viaria forma parte de las alternativas de desplazamiento y al carecer de una red de transporte público establecida, la movilidad de las personas se realiza en transporte privado, vehículos propios entre las principales localidades del municipio o hacia la cabecera municipal para realizar intercambio de bienes y servicios. Por lo que la movilidad municipal debe considerarse en función de cuatro factores: la conectividad de las localidades determinada por su ubicación espacial y sus conexiones físicas con la red de caminos (topología de la red), el costo social que realiza el pasajero que varía en función de su nivel de ingresos (coste social); el tiempo de desplazamiento invertido mismo que le conlleva un egreso (costo de desplazamiento) y finalmente la longitud de caminos y carreteras por los que se puede transitar según la superficie de rodamiento que determinan la velocidad y seguridad del recorrido (infraestructura de caminos y carreteras).

Aparentemente es impráctico buscar una solución óptima para la divergencia de criterios; sin embargo, se propone utiliza una alternativa de recocido simulado (simulated annealing) para aplicar algoritmos de optimización combinatoria que permita identificar los caminos que pueden mantenerse o actualizarse a un nivel superior de operación (pavimentación de caminos no pavimentados o actuaciones de nivelación y delimitación del trazo del camino rural) dada una restricción de presupuesto.

Un problema de optimización combinatoria es aquel en el que se busca valores que minimicen o maximicen una función dada,  $f(x)$  de variables independientes. Esta función se refiere como función de coste cuando representa una medida cuantitativa de la bondad de

una configuración particular de alternativas o una función de utilidad cuando no hay actividades medibles involucradas. En el caso que ocupa, el objetivo es minimizar el costo de mantenimiento de los tramos de caminos rurales a cargo del municipio de Salinas. Se construye un marco de referencia para definir el espacio de soluciones donde se definirá el costo total del mantenimiento de caminos rurales y en donde se enfocará la búsqueda de soluciones vecinas locales. Al encontrar solución, es decir una combinación de caminos a los que se le dará mantenimiento, el método buscará en el vecindario de soluciones otra combinación mejor de caminos que se adoptará en caso de encontrarla. Este proceso se repetirá tantas veces hasta que no exista una mejor solución o hasta que se satisfaga un criterio de paro. Una ventaja de usar este método de recocido simulado es que permite movimientos buscando “óptimos superiores” u “óptimos inferiores” para evitar estancarse combinaciones de caminos óptimos locales y buscar soluciones óptimas globales. La formulación adecuada de parámetros involucrados en el proceso de optimización influirá de manera importante en la convergencia para una solución.

Los parámetros se enuncian formalmente más adelante, sin embargo están relacionados con el coste de mantenimiento de los tramos de camino, la ubicación de las localidades, el valor del desplazamiento, el tiempo de desplazamiento hacia la cabecera municipal, la cantidad de beneficiarios así como la opinión de los beneficiarios directos de los caminos rurales bajo un escenario de restricción de inversión en caminos rurales.

### **6.3. La zona de estudio**

El estudio se realizó en el municipio de Salinas de Hidalgo, ubicado al oeste del estado de San Luis Potosí, en la región denominada Altiplano Potosino a una altitud de 2,099 metros sobre el nivel del mar (entre 23°11' y 22°28' latitud norte y 101°23' y 101°57' longitud

oeste), a 99 km de la capital del Estado, su extensión abarca 2,116 Km<sup>2</sup>, representa el 3.4% de la superficie del estado, y tenía 26,985 habitantes registrados en 2005 (1.1% del total estatal), tiene un crecimiento esperado para el año 2020 de 21,000 habitantes y para 2030 de 18,000 lo que significará una disminución de la población de 1.02% al 0.68% del total estatal) (CONAPO, 2008). La importancia económica del municipio de Salinas es su contribución de 2.5% al PIB estatal con, una generación de riqueza *per cápita* de \$36,302 pesos anuales basado en actividades agrícolas equivalentes a \$5,131 Dólares Estadounidenses en 2005 (INAFED, 2007). Cabe señalar que en términos de transporte se trata de un municipio por donde cruza un corredor carretero de segundo orden México-Ciudad Juárez al no formar parte de los 14 corredores troncales nacionales; es un centro de conexión (hub) del transporte municipal hacia las capitales de los estados vecinos (Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes en 3 horarios). El municipio limita en sentido horario a partir de la dirección Oeste con los municipios Villa de Ramos, Santo Domingo, Charcas, Venado y Moctezuma en San Luis Potosí; Pinos, Villa Hidalgo, Noria de Ángeles, Villa González Ortega y Pánfilo Natera en Zacatecas.

El municipio de Salinas, San Luis Potosí, en el centro de México, es responsable de dar mantenimiento a la red de caminos rurales que comunican a 53 localidades con más de 25 habitantes. Cuentan con un carretera federal (carretera Federal México-Ciudad Juárez) y otra carretera estatal (Carretera estatal 49 Salinas-Santo Domingo) a donde se enlazan una serie de caminos rurales provenientes de las principales localidades del municipio. Se consideran estos caminos rurales el objeto del mantenimiento, reparación y eventual actualización y apertura de nuevas rutas como una responsabilidad del municipio (Figura 14).

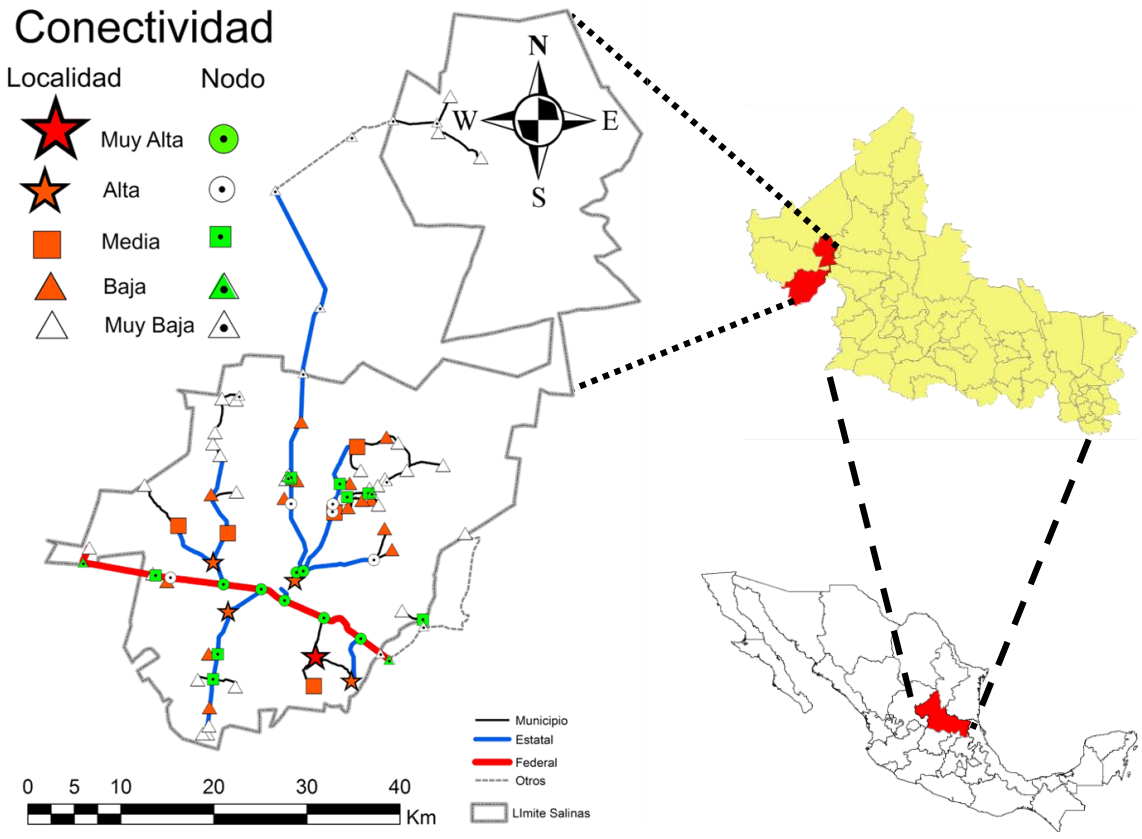


Figura 14. Caminos existentes mostrando la conectividad de las localidades y los nodos del municipio de Salinas, San Luis Potosí, México.

**6.4. Focalización**

Esta investigación se centró en una sola administración municipal ya que el mantenimiento de caminos rurales es realizado solo por el municipio de manera que se pudo analizar como un sistema cerrado, a pesar de la necesidad de coordinar esfuerzos entre los distintos municipios a fin de lograr una conectividad regional. Debido a la dispersión espacial de las localidades se decidió considerar solamente a 53 de las 102 localidades señaladas por el Censo de población 2010 (Figura 15), lo que implica considerar a 98.6% de la población del municipio (INEGI, 2011) excluyendo en consecuencia a localidades con menos de 25 habitantes y cuyos ocupantes por vivienda varía entre 1 y 16 habitantes. Esta consideración surge como implicación del costo de vivir alejado de los servicios urbanos ya que la

dotación de servicios es extremadamente cara simplemente por la distancia que un proveedor debe recorrer y para un gobierno la escasa magnitud de beneficio que puede lograrse, lo que refuerza la existencia de una política de ordenamiento de la población.

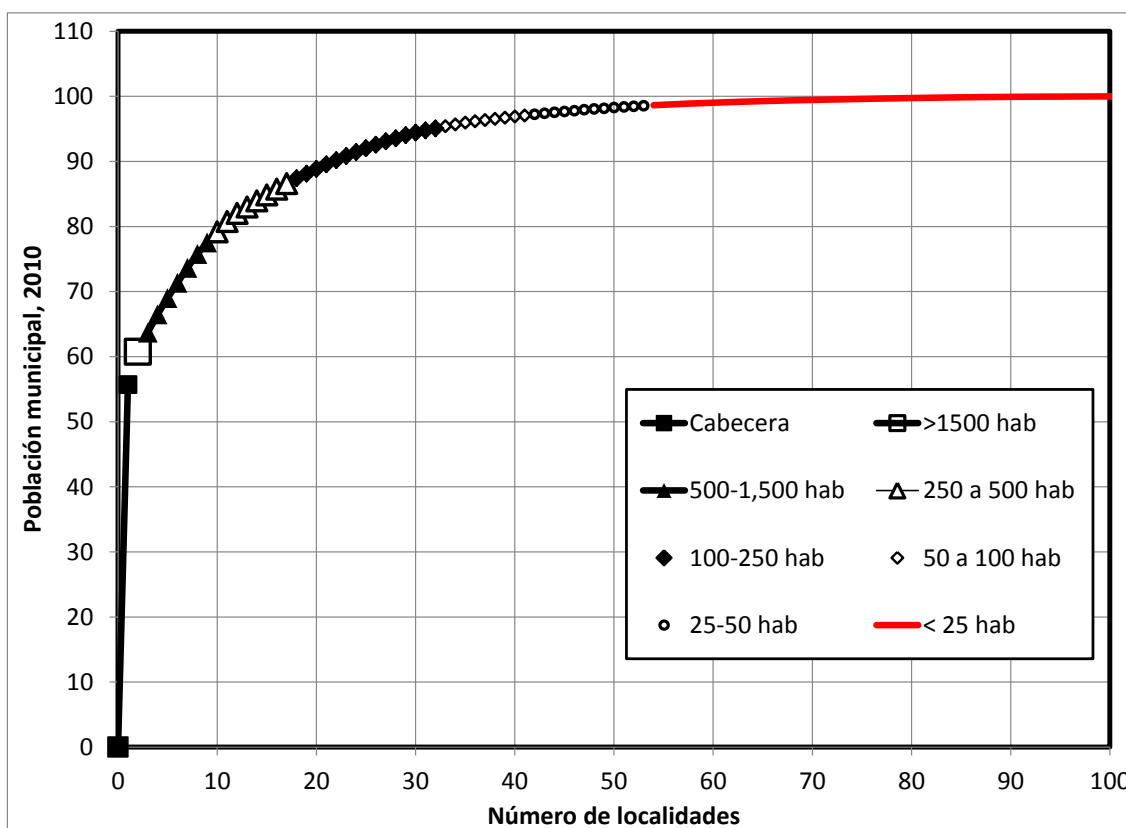


Figura 15. Definición del número de localidades a considerar en el mantenimiento de caminos rurales.

A continuación se describen algunos indicadores básicos relacionados con la forma de la red de caminos:

#### 6.4.1. La forma de la red de caminos

La forma de la red de caminos ha sido descrita por diversos autores (Taafe *et al*, 1996; Marr y Sutton, 2007; Rodrigue *et al*, 2009) como un indicador de ocupación del espacio que otorgan acceso y movilidad dentro de una región, el diseño de corredores tecnológicos así

como la eficiencia de la red. Los estadísticos básicos sobre la red de caminos se observan en la Tabla 8.

**Tabla 8. Indicadores de desarrollo de la red de caminos y nodos (Rodrigue *et al*, 2009)**

Indicador	Definición	Ecuación (planar y no planar)
D	✓ Longitud de la ruta más corta entre los nodos más distantes	
U	✓ Número de circuitos independientes	$u = e - v + p$ (1)
Alfa, $\alpha$	✓ Número de circuitos de caminos comparado con el número máximo de circuitos que se puede construir	$\alpha = \frac{u}{2v-5} = \frac{e-v}{\frac{v(v-1)}{2} - (v-1)}$ (2)
Beta, $\beta$	✓ Número de caminos entre número de localidades	$\beta = \frac{e}{v}$ (3)
Gama, $\gamma$	✓ Número de caminos observados en relación a los caminos posibles que pueden existir	$\gamma = \frac{e}{3(v-2)} = \frac{e}{\frac{v(v-1)}{2}}$ (4)
Eta, $\eta$	✓ Longitud promedio de los caminos	$\eta = \frac{L(G)}{e}$ (5)

Leyenda e = tramos de camino; v= localidades; u = número de circuitos independientes de caminos; L(G) Longitud total de caminos; p= número de sub-gráficas independientes

Estas representan todas las medidas que se puede obtener de una red de caminos, sin embargo son algunos indicadores que no son utilizados por autores como Scaparra y Church, (2005) que realizan una búsqueda de óptimos locales a partir de una lista de candidatos obtenidos en una búsqueda codiciosa previa respetando siempre el límite presupuestal optimizando la distancia de viaje y el volumen de tráfico, aplicándolo a una red distribuida aleatoriamente.

#### 6.4.2. Descripción de la red

La estructura de la red de caminos del área de estudio está integrada por 89 vértices, (53 corresponden a localidades y 36 a nodos auxiliares en las intersecciones de caminos o

límites administrativos) (Tabla 9). La interpretación de la red viaria de Salinas muestra se tiene un diámetro muy grande (25 nodos intermedios entre las localidades extremas), con una significativa carencia de conexiones redundantes entre las localidades, solo un grupo de caminos que forman circuito ( $\beta=1.011$ ); con un desarrollo de periféricos o circuitos muy bajo o inexistente respecto número máximo de circuitos que puede integrar ( $\alpha=0.0005$ ); la red está muy lejos de alcanzar una conectividad total ( $\gamma=0.0345$ ). Por último una longitud promedio de los tramos de 0.53 km lo que hace la construcción y el mantenimiento relativamente barato comparado con tramos de vías más largos.

**Tabla 9. Características de la red de caminos de Salinas, San Luis Potosí.**

<i>Indicador</i>	<i>Criterio</i>	<i>Valor</i>
Nodos	-	89
Tramos	-	90
D	A mayor diámetro, menor enlazada la red	25
U	A mayor número de circuitos, mayor desarrollo de la red	2
Alfa, $\alpha$	0 para árboles y redes simples; 1 para redes completamente conectadas	0.00052
Beta, $\beta$	Estructura de árbol y redes simples tienen un valor menor a 1 Redes complejas tienen valores mayores a 1	1.01
Gama, $\gamma$	1 indica una red completamente conectada	0.3448
Eta, $\eta$	Mayor longitud, mayor costo de mantenimiento (km/Tramo)	0.53

### 6.4.3. Modelo del sistema

El mantenimiento de los caminos rurales se concibe como el valor de la función integrada por los factores que se proponen:

### ***Conectividad de las localidades***

La conectividad es un indicador de redes que determina la importancia de la conexión de la localidad respecto al resto de las localidades definiendo así una ventaja competitiva entre ellas. La conectividad se define construyendo una matriz cuadrada ( $n \times n$ ) de conexiones donde en las filas y las columnas están las localidades asignando un valor de 1 (uno) a las conexiones directas existentes entre una localidad y otra ( $c_{ij}$ ), y un valor de 0 (cero) a las conexiones inexistentes. La construcción implica la adición de nodos auxiliares en las intersecciones de caminos y en los fines de ruta donde sean necesarios; otra condición es que las localidades consigo mismas tienen conectividad de cero constituyendo la diagonal de la matriz de conectividad. El tamaño de la matriz tiene de largo y alto el número de localidades ( $n_l$ ) más el número de nodos auxiliares ( $n_a$ ), la suma de conexiones ( $n = n_l + n_a$ ) es la matriz de conexiones directas (C1) (Figura 16).

A esta matriz de conexiones directas se adiciona una matriz de conexiones indirectas de segundo (C2), tercero (C3) hasta n-orden (Cn) al analizar las conexiones indirectas existentes entre todas las localidades hallando las combinaciones posibles entre un camino (con valor 1) y la conexión siguiente (que puede ser 1 o 0) (Rodrigue, *et al*, 2009; Marr y Sutton, 2007; Taaffe *et al*, 1996).

El valor de conectividad es proporcional: a mayor número de localidades con las que se tiene conexión, mayor será el valor de la conectividad. Este valor mide la posibilidad de que una localidad este comunicada con el resto de localidades, desde el punto de vista de salida a partir de la comunidad. La conectividad (C1) está definida por la ecuación

$$C1 = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (5)$$



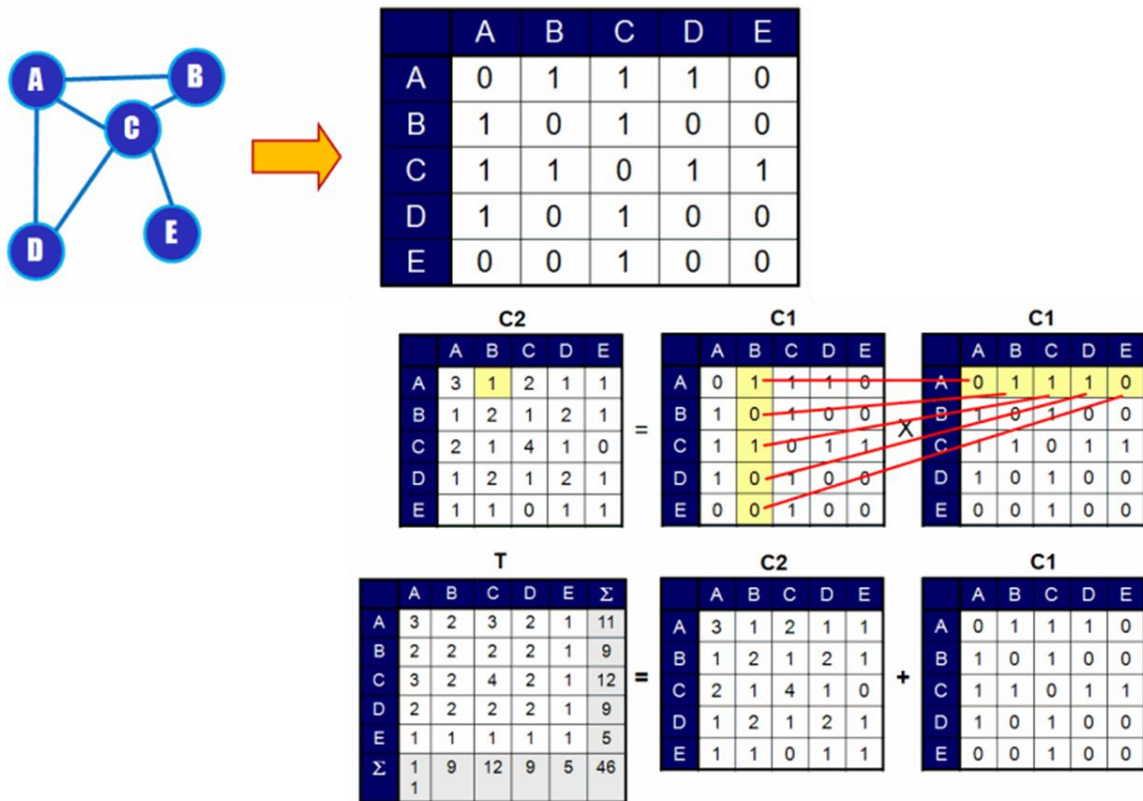


Figura 16. Cálculo de la conectividad directa e indirecta de redes (Rodrigue, et al, 2009)

La conectividad de Salinas se muestra en la Figura 14 se identifica a la localidad con mayor conectividad absoluta (Salto Matorral) que le confiere una mayor ventaja competitiva para establecer una infraestructura que se comunice con la mayoría de las localidades (0.1% de la población). Después se identifican una serie de localidades suburbanas con conectividad alta caracterizadas por el incremento de la urbanización en esas localidades (Salinas de Hidalgo, Azogueros, El Potro y El Alegre) (población de la cabecera municipal más 4.4% de la población). Finalmente un tercer estrato de localidades con conectividad media está integrado por La Reforma, Salitrillo, La Bolsa, San Juan Sin Agua y Guadalupe Victoria (La Noria del Jacalón) (6.5% de la población).

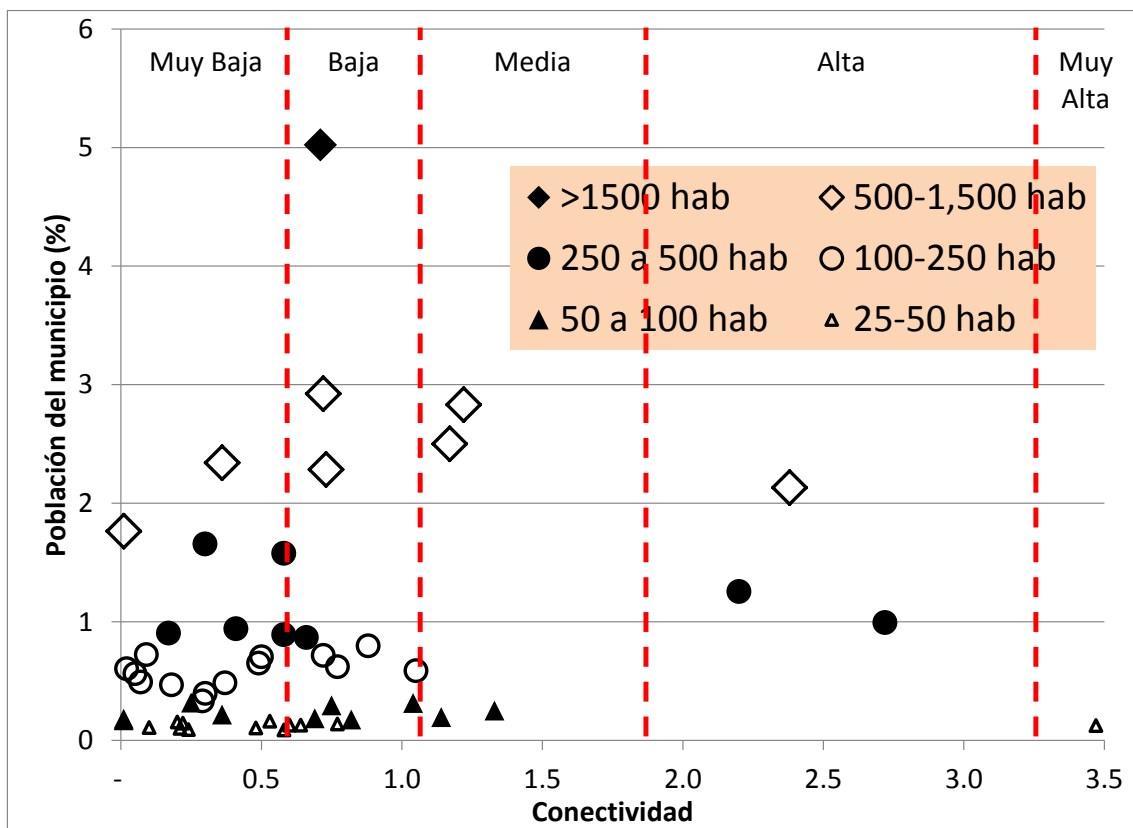


Figura 17. Relación entre la población y la conectividad.

En la Tabla 10 se aprecian el impacto en la población rural de la conectividad con el resto de las comunidades. Se identifica un 20% de población que tiene una conectividad alta o muy alta hacia el resto de las comunidades rurales.

Tabla 10. Impacto de la conectividad en la población rural de Salinas, San Luis Potosí

Clase de conectividad	Rango de conectividad	Localidades	Población Rural*
Muy Baja	0.01-0.58	29	17.4
Baja	0.58- 1.04	14	14.6
Media	1.04-1.90	5	6.4
Alta	1.90-3.31	4	4.4
Muy Alta	3.31-4.83	1	0.1
Total		53	42.9

\* Se considera solo a la población que vive fuera de la cabecera municipal.

Al examinar el porcentaje de la población que tiene vehículo propio se observa que las poblaciones con menor conectividad en su mayoría se diferencian del resto de localidades por considerar mayor su problema de trasladarse hacia los centros de intercambio de servicios (Figura 18) y por ello han adquirido un vehículo, en algunos casos con recursos provenientes de las remesas enviadas por los migrantes o como resultado de la importación irregular de vehículos extranjeros. Sin embargo, queda claro que la solución al desplazamiento de la población es con base en recursos propios en vehículos particulares con más de 10 años de antigüedad que al ser vehículos de bajo coste por la edad y el estado mecánico en el que arriban a la zona y la falta de mantenimiento preventivo por la ausencia de talleres mecánicos certificados y una ausencia de cultura de mantenimiento mecánico preventivo lo que aumenta el riesgo de seguridad al circular por los caminos rurales.

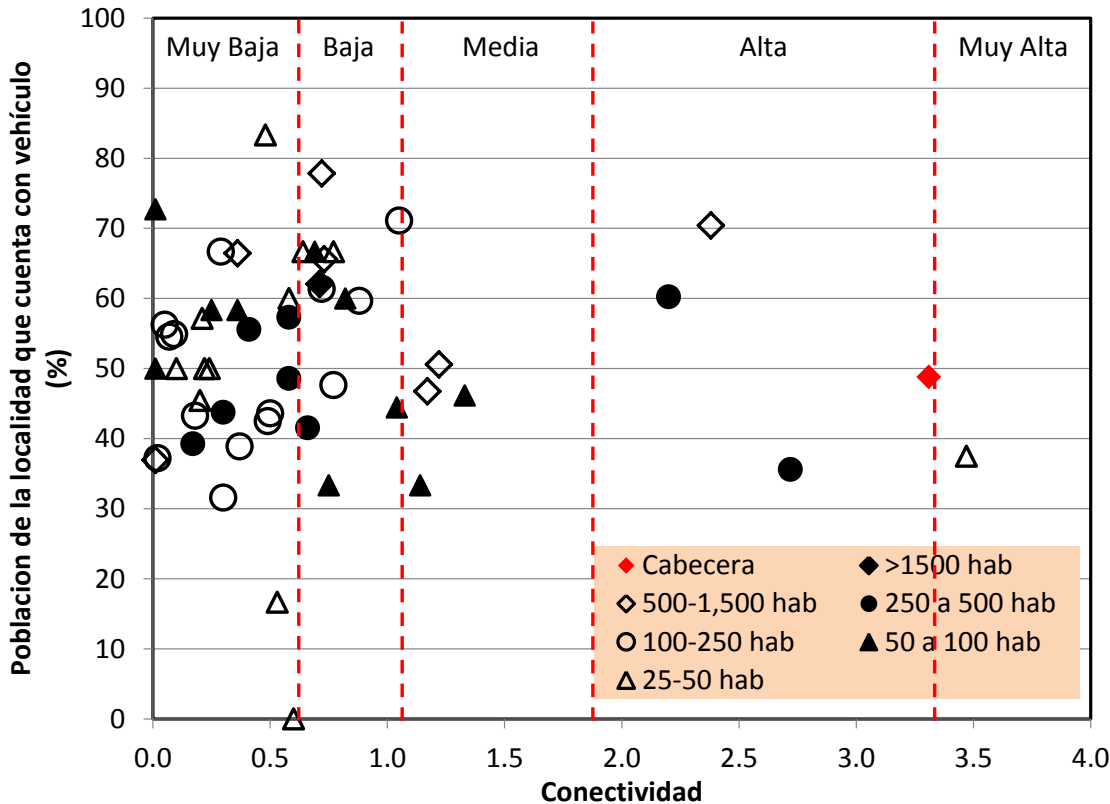


Figura 18. Relación entre el porcentaje de población con vehículos y la conectividad para las localidades de Salinas, San Luis Potosí.

La variación de la conectividad para los caminos del municipio de Salinas se aprecia en la Figura 19. Para estandarizar su comportamiento se propone un ponderador de la forma  $w_c=(1/C_{Max})$  a fin de que la conectividad varíe entre 0 y 1, de manera que la conectividad ponderada se obtiene como  $C/C_{max}$ .

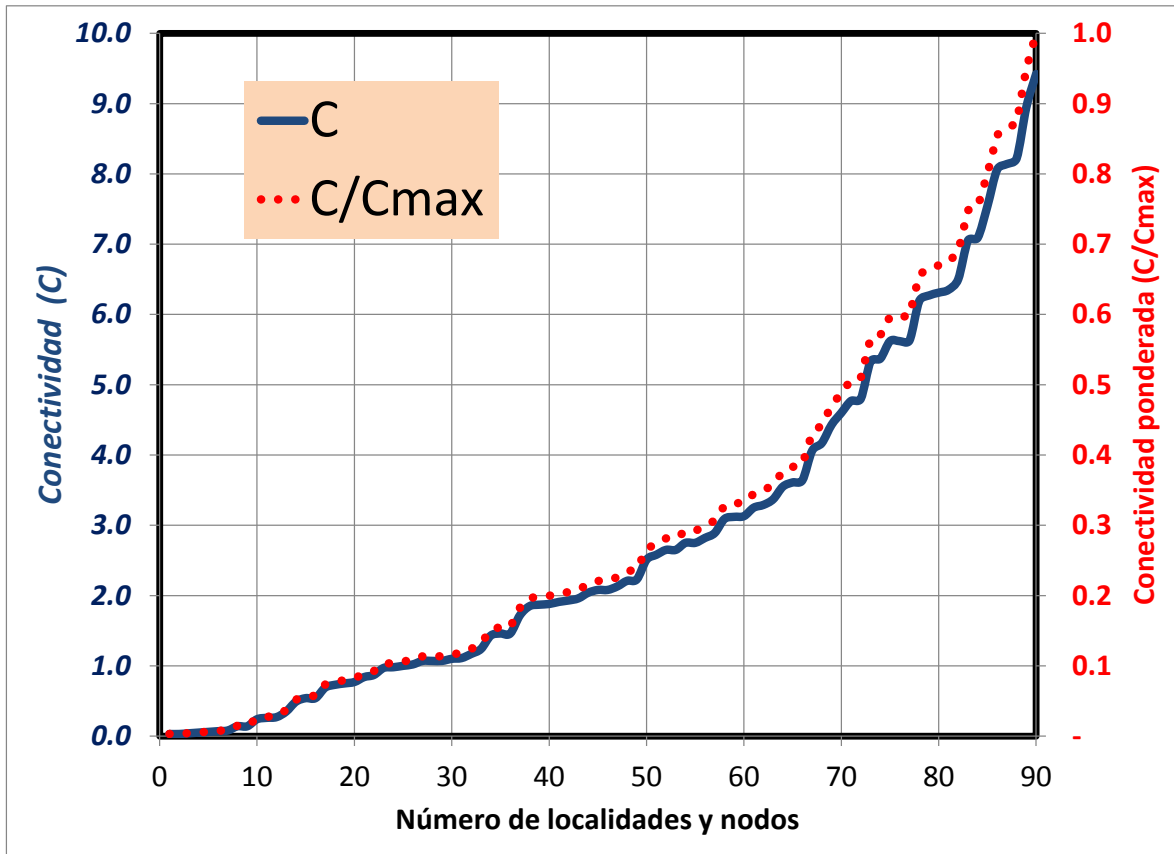


Figura 19. Conectividad ponderada

### ***Costo social del tiempo de desplazamiento***

El costo social del tiempo en un concepto innovador en el sentido, a nivel microregional, el ahorro en tiempo de transporte derivado de la forma en que se traslada una persona, impacta en el nivel de ingreso, en las ganancias que podría obtener si empleara tiempo adicional de transporte. Ha sido analizado en forma de índice de costo según las diferentes

actividades laborales (Cervini, 2006) y aplicado a un sistema de transporte de pasajeros (Torres y Hernández, 2006), en esta investigación se ubica como parámetro para decidir si se realiza una actuación. El valor social del tiempo que invierte el habitante en desplazarse se considera una fracción del ingreso laboral que representa la pérdida de ingresos al realizar el desplazamiento disminuyendo la fracción de tiempo no laboral que se puede emplear en otras actividades, varía según el nivel de ingreso de la localidad a la que se pertenece: una localidad que no tiene mucho ingreso, dedica poco dinero al desplazarse, una localidad con mayores ingresos dedica una mayor proporción al realizar el transporte.

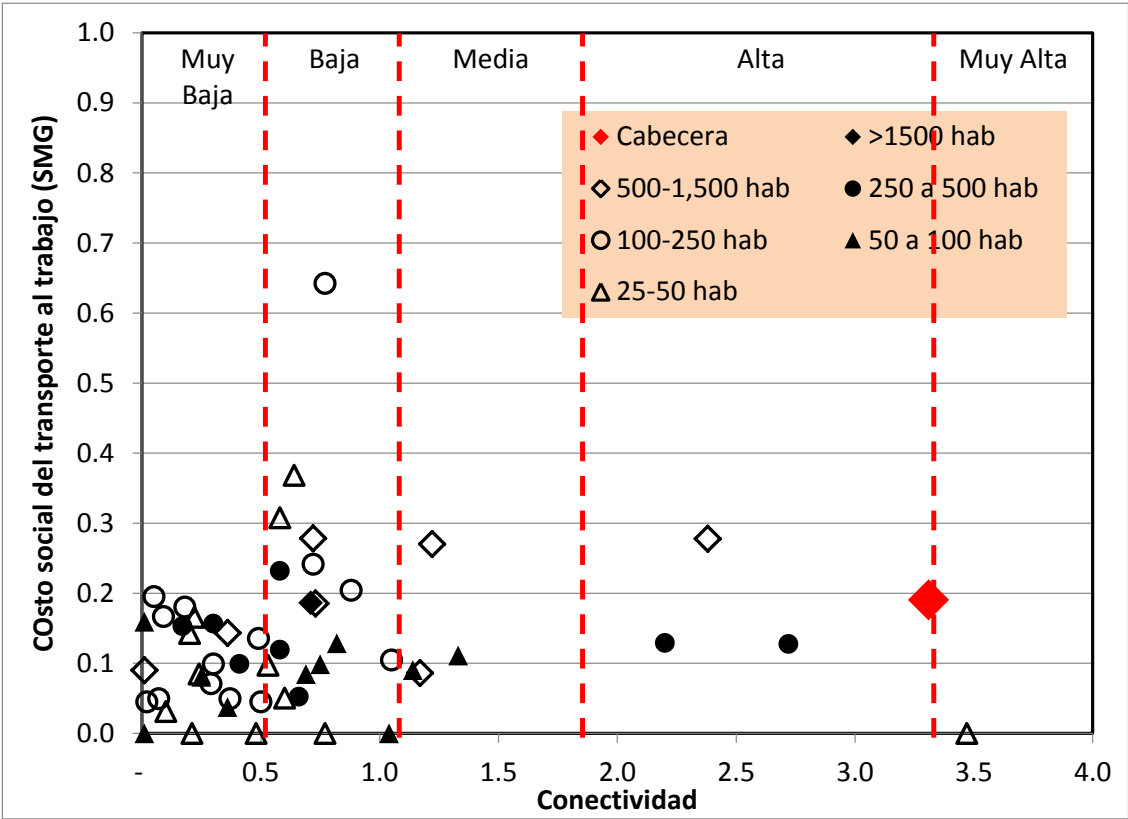


Figura 20. Estimación del costo social del tiempo de traslado al trabajo según tamaño de localidad

En la Figura 20 se muestra el costo de traslado por motivos laborales a precios de 2011 usando la distribución de ingresos recopilada durante el Censo de 2000. Se aprecia una tendencia similar a la de los hogares encuestados (Mayor gasto en transporte en localidades

con accesibilidad baja) aunque no es muy consistente con las localidades de muy baja conectividad. Esta información no se actualiza a 2010 debido a que no se censó esa variable.

