

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Trabajo Final de Graduación

Caso de Estudio



**“SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE  
DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DE  
CARRETERAS”**

**ESTUDIANTE:**

**Fabricio Leiva**

**Profesor Tutor**

**Mauricio Arrollo**

**2005**

**SAN JOSÉ, COSTA RICA**

---

# **SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA ADMINISTRACIÓN DE CARRETERAS**

## **1. INTRODUCCIÓN**

La multi-dimensión de la administración de obras viales hace que esta tarea sea compleja y costosa. La agencia encargada de dicha administración (el MOPT o cualquier municipio) cuenta con sistemas que apoyan la gestión de elementos (sistemas de gestión de pavimentos y sistema de gestión de puentes) y actividades particulares relacionadas con la construcción y mantenimiento de obras viales (camino y carreteras). Esta práctica no siempre es la óptima desde la perspectiva del objetivo global de la agencia. El presente estudio propone crear una herramienta de planificación integral de la red, que permita alcanzar el objetivo global de la agencia, a través de evaluaciones técnicas y económicas. A dicha herramienta se le ha denominado Sistema de Gestión Vial (SGV) o Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP). Este sistema plantea una perspectiva alternativa con respecto a la manera de entender la red y a la forma de actuar sobre ella.

Un aspecto digno de tomarse en cuenta a la hora de realizar la administración de un proyecto o una red de carreteras es el de las políticas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. La selección de una adecuada política va de la mano con el adecuado análisis económico, el cual por lo general sólo considera el costo de los materiales y deja por fuera el costo o los gastos en que incurre el usuario por la mala condición de tránsito, lo cual es parte de la evaluación social de todo proyecto.

Como parte culminante de un proceso de análisis de sistemas de administración vial, se encuentra el problema del presupuesto, lo cual conlleva a un proceso de selección de las políticas y de la priorización de los tramos o sectores de la red donde se llevará a cabo determinada intervención, por lo cual se deben considerar aspectos como por ejemplo: importancia social y económica del tramo de carretera evaluado con la razón beneficio/costo, el presupuesto junto con el costo de las diferentes alternativas de mantenimiento, entre otros.

Dado que uno de los pasos para una buena administración es la selección de la alternativa óptima, se vuelve necesario el análisis de aplicabilidad de herramientas que ayude en esta toma de decisiones, de ahí que en este documento se analice la herramienta de sistemas de soporte para la toma de decisiones o DSS (por sus siglas en inglés: Decision Support Systems).

En los primeros capítulos se presenta una descripción de los elementos que sirven de insumo para el sistema de información y para la creación de la base de datos, luego se presentan modelos para la estimación de vida útil de los pavimentos, al igual que modelos técnicos, económicos y de priorización de inversiones para valorar las posibles políticas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción que necesite determinado tramo de carretera, para al final considerando estos insumos y modelos establecer una metodología que incorpore una herramienta para la toma de decisiones como los DSS, y así destinar de una manera más objetiva los recursos establecidos para la infraestructura de transporte.

## **2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES:**

GESTION DE PAVIMENTOS: Proceso de toma de decisiones económicamente efectivas acerca de diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras.

SISTEMA DE SOPORTE A LA DECISIÓN: Los sistemas de soporte para la toma de decisiones o DSS por sus siglas en inglés (Decision Support Systems, DSS) son herramientas basadas en computadora que auxilian en la toma de decisiones a los administradores o gerentes presentando información e interpretaciones de estrategias a seguir para evaluar y seleccionar entre varias alternativas, visualizándolas desde diversos escenarios.

SISTEMA DE GESTION DE PAVIMENTOS (SGP): Herramienta de soporte para la toma de decisiones utilizada para tomar decisiones económicamente efectivas concernientes a la administración de pavimentos.

### **2.1 SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS**

Los sistemas de gestión de pavimentos tienen dos enfoques de alcance:

- Nivel de red (enfoque a mantenimiento preventivo).
- Nivel de proyecto (enfoque a rehabilitación).

Los componentes fundamentales de un SGP:

- Inventario.
- Evaluación de condición actual.
- Análisis de necesidades.
- Priorización.
- Impacto de las decisiones de financiamiento.
- Retroalimentación.

El propósito de un SGP es establecer los requerimientos de presupuesto, programación y acciones de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. Para lo cual se requiere:

- Información concerniente a la actual condición de la red.
- Políticas de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción establecidas.
- Estimación del presupuesto disponible.
- Prioridades de la red (criterios económicos y sociales deben privar).
- Producto del análisis a nivel de red:
- Necesidades de fondos.
- Pronóstico de futuras condiciones.

Para el desarrollo e implementación de un SGP se requieren los siguientes recursos:

- Personal: administrativo y técnico.
- Estándares de desempeño.
- Políticas de planeamiento de presupuesto.
- Políticas sociales y ambientales.

Los SGP junto con los DSS proveen las herramientas para un análisis de decisiones en materia de administración vial. Ayudan a resolver preguntas como las siguientes: qué personal o política se debe implementar, cuándo y dónde.

**INVENTARIO DE DATOS.** Datos de carácter permanente, que sólo cambian cuando se realizan actividades muy localizadas.

- Localización (número de ruta).
- Tipo de carretera.
- Longitud.
- Tipo de pavimento y tipo de espaldones.
- Espesor de las capas integrantes del pavimento.
- Geometría del pavimento (número de carriles, ancho).
- Condiciones ambientales.
- Propiedades de los materiales.
- Registro de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción (historial).
- Secciones estructurales y geometría.

**DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS.** Estimado en el momento del diseño inicial y luego periódicamente monitoreado a lo largo de la vida de servicio del pavimento.

- Rugosidad.
- Roderas.
- Agrietamiento.
- Resistencia anti-deslizamiento.
- Otros defectos.

