



---

---

# **LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA Y EL TRANSPORTE**

**Instituto Mexicano del Transporte**  
**Secretaría de Comunicaciones y Transportes**

Publicación Técnica No. 32  
Querétaro, Qro. 1992

ISSN 0188-7297

---

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE  
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**Los sistemas de información  
geográfica y el transporte**

Publicación Técnica No. 32  
Querétaro Qro.  
1992

---

CIUDAD DE MEXICO

Av. Popocatépetl 506 B  
Xoco-Benito Juárez  
03330 México, D.F.  
Tels. 688 76 29  
688 76 03  
Fax 688 76 08

SAN FANDILA

Km 4 +000, Carretera  
Querétaro-Los Galindo  
76700 P. Escobedo, Oro.  
Tels. (42) 16 97 77  
16 96 46  
16 95 97  
Fax (42) 16 96 71

---

---

*El presente trabajo ha sido realizado en el Instituto Mexicano del Transporte por los geógrafos Gabriela García Ortega y Miguel Angel Backhoff Pohls, investigadores de la Coordinación de Actualización Tecnológica. Los autores reconocen la valiosa aportación al mismo por parte de los ingenieros Tristán Ruiz Lang y Miguel Barousse Moreno, así como los comentarios y sugerencias del ingeniero Alfonso Rico Rodríguez.*

---

## **Presentación**

---

La elaboración de este estudio se inscribe en la línea de investigación que sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sus posibilidades de utilización en el sector transporte, se viene desarrollando en la Coordinación de Actualización Tecnológica del Instituto Mexicano del Transporte.

La presente Publicación Técnica, se sustenta en las ideas derivadas en la primera etapa de la investigación, relativa a la exploración y análisis de la teoría y conceptualización de los SIG, y reúne los resultados de la segunda etapa, consistente en la identificación y precisión de las ventajas de aplicación de esta tecnología como herramienta de apoyo en diversos campos del transporte.

Consecuentemente, el trabajo aquí expuesto representa la plataforma de conocimientos necesaria para continuar con la siguiente fase del proyecto, que comprende la implementación del sistema ARC/INFO mediante su aplicación en un estudio piloto, fase que actualmente se lleva a cabo en la Coordinación del IMT antes mencionada.

---



# Indice

---

<b>Introducción</b>	1
<b>1. Sistema de Transporte.</b>	9
<b>2. Condiciones de instrumentación de los SIG en el sector transporte.</b>	15
2.1 Requerimientos para la instrumentación operacional de los SIG en el sector transporte.	15
2.2 Características de funcionamiento y uso de los SIG aplicados al transporte.	25
<b>3. Aplicaciones en el Instituto Mexicano del Transporte.</b>	35
<b>Bibliografía.</b>	41

---

# Introducción

---

El transporte como actividad humana y medio que posibilita la articulación e integración regional, así como el intercambio de bienes e ideas entre poblaciones, es por naturaleza un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial; de aquí que, la dimensión espacial del transporte sea inobjetable y adquiera la categoría de elemento fundamental en los procesos de planeación, en la formulación de proyectos de inversión y además aparezca como uno de los criterios básicos en los análisis que sustentan la resolución del tomador de decisiones.

La implicación geográfica del transporte obliga necesariamente al análisis espacial. La heterogeneidad de variables que deben considerarse, la interrelación de éstas y la expresión cartográfica de las mismas hacen del análisis espacial una actividad compleja y laboriosa.

El acelerado desarrollo alcanzado por la tecnología computacional, no sólo en lo que respecta a su componente de equipo, sino también en la diversidad de campos de aplicación a los que se ha abierto, ofrece actualmente una herramienta diseñada específicamente para facilitar y apoyar las tareas relacionadas con el análisis espacial, conocida como Sistemas de Información Geográfica, cuyas cualidades principales son:

- Capacidad de registro geográfico de variables.
- Manejo integrado de informaciones diversas.
- Representación gráfica de resultados en distintos formatos, incluido el cartográfico.

Tales características, despertaron el interés del Instituto Mexicano del Transporte por formular un estudio exploratorio con el propósito de profundizar en el universo de lo que son y lo que ofrecen los referidos Sistemas de información Geográfica (SIG) en general y, en particular, al sector transporte, con el fin último de proponer, según los resultados alcanzados, su utilización a las áreas del sector para cuyas actividades los SIG resultaran ser una herramienta verdaderamente útil con provecho estimado en función de criterios como ahorro de tiempo, facilidad de manejo, efectividad de los procesos y confiabilidad de resultados; en pocas palabras, **GANANCIA EN EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD** en el trabajo.

A continuación, se exponen algunos de los principales conceptos derivados de la etapa de investigación precedente, correspondiente a la exploración y análisis teórico de los SIG, relativos a la definición, condiciones de evolución y características de los mismos, a fin de conformar una base de sustentación introductoria a la identificación de las posibilidades de aplicación de esta tecnología en el transporte.

Los Sistemas de Información Geográfica son fundamentalmente instrumentos técnicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados en primera instancia para INVENTARIAR información geográfica, la cual a su vez alimenta las funciones de ANALISIS con que están equipados los SIG, para finalmente, convertirse en herramientas útiles a las labores de ADMINISTRACION (Crain y MacDonald, 1983 citado en Cowen, 1988).

La posibilidad de los SIG de manipular datos geográficos, les permite estudiar procesos territoriales, realizar análisis de tendencias y elaborar proyecciones, insumos todos necesarios para las labores de planeación y administración en una gran diversidad de sectores y actividades económicas y sociales, como por ejemplo, la dotación de servicios básicos (agua, electricidad, drenaje, teléfono), la organización espacial de los servicios de educación y salud, la distribución de áreas comerciales y la ubicación de mercados potenciales, la identificación de nuevas rutas de transporte o necesidades de inversión en nuevos caminos, etc.

Ligados en sus orígenes al manejo de grandes bases de datos y a la cartografía automatizada, el concepto actual de los Sistemas de Información Geográfica ha desbordado esos propósitos al ofrecer además sus capacidades de manejo y análisis de la información. Si bien, como anota Burrough (1987), los SIG son resultado de la conjunción de desarrollos paralelos en varias disciplinas y técnicas relacionadas con el procesamiento de datos espaciales (fig. 1), como herramienta técnica desarrollada en el campo del quehacer geográfico, los SIG han destacado con el tiempo por el hecho de facilitar las tareas básicas de análisis, integración y síntesis de los procesos espaciales, características de la Geografía.

