



EL MODULO GEOGRAFICO DEL SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

Instituto Mexicano del Transporte
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Publicación Técnica No.92 Sanfandila, Qro. 1997

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

EL MODULO GEOGRAFICO DEL SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

Publicación Técnica No.92 Sanfandila, Qro. 1997

Resumen

El Módulo Geográfico es por definición el subsistema que permite localizar, analizar y representar geográficamente la información de los tramos de carreteras atendidas por el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP), el cual forma parte fundamental de la vertiente técnica contemplada dentro de la Estrategia Nacional de Conservación propuesta por el Instituto Mexicano del Transporte.

Desarrollado con base en la plataforma del Sistema de Información Geográfica (SIG) ARC/INFO, el Módulo Geográfico cumple con el objetivo de proporcionar imágenes gráficas de la ubicación y patrón de distribución territorial del deterioro de los caminos y de las variables representativas de la operación del transporte, relacionando a cada tramo los datos procesados en los módulos técnico y económico del propio SIMAP; sin duda, constituye una herramienta que puede contribuir a la toma de decisiones y a la formulación de programas de trabajo, desde la perspectiva geográfica, de la problemática del mantenimiento de la infraestructura vial.

El Módulo Geográfico se estructura operativamente en funciones de consulta y correlación de datos, despliegue visual y análisis territorial y, por último, elaboración de mapas. Se presenta como ejemplo de aplicación el estudio de caso realizado con base en las redes de caminos del estado de Querétaro, mediante el cual se corrobora la importancia de incorporar la dimensión espacial a la estrategia de conservación de las carreteras.

El presente trabajo fue elaborado en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por la Geog. Gabriela García Ortega, Investigadora Titular, y el Geog. Miguel Ángel Backhoff Pohls, Investigador Titular del mismo Instituto y profesor de la División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se destaca la participación del C. Juan Carlos Vázquez Paulino y del Ing. Magdaleno Valerio Fuentes, Investigadores Asociados del IMT, en la elaboración del material cartográfico y la edición del texto final del documento. Se reconocen los valiosos comentarios y observaciones de los Ingenieros Alfonso Rico Rodríguez y Tristán Ruiz Lang, Coordinador Operativo y Coordinador de Vinculación Sectorial del IMT respectivamente.

Contenido

LISTA DE	FIGURAS	1
RELACION	N DE CUADROS	II
Resumen		1
Abstract		2
Introducció	ón	3
1 Marco	de Referencia. 1.1 Situación actual de la red federal de carreteras de México. 1.2 Estrategia de Conservación. 1.3 Sistemas de Administración de Pavimentos. 1.4 Complementariedad entre los Sistemas de Administración de Pavimentos y de Información	5 6 7 13
	Geográfica. 1.5 Objetivos y alcances.	15 18
2 Importa	ancia y Utilidad del Apoyo Geográfico.	21
3 Creació	ón y Organización del Sistema de Información. 3.1 Construcción del Sistema de Información del	39
	Módulo Geográfico del SIMAP. 3.2 Preparación de la información geográfica	41
	conforme a los requerimientos del SIMAP. 3.3 Asociación de la información geográfica a las	52
	bases de datos del Módulo Técnico del SIMAP. 3.4 Asociación de la información geográfica a las bases de datos del Módulo Económico del SIMAP.	64 67
4 Plantea	amiento Funcional del Módulo Geográfico. 4.1 Objetivos y organización del Módulo Geográfico. 4.2 Los nuevos aportes del SIMAP.	70 71 79
Conclusion	nes	82
Bibliografía	a.	86

Lista de Figuras

Figura 1.1	MAPA. Condición de la red básica federal en 1990.	9
Figura 3.1	MAPA. Red de caminos del estado de Querétaro.	46
Figura 3.2	Representación Gráfica en coordenadas cartesianas de los rasgos Geográficos.	49
Figura 3.3	El concepto topológico de CONECTIVIDAD.	53
Figura 3.4	El concepto topológico de CONTIGÜIDAD.	54
Figura 3.5	El concepto topológico de DEFINICIÓN DE AREAS.	55
Figura 3.6	MAPA. Identificadores de los segmentos de la red federal de carreteras.	59
Figura 3.7	MAPA. Utilización de referencias de orientación para la definición de los códigos de identificación.	65
Figura 3.8	MAPA. El código de identificación como recurso de localización.	66
Figura 4.1	Relación de la organización del Módulo Geográfico y ARC/INFO.	72
Figura 4.2	Estructura de los programas que conforman el Módulo Geográfico.	74
Figura 4.3	MAPA. Formato de presentación cartográfica.	75
Figura 4.4	MAPA. ¿ Qué está en los elementos seleccionados ?.	77
Figura 4.5	MAPA. Ubicación de segmentos que cumplen determinadas condiciones.	78

Relación de Cuadros

Cuado 1.1	Estado del pavimento de la red básica federal por entidad en 1990.	8
Cuadro 2.1	El Módulo Técnico del SIMAP.	25
Cuadro 2.2	El Módulo Económico del SIMAP.	32
Cuadro 3.1	Clasificación de la información geográfica.	41
Cuadro 3.2	Rasgos Geográficos y Grupos Temáticos.	43
Cuadro 3.3	Centro S.C.T. Querétaro. Jurisdicción de la red por residencia, sobrestantía y cuadrilla.	45
Cuadro 3.4	Sistema de Información Geográfica del SIMAP.	47

The Geographic Module is by definition the subsystem that allows to locate, analize and give a geographic representation to the information of the road links being studied by the Mexican Road Management System (SIMAP), which is a fundamental part of the technical edge of the National Maintenance Strategy proposed by the Mexican Transport Institute.

Developed on the Geographical Information System (GIS) ARC/INFO, the Geographic Module satisfies the objective of giving graphical images of the location and territorial distribution pattern of the road damage and of the representative variables of transport operation, relating to each road-link the processed data in the technical and economic modules of SIMAP; no doubt, it is a tool which can contribute in the decision making process and in the formulation of task programs, from the geographical perspective, of the maintenance problems of the road infrastructure.

The geographic module is operatively structured in consultating functions and data correlation, visual display and territorial analysis and, finally, map elaboration. It is presented as an application example, the case study performed on the road network of the state of Querétaro, which allows to proof the importance of incorporating the spatial dymension to the road maintenance strategy.

Introducción

Las cada vez más urgentes necesidades de solución al problema de la conservación del patrimonio carretero nacional condujeron, dentro del Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.), de manera más firme y decidida el interés de trabajo de varias de sus áreas hacia temas relacionados con el mantenimiento de la red vial, los que bajo dirección expresa han ido con el tiempo conformando y robusteciendo la "Estrategia Nacional de Conservación", propuesta por el Instituto a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.).

En esta línea, el denominado Módulo Geográfico constituye un aporte dentro del marco de la Estrategia de Conservación, en virtud de que su objetivo fue el de fortalecer la labor desempeñada por el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos planteado por la S.C.T. desde los años 60's y materializado hasta años recientes por el I.M.T.

La conformación del citado módulo tuvo en los orígenes de su concepción dos propósitos, uno vinculado a la necesidad de validar con hechos la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas susceptibles de incorporarse, con éxito, a la Gestión del Transporte y el otro, directamente relacionado con una demanda de principio del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP), consistente en materializar la participación de la dimensión espacial como elemento activo en la atención de la conservación carretera.

Los resultados obtenidos son muestra cabal del cumplimiento de ambos objetivos. En el primer caso, se comprobó la utilidad de los SIG como recursos de apoyo en múltiples áreas del sector transporte; en particular, al interior de la Estrategia de Conservación pueden ser considerados incluso, como parte del herramental que requieren las metodologías de trabajo que la integran, bien en forma de aplicaciones concretas, como el Módulo Geográfico, o desde la plenitud del sistema avocado a facilitar el análisis espacial de los problemas en estudio.

Respecto al segundo objetivo, puede afirmarse que utilizando las funciones y capacidades de un SIG, el SIMAP ha potenciado y ampliado sus capacidades al disponer del soporte geográfico que demandaba e incorporar a sus funciones algunas posibilidades de análisis y manejo territorial de la información.

El Módulo Geográfico representa entonces, el primer esfuerzo por dotar, en

forma explícita, de sustento territorial al SIMAP; ya sea a través del manejo y expresión gráfica de la información espacial correspondiente, como de una serie de funciones de análisis geográfico, seleccionadas conforme a los propósitos de trabajo del sistema.

Por medio de sus capacidades y funciones, el módulo ofrece al Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, entre otras de sus ventajas, la posibilidad de ubicar geográficamente cualquier rasgo, consultar la información que caracteriza a todo segmento o tramo de la red federal, efectuar procesos de correlación espacial de variables y representar cartográficamente todos los resultados de trabajo de los módulos Técnico y Económico.

A fin de desplegar sus capacidades de apoyo, el módulo, como condición, debe contar en formato digital con la información geográfica básica del área de trabajo, integrada en primer término por la red carretera federal, objeto de trabajo del SIMAP, así como por algunos otros rasgos de interés que a la vez de servir de referencias, como la red carretera estatal, los límites político-administrativos de la zona y las localidades asentadas en la misma, amplían las posibilidades de análisis y enriquecen la interpretación de los comportamientos espaciales del fenómeno observado.

Con la intención de dar respuesta cabal a las necesidades de manejo y análisis espacial del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, el diseño y la elección de funciones del Módulo Geográfico estuvieron apoyados en un ejercicio de prueba, cuyo universo de trabajo correspondió al estado de Querétaro; por medio de esta aplicación, fue posible probar el funcionamiento y la viabilidad del módulo, comprobar su utilidad e identificar las necesidades de información, precisar sus características, requerimientos y previsiones (por ejemplo, considerar las generalidades y excepciones del objeto de trabajo, es decir, la red carretera federal) y finalmente constituir las metodologías de adquisición y preparación del sistema de información geográfica en su conjunto.

De ahí que el denominado estudio piloto (aplicación del Módulo Geográfico en la red carretera federal del estado de Querétaro), constituya una referencia constante, tanto en la fundamentación de criterios y consideraciones en las que se sustenta la concepción del módulo, como en la descripción de las metodologías de captura y preparación de sus insumos de trabajo.

1. Marco de Referencia

En general, puede decirse que la tendencia en el mundo en materia de caminos ha sido, hasta fechas muy recientes, la de privilegiar su construcción sin considerar en una justa dimensión la trascendencia de las labores de mantenimiento, cuyo objetivo es preservar ese patrimonio en el estado que mejor convenga, a fin de garantizar por un lado, el funcionamiento de la vía (transitabilidad y economía) y por el otro, la seguridad de los usuarios.

La conservación de la infraestructura para el transporte está llamada a ocupar, cada vez con mayor convencimiento, un lugar destacado en el quehacer de los organismos responsables de crear y administrar la red de caminos de una nación; no obstante, conviene advertir, la magnitud del problema es tal, que con el reconocimiento no basta, es indispensable el planteamiento de nuevos enfoques para organizarla y llevarla a cabo.

En la actualidad y a nivel mundial, la conservación vial representa un reto enorme debido entre otras causas a que la planeación de la construcción de la red de caminos no tomó del todo en cuenta la evolución que con el tiempo tendrían los flujos y las cargas ni previó los costos de mantenimiento asociados a la operación de las vías; en otras palabras, a que el trabajo se concentró en la construcción y subestimó el papel de la conservación.

El resultado es que hoy, especialmente en los países subdesarrollados en donde los recursos son particularmente escasos, las desproporciones entre la magnitud de las tareas de conservación por realizar y la disponibilidad de recursos económico-financieros, humanos y materiales para hacerles frente son significativas.

En América Latina por ejemplo, según datos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), se estima que el costo de reposición de la infraestructura carretera es superior a los 200,000 millones de dólares, es decir, 90,000 dólares por Km de camino en promedio, cifras que no obstante su magnitud, se considera pueden estar aún por debajo del valor real (1).

En el caso de México, la conservación de la red carretera constituye hoy uno de los principales motivos de preocupación de la política nacional en materia de transporte. La infraestructura de comunicaciones y transportes, destaca el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000, ocupa un lugar de importancia estratégica en el esquema de acción global del país, tendiente a alcanzar la

⁽¹⁾ Rico R., A. Algunos problemas de las políticas de conservación en Latinoamérica, Nota 43, I.M.T. (circulación interna), 1992.

reactivación de la economía y asegurar el crecimiento sostenido de la misma. En particular, la planeación nacional del transporte debe afanarse por estar en forma para poder cumplir con las exigencias que la política económica apuntalada en la intensificación del comercio internacional le demanda.

1.1 Situación actual de la red federal de carreteras en México.

México se encuentra frente a la impostergable tarea de modernización y refuerzo de carreteras, al mismo tiempo que debe resolver las urgentes demandas de conservación en una red de aproximadamente 250,000 Km de longitud; aunque los esfuerzos deban concentrarse quizá por el momento, en los 35,000 Km de red básica, pertenecientes a los tramos de mayor interés nacional ⁽²⁾, dadas las condiciones de dimensión de la red y escasa disponibilidad de recursos presupuestarios.

En México al reconocimiento de labores de mantenimiento insuficientes se suman la edad promedio de su infraestructura vial, que en proporción significativa supera los 30 años de servicio y el hecho de haber sido diseñada y construída para condiciones de tránsito muy diferentes a las actuales, tanto por lo que se refiere al peso de los vehículos, como al número y frecuencia de éstos ⁽³⁾; condiciones que en conjunto explican el deficiente estado físico de la red carretera nacional, sometida cada vez con mayor rigor e intensidad a niveles de exigencia con mucho superiores a sus capacidades.

Resultados de las evaluaciones en campo realizadas por la Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones (D.G.P.S.T. y C.) de la S.C.T. en 1990 ⁽⁴⁾ confirman que el deterioro de la infraestructura carretera nacional es serio; 50.3% de la red básica federal obtuvo una categoría de buen estado, 42.1% de regular y 7.6% de malo (Cuadro 1.1); panorama poco optimista si además se considera que para esta fecha, una

ī

Rico R., A.; Orozco, J.M.; Téllez G., R. y Pérez G., A. <u>Primera Fase. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).</u>
Documento Técnico núm. 3. Instituto Mexicano del Transporte. 1990. México.

(3)
La variación del peso por vehículo ha sido de 6 ó 7 toneladas a 50 ó 60 en camiones de carga y en los volúmenes de tránsito, los flujos han

La variación del peso por vehículo ha sido de 6 ó 7 toneladas a 50 ó 60 en camiones de carga y en los volúmenes de tránsito, los llujos han pasado de 500 a 1,000 veh./día a aforos de 2,000 a 15,000 veh./día. Rico R., A.; Buen R., O de y Aguerrebere S., R. "En busca de una estrategia de conservación de carreteras ". en <u>Carreteras</u>, 4º época, núm. 58. Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera. 1992. España.

España.

(4) El estado físico de la red es calificado por esta dependencia como de bueno, regular y malo según el porcentaje de la calificación obtenida respecto a la máxima posible (500). Los elementos considerados en la calificación son, la corona, el drenaje, los derechos de via y los señalamientos vertical y horizontal.

significativa proporción de los tramos clasificados en buen estado físico se encontraban al límite de sus condiciones de servicio.

Por lo que respecta al estado de la red federal en cada una de las entidades, la situación es un tanto dispar, salvo Aguascalientes y Quintana Roo ningún otro caso cuenta con escenarios halagüeños, por el contrario, existen condiciones como las de Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Tabasco en donde el problema se ha estimado como crítico, debido a que menos del 50% de sus caminos se clasifican en buen estado y más de la cuarta parte en malas condiciones. (Mapa 1.1).

Pero quizá la situación más grave no esté representada por las entidades en donde el estado es ya crítico, sino por aquellas otras, que son las más, ubicadas en la categoría intermedia (Mapa 1.1) en la que se observan dos circunstancias; una, caracterizada por la predominancia (más del 65%) de caminos cuyo estado físico se ha calificado como regular, casos de Puebla, Durango, Hidalgo, Estado de México, Yucatán y Chiapas (Cuadro 1.1), y otra, definida por el balance entre pavimentos en condiciones buenas y pavimentos en estados de regular a malo, como Campeche, Jalisco, Nuevo León, Sonora y Zacatecas (Cuadro 1.1). Territorios todos, en los que el riesgo de trascender el umbral de lo medio a lo crítico, dado el contexto y la tendencia es, sin duda, elevado.

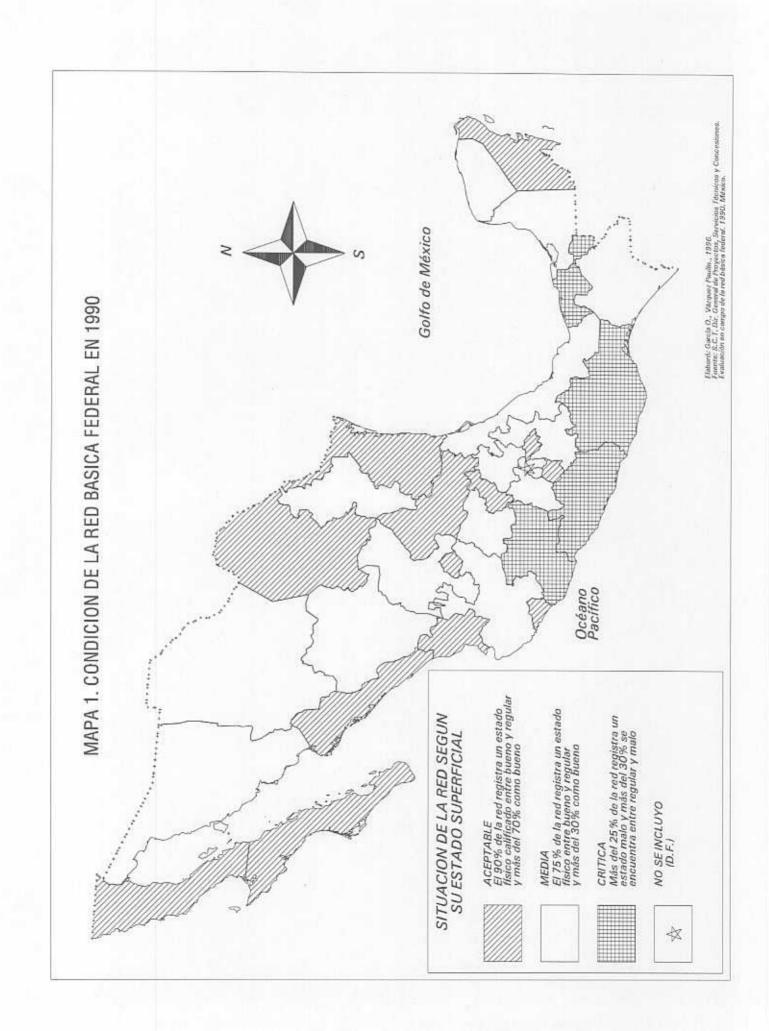
Si bien acciones de conservación distintas a las proporcionadas hasta ahora, requieren de presupuestos con mucho superiores al actual e indiscutiblemente difíciles de obtener, cabe anotar que al costo de degradación del patrimonio vial se debe sumar el costo de operación vehicular provocado por el mal estado de los caminos. Mientras los márgenes de actuación del presupuesto destinado al mantenimiento se restringen a labores de emergencia que no detienen el deterioro de la red carretera, los costos de operación vehicular crecen aceleradamente, con un consecuente e inmediato impacto en el conjunto de la economía nacional.

1.2 Estrategia de Conservación

La gran dependencia que del sistema carretero tiene el transporte de carga en nuestro país, plantea con urgencia el diseño de estrategias que de acuerdo con los conceptos de la teoría económica en vigor, permitan en forma sostenida modificar el panorama actual. De no encontrar una