**CALIDAD DE LOS DATOS.** Los datos deben tener las siguientes características

- Repetibilidad, precisión y exactitud.
- Deben utilizarse instrumentos calibrados, en la medida de lo posible.
- Se requieren procedimientos y prácticas bien documentadas.
- Procedimientos de calibración validados.

- Sistemas de procesamiento y almacenamiento de datos.

TRANSITO. Aquí debe conocerse:

- Distribución vehicular (tipo de vehículos).
- Conocimiento del peso de los ejes componentes de los vehículos.
- Velocidades de tránsito, demoras y detenciones.

SISTEMA DE REFERENCIA. El sistema de referencia es esencial y debe ser respetado por el personal y los usuarios del SGP. Los diferentes métodos para referenciar las secciones de prueba son:

- Ruta / estaciones. Es lo más común en SGP.
- Nodos / tramos.
- Ramales / secciones.
- Sistemas de Información Geográfica (SIG).

DATOS DE DESEMPEÑO. Se clasifican en dos grupos:

- Desempeño funcional. Percepción del usuario con respecto a la habilidad de servicio del pavimento, confort, rugosidad y seguridad para el público.
- Desempeño estructural. Habilidad del pavimento para soportar la acción combinada del tránsito y del ambiente.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION. Una vez que la información ha sido recolectada, se procede a la aplicación de métodos de evaluación del pavimento, ya sea utilizando índices, analizando la información de tránsito o carga vehicular y almacenando la información para crear bases de datos para su futura utilización.

### INDICES DE EVALUACION

Permiten establecer cuál es la condición general del pavimento, a partir de la información recopilada en la auscultación del pavimento. Pueden contener parámetros únicamente estructurales, así como funcionales, dependiendo de las necesidades de información, propias para cada SGP. Hay dos tipos:

- Índices individuales para evaluar los pavimentos en sus características críticas. Se utilizan cuando los modos de falla son evaluados individualmente y son determinantes de una acción correctiva o reparación
- Índices combinados para evaluar el pavimento en su totalidad.

### 3. POLITICAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION (MR&R)

La selección de la mejor alternativa de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción para una sección de pavimento depende de:

- Condición actual del pavimento.
- Adecuación del tratamiento (intervención) para las condiciones actuales del pavimento.
- Vida útil del tratamiento.
- Costo de aplicar y mantener el tratamiento.

Un método simple es construir una curva de costos y establecer el punto más bajo de la curva.

CAUE = costo anual uniforme equivalente (colones / kilómetro).

$$CAUE = C / t + Mo + M * t^n$$

C: costo de construcción (colones / km)

Mo: costo de mantenimiento inicial (colones / km / año)

M: coeficiente de incremento de los costos de mantenimiento (colones / km / año)

n: exponente de la tasa de incremento de los costos de mantenimiento

t: vida útil del tratamiento.

El estado que presenta el pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario (Condición Funcional), como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante su período de vida útil (Condición Estructural), es el primer parámetro a evaluar para asignar las acciones de conservación más adecuadas.

El **Deterioro Funcional** del pavimento se relaciona principalmente con la calidad de la superficie de éste, y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentran la rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción.

El **Deterioro Estructural** del pavimento se origina por la pérdida de la capacidad estructural de una o más de sus capas componentes y/o la pérdida de capacidad estructural del suelo de fundación. Este deterioro se puede manifestar en forma de deformaciones o agrietamiento.

La Tabla 3.1 muestra el efecto de los tipos de deterioro sobre la capacidad estructural o funcional y el tipo de causa probable, para pavimentos asfálticos.

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

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

**Tabla 3.1. Tipos de deterioros en pavimentos asfálticos.**

Tipo deterioro o Defecto		Afecta la capacidad		Causa	
		Estructural	Funcional	Asociada a cargas	No asociada a cargas
Agrietamiento	Por fatiga	X		X	
	En bloque	X			X
	Juntas y bordes	X			X
	Deslizamiento	X		X	
	Reflexión	X		X	X
	Transversales	X			X
Deformaciones	Ahuellamiento			X	
	Corrugaciones		X		X
Desintegración	Baches	X	X	X	
	Pérdida de agregado		X		X
	Pérdida de ligante		X		X
Pérdida de Fricción	Pulimento del agregado		X	X	
	Exudación		X		x

Fuente: Referencia (1)

La Tabla 3.2 muestra las principales acciones o técnicas usadas en la actualidad para enfrentar los diversos tipos de deterioro.

La Tabla 3.3 muestra algunos tipos de deterioro y sus posibles causas, lo cual es necesario para complementar la Tabla 3.2, para ir determinando las posibles acciones de corrección a tomar.

**Tabla 3.2. Tipos de técnicas de MR&R en pavimentos asfálticos.**

Tipo de técnica	Actividad
Respuesta	Bacheo
	Sello de grietas
	Reemplazos puntuales
Conservación	Sello Neblina (Fog seal)
	Sello de agregados (TSB)
	Lechada Asfáltica
	Micropavimento
Rehabilitación	<b>Funcional</b>
	• Fresado
	• Recarpeteo
	<b>Estructural</b>
	• Recarpeteo
• Fresado y recarpeteo	
• Reciclado	

Fuente: Referencia (1)