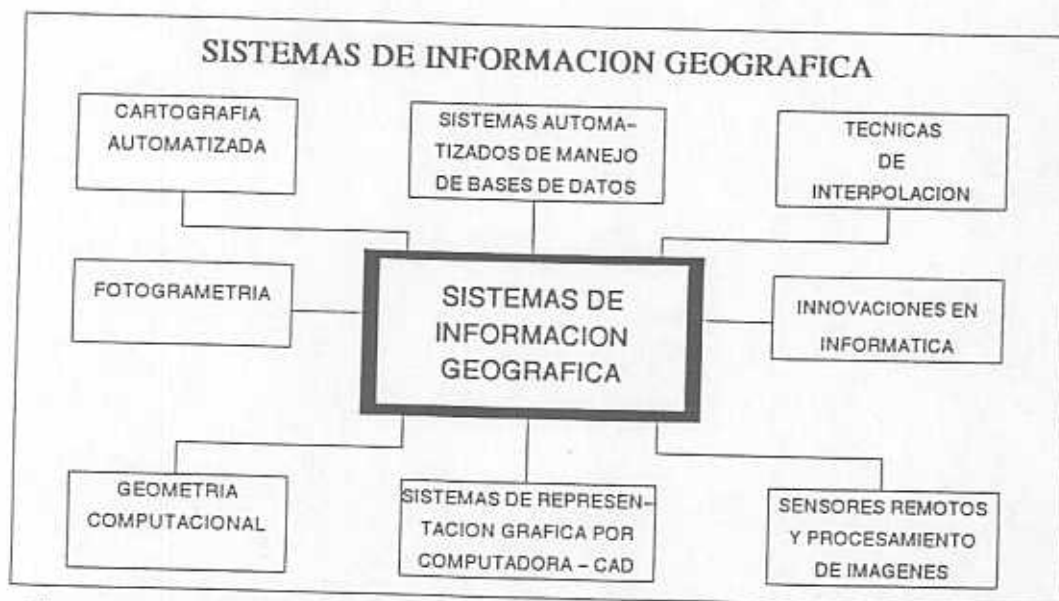


Figura 1. Los Sistemas de Información Geográfica aunque con características propias bien definidas se han nutrido de los avances logrados en técnicas afines, a las que en ocasiones también han heredado aportes.

Elaborado por: García O. y Backhoff P.

Como sistemas diseñados para el procesamiento y análisis de datos, los SIG proporcionan facilidades de acceso, organización, selección, integración y actualización de diversas series de datos con ahorros considerables de tiempo y a bajo costo. No obstante, sus ventajas como herramienta tecnológica específica se asocian al hecho de manejar datos geográficos, cuya referencia espacial conduce a la caracterización y diferenciación del territorio haciendo posible la predicción de procesos y patrones espaciales, atributos que ligados a la capacidad de representación gráfica de estos sistemas, amplían aún más el panorama de ventajas de utilización de los SIG. Fig.II.