FEDERATIVA (KM) BUENO % AGUASCALIENTES 389.800 386.70 99.20 BAJA CALIFORNIA 1,528.380 1122.88 73.47 BAJA CALIFORNIA SUR 1,219.700 855.90 70.17 CAMPECHE 1,145.917 537.40 46.90 COAHUILA 1,567.960 1330.90 79.65 COLIMA 1,567.960 146.80 9.36 CHIRPAS 1,567.960 146.80 9.36 CHIRPAS 1,567.960 146.80 9.36 CHIRPAS 1,717.400 539.00 31.38 GUANAJUATO 1,587.96 146.80 9.36 GUERRERO 1,717.400 539.00 31.38 GUANAJUATO 1,793.99 1,228.90 37.51 19.39 GUANAJUATO 1,793.99 1,24.23 81.57 10.42.8 10.22 10.22 JALISCO ESTADO DE MEXICO 1,296.96 87.43 87.91 87.63 NUEVO LEON 2,258.659 51.300 <t< th=""><th>ESTADO FISICO</th><th></th><th></th><th></th><th>CALIFICA</th><th>ACION PO</th><th>CALIFICACION PONDERADA</th></t<>	ESTADO FISICO				CALIFICA	ACION PO	CALIFICACION PONDERADA
DRNIA SUR 1,528.380 386.70 DRNIA SUR 1,219.700 855.90 1,145.917 537.40 1,670.900 1330.90 399.390 326.23 1,670.900 1330.90 399.390 146.80 2,235.420 146.80 2,235.420 1524.42 1,777.400 539.00 1,393.295 898.48 N 1,393.295 898.48 N 1,396.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,758.659 513.00 442.430 299.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 2,127.300 1011.90 2,127.300 1610.30 314.500 277.10 1,209.800 416.90 1,209.800 416.90	REGULAR	%	MALO	%	CALIF.	%	EDO, FIS.
OFNIA 1,528.380 1122.88 OFNIA SUR 1,219.700 855.90 1,45.917 537.40 1,670.900 1330.90 399.390 326.23 1,567.960 146.80 2,235.420 146.80 1,777.400 539.00 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 442.430 240.25 2,256.659 513.00 442.430 240.25 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 2,127.300 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 1,205.808	3.10	0.80	0.00	00.00	390.0	78.0	В
OFNIA SUR 1,219.700 855.90 1,450.917 537.40 1,567.960 1330.90 399.390 326.23 1,567.960 146.80 2,235,420 146.80 1,393.295 898.48 1,393.295 898.48 1,393.295 898.48 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 299.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,420.051 1594.28 1,209.800 1610.30 314.500 277.10	77 383.86	25.12	21.64	1.42	384.3	76.8	В
O 1,145.917 537.40 1,670.900 1330.90 399.390 326.23 1,567.960 146.80 2,235,420 1524,42 1,717.400 539.00 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 1,203.80 299.20 1,120.380 299.20 1,120.380 299.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 1,734.834 1427.20 2,127.300 1011.90 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	7 335.30	27.49	28.50	2.34	367.9	73.6	8
0 1,670,900 1330,90 326,23 1,567,960 146,80 326,23 1,567,960 1524,42 1,717,400 539,00 1,393,295 898,48 1,936,965 375,51 804,284 231,34 1,203,80 1,120,380 299,20 1,120,380 1,120	0 462.92	40.40	145.60	12.71	333.9	66.8	Œ
399.390 326.23 1,567.960 146.80 2,235.420 1524.42 1,717.400 539.00 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 1,120.380 299.20 516.310 443.31 662.00 864.50 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 5,99.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28	340.00	20.35	0.00	00.00	402.4	80,5	B
O 1,567.960 146.80 2,235.420 1524.42 1,717.400 539.00 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 N 1,230.260 598.95 2,769.900 73.70 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 5,99.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28	70.40	17.60	3.30	0.83	406.6	81.3	В
O 1,235,420 1524,42 1,717,400 539,00 1,393,295 898,48 1,895,200 877,10 804,284 231,34 1,895,200 877,10 912,530 240,25 2,258,659 513,00 442,430 877,10 1,230,260 877,10 1,230,260 877,10 1,120,380 299,20 516,310 433,31 866,200 864,50 1,734,834 1427,20 791,010 640,19 2,127,300 1011,90 599,175 0.00 599,175 0.00 2,099,200 1610,30 314,500 277,10 2,420,051 1594,28 1,209,800 416,90	1259.92	80.35	161.24	10,28	286.7	57.3	Œ
O 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 1,258.659 513.00 442.430 240.25 1,769.900 73.70 1,734.834 1427.20 599.175 0.00 599.175 0.00 599.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10	9 711.00	31.81	000	00.00	358.7	71.7	В
O 1,393.295 898.48 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 1,20.380 299.20 1,120.380 299.20 516.310 433.31 866.200 864.50 73.70 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 1,435.388	1178.40	68.62	0.00	00.0	340.9	68.2	Œ
MEXICO 1,936.965 375.51 804.284 231.34 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 1,20.380 299.20 516.310 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 277.10 2,420.051 1594.28 1,239.800 416.90	9 467.95	33.59	26.87	1.93	369.4	73.9	В
MEXICO 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 1,230.260 598.95 2,769.900 73.70 1,120.380 299.20 516.310 433.31 866.200 864.50 73.70 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	9 825.93	45.64	735.53	37.97	285,7	57.1	Œ
MEXICO 1,895.200 877.10 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 N 1,230.260 598.95 2,769.900 73.70 1,120.380 299.20 516.310 433.31 866.200 864.50 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	6 572.94	71.24	00.00	0.00	338.7	67.6	ш
MEXICO 912.530 240.25 2,258.659 513.00 442.430 381.91 682.374 534.38 N 1,230.260 598.95 2,769.900 73.70 1,120.380 299.20 516.310 433.31 866.200 864.50 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 5,99.770 1011.90 2,127.300 1011.90 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	8 957.10	50.50	61.00	3.22	350.8	70.1	В
N 1,230,260 513,00 442,430 881,91 682,374 534,38 1,91 682,374 534,38 1,00 1,120,380 299,20 73,70 1,734,834 1427,20 791,010 640,19 2,127,300 1011,90 599,200 1610,30 314,500 277,10 2,420,051 1594,28 1,230,800 416,90 1,435,388 777,24	3 666.08	72.99	6.20	0.68	331.3	66.3	ш
N 1,230,260 381,91 682,374 534,38 1,2769,900 73,70 1,120,380 299,20 1,120,380 299,20 516,310 433,31 866,200 864,50 1,734,834 1427,20 791,010 640,19 2,127,300 1011,90 599,70 2,420,051 1594,28 1,209,800 416,90 1,435,388 777,24	1 1665.16	73.72	80.50	3.56	323.2	64.6	Œ
N 1,230,260 598,95 2,769,900 73.70 1,120,380 299,20 73.70 1,120,380 299,20 73.70 1,734,834 1427,20 791,010 640,19 2,127,300 1011,90 599,200 1610,30 314,500 277,10 2,420,051 1594,28 1,209,800 416,90 1,435,388 7770,24	.2 55.32	12.50	5.20	1.18	400.9	80.2	ш
N 1,230,260 598.95 2,769.900 73.70 1,120,380 299.20 516.310 433.31 1,734.834 1427,20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 1,435.388 770.24	3 130.29	19.09	8.70	1.27	372.2	74.4	В
2,769.900 73.70 1,120.380 299.20 516.310 433.31 000 866.200 864.50 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	8 467.62	38.01	163.70	13.31	334.2	8.99	ш
1,120,380 299.20 516,310 433,31 600 866.200 864.50 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127,300 1011.90 599.175 0.00 2,099.200 1610.30 314,500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	6 1470.80	53.10	1225.40	44.24	259.3	51.8	Œ
516.310 433.31 1000 866.200 864.50 170SI 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127,300 1011.90 5,99.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 1,435.388 770.24	799.98	71.40	21.20	1.89	341.3	68.3	Ш
000 866.200 864.50 0TOSI 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	83.00	16.08	00.0	0.00	390.0	78.0	Θ
TOSI 1,734.834 1427.20 791.010 640.19 2,127.300 1011.90 599.175 0.00 2,099.200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	0 1.70	0.20	0.00	00.00	404.9	81.0	В
791.010 640.19 2,127.300 1011,90 599.175 0.00 2,099,200 1610.30 314.500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90	7 283.64	16.35	24.00	1.38	389.2	77.8	В
2,127,300 1011,90 599,175 0.00 2,099,200 1610,30 314,500 277,10 2,420,051 1594,28 1,209,800 416,90	3 150.82	19.07	00.00	0.00	367.3	73.4	60
5 2,099,200 1610.30 314,500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209,800 416.90	7 1115.40	52.43	0.00	0.00	354.1	70.8	8
2,099,200 1610.30 314,500 277.10 2,420.051 1594,28 1,209,800 416.90	333,11	55.59	266.07	44.41	259.1	51.8	ш
314,500 277.10 2,420.051 1594.28 1,209.800 416,90 1,435,388 770.24	1 486,10	23.16	2.80	0.13	371.1	74.2	ш
2,420.051 1594.28 1,209.800 416.90 1,435.388 770.24	1 37,40	11.89	0.00	0.00	363.6	72.7	ш
1,209,800 416.90	8 698.27	28.85	127.50	5.27	363.2	72.6	В
1 435 388 770 94	6 792.90	65.54	0.00	0.00	351.2	70.2	В
1,000	6 635.64	44.28	29.51	2.06	369.2	73.8	В
TOTAL 41,435,452 20848.96 50.32	17442.04	42.09	3144.46	7.59			

Cuadro 1.1 El estado físico de la infraestructura carretara del país en 1990, demanda modificaciones sensibles a la forma de abordar el problema de su conservación. Fuente : S.C.T. Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. Evaluación en campo de la red básica federal. 1990. México.



respuesta aceptable al problema del mantenimiento, conforme el tiempo transcurra, las obras requeridas para rehabilitar la infraestructura vial serán cada vez mayores en volumen, complicación y monto de inversión; la brecha entre lo que se debe y se puede atender será cada día más profunda y el riesgo de pérdida del patrimonio nacional más alto.

El primer paso para afrontar el problema, es el de definir objetivos de trabajo que fundados en el conocimiento físico y operativo de la red carretera, en el monto y tipo de los recursos disponibles, pero particularmente, en las metas que persigue la política económica de un país, ayuden a acotarlo a niveles en los que una adecuada organización de actividades sea capaz de atender, con el propósito de que sus resultados se vean rápida y positivamente reflejados en los diferentes sectores de la sociedad.

Dado el sinnúmero de repercusiones que el estado inadecuado de un camino provoca en los ámbitos económico y social de una nación, en el Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.), como órgano creado para la investigación y el desarrollo tecnológico del sector transporte en el país, se ha abordado el problema desde distintos ángulos y a raíz de las conclusiones alcanzadas, propone, como objetivo único de la política de conservación "el optimizar el transporte de carga" con base en el criterio de eliminación de los sobrecostos de operación en carreteras (5).

El interés constante por encontrar vías de solución factibles al problema de la conservación de la infraestructura carretera ha motivado en el Instituto, la creación de toda una línea de investigación relacionada con el tema; como resultado, el I.M.T. ha logrado definir objetivos y conformar no sólo el panorama de lo que debe comprender una estrategia de conservación capaz de modificar y mejorar la situación actual, sino que cuenta ya con desarrollos tecnológicos y metodologías específicos para apoyar dicha estrategia.

La tesis que sustenta la estrategia de conservación propuesta por el Instituto, parte del reconocimiento de que el problema debe abordarse, simultáneamente, desde tres dimensiones distintas, una técnico-económica, otra financiera y una tercera organizacional ⁽⁶⁾.

Conviene aclarar que si bien la estrategia de conservación propuesta por el I.M.T. concentra su atención en la red básica, la decisión obedece a que,

Instituto Mexicano del Transporte

⁽⁵⁾ Rico R., A.; de Buen R., O. y Aguerrebere S., R. <u>Bases estratégicas para el diseño de una política de conservación de carreteras.</u> 1993. (6) Ihidem

ante la imposibilidad de atender la totalidad del conjunto, es fundamental tomar alguna determinación y ésta fue la de destacar los tramos más influyentes en el movimiento de los flujos de intercambio generados por las principales actividades productivas y comerciales del país.

Debido a que buena parte de la red carretera nacional se diseñó y construyó bajo especificaciones distintas a las necesarias actualmente (en términos de volúmenes de tránsito, pesos y dimensiones del autotransporte menores), ocurre que los daños expuestos por las vías de transporte son en su mayoría de carácter estructural, incapaces por lo general de resolverse mediante tratamientos puramente superficiales; para el efecto, el I.M.T. materializó la creación del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) e ideó y construyó el Sistema de Administración de Puentes (SIAP) (7) v (8).

Dentro del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, la dimensión técnico-económica tiene el propósito primero, de determinar a través del monitoreo y evaluación de las condiciones superficiales y estructurales de los pavimentos, la calidad técnica que se debe dar a un camino (expresada en términos del espesor de grava equivalente) para que recupere el Indice Internacional de Rugosidad en el que se debe conservar durante cierto período de tiempo antes de requerir una nueva acción de mantenimiento (9). El segundo objetivo del SIMAP es el de establecer, por medio de una serie de cálculos y análisis económicos, distintas alternativas de intervención, diferenciadas según los niveles de gasto que cada una de ellas representa (10).

A efecto de elegir ante recursos escasos, de entre las necesidades de atención que los distintos tramos de la red plantean y las alternativas de costo que las mismas implican, en opinión del Instituto es clave establecer un criterio de jerarquización y como tal sugiere adoptar el valor monetario de la carga que anualmente circula por un camino (11). Criterio asequible a partir de la información proporcionada por los levantamientos en campo que acerca del peso y dimensiones del transporte de carga realiza desde 1990 la

⁽⁷⁾ Rico R., A.; Orozco, J.M.; Téllez G., R. y Pérez G., A. Op. cit.

⁽⁸⁾ Barousse M., M. y Zavaleta, A. Sistema de Administración de Puentes. Publicación Técnica en prensa, Instituto Mexicano del Transporte. 1992. México.

Rico R., A.; Téllez G., R. y Elizondo R., M. Manual operativo de campo. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP). ocumento Técnico núm. 4. Instituto Mexicano del Transporte. 1990. México.

Aquerrebere S., R.; Solorio M., R. y Benavides S., M. Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos IMAP), en proceso. Instituto Mexicano del Transporte, 1992, México.

Pico R., A.; de Buen R., O. y Aguerrebere S., R. op. cit.

S.C.T. (12) y del valor calculado con la metodología desarrollada para ese fin en el I.M.T. (13). Al cabo del tiempo, dicho criterio incluso contribuirá a aumentar, entre los responsables del mantenimiento carretero, la sensibilidad de discernimiento respecto de lo que es más oportuno y conveniente reparar.

Al costo de degradación del patrimonio vial se suma el costo de operación vehicular provocado por el mal estado de los caminos, acentuando las repercusiones en el conjunto de las economías nacionales (14). No hay en consecuencia, estrategia de conservación viable si no se dispone de mecanismos de financiamiento que aseguren un tratamiento razonable del problema y eviten su recurrencia en el futuro. En este sentido y en congruencia con la teoría y la política económica que rige actualmente en el país, la dimensión financiera de la estrategia nacional de conservación deberá buscar esquemas financieros en los que características tales como ser permanentes, favorecer soluciones de largo plazo, no depender exclusivamente del presupuesto tradicional del Estado, involucrar a guienes obtienen beneficios directos del uso del camino y producir recursos crecientes como resultado de la mejoría obtenida por intervenciones previas, se conviertan en las condicionantes alrededor de las cuales construir los mecanismos de financiamiento apropiados (15).

Por último, la estrategia de conservación debe tomar en cuenta la dimensión organizacional del problema, la cual incluye dos niveles de reflexión, uno, que involucra el replanteamiento de las responsabilidades que el organismo encargado del mantenimiento debe atender y otro, que comprende la formulación de los programas operativos de trabajo (16).

Si se acepta este esquema, la reorganización en el primer nivel habría de cuidar la complementación e integración de las tareas realizadas en el campo, el gabinete y los laboratorios, a la vez que debería incluir, acorde al criterio planteado como rector de la estrategia de conservación, la

Mendoza, A. y Cadena, A. Análisis estadístico del peso y las dimensiones de los vehículos de carga que circulan por la red nacional de carreteras froncales. Informe por publicar, Instituto Mexicano del Transporte. 1992. México. y Mendoza, A. y Resendez, O. Análisis económico de los efectos del peso de los vehículos de carga autorizados en la red nacional de carreteras, informe por publicar. Instituto Mexicano del Transporte 1992, México.

⁽¹³⁾ Arredondo O., R. La importancia económica de las principales carreteras como criterio para jerarquizar su conservación. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, 1992, México,

⁽¹⁴⁾ El Instituto ha realizado algunos trabajos que permiten calcular los sobrecostos de operación de los vehículos que transitan por las carreteras del país de acuerdo con el estado superficial de los caminos entre otros. Ver, Aguerrebere S., R. y Cepeda N., F. Estado superficial y costos de operación en carreteras. Publicación Técnica núm 30. Instituto Mexicano del Transporte, 1991. México.

(15) Rico R., A.; de Buen R., O. y Aguerrebere S., R. Bases estratégicas ..., op. cit.

⁽¹⁶⁾ Ibídem.

participación de especialistas encargados de analizar la red desde el punto de vista del valor monetario de la carga que por ella transita y de monitorearla desde la óptica de la conformación y cambios de los corredores de transporte.

1.3 Sistemas de Administración de Pavimentos.

Objetivos precisos, criterios adecuados e información disponible son los componentes en torno a los cuales y con los que pueden atenderse cabalmente las demandas de conservación de la infraestructura vial. Existen sin embargo otros apoyos, como los métodos e instrumentos que ayudan a sistematizar la información, para reconocer primero, las necesidades por resolver y ponderarlas luego en base a criterios de capacidad, oportunidad o conveniencia, que contribuyan a distinguir y a establecer la prioridad con que los tramos de una red podrán ser atendidos, la estrategia a seguir y la tecnología a emplear, entre otras muchas decisiones de importancia.

Para el efecto, existen en el mundo los denominados "Sistemas para la Administración de Pavimentos", definidos como el procedimiento sistematizado que ayuda a coordinar y a controlar todas las actividades orientadas a conservar los caminos, asegurando la mejor utilización de los recursos disponibles.

Desde el XVIII Congreso Mundial de Carreteras celebrado en Bruselas en 1987, la mayor parte de los países ahí reunidos reconocieron la utilidad de estos sistemas; vistos como medios que facilitan las tareas orientadas a encontrar los elementos de información necesarios para dilucidar entre necesidades y posibilidades. Elegir la alternativa de mantenimiento que comprenda el nivel de servicio deseado y el mejor costo no es tarea fácil, requiere de información diversa y de un análisis adecuado de la misma en cada tramo de la red carretera, de aquí que tales sistemas hayan resultado una exitosa alternativa tecnológica.

Un Sistema para la Administración de Pavimentos ofrece con el tiempo información útil no sólo para el manejo de la red carretera, objetivo primario de éstos, sino también para proyectos relacionados con la evaluación de las causas de deterioro o la determinación de las soluciones más convenientes, incluso para el desarrollo de conocimientos técnicos o para el

establecimiento de normas más adecuadas de construcción y de conservación de pavimentos (17).

Las ventajas brindadas por los sistemas referidos los han convertido en un instrumento de apoyo a las metas de lograr una asignación más atinada de los recursos disponibles y una organización más efectiva de las actividades a emprender, condiciones ambas, fundamentales para alcanzar resultados satisfactorios, apreciables en los contextos de los costos de transporte, de la actividad comercial y finalmente de la economía nacional.

Aunque existen un número considerable de estos sistemas en el mundo, cada uno tiene la particularidad de estar diseñado conforme a las características de construcción, el tipo de materiales empleados, los territorios y los ambientes administrativos a los que van a servir, como marco obligado en relación al cual establecer las recomendaciones a ejercer. Se trata en consecuencia de sistemas que no son por definición extrapolables; las sugerencias brindadas por el sistema de administración de pavimentos empleado en Francia por ejemplo, resultarán inapropiadas para resolver los problemas que aquejan a las carreteras mexicanas, las cuales se explican en un contexto distinto al de las francesas.

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos propuesto por el I.M.T., está planteado conceptualmente desde mediados de los años sesenta para apoyar y facilitar la coordinación de las tareas de mantenimiento de la infraestructura carretera del país (18).

El referido sistema tiene el propósito de, sobre las bases de identificar y evaluar la condición integral de los pavimentos, generar información fidedigna y útil que apoye y oriente la fundamentación del destino de los recursos, la programación de actividades y la organización y ejecución de las labores de conservación necesarias para sostener la red carretera en condiciones adecuadas de operación. No obstante el provecho de su labor, conviene insistir, los resultados de trabajo de una herramienta como ésta no satisfacen por sí solos la formulación de una estrategia de conservación, afirmación sustentada en la experiencia alcanzada en el I.M.T. y coronada con el planteamiento de la Estrategia Nacional de Conservación.

 ⁽¹⁷⁾ Achutegui Viada, F. *Sistemas de Gestión* p.p. 11 -16 en <u>Jornadas Técnicas sobre Conservación de Carreteras</u>, Sevilla, 1991.
 Rico R., A., Buen R., O de y Aguerrebere S., R. *En busca de una estrategia de conservación de carreteras* Op. cit.

Conceptual y operativamente el SIMAP diseñado para México, está compuesto por dos módulos de trabajo, uno técnico, dirigido a determinar el estado de deterioro de los pavimentos y las recomendaciones de mantenimiento y otro económico, orientado a brindar elementos de decisión respecto a la alternativa de atención más recomendable, según recursos presupuestarios, costos y rendimientos económicos de las acciones por emprender.

1.4 Complementariedad entre los Sistemas de Administración de Pavimentos y de Información Geográfica.

Los Sistemas para la Administración de Pavimentos sustentan sus ventajas de trabajo en la capacidad que tienen para distinguir por tramos el estado de los pavimentos a lo largo de un camino; la correlación geográfica debiera ser el factor operativo fundamental, el puente de enlace entre el dato generado por el sistema y el segmento de carretera al que corresponde; no obstante, dicha característica no trasciende el ámbito de la simple referencia, en otras palabras, se trata de sistemas que hasta ahora adolecen, en la práctica, de facultades para analizar y manejar el problema de la conservación desde la perspectiva geográfica del fenómeno.

La influencia y participación de la dimensión territorial en un hecho socioeconómico como el mantenimiento de la infraestructura carretera es inobjetable, de manera que el subestimar sus contribuciones a la estrategia de conservación o el no hacerla explícita en los programas operativos de trabajo, equivale a omitir los aportes de la visión organizacional del problema. Es muy importante definir la magnitud de la tarea por emprender, determinar el orden de las actividades a realizar, distribuir las responsabilidades y contabilizar la inversión requerida; pero tan necesario como lo anterior, es establecer el comportamiento territorial del problema por resolver.

De ahí, el interés por explorar la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), cuyas capacidades para el manejo y análisis de "eventos territoriales" los convirtió en una herramienta atractiva para complementar y afianzar los objetivos de trabajo del SIMAP.

De entre las áreas de actividad que en el futuro próximo se beneficiarán de la utilización de los SIG como instrumento de trabajo multidisciplinario,

destaca el transporte y de él, la conservación de la infraestructura carretera, en donde la consideración de la dimensión territorial es condición elemental para la organización y programación de las tareas a desempeñar.

En relación con los Sistemas para la Administración de Pavimentos, buen número de las instituciones encargadas de atender los problemas ligados con la conservación en distintos países han explorado las facultades de los SIG como herramienta complementaria de los primeros, de entre ellos pueden citarse como ejemplos las experiencias estadounidenses del Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas y del Departamento de Transporte de Wisconsin.

El primero llevó a cabo en 1990 una investigación acerca de las actividades que 24 de sus distritos de transporte habían realizado con su Sistema para la Administración de Pavimentos; entre los aspectos por averiguar estaba el de conocer los requerimientos u objeciones al mismo, de cuyas respuestas afloró la necesidad de plasmar en mapas las condiciones del pavimento, con lo que de inmediato se inició la búsqueda de cómo apoyar e integrar su sistema de gestión con las habilidades de un SIG.

En el caso del Departamento de Transporte de Wisconsin el reconocimiento a la utilidad de los SIG justificó el diseño del Sistema de Apoyo a las Decisiones para la Administración de Pavimentos (Pavement Management Decision Support System, PMDSS), el cual es resultado de aplicar y agregar los conceptos y operaciones de un SIG a un Sistema automatizado de Administración de Pavimentos. De los primeros resultados de trabajo del PMDSS se concluyó que, si bien éste debía ser perfeccionado, la información obtenida reflejaba el potencial de los aportes que podría brindar a la gestión en conservación. La identificación de los segmentos carreteros según el tipo y grado de daño o la representación geográfica de las necesidades de mantenimiento y mejoramiento de la red son, entre otros, algunos de los productos con los que el sistema puede contribuir para hacer más eficiente la administración de la red carretera en el estado de Wisconsin en Estados Unidos.

La prueba de la primera versión del sistema se llevó a cabo en el Distrito de Transporte de Green Bay, Wisconsin, cuya evaluación demostró la viabilidad de emplear un SIG como herramienta de soporte para las labores de conservación. Los resultados obtenidos constituyeron la respuesta afirmativa a la interrogante de si, ¿la tecnología de los SIG es la plataforma apropiada

para un sistema de administración de pavimentos? y por extensión, para otras aplicaciones similares, de acuerdo con el objetivo general de incorporar en un sistema único las actividades de evaluación, mantenimiento y mejoramiento de los pavimentos.