**Tabla 3.3. Tipos de deterioros y sus causas probables.**

Tipo deterioro o Defecto		Descripción	Causa probable
Agrietamiento	Por fatiga	Grietas interconectadas formando polígonos pequeños	Excesiva deflexión del pavimento
	En bloque	Grietas que forman bloques de 1 a 3 metros	Esfuerzos producidos por cambios térmicos
	Juntas y bordes	Grietas lineales ubicadas cerca de los bordes o juntas del pavimento	Mezcla asfáltica subcompactada o base deficiente
	Deslizamiento	Grietas curvas, normalmente en grupos	Esfuerzos horizontales en zonas de frenada o partida de vehículos
	Reflexión	Se producen en recapados, reflejando grietas existentes en el pavimento subyacente	Movimientos diferenciales en la junta subyacente (por esfuerzos o diferenciales térmicos)
Deformaciones	Ahuellamiento	Deformación canalizada en la huella de circulación de los neumáticos	Deformación plástica de la mezcla o deformación de la base
	Corrugaciones	Abultamiento u ondulación de la mezcla	Desplazamiento de la mezcla producto de esfuerzos horizontales
Desintegración	Baches	Desprendimiento de la mezcla, formando hoyo redondeados	Excesiva deflexión del pavimento, etapa posterior al agrietamiento por fatiga
	Pérdida de agregado	Expulsión de agregados de la carpeta asfáltica	Defecto en la unión agregado-ligante
Pérdida de Fricción	Pulimento del agregado	Desgaste e las partículas en contacto con los neumáticos	Agregado de mala calidad
	Exudación	Migración del asfalto de la mezcla a la superficie	Mezcla mal diseñada (exceso de ligante o ligante blando)

Fuente: Referencia (1)

### **3.1 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE POLITICAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION**

Los procedimientos de selección se clasifican en los siguientes grupos de complejidad creciente:

#### **I - METODO MATRICIAL**

Se asocia el conjunto de fallas o deficiencias en el pavimento actual con la política de mantenimiento o rehabilitación que permita corregir la mayoría de problemas presentados. La asignación de los procedimientos óptimos de MR&R se basa en la experiencia y el juicio ingenieril.

#### **II - ÁRBOLES DE DECISION**

La asignación de la alternativa de MR&R óptima involucra la combinación de la clasificación funcional y tipo de fallas o deficiencias. Se basa en la premisa de que una carretera de alto volumen de tránsito no puede permitirse el mismo nivel de deterioro que una carretera secundaria. La experiencia y el juicio ingenieril juegan parte importante del proceso. Se selecciona la alternativa que satisfaga la peor condición de la sección en cuestión.

#### **III - METODO DE COSTO POR CICLOS DE VIDA**

Se evalúan diferentes alternativas de MR&R, considerando tiempo y dinero como variables. Utilizan diferentes modelos de desempeño, con base en modelos determinísticos y probabilísticos.

#### **MODELACION DE DESEMPEÑO**

Para estimar los años en que deben aplicarse medidas de mantenimiento, rehabilitación y reparación, es necesario predecir el ritmo con que se deterioran los criterios de calidad (tipos de falla, severidad y magnitud). Si se conoce la tasa de deterioro para un parámetro característico (ej: grietas transversales en pavimentos rígidos), es posible estimar los requisitos de mantenimiento.

Para establecer los modelos de deterioro se requiere:

- Una adecuada base de datos.
- Inclusión de las variables de deterioro significativas.
- Cuidadosa selección de la forma funcional del modelo, para representar la situación física real.
- Criterio para establecer la precisión del modelo.

Tipos de modelos:

- Determinísticos. Modelos de regresión que permiten estimar el valor de un índice de desempeño a partir de una serie de variables independientes (predicción).
- Probabilísticos. Modelos que permiten predecir un rango de valores de un índice de desempeño, que tienen asignados diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia.

#### MODELOS DETERMINISTICOS: REGRESION LINEAL

La regresión lineal es una herramienta estadística utilizada para correlacionar dos o más variables (parámetros). Lo que se busca es estimar (predecir) la variable dependiente (variable respuesta), a partir de las variables independientes.

El criterio de mayor aplicación es el principio de los mínimos cuadrados. Corresponde al ajuste que minimiza la sumatoria de los cuadrados de la diferencia entre la variable respuesta medida (observada) y la variable respuesta estimada (predicción).

Los modelos de regresión se usan tanto a nivel de proyecto, como a nivel de red. Se pueden basar en criterios de desempeño, así como en criterios mecanísticos.

Los modelos de regresión basados en los criterios de desempeño utilizan indicadores de desempeño, simultáneo a las propiedades estructurales, tránsito y ambiente, para predecir el índice de desempeño asociado a un instante "t". Los modelos de regresión basados en criterios mecanísticos se basan en la respuesta mecanística del pavimento, asociada con las propiedades estructurales del pavimento.

#### MODELOS PROBABILISTICOS: SERIES DE MARKOV

El modelo asume que la condición presente del pavimento en un instante "t1" es dependiente, únicamente, de la condición del pavimento en un instante "t0" (pasado). Además, la condición del pavimento en el instante "t2" (futuro) es dependiente de la condición del pavimento en el instante "t1" (presente). A partir de la condición presente, se establecen una serie de posibles escenarios para la condición futura del pavimento, cada uno con una cierta probabilidad asignada (probabilidades de transición).

#### MODELOS DE DESEMPEÑO CON BASE EN CONCEPTOS MECANISTICOS

Permiten predecir el desempeño del pavimento con base en la respuesta mecanística del pavimento, ante la aplicación de una carga. Se citan los modelos mas comúnmente utilizados para el diseño y predicción de la vida útil de una estructura de pavimento:

- El criterio de falla, el cual considera que el modelo está dado por la aparición de grietas en la superficie de la capa.
- El criterio de falla está dado por una deformación vertical permanente de 12.7 mm en la superficie de la subrasante.

#### **4. ANALISIS ECONOMICO**

El análisis económico se hace con el objetivo de seleccionar la opción de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción de menor costo global. El concepto de menor costo global depende de quién realiza el análisis:

Si es un concesionario → menor costo de construcción en el plazo de análisis.

Si es el Gobierno → menor costo para la Economía (incluyendo costos de operación).

Se deben considerar dos diferentes períodos:

- Vida útil. Período de tiempo que cada tipo de intervención va a durar, hasta alcanzar parámetros de condición inaceptables.
- Período de análisis. Período de tiempo para el cual la agencia quisiera realizar su programación.

##### **4.1 ELEMENTOS DE COSTOS A CONSIDERAR EN LAS OPCIONES DE MR&R**

- Costo inicial de construcción (año 0).