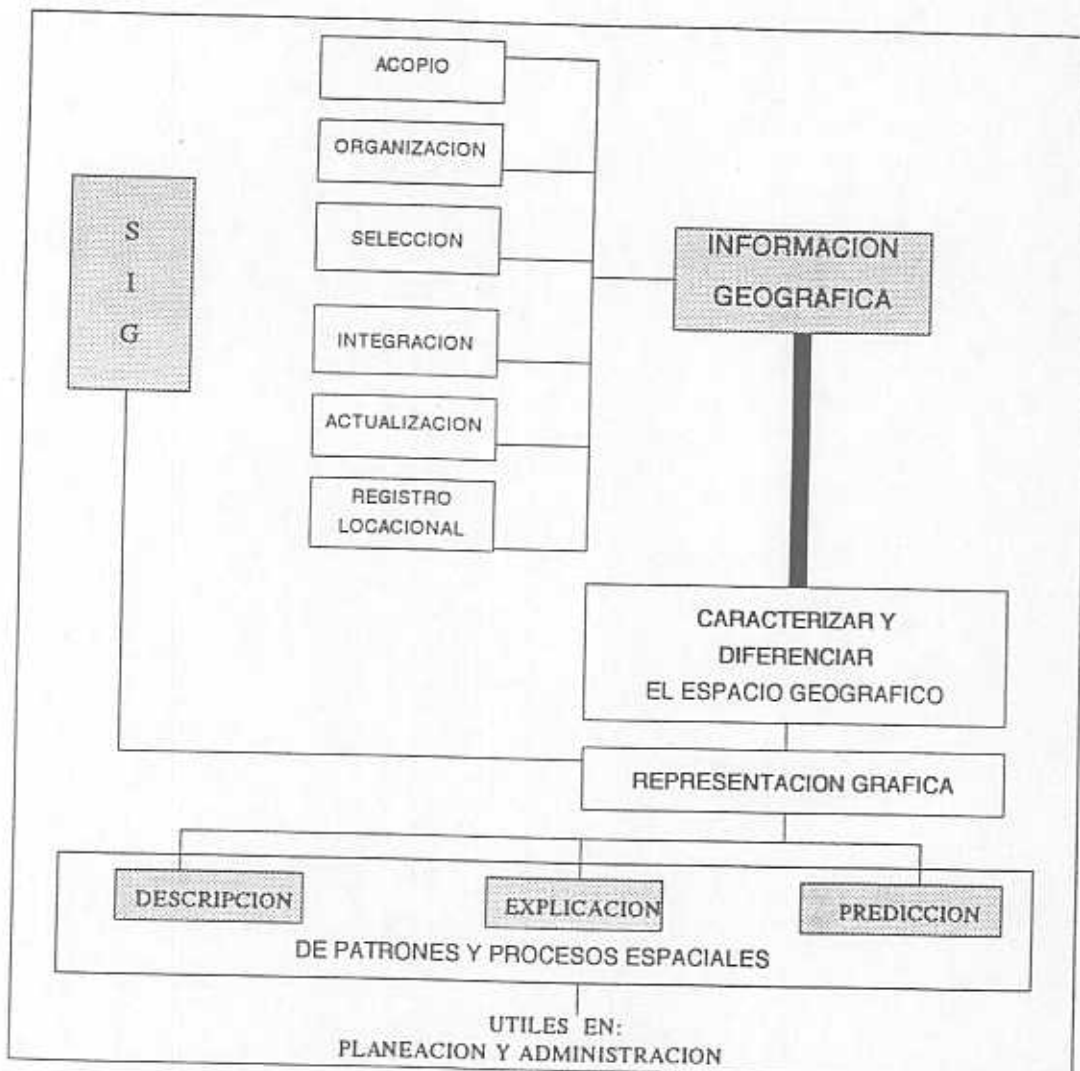


Figura II. La utilidad y singularidad de los SIG está dada por la característica de ser instrumentos de trabajo orientados a facilitar el análisis espacial del fenómeno en estudio.

Elaborado por: García O. y Backhoff P.

La evolución de los SIG ha dependido en buena medida, tanto de los avances técnicos alcanzados en diversas áreas de la ingeniería de sistemas, como de los logrados en materia de su propia conceptualización, formulación adecuada de objetivos y en el terreno de la demostración de su utilidad práctica, en campos tales como el manejo de recursos naturales, administración de servicios (agua, drenaje, electricidad, etc.), planeación de actividades económicas, entre otros. Fig. III.

Históricamente, el primer SIG nace a principios de los años 60's en Canadá (Canada Geographical Information System, CGIS) como respuesta a los problemas de competencia por el uso del suelo que dicho país enfrentaba. Desde su etapa inicial, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica se vinculó principalmente al sector gubernamental en instituciones y entidades de los Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Suecia, entre otros, que contaban ya en esos primeros años con sistemas propios diseñados para mejorar la administración regional del territorio, aunque la realidad es que en la mayoría de los casos estuvieron subutilizados.

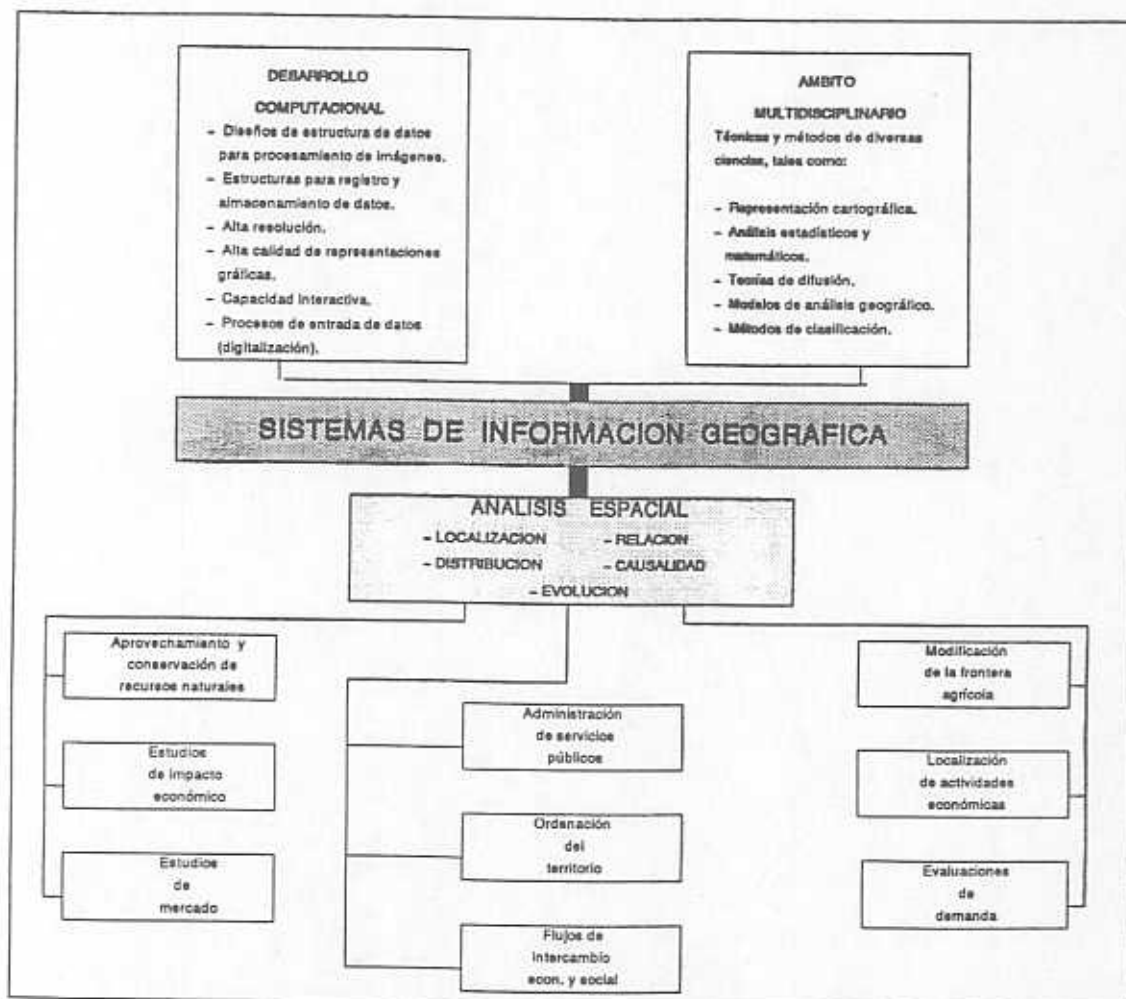


Figura III. Los SIG son producto del avance en la tecnología computacional, pero su desarrollo obedece fundamentalmente a la comprobación de su utilidad en diversas áreas del conocimiento y del quehacer práctico. Elaborado por: García O. y Backhoff P.