Esta diferencia en ingreso se mide respecto al nivel de ingreso mensual que es de 1 SALARIO MÍNIMO MENSUAL “suficiente para satisfacer las necesidades vitales de alojamiento, de la alimentación, del vestido, de la educación y del recreo del trabajador, teniendo en cuenta el desarrollo económico y cultural de cada país” (equivalente en 2011 a 124.55 USD en México y 1,625.68 USD en España). Para otorgar continuidad al Costo Social del Tiempo se ha multiplicado el valor social del tiempo por el número de pobladores que reportaron una ocupación durante el Censo de Población 2010. El ponderador que se propone es una función inversamente proporcional a la magnitud absoluta del Costo social, de manera el Costo Social ponderado (CSp) se expresa usando el Costo Social mínimo dividido entre el Costo Social ( $CS_{Min}/CS$ ) a fin de dar mayor importancia a los tramos con menor costo social del tiempo, ya que son los tramos que menos invierten en transporte por ser alejados y por ganar pocos ingresos. La variación del costo social del tiempo y del costo social ponderado se aprecia en la Figura 21.

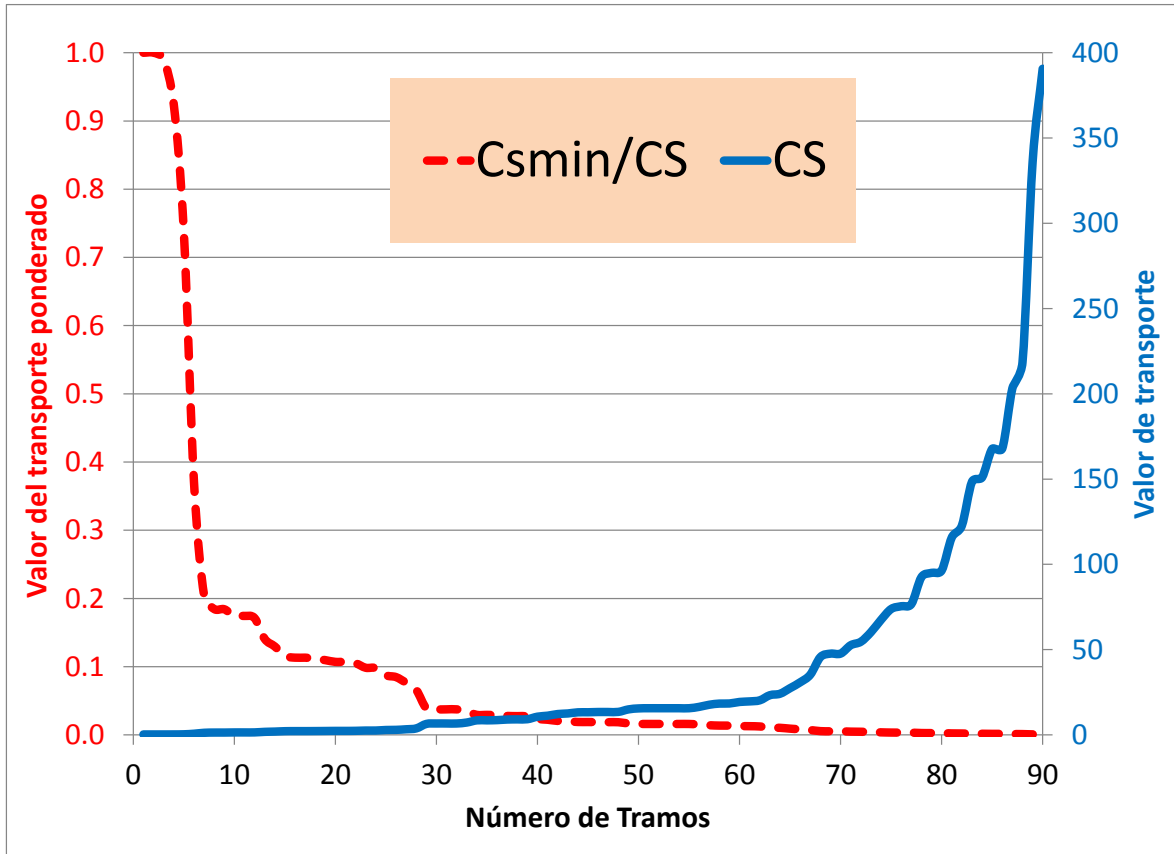


Figura 21. Costo social del tiempo ponderado

***Cantidad de beneficiarios***

La *cantidad de beneficiarios* son los habitantes que resultan beneficiados por las actuaciones que se realicen en el tramo de camino. La cantidad de beneficiarios según el tamaño de localidad se muestra como porcentaje de la población total del municipio en la Figura 22. Esta cantidad de beneficiarios son parte del ponderador requerido para decidir la actualización o el mantenimiento de caminos.

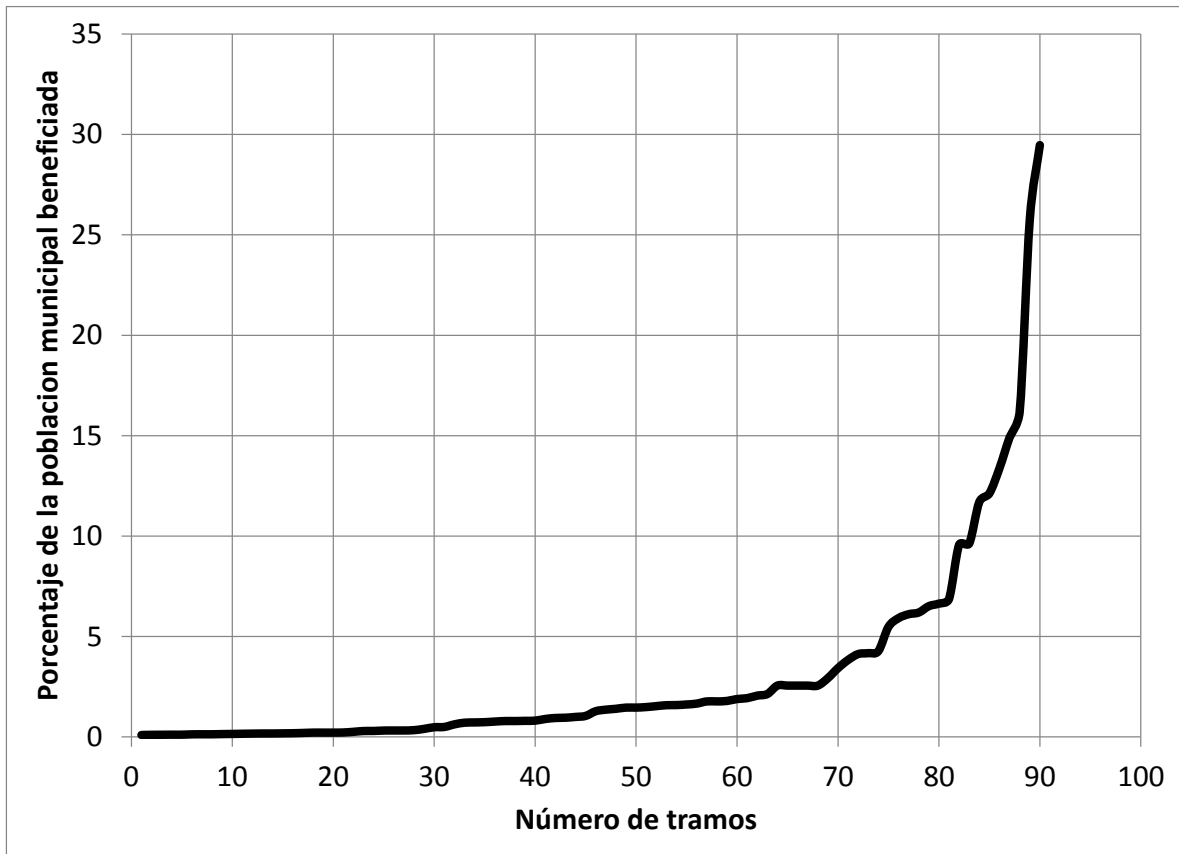


Figura 22. Porcentaje de beneficiarios en las localidades de Salinas San Luis Potosí

***Opinión de los habitantes sobre la actualización y el mantenimiento de caminos rurales***

La *opinión de los habitantes sobre la importancia de los criterios de actualización y mantenimiento* de la red de caminos rurales se expresa en forma de intensidad de importancia obtenida mediante un análisis de preferencias de los habitantes de las localidades vía AHP (Analytic Hierarchy Process). Se aplicó una encuesta a 32 habitantes de los ejidos de Salinas (3 habitantes en cada ejido). Se les pidió señalar la importancia que tenía para ellos algún criterio para el mantenimiento y la actualización de caminos. La forma genérica de la definición de preferencia fue “¿usted considera al criterio *a* con: 1) Igual importancia, 2) Moderada importancia, 3) Fuerte preferencia, 4) Muy fuerte



preferencia y 5) Extremada importancia?”. Los reactivos concretos fueron: Considera usted importante el criterio de “financiar las mejoras del camino (ampliar o actualizar el camino rural al siguiente nivel)” como criterio de actualización del camino rural a una carretera revestida o pavimentada. Mientras que el criterio de “conservar la calidad del camino para contar con un camino durable y confiable considerando la calidad de los materiales de construcción” se consideró como criterio para definir el mantenimiento de los caminos rurales. Estos criterios se ubicaron en las comunidades en las que fueron expresadas y se considera como el indicador del camino inmediato que da acceso a su localidad. Como criterios para realizar una actuación en caminos se consideró a las categorías de “muy fuerte importancia” y “extremada importancia” como desencadenadores de una actuación. Los valores para cada tramo se ubican en la tabla 14.

#### **6.4.4. Coste de mantenimiento**

El *coste del mantenimiento* que el municipio tiene que invertir para mantener el nivel de funcionamiento del camino. A mayor longitud, mayor coste de mantenimiento o actualización. La combinación de estos costes de actualización y mantenimiento son la función objetivo que deberá optimizarse. Más adelante se muestra la forma en que se elige el coste de actuación en función de las características de los caminos elegidos. Sin embargo se analizaron 13 años de ejercicios municipales para obtener un estimado de lo que paga el municipio por realizar estas actividades, se analizaron 64 obras municipales en el rubro de caminos rurales. Se analizaron rubros de construcción, conservación, pavimentación, reconstrucción, mantenimiento, rehabilitación bacheo, proyectos, así como construcción de terracerías y puentes. Para dar dimensión a estos calores históricos se consideraron los años más recientes para definir un costo estimado de actuaciones a fin de analizarlo en esta

investigación. Este valor se considera como el coste real que se realiza en las actividades, independientemente de las variaciones municipales, topográficas y regionales de cada caso.

Sobre los tramos de carreteras y caminos se identificaron 90 tramos que comunican a las localidades de manera directa (54 tramos directos a una localidad y 36 intersecciones donde se entroncan diferentes caminos que proporcionan acceso a más de una localidad). La longitud total de la red de carreteras y caminos que utilizan los habitantes del municipio es de 284 km, de los cuales 118 km son responsabilidad de la Junta Estatal de Caminos del gobierno de San Luis Potosí, 34 km son parte de la carretera Federal México-Ciudad Juárez y son responsabilidad de la autoridad federal; cuya frecuencia de mantenimiento se realiza cada 20 años por las características de los materiales de construcción; a cargo del municipio de Salinas están 49 tramos que tiene una longitud total de 95 km lineales y finalmente la topología de caminos involucra a caminos de los municipios aledaños de Villa de Ramos (9.6 km), Santo Domingo (4.8 km) en San Luis Potosí y Pinos, Zacatecas (26.0 km) para dar acceso a comunidades del municipio de Salinas.

**Tabla 11. Características de los tramos de carreteras y caminos del municipio de Salinas, S.L.P.**

<i>Responsable</i>	<i>Número de tramos</i>	<i>Longitud total (km)</i>	<i>Longitud máxima (km)</i>	<i>Longitud Mínima (km)</i>	<i>Longitud promedio (km)</i>
Municipio de Salinas	49	95.4	5.8	0.2	1.9
Estatal	27	118.0	18.8	0.2	4.4
Federal	9	33.7	7.4	1.2	3.7
Pinos, Zacatecas	3	22.6	16.8	0.8	7.5
Santo Domingo, SLP	1	4.8	4.8	4.8	4.8
Villa de Ramos, SLP	1	9.6	9.6	9.6	9.6
Total	90	284.1	18.8	0.2	3.2

Analizando el período 1998-2010 de obras en caminos rurales se observa que el costo unitario de construcción, mantenimiento y reparación de camino se ubica en los valores que se reportan en la Figura 23 y en la Tabla 17.

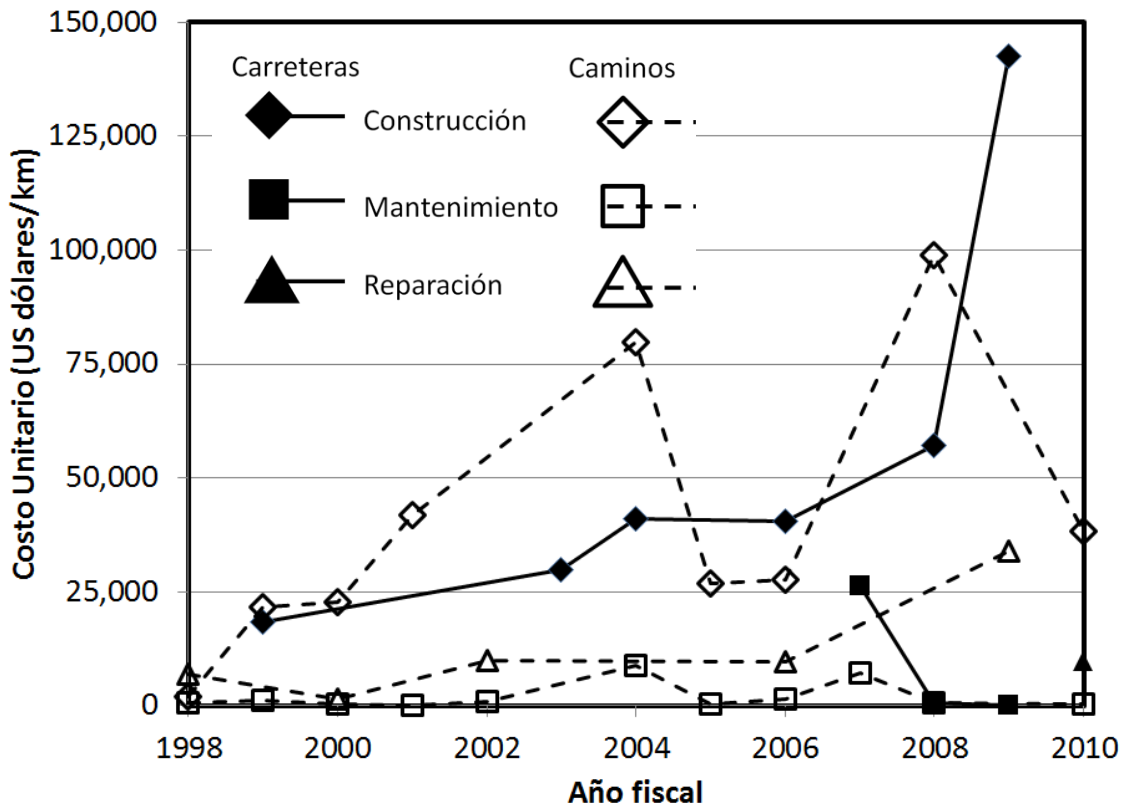


Figura 23. Costo de carreteras y caminos rurales pagados durante 1998-2010 en Salinas San Luis Potosí

#### 6.4.5. El límite presupuestal del mantenimiento de caminos

Al analizar los ejercicios fiscales del municipio de 1998 a 2011 (SEDESORE, 1998-2011) se determina la limitante del sistema de mantenimiento de camino. Se observa que se ha dedicado una inversión total en obras municipales creciente (línea □) oscilando en los últimos años entre 2.5 y 3.7 millones de dólares; sin embargo, el municipio financia la infraestructura cada vez más con programas ajenos al municipio como el Fondo de Infraestructura Social Municipal (FISM) y Fondo de Fortalecimiento Municipal (FAFM) que son fondos depositados por el gobierno del Estado mezclado con recursos de origen federal en algunos años para tal fin alcanzando niveles de financiación entre el 0.7 y 1.0 en el quinquenio 2007-2011 (línea ▲); aunque la inversión municipal en caminos rurales,

decisión de cada municipio se ubica por debajo del 0.1 en el mismo período (línea○).

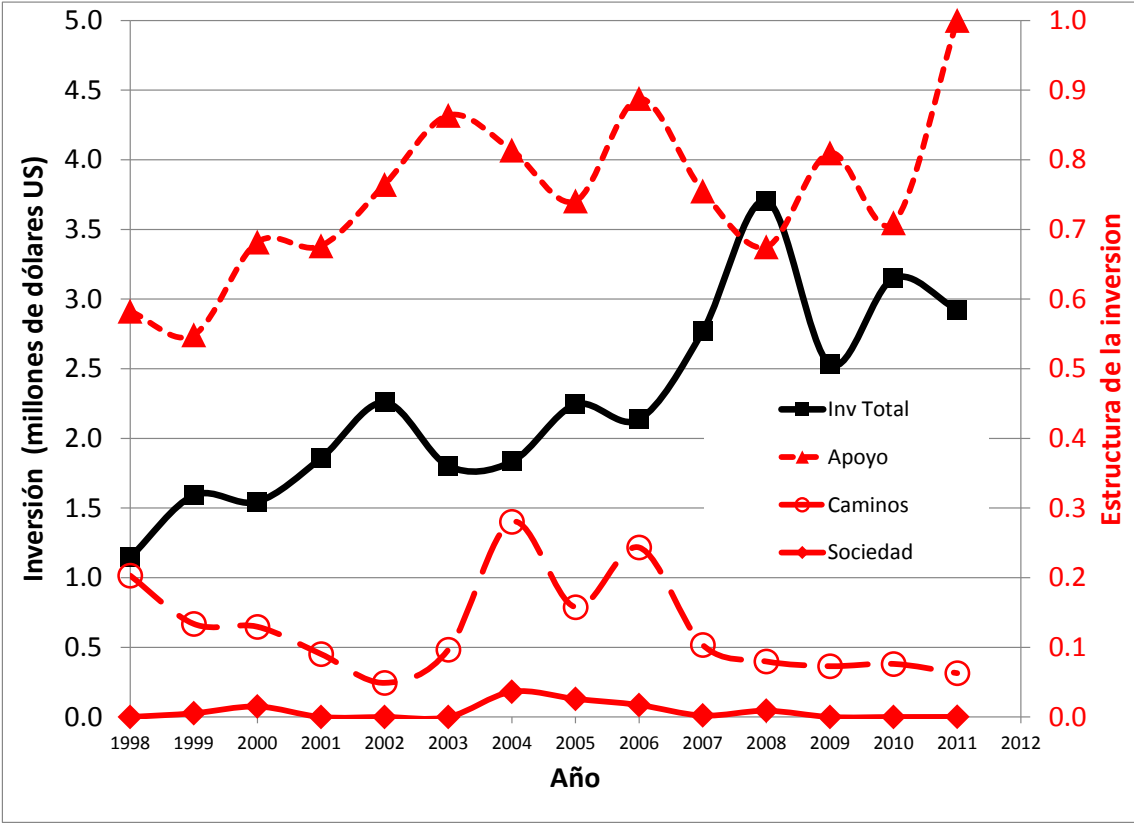


Figura 24. Presupuesto, inversión en caminos y participación de la sociedad en la construcción, mantenimiento y reparación de caminos rurales en el municipio de Salinas.

El costo de construcción de una red de caminos con las características que se han observado se muestra en la Figura 25, donde se aprecia que el valor de la red viaria (estudios, construcción, mantenimiento y reparación de las vías señaladas en la Tabla 11) como primer indicador del monto de inversión que los habitantes del municipio disponen para su servicio, asciende a un total de 3.5 millones de dólares de 2010 sin contar el valor que tienen los terrenos sobre los que cruza la red viaria, las instalaciones, la maquinaria de mantenimiento y los señalamientos relacionados con la seguridad de la circulación de la red viaria.

El presupuesto del municipio de Salinas en 2010 ascendió a 2.37 millones de dólares, lo que equivale a dedicar 8.7 ejercicios fiscales para construir esta red sin realizar inversión alguna en otra actividad, incluida la operación misma de la dependencia municipal.

Si la inversión municipal varía entre los rangos históricos de 9 y 20% mostrados en la Figura 24, el valor de la red varía entre 43 y 96 años fiscales. La actual administración local (2009-2012) dedica sólo el 2.3% del presupuesto anual en el tema de caminos rurales, en consecuencia tardaría 372 años en construir esta red de caminos.

Lo anterior que lleva a pensar en el valor estratégico de una red de caminos (construcción, modernización, mantenimiento y reparación), se trata de proyectos que deben trascender las administraciones locales y no solo convertirse en moneda de cambio para permanecer como alternativa de gobierno (Alesina y Tabellini, 2008).

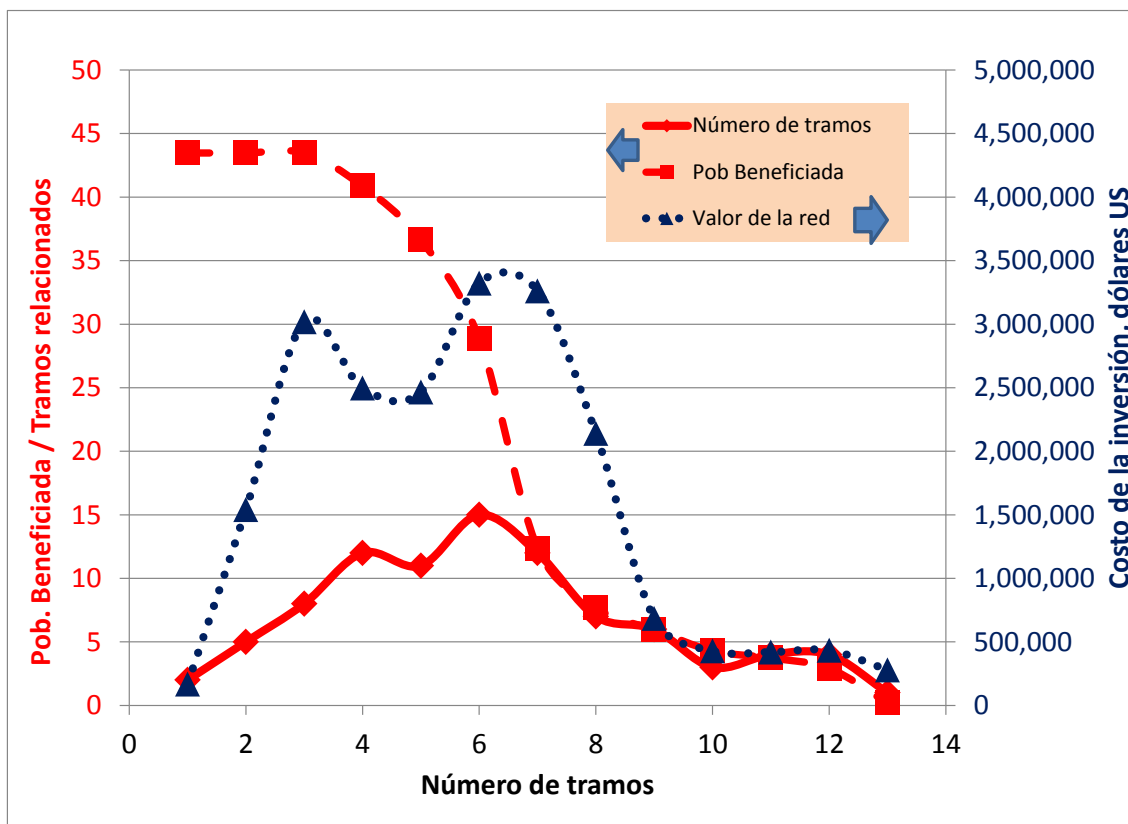


Figura 25. Costo de construcción de la red viaria de Salinas, SLP a presupuesto de 2011.

De manera incidental, la sociedad ha aportado recursos para la construcción de sus infraestructuras aunque esa participación está por debajo del 0.04 (línea ♦). En conclusión, el modelo de mantenimiento debe considerar un límite de inversión del 30% en años dedicados a la creación de infraestructura de caminos y de 5% en años con administraciones muy renuentes a invertir en la infraestructura de comunicación terrestre.

Tabla 12. Presupuesto municipal, dependencia de fondos federales, Gasto en caminos municipales y Participación de la sociedad

Año	Inversión Total	Apoyo Federal	Inversión en Caminos	Participación de la sociedad
1998	1,144.9	582.4	203.0	-
1999	1,590.4	548.6	133.7	5.3
2000	1,545.4	681.8	129.6	15.0
2001	1,857.6	676.5	90.4	-
2002	2,258.1	764.4	49.0	-
2003	1,802.6	863.8	96.5	-

2004	1,832.9	813.7	280.2	36.2
2005	2,243.1	740.7	157.7	26.0
2006	2,136.4	887.8	243.4	17.2
2007	2,768.2	755.1	103.4	2.1
2008	3,706.7	674.9	79.7	9.0
2009	2,530.0	809.9	72.9	-
2010	3,148.9	709.5	76.2	-
2011	2,923.7	1,000.0	62.9	0.1

Con esta información se identifican 5 escenarios históricos de gasto que se resumen en la Tabla 13, La identificación de los escenarios sería desde el punto de vista de la administración municipal, de manera que el escenario de “muy alto interés” significa que la administración municipal consideró el gasto en caminos rurales como un tema de muy alto interés en los planes de desarrollo municipal, este escenario considera el gasto en caminos entre 203 y 243 mil dólares en cada ejercicio anual que equivale a destinar entre 11 y 18% del gasto municipal. El escenario contrario de interés es el escenario de muy poco interés por parte de la administración municipal lo representa un gasto en caminos de 49 mil dólares que representa menos del 2% del presupuesto municipal.

**Tabla 13. Rangos de variación en el gasto municipal en caminos rurales del municipio de Salinas**

Escenario	Rango de presupuesto dedicado caminos rurales (Miles de USD)	Porcentaje del presupuesto municipal
Muy Alto interés	203-243	11-18%
Alto interés	129-157	7-8%
Mediano interés	90-103	3-5%
Bajo interés	62-79	2-3%
Muy poco interés	49	<2%

En la Figura 26 se aprecia el costo de cada tramo según su ubicación en la red, la combinación de cada tramo constituye el espacio de soluciones en el modelo.

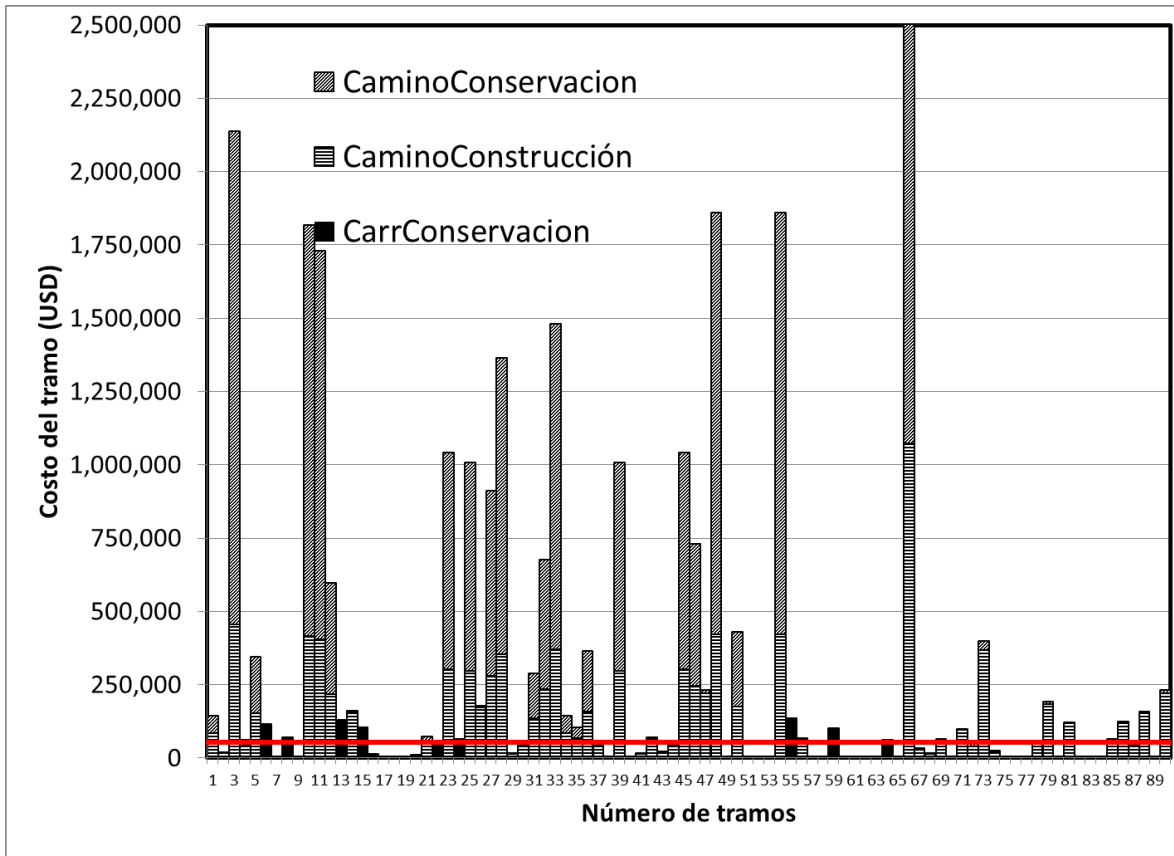


Figura 26. Costo de los tramos de carretera que serán mantenidos en Salinas, San Luis Potosí.

En este punto se señala que la topografía del territorio de Salinas, San Luis Potosí es parte de la cuenca endorreica de una laguna (es una zona plana de acumulación de material edáfico), lo que origina una llanura con diferencia en elevación de hasta 6 metros por kilómetro y de 200 metros a lo largo de toda la extensión de la red carretera entre los puntos extremos, por lo que se supone que no existirá mucha diferencia en costes en comparación con una región de sierras y montañas donde cada kilómetro varía dependiendo de la rugosidad del trazo horizontal y vertical del camino, las diferencias en altura a lo largo del todo el recorrido así como la necesidad de usar distintos materiales según las características de cada zona de recorrido. Se reconoce también que aún en zona plana sin



interrupciones relevantes para la construcción del camino, pueden existir diferencias en el coste de kilómetros determinados. La Figura 27 muestra los costos del mantenimiento rutinario de carreteras pavimentadas y de caminos sin pavimentar según la planeación de la actuación (con proyecto o sin proyecto), del mantenimiento (Rutinario o preventivo) y si es sobre caminos o en carreteras y finalmente las diferencias en precio según el tipo de topografía que enfrenta (terreno plano, lomerío suave, lomerío abrupto o montaña) (CITA).

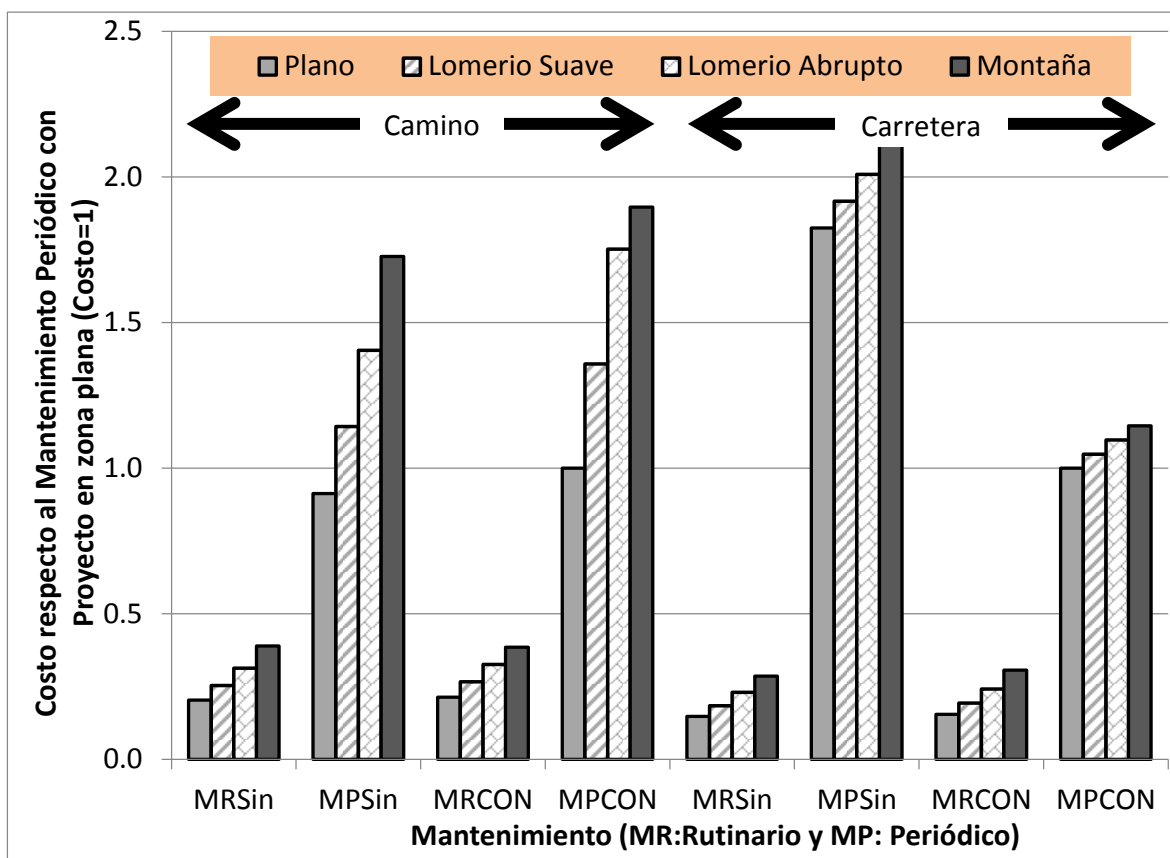


Figura 27. Costos de mantenimiento rutinario (MR) y periódico (MP) para diferentes condiciones de pendiente según la ausencia (Sin) o la presencia de proyecto de actuaciones (CON) para caminos rurales y carreteras pavimentadas (Fuente: Banco Mundial, 2005).