Se requiere conocer los costos unitarios por tipo de material y actividad constructiva.

Se requiere conocer las cantidades de cada tipo de material y actividad constructiva.

- Costo del mantenimiento rutinario (durante el período de análisis).

Debe considerarse los costos anuales de todas las actividades que afecten directamente el desempeño del pavimento.

- Valor de rescate (en el último año del período de análisis).

Puede determinarse a partir de un porcentaje definido del costo inicial de construcción.

Alternativamente, puede ser una función de la condición del pavimento al final del período de análisis (más realista).

- Costos de operación: tiempo de viaje, demoras, operación de los vehículos, accidentes, etc (durante el período de análisis).

### Cálculo del costo global actualizado de una alternativa estructural

La expresión para el cálculo del costo global de una alternativa dada es la siguiente:

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 - V.R.$$

Donde :

$C_G$  : Costo global actualizado de la alternativa

$C_1$  : Costo actualizado al año cero (o año de análisis) de la construcción del pavimento. Incluye el costo directo, los costos indirectos y la utilidad del constructor.

$C_2$  : Sumatoria de los costos anuales de la conservación rutinaria durante el periodo de análisis, actualizados al año cero.

$C_3$  : Sumatoria de los costos de las rehabilitaciones en los años previstos para su ejecución, debidamente actualizados al año cero.

V.R. : Valor residual de la estructura, actualizado al año cero.

La expresión detallada es:

$$C_G = C_1 + \left[ \frac{C_2^I}{(1+a)^1} + \frac{C_2^I}{(1+a)^2} + \dots + \frac{C_2^I}{(1+a)^n} \right] + \left[ \frac{R_i}{(1+a)^i} \right] - \frac{VR}{(1+a)^n}$$

Donde :

$C_G$  : Costo global actualizado de la alternativa

$C_1$  : Costo inicial de construcción (del año cero).

$C_2^I$  : Costo anual de la conservación rutinaria expresado en \$/año.

$a$  : Tasa de actualización del dinero

$n$  : Número de años del período del análisis.

$R_i$  : Costo de la rehabilitación prevista para el año  $i$ .

VR. : Valor residual de la estructura al término del año  $n$ , es decir al final del período de análisis económico.

### **4.2 METODOS DE ANALISIS ECONOMICO**

Existen varias opciones de análisis, las cuales se basan en los flujos de efectivo (programación anual de los elementos de costos):

#### VALOR PRESENTE NETO

Corresponde a la conversión de todos los costos futuros en dinero en términos del presente, utilizando el concepto del valor del dinero en el tiempo.

$$VP = VF / (1 + i)^n$$

Donde:

VP: valor presente de un costo futuro (moneda del año "0").

VF: valor futuro de un costo (moneda del año "n").

i: tasa de interés anual efectiva.

n: año donde se produce el costo VF.

Posteriormente se suman todos los flujos futuros, en términos de moneda del presente, y se establece el valor presente neto para la alternativa de intervención.

### COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE (CAUE)

Convierte todos los ítemes de costos presentes y futuros en un costo anual uniforme, durante el período de análisis.

$$CAUE (VP) = VP * [ i * (1+i)^n ] / [ (1 + i)^n - 1 ]$$

Posteriormente se suman todos los costos anuales equivalentes, de forma tal que se determina el costo anual uniforme equivalente para la intervención.

En cualquiera de los dos procedimientos de análisis, se selecciona la opción de intervención que represente el menor costo total (sea el menor valor presente neto o el menor costo anual uniforme equivalente).

### TASA INTERNA DE RETORNO O RENDIMIENTO

Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Se llama Tasa interna de rendimiento, ya que supone la re-inversión total de todas las ganancias de la empresa.

Con este método, una vez obtenido el VAN y saber su valor positivo, lo que se requiere es conocer el valor real de ese dinero, así que por medio de tanteos se trata de igualar la suma de los flujos descontados con la inversión inicial "P". Esto permite conocer el rendimiento real de la inversión.

En este método si TIR es mayor que el TMAR aplicado, se acepta la inversión.

## **5. PRIORIZACION EN SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS**

### **5.1 PRIORIZACION ANUAL**

Los programas de un sólo año deben derivarse a partir de una lista de proyectos prioritarios, de acuerdo con las restricciones presupuestarias.

La lista de proyectos prioritarios viene de:

- Método de análisis matricial.
- Árboles de decisión.
- Análisis de ciclos de costo de vida.

Deben considerarse, además, algunos costos adicionales para los proyectos que incluyan:

- Sistemas de drenaje.
- Pavimentación de espaldones.
- Alumbrado / iluminación.
- Medianeras.
- Ajustes geométricos.

El método de priorización está influenciado por las metas de la agencia, de acuerdo con criterios como:

- A ningún proyecto, a nivel de red, le será permitido caer por debajo de un cierto límite en el índice de condición del pavimento y/o condición de un(os) parámetro(s) específico (os).
- Los pavimentos en zonas de alto crecimiento económico recibirán atención prioritaria antes que los de zonas con menor crecimiento.
- Los pavimentos en zonas comerciales recibirán mayor atención prioritaria que los de otras áreas.
- Proyectos en áreas urbanas de alta población serán prioritarios.
- Proyectos en zonas turísticas serán prioritarios.

### **5.2 PROCESO DE PRIORIZACION**

Priorización por deterioro o desempeño. Se utilizan las determinaciones individuales de deterioro y/o desempeño para clasificar los proyectos. Se puede establecer un nivel crítico o límite de desempeño.

Priorización por indicadores combinados. Los diferentes indicadores individuales de deterioro y/o desempeño se combinan de acuerdo con un sistema de ponderación, para obtener un índice combinado (por ejemplo, 15 % para rugosidad, 65 % para deterioro superficial, 10 % para

resistencia al deslizamiento y 10 % para tránsito). La priorización se inicia con los proyectos más cercanos a un valor inaceptable para el indicador individual.