---

A lo largo de los años 80's, los SIG no sólo diversificaron sus campos de aplicación, sino que también trascendieron sus fronteras y arribaron a algunos países del mundo subdesarrollado. En el caso particular de México, su introducción ha obedecido más a inquietudes individuales que a esfuerzos institucionales; sin embargo, su utilidad se ha difundido con impresionante rapidez y ha logrado despertar el interés de organismos públicos que los han incorporado como práctica herramienta de trabajo. Son los casos de la Comisión Federal de Electricidad, INEGI, Pemex, Sedue, Conasupo, el D.D.F., el I.N.I. además de diversas entidades estatales y municipales e instituciones académicas como los Institutos de Ingeniería y Geografía de la UNAM, el Colegio de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Conalep, entre otros.

La diversidad de campos susceptibles de incorporar a sus metodologías de trabajo el uso de los SIG, producto de la experiencia acumulada en el mundo, sustenta la hipótesis de que durante los próximos años la demanda por ellos continuará en aumento. Estimaciones acerca del mercado potencial de los SIG para los años venideros en Estados Unidos y Canadá, realizadas por Tomlinson (1987), corroboran las hipótesis de crecimiento continuo que se plantean con respecto a los SIG para los próximos años; así por ejemplo, se calcula que el área de planeación del transporte demandará entre 1000 y 10,000 SIG tan sólo en esos dos países, siendo con esto el sector de mayor crecimiento en la década de los 90s.

Todo SIG se estructura por cuatro subsistemas principales de funcionamiento: entrada de datos, archivo y acceso, manejo y análisis de datos y representación gráfica de la información. La falta de alguno de ellos, subraya Marble (1984), de facto excluye del concepto a cualquier otro programa que efectúe sólo parte de esas funciones. Así, ni la cartografía automatizada (1), ni los sistemas de digitalización abocados a la captura de datos a partir de fuentes geográficas, ni aquellos otros que sólo se encuentran habilitados para ejecutar rápidas representaciones gráficas, ni tampoco los sistemas de procesamiento de imágenes, SON SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA. Además, un SIG se distingue de cualquier otro sistema similar, primordialmente por el hecho de contar con la característica de ser capaz de generar nueva información a partir de la contenida en sus bases de datos. (Cowen, 1988). Fig. IV.

Para el caso particular del Sector Transporte existen un número considerable de sistemas gráficos, útiles como herramientas de trabajo para necesidades específicas, pero que no deben confundirse en ningún momento con un Sistema de Información Geográfica; tal es el caso de los sistemas de Diseño y Dibujo Asistido por Computadora CADD (Computer Aided Drafting and Design), ampliamente utilizado por los Departamentos Estatales de Carreteras de Estados Unidos, el Sistema para

(1) Se debe anotar que la oferta comercial de estos programas es muy vasta y variada (ATLAS MAP, PC MAP, MICROMAP, etc.).

Inventario de Carreteras HIS (Highway Inventory Systems) y el sistema de Mapeo Automatizado y de Administración de Instalaciones AM/FM (Automated Mapping/Facilities Management), entre otros.

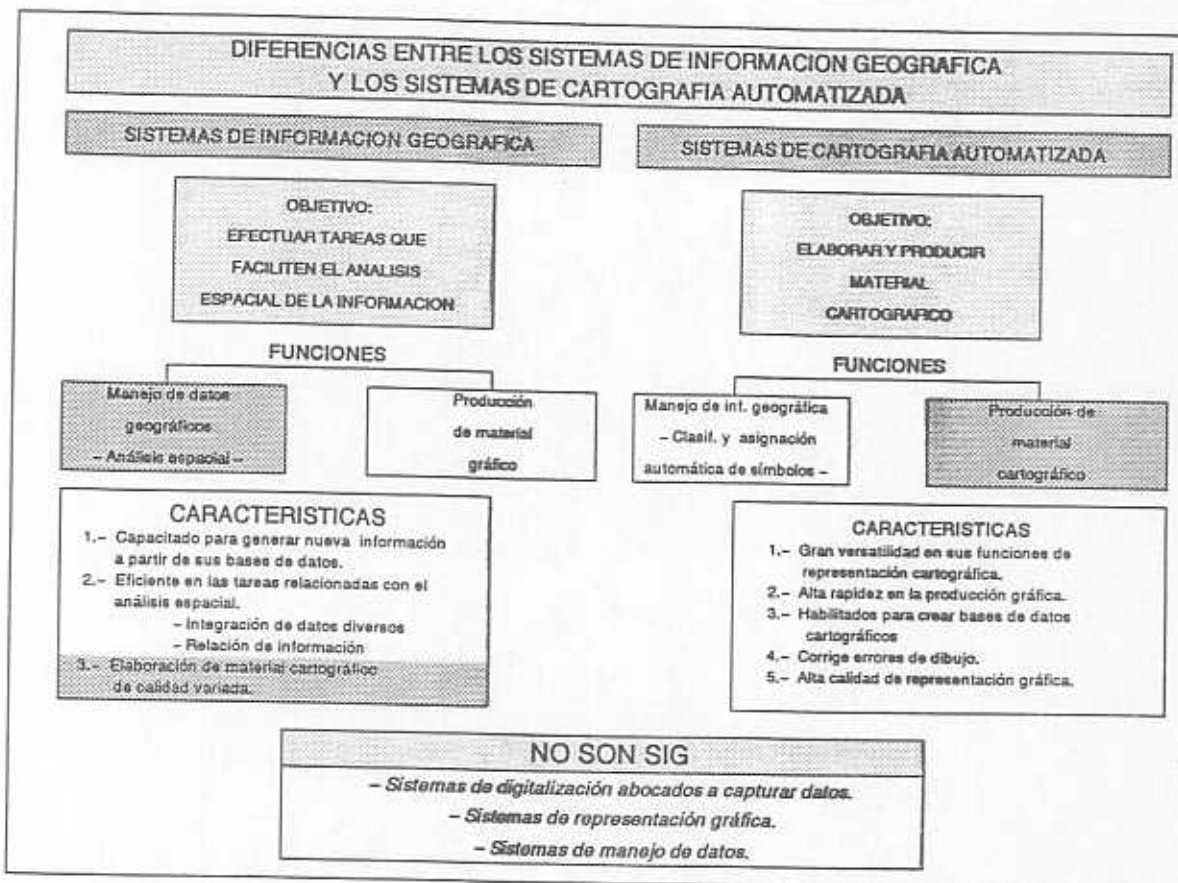


Figura IV. Los rasgos distintivos más sobresalientes de los SIG son los asociados a la capacidad de realizar procesos relacionados con el análisis geográfico de la información.  
Elaborado por: García O. y Backhoff P.