Se observa claramente que los mantenimientos preventivos son más caros, independientemente de que se cuente con proyecto o no; y sin embargo los costos preventivos entre carretera y camino pavimentado son similares ante la magnitud de actuaciones que hay que realizar. Finalmente, el costo de actuaciones en carretera no es

muy diferente según la topografía del terreno y si se aprecian diferencias significativas cuando las actuaciones se realizan en caminos. Aunque estos costos pueden ser alarmantes, más adelante se señalara que el mantenimiento rutinario se da cuando la utilidad de la vía oscila se ha reducido en un 40% y el mantenimiento periódico se recomienda cuando la estructura alcanza un 85% de deterioro.

#### **6.4.6. Limitaciones del sistema**

Para resolver el problema planteado se ha reducido el sistema que se puede observar a un escenario ideal, que hace varias suposiciones o decide pasar por alto determinadas condiciones a fin de simplificar el proceso en la generación del método de optimización que se pretende proponer. Sin embargo de forma organizada se puede señalar sobre:

*Condiciones ambientales:* Respecto a las condiciones ambientales se consideran las siguientes limitaciones:

1. igualdad de condiciones climáticas que puedan desgastar, retrasar o influir a lo largo del trazo de la red viaria, así como el momento en que se realicen obras que modifiquen la infraestructura;
2. Impacto ambiental reducido debido al bajo aforo de vehículos que circulan, aunque la emisión de polvo y gases puede incidir en la población humana;
3. los efectos cinagéticos en el desarrollo de las poblaciones (vegetales y animales) que son consideradas más amplia y detalladamente en la construcción de autovías o carreteras de uso confinado, no se consideran en esta investigación
4. la diversidad de la propiedad de terrenos por donde corre el trazo de la red viaria así como los términos de la expropiación, donación o forma de usufructúo acordado para cubrir con el área de la vía tampoco se considera.

***Crecimiento de la red:*** No se considera la apertura de nuevas alternativas de caminos, la existencia de veredas o caminos entre localidades muy pequeñas se han ignorado ya que la inclusión de estos tramos “irrelevantes” elevan en forma exponencial la consideración de esta red de caminos; sin embargo, se reconoce como un problema latente la falta de provisión de caminos hasta la localidad más pequeña.

***Normativa:*** Se acepta que el trazo de caminos rurales cumple con las normas de diseño y seguridad de caminos señalados por la legislación mexicana al respecto. Aunque una inspección constante y georeferenciada de estos trazos reforzaría el cumplimiento de normas.

***Uso de la red viaria:*** La intensidad del tránsito se ha ignorado debido a que se hace la suposición de que trata de un municipio rural donde no existen problemas de congestión, ni de saturación de vías; se ignora la competencia entre el transporte de pasajeros y el transporte de carga por el uso de las mismas vías; de la misma forma que no se ha hecho caso de la variación de la demanda de uso de la red en horas punta como demanda de transporte. La capacidad de las infraestructuras y los servicios de una red formal de transporte (recorridos definidos, paradas de pasajeros, terminales de pasajeros) se decide dejar fuera de las consideraciones de esta propuesta de modelo.

***Construcción y mantenimiento.*** No se consideran las condiciones de licenciamiento o arrendamiento a empresas privadas para la construcción o mantenimiento de las vías mediante los procesos de participación pública y privada existentes.

#### **6.4.7. Aportación del modelo**

Se considera que contar con una propuesta de alternativas de mantenimiento de caminos rurales, puede incidir en la administración pública del municipio señalando la conveniencia de mantener rutas de caminos, conservando los límites de apoyo presupuestario para la construcción, mantenimiento y reparación de caminos rurales que actualmente tiene como política pública la administración local en funciones; dar voz a los habitantes de las diferentes localidades del medio rural ofreciendo una forma de participación social que puede ser mejorada; formular una aproximación matemática a un problema relativamente complejo; aportar un modelo con un enfoque diferente al tema de mantenimiento de caminos clásico (eficiencia-costo, beneficio/costo; optimización del costo de construcción, mantenimiento de los niveles de seguridad entre otros).

#### **6.5. Algoritmo de recocido simulado**

Para proponer una solución para el mantenimiento de caminos rurales se ha decidido emplear “simulated annealing” (recocido simulado) como un enfoque de análisis de combinación de alternativas aplicable. El recocido simulado es una técnica heurística de optimización combinatoria aplicada al caso de sistemas de bombeo así como al caso de caminos rurales. El término “simulated annealing” se deriva de la observación de procesos metalúrgicos en donde un metal, que es lentamente enfriado, tiene características superiores a las del metal que es enfriado rápidamente. El “simulated annealing” es la conexión entre el comportamiento de sistemas con muchos grados de libertad en equilibrio a una temperatura determinada y la optimización combinatoria donde se define una función en su estado óptimo dependiendo de muchos parámetros. Una definición formal de “simulated annealing” se puede enunciar como:

“Sea  $\{X\}$  el conjunto de posibles configuraciones con una probabilidad de suceder. El método iterativo genera una secuencia de alternativas que optimizan la función de valor en forma ordenada; mientras tanto, un proceso aleatorio de relajación permite cambios que disminuyen la función de valor. Estos procesos se realizan de manera aleatoria tratando de evitar converger en máximos locales”. (CITA?)

De manera análoga al proceso físico en la Tabla 14 se dan los equivalentes entre el proceso físico y el proceso matemático y el caso de caminos rurales de las definiciones clave para realizar la optimización de combinaciones:

**Tabla 14. Relación entre el proceso de recocido simulado y su relación con los caminos**

<i>Sujeto</i>	<i>Proceso físico</i>	<i>Proceso matemático</i>	<i>Caminos</i>
Espacio de exploración	Estados del sólido	Alternativas factibles o soluciones	Combinación de actuaciones en los caminos rurales
Variable de enfoque	Cantidad de Energía	Función de valor	Costo de actuaciones
Método de perturbación	Cambio de estado	Soluciones vecinas	Sugerir o remover caminos con diferentes actuaciones
Método de control	Temperatura	Parámetro de control	Diferencias en cambio de costes de las actuaciones
Objetivo	Estado frío	Solución óptima	Coste de actuaciones mínimo

De esta manera el costo de actuación en caminos (cantidad de energía) deberá buscar el valor mínimo de costo de mantenimiento en caminos y carreteras (solución mínima global) mediante la combinación de actuaciones (estados del sólido) conforme se encuentre diferentes valores mínimo hasta llegar a un costo mínimo global de las actuaciones (estado mínimo global) que cumpla con las diferentes restricciones (método de control) a fin de encontrar el coste mínimo de actuaciones (estado frío).

## 6.6. Implementación del recocido simulado

A continuación se detalla la forma en que se implementa el recocido simulado para el modelo de priorización del mantenimiento de caminos rurales. La enunciación del problema asemeja un ejercicio académico en la forma en que se señalan de manera clara la estructura del problema, las variables disponibles y la forma de implementar una propuesta de solución.

### 6.6.1. Definición del problema

Se tiene un municipio que debe actualizar y mantener a su red de caminos rurales. La red de caminos está integrada por 90 tramos de longitud con diferentes responsables del mantenimiento (Tabla 15). Entre los responsables del mantenimiento se ubican el municipio de Salinas (Municipio), el estado de San Luis Potosí (Estatad), el gobierno nacional (Federal) así como municipios vecinos por donde se debe de circular a fin de llegar a localidades perteneciente al municipio de Salinas y con quien se debe de acordar una estrategia conjunta de mantenimiento (Vecino).

**Tabla 15. Características de los tramos de caminos que se planea programar el mantenimiento.**

Responsable	Número de tramos	Longitud total (km)	Longitud Mínima (km)	Longitud promedio (km)	Longitud máxima (km)
Municipio de Salinas	49	95.4	0.2	1.9	5.8
Estatad	27	118.0	0.2	4.4	18.8
Federal	9	33.7	1.2	3.7	7.4
Vecino: Pinos, Zacatecas	3	22.6	0.8	7.5	16.8
Vecino: Santo Domingo, SLP	1	4.8	4.8	4.8	4.8
Vecino: Villa de Ramos, SLP	1	9.6	9.6	9.6	9.6
Total	90	284.1	0.2	3.2	18.8

La red de caminos considerada tiene una longitud total de 284.1 kilómetros que varían entre 0.2 km el tramo más corto y 18.8 km el tramo más largo. Las redes de caminos, la red

Federal (33.7 km) y la red Estatal (118.0 km) están pavimentadas en su totalidad. Estas estructuras tienen un ciclo de vida de 15 años, donde se recomienda dar mantenimiento preventivo a los 12-13 años de la vida útil de la estructura para alargar la vida útil de la infraestructura o programar un mantenimiento reconstructivo a los 14-15 años en caso de ausencia total de mantenimiento.

Los 95.4 kilómetros de caminos rurales se consideran franjas de tierra sin preparación ingenieril aunque existen pequeños tramos de revestimiento superficial que no se consideraran como longitud significativa en este análisis por ser tramos intermitentes, de manera que la totalidad de la red municipal se considerará de tierra. Para estos caminos, el mantenimiento preventivo y la reparación en caminos de tierra es más frecuente, se recomiendan cada 4-5 años darle mantenimiento y al año 6 o 7 reconstruir el camino completamente. Estos períodos de actuación varían dependiendo de la severidad del clima así como la intensidad de escorrentías superficiales que destruyen el drenaje de la vía, aumentando de manera sustancial la degradación de la superficie de rodamiento (Figura 28).

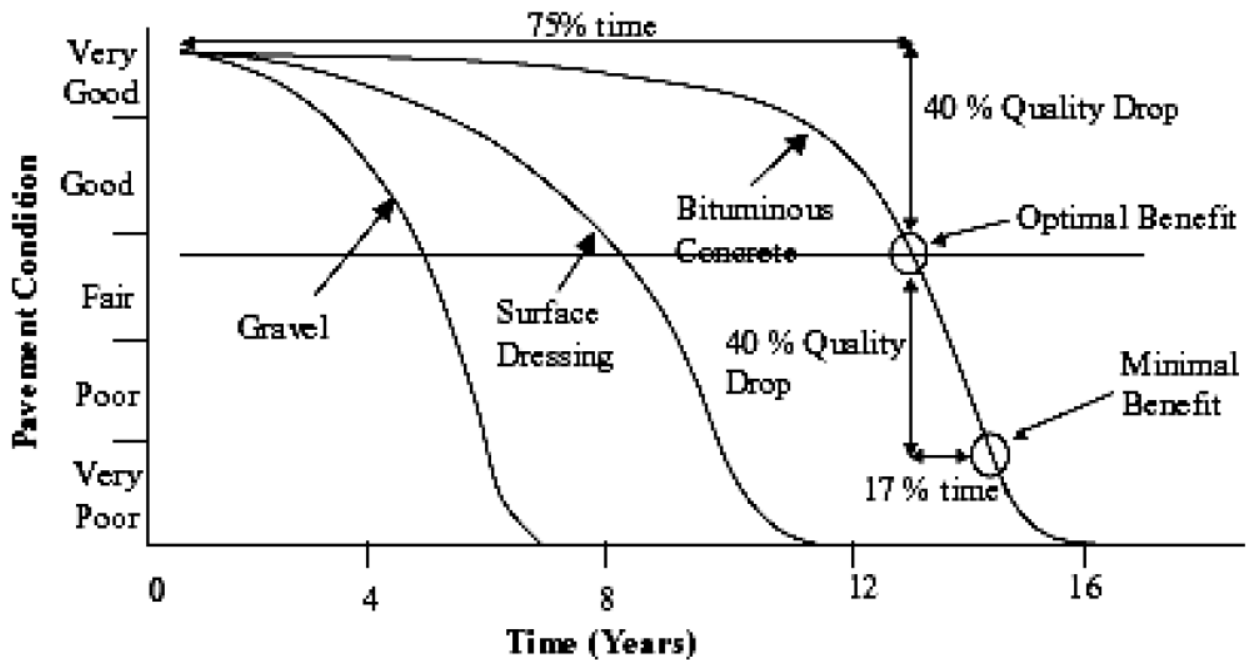


Figura 28. Deterioro y preservación de las superficies de rodamiento en carreteras y caminos rurales (CITA???)

Los costos de construcción, mantenimiento y reparación se han determinado para el municipio analizando los ejercicios del período 1998-2010 y haciendo las conversiones de pesos mexicanos a dólares estadounidenses, se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Costo unitario de la planeación, construcción, mantenimiento y reparación de carreteras y caminos rurales en Salinas, San Luis Potosí (Dólares US / km).

Superficie	Planeación	Construcción	Mantenimiento	Reparación
Carreteras	108	57,138	26,283	9,701
Caminos	36	38,333	328	9,515

Nota: Costo del dólar al 1 de Enero de 2011.

La distribución de los tramos se aprecia en la Figura 29 y comunican a las localidades del municipio hacia la cabecera municipal como centro de atención.



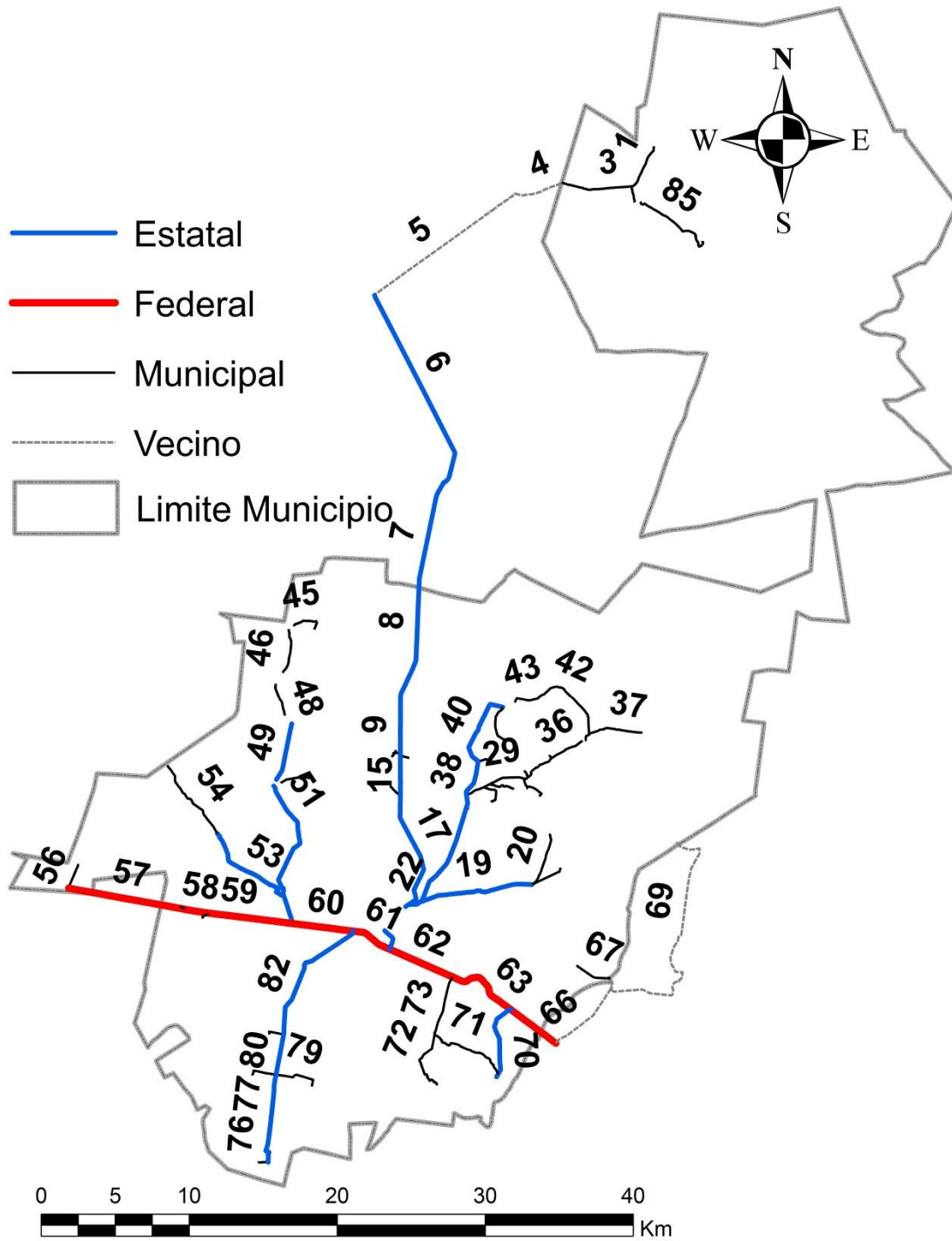


Figura 29. Ordenamiento de los caminos según su responsable de mantenimiento y su topología espacial.

En la Tabla 17 se muestran las características de la red de caminos en detalle

Tabla 17. Características de la red de caminos de Salinas

Tra mo	Conservación de la carretera (USD)	Actualización del camino rural (USD)	Conservación del camino rural (USD)	Estado de la vía	Localidades que comunica la vía	Responsable del mantenimiento	Longitud (km)	Beneficiarios (% Población municipal)	Conectividad	Valor social del tiempo de traslado	Tiempo de desplazamiento	Preferencia de mantenimiento	Preferencia de actualización
1	-	85,707	59,137	2 Camino	EL ESTRIBO-ENT El Estribo	Municipio	3.2	1.765	0.04	0.019	0.006	Demostrada preferencia	Extrema preferencia
2	-	17,141	2,365	2 Camino	EL MEZQUITE-ENT El Estribo	Municipio	1.2	0.788	0.05	0.113	0.014	Demostrada preferencia	Extrema preferencia
3	-	457,104	1,682,112	2 Camino	ENT El Estribo-Lim Mpal Santo Domingo - Salinas	Municipio	4.5	2.554	0.06	0.016	0.004	Demostrada preferencia	Extrema preferencia
4	-	45,710	16,821	2 Camino	Lim Mpal Santo Domingo - Salinas-Lim Mpal Villa de Ramos-Santo Domingo	Vecino: Santo Domingo, SLP	4.8	2.554	0.08	0.016	0.004	Demostrada preferencia	Extrema preferencia
5	-	154,273	191,603	2 Camino	Lim Mpal Villa de Ramos-Santo Domingo-ENT El Mezquite-El Estribo	Vecino: V de Ramos, SLP	9.6	2.554	0.14	0.016	0.004	Demostrada preferencia	Extrema preferencia
6	115,645	-	-	1 Carretera	ENT El Mezquite-El Estribo-Yoliatl, Villa de Ramos, SLP	Estatal	18.8	2.554	0.26	0.016	0.004	Indiferente	Indiferente
7	394	-	-	1 Carretera	Yoliatl, Villa de Ramos, SLP-Lim Mpal Salinas-Villa de Ramos	Estatal	7.4	0.788	0.49	0.113	0.014	Indiferente	Indiferente
8	70,964	-	-	1 Carretera	Lim Mpal Salinas-Villa de Ramos-COLONIA ZARAGOZA (GARABATILLO)	Estatal	5.2	2.554	0.98	0.016	0.004	Indiferente	Indiferente
9	295	-	-	1 Carretera	COLONIA ZARAGOZA (GARABATILLO)-ENT Diego Martín-Cuellar	Estatal	6.2	1.765	1.93	0.019	0.006	Indiferente	Indiferente
10	-	417,107	1,400,621	2 Camino	ENT Diego Martín-Cuellar-ENT Cuellar	Municipio	0.4	3.422	2.04	0.012	0.004	Indiferente	Indiferente
11	-	405,680	1,324,926	2 Camino	CUÉLLAR-ENT Cuellar	Municipio	0.2	2.054	1.07	0.009	0.046	Indiferente	Indiferente
12	-	217,124	379,527	2 Camino	DIEGO MARTÍN (CHARCO COLORADO)-ENT Cuellar	Municipio	0.4	0.397	1.07	0.076	0.238	Indiferente	Indiferente
13	128,787	-	-	1 Carretera	ENT Diego Martín-Cuellar-ENT Vicente Guerrero	Estatal	0.2	1.656	3.13	0.010	0.057	Indiferente	Indiferente
14	-	157,165	5,514	2 Camino	VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero	Municipio	0.6	5.475	2.58	0.005	0.004	Indiferente	Indiferente
15	105,132	-	-	1 Carretera	ENT Vicente Guerrero-ENT Rancho Nuevo	Estatal	2.7	0.719	4.43	0.020	0.132	Indiferente	Indiferente
16	-	11,428	1,051	2 Camino	RANCHO NUEVO-ENT Rancho Nuevo	Municipio	0.9	6.194	3.61	0.004	0.004	Indiferente	Indiferente
17	197	-	-	1 Carretera	ENT Rancho Nuevo-ENT Reforma-Yoliatl	Estatal	8	0.315	6.31	0.034	0.301	Indiferente	Indiferente
18	1,214	-	-	1 Carretera	ENT Reforma-Yoliatl-ENT La Mesilla-San Pedro de Alcantar	Estatal	0.8	6.509	7.09	0.004	0.004	Indiferente	Indiferente
19	722	-	-	1 Carretera	ENT La Mesilla-San Pedro de Alcantar-ENT La Mesilla	Estatal	7.3	6.870	5.33	0.002	0.006	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia
20	-	7,667	13	2 Camino	LA MESILLA-ENT La Mesilla	Municipio	3.7	0.762	2.75	0.005	0.037	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia
21	-	51,424	21,289	2 Camino	SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla	Municipio	2.2	0.623	2.75	0.005	0.043	Indiferente	Indiferente
22	52,566	-	-	1 Carretera	ENT La Mesilla-San Pedro de Alcantar-ENT Guadalupe Victoria	Estatal	7.1	0.139	6.27	0.028	0.272	Indiferente	Indiferente
23	-	302,831	738,289	2 Camino	GUADALUPE VICTORIA (LA NORIA DEL JACALÓN)-ENT Guadalupe Victoria	Municipio	0.2	6.108	4.06	0.003	0.008	Indiferente	Indiferente
24	65,708	-	-	1 Carretera	ENT Guadalupe Victoria-ENT San Isidro Triana	Estatal	0.9	0.195	5.62	0.185	0.581	Indiferente	Indiferente
25	-	297,118	710,692	2 Camino	ENT San Isidro Triana-ENT La Escobilla	Municipio	1.2	5.913	4.77	0.003	0.008	Indiferente	Indiferente
26	-	172,499	6,642	2 Camino	LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla	Municipio	1.8	1.789	2.89	0.014	0.020	Indiferente	Indiferente
27	-	279,976	631,055	2 Camino	ENT La Escobilla-ENT Rancho Los Lara	Municipio	0.5	0.176	3.64	0.130	0.324	Indiferente	Indiferente
28	-	354,256	1,010,319	2 Camino	RANCHO LOS LARA (TRIANA)-ENT Rancho Los Lara	Municipio	1.7	1.613	2.21	0.015	0.022	Indiferente	Indiferente
29	-	15,333	52.48	2 Camino	ENT Rancho Los Lara-ENT Martínez (Las Timias)	Municipio	2.3	0.129	2.82	0.085	0.382	Indiferente	Indiferente
30	-	46,000	472	2 Camino	MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martínez (Las Timias)	Municipio	0.8	1.484	1.85	0.019	0.023	Indiferente	Indiferente
31	-	137,131	151,390	2 Camino	ENT Martínez (Las Timias)-ENT El Carajo	Municipio	0.4	0.129	2.13	0.991	0.326	Indiferente	Indiferente
32	-	234,266	441,817	2 Camino	EL CARAJO-ENT El Carajo	Municipio	0.6	1.355	1.24	0.019	0.024	Indiferente	Indiferente
33	-	371,397	1,110,457	2 Camino	SAN ISIDRO DE TRIANA-ENT El Carajo	Municipio	1.1	0.219	1.46	0.371	0.200	Indiferente	Indiferente
34	-	85,707	59,137	2 Camino	ENT El Camarón-SAN ISIDRO DE TRIANA	Municipio	1	1.043	1.11	0.020	0.031	Indiferente	Indiferente
35	-	68,566	37,848	2 Camino	EL CAMARÓN-ENT El Camarón	Municipio	0.3	0.954	0.75	0.023	0.032	Indiferente	Indiferente
36	-	159,986	206,059	2 Camino	SANTA MARÍA-ENT El Camarón	Municipio	2.3	0.146	1.02	0.116	0.325	Indiferente	Indiferente
37	-	46,000	472	2 Camino	SANTA ELENA-SANTA MARÍA	Municipio	4	0.808	0.69	0.029	0.036	Fuerte preferencia	Demostrada preferencia

Tra mo	Conservación de la carretera (USD)	Actualización del camino rural (USD)	Conservación del camino rural (USD)	Estado de la vía	Localidades que comunica la vía	Responsable del mantenimiento	Longitud (km)	Beneficiarios (% Población municipal)	Conectividad	Valor social del tiempo de traslado	Tiempo de desplazamiento	Preferencia de mantenimiento	Preferencia de actualización
38	197	-	-	1 Carretera	ENT San Isidro Triana-ENT Triana	Estatal	2.4	0.156	4.6	0.110	0.126	Indiferente	Indiferente
39	-	297,118	710,692	2 Camino	TRIANA-ENT Triana	Municipio	1.2	4.124	2.65	0.003	0.012	Indiferente	Indiferente
40	66	-	-	1 Carretera	LA REFORMA-ENT Triana	Estatal	5.3	0.295	3.12	0.087	0.275	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
41	-	15,333	52	2 Camino	SANTA MARIA-LAGUNA EL MARRANO	Municipio	3	3.829	0.97	0.003	0.013	Indiferente	Indiferente
42	-	68,999	1,063	2 Camino	LAGUNA EL MARRANO-PIEDRAS NEGRAS	Municipio	1.6	0.106	1.17	0.184	0.315	Indiferente	Indiferente
43	-	19,167	82	2 Camino	PIEDRAS NEGRAS-LA REFORMA	Municipio	2.8	0.291	1.91	0.098	0.115	Indiferente	Indiferente
44	-	46,000	472	2 Camino	SAN TADEO-ENT San Tadeo	Municipio	0.6	0.169	0.03	0.174	0.143	Indiferente	Indiferente
45	-	302,831	738,289	2 Camino	ENT San Tadeo-BAJIO DE LOS ENCINOS (LOS ENCINITOS)	Municipio	1.6	0.169	0.07	0.174	0.143	Moderada Preferencia	Fuerte preferencia
46	-	245,693	485,973	2 Camino	BAJIO DE LOS ENCINOS (LOS ENCINITOS)-SAN EVARISTO	Municipio	3.1	0.732	0.14	0.029	0.035	Moderada Preferencia	Fuerte preferencia
47	-	222,331	11,034	2 Camino	SAN EVARISTO-EL TECOLOTE	Municipio	0.9	1.457	0.27	0.014	0.020	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia
48	-	422,821	1,439,257	2 Camino	EL TECOLOTE-PUNTEROS (SAN JOSÉ DE PUNTEROS)	Municipio	1.4	1.928	0.54	0.011	0.016	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
49	1,640	-	-	1 Carretera	PUNTEROS (SAN JOSÉ DE PUNTEROS)-PALMA PEGADA	Estatal	3.9	4.270	1.07	0.005	0.009	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
50	-	177,128	252,580	2 Camino	GUADALUPITO-PALMA PEGADA	Municipio	1.9	0.335	1	0.141	0.103	Fuerte preferencia	Moderada Preferencia
51	590	-	-	1 Carretera	PALMA PEGADA-SALITRILLO	Estatal	4.3	9.626	1.88	0.002	0.005	Moderada Preferencia	Indiferente
52	951	-	-	1 Carretera	SALITRILLO-EL POTRO	Estatal	4.1	12.127	3.37	0.002	0.004	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
53	131	-	-	1 Carretera	LA BOLSA-EL POTRO	Estatal	6.5	1.530	3.25	0.022	0.027	Moderada Preferencia	Fuerte preferencia
54	-	422,821	1,439,257	2 Camino	POZO SECO-LA BOLSA	Municipio	5.8	0.941	1.46	0.029	0.037	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia
55	136,672	-	-	1 Carretera	EL POTRO-ENT El Potro	Estatal	2	14.912	5.62	0.002	0.003	Moderada Preferencia	Indiferente
56	-	65,166	948	2 Camino	VIBORILLAS-ENT Viborillas	Municipio	1.8	0.318	0.87	0.107	0.198	Indiferente	Indiferente
57	754	-	-	1 Carretera	ENT Viborillas-ENT Los Montecitos	Federal	7.4	0.318	1.96	0.107	0.198	Indiferente	Indiferente
58	918	-	-	1 Carretera	ENT Los Montecitos-ENT San Antonio de la Paz	Federal	1.5	0.480	3.55	0.066	0.166	Indiferente	Indiferente
59	102,504	-	-	1 Carretera	ENT San Antonio de la Paz-ENT El Potro	Federal	5.3	1.279	5.63	0.013	0.069	Indiferente	Indiferente
60	623	-	-	1 Carretera	ENT El Potro-ENT Azogueros	Federal	3.8	16.191	7.54	0.001	0.003	Indiferente	Indiferente
61	590	-	-	1 Carretera	ENT Azogueros-ENT Salinas	Federal	2.7	25.754	8.95	0.001	0.002	Indiferente	Indiferente
62	262	-	-	1 Carretera	ENT Salinas-ENT Salto del Matorral	Federal	4.4	1.583	9.42	0.013	0.043	Indiferente	Indiferente
63	5,510	-	-	1 Carretera	ENT Salto del Matorral-ENT El Alegre	Federal	4.9	1.457	8.22	0.014	0.047	Indiferente	Indiferente
64	63,079	-	-	1 Carretera	ENT El Alegre-Lim Estatal SLP-Zac	Federal	2.5	0.212	5.37	0.037	0.150	Indiferente	Indiferente
65	984	-	-	1 Carretera	Lim Estatal SLP-Zac-ENT Manuel Maria	Federal	1.2	0.212	2.65	0.037	0.150	Indiferente	Indiferente
66	-	1,074,194	-	2 Camino	Manuel Maria, Pinos, Zac-ENT Manuel Maria	Vecino: Pinos, Zac	5	0.212	1.43	0.037	0.150	Indiferente	Indiferente
67	-	30,666	210	2 Camino	SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	Municipio	2.5	0.109	0.35	1.000	0.346	Indiferente	Indiferente
68	-	15,333	52	2 Camino	Lim Estatal Zac-SLP-Manuel Maria, Pinos, Zac	Vecino: Pinos, Zac	0.8	0.109	0.77	1.000	0.346	Indiferente	Indiferente
69	-	61,333	840	2 Camino	EL JABONERO-Manuel Maria, Pinos, Zac	Vecino: Pinos, Zac	16.8	0.103	0.73	0.039	0.263	Indiferente	Indiferente
70	459	-	-	1 Carretera	EL ALEGRE-ENT El Alegre	Estatal	5.2	0.994	6.35	0.027	0.088	Fuerte preferencia	Moderada Preferencia
71	-	95,833	2,050	2 Camino	EL ALEGRE-SALTO MATORRAL	Municipio	5.4	0.252	6.19	0.098	0.301	Indiferente	Indiferente
72	-	39,997	12,879	2 Camino	SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL	Municipio	4.5	0.126	4.8	0.205	0.531	Demostrada preferencia	Indiferente
73	-	367,997	30,228	2 Camino	SALTO MATORRAL-ENT Salto del Matorral	Municipio	4.1	0.494	8.06	0.112	0.074	Indiferente	Indiferente
74	-	23,000	118	2 Camino	EL CUERVO-SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO	Municipio	0.7	1.398	0.24	0.019	0.028	Indiferente	Indiferente
75	361	-	-	1 Carretera	SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO-ESTACIÓN PEÑÓN	Estatal	0.7	1.885	0.54	0.017	0.021	Moderada	Indiferente

Tra mo	Conservación de la carretera (USD)	Actualización del camino rural (USD)	Conservación del camino rural (USD)	Estado de la vía	Localidades que comunica la vía	Responsable del mantenimiento	Longitud (km)	Beneficiarios (% Población municipal)	Conectividad	Valor social del tiempo de traslado	Tiempo de desplazamiento	Preferencia de mantenimiento	Preferencia de actualización
					BLANCO							Preferencia	
76	295	-	-	1 Carretera	ESTACIÓN PEÑÓN BLANCO-CONEJILLO	Estatad	2.4	4.170	1.1	0.005	0.011	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
77	230	-	-	1 Carretera	CONEJILLO-ENT Noria-El Llano de Conejillo	Estatad	3.1	1.577	2.23	0.008	0.031	Moderada Preferencia	Moderada Preferencia
78	-	49,833	554	2 Camino	NORIA DE CAÑAS-ENT Noria-El Llano de Conejillo	Municipio	1.8	0.891	2.08	0.027	0.058	Fuerte preferencia	Indiferente
79	-	183,998	7,557	2 Camino	EL LLANO DEL CONEJILLO-ENT Noria-El Llano de Conejillo	Municipio	2.9	6.638	2.08	0.003	0.007	Indiferente	Indiferente
80	328	-	-	1 Carretera	ENT Noria-El Llano de Conejillo-ENT Las Colonias	Estatad	2.8	2.133	3.29	0.007	0.059	Indiferente	Indiferente
81	-	118,832	3,152	2 Camino	LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)-ENT Las Colonias	Municipio	1.2	2.925	2.51	0.003	0.019	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia
82	1,476	-	-	1 Carretera	ENT Las Colonias-AZOGUEROS	Estatad	4.9	9.563	4.17	0.001	0.005	Indiferente	Indiferente
83	98	-	-	1 Carretera	AZOGUEROS-ENT Azogueros	Estatad	4	11.696	6.5	0.001	0.005	Fuerte preferencia	Moderada Preferencia
84	754	-	-	1 Carretera	SALINAS DE HIDALGO-ENT Salinas	Estatad	1.5	29.470	8.14	0.001	0.002	Indiferente	Indiferente
85	-	61,333	840	2 Camino	LIRA-EL MEZQUITE	Municipio	5.8	0.182	0.03	0.924	0.054	Indiferente	Indiferente
86	-	122,666	3,359	2 Camino	MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-EL MEZQUITAL	Municipio	1.3	0.093	0.84	0.736	0.285	Indiferente	Indiferente
87	-	46,000	472	2 Camino	LOS MONTECITOS-ENT Los Montecitos	Municipio	0.4	0.162	1.87	0.171	1.000	Indiferente	Indiferente
88	-	153,332	5,248	2 Camino	SAN ANTONIO DE LA PAZ-ENT San Antonio de la Paz	Municipio	0.6	0.798	3.09	0.016	0.119	Indiferente	Indiferente
89	197	-	-	1 Carretera	ENT Reforma-Yoliatl-SALINAS DE HIDALGO	Estatad	0.3	13.379	7.05	0.001	0.002	Indiferente	Indiferente
90	-	222,331	11,034	2 Camino	LA MANTENEDORA-LA REFORMA	Municipio	3	0.706	1.72	0.105	0.054	Demostrada preferencia	Fuerte preferencia

## 6.6.2. Modelo de toma de decisiones

El modelo que se ha construido para apoyar la toma de decisiones sobre la actualización y el mantenimiento de los caminos rurales relaciona los atributos que proporciona el camino como los atributos de las localidades. La Figura 30 da una idea de las variables y su relación

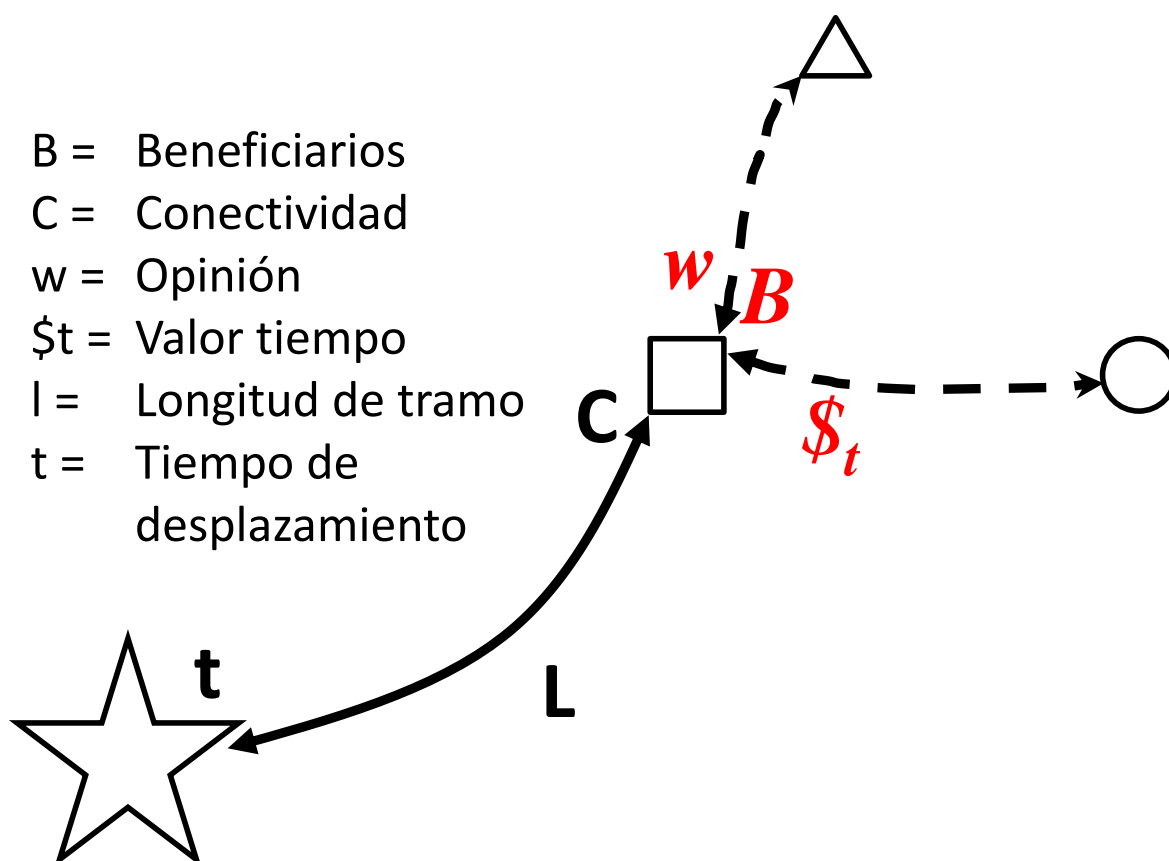


Figura 30. Relación de variables para la toma de decisión sobre mantenimiento de caminos rurales.