Priorización por un criterio compuesto. Corresponden a combinaciones de los métodos anteriores. Es el caso de que se considere un tipo de deterioro y/o desempeño como crítico, para establecer una primera selección de proyectos. Posteriormente los proyectos seleccionados se clasifican a partir del indicador de combinado de desempeño u otro criterio de falla o deterioro individual.

Priorización por menor costo inicial. Los proyectos se clasifican por medio del costo inicial (construcción). De esta forma, los proyectos de menos costo se ejecutan de primeros.

Priorización por menor costo presente neto. Se realizan análisis de ciclos de costo de vida para cada proyecto y se clasifican los proyectos de acuerdo con su costo presente neto. Se realizan los proyectos con menor costo presente neto de primeros. Alternativamente se puede utilizar el concepto de CAUE.

Priorización por razón beneficios / costos. En caso de que sean cuantificables los beneficios relacionados con el pavimento (crecimiento económico, producción, peajes, ahorro en costos de operación, etc), se calcula el valor presente neto de todos los beneficios (entradas de dinero) y se calcula la razón beneficios / costos.

$$B / C = \text{VPN (beneficios)} / \text{VPN (costos)}$$

Procedimiento de priorización multi-anual. Se debe utilizar el método de análisis de costos por ciclos de vida, definiendo las opciones de rehabilitación más económicas para cada sección de pavimento. Para cada proyecto de MR&R se evalúa su beneficio, analizando el área entre las curvas de desempeño de aplicar la medida de MR&R y no hacer nada. Dicha área puede ser afectada por el volumen de tránsito y la longitud de la sección, de la siguiente forma:

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

Donde:

B ajustado: beneficio relativo del proyecto (valor presente).

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

TPD: tránsito promedio diario.

Longitud: extensión del pavimento (km).

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

El proceso al final implica, para cada proyecto se determina el costo presente neto (C). Se calcula la razón beneficio-costo (B ajustado / C) para cada proyecto. Se priorizan los proyectos, seleccionándose primero los que presentan una razón beneficio-costo mayor. Para culminar con la selección de los proyectos con mayor razón beneficio - costo, hasta que se agota el presupuesto del período multi-anual.

## EFFECTO DEL PRESUPUESTO SOBRE LA LISTA PRIORIZADA DE PROYECTOS.

Cualquiera que sea el método de priorización, existen tres diferentes escenarios:

- El costo total de los proyectos a realizar es igual al presupuesto disponible → ejecutar todos los proyectos.
- El costo total de los proyectos excede el presupuesto disponible → deben postergarse algunos proyectos (año siguiente).
- El costo total de los proyectos está por debajo del presupuesto disponible → situación más deseable. Hay dos cursos de acción alternativos: utilizar un criterio de selección de proyectos más exigente (utilizar estándares de desempeño más exigentes) y utilizar el sobrante de presupuesto en otras actividades de inversión.

## **6. BENEFICIOS, COSTOS Y RAZON DE EFECTIVIDAD PARA ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS**

Los cálculos de los beneficios y costos de cada alternativa de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción son necesarios para la programación por prioridades.

### **6.1 RESUMEN DE COSTOS Y BENEFICIOS POR CONSIDERAR:**

#### I - COSTOS

##### COSTOS DEL ADMINISTRADOR

- Capital inicial de construcción.
- Costos de capital futuro, para construcción y/o rehabilitación.
- Costos de mantenimiento, durante la totalidad del período de diseño.
- Costos de ingeniería y administración.
- Costo de la inversión: carga financiera.

##### COSTOS DEL USUARIO

- Tiempo de viaje.
- Operación del vehículo.

- Accidentes.
- Incomodidad.
- Demoras y costos de reparación de los vehículos durante las operaciones de rehabilitación y mantenimiento.

#### COSTOS DE LOS NO USUARIOS

- Contaminación ambiental.
- Generación de ruido.
- Desorden.
- Impacto comercial e industrial.

Cada entidad reguladora del transporte debe elaborar su propia base de datos de costos. Aplica la fórmula de valor presente, en caso de utilizar un modelo de deterioro:

$$\text{VALOR PRESENTE} = \text{VALOR FUTURO} / (1 + \text{TASA INTERES}/100)^{\text{(DIF. AÑOS)}}$$

#### II - BENEFICIOS

Se derivan de las reducciones directas e indirectas de costos, así como de las ventajas para negocios, uso de la tierra, estética y actividades comunitarias. En caso de concesiones, la principal ganancia se deriva del cobro de peajes.

Los principales beneficios para los usuarios se sintetizan en los siguientes:

- Un alto nivel en el índice de habilidad de servicio, determina reducción en el tiempo de viaje.
- Conforme se reduce el número de intervenciones (MR&R), el tiempo de viaje se reduce.
- Un alto nivel en el índice de habilidad de servicio determina menores costos de operación.
- Un beneficio adicional es el valor residual, que representa el valor económico del pavimento al final del período de análisis.

EFFECTIVIDAD: área neta bajo la curva de deterioro (área sobre el nivel mínimo aceptable menos área bajo el nivel mínimo aceptable).

$$\text{Efectividad} = [\sum (PQI_{reh} - PQI_{min}) - \sum (PQI_{min} - PQI_{nec})] * [TPD] * [longitud]$$

Donde:

PQI: índice de calidad del pavimento, considerando tres condiciones: pavimento rehabilitado, pavimento necesitando una rehabilitación y nivel mínimo (constante).

TPD: tránsito promedio diario de la sección.

Longitud: longitud de la sección (km).

### III - RAZON EFECTIVIDAD – COSTOS

No tiene sentido económico, a no ser que se relacione efectividad con beneficios económicos (de los usuarios), pero es válido para la comparación de alternativas de rehabilitación (programación y priorización de necesidades).