Los SIG son por definición sistemas abiertos de entrada, procesamiento y salida de información con características particulares derivadas de cada uno de sus componentes, los cuales interactúan para hacer posible el funcionamiento global del sistema.

En todo SIG se pueden distinguir 4 grupos genéricos de componentes o elementos constitutivos, de naturaleza muy distinta entre sí pero interactuantes, que en conjunto definen la capacidad y funciones distintivas de los mismos SIG. Los componentes son: a) datos; b) hardware o equipo computacional; c) software o programas de operación y d) estructura organizacional y factor humano.



---

Los programas de cómputo o software de los SIG varían en la capacidad, diversidad y alcance de sus funciones y suelen recurrir a técnicas que cambian de acuerdo a las características de operación derivadas principalmente del tipo de registro y de estructuración de las bases de datos.

La estructura es el formato de organización que aloja a las bases de datos traducidas en registros digitales que en el caso de los SIG es de dos tipos: estructura teselar y vectorial. Ambas formas de organización son independientes, pero complementarias y se aplican según el propósito y las propiedades de la información.

Como corolario, cabe afirmar que los Sistemas de Información Geográfica, a diferencia de otros muchos sistemas de manejo de datos, cuentan con las capacidades de procesar y analizar éstos en términos de la posición geográfica que ocupan los elementos codificados, las relaciones topológicas que guardan entre ellos y de los atributos que los caracterizan y definen, lo cual les confiere además, la posibilidad de representarlos cartográficamente.

En el marco definido por los objetivos del presente documento, orientados a explorar la viabilidad de implementar y aplicar la tecnología SIG como herramienta de apoyo en diversas labores en torno al transporte, se detallan en el mismo las áreas del Sector en las que los SIG encuentran los campos más apropiados de utilización, para posteriormente sugerir un conjunto de proyectos específicos con las mejores perspectivas de aplicación en el Instituto Mexicano del Transporte.

Con tal propósito, en el primer capítulo se delinea el contexto que define al Sistema de Transporte Nacional y consecuentemente, durante el segundo capítulo, se abordan los requerimientos para la instrumentación de un SIG en el sector, así como sus principales características de funcionamiento y uso, a fin de derivar, en el tercer capítulo, en la definición y planteamiento de diversos estudios susceptibles de apoyar su realización con un Sistema de Información Geográfico.



# 1. Sistema de transporte

---

El transporte tiene como propósitos fundamentales:

- Comunicar e integrar físicamente un territorio.
- Posibilitar y apoyar el desempeño de las actividades económicas.
- Permitir el acceso de la población a los servicios de salud, educación, abasto y recreación como los más importantes, a la vez de favorecer la expansión de esos mismos servicios.

El transporte es sin duda una actividad compleja. Involucra a actores distintos (transportistas, usuarios, autoridades y prestadores de servicios auxiliares), con necesidades e intereses diferentes; realiza funciones diversas (comunicación, integración, traslado de bienes y personas, entre otras) y requiere de múltiples tareas para su ejecución (planeación, organización, diseño, construcción, mantenimiento, conservación, control de la operación, etc.).

La organización del Sistema de Transporte debe comprender, de acuerdo con el panorama anterior, las necesidades y posibilidades de los distintos participantes, las particularidades y potencialidades de cada modo de transporte, la factibilidad y conveniencia de integración entre ellos, las características geográficas del territorio que atraviesa y comunica, los volúmenes del intercambio que debe realizar, así como el registro y notificación de los calendarios en que tales intercambios se efectúan, a todo lo cual se deben agregar los requerimientos que la actividad comercial actual demanda del transporte.

La visión sistémica del Transporte permite delinear el marco de actuación de los SIG en el Sector, pleno de oportunidades y de retos distintos de acuerdo a la problemática particular por modo o elemento del sistema y a la escala territorial abordada.

En México, para la modernización del Sistema de Transporte Nacional, debe brindarse atención prioritaria a la conservación y mantenimiento de la infraestructura, especialmente de los tramos y terminales que atienden el comercio internacional; a la ampliación de los segmentos carreteros de tráfico intenso; al fomento del intermodalismo del transporte, a la promoción del uso del contenedor y al equipamiento adecuado de los puntos de traslado; a modificar algunos de los reglamentos de operación de los distintos medios a fin de flexibilizar y hacer más eficiente su servicio; a sanear financieramente y reorganizar la operación del ferrocarril; a promover y elevar la calidad de los servicios de apoyo al transporte, especialmente los relacionados con las telecomunicaciones y la informática; a concentrar esfuerzos para eliminar sobrecostos en la operación del transporte; a

## 1. Sistema de transporte

estimular la presencia de nuevos participantes en el sistema de transporte, caso de los agentes de carga; a modernizar, adecuar y especializar el servicio de los puertos; a impulsar el comercio de cabotaje; reestructurar tarifas y eliminar subsidios; entre los más importantes (Rico y de Buen, 1991).

Las actividades humanas que comprende el transporte, organizadas conforme a su esquema general de funcionamiento, desglosadas por grado de detalle en fundamentales y específicas, se presentan en la figura 1.