El comité encargado del proyecto partió de las siguientes premisas:

- La mayoría de los muchos datos necesarios para la administración de pavimentos presentan incompatibilidades en diversos niveles.
- 2. Los recursos tecnológicos y la experiencia prevaleci
- nte en el Departamento de Transporte resultaban insuficientes para establecer un modelo tan complejo de interrelaciones y decisiones.
- La administración de pavimentos es un proceso muy dinámico y complejo por la diversidad de factores que en él participan, de ahí que reclame en consecuencia soluciones igualmente complejas y además flexibles.
- 4. El énfasis inicial se centraría en su aplicación a nivel de un distrito, con ampliación a la totalidad del estado en un futuro.

El desarrollo de la fase de análisis y evaluación de los SIG permitió obtener algunas conclusiones entre las que destacaron afirmaciones como:

- Las funciones del SIG permiten que la ocurrencia de hechos diversos en secciones diferentes de las carreteras (v. gr. deterioro de pavimentos y volumen de tráfico), pueda combinarse para análisis subsecuentes; esto es, integrar y manejar en una base de datos común, diversidad temática e información accesada por medios distintos.
- Los SIG hacen posible el evaluar simultáneamente las condiciones del pavimento y sus implicaciones a fin de identificar áreas críticas y datos incorrectos.
- Las capacidades de análisis espacial, de interacción con el usuario y de producción gráfica de los SIG, ofrecen un ambiente

de desarrollo rápido y versátil para aplicaciones en otras áreas del transporte.

 Los SIG pueden ser efectivamente el complemento para muchos otros sistemas de información, en los que el manejo territorial de la misma está ausente y resulta imprescindible (seguridad en carreteras, estudios de capacidad vial, etc.).

Frente a tales características, compatibilidad entre los requerimientos de diseño del PMDSS y las capacidades de trabajo de los SIG, Wisconsin resolvió dar marcha al diseño e instrumentación del sistema que respondiera a los propósitos planteados. Para el caso, adquirió e instaló en una minicomputadora con tres terminales el software ARC/INFO del Environmental System Research Institute (ESRI), con el propósito en principio de producir el material cartográfico necesario, escala 1:100,000, del área elegida para llevar a cabo la aplicación piloto del sistema.

La información contenida en la base de datos comprendió la red estatal de carreteras, con una longitud total de 12,000 millas, los límites administrativos del área de trabajo, los tipos de suelo, la red hidrológica, las localidades, etc., además de datos específicos acerca de puentes, accidentes, características del pavimento por segmentos y niveles de tráfico, entre otros.

1.5 Objetivos y alcances.

En el caso del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos que ahora se presenta, el trabajo de complementación tuvo dos propósitos, el primero, otorgar a los datos y resultados del sistema las ventajas del soporte geográfico y el segundo, adicionar al SIMAP algunas de las funciones características de los SIG que hacen factible el manejo y análisis geográfico de la información.

Cumplidos ambos objetivos, los datos manejados por el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos adquieren objetividad gráfica, en virtud de la capacidad cartográfica proporcionada por el SIG, aunque el principal aporte se sitúa en la posibilidad de aprovechar las funciones que facilitan el análisis geográfico del problema, de cuya visión y conclusiones se debe alimentar la estrategia de conservación en su conjunto.

El poder de un SIG y de sus capacidades derivadas, reside en la factibilidad de vincular series de datos a rasgos espaciales, que en el caso de las labores de mantenimiento y particularmente dentro de la conceptualización del SIMAP, corresponden a segmentos carreteros. La localización es la clave de funcionamiento al interior del sistema, dado que todos los rasgos almacenan como parte de sí:

- * Las REFERENCIAS DE SU LOCALIZACION GEOGRAFICA (series de pares de coordenadas).
- * La VINCULACION entre los datos locacionales (segmento carretero) y la información descriptiva (elementos de evaluación y resultados del SIMAP).
- * El registro explícito de las RELACIONES ESPACIALES existentes entre los rasgos, logrado por la construcción de las relaciones topológicas presentes entre ellos.

Se pretende que con el soporte geográfico otorgado mediante el apoyo de un SIG (cuyo software específico fue ARC/INFO) al SIMAP, se logren potenciar las capacidades de este último y resolver las necesidades que en materia de manejo territorial plantean las labores de planeación y operación para el mantenimiento de la infraestructura carretera.

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos dispondrá, en consecuencia, de facultades que le permitan expresar cartográficamente toda la información asequible en el sistema, realizar consultas geográficas de datos; efectuar análisis de comportamiento espacial de variables independientes o de patrones de distribución de situaciones complejas en uno o distintos períodos de tiempo. De esta forma, por ejemplo, el SIMAP estará en condiciones de ilustrar el patrón de distribución territorial de los tramos más afectados de la red o de los próximos a alcanzar un estado agudo de deterioro, a fin de proporcionar información adicional útil para llevar a cabo la programación espacial y temporal de las acciones a emprender.

En síntesis, el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, a partir de la conjugación de los productos parciales generados por sus distintos módulos, relacionados con el tipo de daño, grado de urgencia de las labores a realizar, análisis de costos y rentabilidad económica, localización de tramos dañados y distribución de las tareas a realizar en tiempo y espacio, estará habilitado para brindar algunos de los elementos de conocimiento necesarios para hacer menos incierta la toma de decisiones y construir con más y mejores fundamentos la estrategia de conservación.

2. Importancia y Utilidad del Apoyo Geográfico

Conformado por dos módulos, uno técnico y otro económico, el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos estructura y confronta proyectos de mantenimiento alternativos, formulados a partir de la conjugación de necesidades de atención, costos de inversión y posibilidades presupuestarias, con las que ofrece a los responsables de la conservación la oportunidad de elegir con mayores fundamentos la opción más conveniente.

Como herramienta vital de la Estrategia de Conservación planteada por el Instituto Mexicano del Transporte, el SIMAP como todo sistema de su tipo, se apoya y estructura, como expresa y sintetiza Gasca Allue (1), en:

- Un banco de datos automatizado, formado por el inventario de la infraestructura e información asociada que permita describir y caracterizar la red.
- Reconocimientos sistemáticos de la infraestructura que auxilien en los diagnósticos de su estado físico y operativo.
- El establecimiento de indicadores que pronostiquen la presencia de daños y adviertan la urgencia de la intervención.
- Un sistema de normas técnicas de calidad, cantidad y de ser posible productividad, conveniente para regular las acciones.
- El seguimiento de las operaciones realizadas y de la contabilidad de los costos de conservación.

Todo lo anterior para facilitar el cumplimiento de las tareas de monitoreo, evaluación y diagnóstico periódico de las condiciones físicas de los pavimentos, necesarias para la programación de la atención oportuna de los mismos.

Para su operación, el sistema necesita en primera instancia de una serie de datos provenientes, tanto de fuentes estadísticas y materiales cartográficos diversos, como del insustituible trabajo de campo, que a la vez de servir de insumos a los procesos del propio sistema de gestión de pavimentos, enriquecen el banco de información del Sistema de Conservación.

⁽¹⁾ Gasca Allue, Carlos. "Generalidades sobre conservación" y Gestión de carreteras: defectos y operaciones de conservación" p.p. 15 -24 en Jornadas sobre Técnicas de Conservación de Carreteras. 1987. Santander, España.

Por ejemplo, la información de campo recopilada por el Módulo Técnico integrado por seis subsistemas, incluye:

Del subsistema INDICE DE SERVICIO ACTUAL (ISA), información que le permite calificar el estado superficial promedio observado en cada segmento del camino, con objeto de indicar en cuales de ellos deberá posteriormente realizarse la medición de deflexiones, con las que el siguiente subsistema, CAPACIDAD ESTRUCTURAL (CAPES), realizará los cálculos para obtener por último las estimaciones de los refuerzos necesarios; a la vez que en un archivo independiente, INVENTARIO DE DETERIOROS (INVEDET), el sistema almacena las fallas y deterioros reportados en cada uno de los segmentos evaluados.

En tanto obtiene de fuentes distintas:

La información que subsistemas como el de DATOS GENERALES (DATOGEN) requiere para registrar la ubicación del camino y las particularidades del tránsito prevaleciente en los distintos tramos, o bien la relativa tanto a características técnicas de la infraestructura, como a datos alusivos al entorno físico-geográfico en que ésta se asienta, almacenados para consulta en el subsistema, CARACTERISTICAS GEOTECNICAS (CARGEOT), del mismo modo que el subsistema HISTORIAL DE REPARACIONES (HISTOREP), alberga para referencia las acciones de mantenimiento, menores y mayores, practicadas en cada segmento para un período menor o igual a tres años.

Con objeto, en primera instancia, de precisar los momentos en que resulta útil la participación de una herramienta que otorga apoyo geográfico y en segundo lugar, destacar y explicar los beneficios que el sistema adquiere al complementar su esfuerzo con las funciones de un SIG, conviene detallar el funcionamiento del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos para, en otras palabras, descubrir las necesidades geográficas del sistema y comprender asimismo, el significado de lo que las posibilidades del análisis espacial le brindan en términos del provecho práctico alcanzado en la ejecución de las labores de conservación.

Para empezar, uno de los principios operativos del SIMAP, quizá el que sustenta la filosofía de funcionamiento del sistema, es el de asociar las

series de datos y los resultados de los procesos estadísticos y de los análisis complejos, al segmento carretero a que pertenecen. Así, el segmento adquiere la categoría de unidad territorial básica, con propiedades de individualidad e independencia que le permiten funcionar en esencia como entidad homogénea, condición fundamental para lograr la sistematización de los procesos de diagnóstico y evaluación del deterioro de la infraestructura vial. El sistema determina el estado físico de la red carretera y sus necesidades de atención, a partir de la caracterización de cada uno de los segmentos de 5 Km en que ésta es dividida.

La presencia territorial intrínseca de la infraestructura vial y la trascendencia de su consideración en la organización y operación de las labores de conservación, de manifiesto en el principio operativo anterior, resultan hechos por demás suficientes para justificar la incorporación de todos aquellos mecanismos y procesos que otorguen al SIMAP el soporte geográfico adecuado para cumplir en forma más atinada con sus objetivos de trabajo.

La dinámica de los fenómenos económicos y socioculturales que organizan y transforman el espacio geográfico, se manifiesta a través de las transferencias y de los intercambios expresados en forma de flujos de energía, materia, poblaciones y bienes, canalizados a través de sistemas lineales y continuos, llamados redes, que además de favorecer la circulación, permiten el contacto entre diferentes puntos de la superficie terrestre. Como hechos geográficos, el análisis de las redes, en este caso de caminos, parte de determinar su localización, explicar su utilización y medir sus flujos, puesto que su conocimiento ayuda a comprender cómo una sociedad utiliza el territorio que ocupa y cómo garantiza el control del mismo; de ahí, que desde la concepción hasta la construcción y el mantenimiento de una red, esté implícito siempre un esfuerzo de **ordenación territorial**.

Si además, como es el caso de México, se trata de una red carretera de aproximadamente 250,000 Km de longitud, distribuidos por un territorio física y económicamente heterogéneo de 2'000,000 de Km² de superficie; la identificación y el manejo de los tramos que integran la red sugieren la conveniencia de complementar al SIMAP con algún instrumento capaz de representar gráficamente sus resultados.

El apoyo del SIG rebasa con mucho esa posibilidad y eleva las capacidades del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, al ofrecerle la

oportunidad de asociar y relacionar los segmentos carreteros (definidos geográficamente), con la serie de variables que los distinguen y clasifican (datos recabados y procesados por los módulos técnico y económico del sistema). La información se enlaza en la medida en que pertenece a una misma área geográfica, el territorio es el elemento común entre todos los conjuntos de datos.

En su primera parte, relativa al diagnóstico técnico del estado de los pavimentos, el trabajo del SIMAP inicia con la identificación en mapas de las carreteras y los tramos por analizar, la alusión a la referencia geográfica reporta desde un principio una importancia de primer orden, no obstante, su atención no goza de reciprocidad. Los ejemplos al respecto son múltiples y baste citar la actividad posterior en el proceso de delimitar el universo de trabajo, relativa a la definición de los tramos, en relación a la cual se indica, "... el usuario tiene la obligación de definir y nombrar las carreteras y tramos como mejor le parezca." (2), aunque no deja de subrayar que es necesario evitar traslapes entre tramos o subtramos, pues ello puede afectar en grado máximo la veracidad de los resultados aportados por el sistema.

Si bien la poca definición anterior no es imputable a la organización del SIMAP, sino consecuencia de la ausencia de una nomenclatura nacional para la identificación de caminos, indispensable como referencia primaria de localización y de clasificación de los mismos, es a su vez, manifestación clara de la poca comprensión que se tiene de las implicaciones territoriales que son parte activa, no sólo de la conservación de la infraestructura, sino de la gestión carretera en su conjunto.

La concepción y operación del SIMAP reconocen y plantean tajantes la necesidad de recurrir al dato geográfico que permita inicialmente aludir a cada subtramo carretero y diferenciarlo del resto de la red; con tal propósito, el sistema solicita la definición de los segmentos a partir de las coordenadas geográficas de inicio y término de cada uno de ellos; requisito sin embrago, difícil de satisfacer mientras el sistema carezca del apoyo geográfico pertinente.

En tal marco, para lograr el tratamiento individual de los segmentos, así como su identificación y lo primordial, su asociación con la información que los describe, se optó por aprovechar la existencia del *código de*

⁽²⁾ Rico R., A., Orozco, J.M., Téllez G., R. y Reyes R. A. <u>Manual del Usuario</u>. <u>Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)</u>. Documento Técnico 5. Instituto Mexicano del Transporte. 1990.

identificación, empleado en un principio, sólo para facilitar el acceso computacional a los distintos subtramos de la red y eliminar en lo sucesivo la necesidad de ubicarlos a partir de sus orígenes y destinos.

Ahora, además de actuar como elemento único que permite definir, referir y distinguir a cada segmento, el código de identificación interviene como el medio de enlace en la operación conjunta SIMAP-SIG; es el encargado de cumplir con la función de asociación entre el rasgo geográfico (segmento carretero) y la serie de datos que lo describen.

Para realizar el análisis técnico del estado actual de los pavimentos, el SIMAP establece como primer demanda un inventario suficiente y confiable de la red carretera, cuya información la divide en segmentos y los datos asociados los organiza y procesa al interior de sus distintos subsistemas, Cuadro 2.1.

SIMAP MODULO TECNICO		
SUBSISTEMA	OBJETIVO	
DATOS GENERALES	Registrar y archivar datos relativos a la ubicación del camino y a las características del tránsito.	
INDICE DE SERVICIO ACTUAL	Calificar el estado superficial del camino.	
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	Calcular la deflexión característica para obtener los refuerzos necesarios.	
INVENTARIO DE DETERIOROS	Manejar inventarios de fallas y deterioros en los tramos evaluados.	
HISTORIAL DE REPARACIONES	Servir de archivo a los registros de labores de mantenimiento, menores y mayores.	
CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	Analizar las características geotécnicas de las estructuras del pavimento y de su entorno geográfico.	

Cuadro 2.1 El Módulo Técnico del SIMAP se integra por seis submódulos, tres de ellos utilizados como compartimentos para el archivo de información de referencia y los otros tres como ambientes de proceso para el desarrollo de las funciones del módulo.

Fuente : Rico R., A ; Orozco, J.M. ; Téllez G., R. Pérez g., A. Primera Fase. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos. Documento Técnico núm. 3. Instituto Mexicano del Transporte. 1990, México.

DATOS GENERALES

El primero de estos subsistemas, DATOS GENERALES, tiene por objeto el registro de todos y cada uno de los tramos de la red por evaluar. Actúa como un archivo permanente con opción de actualización, que provee de información a los demás subsistemas. De hecho, es el depositario de las primeras referencias de localización utilizadas para ubicar el área de trabajo, tales como, los orígenes y destinos de la carretera y tramos en estudio, el kilometraje de inicio y fin de los subtramos específicos (segmentos) y las coordenadas geográficas correspondientes; al mismo tiempo que almacena información relativa a las características del flujo vehicular como el tránsito diario promedio anual (TDPA), la tasa de crecimiento, la composición por ejes, el peso promedio de los camiones pesados, la carga máxima por eje y las cargas que soporta.

Asimismo, procesa el número de carriles de la carretera y el porcentaje anual de accidentes para relacionarlo con el estado superficial y el período de diseño para el que se calculó la vida útil del pavimento, que generalmente es de 20 años ⁽³⁾.

Respecto a la importancia de atender y coordinar adecuadamente el manejo de unidades geográficas distintas, cabe una observación dado que no siempre es posible o conveniente establecer un sólo nivel de análisis espacial y del cual es ejemplo el presente subsistema, cuyas entidades territoriales son diferentes a las del resto de los componentes del Módulo Técnico; se trata siempre de unidades mayores a la entidad básica (segmento) y de longitud variable, denominadas tramos.

En este punto, el reconocimiento a la fuerza de cohesión otorgada al segmento al momento de concebírsele como unidad territorial básica es muy importante, pues precisa las correspondencias entre entidades geográficas e impone sentido a la integración de las otras categorías espaciales; los tramos no podrán ser definidos, si no es a partir de un conjunto de segmentos.

Lo anterior conduce la reflexión a dos aspectos más que deben abordarse y especialmente tenerse presentes; el primero, subraya que en su calidad de

26

⁽³⁾ Rico, A., Orozco, J. M., Téllez, R. y Pérez, A. Primera Fase, Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP). Documento Técnico núm. 3. Instituto Mexicano del Transporte. 1990.

componente espacial básico, el segmento una vez definido se vuelve inmutable e indivisible, es decir, se convierte en una entidad funcional geográficamente fija; y el segundo, destaca en forma irreductible, la trascendencia de conocer la organización espacio-administrativa que rige la operación de la conservación carretera, pues es ella la que debe normar el proceso de definición de los segmentos.

INDICE DE SERVICIO ACTUAL

El segundo subsistema, INDICE DE SERVICIO ACTUAL, es el encargado de distinguir de entre todos los segmentos de un tramo, cuales de ellos reportan daños de carácter superficial y cuáles otros acusan problemas estructurales, de acuerdo con los índices de servicio actual (ISA) o internacional de rugosidad (IIR) observados en cada segmento.

Para iniciar su trabajo, el subsistema requiere que la segmentación de la red haya sido realizada. Recordemos que el segmento carretero, es un elemento espacial, individualizado y localizable, cuyo comportamiento y definición se rigen por la organización espacio-administrativa a la que pertenece.

De ahí que un manejo geográfico adecuado no puede resultar irrelevante para una herramienta que, como el SIMAP, lo lleva implícito en su funcionamiento y cuando, como es el caso del mantenimiento carretero, su atención implica intervenciones territoriales directas.

A fin de cumplir con su propósito, el subsistema procesa las lecturas recabadas en campo y obtiene la calificación promedio que refleja el nivel de seguridad y confort del camino, en relación al cual se toman una serie de decisiones distintas, a saber:

- Los subtramos con calificaciones < o = a 2.0 son remitidos al subsistema CAPACIDAD ESTRUCTURAL en donde se realizarán análisis más detallados.
- En los casos de calificación promedio > 2.0 (especialmente 2.5 ó 3.0), el sistema estudia los segmentos que en el corto plazo podrían llegar al límite permisible y permite graficar el comportamiento futuro de la carretera.

 Adicionalmente da una señal de aviso cuando la calificación desciende o llega a 2.5, indicando el "umbral de alerta".

La diferenciación de la red a que da lugar el trabajo del subsistema, constituye uno de los productos del SIMAP para los que resulta más evidente el reforzamiento que la participación del SIG le otorga. Por sus cualidades de localización y diferenciación, el espacio geográfico es cartografiable, es decir, es susceptible de representación a través de las posibilidades de situar los fenómenos y esquematizar los componentes territoriales de acuerdo a la escala elegida y las referencias adoptadas. De modo que la oportunidad de expresar cartográficamente, con el respaldo del SIG, los resultados de éste y otros de los subsistemas del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, representa de manera inequívoca una capacidad de gran valor para el análisis de las necesidades de mantenimiento y para la organización de las acciones, pues hace perceptibles detalles, pero especialmente asociaciones de elementos, que de otro modo pasan inadvertidos.

Por otra parte, el poder expresar en forma gráfica, la homogeneidad o la heterogeneidad del nivel de servicio observado en un tramo de la red o bien, el distinguir en ella un conjunto de segmentos con un índice determinado según el reporte del subsistema, proporciona información adicional para explicar el estado de deterioro de la red carretera; en otras palabras, la capacidad de representar el comportamiento diferenciado del fenómeno en el territorio es de gran ayuda para la descripción y explicación del mismo. En suma contribuye a plantear con mayores argumentos el problema de la conservación, desde el ámbito de competencia del SIMAP.

CAPACIDAD ESTRUCTURAL

28

El tercero de los subsistemas, denominado CAPACIDAD ESTRUCTURAL, es el encargado de realizar un segundo reconocimiento del estado del camino, basado en la evaluación de la condición estructural del mismo.

Para su operación, el subsistema discrimina del conjunto, todos aquellos subtramos cuyo índice de servicio resulte > a 2.0, es decir, reduce su universo de trabajo a los segmentos que reporten índices < ó = a 2.0, en los que a partir de la serie de lecturas de deflexión tomadas en campo a lo largo de la zona más crítica de cada subtramo y de información procedente de

otros subsistemas, como la relativa al tránsito almacenada en el primero de ellos, calcula las deflexiones característica y promedio.

Como en el caso del subsistema anterior, la capacidad de expresión gráfica del SIG, proporciona al SIMAP la oportunidad de observar la dimensión y particularmente la distribución de los segmentos que, si bien, participan del mismo nivel de servicio, pueden distinguirse ahora por sus valores de deflexión.

INVENTARIO DE DETERIOROS

Otro de los subsistemas del Módulo Técnico es el que resguarda y mantiene el INVENTARIO DE DETERIOROS. Se trata de un archivo independiente creado para conformar el inventario de deterioros y fallas reportados en cada uno de los segmentos evaluados.

Para su operación, el subsistema requiere de una inspección visual detallada a lo largo de los subtramos en estudio, que especifique el tipo de fallas observadas y la severidad del daño, como datos esenciales, que posteriormente comparará con una serie de especificaciones nacionales para determinar, si son o no, aceptables. En caso de ser aceptables el programa pasa a analizar los datos del subsistema CARACTERISTICAS GEOTECNICAS, de no serlo, especificará con base en otros cálculos, la magnitud del daño y posteriormente determinará el "espesor de grava equivalente" que esos segmentos necesitan para alcanzar un estado de circulación conveniente.

HISTORIAL DE REPARACIONES

El subsistema conocido como **HISTORIAL DE REPARACIONES**, constituye el archivo histórico de las acciones de mantenimiento, menores y mayores, practicadas en cada segmento para un período menor o igual a tres años. Su propósito es documentar e informar acerca de las fechas de ejecución y el tipo de trabajos efectuados. Relaciona las deflexiones características críticas con las fechas más recientes de intervención y las evaluaciones de los subsistemas INVENTARIO DE DETERIOROS y CARACTERISTICAS GEOTECNICAS para recomendar las medidas pertinentes.