## **7. APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES**

El procedimiento de análisis es una herramienta para la toma de decisiones, pero no representa una decisión única de por sí. Debe establecerse claramente a qué nivel se realizará la evaluación. Por ejemplo, análisis de inversiones a nivel de red, optimización a nivel de proyecto, desarrollo de estrategias según análisis de ciclos de vida.

Los criterios, reglas y guías para la toma de decisiones deben estar claramente definidos, antes de que se realice la evaluación económica.

La evaluación económica no se relaciona con el método o fuente de financiamiento. Las fuentes de financiamiento pueden limitar el número de proyectos potenciales (red) o limitar la cantidad disponible para un proyecto particular, pero no afectan el método. Debe considerarse todas las opciones técnicas factibles.

Todas las opciones se consideran sobre el mismo período de tiempo. Debe proyectarse un período de tiempo del que se tenga información de cierta confiabilidad. Se incluyen los costos del administrador, así como los beneficios y costos del usuario, en la medida de lo posible.

### **7.1 SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES**

Un DSS generalmente se compone de reglas y mecanismos, dentro una base de conocimiento organizacional donde se encuentran diferentes alternativas a la solución de un problema específico. Con esto, el administrador puede visualizar qué pasará si decide toma una decisión o si decide cambiarla y combinarla con otros escenarios.

Las herramientas DSS tienen como objetivo apoyar la toma de decisiones mediante la aplicación de modelos matemáticos (modelos de desempeño con base en conceptos mecanísticos) y estadísticos (series de Markov) , o de conocimiento específico a un problema particular. La Fig. 7.1 muestra las diferentes categorías de los DSS.



**Figura 7.1. Categorías de los DSS**

Más concretamente, las herramientas DSS se pueden definir como un sistema integrado de planificación y tratamiento de la información que incorpora la habilidad de interrogar al sistema de información de la empresa en una forma determinada, analizar la información obtenida y predecir, con base en unos modelos determinados, el impacto de las futuras decisiones antes de llevarlas a la práctica. Normalmente se trata de conjuntos integrados de programas (cálculos estadísticos, consultas de bases de datos, modelación, programación matemática, etc.) que pueden compartir los mismos datos e informaciones (tanto de fuentes internas como externas).

Las características que debe tener un DSS para aplicarlo a la administración de carreteras son:

- **Interactividad:** Interactuar en forma amigable y con respuestas a tiempo real con el encargado de tomar decisiones.
- **Tipo de Decisiones:** Apoya el proceso de toma de decisiones estructuradas y no estructuradas.
- **Frecuencia de Uso:** Tiene una utilización frecuente por parte del especialista.
- **Flexibilidad:** Permite acoplarse a una variedad determinada de estilos de decisión: Autocráticos, Participativos, etc.
- **Desarrollo:** Permite que el usuario desarrolle de manera directa modelos de decisión sin la participación operativa de profesionales en informática.
- **Interacción Ambiental:** Permite la posibilidad de interactuar con información externa como parte de los modelos de decisión.
- **Comunicación Interorganizacional:** Facilita la comunicación de información relevante de los niveles altos a los niveles operativos y viceversa.
- **Acceso a Base de Datos y Conocimiento:** Tiene la capacidad de acceder información de las bases de datos y la base de conocimiento.
- **Simplicidad:** Simple y fácil de aprender y utilizar por el usuario final.

Los problemas que el sistema para la toma de decisiones resuelve deben ser semi-estructuradas. Existen componentes estructurados (datos fijos, modelos o reglas de decisión), pero la decisión final pertenece al humano. La Fig. 7.2 muestra un esquema del funcionamiento de los sistemas para la toma de decisiones.

Dentro de los modelos que se utilizan para los DSS se encuentran:

- Modelos de escala
- Modelos análogos
- Modelos matemáticos (son los más utilizados)
- Simulación

No basta con utilizar un modelo para implementar el DSS, también es necesario seguir un proceso de toma de decisiones; para esto son necesarias las siguientes fases:

- **Fase de inteligencia:** Incluye organizar los objetivos, recolección de datos, identificación del problema por resolver.
- **Fase de diseño:** Incluye formulación del modelo por utilizar, establecer los criterios, buscar diferentes alternativas
- **Fase de selección:** Incluye la solución, análisis de sensibilidad, seleccionar las mejores alternativas y un plan de implementación de la solución.

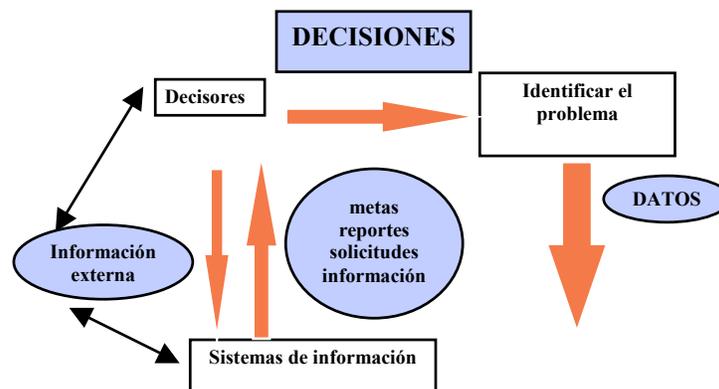


Figura 7.2. Sistemas para la toma de decisiones y solución de problemas

## 7.2 COMPONENTES DE LOS DSS

Los DSS ofrecen almacenamiento y recuperación de datos pero mejorando las funciones de acceso y recuperación tradicionales con ayudas para la construcción y el razonamiento basado en el modelo. Además, ayudan en la estructuración, modelado y resolución del problema.