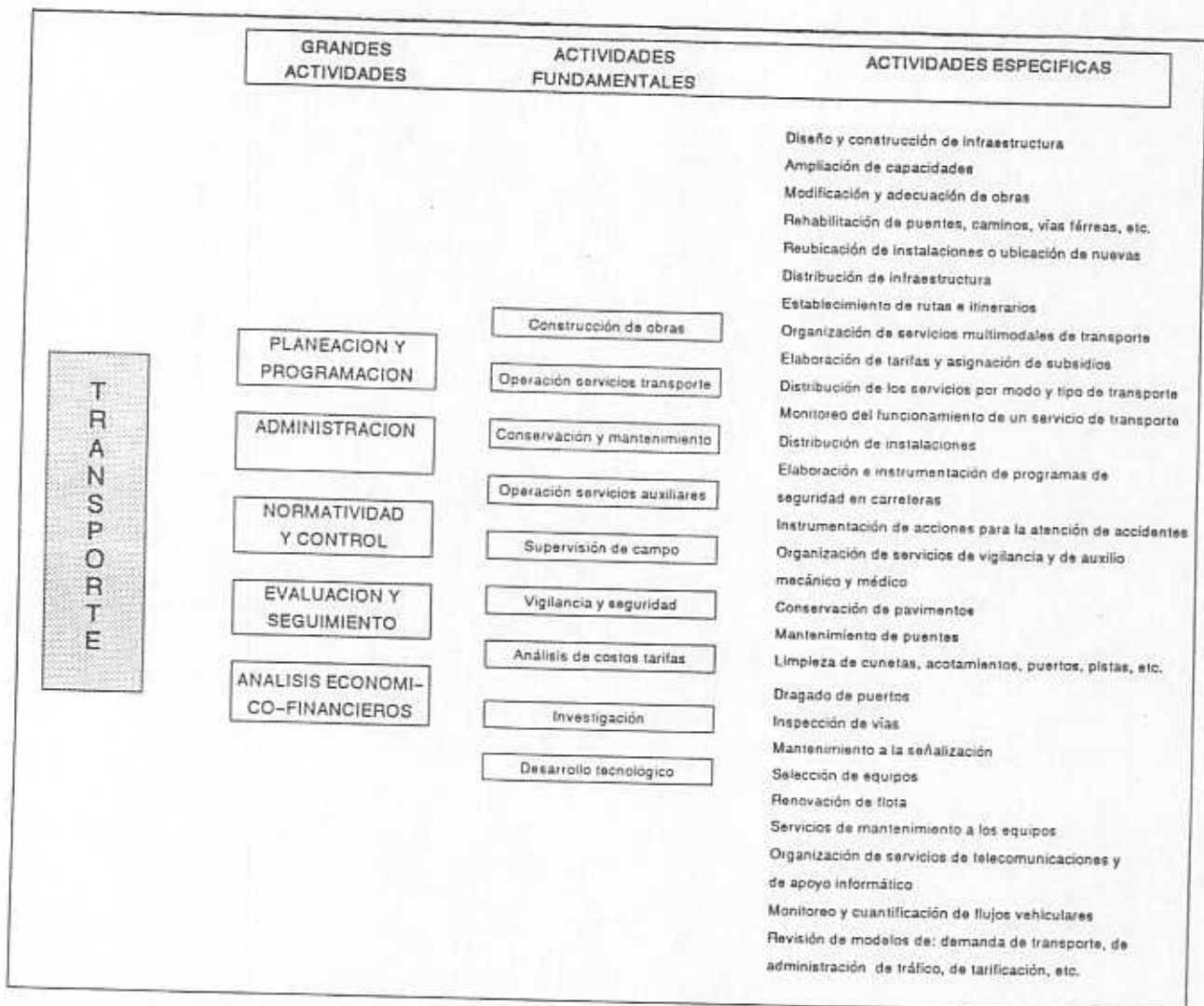


Figura 1. Desglose de algunas de las actividades del Sistema de Transporte.  
Elaborado por: García O. y Backhoff P.

Ante tal universo de deberes y la multidimensionalidad de sus aspectos específicos, es posible afirmar que los SIG surgen como valiosos instrumentos de apoyo a todas aquellas labores que llevan implícitas en su ejecución, la necesidad del análisis geográfico de los elementos o variables que el problema o la actividad en cuestión comprenda, los cuales, en el caso del transporte no son pocos, ya que por naturaleza es un fenómeno geográfico dada su clara expresión territorial. La clave para emplear un SIG y obtener de él efectividad y resultados satisfactorios, anotan Petzold y Freund (1990), estriba en la identificación acertada de su aplicación, la cual deberá tener como característica primordial, la necesidad del análisis geográfico. Fig.2

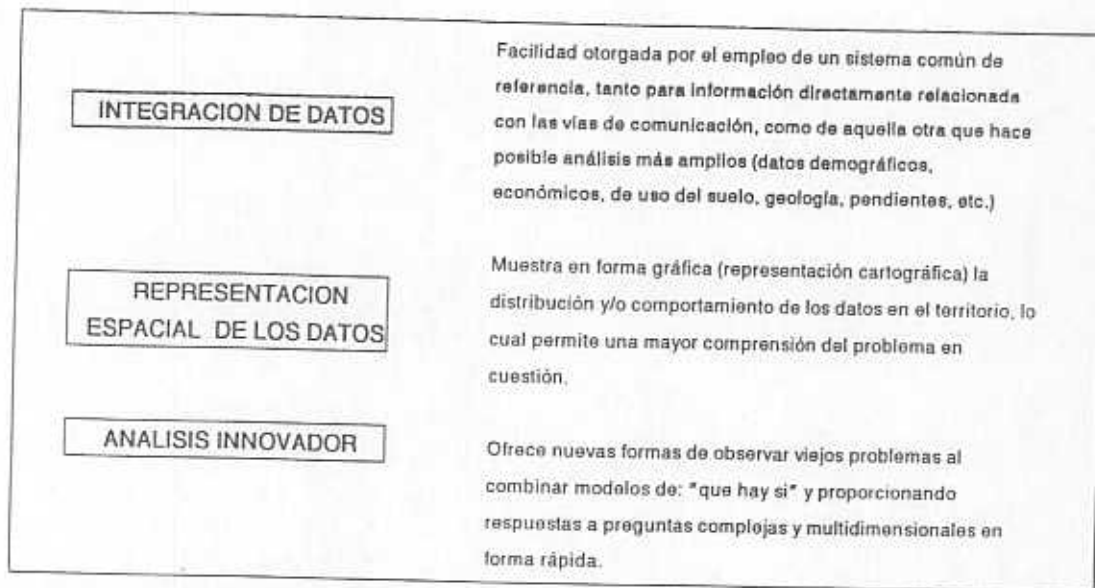


Figura 2. Ventajas que brinda la utilización de un SIG a la planeación, administración e investigación en el transporte.