Entre las variables inherentes al camino se encuentra la longitud del tramo a dar mantenimiento ( $l$ ) que influye en los costes de actualización y mantenimiento de los caminos rurales; la conectividad que proporciona hacia otras localidades ( $C$ ). Entre las variables relacionadas con la localidad se ubican a la cantidad de beneficiarios ( $B$ ), el valor social del tiempo ( $\$t$ ), y la opinión de los habitantes ( $w$ ). En la Tabla 18 se aprecia el sentido de las variables que darán priorización al mantenimiento de caminos.

Tabla 18. Criterios para establecer la dirección de las variables que intervienen en la priorización de caminos rurales.

Parámetro	No deseable	Óptimo	Deseable
l, Longitud de camino	Demasiado largo (más de 3 veces el promedio)	Tramo de camino alrededor del promedio	Tramo de camino corto (menor o igual al promedio)

C, Conectividad	Conectividades mayores a 3.3	Conectividades entre 1 y 3.3	Conectividades menores de 1
B, Beneficiarios	Beneficiar a menos de 25 personas en una localidad	Beneficiar localidades con 1% de población total municipal	Beneficiar a localidades con más del 2% de la población total del municipio
\$t, Valor social del tiempo	Valores mayores a 2 salarios mínimos	Valores entre 1 y 2 salarios mínimos	Menores a 1 salario mínimo
W, Opinión de los habitantes	Criterios de fortalecimiento de la economía regional		Criterios de importancia del mantenimiento de caminos a cargo del municipio

### 6.6.3. Función objetivo

En este apartado se da la definición formal de la función de valor que determine la actualización y el mantenimiento de los caminos rurales:

$$Costo_i = [l_i * Actuación_{Unit}]$$

Dónde:

- $l_i$  = Longitud de tramo de camino,  $i$ , al que se le dará mantenimiento en km. Variable de tipo descriptivo (x) de valor absoluto positivo
- $\$i$  = Costo unitario de la actuación a realizar sobre el camino ( $\$*km^{-1}$ ). Variable de tipo descriptivo (x) de valor absoluto positivo
- $C_i$  = Conectividad de la localidad con el resto de localidades (fracción de posibilidades de conexión). Variable de tipo normativo,  $(x/X_T)$ , que se presenta respecto a un criterio de referencia de valor relativo (100% total municipal)
- $T_i$  = Tiempo de desplazamiento hacia la cabecera municipal. Variable de tipo descriptivo, (x) de valor absoluto (minutos)
- $C_{Max}$  = Valor de la conectividad de la localidad con mayores número de conexiones en el grupo de localidades bajo estudio. Variable de tipo normativo,  $(x/X_T)$  valor relativo positivo
- $T_{Max}$  = Tiempo de recorrido de la localidad más alejada del municipio (minutos). Variable de tipo descriptivo, (x), de valor absoluto positivo

En este momento el monto de los costos totales dependen del tipo de actuaciones a realizar (mantenimiento o actualización): La vía analizada tiene dos alternativas de actuación:

- ✓ se le dará mantenimiento reponiendo el nivel de servicio de la vía a un nivel cercano al de diseño, o
- ✓ se actualizará a un nivel de servicio superior (ampliación de la superficie de rodamiento, revestimiento superficial).

Esta decisión será tomada si el número de beneficiarios contribuye a criterios de significancia ( $2 \leq B_i \leq 5\%$ ) y si invierten una parte significativa de su salario en transporte ( $0.5 \leq \$t_i \leq 0.9$  salarios); una segunda asignación complementa las actuaciones en los tramos de camino que no conectan

directamente con ninguna comunidad concreta ( $B_i=0$ ) y proporcionan una elevada conectividad a las localidades ( $2 \leq C_i \leq 6$ ). El resto de los caminos recibirán acciones de mantenimiento en caso de no ser elegidas para recibir una actuación de actualización del servicio.

Para incorporar la opinión de la población en las actuaciones sobre caminos rurales se programará la actualización de la vía o su mantenimiento según lo expresado por los habitantes de la localidad. Si la localidad consideró importante la “financiar las mejoras del camino (ampliar o actualizar el camino rural al siguiente nivel)”, se programará la actualización de la vía que comunica a esa localidad. Si la localidad considero importante el criterio de “conservar la calidad del camino para contar con un camino durable y confiable considerando la calidad de los materiales de construcción” se programará el mantenimiento de esa vía.

La decisión de actualizar se toma con la siguiente expresión:

$$\$_{Unitario} = \begin{cases} \$_{Act}, & (2 \leq B_i \leq 5 \cap 0.5 \leq S_i \leq 0.9) \cup (B_i = 0 \cap 2 \leq C_i \leq 6) \\ \$_{Mant} & \end{cases}$$

Dónde:

$\$_{Unitario} =$	Costo unitario de la actuación (dólares US por kilómetro de actuación), Variable de tipo descriptivo de valor positivo absoluto (x)
$\$_{Act} =$	Costo unitario de la actualización a un nivel superior (Construcción de carretera) (dólares US por kilómetro de actuación), Variable de tipo descriptivo de valor positivo absoluto (x)
$\$_{Mant} =$	Costo unitario del mantenimiento del camino (Mantenimiento de camino) (dólares US por kilómetro de actuación), Variable de tipo descriptivo de valor positivo absoluto (x)
$B_i =$	Número de beneficiarios. Variable de tipo normativo de valor positivo absoluto (x/ $X_T$ ) respecto a un criterio de referencia (Población total del municipio)
$S_i =$	Valor social del tiempo en transportarse hacia el trabajo. Variable de tipo normativo, que se presenta respecto a un criterio de referencia (x/ $X_T$ )
$C_i =$	Conectividad máxima del grupo de localidades bajo estudio. Variable de tipo normativo, que se presenta respecto a un criterio de referencia (x/ $X_T$ )

### **Las restricciones**

Las restricciones que se aplican a este modelo son:

**Restricción presupuestal:** La suma de los costes de las actuaciones sobre la red vial ( $CMA_j$ ) realizadas cada año no pueden exceder el límite presupuestal del año respectivo,  $P_j$  (Variable x/ $X_T$ ).

La relación entre la formulación del modelo se define como:

$$\sum_{j=1}^m CMA_j \leq P_j$$

Donde:

Coste<sub>Total</sub>= Costo Total de Actuaciones del año j-ésimo (dólares US)  
 P<sub>j</sub>= Presupuesto dedicado a carreteras en el año j-ésimo  
 m = Período de análisis

Como se analizó en el apartado de presupuesto del municipio se considerará como Límite de actuación, la cantidad de 49 mil dólares (escenario de *muy poco interés* en invertir en caminos rurales) como un escenario desfavorable para el desarrollo de la infraestructura municipal de caminos rurales. La tipificación de la inversión en gasto nos permite señalar varios escenarios mas favorables para el desarrollo de una red de caminos rurales que quizá pueda incluir la apertura de nuevas rutas así como el desarrollo de circuitos que permitan crear caminos redundantes que ofrezcan rutas alternativas y disminuyan la susceptibilidad al riesgo de asilamiento señalado por Berdika (2002), Jenelius et al, (2006), y Jenelius (2009).

### **Coste de actuaciones sobre la red vial**

El coste total de actuaciones sobre la red vial es la suma del costo de mantenimiento de los tramos considerados (CMant) más la suma del coste de actualización de otros tramos considerados (CAct).

$$\sum_{i=1}^n CMA_j^i = C_{Mant}^i + C_{Act}^i = \sum_{i=1}^n \$_{Mant} * L^{i,mant} + \sum_{i=1}^n \$_{Act} * L^{i,act}$$

Donde:

CMA<sub>j</sub>= Costo Total de Actuaciones del año j-ésimo (dólares US)  
 C<sub>Act</sub> = Costo unitario de la actualización a un nivel superior (Construcción de carretera) (dólares US por kilómetro de actuación), Variable de tipo descriptivo de valor positivo absoluto (x)  
 C<sub>Mant</sub> = Costo unitario del mantenimiento del camino (Mantenimiento de camino) (dólares US por kilómetro de actuación), Variable de tipo descriptivo de valor positivo absoluto (x)  
 L<sup>i</sup> = Longitud de actuaciones (act de actualización, mant de mantenimiento)

Para un período determinado, el limite presupuestal puede fijarse como fijado en forma cíclica para cada uno de los años incluidos en el modelo



$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n CMA_j^i \leq P_j$$

De forma expandida, el coste total de las actuaciones en la red vial del período  $j$ , no debe de exceder el presupuesto anual destinado a actuaciones en caminos rurales establecido por la autoridad ( $P_j$ ).

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n CMA_i^j = \sum_{j=1}^m CMant_j + \sum_{j=1}^m CAct_j = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \$mant_j * L^i + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \$act_j * L^i \leq P_j$$

Las actuaciones sobre la red viaria se han definido en dos tipos:

***El mantenimiento de caminos rurales*** se refiere a las actuaciones dirigidas para la conservar el funcionamiento de la vía en condiciones que permitan el tránsito de vehículos según el diseño señalado por Keller y Sherar, (2003): “mantener un camino de 4.0 ó 5.0 m de ancho de corona sin cambiar sus condiciones físicas en la superficie de rodadura” donde la conservación rutinaria contempla los trabajos de limpieza de alcantarillas, desazolve de cunetas, limpieza del camino (eliminación de la maleza que se encuentra en los hombros del mismo), así como refinamiento o conformación de la superficie de rodadura (con motoconformadora cuando se trata de un revestimiento normal o estabilizado o mediante bacheos cuando se trate de superficies de rodadura asfálticas). Indicadores sencillos de necesidad de mantenimiento en el camino están relacionados básicamente con la calidad de la superficie de rodamiento: la presencia de secciones transversales del camino en condiciones inapropiadas, corrugaciones a lo largo de la dirección de viaje, presencia de nubes de polvo originadas por el paso de vehículos, presencia de hoyos en la superficie de rodado (baches), marcas de rodado de vehículos, pérdida superficial de la agregación del suelo y finalmente, inadecuados drenajes laterales.

***La actualización de caminos rurales*** presupone la sobreposición de una vía de mejores características sobre el trazo del camino rural con la consecuente ampliación de características: mayor resistencia a la intemperie, mayor capacidad de transporte, mayor velocidad de cruce,

mayor resistencia para transporte pesado que se traduce en un aumento de la calidad de la red viaria. Una alternativa de actualización la constituye una carretera con superficie de rodamiento pavimentada con un ancho de corona de 7 metros, sin que ello signifique necesariamente la expropiación y pago de los terrenos aledaños a la carretera que como derecho de vía señala la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.

En resumen, el gasto en caminos rurales que se ha observado en el municipio de Salinas para el año 2009 asciende a 38,333 para construcción de caminos, 328 para mantenimiento, y 9,515 para reconstrucción de caminos. Los costos en construcción, mantenimiento y reconstrucción de carreteras en Salinas ascienden a 57,138 para construcción; 26,283 para mantenimiento; y 9,701 para reconstrucción. Los costos señalados corresponden a dólares estadounidenses estimados al 1 de enero de 2011 para fines de cálculo de esta investigación.

#### **6.6.4. Implementación del sistema**

El modelo de “simulated annealing” supone que el costo actual del mantenimiento de caminos,  $s$ , de cualquier red de caminos puede expresarse como  $c(s)$ . La transición de esa configuración inicial hacia cualquier combinación aleatoria de actuaciones en carreteras y caminos rurales,  $s'$ , tiene un costo único,  $c(s')$ . La Búsqueda de óptimos se da al generar movimientos aleatorios que cambien un camino por otro que cumpla las restricciones señaladas y genere la propuesta de actualización de tramo. La aceptación de movimientos hacia un mínimo se da mediante comparación simple entre la solución actual y la anterior.

Puede establecerse una probabilidad que permitan generar movimientos up-hill de manera que la solución no se estanque en algún óptimo local mediante la expresión comparación de un valor aleatorio entre cero y uno, comparándolo con el valor resultante de

$$P = e^{-\Delta c/T} = e^{-\frac{[c(s')-c(s)]}{r_t * T_i}}$$

donde

- $\Delta c = c(s) - c(s')$  es la diferencia de coste entre una alternativa y otra.
- $T =$  es la temperatura a la que se está enfriando el “simulated annealing”.
- $r_t =$  es la velocidad a la que se enfría el “simulated annealing”.
- $T_i =$  Es la temperatura inicial.

La combinación de caminos bajo mantenimiento puede converger en un costo global mínimo de mantenimiento de caminos conforme aumenta el número de intentos de transición.

En términos generales un algoritmo de simulated annealing, incluye los siguientes pasos y en *itálicas* se muestran las adaptaciones para esta investigación:

<i>“Simulated annealing” genérico</i>	<i>Aplicado al caso de caminos rurales</i>	<i>Generalización para una infraestructura pública</i>
1) Elige una configuración inicial	<i>Combinación inicial de caminos de la red, <math>s_1</math></i>	<i>Combinación inicial de estados posibles de la infraestructura pública</i>
2) Elige $t_i$ (temperatura inicial)	<i>la diferencia de coste entre la actualización o mantenimiento más económicos y la actualización o mantenimiento más caro de los tramos de caminos</i>	<i>Diferencia de coste entre la actuación más cara y la actuación más económica</i>
3) Elige $t_f$ (temperatura final, criterio de paro expresado en función de la temperatura)	<i>diferencia de coste entre dos o más soluciones (0.01 de la temperatura inicial)</i>	<i>Definir el criterio de paro del proceso: alcanzar un valor esperado, lograr que las soluciones presenten una situación definida</i>
4) Para todas las soluciones, repite 5-11	<i>Para todas las combinaciones de tramos de caminos (actualizaciones + mantenimientos)</i>	<i>Para todas las combinaciones de elementos que influyen en la decisión de la infraestructura.</i>
5) genera una perturbación y analizalas hasta que termines con todos los elementos	<i>Selecciona un tramos de camino a sustituir en la solución inicial</i>	<i>Cambia, adiciona o sustituye elemento por otro</i>
6) Elige un costo de actuación aleatorio ( $s_j'$ ) que sea parte del universo de soluciones de costos definidos ( $s_j$ )	<i>Con el tramo que perturba la solución, calcula la nueva función de coste</i>	<i>Con el nuevo elemento introducido calcula el nuevo coste.</i>
7) Somete a un criterio la aceptación de soluciones “up-hill”	<i>Aceptación de soluciones tipo Metrópolis</i>	<i>Utiliza un criterio de aceptación de soluciones: Metropolis, baño caliente, annealing acelerado,</i>
7.1) Elige un valor aleatorio de $p \in \{0, 1\}$	<i>Genera un valor aleatorio entre cero y uno</i>	<i>Genera un valor aleatorio adimensional</i>
7.2) decide la aceptación del movimiento up-hill	<i>Si <math>s_{j+1} &lt; s_{min}</math> entonces <math>s_{min} = s_j + 1a</math> Si no, entonces solo si <math>P \leq e^{-\Delta c / T}</math>, <math>s_{min} = s_{j+1}</math></i>	<i>Decide si aceptas el movimiento up-hill</i>
7.3) Introduce una nueva perturbación (5)	<i>Adiciona un nuevo camino (5)</i>	<i>Perturba el sistema de nuevo (5)</i>
8) Reduce la temperatura actual $t_{j+1} \leq t_j$ hasta que alcances el criterio de paro	<i>Reduce el costo permitido (<math>r_t * t_i</math>), inicia el recorrido de perturbaciones hasta que alcance el criterio de</i>	<i>Reduce la temperatura y comienza de nuevo desde la perturbación inicial hasta que alcances el criterio de paro</i>

	paro	
9) Final	Final	Final

### 6.6.5. Los elementos

Los elementos básicos para el “simulated annealing” que se proponen se enuncian como:

**Espacio de soluciones:** El espacio está constituido por el costo de actuaciones combinado sobre los caminos rurales: actualizaciones y mantenimientos que se pueden realizar.

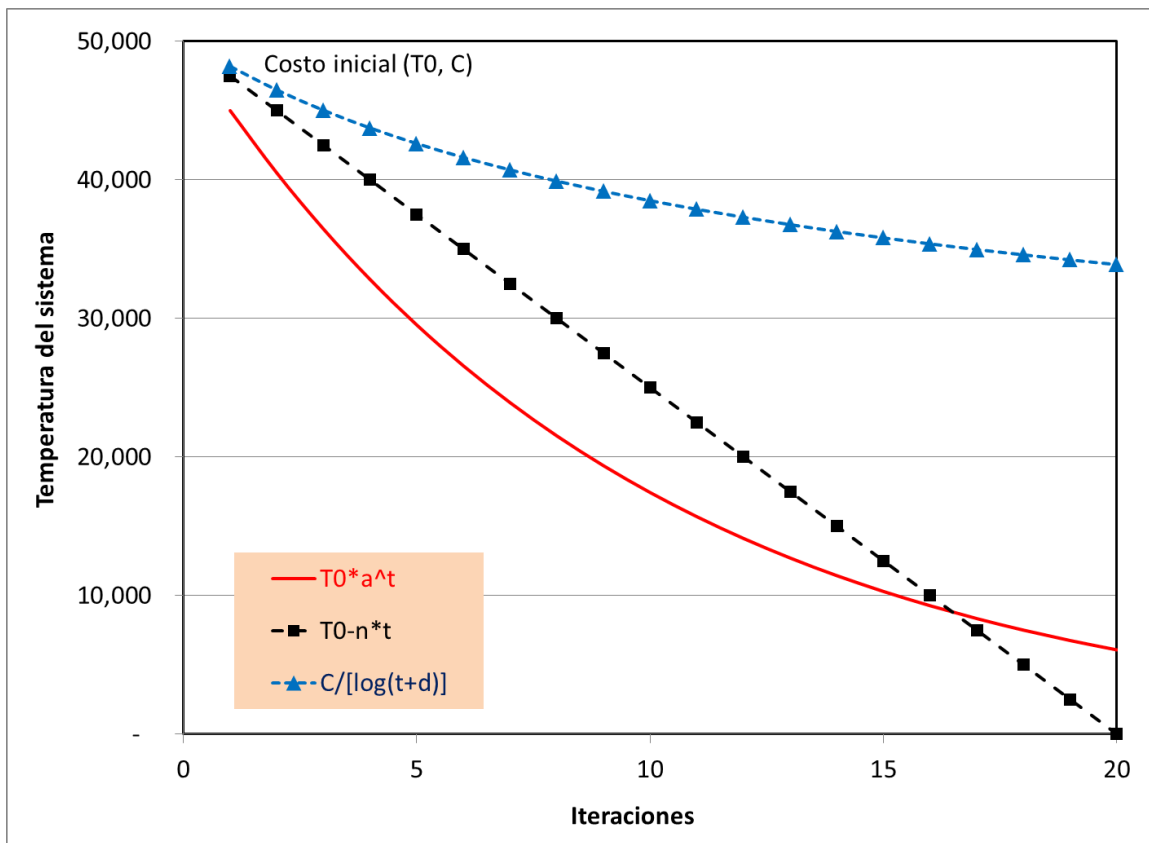
**Movimientos:** Conjunto de movimientos que permite alcanzar todas las configuraciones de combinaciones de costos de actuación en la red via. Estos movimientos se realizan sobre la base del costo de las actuaciones.

**Temperatura inicial:** La energía inicial es considerada como el criterio de tolerancia que utiliza “simulated annealing” para aceptar o rechazar soluciones candidatas. Ha sido definida en diferentes artículos como la temperatura a la que inicia la simulación que provoca la mayor perturbación entre los elementos (Kirkpatrick, 1983; Conceicao-Cunha, 1999; Ben-Ameur, 2004;). Algunas veces la temperatura se ha definido como la diferencia máxima en costo entre dos soluciones vecinas; en otros casos se ha definido como la varianza de las soluciones (el segundo momento de una distribución estadística) afectado por algún coeficiente; en otros casos se utiliza una distribución esperada y se multiplica utilizando un logaritmo; finalmente hay expresiones más complejas que involucran el incremento de costos y el cambio en las transiciones realizadas en cada disminución de temperatura.

En esta investigación solo se implementara como temperatura inicial a la variación máxima de costo entre dos soluciones vecinas. Como diferencia máxima que se considera la variación entre las situaciones extremas: no realizar actuación alguna y realizar la totalidad de las acciones de mantenimiento y actualización en todos los caminos, la  $\Delta E_{Max}$ . Esta puede ser una situación inicial al analizar infraestructuras: la diferencia entre realizar todas las actuaciones y no realizar ninguna actuación.

La energía máxima del modelo para esta investigación es igual a la suma de los mantenimientos a los tramos de carretera más la suma de las actuaciones de actualización y construcción en los tramos de caminos rurales y asciende a 35 millones de dólares. Como se observa en la tabla, la suma total de las actuaciones de mantenimiento a la red carretera asciende a 861,294 dólares, mientras que en la construcción de carretera se estima un monto de 9.5 millones de dólares y finalmente el mantenimiento de la red de caminos rurales se estima en 24 millones de dólares. Llama la atención esta distribución de cifras, sin embargo son extrapolaciones realizadas con base en los ejercicios municipales realizados en el rubro caminos rurales durante los últimos 10 años.

**Esquema de enfriamiento:** Como esquema de enfriamiento se refiere a la forma en la cual se compararan las combinaciones en cada iteración a fin de hacer más rigurosa y exigente la búsqueda de óptimos. Este factor de enfriamiento puede definirse de manera *a priori* con reducciones constantes de la temperatura usando tasas de reducción: lineales, logarítmicas o combinaciones de ambas. Algunos valores lineales varían entre 0.80 y 0.99 (Jeroen *et al*, 2002). Otros investigadores hacen variaciones de una iteración a la siguiente, algunas veces siguiendo un algoritmo. Las diferentes referencias no señalan una velocidad específica de descenso, aunque si existen diferentes métodos realizar el descenso de la temperatura (Nourani, 1998, Nooraliei, Altun, 2009). En la Figura 31 se ilustran algunas formas de “enfriar” el sistema.



**Figura 31. Formas de descenso de la temperatura.**

Tarp (1997) utiliza el valor neto de la suma de diferentes usos forestales como temperatura que va descendiendo. Cunha (1999) emplea una fracción cada vez menor del costo total de un sistema de red de agua potable (reduciéndose cada iteración en un 10%). Aplicando este rango de valores al caso de los caminos rurales y considerando la energía inicial, en la Figura 32 se muestra el descenso de temperatura que se aplicaría.

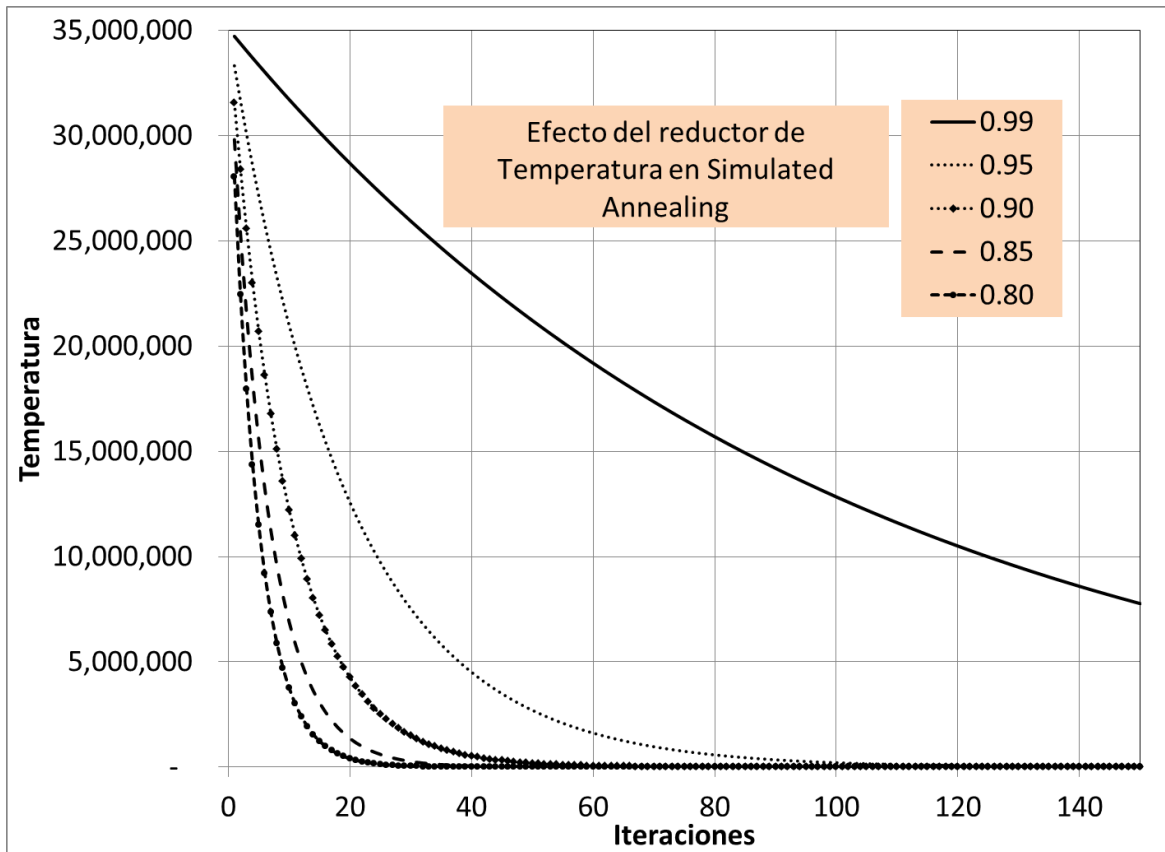


Figura 32. Descenso de la temperatura aplicado al caso de caminos rurales.

Se observa la compensación entre la velocidad de enfriamiento y el número de iteraciones necesarias para obtener a criterio de paro adecuado. De manera que si se quiere obtener una solución que sea equivalente a 350 dólares, es decir 0.00001 del costo total del proyecto (energía total), se deben realizar diferentes iteraciones según la velocidad de enfriamiento seleccionada (Tabla 19).

Tabla 19. Valor del criterio de paro del “simulated annealing” según la velocidad de enfriamiento.

Valor constante de enfriamiento	Diferencia en Costo (Dólares US)	Iteraciones requeridas
0.8	320	52
0.85	342	71
0.95	361	109
0.95	359	224
0.99	353	1145

Como se ha señalado, la Tabla 20 resume los elementos esenciales que se utilizarán en “simulated annealing” para este problema:

**Tabla 20. Resumen de parámetros requeridos en “simulated annealing”**

<b>Parámetro</b>	<b>Propósito</b>	<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
Habitantes	Variable de pertinencia	Benef	
Localidades	Variable de pertinencia	Loc	Comunidades de habitantes del sector rural que requieren de medios de transporte hacia la cabecera municipal
Caminos	Variable de focalización	L	Tramos de vías terrestres de comunicación principal ruta de transporte terrestre dentro del municipio (ferrocarril no es práctico por dispersión de localidades y ruta determinada)
Criterios de formulación	Variables de decisión	(x)	Criterios que influyen en la decisión sobre las actuaciones a realizar en caminos
Actuación	Variable de optimización	$C(s) = \sum c_t$	Costo de la combinación de actuaciones en la red de caminos, varía según los criterios de formulación
Combinación de actuaciones	Espacio de soluciones Espacio de exploración	$C(s)$	Los costos de actuación en la red de caminos rurales de Salinas
Cambio en la función de valor	Parámetro de evaluación del sistema	$\Delta C = C(s) - C(s')$	Cambio en el costo de una combinación de actuaciones y otra combinación de actuaciones
Probabilidad de aceptar un cambio	Parámetro de evaluación del sistema	$P > \exp(-\Delta C/T)$	Proporción de cambio según la temperatura del sistema
Número mínimo de iteraciones	Parámetro de evaluación del método	$R > 500$	Numero de iteraciones realizadas aún sin mejora alguna del óptimo o del costo promedio
Temperatura	Parámetro de evaluación del sistema	T	Numero de iteraciones que se deben realizar para intentar buscar un a decisión (hallar un solución óptima o una evaluación sobre una solución óptima)
Disminución de la temperatura	Parámetro de evaluación del sistema	$T - T'$	Numero decreciente de iteraciones hasta terminar la serie de iteraciones que se estipularon (0.8-0.99 de la temperatura de la iteración anterior)
Enfriamiento	Parámetro de finalización	$\Delta C \rightarrow 0$	La combinación de actuaciones de camino ya no cambia el costo de las actuaciones, ya es indiferente a la temperatura

El diagrama de flujo para la función de recocido simulado (simulated annealing) que se propone con esta investigación se observa en la Figura 33.