Los DSS tienen, tres componentes fundamentales, los cuales aplicados a la administración de carreteras dan como resultado:

- a) **Sistema de Gestión de las Bases de Datos (SGBD):** Son los bancos de datos para los DSS. Separan al usuario de los aspectos físicos de la estructura, contenidos y procesamiento de la base de datos. Aquí se almacena:

#### Inventario de datos.

- Localización (número de ruta).
- Tipo de carretera.
- Longitud.
- Tipo de pavimento y tipo de espaldones.
- Espesor de las capas integrantes del pavimento.
- Geometría del pavimento (número de carriles, ancho).
- Condiciones ambientales.
- Propiedades de los materiales.
- Registro de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción (historial).
- Secciones estructurales y geometría.

#### Desempeño de pavimentos.

- Rugosidad.
- Roderas.
- Agrietamiento.
- Resistencia anti-deslizamiento.
- Otros defectos.

- b) **Sistema de gestión de la base del modelo (SGBM):** El papel del SGBM es análogo al del SGBD. Su función principal es dar independencia entre los modelos específicos usados en el DSS y las aplicaciones que los usan. El objetivo es transformar datos en información útil para la toma de decisiones. Por lo no estructurado de muchos problemas, debería de asistir también en la construcción del modelo. Aquí se incluyen:

#### Tipos de modelos:

- Determinísticos.
- Probabilísticos.

#### Métodos de análisis económico

- Cálculo del costo global actualizado de una alternativa estructural
- Valor presente neto
- Costo anual uniforme equivalente (caue)
- Tasa interna de retorno o rendimiento
- Razón efectividad - costos

#### Proceso de priorización:

- Priorización por deterioro o desempeño.
- Priorización por indicadores combinados.
- Priorización por un criterio compuesto.
- Priorización por menor costo inicial.
- Priorización por menor costo presente neto.
- Priorización por razón beneficios / costos.
- Procedimiento de priorización multi-anual

- c) **Sistema de generación y gestión del diálogo (SGGD).** El principal producto de la interacción con un DSS es la profundización en el problema. Como los usuarios son a menudo gestores sin formación informática, se necesitan interfaces intuitivos y fáciles de usar. Estos interfaces ayudan en la construcción del modelo y en la interacción con el mismo, proporcionando una visión y unas recomendaciones.

## **VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE A LA DECISIÓN**

Las principales ventajas de este tipo de sistemas son las siguientes:

- Analizan y procesan importantes volúmenes de información necesaria para la correcta toma de decisiones.
- Rápido acceso a la información.
- Algunos de estos sistemas ya vienen preparados para poner en marcha rápidamente sistemas integrados de medición de objetivos u otros indicadores clave, por áreas estratégicas o áreas de responsabilidad y su control.
- Presentan a través de un interfaz amigable y de fácil manejo, una visión clave de la organización según los factores críticos definidos en su creación.
- Permiten el análisis de datos en línea y en tiempo real, a través de múltiples perspectivas, geográfica, productos, distribución, buscar patrones estadísticos significativos (relaciones entre datos o segmentación), entre otros
- Se puede trabajar con información interna de la empresa procedente de distintas bases de datos, hojas de cálculo, informes de texto o cualquier otra fuente, y también con información externa de cualquier tipo.

## **LAS DESVENTAJAS SON:**

- Alto costo de adquisición y mantenimiento.
- No es rentable para pequeños volúmenes de información.

La desventaja del costo no es significativa, ya que el sistema traerá más beneficios y el retorno de la inversión es rápido.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Actualmente las organizaciones buscan tener los mejores sistemas computacionales que ayuden a toda la empresa, en este caso los sistemas de ayuda a la toma de decisión son muy relevantes ya que muchas decisiones que se deben de tomar diariamente son apoyadas al utilizar el DSS.

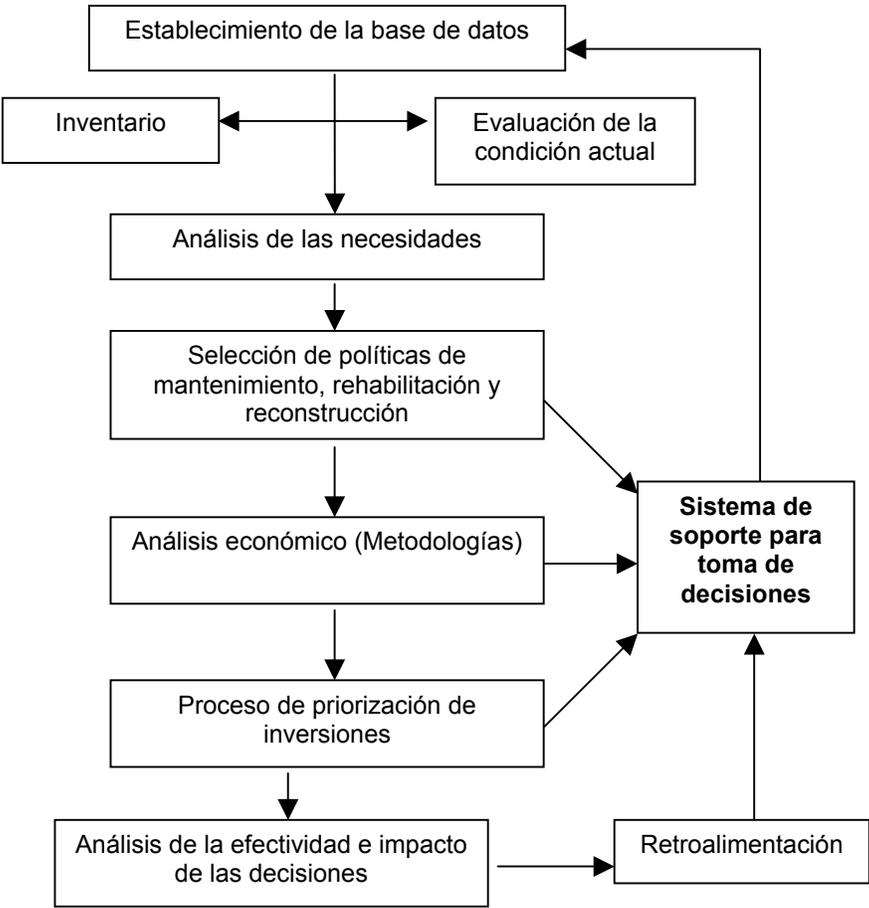
Podemos decir que un DSS ha reducido las barreras tecnológicas y hace mas fácil con menos costo y menor tiempo la realización de decisiones relevantes con un modelo bien realizado para los administradores y directivos, usuarios de staff. Las herramientas de soporte administrativo analizan, sintetizan y permiten utilizar la información de negocios en la toma de decisiones, logrando así convertir la información en conocimiento que puede ser compartido y utilizado a través de las herramientas de administración.