"Lo que distingue a un SIG de una base tradicional de datos, es que los atributos de éstos están asociados a un objeto topológico (punto, línea, polígono) y registran una ubicación geográfica precisa." (Simkowitz, 1988). La utilización de relaciones espaciales, propuesta explícitamente por los SIG, agrega un nivel de "inteligencia" a las bases de datos en transporte, hasta el momento subestimado.

El Departamento de Transporte de Carolina del Norte ha estado trabajando, refieren Petzold y Freund (1990), en la identificación de aportes y aplicaciones de los SIG a algunas de las tareas del sector y las conclusiones de su trabajo reportan:

- Los SIG constituyen una herramienta de trabajo factible, que en principio puede apoyar labores relacionadas con la administración de pavimentos, ingeniería de tráfico, mantenimiento de puentes y producción de material cartográfico de temas diversos.

- No obstante aclaran, para que su adquisición sea realmente provechosa, deben funcionar con base en una amplia plataforma de equipos computacionales, a fin de hacer un uso intensivo y eficiente de estos tipos de recursos; por otra parte, es menester que cuenten con la capacidad de operar tanto en ambiente de PC's como en el de estaciones de trabajo.

Estados Unidos, país líder en el mundo de los SIG y en el cual existe el mayor número de referencias y ejemplos ilustrativos acerca de las posibilidades y ventajas de utilización de estos sistemas, registra ya un considerable número de casos en relación con el transporte, en donde esta tecnología promete ser un buen apoyo y otros más en donde ya ha sido empleada con resultados exitosos.

Quizá una de las cuestiones más interesantes de los ejemplos disponibles, es que muchas de las pruebas de aplicación y de estimación de expectativas proviene o está en manos de organismos gubernamentales, cuyas necesidades reconocen en los SIG virtuales apoyos. Tal es el caso de la Oficina de Planeación de la Federal Highway Administration (FHWA), que desarrolló un SIG denominado GRIDS (Geographic Roadway Information Display System), en español, Sistema de Representación de la Información Geográfica de Carreteras, como herramienta para expresar en forma gráfica (mapa base escala 1:2,000,000) los resultados del análisis de los datos del Sistema Interestatal de Carreteras, ya sea en el conjunto de la red o por tramos particulares de ésta. (Simkowitz, 1988).

Otro desarrollo y aplicación de un SIG a nivel del gobierno federal de Estados Unidos, corresponde a la Oficina de Políticas de la misma FHWA, cuyo propósito es evaluar la situación de la Red Nacional de Carreteras y el impacto de los cambios en la política carretera. Los compromisos del SIG son otorgar ventajas en rapidez para responder a las preguntas que le formule el Congreso, facilidades en el análisis de los impactos provocados por los cambios de política propuestos y oportunidad en la entrega de resultados.

Las series de datos ligadas a la base cartográfica escala 1:2,000,000, comprenden información acerca de límites administrativos, registro de áreas urbanas, puertos y aeropuertos, volúmenes de tráfico y datos del censo de población, a los que se tiene programado agregar información de puentes interestatales y, a nivel de condado, datos diversos incluidos aspectos sobre la agricultura y la industria.

Como actividad inicial, el SIG está siendo empleado para definir y distinguir a cada entidad norteamericana en términos de su importancia en el contexto del Sistema Nacional de Carreteras. Posteriormente se ha programado trabajar en la determinación de rutas prioritarias y/o alternativas según posibilidades de empleo, concentraciones de población, segmentos de tráfico intenso, etc. (Petzold y Freund, 1990).

---

Reconociendo los aportes de los SIG al manejo e integración espacial de diversas variables, sus oportunidades de trabajo y la flexibilidad de la herramienta, por encima de su costo en comparación a recursos técnicos similares, el Departamento de Transporte de Pennsylvania (PennDOT), convino en desarrollar un SIG para apoyar con su fase de acceso de datos el Programa Estatal de Seguridad en Carreteras y la planeación de los servicios de atención médica y policiaca; con las funciones de integración del sistema, interrelacionar la información contenida en los Sistemas de Registro de Accidentes y de Administración de Carreteras y con la capacidad de análisis del SIG, las operaciones fiscales.

Pennsylvania, refiere el propio Departamento de Transporte (1990), está en vía de vincular su Sistema de Administración de Pavimentos a la función gráfica del SIG, con el propósito de confrontar y representar espacialmente las condiciones del pavimento con las propuestas de proyectos de inversión en un condado o distrito. La selección de los proyectos intraestatales de restauración carretera, se sustenta en la información que por tramo, acotado geográficamente, se tiene respecto a las condiciones de la superficie de rodamiento, accidentes y cuestiones financieras.

Otro caso de empleo de los SIG, lo ofrece el Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas, el cual completó en 1990 una investigación acerca de las actividades que 24 de los distritos de la entidad realizaron con su Sistema de Administración de Pavimentos. El trabajo incluyó un cuestionario en donde se preguntaba que requerimientos tenían en materia de dicho sistema, en cuyas respuestas la mayoría manifestó la necesidad de representar en mapas las condiciones del pavimento; de ahí que la siguiente actividad fue la de evaluar el potencial de los SIG como herramienta de apoyo a los Sistemas de Administración de Pavimentos.

Para el efecto, Texas seleccionó al paquete para PC de ARC/INFO e inició con un estudio piloto en el condado de Angelina, de cuyos resultados afirman: "... el usuario puede producir mapas de secciones de la red carretera que hayan sido, por ejemplo, seleccionadas para trabajos de mantenimiento por el Programa de Optimización en la Rehabilitación y Mantenimiento". El estudio relacionó 22 de las 47 variables que conforman la base de datos del condado (PES data) con el componente de identificación carretera, cuyo propósito era el de vincular el atributo con el dato topológico creado durante el proceso de digitalización de la red carretera, produciéndose en consecuencia, una base de datos geográfica para ésta. (Paredes y Scullion, 1990).