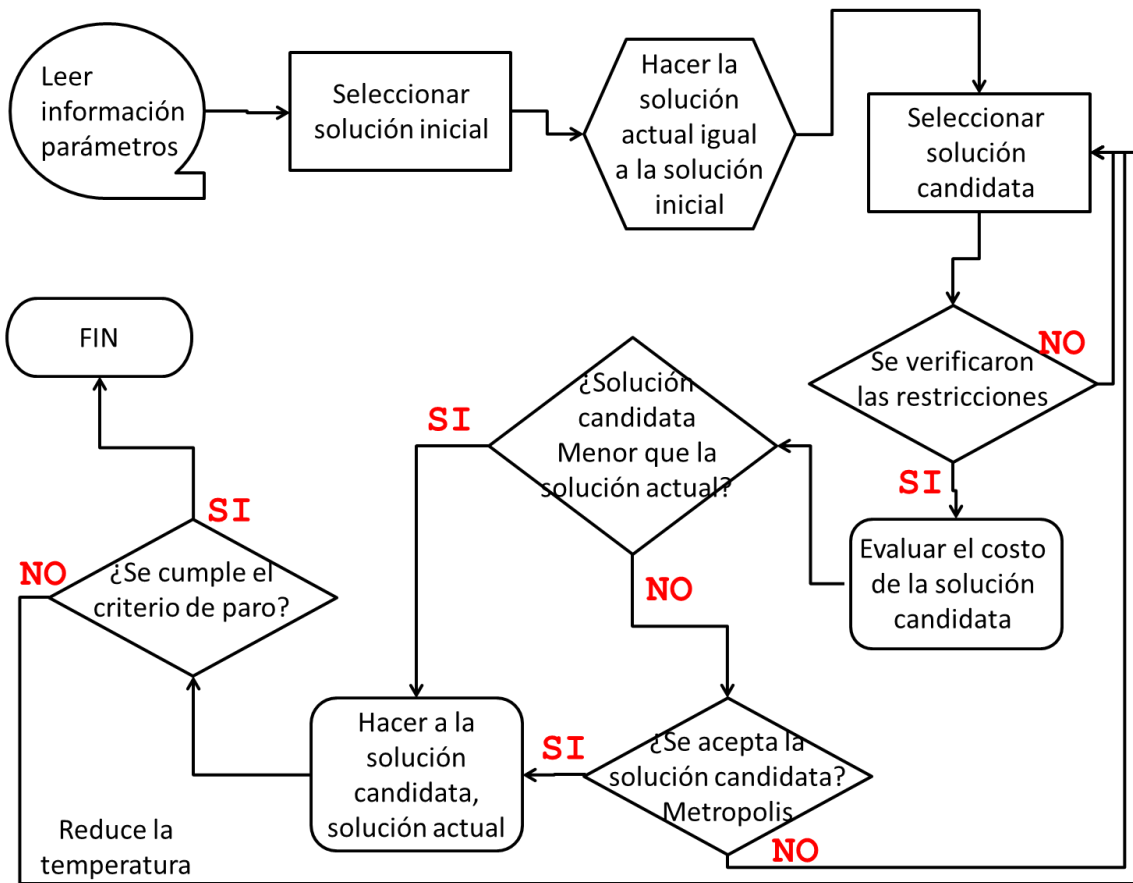
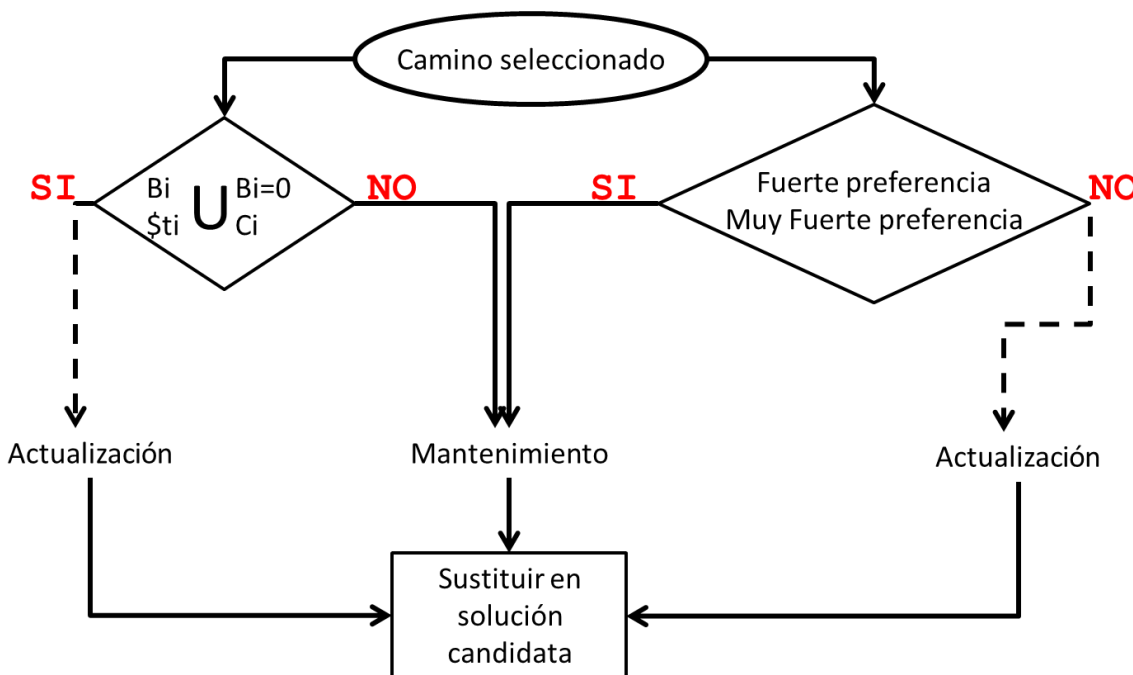


Figura 33. Diagrama de flujo de “simulated annealing” para la optimización de caminos.

En la Figura 34 se muestra la forma en que se adiciona un camino de la solución candidata para ser evaluada y calcular el coste de las actuaciones.



#### Figura 34. Selección de la solución candidata

En este momento es importante señalar algunas características del algoritmo que se implementa comparado con la clasificación propuesta por Sirenko<sup>3</sup> (2009): se trata de una propuesta cuya estructura se caracteriza por un *enfoque estocástico* en la toma de decisiones al obtener una combinación de caminos con actuación diferente a partir de la misma solución inicial, de una *complejidad estructural simple* ya que considera el uso de algoritmos jerárquicos simples al proponer la actuación en el camino, con un uso del *espacio de soluciones constructivo* propuesto ya que la solución candidata se genera secuencialmente a partir de cero adicionando caminos a la solución propuesta, y el uso de *memoria de corto plazo* al descartar de la solución caminos que durante los años anteriores recibieron algún tipo de actuación; con características de procesos de *búsqueda de trayectoria continua* al buscar la solución entre los costos de las actuaciones en caminos que integran el conjunto de soluciones, que *modifica el espacio de soluciones* al excluir soluciones relacionadas con caminos que ya han tenido actuación previa, que no cambia la forma de la evaluación de la función ya que se utiliza la misma evaluación de los costos de actuación y donde se considera la misma estructura del vecindario de soluciones ya que se adicionan costos de actuaciones de caminos en el mismo orden, que *no emplea estrategias de adaptación* relacionadas con retroalimentación, calidad de la solución encontrada o historial de búsquedas previas, con un *modelo basado instancia* donde cada nueva solución candidata se genera usando la población actual de candidatos, en lugar de generar una solución probabilística; y finalmente *sin garantía de desempeño* como la mayoría de los modelos jerárquicos y *con una convergencia* en la solución global.

### 6.7. Implementación

Se ha formulado una hoja de cálculo en Excel 2010® por considerarlo un programa de amplia distribución, utilizado por los tomadores de decisiones como por el público en general y que están familiarizados su uso. Además cuenta con un compilador de programas Visual Basic para

---

<sup>3</sup> Sirenko, Sergeii (2009). Classification of heuristic methods in combinatorial optimization. International Journal "Information Theories & Applications". 16:303-322.

Aplicaciones® incorporado inclusive en la licencia básica. Visual Basic ofrece una posibilidad de codificación que permite formular aplicaciones sencillas sin necesidad de tener profundos conocimientos en programación.

En el algoritmo mostrado ha utilizado las recomendaciones de Leszynski/Reddick en el sentido de utilizar prefijos para los diferentes tipos de variables utilizadas (sngXXX para variables numéricas; txtYYY para cadenas de Texto, intZZZ para números enteros; frmAAA para formatos de interacción con el usuario, etc). La implementación cuenta con dos grandes apartados:

La **base de datos** ubicada en la hoja de cálculo dividida entre cuatro grandes zonas: a) la zona de datos que se ubican la información que será utilizada en la optimización; b) la zona de información relacionada con la identificación de cada miembro de la solución; c) la zona de criterios donde se ubican los criterios que influirán en la elección de la combinación de soluciones; y d) los criterios de la población sobre el mantenimiento o actualización de su camino rural (Figura 35). Una hoja complementa la base de datos que es un área de trabajo para escribir resultados, así como los caminos candidatos a la solución

Tramo	Carretera	Camino	Construido	Estado	SI	Eres	Carretera	Manten	Nombre	Tramo	Respone	Longitud	Beneficio Conectivo	Valor So	Tiempo d	IntencionManten	IntencionActualizacion	U
4	1	-	59,137	2	Camino	-	-	-	EL ESTIBIDO-ENT El Estibo	Municipio	3.2	1.765	0.04	0.019	0.006	Demostrada preferenci	Extrema preferencia	
5	2	-	2,385	2	Camino	-	-	-	EL MEZQUITE-ENT El Estibo	Municipio	1.2	0.788	0.05	0.113	0.014	Demostrada preferenci	Extrema preferencia	
6	3	-	1,682.71	2	Camino	-	-	-	ENT El Estibo-Lim Mpal Santo Domingo - Salinas	Municipio	4.5	2,554	0.06	0.016	0.004	Demostrada preferenci	Extrema preferencia	
7	4	-	15,821	2	Camino	-	-	-	Lim Mpal Santo Domingo - Salinas-Lim Mpal Villa de Ramos-Santo I	Municipio	4.8	2,554	0.08	0.016	0.004	Demostrada preferenci	Extrema preferencia	
8	5	-	191,803	2	Camino	-	-	-	ENT El Mezquite-El Estibo-Yoliat, Villa de Ramos, SLP	Municipio	9.6	2,554	0.14	0.016	0.004	Demostrada preferenci	Extrema preferencia	
9	6	-	-	1	CamfMant	-	-	-	Lim Mpal Villa de Ramos-Santo Domingo-ENT El Mezquite-El Estibo Vecino: V-	Estatad	18.8	2,554	0.26	0.016	0.004	Indiferente	Indiferente	
10	7	-	-	1	CamfMant	-	-	-	Yoliat, Villa de Ramos, SLP-Lim Mpal Salinas-Villa de Ramos	Estatad	7.4	0.788	0.49	0.113	0.014	Indiferente	Indiferente	
11	8	-	-	1	CamfMant	-	-	-	Lim Mpal Salinas-Villa de Ramos-COLONIA ZARAGOZA (GAR)	Estatad	5.2	2,554	0.98	0.016	0.004	Indiferente	Indiferente	
12	9	-	-	1	CamfMant	-	-	-	COLONIA ZARAGOZA (GARABATILLO)-ENT Diego Martin-C	Estatad	6.2	1,765	1.93	0.019	0.006	Indiferente	Indiferente	
13	10	-	-	2	Camino	-	1,400.621	-	ENT Diego Martin-Cueilar-ENT Cueilar	Municipio	0.4	3,422	2.04	0.012	0.004	Indiferente	Indiferente	
14	11	-	405,680	2	Camino	-	1,324,328	-	CUÉLLAR-ENT	Municipio	0.2	2,054	1.07	0.003	0.046	Indiferente	Indiferente	
15	12	-	217,124	2	Camino	-	379,527	-	DIEGO MARTIN-ENT	Municipio	0.4	0,357	1.07	0.076	0.238	Indiferente	Indiferente	
16	13	128,787	-	1	CamfMant	-	-	-	ENT Diego	Estatad	0.2	1,656	3.13	0.010	0.057	Indiferente	Indiferente	
17	14	-	172,493	2	Camino	-	5,514	-	WICENT	Municipio	0.6	5,475	2,58	0.005	0.004	Indiferente	Indiferente	
18	15	105,132	157,165	5,514	2	Camino	-	-	ente Guerrero	Estatad	2.7	0,719	4,43	0.020	0.132	Indiferente	Indiferente	
19	16	-	11,428	1,051	2	Camino	-	-	RANCHO	Municipio	0.9	6,194	3,61	0.004	0.004	Indiferente	Indiferente	
20	17	197	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT Rancho	Estatad	8	0,315	6,31	0.034	0.301	Indiferente	Indiferente	
21	18	1,214	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT Refoma	Estatad	0.8	6,509	7,09	0.004	0.004	Indiferente	Indiferente	
22	19	722	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT La Mesilla-San	Estatad	7.3	6,870	5,33	0.002	0.006	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia	
23	20	-	7,667	13	2	Camino	-	-	LA MESILLA-ENT La Mesilla	Municipio	3.7	0,762	2,75	0.005	0.037	Fuerte preferencia	Fuerte preferencia	
24	21	-	51,424	21,289	2	Camino	-	-	SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla	Municipio	2.2	0,623	2,75	0.005	0.043	Indiferente	Indiferente	
25	22	52,566	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT La Mesilla-San Pedro de Alcantar-ENT Guadalupe Victoria	Estatad	7.1	0,139	2,75	0.028	0.272	Indiferente	Indiferente	
26	23	-	302,831	738,289	2	Camino	-	-	GUADALUPE VICTORIA (LA NORIA DEL JACALÓN)-ENT C	Municipio	0.2	6,109	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
27	24	65,708	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT Guadalupe Victoria-ENT San Isidro Triana	Estatad	0.9	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
28	25	-	297,116	710,632	2	Camino	-	-	ENT San Isidro Triana-ENT La Escobilla	Municipio	1.2	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
29	26	-	172,493	6,942	2	Camino	-	-	LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla	Municipio	1.8	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
30	27	-	279,376	631,026	2	Camino	-	-	ENT La Escobilla-ENT Rancho Los Lara	Municipio	0.5	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
31	28	-	354,256	1,010,318	2	Camino	-	-	RANCHO LOS LARA (TRIANA)-ENT Rancho Los Lara	Municipio	1.7	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
32	29	-	15,333	52,48	2	Camino	-	-	ENT Rancho Los Lara-ENT Martinez (Las Timias)	Municipio	2.3	0,00	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
33	30	-	46,000	472	2	Camino	-	-	MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias)	Municipio	0.8	1,48	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
34	31	-	137,131	151,392	2	Camino	-	-	ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo	Municipio	0.4	0,123	0,00	0,00	0,00	Indiferente	Indiferente	
35	32	-	234,266	441,817	2	Camino	-	-	EL CARAJÓ-ENT El Carajo	Municipio	0.6	1,355	1,24	0.019	0.024	Indiferente	Indiferente	
36	33	-	371,337	110,457	2	Camino	-	-	SAN ISIDRO DE TRIANA-ENT El Carajo	Municipio	1.1	0,219	1,46	0.371	0.200	Indiferente	Indiferente	
37	34	-	85,707	59,137	2	Camino	-	-	ENT El Camarón-SAN ISIDRO DE TRIANA	Municipio	1	1,043	1,11	0.020	0.031	Indiferente	Indiferente	
38	35	-	69,566	37,948	2	Camino	-	-	EL CAMARÓN-ENT El Camarón	Municipio	0.3	0,354	0,75	0.023	0.032	Indiferente	Indiferente	
39	36	-	153,386	206,059	2	Camino	-	-	SANTA MARÍA-ENT El Camarón	Municipio	2.3	0,146	1,02	0.116	0.325	Indiferente	Indiferente	
40	37	-	46,000	472	2	Camino	-	-	SANTA ELENA-SANTA MARÍA	Municipio	4	0,808	0,63	0.029	0.036	Indiferente	Indiferente	
41	38	197	-	-	1	CamfMant	-	-	ENT San Isidro Triana-ENT Triana	Estatad	2.4	0,156	4,6	0.110	0.026	Indiferente	Indiferente	
42	39	-	297,116	710,632	2	Camino	-	-	TRIANA-ENT Triana	Municipio	1.2	4,124	2,65	0.003	0.012	Indiferente	Indiferente	
43	40	66	-	-	1	CamfMant	-	-	LA REFORMA-ENT Triana	Estatad	5.3	0,295	0,12	0.087	0.275	Moderada preferencia	Moderada preferencia	
44	41	-	15,333	52	2	Camino	-	-	SANTA MARÍA-LAGUNA EL MARRANO	Municipio	3	3,829	0,97	0.003	0.013	Indiferente	Indiferente	
45	42	-	89,399	1,063	2	Camino	-	-	LAGUNA EL MARRANO-PIEDRAS NEGRAS	Municipio	1.6	0,106	1,17	0.184	0.315	Indiferente	Indiferente	

Figura 35. Imagen de la base de datos para optimizar el mantenimiento de caminos

La hoja de cálculo se complementa con un programa escrito en Visual Basic para aplicaciones que lee la base de datos y formula la combinación de soluciones. La estructura general se muestra a continuación:

**Tabla 21. Pseudo-código del programa de “simulated annealing” aplicado a caminos rurales.**

---

```
Inicialización de variables
Definición del espacio de trabajo
Definición de solución inicial de caminos
Iniciar ciclo de temperatura
    Recorre todos los caminos
        Selecciona camino para integrar a la solución candidata
        Define actuación a realizar
        Revisa cumplimiento de restricciones
        Calcula costo de la solución propuesta
        Aplica criterio Metrópolis en función de la temperatura
    Siguiendo iteración de caminos
Alcance del criterio de paro
Siguiendo temperatura
Final del programa
```

---

Para ejecutar el algoritmo que realiza la optimización en la búsqueda de un mínimo global, se formuló una pantalla de interacción con el usuario que condensa los parámetros de realización del programa que se muestran en la Figura 36.

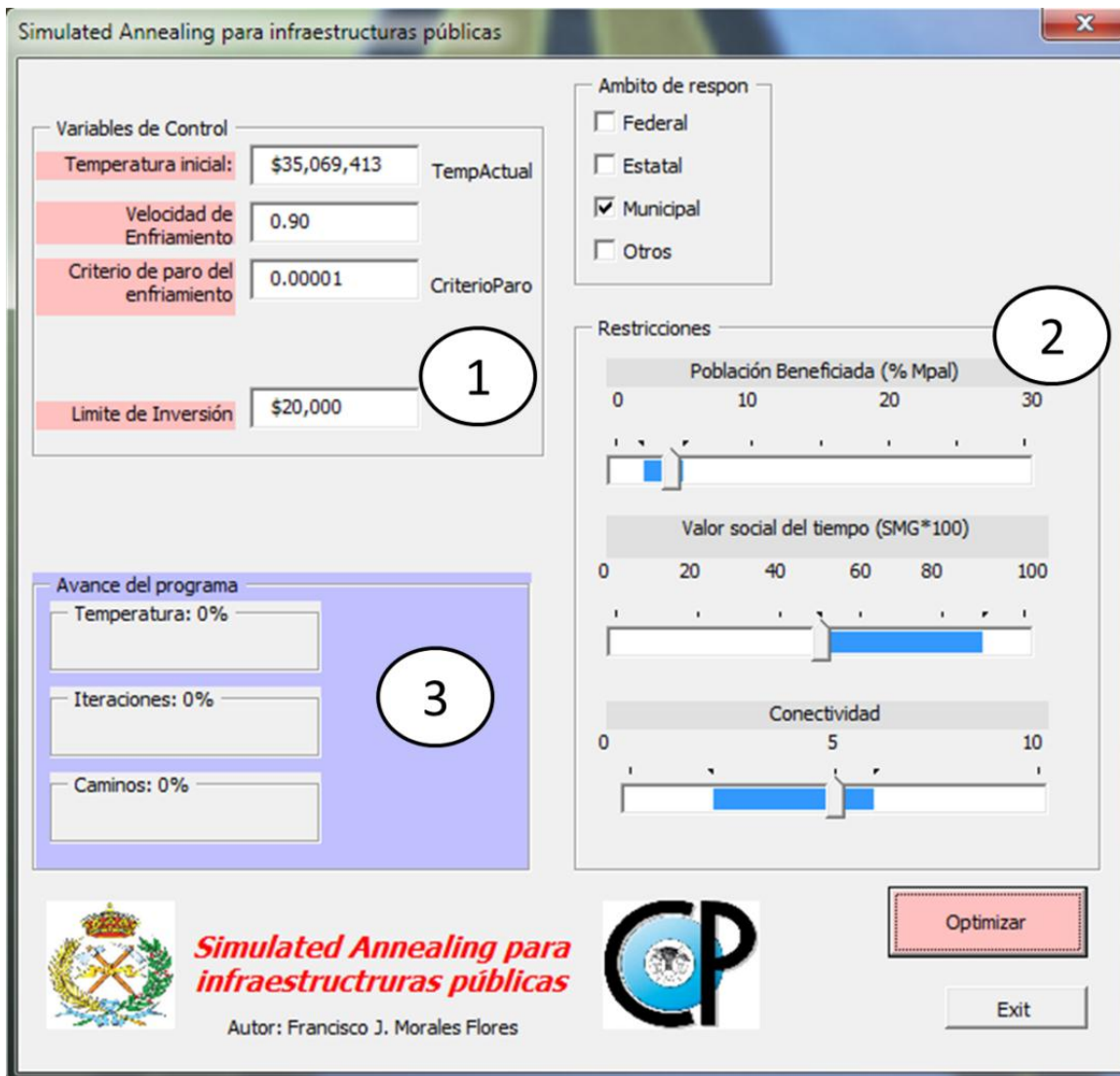


Figura 36. Pantalla de control del programa de “simulated annealing” para optimización de mantenimiento de caminos rurales.

La pantalla del programa “Simulated Annealing para Infraestructuras Públicas” cuenta con tres grandes áreas de control: 1) la definición de parámetros de ejecución del programa; 2) los criterios para la focalización de la optimización del programa; y 3) un área de indicadores de avance del programa en la búsqueda de soluciones.

Como se aprecia en la pantalla, “simulated annealing” será implementado con 3 parámetros: Temperatura inicial, Velocidad de enfriamiento y el Criterio de paro, y en este caso, una restricción: el coste permitido del proyecto.

## **6.8. Análisis del desempeño**

Para analizar el desempeño de la implementación de “simulated annealing” se revisa el tiempo de ejecución del programa, la convergencia y los caminos sugeridos aportados.

Se realizaron simulaciones utilizando tres diferentes velocidades de enfriamiento (0.8, 0.9 y 0.95) a fin de obtener la propuesta de caminos a dar mantenimiento a los caminos rurales de Salinas. Se utilizaron ordenadores de escritorio y portátiles sin considerar distinciones de equipo y en los resultados no parece haber influido la velocidad de CPU o la versión del sistema operativo (Windows 7, Windows XP).

### **6.8.1. Tiempo de ejecución del programa**

Por tiempo de ejecución del programa, se define el tiempo requerido para realizar una solución y la otra, recorriendo todo los caminos posibles a combinar y ser aceptados como soluciones válidas. Después de recorrer todos los caminos e iniciar una nueva iteración, los resultados se muestran en la Figura 37. Se observa un creciente aumento en el tiempo de cálculo de las alternativas que cumplan cada vez criterios más rigurosos. Conforme disminuye la temperatura para aceptar movimientos “up-hill”, el algoritmo demora más tiempo al aumentar el número de opciones rechazadas.

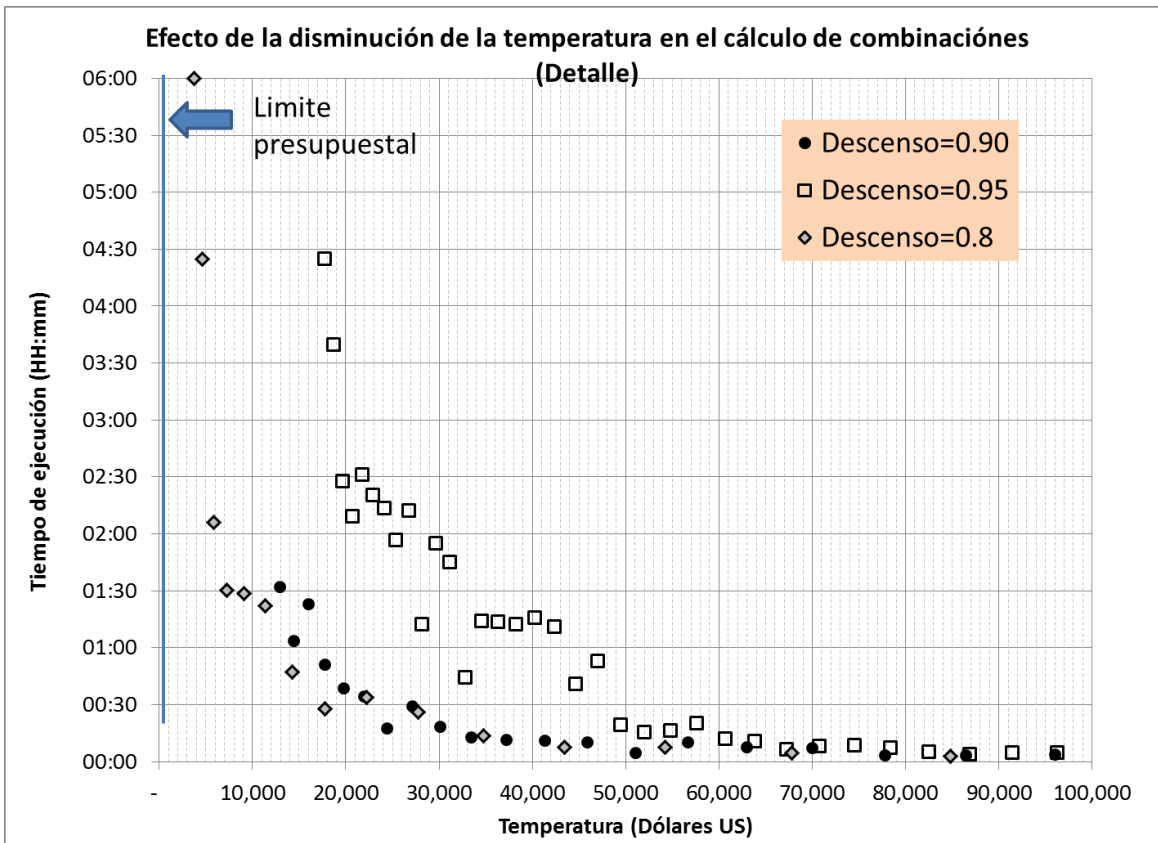


Figura 37. Tiempo de ejecución de cada iteración según nivel de descenso de la temperatura.

Se observa que cuando el descenso de temperatura es una fracción muy cercana a la temperatura anterior (0.95), el incremento de tiempo de cálculo para obtener una propuesta es menor (1.07 veces respecto a 1.21 y 1.4 veces de los otros descensos: 0.90 y 8.0), aunque el tiempo total de cálculo es el más prolongado de los tres descensos (Tabla 22).

Tabla 22. Tiempo de ejecución que caracteriza la obtención de óptimos según la velocidad de descenso (número de veces comparado con la iteración anterior).

Tiempo de ejecución	d=0.8	d=0.9	d=0.95
Incremento Mínimo	0.82	0.46	0.38
Incremento promedio	1.40	1.21	1.07
Incremento máximo	7.50	7.00	2.72
Desviación Estándar	1.08	0.76	0.30
Varianza	1.17	0.57	0.09

Este comportamiento es de esperarse ya que la búsqueda de un mínimo es más lenta o exhaustiva, mediante pequeños decrementos lo que permite una mayor intensidad de evaluación del espacio de soluciones.

## 6.8.2. Convergencia

En la Figura 38 se observa la marcha de la búsqueda de la combinación óptima de actuaciones de camino desde una temperatura de un millón de dólares a diferentes velocidades de enfriamiento. Las líneas continuas señalan el criterio que debería de cumplir la combinación de alternativas de actuaciones en cada una de sus velocidades de descenso. En teoría, conforme el algoritmo descienda de temperatura, las soluciones no pueden estar alejadas de la línea porque se van “enfriando”, de manera que conforme se acerca a la solución óptima buscada las soluciones deben de estar por debajo de la línea señalada en cada caso. .

Se aprecia que el algoritmo sigue el comportamiento esperado para los métodos de “simulated annealing”: aceptar movimientos “up-hill” al inicio de la simulación y conforme se hace más riguroso el criterio de aceptar soluciones mayores, comienza a haber convergencia de las soluciones buscadas en los tres descensos de temperatura utilizados.

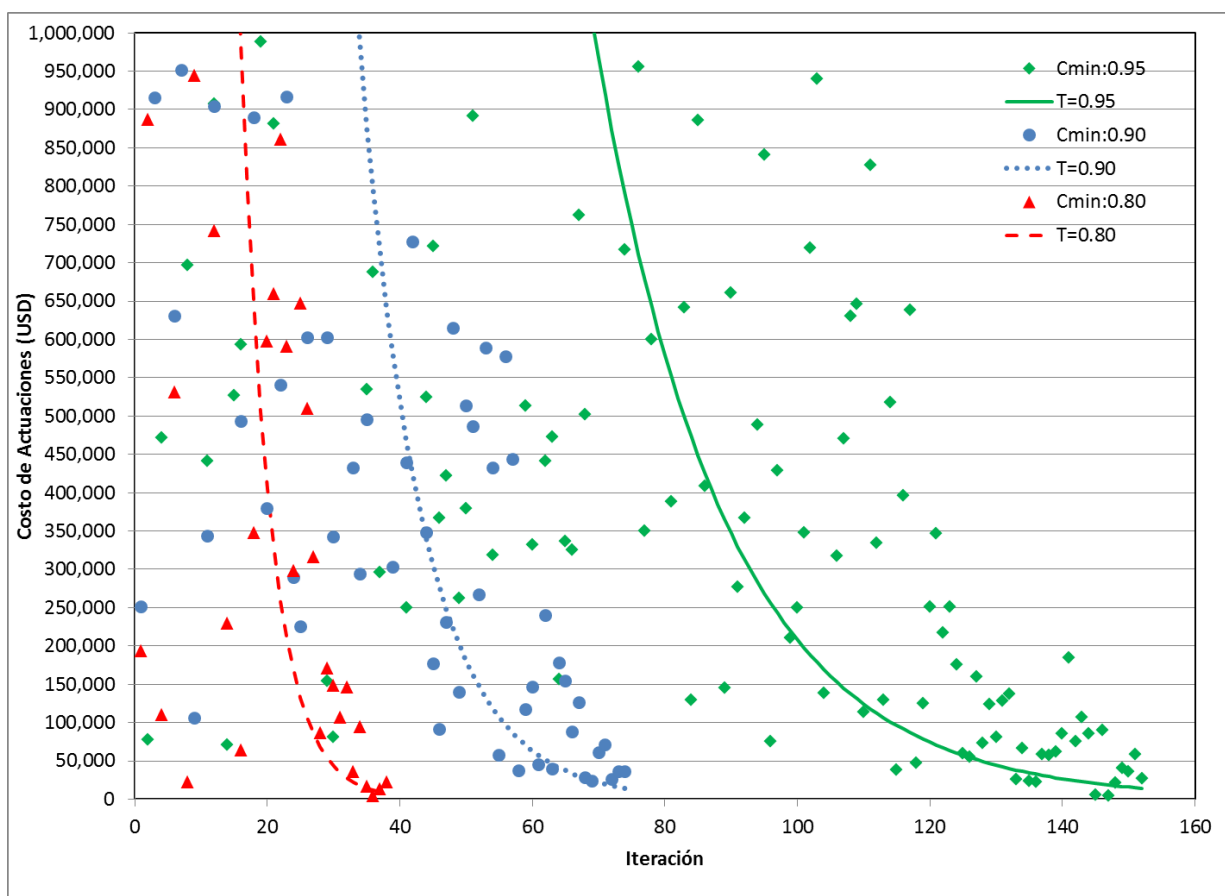
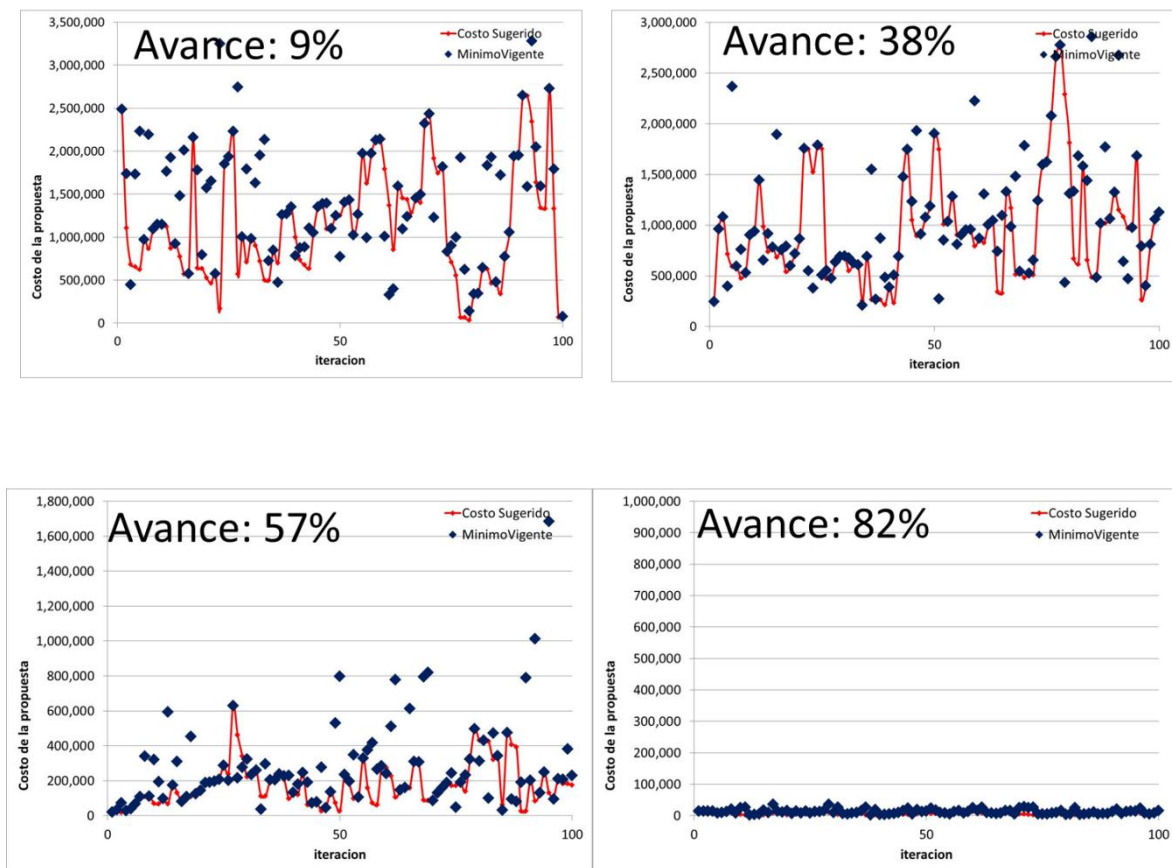


Figura 38. Marcha de la búsqueda de óptimo según velocidad de descenso de la temperatura.



A continuación se muestran un par de gráficas clásicas de este proceso que surgieron durante esta investigación. Se muestran las gráficas que se van generando por las diversas combinaciones de caminos

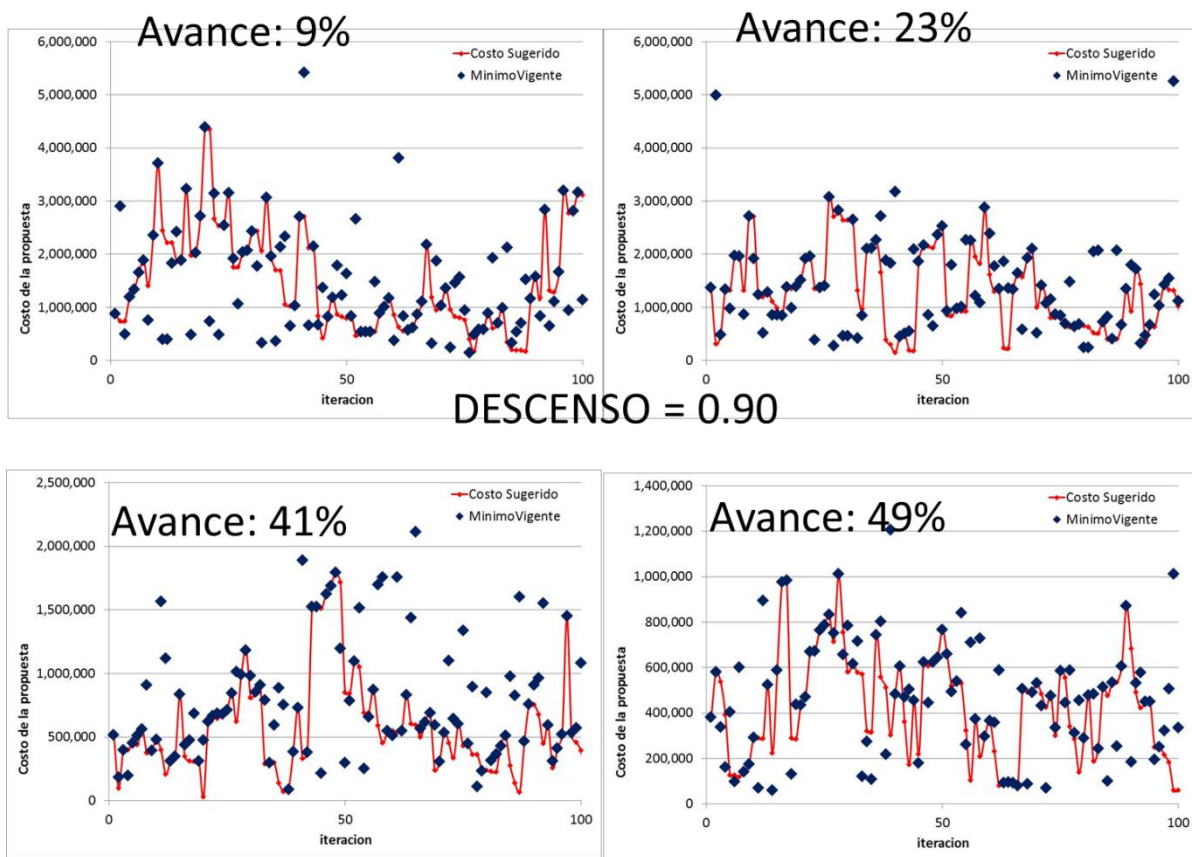
En la Figura 39 se presenta el avance del análisis combinatorio utilizando una velocidad de descenso de 0.8. Se muestra en avance al 9%, 38%, 57% y 82% del número de iteraciones que debía realizar para obtener soluciones con una diferencia de 351 dólares. Se observa la forma en que las soluciones se van presentando conforme se hace más rigurosa la selección de soluciones. El tiempo requerido para lograr esta propuesta es de 9:35 horas partiendo de una temperatura inicial de 35 millones de dólares, o sea el total de las actuaciones.