La diferenciación espacial, que el SIG logra hacer objetiva, representa para los tres subsistemas anteriores otro valioso aporte a la organización de las acciones de conservación, en virtud de que ayuda a clasificar y a ordenar los segmentos de la red, conforme a su condición de daño; especialmente cuando el establecimiento de categorías respecto al estado de los pavimentos se torna más complejo e involucra, necesariamente, la integración espacial de datos, la medición de interacciones y la búsqueda de correlaciones geográficas.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS

En el sexto subsistema, CARACTERISTICAS GEOTECNICAS, el SIMAP hospeda información, tanto de las características técnicas de las estructuras, como del entorno físico-geográfico en que las mismas se asientan, empleadas como referencias indispensables para determinar las causas de los daños y orientar el planteamiento de acciones de mantenimiento duraderas.

Entre la información manejada por el subsistema, destacan los datos relativos a las temperaturas máxima, media y mínima promedio anual, la precipitación promedio anual, la topografía predominante y el tipo de drenaje registrados en la zona; en relación al tipo de suelo sobresalen el valor relativo de soporte y la presencia de características que lo hagan problemático. En cuanto a la estructura del pavimento, registra los espesores de cada capa, sus materiales componentes e indica si alguna de éstas fue estabilizada, en cuyo caso precisa el tipo de material.

En virtud de que los datos del medio físico-geográfico son por su naturaleza datos espaciales, con el apoyo del SIG, el SIMAP puede disponer de ellos no como atributos asociados a cada segmento, sino como parte de la información que describe y caracteriza al territorio en el que la red carretera se localiza. De esta forma, los archivos de datos relacionados con los elementos del entorno natural son sustituídos por las bases geográficas respectivas, con lo cual el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos no sólo podrá efectuar sus evaluaciones, sino incluso superar sus expectativas actuales; debido a que por una parte, la información puede organizarse como convenga al sistema, es decir, pueden establecerse zonas según el tipo de suelo, su propensión al riesgo o el tipo de geoforma predominante, por citar algunos ejemplos y por otra parte, porque se abre la posibilidad a nuevas funciones de análisis espacial dentro del SIMAP.

De hecho, una de las mayores ventajas de los SIG, es su capacidad de establecer relaciones espaciales entre rasgos geográficos distintos, en este caso por ejemplo, elementos areales (zona climática) con elementos lineales (caminos), de cuya intersección cada segmento carretero obtendrá la información climática correspondiente y el área tendrá asociado el dato lineal respectivo. Facultad adicional, sin duda interesante para la operación del SIMAP, pues ayuda a distinguir y a profundizar en cada tramo o subtramo de una vía, la serie de interacciones medioambientales y técnicas que provocan el deterioro de la infraestructura, al ubicarla en un contexto geográfico más amplio que incorpora al análisis y por ende a la toma de decisiones, las características del entorno y las influencias a que la infraestructura se ve sometida.

A partir de la conjugación de los productos parciales generados por sus distintos procesos, el SIMAP expresa, en términos del espesor de grava equivalente, las necesidades de atención de cada segmento de la porción de red carretera evaluada. El diferenciar los segmentos de acuerdo al espesor de grava equivalente requerido en cada caso para igualar su nivel de servicio, permite por comparación, distinguir indirectamente el grado de los daños, la magnitud de las labores de mantenimiento y la urgencia de las reparaciones a emprender; de manera que el sistema proporciona al responsable de las labores de conservación, una parte importante de los elementos de información indispensables para llevar a cabo la organización de los programas de trabajo y la dirección de las acciones de mantenimiento.

Además, deben agregarse los beneficios del apoyo geográfico, que ofrece a los encargados las facilidades para localizar subtramos específicos, disponer de panoramas de distribución del fenómeno según el comportamiento de una o más variables y realizar análisis espaciales que ayudan a elevar sensiblemente el conocimiento del problema.

Por otra parte, con objeto de brindar mayor certeza a las decisiones y en reconocimiento a la trascendencia del costo que las labores de conservación implican, el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos cuenta con el Módulo Económico dirigido a apoyar los resultados de las evaluaciones técnicas con elementos que ayuden a fundamentar y a elegir la alternativa de atención más recomendable, según recursos presupuestarios, costos y rendimientos económicos de las acciones por emprender.

Integrado por tres subsistemas o rutinas de trabajo, COSTOS DE OPERACION, EVALUACION ECONOMICA y ASIGNACION PRESUPUESTAL (Cuadro 2.2), el Módulo Económico tiene por objetivos la selección y evaluación de alternativas de conservación y la formulación de programas de mantenimiento que consideren la eficiencia económica en relación con la eficacia técnica.

A través de sus distintos procesos, el Módulo Económico calcula los costos de operación vehicular de tránsitos carreteros, evalúa alternativas de conservación desde el punto de vista económico e identifica aquellas que, en conjunto y bajo restricciones presupuestarias, proporcionan el mayor beneficio económico. De esta forma, el SIMAP contribuye a la formulación de los programas de asignación espacial y temporal de los recursos disponibles para la conservación de la infraestructura carretera del país (4).

SIMAP MODULO ECONOMICO	
SUBSISTEMA	OBJETIVO
COSTO DE OPERACION	Calcular los costos actuales de operación vehicular y su evolución anual en un período de 20 años en ausencia de labores de conservación, para cada proyecto que se defina.
EVALUACION ECONOMICA	Proponer distintas alternativas de conservación para cada proyecto y compararlas en términos de su costo de ejecución, beneficios económicos y vida útil, para un período de análisis determinado.
ASIGNACION PRESUPUESTAL	Seleccionar para un conjunto de proyectos, las alternativas que se ciñen a las restricciones presupuestales y que generan el mayor ahorro.

Cuadro 2.2 El Módulo Económico del Sistema de Administración de Pavimentos se divide en tres submódulos cuyo propósito es identificar las alternativas de conservación que en conjunto y bajo restricciones presupuestales ofrecen el mayor beneficio económico.

Fuente : Aguerrebere S., R. et. al. Módulo Econômico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos. Manual del Usuario. Documento Técnico No. 9. Instituto Mexicano del Transporte. 1993. México.

⁽⁴⁾ Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos. Manual del Usuario, Documento Tecnico No. 9. Instituto Mexicano del Transporte. 1993.

En virtud de que los beneficios que el apoyo geográfico brinda e incorpora al Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos no son privativos de alguno de sus módulos, sino condición inherente a la existencia del propio sistema, tal y como lo demanda la atención del mantenimiento carretero que éste ayuda a coordinar, está por demás reiterarlos; sin embargo, existe uno que conviene subrayar dado el interés que reviste para la integración entre los módulos, mismo que se deriva de la capacidad que el manejo explícito del territorio como ambiente común proporciona. A través del SIG, el SIMAP contará con la posibilidad de consultar o asociar desde la expresión territorial de la red carretera, los datos de los módulos Técnico y Económico asociados a cada tramo; como ejemplo de su utilidad, puede citarse el caso en que para proponer distintas alternativas de atención entre las cuales comparar costos y beneficios, se requiere de información técnica no asequible desde el Módulo Económico, circunstancia en la que disponer de un medio de enlace (Módulo Geográfico) que además de resolver el problema de consulta favorezca las correlaciones espaciales de información, aunado al hecho de presentar ésta en forma más objetiva, lo cual resulta una considerable ventaia.

Desde luego que dicho enlace debe considerar el hecho de que la naturaleza del Módulo Económico impone una modificación al razonamiento espacial que subyace en el funcionamiento del Módulo Técnico, ya no se trata de establecer el estado físico de la red mediante la calificación de pequeños tramos (segmentos), en donde la determinación de una unidad territorial mínima es fundamental, sino de calcular los costos y ahorros que distintas alternativas de atención ofrecen para secciones de la red carretera con características técnicas similares, denominadas proyectos, situación en la que a diferencia de la primera, el criterio espacial que se impone es el de agregación.

Si bien cada uno de los módulos del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos opera con unidades espaciales distintas, no hay en ello ninguna divergencia pues existe entre ambas absoluta correspondencia. La unidad espacial básica no deja de ser el **segmento**; el **proyecto** como nueva entidad se forma a partir de la integración de varios **segmentos**.

Dado que los **proyectos** son la base de operación del Módulo Económico, la primera actividad consiste en definir las nuevas unidades de trabajo y para ello es necesario importar algunos de los datos del Módulo Técnico, así

como información de referencia para la ubicación de los tramos y la relación de segmentos en que se divide la red carretera.

La conformación de los **proyectos** se basa en la identificación de **segmentos** subsecuentes con características similares de deterioro; dicho de otra forma, la tarea consiste en delimitar tramos de un camino, teniendo como criterio de cohesión y de definición, la similitud de los registros que actúan como indicadores de daños en los pavimentos, casos del índice de servicio del camino, la deflexión y el valor relativo de soporte del estrato edáfico.

De acuerdo cono lo anterior, es claro que a diferencia de lo indicado para el segmento, el proyecto como entidad espacial no es inmutable, su definición espacial cambiará cada vez que se supervise y evalúe el estado de la red carretera; otra divergencia con respecto a la definición del segmento, corresponde al hecho de que el proyecto es definido a partir de ciertos atributos (criterios técnicos) y no desde el rasgo geográfico en sí mismo, de ahí que entre otras de sus características, no implique ninguna preparación especial de la información geográfica que lo representa.

Bajo tales antecedentes, los **proyectos** se delimitan desde el Módulo Económico con base al catálogo de segmentos que integran la red carretera y a los datos técnicos empleados en su definición, previa importación de dicha información. En este punto, disponer de la capacidad de identificación de **segmentos** que cumplan con condiciones especificadas, propia de un SIG, representa una ventaja operativa significativa para el Módulo Económico y un buen ejemplo de la complementariedad de trabajo y de los apoyos que se busca establecer entre los módulos que integran al SIMAP.

Acotados los **proyectos**, el universo de análisis dentro del ámbito del Módulo Económico se reduce a éstos y la información generada se asocia exclusivamente a ellos.

Si bien no existen problemas de correspondencia y por tanto de correlación entre **proyectos** y **segmentos**, debido a que unos conforman a los otros, existe un problema de divergencia en las concepciones que siguieron el método de formación de **proyectos** dentro del Módulo Económico, el cual involucra al subtramo en su definición, es decir, inicia el reconocimiento del estado de deterioro de la red carretera desde éste y no desde el pleno de los segmentos, situación lógica de acuerdo con la organización aparente de la

red y adecuada desde las posibilidades del módulo, no obstante, divergente con los criterios que subyacen al proceso de segmentación práctica de la red de caminos, como se verá en el próximo capítulo.

OPERACION, en donde el objetivo es calcular los costos actuales de operación vehicular de un grupo de proyectos y su evolución durante 20 años en ausencia de labores de conservación. Para su operación, el submódulo requiere de tres grupos de datos, uno, indicativo de las características del camino (pendiente, curvatura, número de carriles, longitud del proyecto, etc.), otro, relacionado con las condiciones del tránsito, información procedente, como en el primer caso, del Módulo Técnico y el tercero, basado en el tipo y la descripción de los vehículos, cuyos datos pertenecen a un archivo de referencia del módulo que el usuario puede modificar (entre sus más de 90 conceptos, incluye la vida útil y edad de las unidades, el precio del vehículo nuevo, los costos unitarios de lubricantes y combustibles, el salario horario del chofer, etc.).

Para cada proyecto, el submódulo ofrece el costo de operación vehicular anual de todo el tránsito por Km y por proyecto; la evolución anual de costos para cada proyecto a precios constantes y el índice de servicio resultante del deterioro en cada año, en caso de no realizar ningún mantenimiento.

El SUBMODULO DE EVALUACION ECONOMICA tiene como propósito comparar diferentes opciones de conservación de un proyecto, desde las perspectivas del costo de ejecución, los beneficios económicos (ahorros en costos de operación vehicular) y la vida útil de cada una de ellas, para un período de análisis que puede ir de uno a veinte años.

Para cumplir con su labor, el submódulo necesita determinar en primera instancia el período de análisis y la tasa de actualización (preestablecida en el programa) y posteriormente establecer las alternativas de cada proyecto (cinco máximo) en base al período de diseño, las acciones de conservación propuestas para cada caso, los costos de ejecución por Km y por año y los índices de servicio esperados, producto de la conservación. Como resultado de su trabajo, ofrece para cada alternativa el ahorro total en valor presente neto (VPN); la relación del ahorro respecto al costo total actualizado de las acciones de mantenimiento; los costos y beneficios anuales a precios constantes y una comparación entre la evolución del índice de servicio en

ausencia de conservación y la estimada por el usuario al ejecutar las labores indicadas.

El tercer submódulo, ASIGNACION PRESUPUESTAL, cierra el ciclo de trabajo del Módulo Económico; su misión es la de seleccionar de entre el grupo de proyectos las alternativas (una de cada proyecto) que satisfacen las restricciones presupuestales existentes y en conjunto generan el mayor ahorro, en otras palabras, optimizan el uso de los recursos disponibles. Para alcanzar su objetivo, el submódulo necesita precisar cuáles son los proyectos y alternativas entre las que se llevará a cabo la optimización, a la vez que establecer los datos y restricciones que regirán la labor de asignación, tales como, la distribución porcentual por tipo de recursos y los períodos de tiempo y el monto de recursos disponible en cada uno de ellos.

Como resultado, el submódulo ofrece una lista de las alternativas seleccionadas asociadas al ahorro total alcanzado y a la relación existente entre dicho ahorro y el costo de ejecución de las labores de atención, a la vez que el flujo de recursos requerido por año y tipo.

Con el apoyo del SIG, el Módulo Económico tendrá, como se sugiere para el Módulo Técnico, la oportunidad de ampliar la capacidad de expresión de sus resultados. Desde la simple visualización de un proyecto y la perspectiva que su ubicación ofrece en el marco de la totalidad de la red carretera, el soporte geográfico ofrece una apreciación distinta de lo observado.

Asimismo, la posibilidad de comparar espacialmente datos y resultados del módulo como por ejemplo, los costos de operación vehicular de uno y otro proyecto o los ahorros en caso de efectuar trabajos de mantenimiento o las diferencias entre alternativas de conservación, introduce relaciones y asociaciones de información, que aunque ajenas a los aspectos técnicos y a las valoraciones netamente económicas, amplían la comprensión de los hechos y fortalecen la fundamentación de las decisiones.

Por último, no puede dejar de citarse la ventaja que representa contar con las funciones cartográficas de un SIG, mediante las cuales la presentación y exposición de resultados del Módulo Económico adquieren mayor expresividad.

Del mismo modo que el SIMAP no es en absoluto capaz de resolver la problemática de la conservación carretera del país, dado que ésta, como se

ha insistido, constituye un fenómeno complejo que requiere de esfuerzos coordinados y de objetivos claros hacia dónde dirigir y hacer converger las acciones; no es tampoco la única pieza de la Estrategia Nacional de Conservación en la que la presencia e implicaciones de la dimensión espacial deben ser consideradas.

El análisis geográfico del problema no es ni ocasional ni secundario, atiende a un elemento de información primordial y es una necesidad constante para la conformación de cualquier estrategia de conservación, tanto a nivel de la planeación y la programación de acciones, como de la organización de las actividades cotidianas. No basta con priorizar las tareas a realizar según grado de urgencia, rentabilidad económica y costo, es indispensable determinar por dónde empezar, cuáles rutas atender, con qué secuencia, en qué tiempo y bajo cuál esquema logístico; cómo resolver por ejemplo, la localización de los bancos de materiales más próximos a las zonas de tramos en reparación si la información geográfica es insuficiente e imprecisa o en otras palabras, si se excluye de la comprensión del hecho, la dimensión territorial.

Comparar la distribución geográfica y la proporción de las labores de mantenimiento preventivo y correctivo llevadas a cabo en una región a lo largo de cierto período de tiempo, proporciona información adicional útil al objetivo de evaluar los resultados de una cierta política de conservación, con miras a determinar la conveniencia de reprogramar actividades, buscar nuevos recursos financieros o proponer nuevos esquemas de trabajo.

Con motivo de la trascendencia que la debida consideración de la dimensión espacial encierra, las expectativas de participación de los SIG como apoyo a las tareas de mantenimiento se amplían, convirtiéndolos incluso, en parte del herramental de trabajo empleado para facilitar el desempeño de algunas de las labores asociadas con la conservación de la infraestructura vial.

En el Instituto Mexicano del Transporte, el entendimiento de las influencias e interacciones de las variables geográficas es claro y se reconoce como fundamental su incorporación en la estrategia de conservación propuesta; del mismo modo que el convencimiento de apoyarse en un SIG para favorecer el análisis geográfico ha quedado fuera de discusión, sin desconocerse que previo a sus beneficios debe realizarse un considerable esfuerzo de captura, preparación y organización del material geográfico.

Por ejemplo, la posibilidad de zonificar la red de acuerdo a los principales factores de daño o a la propensión de los pavimentos al deterioro, proporciona un útil marco de referencia para orientar la organización de un programa de trabajo.

Entre los beneficios detectados para el uso de un SIG, más allá de la expansión y fortalecimiento de las capacidades del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, se debe destacar la ventaja de aprovecharlo como medio de enlace para confrontar e integrar espacialmente los resultados técnicos y económicos proporcionados por el sistema con las informaciones derivadas de otros procesos de evaluación o análisis, útiles a la Estrategia Nacional de Conservación. Como ejemplo, los daños expuestos por los pavimentos no solamente son provocados por los tránsitos que soportan, sino también por los factores del medio físico-geográfico que le sirve de escenario y asiento; de ahí la importancia de incluir al medio natural dentro del conjunto de cabos que es necesario atar para conformar una adecuada estrategia de conservación. La observación integrada de los elementos presentes en un territorio es un imperativo que no debe descuidarse y en cuya atención el apoyo de un SIG resulta por demás propicio.

Por otra parte, la oportunidad facilitada por un SIG para, por ejemplo, diferenciar la red de caminos y analizarla de acuerdo al comportamiento simple o combinado de variables distintas (volumen y características del flujo vehicular, condiciones físicas de los pavimentos, productos transportados y/o rigor de los factores del medio natural), contribuye a elevar significativamente el conocimiento de la red; saber de dónde a dónde va un camino, cuál es su longitud o el número de localidades por las que atraviesa, no son de ningún modo datos suficientes para avalar el dominio de la red, el cual sólo se alcanza con la comprensión de su comportamiento operacional, imprescindible para discernir entre demandas de atención, posibilidades de actuación y conveniencia de inversión.

En definitiva, no hay estrategia de conservación que se augure exitosa si omite de la conjugación de criterios la perspectiva de la dimensión espacial; las acciones de mantenimiento de la red vial exigen conocer y comprender el comportamiento geográfico del problema, en razón de que su atención implica abordarlo y atenderlo territorialmente.

3. Creación y Organización del Sistema de Información

La incorporación de funciones vinculadas al manejo territorial del problema de la conservación carretera, constituye la respuesta a una necesidad manifiesta desde la concepción del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos; si bien el reconocimiento a su importancia siempre estuvo presente, las dificultades de tratamiento que imponen las variables geográficas redujeron su participación durante los primeros esfuerzos de construcción del sistema, al nivel de referencias de localización simples, sin mayores posibilidades de aporte.

Actualmente, con el apoyo de un conjunto de herramientas especializadas en el manejo de información geográfica, el SIMAP dispone de las facultades necesarias para lograr que ésta adquiera un papel activo dentro de los procesos de análisis que lleva a cabo el sistema.

El uso constante del concepto información geográfica y la descripción de los pasos a seguir para formar un sistema de información de naturaleza geográfica, hace recomendable abrir un paréntesis y realizar algunas precisiones acerca de lo que dicho concepto significa y representa.

La información geográfica alude a todos aquellos elementos que tienen la particularidad de reconocerse a partir de su localización sobre la superficie terrestre, es decir, que son parte del espacio geográfico del cual adquieren sus principales características; entre las que destaca en primer término, la propiedad de ser localizable, cada punto de la superficie terrestre se define por el lugar que ocupa, demarcado por sus coordenadas y altitud, pero también por la posición que guarda con respecto al conjunto en el cual se inscribe y las relaciones que mantiene con los diversos medios de los que forma parte (1). Como consecuencia derivada de la propiedad anterior, el espacio geográfico es asimismo cartografiable, esto es, puede ser representado en formas distintas y a diferentes escalas.

La Información geográfica entonces, es aquella que lleva implícitas las coordenadas geográficas del lugar que ocupa el elemento a representar, así como la serie de relaciones que el mismo establece con los demás componentes del entorno en que se ubica. Con base en estas dos propiedades, la información geográfica permite, mediante su representación en planos, localizar los diferentes rasgos que conforman el espacio geográfico y obtener panoramas distintos de la distribución y extensión de

⁽¹⁾ Dollfus, O. El Espacio Geográfico. Ed. Olkos-Tau. Colección ¿Qué sé? núm. 111. España. 1976.

los fenómenos en estudio, en función de los cuales analizar posteriormente su comportamiento territorial, desde múltiples perspectivas y bajo objetivos muy diversos.

¿Cuál es, en el caso del SIMAP, la información geográfica que el sistema debe contener y organizar?

La información geográfica que el SIMAP requiere para ejercer sus capacidades de análisis espacial puede ser tan variada como la profundidad y el detalle de los estudios lo demande, por ello, más que enumerarla, conviene clasificarla de acuerdo al papel que desempeña dentro de los distintos procesos de trabajo que el sistema realiza.

En primera instancia se sitúa la que podría denominarse información básica. Comprende las series de datos que representan a la red de caminos, objeto de atención del sistema. Al interior de este grupo de información se distinguen y almacenan en directorios independientes, llamados coberturas (2), los componentes de la red según su jurisdicción y/o el tipo de vía.

En un segundo conjunto de datos se ubica la información que puede llamarse de referencia, organizada también en coberturas, incluye elementos como la división político-administrativa (estatal y municipal) que circunscribe a las redes de caminos, así como las series de localidades presentes en el territorio de interés.

Un tercer grupo de información, que podría clasificarse como de apoyo al análisis, lo integran todos aquellos datos de naturaleza geográfica que son parte de la serie de insumos que el SIMAP requiere para llevar a cabo sus distintos procesos de trabajo; por ejemplo, la información climática, topográfica, edáfica, etc., que rodea o subyace a los caminos.

Más allá de los insumos particulares del SIMAP, se puede reconocer un conjunto adicional de datos de naturaleza geográfica e índole diversa, que puede denominarse información complementaria, que si bien no

40

⁽²⁾ A fin de conservar la serie de propiedades que distinguen a la información geográfica, el almacenamiento de la misma dentro del universo de los Sistemas de Información Geográfica se realiza en lo que en su terminología se conoce como coberturas. Cada cobertura está integrada por un conjunto de archivos en los que se registran de manera independiente las distintas características geográficas de la información que representan.

comprende datos requeridos por alguno de los procesos del sistema, sí son en cambio, componentes de interés para alcanzar la visión que la Estrategia de Conservación se propone del problema del mantenimiento carretero en el país; entre otros de estos datos se pueden citar, el registro de puentes, señalamientos y otros equipamientos de las vías, así como la localización de bancos de materiales y de instalaciones de apoyo para el mantenimiento de la infraestructura.