Las empresas que deseen implementar un sistema de soporte a la decisión (en este caso el MOPT y las municipalidades) deben de definir sus objetivos estratégicos y determinar cuáles modelos son los que realmente le ayudarán.

Se ha determinado con este estudio, la satisfactoria aplicabilidad de un sistema de soporte para la toma de decisiones en la administración de carreteras, aplicando conocimientos técnicos relacionados con modelos de desempeño de las estructuras de pavimento, conocimientos de evaluación de la condición de las carreteras, comparación y evaluación de metodologías de análisis económico de proyectos, conocimientos en técnicas de priorización de inversiones, para finalmente aplicar conocimientos informáticos para el desarrollo completo de un sistema de gestión de pavimentos.

El esquema final de cómo se incorpora un DSS a un sistema de administración de carreteras se muestra en la Figura 8.1. Aquí se observa como un sistema de información necesita de un soporte o herramienta para la toma de decisiones, que como se ha observado en nuestro país, no ha sido bien aplicado, ya que las municipalidades o gobiernos locales no cuentan con sistemas de información que ayuden a resolver el problema del mal estado de las carreteras y la mala utilización de los recursos. Lo que se tiene es tan complicado de aplicar como el HDM (Highway Development and Management System) cuyo problema principal es su complejidad y la gran cantidad de información que necesita ser recolectada, de ahí que surja el deseo por retomar la teoría y replantear la forma más acorde con las condiciones de nuestro país, de una forma clara y sencilla con el fin de que la administración pueda realizar su labor con mayor efectividad y con la transparencia necesaria.

Se recomienda a los administradores de carreteras de Costa Rica retomar los principios y teoría básica con respecto a los Sistemas de Gestión de Pavimentos y aplicar los conocimientos y herramientas que ofrece la teoría de sistemas de información necesarios para llevar un orden y sobre todo, para aplicar los principios de transparencia, tan necesarios en la administración pública. Con esto se pretende que cada municipalidad, por ejemplo, cuente con un sistema de información desarrollado a la medida, de tal forma serán partícipes no sólo como usuarios sino también como impulsores y desarrolladores del sistema y aparte que apliquen herramientas facilitadoras de la toma de decisiones.



**Figura 8.1. Esquema de funcionamiento de un sistema de administración de carreteras, incorporando un sistema de soporte para la toma de decisiones.**

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Centro de ingeniería e investigación vial. **Guía para la selección, diseño y construcción de sellos asfálticos de conservación**. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2002.
2. Elizondo, Mónica. **Sistemas de soporte a la decisión: ¿Cómo ayudan a la toma de decisiones en la empresa?** Julio, 2002.
3. H L Theyse. **Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Analysis Method**. TRANSPORTEK, CSIR, 1996.
4. Huang, Yang H. **Pavement Análisis and Design**. Prentice Hall. USA, 1993.
5. Maya, Julián. **Sistemas de Información para la ayuda en la Toma de Decisiones (DSS)**. Universidad EAFIT, 2003.
6. National Cooperative Highway Research Program, ARA, Inc., ERES Division. **Project NCHRP 1-37A. Guide for Mechanistic-Empirical Design**. March 2004
7. Power, D.J. **A Brief History of Decision Support Systems**\_ DSSResources.com, version 2.8.
8. Restrepo, Sandra. **Trayectoria de los Sistemas de Apoyo/Soporte a las Decisiones (DSS o Decision Support Systems)**. Universidad EAFIT, 2004.
9. Solminihaç, Hernán. **Gestión de la Infraestructura vial**. Ediciones Universidad Católica de Chile. 1998.
10. Thenoux, Guillermo. **Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito**. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2002.
11. Vásquez V, Luis Ricardo. **Funciones de transferencia en el procedimiento de diseño empírico-mecanístico de pavimentos flexibles**. Universidad Nacional de Colombia. 2001.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES:.....	3
2.1 SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS.....	3
INVENTARIO DE DATOS.....	4
DESEMPEÑO DE PAVIMENTOS.....	4
CALIDAD DE LOS DATOS.....	4
TRANSITO .....	5
SISTEMA DE REFERENCIA.....	5
DATOS DE DESEMPEÑO.....	5
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.....	5
3. POLITICAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION (MR&R).....	6
3.1 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DE POLITICAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION.....	9
4. ANALISIS ECONOMICO .....	11
4.1 ELEMENTOS DE COSTOS A CONSIDERAR EN LAS OPCIONES DE MR&R.....	11
4.2 METODOS DE ANALISIS ECONOMICO.....	12
5. PRIORIZACION EN SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS .....	14
5.1 PRIORIZACION ANUAL.....	14
5.2 PROCESO DE PRIORIZACION.....	14
6. BENEFICIOS, COSTOS Y RAZON DE EFECTIVIDAD PARA ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION DE PAVIMENTOS .....	16
6.1 RESUMEN DE COSTOS Y BENEFICIOS POR CONSIDERAR .....	16
7. APLICABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES .....	18
7.1 SISTEMAS DE SOPORTE PARA LA TOMA DE DECISIONES.....	18
7.2 COMPONENTES DE LOS DSS.....	20
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
9. BIBLIOGRAFÍA .....	25