**Figura 39.** Comportamiento del enfriamiento de “simulated annealing” para el caso de las carreteras de Salinas, usando como factor de disminución de la temperatura 0.80.

En el caso de la Figura 40, el avance del programa solo llega al 49% de las iteraciones totales a realizar sin consolidar una propuesta de actuación debido a lo prematuro de los criterios. El tiempo

total de duración para formular estas alternativas ascendió a 9:04 horas de cálculo, también partiendo del valor total de las actuaciones (35 millones de dólares).



**Figura 40.** Comportamiento del enfriamiento de “simulated annealing” para el caso de las carreteras de Salinas, usando como factor de disminución de la temperatura 0.90.

Finalmente, la iteración a 0.95 es la iteración por naturaleza más larga porque solo disminuyen en 5% la temperatura en cada iteración. Transcurridas 28:31 horas de cálculo solo ha avanzado a un 51% con una perspectiva de incrementarse enormemente el tiempo de cálculo.

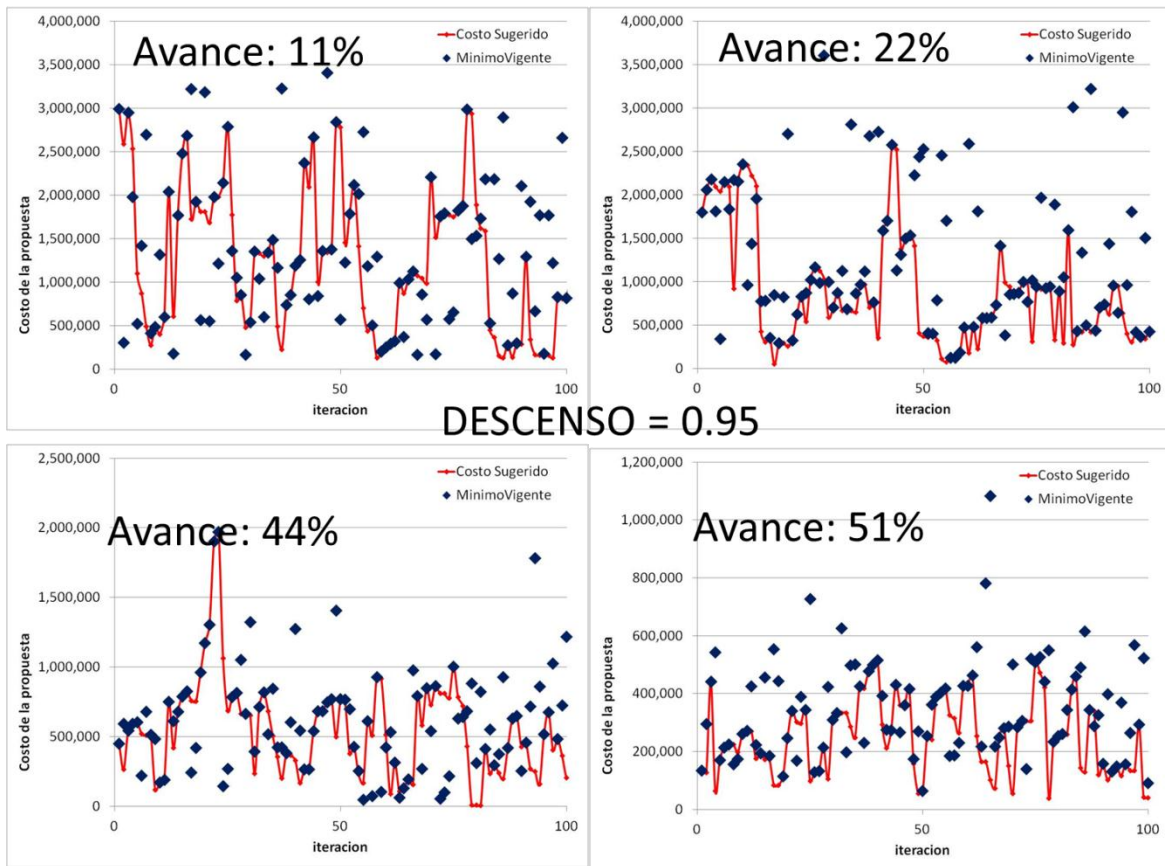


Figura 41. Comportamiento del enfriamiento de “simulated annealing” para el caso de las carreteras de Salinas, usando como factor de disminución de la temperatura 0.95.

Al no obtener óptimos a la velocidad de 0.95, se decidió acortar la distancia de búsqueda, iniciando el “simulated annealing” a una temperatura de 35,000 dólares (Figura 42), obteniéndose las gráficas donde se “sedimentan” las soluciones.

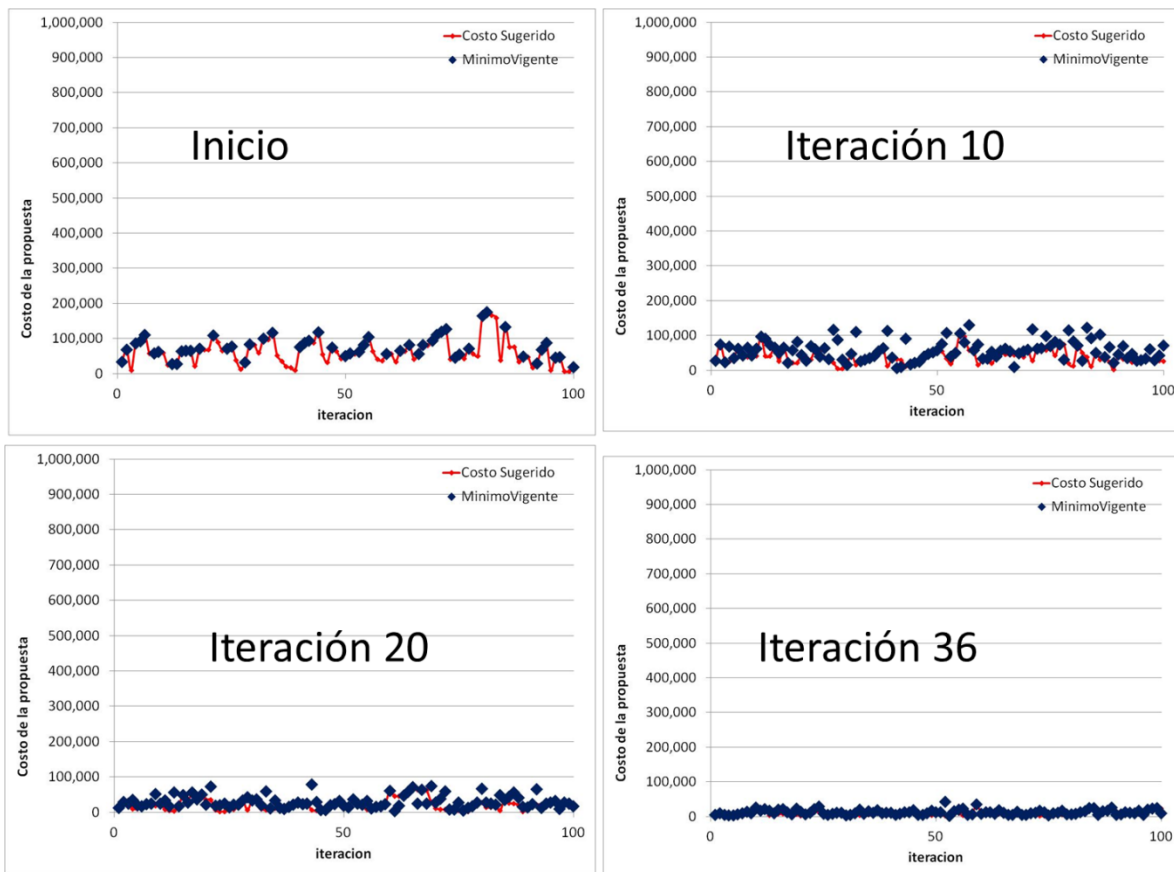


Figura 42. Búsqueda de óptimos a velocidad de enfriamiento de 0.95 desde una temperatura inicial de 35,000 USD.

En resumen se puede apreciar en la Figura 43 que la búsqueda de óptimos locales tiene diferentes horizontes dependiendo de la rigurosidad con que se quiera trabajar. En esta figura se aprecian las zonas óptimas para la asignación de recursos a la red de caminos rurales. Se aprecian los cinco escenarios de gasto que se señalaron en la Tabla 13 con un intervalo de confianza de +/- 10% de costo del rango. Este rango puede variar dependiendo del criterio del investigador para permitir un rango más amplio o un rango más estrecho.

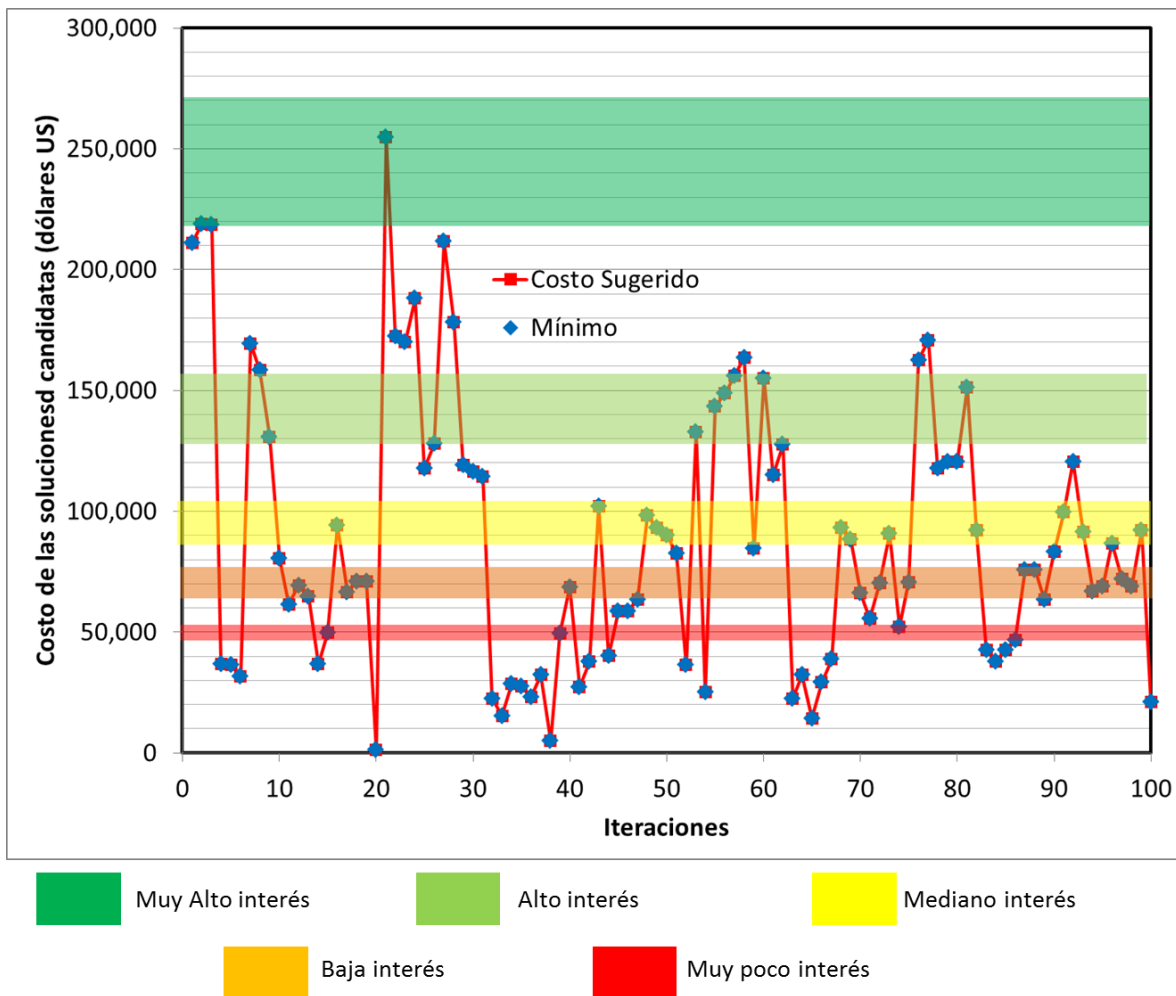


Figura 43. Escenarios de gasto en caminos rurales

En este punto es importante reconocer que no se tiene implementado un criterio de evaluación de la convergencia que permita estimar el tiempo de convergencia de las soluciones (Nishimori, Inoue, 1999)

Al llegar a la temperatura de enfriamiento (donde las alternativas de actuación cumplan de tener una diferencia igual o menor a la tolerancia definida), se resolverán algunas interrogantes:

**Identidad:** ¿Qué combinaciones de actuaciones en caminos alcanzaron el límite de Inversión establecido?, ¿Existen diferentes alternativas de actuaciones con diferentes velocidades de enfriamiento?

**Características:** ¿Qué diferencias existen entre ellas?, ¿se privilegian algunos tramos respecto de otros, son elegidos caminos comunes en los dos diferentes descensos de temperatura?

**Pertinencia:** ¿Qué comunidades fueron beneficiadas como resultado del “simulated annealing”?

**Técnicas:** ¿Qué esfuerzo de cálculo fue realizado?

### 6.8.3. Caminos sugeridos

Con los escenarios definidos desde muy alto interés hasta los escenarios de muy poco interés en los caminos rurales, se pueden apreciar los siguientes escenarios de actuación

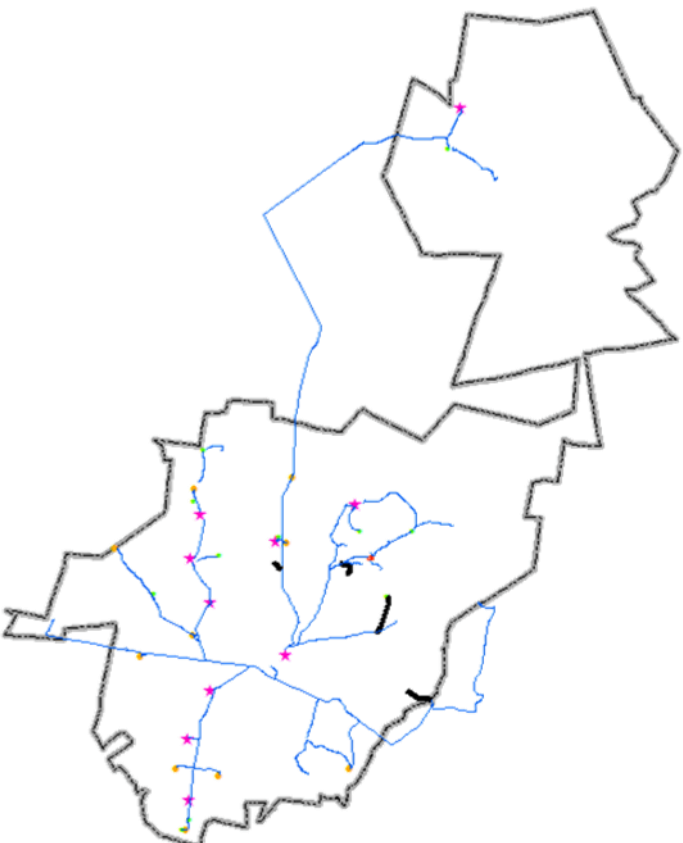
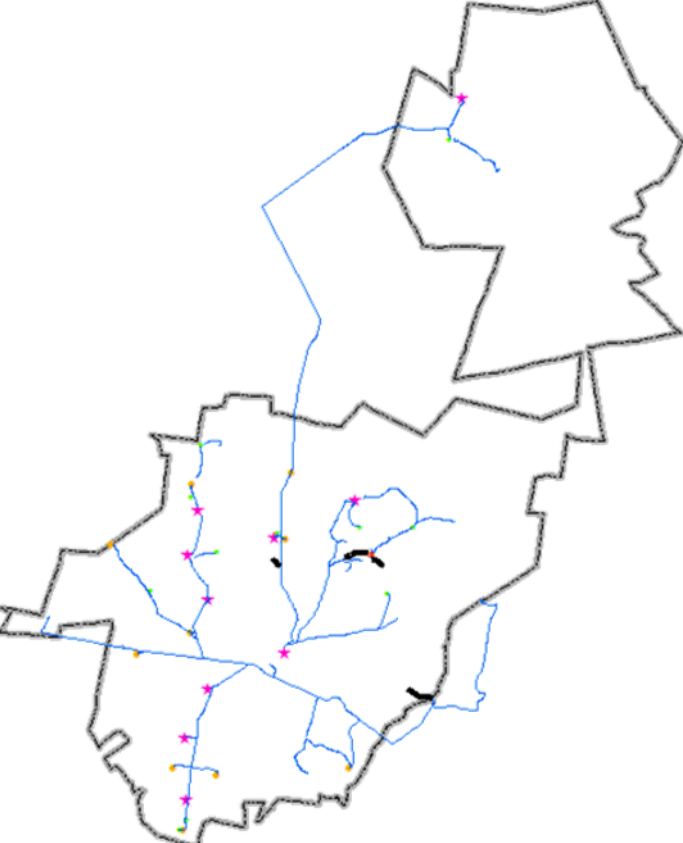
Alto Interés del municipio por invertir en Caminos Rurales. Se caracterizan por ser actuaciones en caminos basadas en una inversión municipal entre el 7 y 8% del presupuesto municipal (aproximadamente 140 mil dólares). Se obtuvieron dos tipos de escenarios:

- ✓ Escenarios orientados a la **actualización de caminos rurales** en carreteras pavimentadas, donde predomina una inversión mayor al 95% en construcción de carreteras.
- ✓ Escenarios orientados al **mantenimiento de caminos rurales**, que se caracterizan por tener al menos un 40% de inversión en mantenimiento de las condiciones actuales de los caminos rurales.

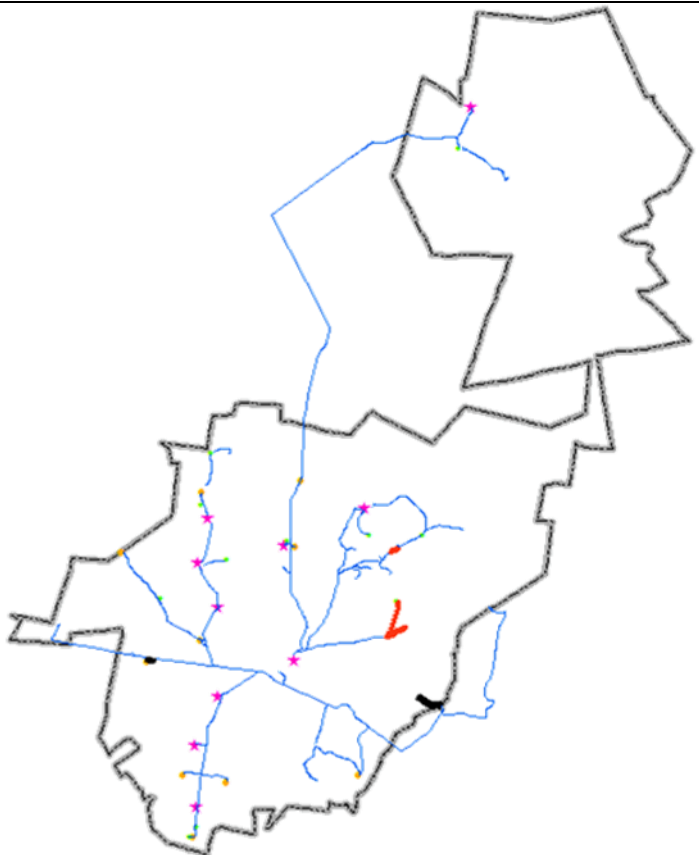
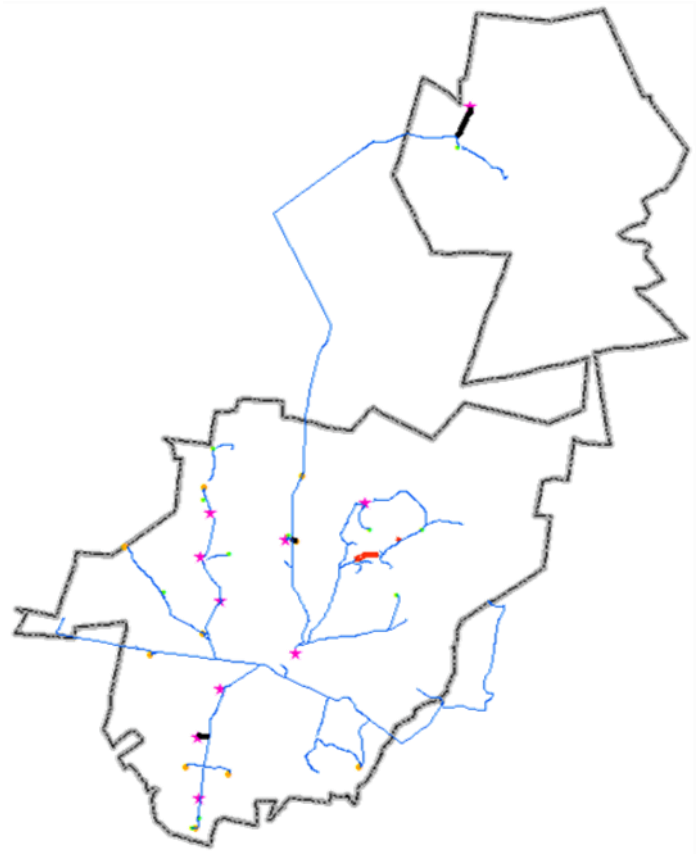
Con la velocidad de descenso (0.80) que alcanzó un 80% de avance del algoritmo se puede obtener las alternativas de actuación que se muestran en la Tabla 23 donde se señala el monto de las actuaciones y los tramos propuestos según actuación propuesta.

**Tabla 23. Propuesta de actuación en caminos rurales para el escenario de ALTO INTERÉS en caminos rurales.**

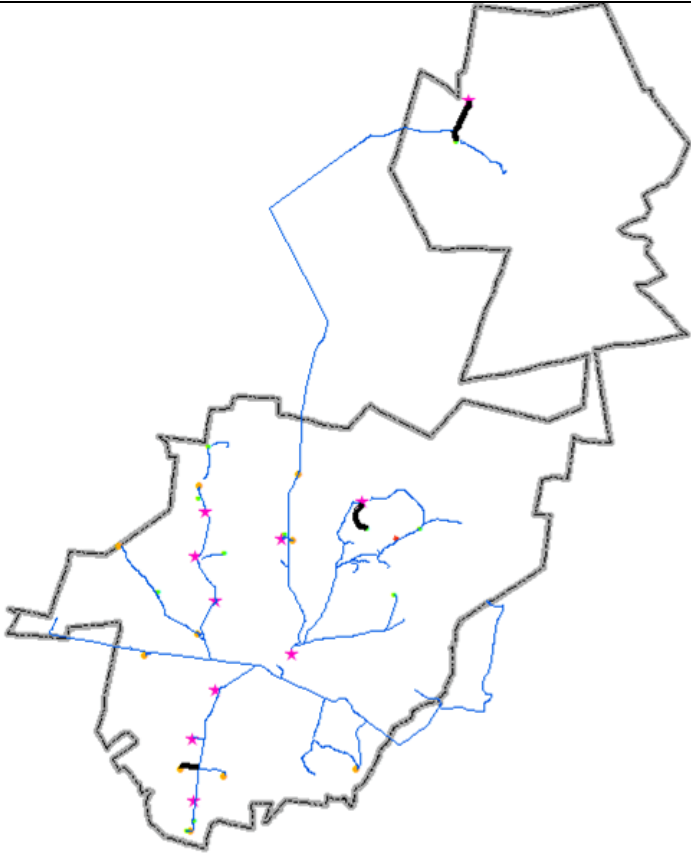
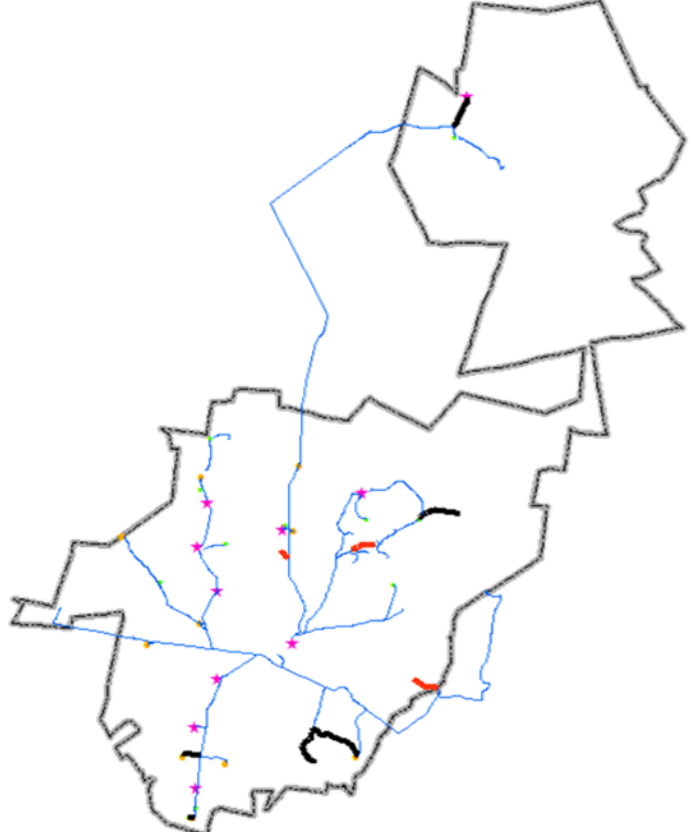
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
----------------------------	---------------------	-------------------

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Actualización 1 (145,048)</p> <p>Actualización 94.54</p> <p>Mantenimiento 5.46</p> <p>Benef= 9.0%</p> <p>Long = 9.3 km</p> <p>C= 11.73</p> <p>VsT = 2.01</p>	<p>Actualización: ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo</p> <p>Mantenimiento: RANCHO NUEVO-ENT Rancho Nuevo LA MESILLA-ENT La Mesilla LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP</p>	
<p>Actualización 2 (141,804)</p> <p>Actualización: 96.70</p> <p>Mantenimiento: 3.30</p> <p>Benef= 6.6%</p> <p>Long = 7.4 km</p> <p>C= 9.75</p> <p>VsT = 2.8</p>	<p>Actualización: ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo</p> <p>Mantenimiento: RANCHO NUEVO-ENT Rancho Nuevo ENT Rancho Los Lara-ENT Martinez (Las Timias) SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-EL MEZQUITAL</p>	



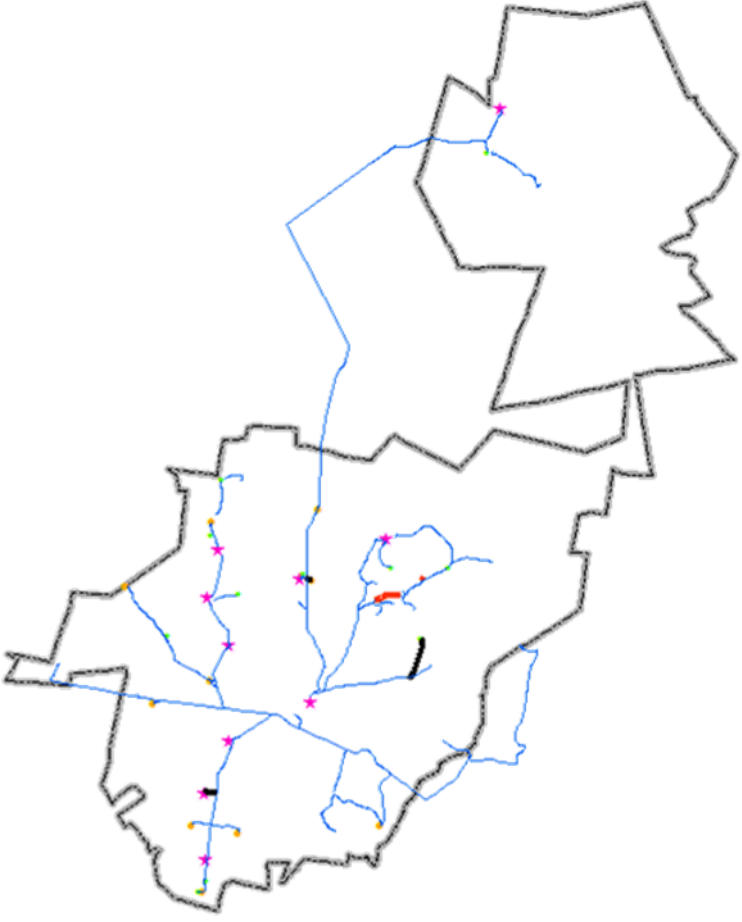
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Actualización 3 (151,701)</p> <p>Actualización: 96.37</p> <p>Mantenimiento: 3.63</p> <p>Benef= 3.3%</p> <p>Long = 10.0 km</p> <p>C= 10.05</p> <p>VsT = 1.04</p>	<p><b>Actualización:</b> LA MESILLA-ENT La Mesilla SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla ENT El Camarón-SAN ISIDRO DE TRIANA</p> <p><b>Mantenimiento:</b> SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP SAN ANTONIO DE LA PAZ-ENT San Antonio de la Paz</p>	
<p>Mantenimiento 1 (151,701)</p> <p>Actualización: 55.31%</p> <p>Mantenimiento: 44.69%</p> <p>Benef= 11.24%</p> <p>Long = 7.6 km</p> <p>C= 8.7</p> <p>VsT = 0.13</p>	<p><b>Actualización:</b> ENT Rancho Los Lara-ENT Martinez (Las Timias) EL CAMARÓN-ENT El Camarón</p> <p><b>Mantenimiento:</b> EL ESTRIBO-ENT El Estribo VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)-ENT Las Colonias</p>	



Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Mantenimiento 2 (141,656)</p> <p>Actualización: 48.40%</p> <p>Mantenimiento: 51.60%</p> <p>Benef= 5.1%</p> <p>Long = 9.5 km</p> <p>C= 4.6</p> <p>VsT = 0.29</p>	<p>Actualización: EL CAMARÓN-ENT El Camarón</p> <p>Mantenimiento: EL ESTRIBO-ENT El Estribo EL MEZQUITE-ENT El Estribo NORIA DE CAÑAS-ENT Noria-El Llano de Conejillo LA MANTENEDORA-LA REFORMA</p>	
<p>Mantenimiento 3 (132,637)</p> <p>Actualización: 43.30%</p> <p>Mantenimiento: 56.70%</p> <p>Benef= 11.6%</p> <p>Long = 25.3 km</p> <p>C= 20.2</p> <p>VsT = 1.48</p>	<p>Actualización: RANCHO NUEVO-ENT Rancho Nuevo ENT Rancho Los Lara-ENT Martinez (Las Timias) SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP</p> <p>Mantenimiento: EL ESTRIBO-ENT El Estribo SANTA ELENA-SANTA MARÍA EL ALEGRE-SALTO MATORRAL SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL EL CUERVO-SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO NORIA DE CAÑAS-ENT Noria-El Llano de Conejillo</p>	

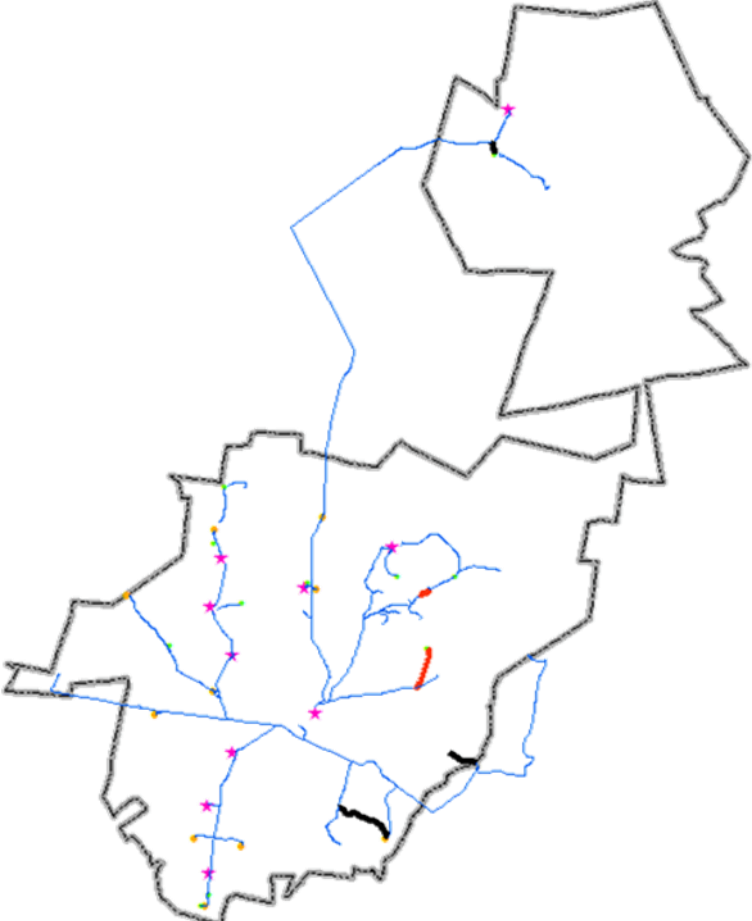


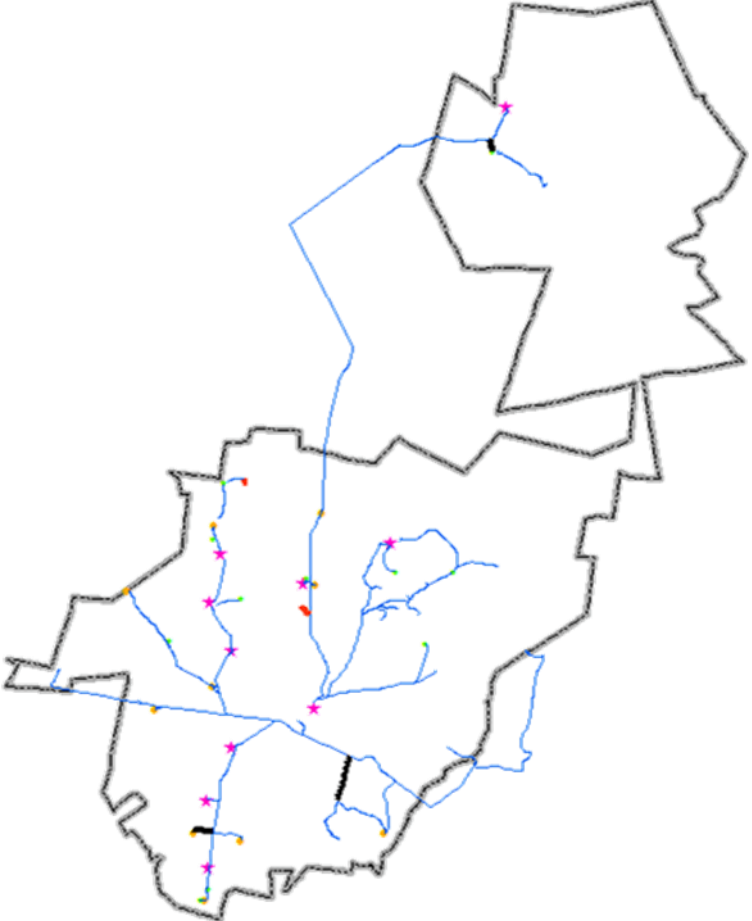
**Tabla 24. Propuesta de actuación en caminos rurales para el escenario de MEDIANO INTERÉS en caminos rurales.**