3.1 Construcción del Sistema de Información del Módulo Geográfico del SIMAP

La conformación del sistema de información, destinado en principio a atender las necesidades de análisis espacial del SIMAP inició, como en cualquier otro caso, con la definición del universo de datos por recabar (Cuadro 3.1) y el diseño de organización de los mismos.

El disponer de un panorama completo de las series de datos que integrarán un sistema, además de brindar elementos de conocimiento acerca de la diversidad, características y grado de detalle de la información a recopilar, ayuda a estimar la dificultad que implicará su construcción, en términos por ejemplo, de las labores de preparación que algunos de los datos necesitan para cumplir con su función dentro del proceso de análisis que los demanda.

CLASIFICA	CION DE LA INFORMACION GE	OGRAFICA
CLASIFICACION DE LA INFORMACION	INFORMACION TEMATICA	SERIES DE DATOS
INFORMACION BASICA	RED VIAL	Carreteras federales Carreteras estatales Terracerías Brechas Veredas
INFORMACION DE REFERENCIA	DIVISION POLITICO- ADMINISTRATIVA	Estatal Municipal
	LOCALIDADES	Cabeceras municipales El resto de las localidades según tamaño de la población
INFORMACION DE APOYO AL ANALISIS	FISICO-GEOGRAFICA	Topografía Climas Hidrología Suelos
INFORMACION	FISICO-GEOGRAFICA	Litología Otros
COMPLEMENTARIA	INFRAESTRUCTURA	Puentes Señalamientos Servicios

Cuadro 3.1. Clasificación de la información geográfica de acuerdo a su participación en los distintos procesos de trabajo del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos.

Elaboró : Valerio F., 1996

Por otra parte, las previsiones de identificar la información, seleccionar las fuentes de documentación y determinar la forma de organización de la base de datos, tienen la intención de evitar la interrupción o el entorpecimiento de los análisis y distorsiones en los resultados, bien por falta de información o a causa de insumos inapropiados o mal estructurados.

Si bien el diseño de un sistema de información sigue ciertas convenciones generales, al mismo tiempo debe responder a múltiples decisiones particulares, dependientes de las características y especificidades de los resultados a obtener. Razón, entre otras, por la que el trabajo de conformación del sistema de información del Módulo Geográfico requirió realizar en forma paralela a su diseño y construcción, un estudio de prueba en el estado de Querétaro, mismo que se utilizará de base y ejemplo en la fundamentación de criterios y en la explicación del proceso seguido.

En lo que respecta a la organización de un sistema de información como el presente, debe reconocerse, para empezar, que involucra dos grandes tipos de datos, locacionales y no locacionales, con diferencias absolutas en su naturaleza, métodos de captura y formas de almacenamiento, pero a la vez, con correspondencias y vínculos, que no sólo no deben descuidarse, sino atenderse con especial esmero.

En general, por ejemplo, lo recomendable al interior de un sistema de información geográfica (entendido aquí como conjunto de información), es que los datos locacionales ordenados conforme a la zona a la que pertenecen se separen por temas, cada uno de los cuales constituirá una cobertura; en tanto los datos no locacionales denominados atributos, que en el contexto del SIMAP corresponden a los datos generados por los Módulos Técnico y Económico, suelen supeditar su organización a las necesidades de los procesos de trabajo y a la sistematización de la información geográfica.

En este sentido, el sistema de información del SIMAP, correspondiente a los datos básicos y de referencia, se organizó a partir de tres conjuntos de rasgos geográficos distribuidos en 11 grupos temáticos (Cuadro 3.2); tres de los cuales (terracerías, brechas y veredas) fueron excluidos del banco de información por carecer de relevancia para los propósitos del SIMAP.

RASGOS GEOGRAFICOS	GRUPOS TEMATICOS	000
1) Red vial	ACION GEOGRAFICA BASICA Carreteras federales Carreteras estatales Terracerías Brechas Veredas	
División política INFORMACIO	ON GEOGRAFICA DE REFERENCIA Límite estatal Límites municipales	
3) Localidades	Cabeceras municipales Loc. > 15,001 hab. Loc. 2,501 - 15,000 Loc. < 2,500 hab.	

Cuadro 3.2. El sistema de información del SIMAP se organizó con base en tres tipos de rasgos geográficos, la red vial, la división política y las localidades presentes en las áreas de análisis.

De este modo, los tres rasgos geográficos de interés (red vial, división política y localidades), quedan organizados en ocho coberturas en función de las cuales se organizarán los insumos de trabajo del SIMAP, sin embargo, existen dos particularidades dictadas por la filosofía y operación del sistema que el diseño del banco de información no puede descuidar; la primera implica un desglose de las coberturas más allá de la sola diferenciación temática y, la segunda, plantea una ordenación de las tablas de atributos asociadas a las coberturas, acorde al funcionamiento de los módulos Técnico y Económico.

Respecto al primer caso, el SIMAP necesita que la información geográfica se ordene conforme al esquema de organización territorial con que opera la Dirección General de Conservación de Carreteras de la S.C.T., encargada de las labores de conservación de la infraestructura vial, es decir, a nivel de:

1) CENTRO S.C.T.	QUERETARO		
2) Residencia	Querétaro	San Juan del Río	
3) Sobrestantía	Querétaro	San Juan del Río	Jalpan
4) Cuadrillas	6	4	3

de tal manera que el trabajo del SIMAP no quede disociado del marco de organización espacial que rige las labores de conservación, por tal motivo, es conveniente estructurar la información que representa a la red de carreteras conforme a las instancias de responsabilidad en que se divide su atención; la decisión al respecto optó por manejar a través de coberturas los niveles de jurisdicción relativos a Centro S.C.T. y Residencia de Conservación, y distinguir por medio de datos asociados a los segmentos de la red (atributos), los niveles subsiguientes.

Así, la organización de la información geográfica relativa a la red vial consta de dos grupos de coberturas; uno para distinguir las carreteras federales de las estatales a nivel de entidad federativa, área a la que se ciñe la responsabilidad de trabajo de cada Centro S.C.T., y otro para diferenciar la red federal de acuerdo a la zona de atención de cada una de las Residencias de Conservación que se encargan del mantenimiento de la red. En el caso de Querétaro, por ejemplo, son cuatro las coberturas que representan a la red de caminos de interés y que forman, por ende, parte del sistema de información (Fig. 3.1).

En los casos de las áreas de atención de las sobreestantías y de las secciones de trabajo de las cuadrillas, la decisión, como se mencionó, fue la de definir éstas a partir de los datos respectivos almacenados como atributos con objeto de no abundar en información, especialmente cuando en cierto modo es redundante o puede obtenerse por vía indirecta; bajo esta misma lógica, sólo es posible distinguir en forma explícita los tramos que son competencia de cada cuadrilla, en tanto las áreas de responsabilidad de las sobreestantías se infieren a partir de los primeros.

El código de identificación de los segmentos indica el número de cuadrilla que lo atiende, de manera que a partir de este dato, es posible distinguir a que sobreestantía pertenece (Cuadro 3.3).

En consecuencia la organización del sistema de información del SIMAP, correspondiente a los datos básicos y de referencia se integra por un directorio de 10 coberturas, siete de las cuales comprenden el material de apoyo y las tres restantes la información sustancial a la que se asocian de manera escrupulosa y ordenada las bases de datos del Módulo Técnico organizadas conforme a la estructura de datos de cada uno de sus subsistemas de operación, así como las del Módulo Económico y en segundo lugar, la información diversa que busca facilitar el manejo de la red carretera o bien caracterizar ésta desde otros ángulos y en forma más completa (Cuadro 3.4).

CENTRO S.C.T. QUERETARO JURISDICCION DE LA RED POR RESIDENCIA, SOBRESTANTIA Y CUADRILLA

RESIDENCIA	SOBRESTANTIA	CUADRILLA	
	375553	NUM.	NOMBRE
QUERETARO	QUERETARO	1 2 3 4 5 6	Querétaro uno Querétaro dos Querétaro tres Ameaico San Juan del Río uno San Juan del Río dos
SAN JUAN DEL RIO	SAN JUAN DEL RIO	7 8 9 10	Tequisquiapan Vizarrón San Joaquín
	JALPAN	11 12 13	Pinal Jalpan uno Jalpan dos

Cuadro 3.3. Organización espacio-administrativa del Centro S.C.T. Querétaro. El área de operación de las sobrestantías puede deducirse a partir del número de cuadrillas, presente en el código de identificación de los segmentos.

Fuente: Centro S.C.T. Querétaro. Residencia General de Construcción y Conservación Pública. 1993

Se reconoce que el sistema de información del SIMAP estará completo una vez que incorpore a su acervo la información geográfica de apoyo al análisis, particularmente útil al subsistema de Características Geotécnicas del Módulo Técnico.

Diseñado el sistema de información, que entre otras de sus ventajas establece una secuencia de trabajo para la creación del mismo, el paso siguiente corresponde a la captura de los datos.

A fin de captar y preservar las propiedades de la información geográfica, que con base en una proyección cartográfica y a una escala dada es capaz de representar a todo aquel elemento que forme parte del espacio geográfico, en términos de su localización, orientación y dimensiones precisas, sin menoscabo de su forma y de las relaciones que mantiene con el resto de elementos presentes en una área determinada, su registro exige métodos particulares de captura y de organización.

Entre las alternativas tecnológicas que hoy existen para la adquisición de información geográfica en formato digital, se encuentran entre las más comunes, la digitalización manual, el "barrido" (scanner) de materiales gráficos, el procesamiento de imágenes de satélite y recientemente, con gran trascendencia en este ámbito, la captura directa por medio del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, de acuerdo con sus siglas en inglés).

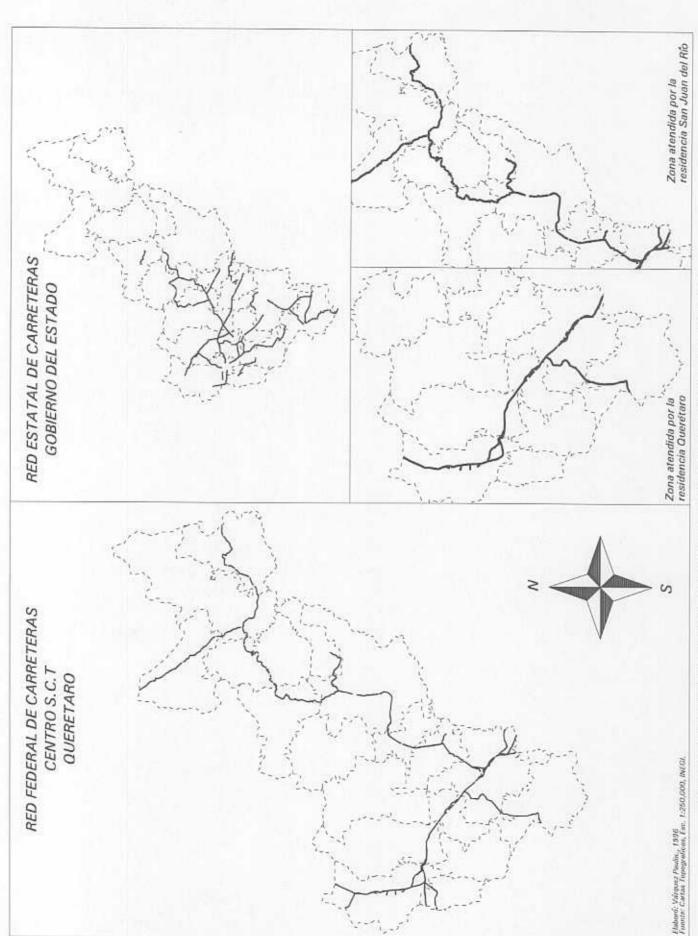


Figura 3.1. En el caso del estudio piloto, son cuatro las coberturas que representan a a la red de caminos dentro del sistema de información geográfica del SIMAP en el área de estudio.

DEL SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

INFORMACION BASICA RED VIAL RED VIAL ADMINISTRATIVA LOCALIDADES LOCALIDADES RED VIAL RED V	Red Carretera Federal de Querétaro Sección de la red atendida por la Residencia Querétaro Sección de la red atendida por la Residencia San Juan del Río Red Estatal de Querétaro División estatal División municipales Cabeceras municipales Localidades entre 2,501 y 15,000 hab.	INFORMACION FUNDAMENTAL DE APOYO	Información de los módulos Técnico y Económico organizada conforme al orden de los subsistemas de operación del SIMAP. Información que contribuye a elevar las ventajas que como referencia ofrece este tipo de información. Por ejemplo datos censales de las localidades en cuestión.
	Localidades > 15,001 hab.		

Cuadro 3.4. El sistema de información del SIMAP está integrado por 10 coberturas, tres de las cuales representan a la red vial a la cual se asociaron los datos procedentes del Módulo Técnico y slete más que contienen información de apoyo.

Elaboró: Valerio F., 1996

Aunque el propósito de trabajo en todos los casos es el mismo, codificar datos conforme a un sistema de coordenadas y de acuerdo con la clase de rasgo a representar (puntos, líneas o áreas), no se trata de alternativas excluyentes, principalmente porque las fuentes de información con que trabajan no son las mismas, el formato de registro de los rasgos es distinto (vectorial unos y raster otros) y los grados de precisión y tendencia al error en la captura de los datos varían según el procedimiento de trabajo que sigue cada recurso tecnológico. Su elección no es en consecuencia indistinta, debe surgir de la confrontación entre las posibilidades y particularidades de la tecnología y los requisitos que la información debe cumplir.

Como método de adquisición manual de datos, la digitalización consiste en seguir mediante un dispositivo (cursor), uno a uno los rasgos de interés presentes en un mapa impreso; cada uno de éstos se convertirá en pares o series de pares de coordenadas x,y según sea el caso (Fig. 3.2); de hecho, previo a lo que es propiamente la digitalización de la información, conviene analizar el material cartográfico con que se trabajará a fin de establecer el orden y dirección de la captura para disminuir la tendencia al error.

El "barrido" es en realidad otra forma de digitalización, su diferencia con el método anterior la establece el dispositivo que se utiliza para lograr la captura, el cual efectúa como su nombre lo indica un barrido de la información, mediante dicha acción, el barredor (scanner) registra íntegra y automáticamente los pares de coordenadas de todos y cada uno de los elementos que forman parte del documento empleado como fuente (fotografía, mapa o cualquier otro tipo de material gráfico).

Se trata de un método rápido de adquisición de datos, aunque no exento de ciertas imprecisiones o confusiones de información, cuando ésta no se individualiza o discrimina convenientemente, provocando que rasgos de representación similar, por ejemplo una carretera y un río, perfectamente diferenciados en un mapa, puedan ser igualados durante el proceso de digitalización automática; se trata de errores que después toma tiempo corregir.

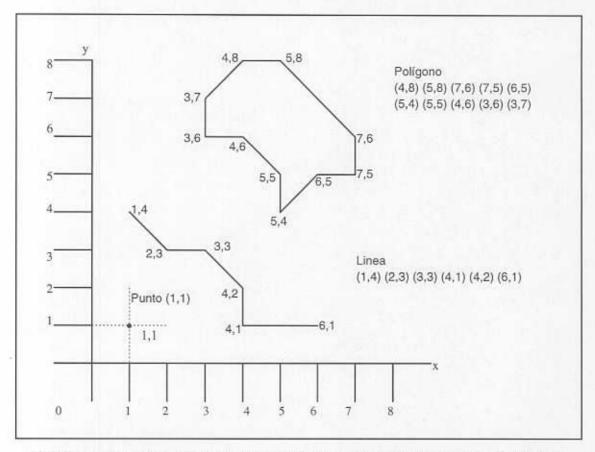


Figura 3.2. Al ser digitalizados todos los rasgos geográficos se convierten en series de pares de coordenadas. Dentro del Sistema de Información Geográfica, los datos pueden ser listados a partir de sus coordenadas o desplegados gráficamente.

Elaborado por: Valerio F. a partir de la figura de la página 4-3 del Understanding GIS. The ARC/INFO method. PC Version Environmental System Research Institute. Estados Unidos, 1990.

Otra vía para adquirir información geográfica en formato digital la proporcionan los sistemas para el procesamiento de imágenes de satélite, encargados de interpretar primero los valores de reflectancia captados por el sensor espacial y de traducirlos después en los elementos del paisaje a que corresponden.

En breve tiempo, los sistemas de procesamiento de imágenes se han ido convirtiendo en uno de los medios más efectivos para alimentar y actualizar bases de información geográfica, en virtud de que los datos obtenidos, además de ofrecer alta resolución espacial, exactitud geográfica y periodicidad en la producción de información (propiedad inapreciable cuando el seguimiento acucioso de un fenómeno es fundamental para el estudio del mismo), manifiestan ventajas de costo con respecto a métodos convencionales, como los levantamientos aerofotográficos.

Los Sistemas de Posicionamiento Global son la revolución del momento en el campo de la adquisición de información geográfica. Formados por un conjunto de 24 satélites (21 en operación y tres de reserva), en órbita alrededor de la Tierra y un aparato receptor enlazado a ellos, es posible determinar con un alto grado de precisión la posición geográfica de cualquier punto fijo o unidad en movimiento presente en la superficie terrestre.

Mediante el enlace del receptor con cuando menos cuatro de los 21 satélites, el sistema reporta en tres dimensiones (latitud, longitud y altitud) la posición del o los puntos terrestres que interesa localizar.

Posteriormente, mediante el apoyo de herramientas de enlace es factible trasladar y traducir los datos recopilados en campo, al formato que utilice el Sistema de Información Geográfica que se encargará de resguardar y de manejar la información geográfica.

La captura de información geográfica, cualquiera que sea la vía de adquisición empleada, requiere de alta rigurosidad en el trabajo y sumo cuidado en su organización; de ahí que se aconseje con exagerada insistencia al usuario del SIMAP, cuáles son los pasos y el orden estricto a seguir, a fin de garantizar análisis adecuados y resultados confiables.

Conviene anotar que más importante que la selección de la alternativa de captura y tan fundamental como el rigor con que debe llevarse a cabo el proceso de digitalización, es la elección del documento fuente; la precisión del dato depende directamente de la calidad del material gráfico empleado, de manera que es indispensable trabajar con fuentes calificadas y documentos en buen estado.

En sentido amplio, la adquisición de información implica mucho más que el sólo seguimiento de puntos o líneas, no sin razón se anota siempre que la conformación de las bases de datos, al interior de un SIG, representa la etapa que más tiempo y laboriosidad implica, independientemente del método de captura empleado.

Durante la formación de un sistema de información, lo primero, además de determinar cuántos mapas o imágenes van a ser digitalizados, es revisar

acuciosamente el material de trabajo, con objeto de prepararlo y establecer la secuencia de procedimientos que la labor debe seguir para evitar errores u omisiones de importancia durante el proceso de captura de los datos, pero también para asegurar que éstos cumplirán con su cometido.

Preparado el material se procede a lo que propiamente es la adquisición de datos, que en caso de optar por la digitalización manual, consiste en seguir mediante un cursor y conforme a la secuencia previamente dispuesta, cada uno de los elementos de interés.

Concluida la digitalización, la siguiente actividad del proceso de automatización de datos se conoce como edición; su objetivo es asegurar que las coberturas (directorios en donde se albergan y mediante los cuales se organizan los datos), estén libres de errores y en condiciones de registrar como parte de los mismos datos, las relaciones topológicas que recrean algunas de las propiedades de la información que representan.

La edición tiene como primera intención identificar los errores de digitalización que deberán ser corregidos durante la misma, por ejemplo:

- * Omisiones de rasgos o presencia de otros inexistentes.
- * Localizaciones incorrectas y formas inadecuadas de los elementos.
- * Contactos imprecisos entre los rasgos.
- * Polígonos con más de un identificador.
- * Elementos fuera de los límites del borde de captura establecido.

La corrección de cada uno de ellos se lleva a cabo en forma manual y una vez terminada y, para concluir, se procede a la construcción o reconstrucción de la topología de la cobertura, sin la cual, el análisis geográfico está vedado.

La topología es el soporte matemático que permite al sistema de cómputo establecer y manejar en forma explícita las relaciones físicas que mantienen

entre sí los elementos representados, es decir, permite trabajar con las relaciones espaciales que existen entre los rasgos geográficos.

En general, son tres los conceptos topológicos que un Sistema de Información Geográfica registra: CONECTIVIDAD, CONTIGÜIDAD o ADYACENCIA y DEFINICION DE AREAS (Figs. 3.3, 3.4 y 3.5); sin ellos, la realización de las funciones de análisis características de los SIG son imposibles. De acuerdo con su importancia es imprescindible que después de cualquier modificación a la información espacial, se realice una reconstrucción de la topología, a fin de garantizar que los resultados derivados de análisis geográficos posteriores sean los adecuados.

Una vez que las coberturas se encuentran libres de errores y la topología ha sido reconstruida, puede garantizarse con todo rigor la calidad geográfica de la información almacenada en el sistema; aspiración que se persigue durante el largo y laborioso proceso de captura y edición de los datos de naturaleza geográfica.

3.2 Preparación de la información geográfica conforme a los requerimientos del SIMAP

La preparación de la información geográfica y la asociación de la misma a las bases de datos de los módulos Técnico y Económico, requirió de un conocimiento previo y de un análisis detallado de los objetivos, conceptualización y operación del sistema, abordado en el capítulo anterior.

El primer aspecto a considerar y a resolver en materia de preparación de la información geográfica lo planteó el concepto del **segmento de 5 Km** como unidad espacial básica para la caracterización de un camino y para emprender la división de la red carretera. Al respecto, el trabajo enfrentó dos problemas, uno, ligado a la definición del punto de partida y secuencia de la división de la red y otro, asociado a la segmentación automática de la misma; sin descuidar además, que la categoría del segmento como componente territorial básico (*vid supra* Capítulo II), imponía mayor rigor a la tarea de descomposición de la red.

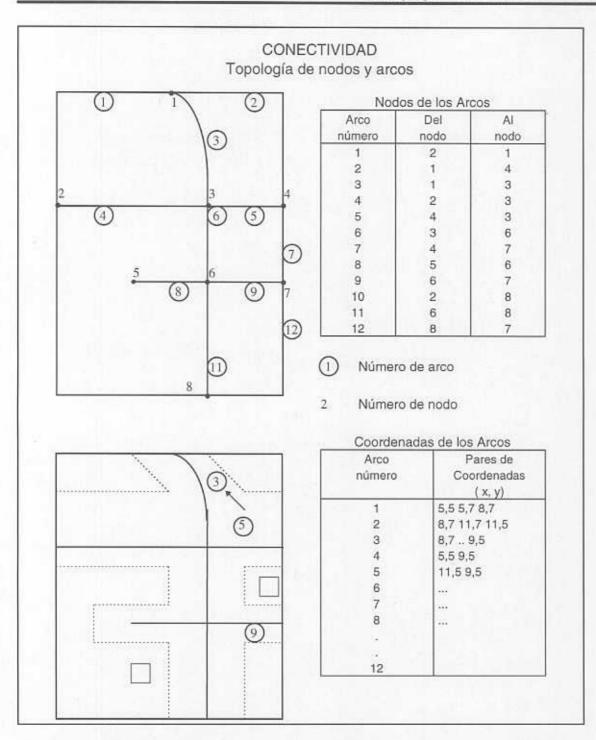
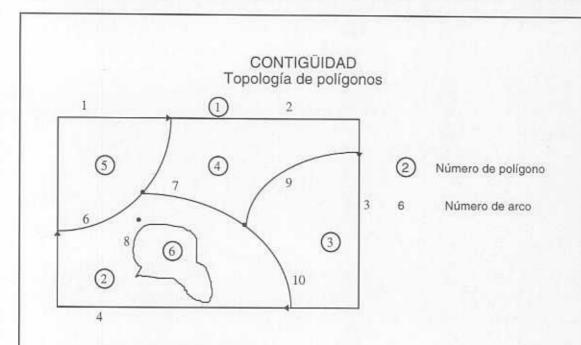


Figura 3.3. El concepto topológico de CONECTIVIDAD alude a la conexión de un arco con otro, ya que cada arco se conecta a otro a través de un nodo.

Elaborado con base en el esquema de la página 2-11 del Understanding GIS. The ARC/INFO method.

PC Version Environmental Systems Research Institute. Estados Unidos, 1990.



Polígonos izquierda-derecha

Arco número	Polígono izquierdo	Polígono derecho
1	1	5
2	1	4
3	1	3
4	1	2
5	5	4
6	2	5
7	2	4
8	2	6
9	4	3
10	3	2

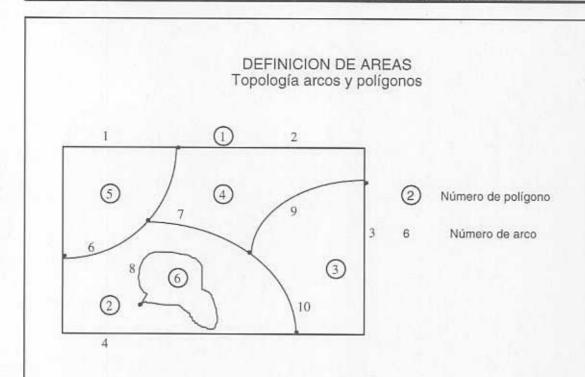
Coordenadas de los Arcos

Línea número	Pares de coordenadas (x,y)
1	5,3 5,5 8,5
2	8,5 20,5
3	20,4 20,1
4	18,1 5,1 5,3
5	7,4 8,5
6	7,4 6,3
7	***
8	***
9	
10	

Figura 3.4. El concepto topológico de CONTIGÜIDAD permite identificar qué polígono está a la derecha o izquierda de cada línea.

Elaborado con base en el esquema de la página 2-13 del Understanding GIS. The ARC/INFO method.

PC Version de Environmental System Research Institute. Estados Unidos, 1990.



Polígonos y Arcos

Polígono número	Línea número
2	4,6,7,10,0,8
3	3,10,9
4	7,5,2,9
5	1,5,6
6	8

Coordenadas de los Arcos

Línea número	Pares de coordenadas (x,y)
1	5,3 5,5 8,5
2	8,5 20,5
3	20,4 20,1
4	18,1 5,1 5,3
5	7,4 8,5
6	7,4 6,3
7	***
8	739
9	
10	

Figura 3.5. El concepto topológico de DEFINICION DE AREAS como su nombre lo indica determina áreas a partir del almacenamiento de los arcos que forman al polígono. Los pares de coordenadas que registran al rasgo definen un polígono. Elaborado con base en el esquema de la página 2-12 del Understanding GIS. The ARC/INFO method. PC Version Environmental Systems Research Institute. Estados Unidos, 1990.

La toma de decisiones y el establecimiento de criterios en torno a la designación del punto de inicio y al orden de segmentación, planteaba múltiples interrogantes que debían ser resueltas para poder diseñar la metodología correspondiente; las pautas para su construcción emanaron de los juicios de reconocimiento y del esquema de organización territorial con que los responsables de la conservación atienden la red federal de carreteras.

Por otra parte, dado que la herramienta de soporte para el registro y manejo de la información geográfica (ARC/INFO), no dispone de funciones que permitan dividir automáticamente, en este caso rasgos lineales como son los caminos, fue necesario elaborar para el efecto un programa computacional de apoyo, que sobre la base de los criterios de reconocimiento y organización de la red preestablecidos y complementado con una serie de acciones de preparación previa de la información, forma parte de la actual metodología de segmentación de la red carretera, recurso fundamental para el modelado de la información básica del SIMAP.

Si bien la descripción detallada de la metodología formulada para definir los segmentos de 5 Km que integran un tramo carretero, como requerimiento fundamental del SIMAP, no es objeto de esta memoria, conviene hacer referencia a los principales conceptos y fundamentos que la sostienen:

 Un primer punto de interés y que hoy es base del proceso de segmentación, correspondió a la diferenciación por rutas de la red carretera. Las rutas constituyen el primer gran componente, tanto dentro del esquema de clasificación espacial de una red de caminos, como de la estructura de atención territorial de los mismos:

CLASIFICACION ESPACIAL

RUTA - CARRETERA - TRAMO - SUBTRAMO - SEGMENTO

ORGANIZACION TERRITORIAL

RUTA - RESIDENCIA - SOBREESTANTIA- CUADRILLA

De ahí que la definición de los segmentos parta de la descomposición por rutas de la red carretera y el programa de segmentación se aplique a nivel de éstas. Aspecto relevante que explica la incompatibilidad que existe con el método empleado por el Módulo Económico en la definición de su entidad espacial, el **proyecto**.

- Un segundo elemento a considerar en la construcción de la metodología de segmentación de la red, lo brindó el hecho de que para los Centros S.C.T., las carreteras materia de su responsabilidad inician en los puntos de cruce de las vías con los límites estatales respectivos; salvo ciertas excepciones que de ningún modo deben desconocerse si se pretende que el modelo geográfico bajo el cual opera el SIMAP sea confiable.

Lo anterior ratifica que la segmentación, como proceso de confección de la información básica del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, no puede desvincularse del conocimiento de cómo está constituida y qué abarca la red por dividir; hecho indiscutible no sólo para asegurar la adecuada descomposición de una sección de la red, sino también para garantizar el empate preciso entre los diferentes componentes espaciales que la integran o a los que su asociación da lugar, como es el caso de los **proyectos**.

De manera que un paso básico dentro de la actividad de segmentación es el de ubicar los puntos de inicio y término de la red, a fin de eliminar las porciones de los arcos que queden fuera de la jurisdicción de la instancia administrativa responsable.

- El estudio de las particularidades que debía atender el proceso de definición de los segmentos, demandó, en estrecha relación con los aspectos anteriores, el apego a la dirección que sigue el reconocimiento de una ruta, lo que en términos de la metodología, implica establecer desde la digitalización o bien durante la edición, un orden de captura o una secuencia de los arcos acorde al sentido de la ruta; todo ello con objeto de que el programa de división automática trabaje en la misma dirección de ésta.

Existen sin embargo casos especiales que requieren de criterios particulares para normar y organizar la tarea de segmentación, como por ejemplo, el de la presencia de entronques en una ruta; ante el

cual, fue necesario regresar a la etapa de edición de la información para modificar, bajo un orden preestablecido, la secuencia de los identificadores de los arcos, que como parte del registro de los mismos asigna en forma independiente el SIG. El criterio de redefinición de los identificadores convino en ordenar los arcos de una ruta siguiendo en primera instancia la carretera troncal y posteriormente los entronques vinculados a la misma, en dirección sur - norte y este - oeste. (Fig. 3.6).

- Por último, el trabajo de definición de los segmentos basa el conteo del kilometraje que establece el punto de inicio de cada uno de éstos, en el dato del Km que la Residencia General de Construcción y Conservación de Obra Pública de los Centros S.C.T. reconoce como principio de la red federal a su cargo, en los distintos puntos de arranque de la misma.

Aunque la intención de describir la conjugación de pasos que integran la metodología de segmentación de la red carretera escapa a los objetivos del presente documento, existen dos aspectos importantes que por su trascendencia conviene subrayarlos; se trata en un caso, de la reconstrucción de la topología toda vez que se realiza alguna modificación a la información geográfica, como sin duda ocurre a lo largo del proceso de división de la red y dos, de la construcción obligada de respaldos al final de cada una de las etapas del proceso de definición de segmentos, como medida de prevención para facilitar la corrección de errores y contra el riesgo de pérdida de la información.

Aprobada la división en segmentos, la tarea de preparación de la información geográfica básica del SIMAP se traslada al terreno de la asignación de códigos, cuya función tiene, por un lado, la facultad de otorgar identidad e independencia a cada segmento y, por otro, la misión de servir como elemento de enlace entre el rasgo geográfico (segmento carretero) y la serie de atributos (datos generados por el SIMAP) que lo caracterizan.

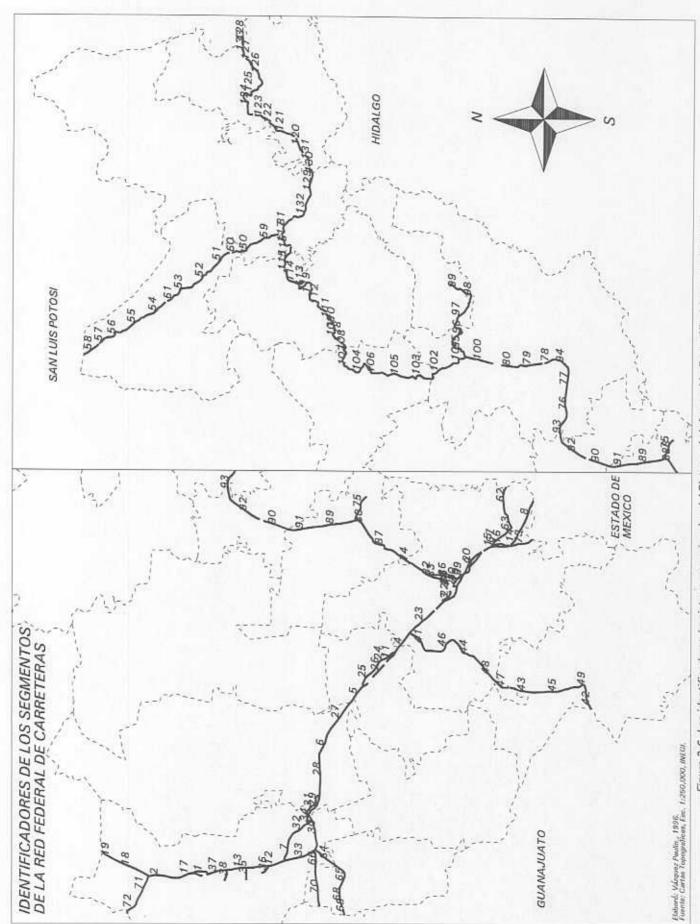


Figura 3.6. Los identificadores (registros operacionales del Sistema de Información Geográfica) fueron ordenados conforme a la secuencia de trabajo que debia seguir el programa de segmentación de la red carretera.

La codificación no fue sin embargo una tarea simple, debido a que al mismo tiempo que la estructura de los códigos presentaba problemas de indefinición de criterios e inconsistencias entre el esquema de ordenación territorial planteado en la estructura del código y la organización de las labores de mantenimiento, carecía de elementos que ayudaran a normar la ordenación del conjunto.

De modo que antes de empezar, fue necesario analizar la serie de condiciones y circunstancias que la codificación debía contemplar a fin de resolver de manera al menos fundamentada, las tareas de definición y ordenación de los códigos por asignar. Los criterios y argumentos empleados para tal propósito tuvieron como bases, el examen del papel que los códigos de identificación desempeñan dentro del esquema de organización y funcionamiento de los Sistemas de Información Geográfica, el reconocimiento del segmento como unidad espacial básica y el apego a la estructura territorial que rige en los hechos las tareas de conservación de la infraestructura vial.

Es necesario aclarar que la vulnerabilidad que en materia de manejo geográfico se hace evidente dentro del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos al momento de establecer los canales y condiciones necesarios para alcanzar el objetivo de otorgar a éste el soporte geográfico que sus funciones requieren, es absolutamente natural, ya que los esfuerzos de materialización del sistema estuvieron hasta el momento ajenos a la atención territorial del problema; a pesar de que por la propia naturaleza de la conservación carretera, algunos de los principios de operación del SIMAP se funden desde su concepción en la consideración de la dimensión espacial.

Es evidente entonces, que para poder ensamblar las funciones de apoyo geográfico brindadas por los SIG al quehacer del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, es necesario afinar en éste ciertas inconsistencias en materia de dominio territorial, sin menoscabo de sus propósitos y sí en cambio, en atención a la concepción central del mismo.

En este sentido, la primera dificultad por resolver corresponde a la existencia de dos códigos de identificación distintos entre los subsistemas de operación del Módulo Técnico; el primero de ellos, DATOS GENERALES emplea un código de identificación de 7 caracteres, en tanto el resto trabaja

asociado a un código de 11 caracteres; situación incompatible con el principio de correlación de información utilizado por los sistemas de manejo de información geográfica.

Ello no supone, ni propone, que deba hacerse una abstracción del nivel de información con que trabaja el subsistema DATOS GENERALES y caracterizar la red a partir de sus segmentos, ya que de ningún modo se justifica; la pretensión estriba en establecer las facilidades necesarias para ligar esos datos al rasgo geográfico correspondiente, a fin de lograr su visualización espacial y especialmente su participación en las funciones vinculadas con el análisis territorial. La solución deberá fincarse en consecuencia:

- 1.- En la aceptación del segmento como unidad territorial básica, a partir de la cual se eslabonan las demás entidades espaciales (subtramo, tramo, carretera, ruta), con objeto de evitar inconsistencias en la información, que se convierten en obstáculos para la operación del sistema.
- En la unificación de los códigos, el identificador asociado al segmento deberá ser único.

Por otra parte, hubo necesidad de precisar conceptos y realizar modificaciones en la estructura de definición de los códigos, referida con anterioridad. En este caso el problema manifestaba indefiniciones y nuevamente inconsistencias en la comprensión del eslabonamiento que debe existir entre entidades espaciales de diferente nivel y, aunque competía a los dos grupos de códigos con que opera el Módulo Técnico, por razones ya expuestas, los cambios y su fundamentación, en el caso del Módulo Geográfico, se centrarán en el código de 11 caracteres.

Las descripciones al respecto indicaban:

- a) Los tres primeros caracteres identifican a la dependencia o entidad federativa a cuyo cargo se encuentran las tareas de conservación.
- b) Los cuatro siguientes, ordenados secuencialmente, además de ser asignados automáticamente por la computadora, corresponden a un subtramo determinado.

 c) Los últimos cuatro señalan el número del kilómetro en que inicia el segmento.

Por ejemplo: BCS 0001 047 a c

No había ninguna dificultad para establecer el primero y el tercer componente, sin embargo, en el caso del segundo, la confusión empezaba al tratar de definir un subtramo sin conocer qué lo delimita, a qué corresponde o cuál es su extensión, tal vez porque según señala la descripción, éstos debían ser asignados automáticamente por el programa computacional del Módulo Técnico; de ser así, el papel de los segmentos y el sentido de pertenencia entre las distintas entidades territoriales volvía a estar en conflicto, puesto que la definición de cada una de ellas resultaba al parecer independiente de la delimitación de las demás.

Frente a este panorama las modificaciones realizadas se fundaron en el esquema de organización operacional del SIMAP, en donde el segmento es el elemento en torno al que se construyen las otras entidades territoriales; en otras palabras, si no está definido éste, no es posible delimitar ninguna otra área de operación, ni tampoco iniciar el trabajo de captura en campo. Por otra parte, el concepto de subtramo como componente sin especificaciones claras se sustituyó por el del área de responsabilidad de una cuadrilla; la investigación al respecto encontró que sin ser un criterio formal, originalmente el subtramo llevaba implícita una longitud aproximada de 50 Km por considerar que ésta corresponde a la cobertura promedio de una cuadrilla, de modo que sobre esta base y en comunión con la organización espacio-administrativa de las labores de mantenimiento, se decidió que en adelante el subtramo correspondería al área de operación de las cuadrillas y el código, por tanto, expresaría el número de éstas.

La red federal de carreteras de Querétaro, por ejemplo, atendida por 13 cuadrillas quedó dividida en 13 secciones, que no establece indiscriminadamente el programa de cómputo del Módulo Técnico, sino que deben ser indicadas durante la codificación de cada uno de los segmentos al momento de preparar la información geográfica del SIMAP.

Definidos los códigos, la labor de asignación de los mismos requirió de elementos que normaran el orden del proceso y el marco para el efecto lo determinó la dirección de la ruta, dictada por el kilometraje; aunque como paréntesis es oportuno señalar que dicha opción implica de golpe la abstracción absoluta del sentido de circulación de las vías.

Con base en el orden establecido, el conteo del kilometraje para la distinción de los segmentos toma como bueno el dato con el que trabaja la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública del Centro S.C.T. respectivo; y comienza la asignación de los códigos sumando en forma progresiva la longitud de cada segmento para determinar el kilómetro de inicio del siguiente. Sin embargo, la marcha del proceso se complica por la presencia de ramales, entronques y carreteras de dos cuerpos que obligan a adoptar distintas decisiones, cuya importancia exige sistematizarlas.

Entre las especificaciones y criterios que fue necesario establecer para efectuar un trabajo adecuado y metódico de asignación de códigos, se encuentran las siguientes:

- Cuando no exista más de un ramal al interior del área de atención de una misma cuadrilla y el kilómetro de la ruta respectiva no empiece en 0, el kilometraje de inicio del primer segmento se fija en 0.
- De no satisfacerse la premisa anterior, por tratarse de un ramal o entronque menor o igual a 5 Km, caso de Tequisquiapan en el ejercicio de prueba, el código registra como kilómetro de inicio del segmento, el kilómetro donde éste se conecta con la vía troncal.
- En los casos en que la carretera se divide en dos cuerpos y dado que el kilómetro de inicio de ambos brazos es el mismo, la convención adoptada para poder distinguirlos, especialmente cuando los segmentos de uno y otro inician en el punto de bifurcación, fue la de adicionar en la porción del código correspondiente al kilometraje, una letra alusiva al punto cardinal por el que cada sección de la vía se distribuye (Fig. 3.7).

Es así como quedan constituidos entonces los códigos de los segmentos, que si bien actúan en principio como elementos de identidad, su propia estructura hace posible a la vez, la localización de los mismos (Fig. 3.8).

3.3 Asociación de la información geográfica a las bases de datos del Módulo Técnico del SIMAP.

En el ámbito del manejo conjunto de datos locacionales y no locacionales, el código de identificación privativo de la información geográfica tiene, como se ha señalado, una doble función, por un lado cumple con su condición de identificador y por otro, y muy importante, participa como elemento de enlace entre ambos tipos de datos; de ahí que el respeto a su condición de único sea garantía de asociaciones adecuadas de información y por tanto, de análisis espaciales correctos.

Preparada la información espacial, el paso siguiente en la conformación del ambiente geográfico del SIMAP correspondió a la vinculación de las series de datos, procesados por el Módulo Técnico, con los rasgos geográficos respectivos, a través del código de identificación empleado ahora como elemento relacional.

Las primeras acciones tuvieron como propósito la construcción del formato de archivo que en el ambiente del Sistema de Información Geográfica albergaría la información procedente del Módulo Técnico.

En primer término, la sola dimensión del formato de archivo, puso de manifiesto lo ocioso que resulta integrar una Tabla de Atributos de los Arcos ⁽³⁾ con todas las variables de información que maneja el Módulo Técnico; de modo que como una más de las recomendaciones emanadas del trabajo de conformación del marco geográfico del SIMAP, se encuentra la de decidir cuáles son los datos técnicos cuyo manejo espacial contribuye a obtener una visión más amplia y reveladora del deterioro de la red en un momento determinado.

A reserva de efectuar la selección definitiva de las variables que intervendrán en el análisis espacial del deterioro de la infraestructura carretera; en una elección preliminar, el ejercicio de prueba se permitió por un lado, la incorporación de nuevos datos especialmente relacionados con el control geográfico, caso del número de la Ruta a la que pertenece cada segmento y por otro lado, la eliminación de algunas variables como las

⁽³⁾ En la terminología de ARC/INFO se denomina Tabla de Atributos de los Arcos (Arcs Attribute Table, .AAT) o Tábla de Atributos de los Polígonos (Polygons Attribute Table, PAT) a los archivos que contienen la información que describe y caracteriza a los elementos espaciales, distinguiéndolos según el tipo de rasgos de que se trate, puntos, lineas (arcos) o polígonos.

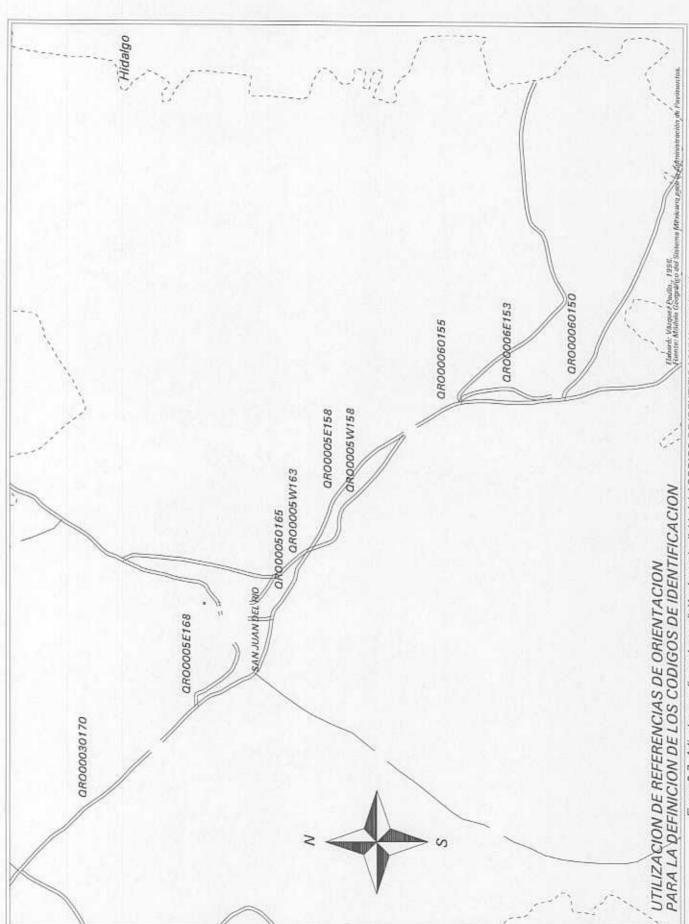


Figura 3.7. A fin de cumplir con la condición de no duplicidad del CODIGO DE IDENTIFICACION, se adopto la convención de adicionar, en los casos en donde la circunstancia lo requena, una letra, que en alusión a los puntos cardinales, indique la dirección por la que se desplaza el segmento respectivo.