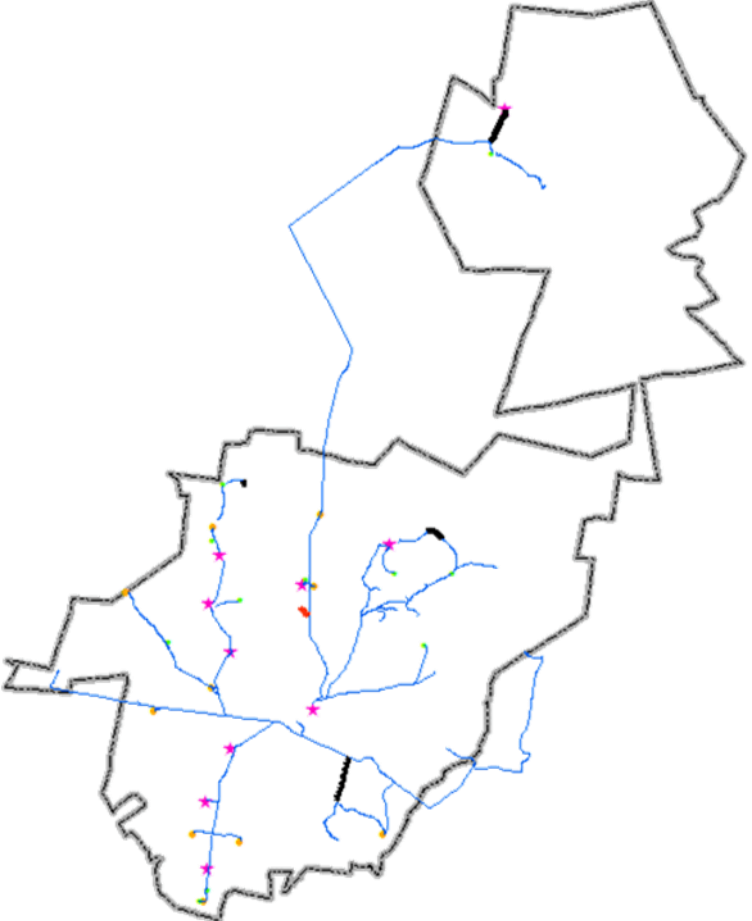
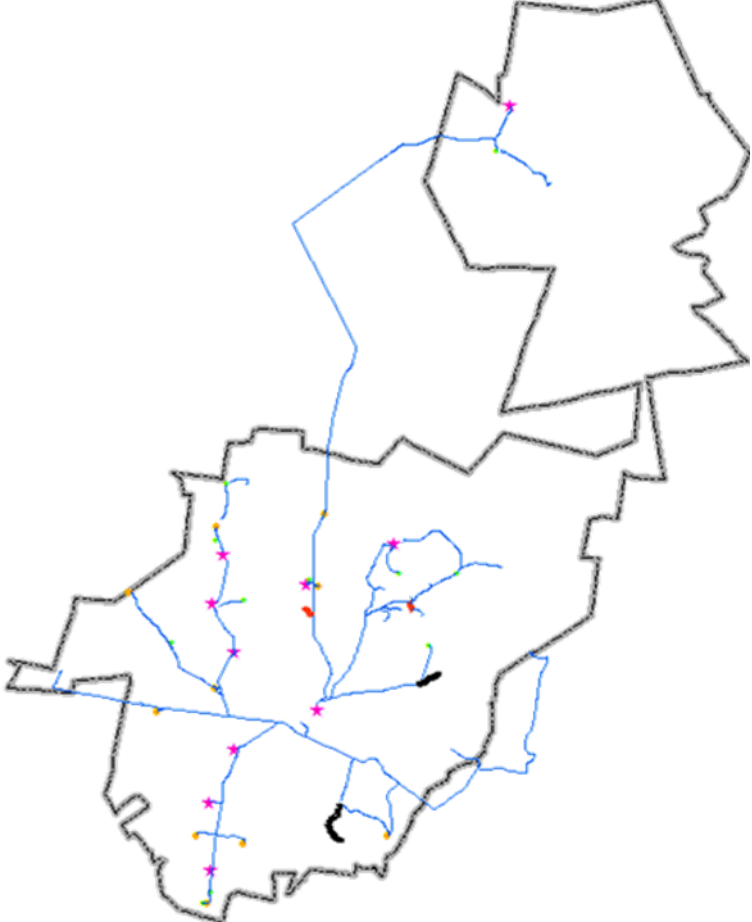
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 1 (92,578)	Actualización: ENT Rancho Los Lara- ENT Martinez (Las Timias) EL CAMARÓN-ENT El Camarón	
Actualización 90.63%	Mantenimiento: VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero LA MESILLA-ENT La Mesilla LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)- ENT Las Colonias	
Mantenimiento 9.37%		
Benef= 10.2%		
Long = 8.1 km		
C= 11.4		
VsT = 0.12		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Actualización 2 (92,565)</p> <p>Actualización 90.64</p> <p>Mantenimiento 9.36</p> <p>Benef= 9.5%</p> <p>Long = 4.4 km</p> <p>C= 8.6</p> <p>VsT = 0.11</p>	<p>Actualización: ENT Rancho Los Lara- ENT Martínez (Las Timias) EL CAMARÓN-ENT El Camarón</p> <p>Mantenimiento: VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)- ENT Las Colonias</p>	
<p>Actualización 3 (145,048)</p> <p>Actualización 94,90%</p> <p>Mantenimiento 15.18%</p> <p>Benef= 2.7%</p> <p>Long = 10 km</p> <p>C= 7.55</p> <p>VsT = 0.94</p>	<p>Actualización: ENT Rancho Los Lara- ENT Martínez (Las Timias) VIBORILLAS-ENT Viborillas</p> <p>Mantenimiento: LA MESILLA-ENT La Mesilla SAN EVARISTO-EL TECOLOTE MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-EL MEZQUITAL</p>	

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 4 (100,497)	Actualización: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo	
Actualización 96.65	ENT El Camarón-SAN ISIDRO DE TRIANA	
Mantenimiento 3.35	Mantenimiento: EL ALEGRE-SALTO MATORRAL	
Benef= 7.8%	LIRA-EL MEZQUITE LOS MONTECITOS- ENT Los Montecitos	
Long = 13.5 km		
C= 12.81		
VsT = 1.21		
Actualización 5 (104,179)	Actualización: EL CAMARÓN-ENT El Camarón	
Actualización 84.21	PIEDRAS NEGRAS- LA REFORMA	
Mantenimiento 15.79	Mantenimiento: EL MEZQUITE-ENT El Estribo	
Benef= 9.25%	ENT Rancho Los Lara- ENT Martínez (Las Timias)	
Long = 17.8 km	LAGUNA EL MARRANO-PIEDRAS NEGRAS	
C= 15.8	EL ALEGRE-SALTO MATORRAL	
VsT = 1.34	EL LLANO DEL CONEJILLO-ENT Noria-El Llano de Conejillo	
	MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-EL MEZQUITAL	

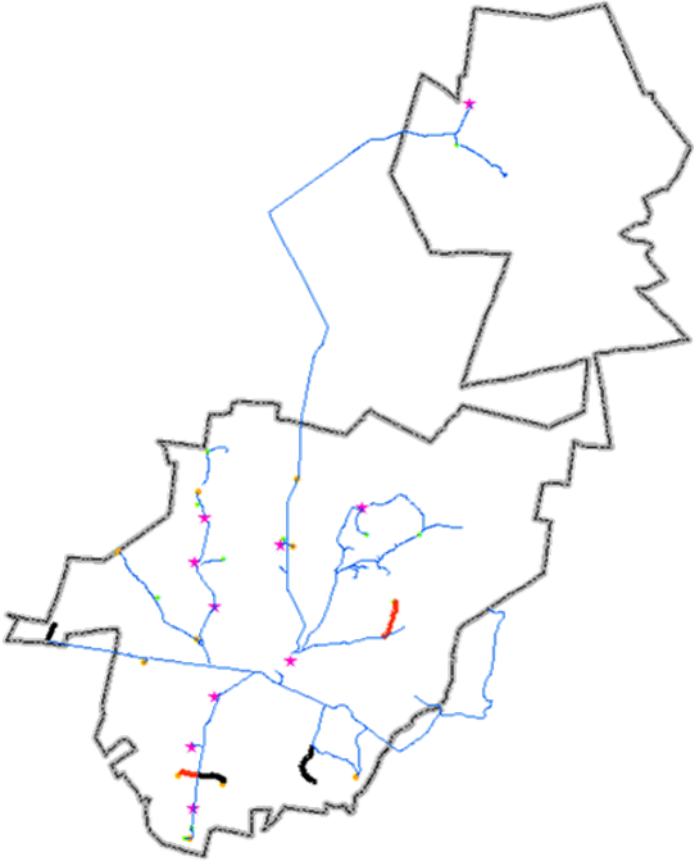
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 6 (97,999)	Actualización: ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo	
Actualización 95.28	Mantenimiento: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo	
Mantenimiento 4.72	LA MESILLA-ENT La Mesilla	
Benef= 2.9%	LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla	
Long = 13.8 km	SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	
C= 10.45		
VsT = 1.23		

Mantenimiento 1 (90,575)	Actualización: ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo	
Actualización 63.40	Mantenimiento: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo	
Mantenimiento 36.60	LA MESILLA-ENT La Mesilla	
Benef= 8.5%	LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla	
Long = 8.6 km	SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	
C= 13.83		
VsT = 0.43		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Mantenimiento 2 (102,328) Actualización 11.17 Mantenimiento 88.83  Benef= 8.7%  Long = 10.4 km  C= 12.9  VsT = 0.49	Actualización: ENT Martinez (Las Timias)-ENT El Carajo  Mantenimiento: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo LA MESILLA-ENT La Mesilla LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	
Mantenimiento 3 (91,595) Actualización 62.70 Mantenimiento 37.30  Benef= 8.4%  Long = 8.4 km  C= 13.0  VsT = 0.23	Actualización: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias)  Mantenimiento: SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL	

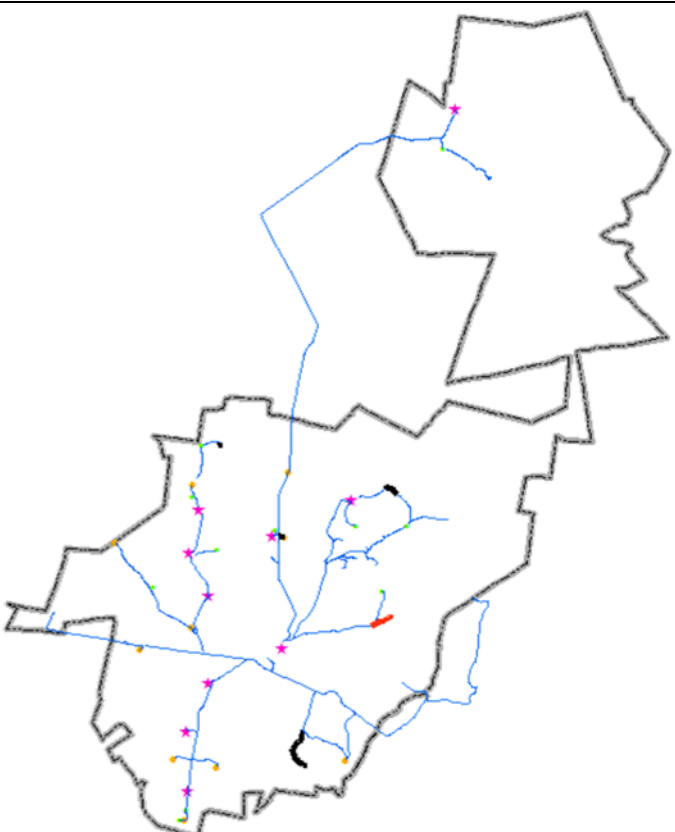
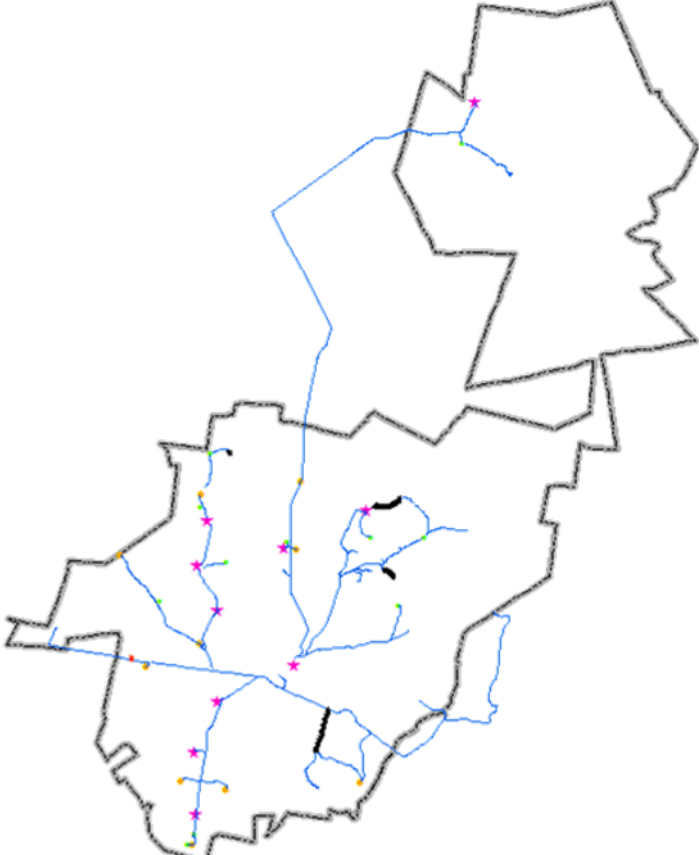
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
----------------------------	------------------------	-------------------

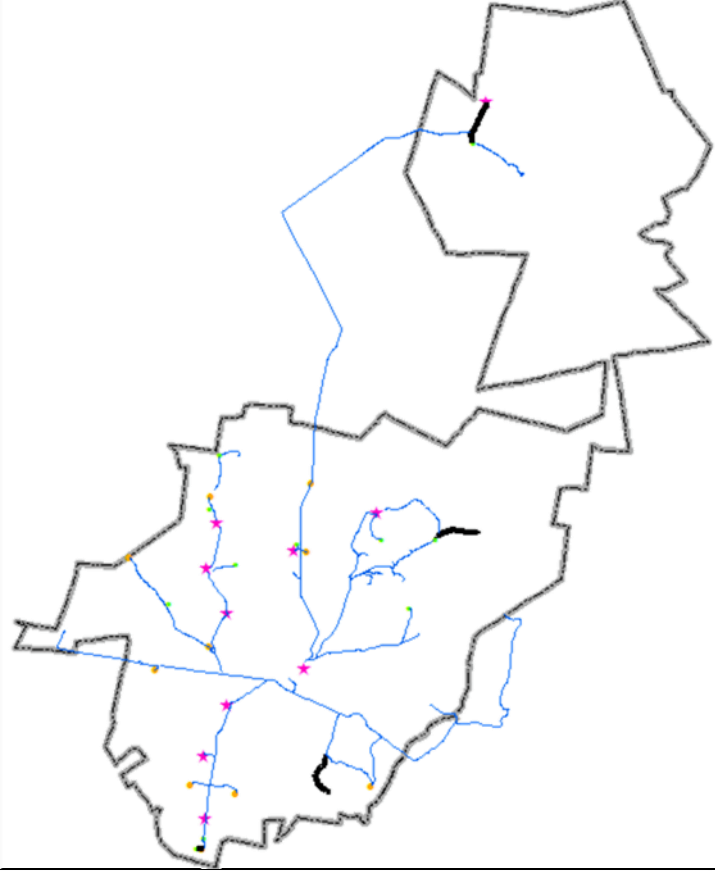
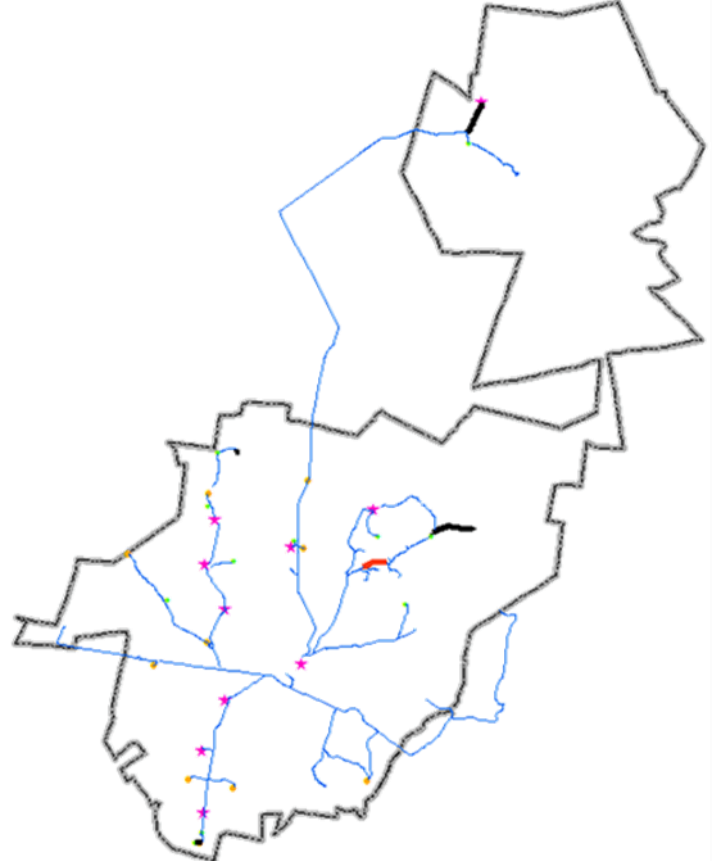
**Tabla 25. Propuesta de actuación en caminos rurales para el escenario de BAJO INTERÉS en caminos rurales.**

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 1 (78,883)	Actualización: LA MESILLA-ENT La Mesilla NORIA DE CAÑAS- ENT Noria-El Llano de Conejillo	
Actualización 72.89%	Mantenimiento: VIBORILLAS-ENT Viborillas	
Mantenimiento 27.11%	SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL	
Benef= 8.7%	EL LLANO DEL CONEJILLO-ENT Noria-El Llano de Conejillo	
Long = 14.7 km		
C= 12.58		
VsT = 0.34		



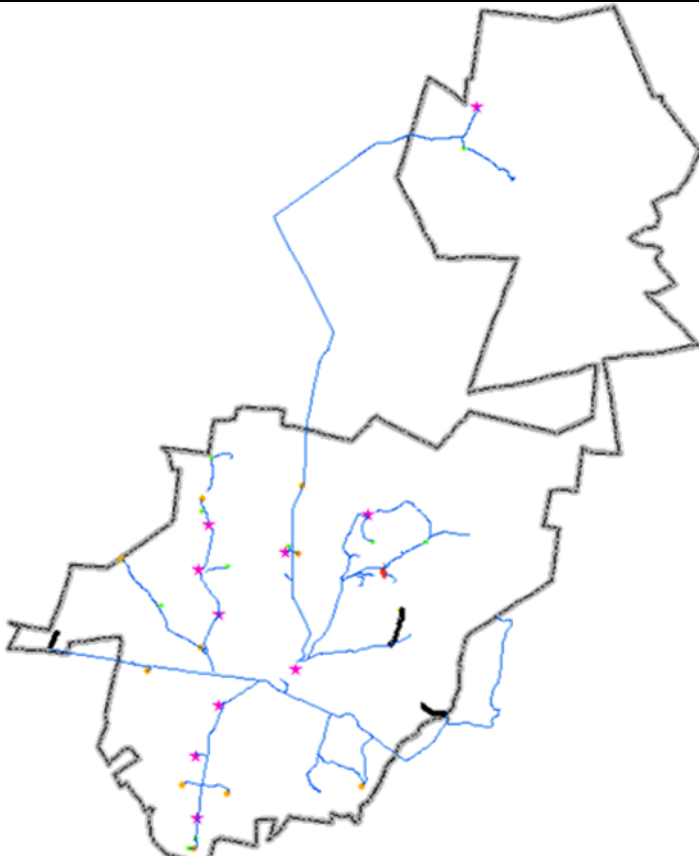
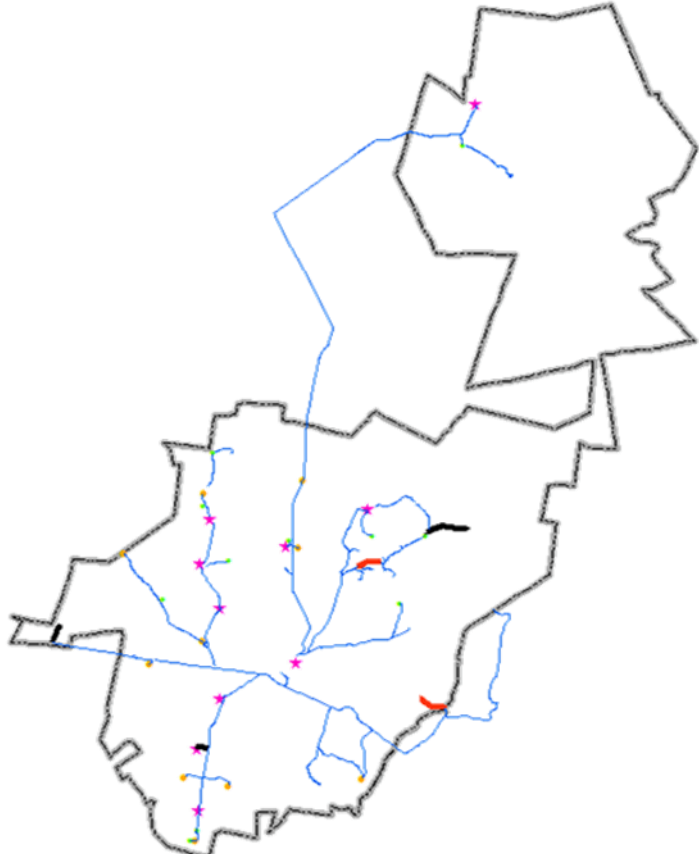
Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Actualización 2 (77,876)</p> <p>Actualización 93.52%</p> <p>Mantenimiento 6.48%</p> <p>Benef= 11.6%</p> <p>Long = 10.4 km</p> <p>C= 8.47</p> <p>VsT = 0.98</p>	<p>Actualización: EL CUERVO-SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO NORIA DE CAÑAS- ENT Noria-El Llano de Conejillo</p> <p>Mantenimiento: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)- ENT Las Colonias LIRA-EL MEZQUITE</p>	
<p>Actualización 3 (67,545)</p> <p>Actualización 96.48%</p> <p>Mantenimiento 3.52%</p> <p>Benef= 1.8%</p> <p>Long = 6.7 km</p> <p>C= 3.67</p> <p>VsT = 0.22</p>	<p>Actualización: VIBORILLAS-ENT Viborillas</p> <p>Mantenimiento: EL MEZQUITE-ENT El Estribo LA MESILLA-ENT La Mesilla</p>	

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 4 (71,352)	Actualización: SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla	
Actualización 72.07%	Mantenimiento: VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero	
Mantenimiento 27.93%	LAGUNA EL MARRANO-PIEDRAS NEGRAS	
Benef= 6.5%	SAN TADEO-ENT San Tadeo	
Long = 9.5 km	SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL	
C= 11.33		
VsT = 0.57		
Mantenimiento 1 (80,141)	Actualización: LOS MONTECITOS- ENT Los Montecitos	
Actualización 57.40%	Mantenimiento: PIEDRAS NEGRAS- LA REFORMA	
Mantenimiento 42.60%	SAN TADEO-ENT San Tadeo	
Benef= 1.2%	SALTO MATORRAL- ENT Salto del Matorral	
Long = 9.2 km	MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-EL MEZQUITAL	
C= 12.71		
VsT = 1.29		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Mantenimiento 2 (74,971)</p> <p>Actualización 0%</p> <p>Mantenimiento 100.00%</p> <p>Benef= 4.89%</p> <p>Long = 13.6 km</p> <p>C= 5.82</p> <p>VsT = 0.38</p>	<p>Actualización: Ningún Tramo</p> <p>Mantenimiento: EL ESTRIBO-ENT El Estribo EL MEZQUITE-ENT El Estribo SANTA ELENA- SANTA MARÍA SAN JUAN SIN AGUA-SALTO MATORRAL EL CUERVO-SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO</p>	 <p>The map displays a network of roads within a defined boundary. Several segments are highlighted in blue, indicating roads to be improved. A specific segment at the top is highlighted in black. The network includes various junctions and branches across the area.</p>
<p>Mantenimiento 3 (75,533)</p> <p>Actualización 20.30%</p> <p>Mantenimiento 79.70%</p> <p>Benef= 4.27%</p> <p>Long = 10.8 km</p> <p>C= 3.82</p> <p>VsT = 0.32</p>	<p>Actualización: ENT Rancho Los Lara- ENT Martinez (Las Timias)</p> <p>Mantenimiento: EL ESTRIBO-ENT El Estribo SANTA ELENA- SANTA MARÍA SAN TADEO-ENT San Tadeo EL CUERVO-SAN ISIDRO PEÑÓN BLANCO</p>	 <p>The map displays the same road network as above. In addition to the blue highlighted segments, a new segment in the upper right quadrant is highlighted in black, representing the updated road for Alternative 3. Other segments remain highlighted in blue.</p>

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
<p>Mantenimiento 4 (72,244)</p> <p>Actualización 0.0%</p> <p>Mantenimiento 100.00%</p> <p>Benef= 7.58%</p> <p>Long = 9.2 km</p> <p>C= 6.36</p> <p>VsT = 0.25</p>	<p>Actualización: Ningún Tramo</p> <p>Mantenimiento: EL ESTRIBO-ENT El Estribo EL MEZQUITE-ENT El Estribo LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla VIBORILLAS-ENT Viborillas LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)-ENT Las Colonias</p>	
<p>Mantenimiento 5 (79,603)</p> <p>Actualización 57.79 %</p> <p>Mantenimiento 42.21 %</p> <p>Benef= 5.77%</p> <p>Long = 12.3 km</p> <p>C= 15.52</p> <p>VsT = 1.14</p>	<p>Actualización: MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias)</p> <p>Mantenimiento: LA MESILLA-ENT La Mesilla SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP SALTO MATORRAL-ENT Salto del Matorral LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)-ENT Las Colonias</p>	

**Tabla 26. Propuesta de actuación en caminos rurales para el escenario de MUY BAJO INTERÉS en caminos rurales.**

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 1 (47,171)	Actualización: MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias)	
Actualización 97.52%	Mantenimiento: LA MESILLA-ENT La Mesilla	
Mantenimiento 2.48%	VIBORILLAS-ENT Viborillas	
Benef= 2.67%	SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	
Long = 8.8 km		
C= 5.82		
VsT = 1.13		
Actualización 2 (50,572)	Actualización: ENT Rancho Los Lara- ENT Martinez (Las Timias) SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP	
Actualización 90.96%	Mantenimiento: SANTA ELENA- SANTA MARÍA	
Mantenimiento 9.04%	VIBORILLAS-ENT Viborillas	
Benef= 4.29%	LAS COLONIAS (COLONIA JUÁREZ)- ENT Las Colonias	
Long = 11.8 km		
C= 7.24		
VsT = 1.22		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Actualización 3 (49,952)	Actualización: MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias)	
Actualización 92.09%	Mantenimiento:	
Mantenimiento 7.91%	LAGUNA EL MARRANO-PIEDRAS NEGRAS	
Benef= 2.02%	EL ALEGRE-SALTO MATORRAL LIRA-EL MEZQUITE	
Long = 13.6 km		
C= 9.24		
VsT = 1.22		
Mantenimiento 1 (49,934)	Actualización: RANCHO NUEVO- ENT Rancho Nuevo	
Actualización 22.89%	Mantenimiento:	
Mantenimiento 77.11%	ENT Rancho Los Lara- ENT Martinez (Las Timias)	
Benef=	EL CAMARÓN-ENT El Camarón	
11.99%	SANTA MARÍA- LAGUNA EL MARRANO	
Long = 8.3 km	NORIA DE CAÑAS- ENT Noria-El Llano de Conejillo	
C= 10.23		
VsT = 0.14		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Mantenimiento 2 (49,016)	Actualización: Ningún Tramo	
Actualización 0.00%	Mantenimiento: EL CAMARÓN-ENT El Camarón	
Mantenimiento 100.00%	SANTA MARÍA- LAGUNA EL MARRANO	
Benef= 5.78%	PIEDRAS NEGRAS- LA REFORMA	
Long = 9.1 km	LA MANTENEDORA- LA REFORMA	
C= 5.35		
VsT = 0.23		
Mantenimiento 3 (52,627)	Actualización: Ningún Tramo	
Actualización 0.00%	Mantenimiento: LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla	
Mantenimiento 100.00%	EL CAMARÓN-ENT El Camarón	
Benef= 3.97%	EL ALEGRE-SALTO MATORRAL	
Long = 13.9 km	LIRA-EL MEZQUITE SAN ANTONIO DE LA PAZ-ENT San Antonio de la Paz	
C= 12.95		
VsT = 1.07		

Alternativa (Costo USD)	Tramos beneficiados	Caminos a mejorar
Mantenimiento 4 (46,137)	Actualización: Ningún Tramo	
Actualización 0.00%	Mantenimiento: EL MEZQUITE-ENT El Estribo VICENTE GUERRERO (LA CÓCONA)-ENT Vicente Guerrero SAN TADEO-ENT San Tadeo SALTO MATORRAL- ENT Salto del Matorral EL LLANO DEL CONEJILLO-ENT Noria-El Llano de Conejillo	
Mantenimiento 100.00%		
Benef= 13.56%		
Long = 9.4 km		
C= 12.8		
VsT = 1.07		
Mantenimiento 5 (48,820)	Actualización: PIEDRAS NEGRAS- LA REFORMA	
Actualización 39.26%	Mantenimiento: LA MESILLA-ENT La Mesilla SAN PEDRO DE ALCÁNTAR-ENT La Mesilla LA ESCOBILLA-ENT La Escobilla MARTÍNEZ (LAS TIMIAS)-ENT Martinez (Las Timias) SANTA ELENA- SANTA MARÍA SOTOL-Lim Estatal Zac-SLP NORIA DE CAÑAS- ENT Noria-El Llano de Conejillo	
Mantenimiento 60.74%		
Benef= 6.75%		
Long = 19.6 km		
C= 15.27		
VsT = 1.19		



Para poder corroborar esta combinación, hay que repensar algunas características del algoritmo como revisar el algoritmo y atender las líneas de programación que están prolongando innecesariamente la obtención de una combinación válida de caminos; Mejorar la interface presentada con el usuario. Antunes *et al* (2003) señalan que se invirtieron hasta 37 segundos en una red vial de 10 nodos, hasta 13 minutos en una red de 20 nodos y hasta 3 horas en una red de 40 nodos. El algoritmo presentado ha realizado iteraciones hasta de 4:30 y 6:00 horas en esta red de 54 nodos cuando desciende a 0.95 de la temperatura.

Al comparar esta investigación con otras investigaciones se muestran algunas diferencias: Coulter 2006 combina la AHP y “simulated annealing” para dar mantenimiento a la red de caminos rurales de un campo experimental universitario; Antunes (2003) analiza la red de carreteras en Portugal para darles mayor accesibilidad.

Parámetros	Antunes, 2003	Coulter, 2006	Morales 2011
Ámbito de actuación	Modelo de la red de carreteras portuguesa en 80 localidades y conexiones a 12 provincias españolas y 2 urbes: Madrid y Paris. (3,330 km)	Área de enseñanza universitaria de acceso cerrado al público. Oregon State University. College of Forestry (225 km)	Red pública municipal de caminos rurales ()
Red de vías	94 Nodos y 133 enlaces integrados por latitud y longitud con posibilidad de actualización cada 5 años	2390 segmentos de caminos por obras de drenaje e intersecciones con otros caminos o cambios en la condición de rodamiento con mantenimiento cada 3 años	89 Nodos y 90 enlaces según trazo geográfico usando imágenes Google Earth con mantenimiento cada 5 años
Temperatura inicial	Índice de accesibilidad entre las ciudades	Presupuesto 250,000 Dólares	Presupuesto: 20,000 dólares US
Sustancia	Coste de transporte	Maximización del beneficio Maximizar relación beneficio-coste	Costes de actuación dentro de presupuesto con beneficios sociales
Restricciones	Tipo de transformación dependiente de probabilidades de selección de transformación		Valor social del tiempo, conectividad de los tramos de camino, población beneficiada, Opinión de la población
Descenso	0.8	5% en cada iteración	0.8 de la temperatura anterior (~20% en cada iteracion)
Criterio de paro.	6 reducciones de temperatura sin nuevas soluciones	0.001	0.00001 (350 dólares US)

Cada investigación es diferente, pero ambas tienen en común en utilizar “simulated annealing” para optimizar tramos de caminos. Coulter (2006) es un enfoque más cercano al mantenimiento

ingenieril de caminos, es decir busca mantener el nivel de servicio de la red. Antunnes (2003) es una propuesta para garantizar niveles de equidad en la accesibilidad de la red portuguesa de caminos.

Comparado con esas dos propuestas, la presente investigación se ubica en un nivel intermedio: no se trata de una propuesta para una red restringida de caminos sino de una red de uso público, ni una red nacional de carreteras, en su mayor parte de 2 a 4 carriles pavimentados. Si se asemeja a la propuesta de Antunnes al considerar la nivelación de las condiciones de acceso aunque a diferencia de ambas, la presente propuesta trata de incorporar la opinión de los usuarios para influir en la autoridad más cercana a ellos y que además tiene por legislación ser el responsable de la gestión en dichos caminos rurales.