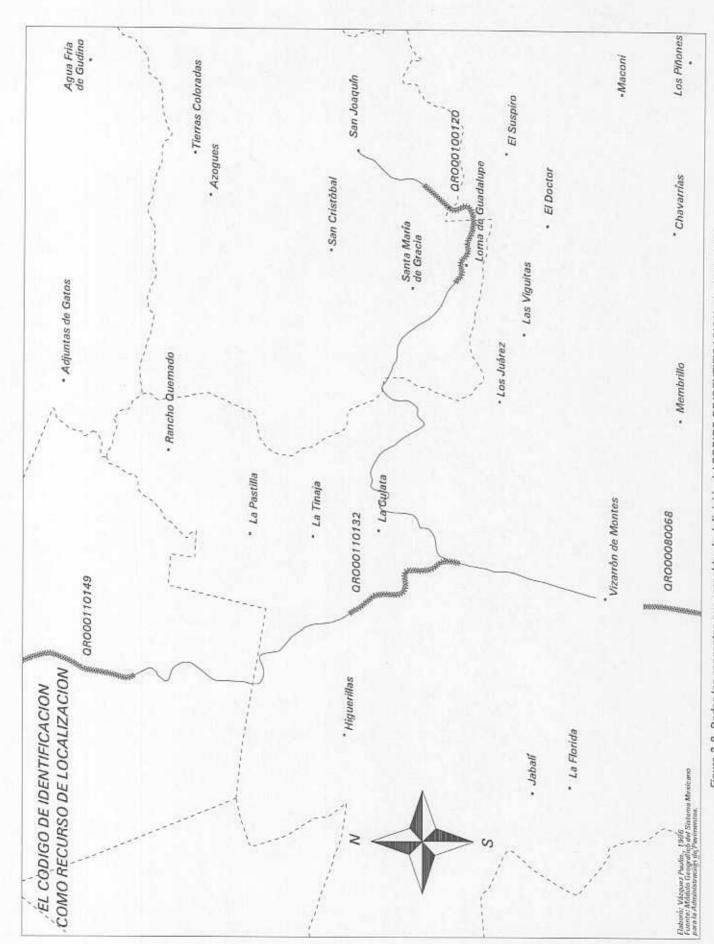


Figura 3.8. Dados los conceptos que respaldan la definición del CODIGO DE IDENTIFICACION, el mismo actua como un primer recurso de localización de los segmentos.

correspondientes a las 25 lecturas de deflexión y las calificaciones del Indice de Servicio Actual para sólo trabajar con los datos promedio.

El trabajo de eliminación citado, si bien no definitivo, permitió la detección de situaciones confusas que servirán de antecedente para la tarea de selección decisiva y el pulimento integral del propio SIMAP.

Hecha la selección de variables, sólo resta a través del código de identificación, enlazar éstas con la información geográfica respectiva (cada uno de los segmentos que integran la red carretera), para su disposición al interior de un Sistema de Información Geográfica, punto en donde se cierra la conformación de lo que constituiría el ambiente geográfico particular del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos.

3.4 Asociación de la información geográfica a las bases de datos del Módulo Económico del SIMAP.

Si bien, la primera condición para materializar el soporte geográfico del SIMAP, implica preparar la información espacial que representa a los rasgos de interés de una zona dada conforme a los requerimientos establecidos por éste, en el caso específico del Módulo Económico, no existe al respecto ninguna demanda adicional a las establecidas por el Módulo Técnico, en virtud de que su unidad territorial aunque distinta, el **proyecto**, constituye una agregación de **segmentos** con características técnicas similares.

Dado que el Módulo Económico trabaja con una entidad territorial distinta, la tarea de asociación debe considerar dos aspectos situados más allá de la sola vinculación entre los datos no locacionales y las bases de datos que representan a los rasgos geográficos. El primero, remite al hecho de que si bien se trata de entidades espaciales entre las que existe absoluta correspondencia (segmento y proyecto) representan niveles de información distintos, cuya organización demanda almacenamientos independientes, y el segundo, apunta la importancia de atender el enlace entre dichos niveles, puesto que el apoyo geográfico otorgado al SIMAP debe asegurar el manejo de la información desde el elemento espacial, cualquiera que sea su estructuración y/o las definiciones del mismo.

En síntesis, el mecanismo de asociación debe lograr la definición física del **proyecto**, su enlace con los atributos que lo caracterizan y su correlación con la información que a nivel de **segmento** comprende el sistema de información geográfica del SIMAP. Con el propósito de que ello no se dificulte es imprescindible unificar la estructura del código de identificación de los segmentos, en su calidad ahora de elemento de asociación entre las entidades espaciales y por tanto, de medio que propicia el enlace operativo entre los módulos que integran al SIMAP.

Por otra parte, las particularidades del Módulo Económico imponen algunos pasos de trabajo previos a la conformación de la base de datos a nivel de proyecto dentro del sistema de información geográfica del SIMAP. Uno de éstos, corresponde a la necesidad de convertir el formato de archivo utilizado por el Módulo Económico a algún otro (DBASE por ejemplo) que haga posible la asimilación de la información dentro del ambiente del SIG; dicha condición demandó la confección de programas de conversión de archivos, mismos que forman parte de la rutina que se establece para la intercomunicación entre el Módulo Económico y el Módulo Geográfico del SIMAP.

Otro aspecto que debió resolverse en forma previa a la construcción de la base de datos a nivel de proyecto dentro del SIG, fue el diseño de los que se han denominado "archivos de exportación". La intención de su creación responde a dos consideraciones, de un lado, a la necesidad de almacenar en forma permanente los resultados de interés, dado que el Módulo Económico los aloja temporalmente y no existe forma de acceder a ellos después de ejecutadas sus rutinas de trabajo y, por otro lado, a la conveniencia de reunir en sólo uno o dos archivos, la información que interesa analizar y representar espacialmente, con objeto de facilitar y hacer más eficientes las tareas de recopilación e importación de datos del Módulo Geográfico.

Resueltos los aspectos señalados, es factible organizar y construir el formato de archivo de la base de datos que habrá de almacenar a nivel de **proyecto** los datos procedentes del Módulo Económico.

El proceso de selección de la información que deberá formar parte de la citada base de datos, consideró conveniente incluir dos tipos de información, una indiscutible, relacionada con los datos que definen y caracterizan a la

entidad espacial, es decir, la lista de segmentos que integran a un proyecto, individualizado por la clave de identificación que desde el Módulo Económico asignó el usuario del sistema; los datos relativos al índice de servicio actual, la deflexión promedio y el valor relativo de soporte del proyecto; así como el número y descripción de las alternativas de mantenimiento entre las que el Módulo Económico elige, en calidad de propuesta, las opciones a ejecutar conforme a recursos presupuestales disponibles; y como otro grupo, los resultados de trabajo que mejor reflejan los fundamentos de la selección de alternativas de mantenimiento realizada, entre los cuales se cuentan, el costo unitario de la acción de mantenimiento propuesta, el flujo de gasto en función del tipo de recursos asignados, el tiempo de atención y el ahorro alcanzado (en Valor Presente Neto) en caso de llevar a cabo las acciones sugeridas.

De esta forma, se completa el módulo de información geográfica que el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos necesita para materializar las oportunidades de análisis que el manejo explícito de la dimensión espacial, logrado mediante el apoyo de un SIG, le proporciona.

4. Planteamiento Funcional del Módulo Geográfico

Construido a partir del lenguaje SML (Simple Macro Language) del sistema ARC/INFO (1), el Módulo Geográfico representa el primer esfuerzo de incorporación de funciones de análisis espacial y representación cartográfica al esquema de operación del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos.

Creado sobre la base de un Sistema de Información Geográfica, el Módulo Geográfico es la aplicación diseñada para reforzar y servir en exclusiva al quehacer del SIMAP. Las razones de circunscribir las funciones espaciales del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos a lo que llamamos una aplicación cerrada dentro del ambiente de un SIG, obedecen a motivos de simplificación y eficiencia.

Si bien el referido módulo necesita del soporte de ARC/INFO para poder funcionar, el SIMAP no requiere del pleno de éste para satisfacer sus necesidades de apoyo geográfico, de manera que la opción más conveniente y viable hasta el momento, sea la de aislar del conjunto aquellos elementos útiles a los propósitos del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos; el acotamiento y organización de funciones específicas asociadas en forma explícita y directa a un objetivo, permite como es el caso, poner a disposición de los usuarios (responsables de la conservación carretera), un instrumento de trabajo calificado y fácil de operar.

La confección del Módulo Geográfico como aplicación específica, a la vez que concreta y adecúa las funciones del SIG a los requerimientos de un campo de trabajo en particular, pretende liberar al usuario de las necesidades de comprensión y del largo proceso de adiestramiento que el uso de estas herramientas exige; dado que el principio de creación del SIMAP es dotar a los responsables del mantenimiento de un sistema sencillo en su operación pero atinado en sus aportaciones, que contribuya a elevar la eficiencia de las acciones de conservación.

Conviene aclarar, antes de describirlo, que más que tratarse de un módulo en sí mismo, referido así con fines de reconocimiento y con motivo de su condición de independencia, el apoyo geográfico proporcionado por medio del SIG al SIMAP constituye la solución de una demanda de principio, postergada por las dificultades de carácter técnico que imponía el manejo

70

⁽¹⁾ Conjunto de comandos que forman un lenguaje de programación simple, (con algunas características de los lenguajes de programación de alto nivel), orientado a la construcción de macros (programas de ordenamientos secuenciales), que entre otras de sus utilidades permiten la confección de enlaces a la medida de las necesidades del usuario, es decir, contribuyen a facilitar las formas de interacción usuario-sistema, dentro de una aplicación específica.

cabal de la dimensión geográfica. Se trata en suma, de la adición de un conjunto de nuevas capacidades dirigidas a fortalecer la naturaleza del sistema, para el que, hacer más expresiva la presentación de sus resultados y especialmente, garantizar su asociación con el contexto geográfico respectivo, son condiciones casi inexcusables o cuando menos ahora, considerables ventajas.

4.1 Objetivos y organización del Módulo Geográfico

El desarrollo y materialización del sustento geográfico que acompaña ahora al SIMAP tuvo como meta, el acceso a un conocimiento más completo y objetivo del problema del deterioro carretero; aspiración basada en el reconocimiento de que la incorporación de la dimensión espacial al diagnóstico y evaluación de los daños y necesidades de mantenimiento de la infraestructura, abre oportunidades que, como la agregación territorial de variables y la proyección geográfica de resultados, ofrecen visiones más integradas y reveladoras de una misma situación. En otras palabras, la composición y organización de funciones del Módulo Geográfico se propuso, de acuerdo con la meta señalada, la comprensión de la dinámica territorial del deterioro carretero y la apreciación visual de su localización y distribución, con la intención de contribuir al objetivo subyacente de elevar la competencia de los resultados del SIMAP en su calidad de guías útiles a la instrumentación y ejecución de las acciones de mantenimiento, en una zona específica y en un momento determinado.

Como aplicación específica del sistema ARC/INFO, el Módulo Geográfico dispone de las capacidades que examinadas en el pleno del Sistema de Información Geográfica, resuelven satisfactoriamente el propósito acordado; su organización responde por una parte, a la conveniencia de compatibilizarlo con los términos y el ordenamiento de los módulos Técnico y Económico, y por otra parte, a la condición de ofrecer al usuario una herramienta de manejo simple y de resultados directos.

En cuanto a la pretensión de armonizar el diseño del soporte geográfico con la organización de los módulos Técnico y Económico, debe admitirse que la existencia de una serie de restricciones impuestas por la estructura del SIG utilizado como plataforma, impidieron la adecuación deseada entre las partes. Si bien los requerimientos establecidos para el desarrollo de la aplicación determinan las características de los programas que la sustentan,

su organización depende preponderantemente del orden bajo el que opera ARC/INFO, compuesto por subsistemas funcionales independientes, huéspedes de un programa que además de contener los cimientos del sistema, permite el almacenamiento de la información y el acceso a ésta desde cualquiera de sus compartimentos (2). (Fig. 4.1).

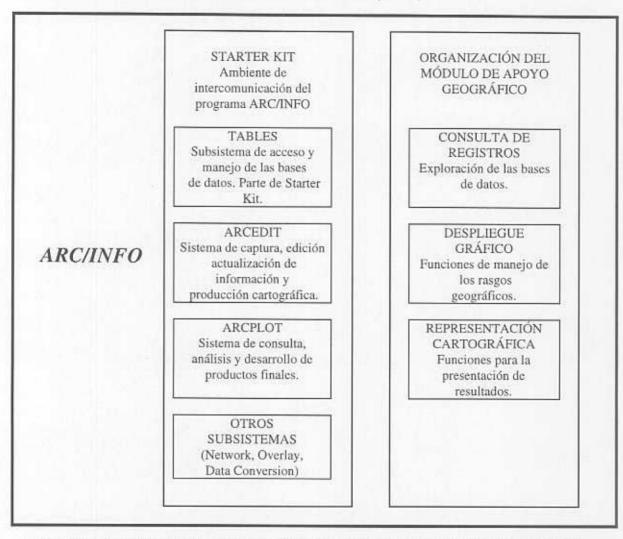


Figura 4.1. Relación de la organización del Módulo Geográfico del SIMAP con la estructura de su plataforma de construcción, el sistema ARC/INFO. Elaborado por : Valerio Fuentes... 1996

Sin embargo, en concordancia con el propósito de ofrecer una herramienta accesible y útil, el desarrollo del Módulo Geográfico se obstinó en buscar los mecanismos que mejor resolvieran las intenciones de simplificar y facilitar su servicio; entre ellos, se recurrió al uso de pantallas que introducen a los grandes grupos de funciones del módulo y a la construcción de menús cuya

⁽²⁾ La operación del Módulo Geográfico requiere de la residencia de los módulos Starter Kit, Arcedit y Arcplot del software ARC/INFO en el equipo de cómputo.

intención es ceñir el trabajo del SIG a los requerimientos del SIMAP, para evitar en lo posible, los procedimientos complicados, en cuyos casos, se incorporaron "textos de ayuda" en los que se describen las facultades de los comandos y el orden de su encadenamiento para la ejecución de determinados procesos.

De esa forma y teniendo como plataforma de trabajo la versión para computadora personal 3.4 D plus de ARC/INFO, el Módulo Geográfico quedó integrado por más de 100 programas elaborados con el lenguaje de programación del sistema (SML) y diez archivos de "ayuda" terminación .TXT, ordenados a partir de un programa principal (SIG.SML) que los involucra a todos y cuatro de segundo y tercer nivel que albergan a los distintos procedimientos (Fig. 4.2).

De esta forma, las funciones que conforman el apoyo geográfico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos quedaron organizadas en tres partes:

La primera, restringida a la consulta de registros, cuya capacidad de exploración dispone de las modalidades de consulta total o parcial del universo espacial y de las de identificación de segmentos según uno o varios atributos.

La segunda, circunscrita al manejo y despliegue gráfico de la información disponible en el sistema, comprende funciones tanto de administración, como de análisis de la información; es decir, contiene las herramientas que permiten la integración o la disociación de los rasgos geográficos, la ejecución de procesos varios relacionados con la consulta de la información desde ángulos muy diversos y la interrelación espacial de variables, además de algunas acciones de apoyo como la inquisición y conversión de coordenadas o la medición de distancias. Funciones todas, reunidas bajo la característica de la visualización gráfica de la información.

La tercera, que engloba las funciones de competencia cartográfica del módulo, trabaja en base a formatos de presentación preestablecidos y dispone de los elementos necesarios para la confección de la representación final de los resultados (Fig. 4.3).

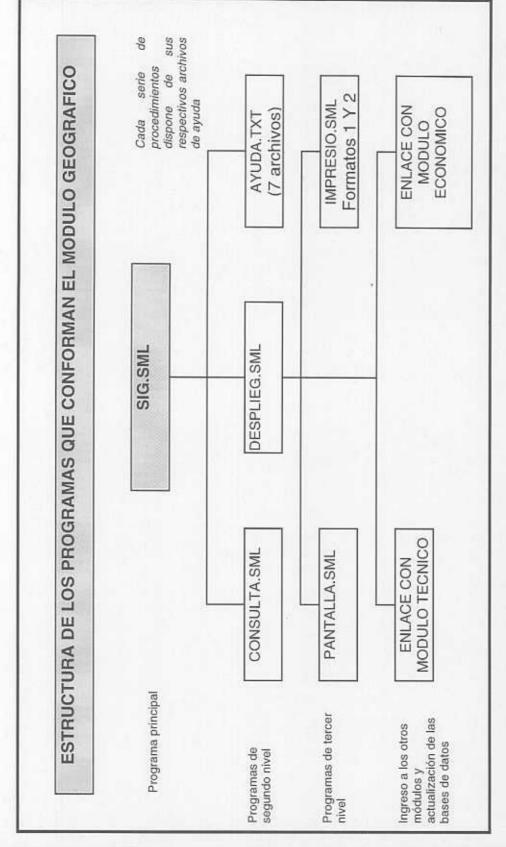


Figura 4.2. Apoyado en el sistema ARCANFO, el Módulo Geográfico está conformado por más de 100 programas que albergan a sus procedimientos y funciones.

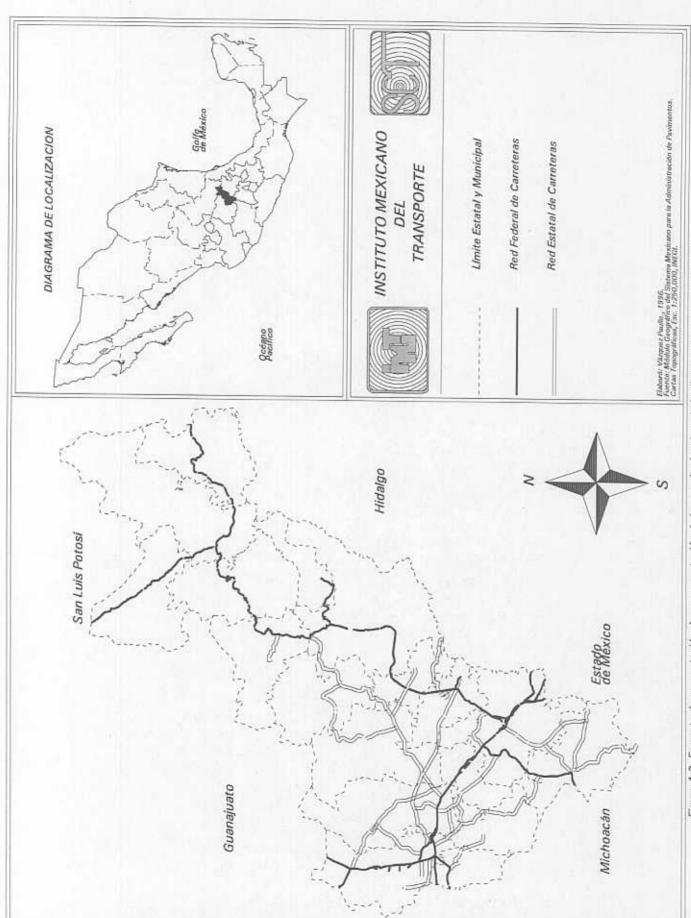


Figura 4.3. Formato de presentación. La representación de los resultados de trabajo dispone de diversas funciones para la expresión de los mismos, la existencia del formato atiende a razones de eficiencia.

Si bien se trata de conjuntos de procedimientos distintos, todos operan a partir de un denominador común, el rasgo geográfico, cuyo manejo, ejecutado en dos direcciones, condensa los principios operativos del módulo y hace posible el ejercicio de sus capacidades. En un sentido, dicho manejo parte del propio elemento geográfico para resolver las demandas que se le plantean, en el otro caso, como ocurre en los procesos de combinación de variables y/o cumplimiento de condiciones específicas, lo hace desde las bases de datos donde se almacenan los atributos de los rasgos.

De manera que, con la posibilidad de dar respuesta a las interrogantes:

- ¿Qué está en ...? y - ¿Dónde está ...?

el Módulo Geográfico logra desplegar sus nuevas capacidades y materializar los beneficios que éstas le confieren (Figs. 4.4 y 4.5).

De acuerdo con la filosofía del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, las condiciones de daño de la red carretera o de un tramo de ésta se determinan a partir de la evaluación de los segmentos de 5 Km que la integran; el segmento es entonces la **unidad espacial básica** y el objeto de trabajo del sistema, sin embargo, debemos subrayar que su trascendencia, no se sitúa en la magnitud establecida, que aunque constante por el momento, puede modificarse si así lo justifican las necesidades de diagnóstico de la infraestructura, su significado se ubica en el reconocimiento a su calidad de **categoría espacial**, cuya existencia condiciona el arranque operativo del sistema y determina en esencia, el nivel de detalle de la información que éste aporta.

Lo sustancial es comprender que a través de la caracterización de los segmentos, entendidos como unidades territoriales indivisibles, es como se podrá captar en primera instancia la geografía del deterioro de la red vial y con el tiempo, entender con mayores fundamentos el comportamiento y la dinámica del fenómeno en las distintas zonas de la red carretera nacional.

Como insumos fundamentales del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, es menester reconocer que la delimitación de los segmentos debe responder en consecuencia a criterios muy claros, definidos en el

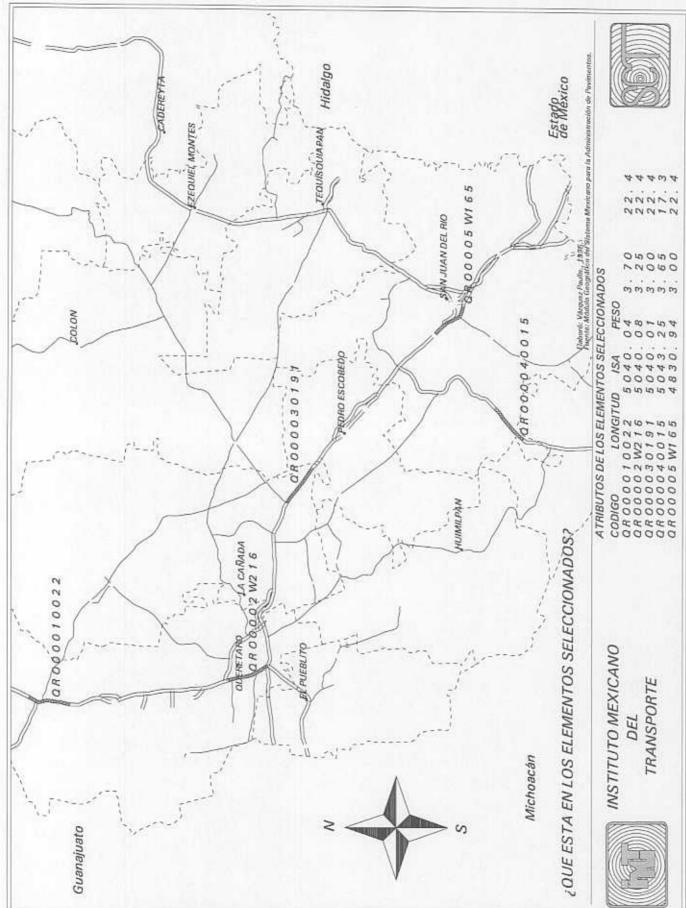


Figura 4.4. Ejemplo que responde al cuestionamiento, ¿Qué está en..?. Al sañalar uno o varios segmentos, bien en forma directa o a través de su código de identificación, el Módulo Geográfico reporta en forma total o párcial, la información que corresponde a ese segmento.

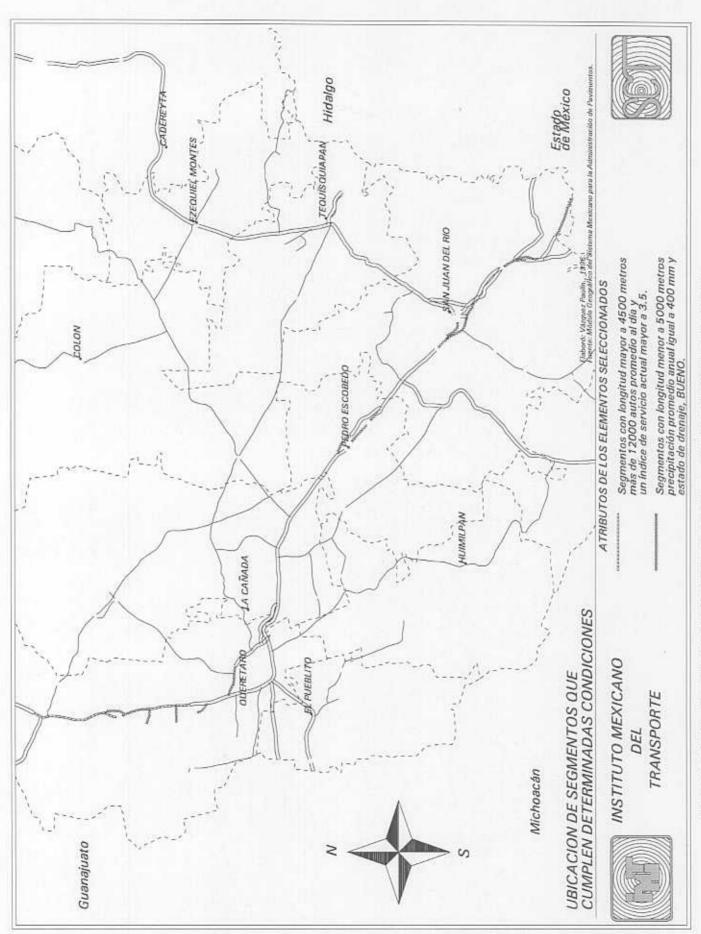


Figura 4.5. Elemplo que responde a la interroganta, ¿Donde está ..?. Previo establecimiento de condiciones, el Módulo Geográfico identifica y localiza los segmentos en donde tales preceptos se cumplen.

marco de la organización espacio-administrativa de la dependencia responsable de la conservación carretera, dado que como unidad espacial básica, el segmento actuaría en teoría como estructurador y ordenador de las otras unidades territoriales; no obstante, al existir éstas, el proceso de segmentación exige la adopción de alguna de ellas (cuadrilla o ruta), para llevar a cabo la labor de división. (Ver capítulo anterior).

Reconocer el significado y la existencia de una categoría espacial, cualquiera que sea su jerarquía, es principio fundamental de la sistematización de la información. La adecuada inscripción de una unidad espacial en otra, es una condición que no se puede minusvaluar al momento de introducir una nueva categoría al interior de una estructura territorial ya existente. El ejercicio en el estado de Querétaro es un buen ejemplo de lo que puede ocurrir si no se comprende u omite la importancia de esta formalidad; en dicho caso, la decisión adoptada fue la de segmentar la red a partir del componente **ruta**, dando origen a pequeñas inconsistencias en el cubrimiento de las áreas de trabajo de las cuadrillas, mismas que fue necesario corregir mediante ligeros ajustes, a fin de garantizar el empalme entre las entidades espaciales que integran la organización territorial de la red vial.

Es claro que para alcanzar una adecuada sistematización de la información es imprescindible establecer una serie de criterios, que además de ayudar a normar esta tarea contribuyan a homogeneizarla a lo largo de todo el territorio nacional.

4.2 Los nuevos aportes del SIMAP.

Mediante el apoyo del módulo de manejo geográfico, el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos ofrece distintas perspectivas e imágenes múltiples del estado de deterioro que registra la infraestructura carretera en un momento determinado. A través de la expresión cartográfica, bien del comportamiento territorial de las distintas variables que el sistema procesa y/o del patrón de distribución que el diagnóstico de la situación describe, el SIMAP aporta elementos que rebasan la semblanza del problema y ayudan a comprender la dinámica del mismo.

Desde luego, como se ha insistido, el valor del SIMAP se sitúa en su calidad de herramienta que apoya el desempeño de las acciones comandadas por la Estrategia de Conservación, al brindar insumos útiles al diagnóstico y

evaluación del daño que manifiesta la infraestructura vial. Tal condición, no se altera con la incorporación de la dimensión territorial, los resultados no dejan de ser signos de una realidad y nutren análisis posteriores y más profundos; la diferencia estriba sin embargo, en que con la ampliación de funciones el Sistema de Gestión de Pavimentos ofrece nuevos elementos que sumar al examen.

Precisamente son esos elementos de conocimiento, los que situados más allá de las funciones propiamente dichas deben ser considerados para apreciar los nuevos aportes del sistema. Es probable que lo más evidente del apoyo geográfico sea la capacidad cartográfica de que ahora dispone y es posible que por sí sola parezca poco importante, fuera de reconocerle la virtud de hacer más objetivos los resultados, pero cuando esa capacidad se califica en términos de la comprensión que el análisis espacial de la información expresada en mapas e imágenes proporciona, la impresión cambia, pues la utilidad de los resultados se incrementa; la sensibilidad que se alcanza mediante la observación en mapas de la distribución territorial de variables o los mensajes que se captan al efectuar un trabajo de zonificación de la red carretera por tipos de daño o grados de deterioro, no se obtienen al margen del análisis espacial.

De modo que mediante el concurso de la dimensión territorial, el SIMAP ha potenciado sus contribuciones a las labores de análisis e interpretación del fenómeno; la nueva percepción del problema propiciada con su intervención, otorga argumentos que ayudan a explicar por ejemplo, los efectos, las condiciones o los comportamientos regionales y generales del deterioro, que de otra forma serían difíciles de detectar.

Los beneficios que las capacidades de manejo y representación espacial del sistema propician, no sólo son diversos, sino que pueden interpretarse desde diferentes ángulos o bajo distintos enfoques, como se intenta documentar aquí; entre ellos conviene resaltar la adquisición de una percepción distinta y el desarrollo de una sensibilidad más aguda respecto del fenómeno observado, que entre otras de sus ventajas derivadas favorece vías de acción más inmediatas. No es lo mismo recibir un listado de datos, incluido el resultado correspondiente al "espesor de grava equivalente" necesario en cada segmento para alcanzar un estado adecuado de rodamiento, que disponer de mapas en donde esa misma información refleje el comportamiento territorial del problema por atender y todavía más distinto cuando además los datos en ellos sintetizados son

producto de análisis espaciales que inducen a razonamientos o interpretaciones de los hechos.

En consecuencia, poder dar respuesta en forma rápida y confiable a preguntas como:

- ¿Qué está en ...?
- ¿Dónde está ...?
- ¿Qué patrón espacial existe?
- ¿Qué ha cambiado desde ...?
- ¿Qué ocurre si ...?

tal y como lo hacen en general los SIG, representa ventajas considerables para la elaboración del diagnóstico de la situación de deterioro de la red vial y por ende y más importante, para la organización operativa de las acciones de mantenimiento dirigidas al cumplimiento de la eterna misión de los responsables de la conservación carretera. Se trata sin duda de cuestionamientos, que tal vez planteados en forma distinta, constantemente necesitan despejar y resolver los equipos comprometidos con el mantenimiento para realizar su cotidiana labor.

Aunque la intención inmediata de una herramienta como el SIMAP es la de otorgar mediante la sistematización adecuada y expedita de datos, información que sirva de guía a la organización de las labores de mantenimiento, con el tiempo, si sus resultados son comparados, bien interpretados o en suma profusamente explotados, es factible que pueda extender sus beneficios a las actividades de planeación y de este modo, ayudar a la ejecución de acciones preventivas antes que exclusivamente correctivas.

Por último, cabe mencionar que con la conformación del Módulo Geográfico, se coronó el objetivo de proporcionar al SIMAP el soporte geográfico que demandaba, a instancia de atender sin abstracciones un problema en el que la participación activa de la dimensión espacial y la magnitud y complicación territorial del propio fenómeno, no pueden soslayarse, especialmente si se pretende lograr una mayor efectividad de los resultados.

Conclusiones

En síntesis, mediante la concreción de capacidades de un Sistema de Información Geográfica (en este caso ARC/INFO), el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos dispone de nuevas facultades, que sin alterar su naturaleza y propósitos, lo robustecen e incrementan la potencia informativa de sus resultados.

Si bien las condiciones actuales impusieron, como recurso metodológico viable, la triangulación de operaciones para proporcionar al Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos el soporte geográfico que demandaba, los resultados obtenidos se consideran satisfactorios, aunque no inmejorables; se reconoce por ejemplo, la necesidad de establecer un mecanismo que permita el intercambio fluido de información entre los módulos del sistema sin tener que recurrir, como ahora sucede, a la importación de las bases de datos del Módulo Técnico al Geográfico o del Económico a este último.

El principal problema del esquema bajo el que ahora opera el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, es precisamente la existencia de información inscrita en compartimetos, es decir, circunscrita al ámbito del módulo encargado de procesarla, sin facilidades adecuadas para tener acceso a ella desde cualquier otra parte del sistema; tal situación conduce al planteamiento de una aspiración de proporciones más vastas, el futuro desarrollo de un ambiente de operación que además de amalgamar las distintas funciones del sistema resuelva la presencia de barreras y obstáculos que entorpecen y dificultan el flujo de información que lo alimenta. Dicha solución deberá buscarse en la inscripción del sistema en el ambiente de un Sistema de Información Geográfica, por ser el territorio y los rasgos que lo conforman, la dimensión de confluencia del resto de los datos, como lo demuestra el papel del segmento carretero ampliamente explicitado.

Respecto al papel otorgado al segmento, el proceso de división de la red supone que éste debe realizarse una sola vez, de ahí que su ejecución exija riguroso cuidado en la delimitación, facilidades para su identificación en campo y correspondencia con el modelo de representación contenido en el sistema de información en torno al cual opera la herramienta de trabajo; aspecto en relación al que existían ciertas cuestiones por afinar, hasta antes de contar con las bases de datos que hoy conforman el Inventario Carretero Nacional, en virtud de que el nivel de detalle otorgado por la escala del material cartográfico empleado como fuente (1:250,000 en el estudio piloto), no satisfacía el requerimiento de representatividad demandado,

concretamente en las zonas donde el relieve impone una alta sinuosidad a los caminos.

Si bien esta clase de imprecisiones podrían ser resueltas mediante la documentación de materiales de mayor detalle, el salto en la escala de la cartografía disponible (de 1:250,000 a 1:50,000), implicaba un esfuerzo de captura de la información que precisaba ser evaluado; por ejemplo, el área cubierta por una carta escala 1:250,000 corresponde a 25 hojas escala 1:50,000, es decir, la tarea de digitalización se multiplica en la misma proporción. Por otro lado, la tarea de preparación de la información espacial necesaria para conformar los sistemas estatales enfrentaba el problema de actualización de buena parte de los contenidos de la cartografía nacional, entre los que destacaba precisamente, la información que representa a la infraestructura para el transporte; situación que aunada a la disyuntiva anterior, motivó la decisión de explorar las facultades y las posibilidades de algunas otras de las tecnologías relacionadas con la adquisición y manejo de información georreferenciada, como son las herramientas asociadas a la Percepción Remota y los Sistemas de Posicionamiento Global.

En este sentido, se espera que mediante el adecuado complemento de las tecnologías que prueben ser útiles a las demandas de información y necesidades de manejo espacial de la misma, se obtengan en el futuro próximo las facilidades para actualizar en breve tiempo -como de hecho está ocurriendo bajo la dirección y supervisión del Instituto- la cartografía del inventario nacional de la infraestructura para el transporte, cuyas contribuciones se verán ampliadas con las ventajas intrínsecas de captura y almacenamiento de la información respectiva en medios magnéticos; ganancia vital no sólo para la misión de conservación del patrimonio carretero, propósito del SIMAP, sino desde luego también para la gestión del transporte en su conjunto.

Por otra parte, si bien el Módulo Geográfico debió, como de hecho lo hizo, adaptarse a la estructura de los Módulos Técnico y Económico, no logró, por su propia naturaleza, superar o resolver algunas de las demandas que se le planteaban, tal es el caso de la diferencia metodológica que existe con respecto al Módulo Económico al momento de definir un **Proyecto**, debido a que en éste se hace a partir del subtramo, lo cual no concuerda con la división en segmentos de la red que se realiza a partir de rutas; y aunque para la comunicación y el trabajo conjunto entre los módulos no implica problema en los hechos, sí se trata de una inconsistencia en la filosofía de

organización territorial de la red carretera dentro del entorno del SIMAP que no debe existir, tanto por el buen acoplamiento entre las partes, como para evitar trabajos innecesarios como sería el propio caso del proceso que sigue el Módulo Económico para la definición de los proyectos, el cual puede efectuarse directamente desde el segmento.

En otro orden de ideas, el desarrollo del trabajo reveló un asunto que es oportuno abordar, se trata de la falta de claridad de la nomenclatura carretera nacional, que en circunstancias de sistematización de información como la presente resultan imprescindibles; tal hecho, además de sugerir trabajo al respecto, es muestra de los vacíos que el manejo de la dimensión espacial enfrenta, aún en el caso de actividades que ineludiblemente se deben atender territorialmente, como el mantenimiento carretero.

Los criterios de definición de las distintas entidades espaciales (carretera, tramo y subtramo) son tan imprecisos, que incluso entre las distintas áreas de la S.C.T. vinculadas con la infraestructura vial no existe acuerdo para referirse a un tramo en particular; el SIMAP enfrenta en consecuencia las repercusiones de un problema ajeno a su competencia, pero de suma importancia para su labor, la existencia de una nomenclatura carretera totalmente desmadejada.

Si bien la asidua frecuencia con que los encargados de la conservación transitan los caminos que están bajo su responsabilidad, les brinda un conocimiento profundo de sus zonas de atención y les permite ubicar sin problema y en forma inmediata las necesidades de mantenimiento, el método exhibe sin embargo, un acentuado desconocimiento acerca del manejo espacial del fenómeno y de la comprensión del papel que el entorno geográfico desempeña, además de la carencia de herramientas y técnicas encaminadas a facilitar la documentación del comportamiento de dichos factores y la organización de las labores de conservación.

En virtud de que el mantenimiento carretero no puede depender en exclusiva de recorridos de campo, aunque se acepte que éstos son insustituibles, es necesario admitir que requiere de otros métodos que complementen y aprovechen más y mejor la experiencia e información obtenidas en cada viaje de reconocimiento; en otra palabras, es imprescindible recurrir al manejo explícito de la dimensión espacial, en donde el primer requisito establece sistematizar el objeto de atención, en este caso la red carretera, para mediante la aplicación de distintas técnicas y

el uso de diversas herramientas (especialmente mapas y ahora también Sistemas de Información Geográfica), monitorear las condiciones físicas y operativas de la infraestructura, con el propósito de obtener no sólo imágenes de la situación en un momento específico, sino para disponer con el tiempo, de un bagaje de información acerca del comportamiento del acervo carretero, conocimiento que en conjunto contribuirá a hacer más oportunos y eficientes los trabajos de conservación.

En la medida en que el conocimiento se integra y se asocia a su ubicación geográfica, objetivo para el cual la labor de sistematización de la información es de considerable ayuda, el quehacer de administrar la infraestructura carretera eleva significativamente su eficiencia. De ahí la insistencia de promover y mejorar el control de la dimensión territorial.

Bibliografía

Achutegui Viada, F. (1991). "Sistemas de Gestión" p.p. 11 - 16 en <u>Jornadas Técnicas</u> sobre Conservación de Carreteras. Sevilla, España.

Aguerrebere S., R. y Martínez A., R. (1990 y 1991). Manual Estadístico del Sector Transporte. Documento Técnico. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Aguerrebere S., R.; Solorio M., R. y Benavides S., M. (1993). <u>Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).Manual del Usuario Documento Tecnico No. 9.</u> Instituto Mexicano del Transporte. México.

Arredondo O., R. (1992). <u>La importancia económica de las principales carreteras como criterio para jerarquizar su conservación.</u> Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Barousse M., M. y Zavaleta, A. (1992). <u>Sistema de Administración de Puentes</u>. Publicación Técnica en prensa. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Dollfus, O. (1976) El Espacio Geográfico. Ed. Oikos-Tau. Colección ¿Qué sé? núm. 111. España.

Gasca Allue, Carlos. (1987). "Generalidades sobre conservación y Gestión de carreteras: defectos y operaciones de conservación" p.p. 15 -24 en <u>Jornadas sobre Técnicas de Conservación de Carreteras</u>. Santander, España.

Gendreau, Michel y Duclos, Louis-Philippe. (1990). "Decision-Support System for Pavement Management of the network level" p.p. 80 -84 en <u>Transportation Research Record</u>. núm 1272.

Gutiérrez Bolívar, O. (1991). "Aplicaciones en la red de carreteras del Estado" p.p. 17 -23 en Jornadas <u>Técnicas sobre Conservación de Carreteras</u>. Sevilla, España.

Izquierdo del Fraile, J. (1991). "Aplicaciones de las nuevas Tecnologías Informáticas" p.p. 65 - 104 en Jornadas <u>Técnicas sobre Conservación de Carreteras</u>. Sevilla, España.

Levy, Hernán. Políticas de Transporte en América Latina. Instituto de Desarrollo Económico del Banco Mundial. Informe del Seminario de Políticas del IDE, núm. 10. Washington, D.C.

Mahbub Matta, Víctor M. (1986). "Sistema de Administración del Mantenimiento de la Infraestructura Carretera" p.p. 341 - 382 en <u>Alternativas Tecnológicas.</u> núm 14. Academia Mexicana de Ingeniería. Memoria de las Mesas Redondas dentro del Tema: Problemática del Desarrollo Tecnológico". México.

Mendoza, A. y Cadena, A. (1992). <u>Análisis estadístico del peso y las dimensiones de los vehículos de carga que circulan por la red nacional de carreteras troncales</u>. Informe por publicar. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Mendoza, A. y Reséndez, O. (1992). <u>Análisis económico de los efectos del peso de los vehículos de carga autorizados en la red nacional de carreteras</u>. Informe por publicar. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Mier y Terán Ordiales, C. (1986). "La prioridad de la conservación de infraestructura en el gasto público" p.p. 281 -293 en <u>Alternativas Tecnológicas.</u> núm 14. Academia Mexicana de Ingeniería. Memoria de las Mesas Redondas dentro del Tema: Problemática del Desarrollo Tecnológico". México.

Mohsemi, Alaeddin; Darter I., Michel y Hall P., James. (1990). "Illinois Pavement Network Rehabilitation Management Program" p.p. 85-95 en <u>Transportation Research Record.</u> núm 1272.

Niessner, Charles W. (1978). "Value engineering analysis of selected maintenance activities" p.p. 1 - 3 en <u>Transportation Research Record</u>. núm 674.

Paredes M., F. y Scullion, T. (1990). <u>Pavement management applications of GIS: a case study.</u> Presentado en el 69º Encuentro anual del Transportation Research Board. Washington, D.C.

Quesada Alonso, G. (1991). "Necesidades y políticas de inversión en conservación" p.p. 105 - 126 en Jornadas <u>Técnicas sobre Conservación de Carreteras.</u> Sevilla, España.

Rico R., A.; Buen R., O de y Aguerrebere S., R. (1992) "En busca de una estrategia de conservación de carreteras" en <u>Carreteras</u>. 4º época, núm. 58. Revista Técnica de la Asociación Española de la Carretera. España.

Rico R., A.; de Buen R., O. y Aguerrebere S., R. (1993). <u>Bases estratégicas para el diseño de una política de conservación de carreteras.</u> Documento inédito.

Rico R., A.; Orozco, J.M.; Téllez G., R. y Pérez G., A. (1990). <u>Primera Fase. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).</u> Documento Técnico núm. 3. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Rico R., A.; Orozco, J.M.; Téllez G., R. y Reyes R., A. (1990). <u>Manual del usuario.</u> <u>Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).</u> Documento Técnico núm. 5. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Rico R., A.; Téllez G., R. y Elizondo R., M. (1990). <u>Manual operativo de campo. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).</u> Documento Técnico núm. 4. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Ritter Jr., L.S. y Paquette, R.J. (1951). <u>Highway Engineering.</u> Ed. The Ronald Press Company. Nueva York.

S.C.T. Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública. (1992). Elaboración de estrategias de mantenimiento para la red troncal de carreteras. Informe final. México. S.C.T. Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones. (1990). Evaluaciones en campo de la red básica federal. México.

Shahin Y., Mohamed y Rozanski M., Francine. (1978). "Development of a computerized System for Pavement Maintenance Management" p.p. 3 -11 en <u>Transportation Research Record</u>. núm 674.

Understanding GIS. (1990). PC Version. Ed. by Environmental Systems Research Institut. USA.

Wisconsin Department of Transportation. (1990). <u>Pavement Management Decision Support using a Geographic Information System.</u> Presentado al Departamento de Transporte de la Federal Highway Administration. Washington, D.C.

XIXth World Congress. (1991). Maintenance and Management. Marrakech.

CONTRACTOR A

Continue Con

7 10 44

DIVINE HE STREET

Tell ordered the last of the l

AN IT FOR THE