## **6.9. Conclusiones**

Se considera que esta propuesta puede ayudar a aumentar la participación de la sociedad en la toma de decisiones sobre actualización y mantenimiento de infraestructuras de uso público. El uso de los métodos estadísticos combinatorios pueden ser empleados sobre la base de la construcción de algoritmo de toma de decisiones sin recurrir a programas exclusivos sobre la base de un programa de amplio uso y para el que no se requieren enormes conocimientos de programación que puede emplear cualquier grupo de ciudadanos organizados en fuerzas de tarea temporales o permanentes.

La técnica de “simulated annealing” puede constituir una herramienta para instrumentar uno de los componentes que fomenta el desarrollo rural: el enfoque ascendente de las partes interesadas como método de retroalimentación de los usuarios hacia los tomadores de decisiones para ser considerados como algo más que una mayoría simple derivada de asambleas improvisadas y en donde lo que menos se desea es la participación estructurada de la sociedad, ni el empoderamiento de los convocados, ayudando a construir herramientas para combatir lo que Arnstein (1969) señalo como los dos primeros escalones de la participación social: La manipulación y la terapia.

## 6.10. Bibliografía

Antunnes, Antonio; Seco, Alvaro; Pinto, Nuno. 2003. An accessibility-maximization approach to road network planning. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*. 18:224-240.

Arnstein, Sherry R. 1969. A ladder of citizen participation. *Journal of the American Planning Association*. 216-224.

Ben-Ameur, Walid (2004). Computing the initial temperatura of simulated annealing. *Computational Optimization and Applications*. 29:369-385.

Conceicao-Cunha, Maria Da. (1999). On solving aquifer management problems with simulated annealing. *Water Resource Management*. 13:153-169.

Coulter, E D; Sessions, J; Wing, M G. "Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics". *Silva Fennica*. 40(1). 2006. 143-160.

INAFED. Información hacendaria municipal. Banco de información municipal. 2007. Mexico. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. [www.inafed.gob.mx/wb/inafed09/datos\\_financieros\\_y\\_socioeconomicos\\_municipales\\_2007](http://www.inafed.gob.mx/wb/inafed09/datos_financieros_y_socioeconomicos_municipales_2007).

Ingber, Lester. Simulated annealing: practice versus theory. *Mathematical and Computational Modeling* 18 (1993) 29–57.

Jeroen C. J. H. Aerts & Gerard B. M. Heuvelink (2002): Using simulated annealing for resource allocation, *International Journal of Geographical Information Science*, 16:6, 571-587

Keller, Gordon; Sherar, James. 2003. *Low Volumen Road Engineering*. Best Management Practices. Field Guide. US Agency for International Development (USAID); USDA, Forest Service; Virginia Polytechnic Institute and State University. 158 p.

Kirkpatrick, S; Gelatt, C D; Vecchi, M P. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science*. 220(4598):671-680.

- Nishimori, Hidetoshi; Inoue, Jun-Ichi. 1998. Convergence of simulated annealing by generalizes transition probability. *Journal of Physics A: Mathematical and General*. 31:5661-5672.
- Nooraliei, Amir; Altun, Adem Alpaslan. 2009. Temperature determination in simulated annealing using learning autómatas. In: *Computer and Electrical Engineering, 2009. ICCEE '09. Second International Conference on*. Pp. 114 - 117
- Nourani, Yaghout ; Andresen, Bjarne. 1998. A comparison of simulated annealing cooling strategies. *Journal of Physics A: Mathematica and General*. 31: 8373–8385.
- Peter Tarp & Finn Helles (1997): Spatial optimization by simulated annealing and linear programming, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12:4, 390-402
- Sen, Mrinal K.; y Stoffa, Paul L (eds). 1995. Simulated Annealing Methods. In: *Global Optimization Methods in Geophysical Inversion. Advances in Exploration Geophysics*. 4:79-124.
- Sirenko, Sergeii (2009). Classification of heuristic methods in combinatorial optimization. *International Journal “Information Theories & Applications”*. 16:303-322.



## 7. CONCLUSIONES GENERALES

---

Las conclusiones que se derivan del presente trabajo son:

Al realizar un primer enfoque sobre los caminos rurales y su distribución a nivel nacional:

- ✓ Los caminos en San Luis Potosí; México son predominantemente son caminos revestidos complementados por caminos pavimentados de dos carriles.
- ✓ En el municipio de Salinas, San Luis Potosí, la inversión pública en caminos realizada durante se ubican entre 24 y 125 pesos por habitante, situándose en los más bajos presupuestos en camino, y donde ocho de cada diez habitantes se encuentra a menos de 25 minutos de la cabecera municipal.

Al analizar los efectos del tiempo de desplazamiento en la calidad de vida de los habitantes de la zona rural de Salinas

- ✓ El tipo de camino, su mantenimiento y distancia a los polos de desarrollo económico local, como las cabeceras municipales, así como los tiempos de desplazamiento de los habitantes, puede afectar significativamente algunos aspectos de la calidad de vida de los habitantes rurales. El tiempo de desplazamiento de las localidades hacia la cabecera tiene un efecto en los ingresos de la familia rural, así como un posible efecto sobre la eficiencia del aprendizaje en educación básica, ya que influye en las condiciones del proceso enseñanza-aprendizaje.
- ✓ Con base en la estimación del tiempo de desplazamiento, la red de caminos tiene una influencia en la economía local (mayores niveles de ingreso, menores dificultades para obtener salarios). Es posible sugerir un modelo de identificación de preferencias de la población que pueda integrarse en un programa de calendarización de mantenimiento de caminos, considerando criterios señalados por la población.

Al buscar integrar la opinión de los habitantes se concluye que:

- ✓ El municipio de Salinas por sus características tiene una extensión de caminos rurales que limita el desarrollo de las economías locales. La extensión de caminos federales o estatales no ayudará a resolver el problema de movilidad de los habitantes de Salinas.
- ✓ El nivel de inversión en el tema de caminos rurales ha variado a lo largo de las últimas 4 administraciones municipales con una inversión media anual de 10% del presupuesto municipal por lo que se considera que se debe reforzar una manera de hacer rentable la inversión en caminos.
- ✓ Cuarenta y cinco por ciento de la población de Salinas depende de la red de caminos rurales, donde el uso de transporte privado con determinada edad parece ser la alternativa local, más que el uso de transporte público; sin embargo esto debe ser profundizado.
- ✓ Las preferencias generales de los habitantes sobre los criterios de caminos se reducen a las necesidades inmediatas que son resueltas por los caminos (aumento en el acceso a servicios sociales, fomentar un mayor aprendizaje de los niños, facilitar transporte de personas, incremento de la calidad de vida) pero hicieron énfasis en los aspectos prácticos de los caminos: mantenimiento regular, financiamiento de las obras, y calidad de la obra además del empleo temporal como fuente de ingresos.
- ✓ Las preferencias de los habitantes encuestados permite relacionar las necesidades inmediatas de mejora de caminos en aquellas localidades que tienen caminos deficientes o incompletos; a diferencia de los habitantes que viven alrededor de los caminos donde prefieren temas relacionados con el crecimiento de la economía.
- ✓ La propuesta de método para integrar la opinión de los habitantes sobre el mantenimiento de infraestructuras basado en el proceso de análisis jerárquico mostró que las preferencias de la población están orientadas a favorecer de manera preferencial un programa de mantenimiento de caminos que refleje los beneficios prácticos de contar con comunidades con una mayor probabilidad de obtener beneficios y servicios, mayor aprendizaje de jóvenes e infantes y mayor acceso a servicios sociales.

- ✓ El incremento en la calidad de vida, el mantenimiento regular de los caminos, el transporte de personas, y el financiamiento del camino son criterios de moderada importancia en las decisiones de la autoridad.
- ✓ El proceso de análisis jerárquico (AHP) resalta la importancia de los juicios de valor social por parte de los habitantes, cuya valoración y priorización, impactarían en la toma de decisiones respecto de un bien común, más allá de la visión que la autoridad tiene del mismo bien, apreciando una discrecionalidad de efectos paralelos benéficos desde el punto de vista social, económico y ambiental.

Para formular una metodología para priorizar el mantenimiento de caminos rurales incorporando la opinión de la población rural, se concluye que

- ✓ Se ha formulado una metodología que optimiza las decisiones sobre mantenimiento o actualización de una red rural de caminos públicos sobre la base del coste de cada actuación y considerando las restricciones de focalización como son criterios de conectividad, valor social del tiempo de desplazamiento, así como el número de beneficiarios. Además de privilegiar la opinión de las comunidades que consideraron la actuación en el camino rural que utilizan.
- ✓ Una propuesta práctica sobre la base de una hoja de cálculo utilizando un lenguaje de programación puede ofrecer alternativas de actuaciones que cumplen los criterios de focalización de actuaciones formuladas desde la base de analizar la información pública e incorporar la visión de las partes interesadas, en este caso los usuarios de los caminos rurales, como parte de las infraestructuras públicas ofrecidas por la administración local.

## 8. RECOMENDACIONES

---

Algunas recomendaciones que se derivan del trabajo son:

Sobre la *identificación de caminos*: este proceso se puede realizar desde una manera tan compleja como la identificación de imágenes de satélite públicas usando algoritmos genéticos para la identificación de caminos; sin embargo esta estrategia solo es redituable cuando se trata de grandes inventarios nacionales que define por primera vez el uso de las redes de caminos o en áreas densamente pobladas donde se requiere la actualización de las vías y que demandan un apoyo significativo basado en tecnologías de la información y que puede ser realizado de una manera acelerada mediante el pago de consultoría especializada. Como resultado colateral, esta investigación se propuso identificar métodos de bajo costo y de confiabilidad aceptable para ser adoptado por las comunidades y los gobiernos municipales hacia la construcción de un sistema de información geográfica propio que reporte el estado de los caminos con observaciones de mantenimiento aportadas por los propios usuarios, que con el advenimiento de las redes sociales facilita el envío de observaciones del público sobre el estado de la red viaria local. Algunos trabajos al respecto son Lacoste (2010).

A lo largo de la revisión de información, se observó que el *concepto de sistemas y redes de transporte* tiene una fuerte componente urbana debido a que se considera la intensidad del transporte, el valor de las mercancías transportadas y la oportunidad de transporte. Sin embargo, una recomendación que se puede derivar de este trabajo para fortalecer el concepto de la red rural de transporte es considerar que el “último kilómetro” de la red de distribución es también el primer kilómetro de la red de recolección de materias primas, con el consecuente gasto por parte de los productores rurales en trasladar un alimento o un bien hacia el mercado, en lugar de que el mercado se preocupe por trasladarse al producto.

Sobre la *Participación social*: Los intereses de los usuarios de infraestructuras públicas así como las partes interesadas en proyectos de desarrollo rural se hace necesaria la introducción de métodos



matemáticos que permitan incorporar la opinión de los usuarios en la toma de decisiones sobre inversiones en obras de carácter físico y público además de estructurar la participación en programas de apoyo. Por ello se considera que una expansión de este trabajo es la incorporación de la diversidad de opiniones recopiladas en forma de un instrumento de evaluación rígido, en un primer momento como lo son las encuestas; pero en un segundo momento mediante estrategias de reconocimiento de voz que puede capturar la totalidad de una entrevista a fin de correlacionar los términos más comúnmente utilizados (tokens) y corregirlos según el nivel educativo del entrevistado y obtener la importancia subyacente al discurso de la gente sencilla del campo que es a menudo soslayada de manera soez por los tomadores de decisiones llegando a considerar al habitante rural como “poco educado” y de poca importancia en el contexto de un mundo globalizado o dominado por los grandes capitales.

Para una administración local (municipio) *una herramienta de análisis combinatorio* puede tener una fuerte repercusión, tanto en el ámbito de la planeación de políticas como en el ámbito de la evaluación de programas y acciones de gobierno. La incorporación de ponderadores puede facilitar la toma de decisiones durante la etapa de planeación o evaluar mejor alternativas que no se realizaron a pesar de contar con guías y criterios aceptados por la administración local y regional para focalizar apoyos sociales.

Es clásica la influencia del “principio antrópico” (el investigador observa un fenómeno y en consecuencia interfiere en la interpretación del fenómeno por el hecho de haberlo presenciado) en las conclusiones emitidas por los investigadores que utilizan como herramienta principal, la entrevista. Donde después de horas de entrevistas, el investigador cruza la línea entre la interpretación de información y la creación de una novela propia en donde el entrevistado comienza a perder poco a poco su voz para dar paso a la voz del investigador en la etapa de interpretación y sobre todo de conclusiones.

## 9. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

---

AASHO. The AASHO Road test. Report 5 – Pavement Research Spacial Report 61-E. Highway Research Board. National Research Council, Washington, D.C. USA. 1962.

Abudayyeh, Osama; Khanb, Taimoor; Yehiaa Sherif; Randolph, Dennis. 2005. The design and implementation of a maintenance information model for rural municipalities. *Advances in Engineering Software* 36:540–548.

AEIPRO. (2006). Bases para la competencia en la Dirección de Proyectos. Versión 3. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. International Project Management Association. Valencia, España.

Agarwal, S; Rahman, S; and Errington, S. 2009. Measuring the determinants of relative economic performance of rural areas. *Journal of Rural Studies*. (Holanda). 25:309–321.

Alberro-Semerena, José. 2008. Costo de oportunidad social del tiempo de usuarios del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. *El trimestre económico*. 297. pp. 211-223.

Alesina, A; and Tabellini, G. 2008. Bureaucrats or politicians? Part II: Multiple policy tasks. *Journal of Public Economics*. (Holanda). 92:426–447.

Alvarez, Pedro; López-Rodríguez, Fernando; Canito, Jose Luis; Moral, Francisco Jesus; Camacho, Antonio. 2007. Development of a measure model for planning of maintenance and improvement of road. *Computers and Industrial Engineering* 52:327-335.

Antunnes, Antonio; Seco, Alvaro; Pinto, Nuno. 2003. An accessibility-maximization approach to road network planning. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*. 18:224-240.

Arnstein, Sherry R. 1969. A ladder of citizen participation. *Journal of the American Planning Association*. 216-224.

Arroyo Osorno, José Antonio y Torres Vargas, Guillermo (2003). Metodología social de evaluación de proyectos de caminos rurales en México. Publicación técnica 234. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandilla, Querétaro.

Barrios, E. B. 2008. Infrastructure and rural development: Household perceptions on rural development. *Progress in Planning*. (Holanda). 70:1–44.

Baumgärtner, Stefan; Becker, Christian; Frank, Karin; Müller, Birgit; Quaas, Martin. 2008. Relating the philosophy and practice of ecological economics: The role of concepts, models and case studies in inter- and transdisciplinary sustainability research. *Ecological Economics*. 67:284-393.

Belton, S., Stewart, T.S. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts.

Berdika, K.. “An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done”. *Transport Policy*. 9. 2002. 117-127.

Besser, T L. 2008. Changes in small town social capital and civic engagement. *Journal of Rural Studies*. (Holanda). 25:185-193.

Blöchliger, Hans; King, David. Less than you thought: the fiscal autonomy of sub-central governments. En: Organisation for Economic Co-operation and Development. *Economic Studies*. Num. 43. Pp. 155-188. Italy. Organisation for Economic Co-operation and Development. 2006.

Bodin, Lawrence and Gaas, Saul I. (2003). On teaching the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*. (30):1487-1497.

Bonneu, Florent; Thomas-Agnan, Christine. 2009. Spatial point process models for location-allocation problems. *Computational Statistics and Data Analysis*. 53:3070-3081.

Borda-de-Agua, Luis; Navarro, Laetitia; Gavinhos, Catarina; Pereira, Henrique M. 2011. Spatio-temporal impacts of roads on the persistence of populations: analytic and numeral approaches. *Landscape Ecology*. 26:253-265.

Botsa, Pieter W.G.; y Lootsma, Freerk A. (2000). Decision Support in the Public Sector. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. (9):1-6.

Canning, P E; Hellowell, E E; Hughes, S J; Gatersleben, B C M; Fairhead, C J. "Devolution of transport powers to Local Government: Impacts of the 2004 Traffic Management Act in England". *Transport Policy*. 17(2). 2010. 64-71.

Cavallo, E; Daude, C. 2011. Public investment in developing countries: A blessing or a curse? *Journal of Comparative Economics*. (Holanda) 39:65-81.

Cazorla, A; De Los Ríos, I; Salvo, M. (2007). *Desarrollo Rural: Modelos de Planificación*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2007.

Cervini, Hector. 2006. Valor social del tiempo. Informe final. Universidad Autónoma de Barcelona. 82 p.

Chaurey, Akanksha; Ranganathan, Malini; Mohanty, Parimita. Electricity access for geographically disadvantaged rural communities-technology and policy insights. *Energy Policy*. Vol. 32. Num. 15. Pp. 1693-1705. 2004.

CIAT. Accessibility Analyst. A simple and flexible A GIS tool for deriving accessibility models. 2001. Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical ([webapp.ciat.cgiar.org/access](http://webapp.ciat.cgiar.org/access)) 2001.

Çınar, Yüce; Yaman, Hande. The vendor location problem. *Computers & Operations Research*. Vol. 38. Num. 12. Pp. 1678-1695. 2011

Cliquet, Gerard (ed). *Geomarketing: Methods and strategies in spatial marketing*. 2001. Great Britain. ISTE. 2006. 327 p.

CONAPO. 2008. Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050. Consejo Nacional de Población. Sitio en Internet, visitado durante Febrero de 2011. [http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36&Itemid=234](http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=36&Itemid=234).

- CONAPO-CNA. Desigualdad Regional y Marginación Municipal en México, 1990. México, Consejo Nacional de Población- Comisión Nacional del Agua. 191 p. 1992.
- Coulter, E D; Sessions, J; Wing, M G. “Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics”. *Silva Fennica*. 40(1). 2006. 143-160.
- Cundric, A; Kern, T; Rajkovic, V. “A qualitative model for road investment appraisal”. *Transport Policy*. 15. 2008. 225-231.
- Diaz-Balteiro, L. and Romero, C. 2008. Making forestry with multiple criteria: a review and assessment. *Forest Ecology and Management*. 255:3222-3241.
- Dong, Yucheng; Xu, Yinfeng; Li, Hongyi, and Dai, Min. (2008). A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. *European Journal of Operational Research* 186 (2008) 229–242
- Donnges, Chris; Edmonds, Geoff; Johannessen, Bjorn. 2007. Rural road maintenance – Sustaining the benefits of improved access improving. International Labour Organization. Bangkok. 116 p.
- Driessen, P P J; Glasbergen, P; Verdas, C. “Interactive policy-making – a model of management for public works”. *European Journal of Agricultural Research*. 128. 2001. 322-337.
- Dugundji, Elenna R.; Páez, Antonio; Arentze, Theo A.; Walker, Joan L.; Carrasco, Juan A.; Marchal, Fabrice; Nakanishi, Hitomi. 2011. Transportation and social interactions. *Transportation Research Part A : Policy and Practice*. (45) 239-247.
- Durand, L; Vázquez, L. B. 2011. Biodiversity conservation discourses. A case study on scientists and government authorities in Sierra de Huautla Biosphere Reserve, Mexico. *Land Use Policy*. (Holanda). 28:76–82.
- Ebrahimi Nika, M.A.; Khademolhosseini, N.; Abbaspour-Fardb, M.H.; Mahdiniac, A.; Alami-Saiedd, K. (2009). Optimum utilisation of low-capacity combine harvesters in high-yielding wheat farms using multi-criteria decision making. *Biosystems Engineering*. 103:382-388.

- Fan, S; and Chan-Kang, C. Regional road development, rural and urban poverty: Evidence from China. *Transport Policy*. Vol. 15. Pp. 305–314. 2008.
- Feng, S; Li, Q; Yuwei, Y; Xi, T. “Optimization approach for reconstruction of road network under influence of spatial important activities”. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. 10(3). 2010. 64-68.
- Gallego, E.; Moya, M.; García, A.I. y Ayuga, F. (2008a). Valuation of low volumen roads in Spain. Part 1: Methodology Development. *Biosystems Engineering* (101):123-134.
- Garmendia, E; and Stagl, S. 2010. Public participation for sustainability and social learning: Concepts and lessons from three case studies in Europe. *Ecological Economics*. (Holanda). 69:1712-1722.
- Handa, Sudhanshu; Peterman, Amber; Davis, Benjamin; Stampini, Marco. Opening Up Pandora’s Box: The effect of gender targeting and conditionality on household spending behaviour in Mexico’s Progreso Program. *World Development*. Vol. 37. Num. 6. Pp. 1129-1142. 2009.
- Heinrich, Carolyn J.; Lopez, Yeri. Does Community Participation Produce Dividends in Social Investment Fund Projects? *World Development*. Vol. 37. Num. 9. Pp. 1554-1568. 2009
- Helland, Leif; Sorensen, Rune J. 2009. Geographical redistribution with disproportional representation: a politico-economic model of Norwegian road projects. *Public Choice* 139:5-19.
- Hernandez, Alvaro; Kempton, Willett. (2003). Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean & Coastal Management* (46) 507–526.
- Ho, William. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research* (186) 211–228.
- Holl, Adelheid. 2004. Manufacturing location and impacts of road transport infrastructure: empirical evidence from Spain. *Regional Science and Urban Economics*. 34:341-363.

- Ibem, Eziyi O. Community-led infrastructure provision in low-income urban communities in developing countries: A study on Ohafia, Nigeria. *Cities*. Vol. 26. Pp. 125-129. 2009.
- Imazeki, J. Teacher salaries and teacher attrition. *Economics of Education Review*. Vol. 25. Pp. 13-27. 2006.
- INAFED. 2007. Información hacendaria municipal. Banco de información municipal. Secretaría de Gobernación. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. D.F. México. URL: [www.inafed.gob.mx/wb/inafed09/datos\\_financieros\\_y\\_socioeconomicos\\_municipales](http://www.inafed.gob.mx/wb/inafed09/datos_financieros_y_socioeconomicos_municipales).
- INEGI. 2011. XII Censo de Población y Vivienda. Aguascalientes. Aguascalientes. México. [www.censo2010.org.mx](http://www.censo2010.org.mx).
- Jaarsma, C F. “Approaches for the planning of rural road networks according to sustainable land use planning”. *Landscape and Urban Planning*. 39(1). 1997. Pp. 47–54.
- Jenelius, E. “Network structure and travel patterns: Explaining the geographical disparities of road network vulnerability”. *Journal of Transport Geography*. 17(3). 2009. 234-244.
- Johansson, J; Hassel, H. “An approach for modelling interdependent infrastructures in the context of vulnerability analysis”. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(12). 2010. 1335-1344.
- Joumard, Robert; Gudmundsson, Henrik (eds). Indicators of environmental sustainability in transport. An interdisciplinary approach to methods. Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité. Bron cedex, France. 2010.
- Kanagawa, Makoto; Nakata, Toshihiko. Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries. *Ecological Economics*. Vol. 62. Num. 2. Pp. 319-329. 2007.
- Khandker, S. R.; Barnes, D. F.; Samad, H. A. Welfare Impacts of Rural Electrification: A Case Study from Bangladesh. Policy Research Working Paper no. WPS 4859. 2009. USA. The World Bank. 37 p. 2009.

- Kirkpatrick, S.; Gelatt, P.M. and Vecchi, P.M. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science* 220:671-680.
- Labonne, J; y Chase, R S. 2009. Who is at the wheel when communities drive development? Evidence from the Philippines. *World Development*. (Holanda). 37:219–231.
- Lebo, J., and D Schelling, “Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure Ensuring Basic Access for Rural Communities”, World Bank, Washington D.C. (2001), 110 p.
- Leskinen, Pekka. 2007. Comparison of alternative scoring techniques when assessing decision maker’s multi-objective preferences in natural resource management. *Journal of Environmental Management*. 85:363-370.
- Levasseur, M; Richard, L; Gauvin, L; and Raymond, E. 2010. Inventory and analysis of definitions of social participation found in the aging literature: Proposed taxonomy of social activities. *Social Science & Medicine*. (Holanda) 71:2141-2149.
- Liang; Liang; Wang, Guohua; Hua, Zhongsheng, y Zhang, Bin. (2008). Mapping verbal responses to numerical scales in the analytic hierarchy process. *Socio-Economic Planning Sciences* (42):46-55.
- Liu, Xingjian; Zhan, Benjamin F.; Ai, Tinghua. 2010. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 12S:s194-s202.
- Lu, Jie; Zhang, Guangquan; Ruan, Da; y Wu, Fengjie (2007). *Multi-objective group decision making: methods, software and applications with fuzzy set techniques*. Imperial College Press. 390 p.
- MacDonald, D. Teacher attrition: a review of literature. *Teaching and Teacher Education*. Vol. 15. Pp. 835-848. 1999.
- Mancebo Quintana, S; Martín Ramos, B; Casermeiro Martínez, MA; Otero Pastor, I. 2010. A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories -



- Evaluation of the impact of the Spanish strategic infrastructure and transport plan. *Journal of Environmental Management*. 91:1087–1096.
- Marr, Paul; Sutton, Christopher. 2007. Changes in accessibility in the Meseta Purepecha region of Michoacan, México: 1940-2000. *Journal of Transport Geography*. 15:465-475.
- Marshall, N. A. 2007. Can policy perception influence social resilience to policy change? *Fisheries Research (Holanda)*. 86: 216-227.
- Martínez F, E; Martín-Fernández, S; y García A, A. 2010. *Silvanet, Participación pública para la gestión forestal sostenible*. 1ª. Edición. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, España. 106 p.
- Maya, P A; Sörensen, K; Goos, P. “An efficient metaheuristic to improve accessibility by rural road network planning”. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*. 36(1). 2010. 631-638.
- Meng, Qiang and Yang, Hai. 2002. Benefit distribution and equity in road design network. *Transportation Research Part B*. 36:19-35.
- Mitchell, R.K.; Agle, B.R. and Wood, D.J. 1997. Toward a theory of stakeholder identification and salience: Defining the principle of who and what really counts. *The Academy of Management Review*. 22(4):853-886
- Módenes, Juan A. (2008). Movilidad especial, habitantes y lugares: retos conceptuales y metodológicos para la geodemografía. *Estudios geográficos LXIX (264)*:157-178.
- MONNIKHOFF, RENÉ A.H.; and BOTS, PIETER W.G. (2000). On the Application of MCD A in Interactive Spatial Planning Processes: Lessons Learnt from Two Stories from the Swamp. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis (9)*: 28–44.
- Morales Flores, Francisco Javier; Martín Fernández, Susana; Figueroa Sandoval, Benjamín. Social learning as a requirement for rural development: the connectivity of Salinas, San Luis Potosí,

- México. Selected Proceedings from the 13th International Congress on Project Engineering, AEIPRO, 2009. Badajoz, España. pp. 350-364. 2009.
- Morcousa, G; Lounis, Z. 2005. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms. *Automation in Construction*. 14:129– 142.
- Njoh, A J. 2011. Municipal councils, international NGOs and citizen participation in public infrastructure development in rural settlements in Cameroon. *Habitat International*. (Holanda). 35:101-110.
- Nordström, E.-M.; Romero, C.; Erikson, L. O.; y Öhman, K. 2009. Aggregation of preferences in participatory forest planning with multiple criteria: an application to urban forest in Lycksele, Sweden. *Canadian Journal of Forestry Research (Canada)*. 39:1979-1992.
- Nummela, O; Sulandera, T; Rahkonenb, O; Karistoc, A. and Uutela, A. 2008. Social participation, trust and self-rated health: A study among ageing people in urban, semi-urban and rural settings. *Health & Place*. (Holanda). 14:243-253.
- OCED. 2001. Citizens as Partners. OECD Handbook on information, consultation and public participation in policy-making. 1st ed. Organisation for Economic Co-operation and Development. Rome, Italy. 112 p.
- OECD. Revenue Statistics, 1965-2007. 2008. Italy. Organisation for Economic Co-operation and Development. 340 p.
- Oddershede, A; Arias, A; y Cancino, H. 2007. Rural development decision support using the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling (Holanda)*. 46:1107–1114.
- Olsson, L. “Optimal upgrading of forest road network: scenario analysis vs stochasting modeling”. *Forest Policy and Economics*. 9. 2007. 1071-1078.
- Owen, K. Karen; Obregón, Elizabeth J.; and Jacobsen, Kathryn H. A geographic analysis of access to health services in rural Guatemala. *International Health*. Vol. 2. Pp. 143-149. 2010.

- Parra-López, C; Calatrava-Requena, J; y de-Haro-Giménez, T. 2008. A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework. *Ecological Economics*. Holanda. 64:820-834.
- Pauwels, F.; Gulinck, H. Changing minor rural road networks in relation to landscape sustainability and farming practices in West Europe Agriculture. *Ecosystems and Environment*. Vol. 77. Pp. 95-99. 2000.
- Pérez, Joaquin; Jimeno, José L.; y Mokotoff, Ethel. (2006). Another Potential shortcoming of AHP. *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa* (14):99-111.
- Raju, K.S.; Pillai, C.S.R. (1999). Multi-criteria decision making in river basin planning and development, *European Journal of Operational Research* 112 (2):249–257.
- Rebolj, Danijel; Tibaut, Andrej; Cus-Babic, Nenad; Podbreznik, Peter. 2008. Development and application of a road product model. *Automation in Construction*. 17:719-728.
- Reed, M. S.; Graves, A.; Dandy, N.; Posthumus, H.; Hubacek, K.; Morris, J.; Prell, C.; Quinn, C. H.; y Stringer, L C. 2009. Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management* (Holanda). 90:1933-1949.
- Rico, A.; Hosco, J. M.; Téllez, R., Damián, S. A.; Pérez, A.; López, D. B.; Solorio, R.; Sánchez, M. A. (2002). *Sistemas de Evaluación de Pavimentos. Versión 1.0*. Sanfandila, México. Publicación técnica No. 208. Instituto Mexicano del Transporte.
- Riesgo, L; Gómez-Limón, J A. 2006. Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural Systems* (Holanda). 91:1–28.
- Rodrigue, Jean-Paul; Comtois, Claude ; Slack, Brian. 2009. *The geography of transport systems*. New York: Routledge, 352 p.
- Rodríguez-Oreggia, Eduardo; Rodríguez-Pose, Andrés. The regional returns of public investment policies in Mexico. *World Development*. Vol. 32. Num. 9. Pp. 1545-1562. 2004.

Rosas-Flores, Jorge Alberto; Rosas-Flores, Dionicio; Morillón Gálvez, David. Saturation, energy consumption, CO2 emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico. *Energy and Buildings*. Vol. 43. Num. 1. Pp. 10–18. 2011.

Rouse, Paul; Chiu, Tony. 2009. Towards optimal life cycle management in a road maintenance setting using DEA. *European Journal of Operational Research* 196:672–681.

Rowe, G. y Frewer, L. J. 2005. A Typology of Public Engagement Mechanisms. *Science, Technology, & Human Values (USA)*. 30:251-290.

Ruotoistenmäki, A; Seppälä, T. “Road condition rating based on factor analysis of road conditions measurements”. *Transport Policy*. 14. 2007. 410-420.

Saaty, T. L. 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw-Hill. New York. Ppp P.

Scaparra, M; Church, R L. “A GRASP and path relinking heuristic for rural network development”. *Journal of Heuristics*. 11. 2005. 89-108.

SEDESORE, 1998-2011. Avance Físico Financiero. Municipio de Salinas. SEDESORE. Secretaría de Desarrollo Social y Regional. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí. México.

SEDESORE. Sistema de Información del Desarrollo Social y Regional. Secretaría de Desarrollo Social y Regional. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. Pagina WEB: [www.sedesore.gob.mx/SIDESORE/sidesore.html](http://www.sedesore.gob.mx/SIDESORE/sidesore.html), visitada el 24 de abril de 2009.

SEP. ENLACE, Evaluación Nacional del Logro Académico en Centros Escolares. 2010. México. Secretaría de Educación Pública. [enlace.sep.gob.mx](http://enlace.sep.gob.mx). 2010.

SHCP. Presupuesto de egresos de la federación. SHCP. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. [www.shcp.gob.mx/egresos](http://www.shcp.gob.mx/egresos).

Sheffi, Y. *Urban Transport Networks: Equilibrium Analysis with mathematical programming methods*. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 1985. 399 p.

Shortall, S. 2008. Are rural development programmes socially inclusive? Social inclusion, civic engagement, participation, and social capital: Exploring the differences. *Journal of Rural Studies*. 24:450-457.

Shriar, Avrum, J. Regional integration or disintegration?. Recent road improvements in Petén, Guatemala: A review of preliminary economic, agricultural, and environmental impacts. *Geoforum*. Vol. 37 pp. 104–112. 2006.

Smailes, Peter J.; Argent, Neil; Griffin, Trevor L.C. Rural population density: its impact on social and demographic aspects of rural communities. *Journal of Rural Studies*. Vol. 18 Num. 4. Pp. 385-404. 2002.

Smith, Michèle and Barrett, Angeline M. Capabilities for learning to read: An investigation of social and economic effects for Grade 6 learners in Southern and East Africa. *International Journal of Educational Development*. Vol. 31. Pp. 23–36. 2011.

Stein, Eric W. and Ahmad, Norita (2008). Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) to Construct a Measure of the Magnitude of Consequences Component of Moral Intensity. *Journal of Business Ethics* Springer 2008

Taaffe, Edward J; Gauthier, Howard L; O’Kelly, Morton E. 1996. *Geography of Transport*. 2nd. Edition. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 422 p.

Teruel, Romeo G. Kuroda, Yoshimi. Public infrastructure an productivity growth in Philippine agricultura, 1974-2000. *Journal of Asian Economics*. Vol. 16. Pp. 555-576. 2005.

Tippett, J; Searle, B; Pahl-Wostl, C; and Rees, Y. 2005. Social learning in public participation in river basin management - early findings from HarmoniCOP European case studies. *Environmental Science & Policy*. (Holanda) 8:287-299.

Torres Vargas, Guillermo; Hernández García, Salvador. 2006. Propuesta metodológica para estimación del valor del tiempo de los usuarios de infraestructura carretera en México: El caso del

transporte de pasajeros. IMT Instituto Mexicano del Transporte. Publicación técnica 291. Sanfandila, Querétaro, México. 82 p.

Trigo, L; Costanzo, S. 2006. DEA-AHP. Cómo combinar dos metodologías de toma de decisiones.. 1a. edición. Estudio IESA 30. Caracas, Venezuela. 21 p.

Vaidya, Omkarprasad S.; y Kumar, Sushil. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169:1–29.

Walle, Dominique Van De. (2002). Choosing Rural Road Investments to Help Reduce Poverty. *World Development* (30) 4:575–589.

Wang, Ying-Ming and Elhag, Taha M.S. (2006). An approach to avoiding rank reversal in AHP. *Decision Support Systems*. (42):1474-1480.

Wolfslehner, B. y Vacik, H. 2011. Mapping indicator models: From intuitive problem structuring to quantified decision-making in sustainable forest management. *Ecological Indicators*. 11:274-283.

Woods, M. 2003. Deconstructing rural protest: the emergence of a new social movement. *Journal of Rural Studies*. (Holanda).19:309-325.

World Bank. World Development Indicators 2010. USA. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Green Press Initiative. 486 p. 2010.

Yagüe Blanco, Jose Luis. (2007). Modelo de regionalización para el desarrollo local. Aplicación a la república oriental del Uruguay. TESIS Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid.

Zhang, X; Fan, S. 2004. Public investment and regional inequality in rural China. *Agricultural Economics*. (Holanda). 30:89-100.