A nivel local, promovido por la FHWA y la Oficina de Censos, se propuso en 1988 estimar el valor del TIGER (Sistema de Información Geográfica diseñado para apoyar las fases de levantamiento y procesamiento de la información del Censo de Población de Estados Unidos en 1990, descrito en la 1a parte del presente documento), como base cartográfica susceptible de emplearse en estudios de transporte. El universo

espacial elegido para el caso fue la ciudad de Columbia en el estado de Missouri. La demostración piloto avaló la utilidad del TIGER en el terreno del manejo de la infraestructura, al grado de que el Departamento de Trabajo Público de la ciudad afirmó aprovechar el TIGER en tareas relacionadas con la planeación de rutas de tránsito, en el manejo de estacionamientos en calles, en el análisis de impactos de tráfico y mapeo de volúmenes entre otros. (Petzold y Freund, 1990).

Como corolario, en la Conferencia sobre la utilización de los SIG en el transporte organizada por el Transportation Research Board de los E.U.A. a principios de 1991, se cita que a nivel federal esta herramienta puede apoyar labores y procesos distintos, por ejemplo:

En el área de **Sistemas centrales de transporte** apoya diversos procesos de toma de decisiones, organización militar y de dispositivos de emergencia.

En **Administración de la aviación federal**, la planeación de aeropuertos y algunos servicios de apoyo a la navegación.

En **Administración de la red ferroviaria federal**, el análisis de los movimientos de carga.

En la **Administración de carreteras federales**, estudios de impacto ambiental, planeación urbana, conservación de carreteras, manejo de flujos de carga, análisis de accidentes, organización de dispositivos policíacos.

En materia de **Planeación de la red carretera** son útiles en las descripciones de nodos y enlaces, así como en el tratamiento de redes.

**Investigación y Programas especiales:** elaboración de estudios relacionados con la logística de asistencia en daños y de mapas de riesgo.

**Planeación y organización del tránsito.-** Rutas (información a los usuarios, localización de direcciones, acceso a estacionamientos, apoyo a programas de mantenimiento, mapeo de variables, etc.). En servicios (inventario de paradas de autobús, esquemas de redes, traslado de materiales peligrosos, uso del suelo, localización de instalaciones, mantenimiento de obras, etc.). Policía (respuesta a emergencias, cálculo de distancias, distribución de despachos de control, entre otros).



## **2. Condiciones de instrumentación de los SIG en el sector transporte**

---

El horizonte de aplicaciones de los SIG se extiende a todos los modos de transporte abarcando un amplio espectro de posibilidades, que van desde el ámbito nacional hasta escalas locales, o bien, desde el nivel de detalle de algún elemento de infraestructura, medio o servicio, hasta la totalidad del sector, contando a su vez con la capacidad funcional de responder a las necesidades particulares de los diversos agentes involucrados en el transporte, léase organismos públicos, transportistas, usuarios y estudiosos, entre otros.

En todos los casos, es menester identificar y precisar las demandas de manejo de datos geográficos y de análisis espacial planteadas por los objetivos de la investigación y facilitadas por los SIG, los cuales, si bien cuentan con versátiles funciones de integración y procesamiento de información en combinación con avanzadas formas de despliegue y representación, no garantizan por sí mismos la solución inmediata de los problemas abordados, ya que se debe recordar que sólo son instrumentos de trabajo.

De ahí que se plantee como condición indispensable, que durante el proceso de implementación del SIG, se identifiquen y comprendan cabalmente las características de funcionamiento de dichos sistemas, a fin de definir su capacidad y potencial de utilización. En forma paralela y de igual importancia para la exitosa operación de los SIG como herramientas de apoyo en las diversas labores relacionadas con el transporte, es necesario cumplir satisfactoriamente con una serie de requerimientos de instrumentación puntualizados a continuación.

### **2.1 Requerimientos para la instrumentación operacional de los SIG en el sector transporte**

Los Sistemas de Información Geográfica reúnen las funciones necesarias para actuar como herramienta útil en el análisis espacial del transporte, con un vasto potencial de aplicaciones en el sector. No obstante, conviene reconocer que en tal marco se presentan al unísono, diversas restricciones que deben ser evaluadas y consideradas en su justa dimensión, entre las cuales sobresalen:

- Reticencia a la innovación tecnológica derivada de la inercia institucional.
- Énfasis en el equipo técnico, en detrimento del estímulo a la capacidad de análisis.

- Problemas relativos a los procedimientos de captura, edición y archivo de datos, relacionados con la generación y excesivo tamaño de las bases de datos.
- Insuficiente soporte financiero.
- Necesidad de personal calificado y actualizado.

Ante tal panorama, cobra mayor importancia la satisfacción de los requerimientos de instrumentación y el cumplimiento de las condiciones de funcionamiento para lograr una eficiente utilización de los SIG en el transporte, señaladas a continuación.

La premisa básica para operar exitosamente un SIG, consiste en la precisión de sus aplicaciones; es decir, se deben identificar los objetivos de utilización del sistema y las respuestas esperadas, así como orientar la selección del software más apropiado a las necesidades particulares de la institución.

Actualmente el universo de los SIG está compuesto por decenas de diversos programas, con características y funciones propias que les otorgan distintas ventajas y limitantes de uso. Por ello la instrumentación de un SIG en el transporte debe partir del conocimiento cabal de las características de la actividad en cuanto a su expresión territorial, variables y elementos involucrados, dinámica de las relaciones que establece y particularidades según la aplicación específica y, de manera paralela, deben evaluarse los rasgos distintivos de los diversos software, en función de su capacidad de respuesta a los requerimientos analíticos de información espacial en estudios del transporte.

Para cumplir con lo anterior es conveniente formular un esquema de planeación estratégica de implementación, que contemple la definición y conceptualización del SIG a emplear, las fases del proceso de selección e instrumentación, la operación y la evaluación ex-ante y ex-post del sistema.

El marco definido por el esquema de planeación propuesto conducirá a la distinción clara de los requerimientos técnicos, humanos, financieros y organizacionales para la instrumentación operacional de un SIG en el transporte. Fig.3.

Es evidente que un SIG no es un fin en sí mismo. El valor de cualquier sistema de información reside en la utilidad de los productos resultantes (De Man, 1988). Esto significa que un SIG aplicado al transporte, debe insertarse operacionalmente en la estructura organizacional de la entidad a la que servirá para apoyar las labores de planeación, investigación y monitoreo; respecto a lo cual se cuenta con experiencias significativas en los Departamentos de Transporte (DOTs) de Texas, Idaho y Pennsylvania, entre otros.

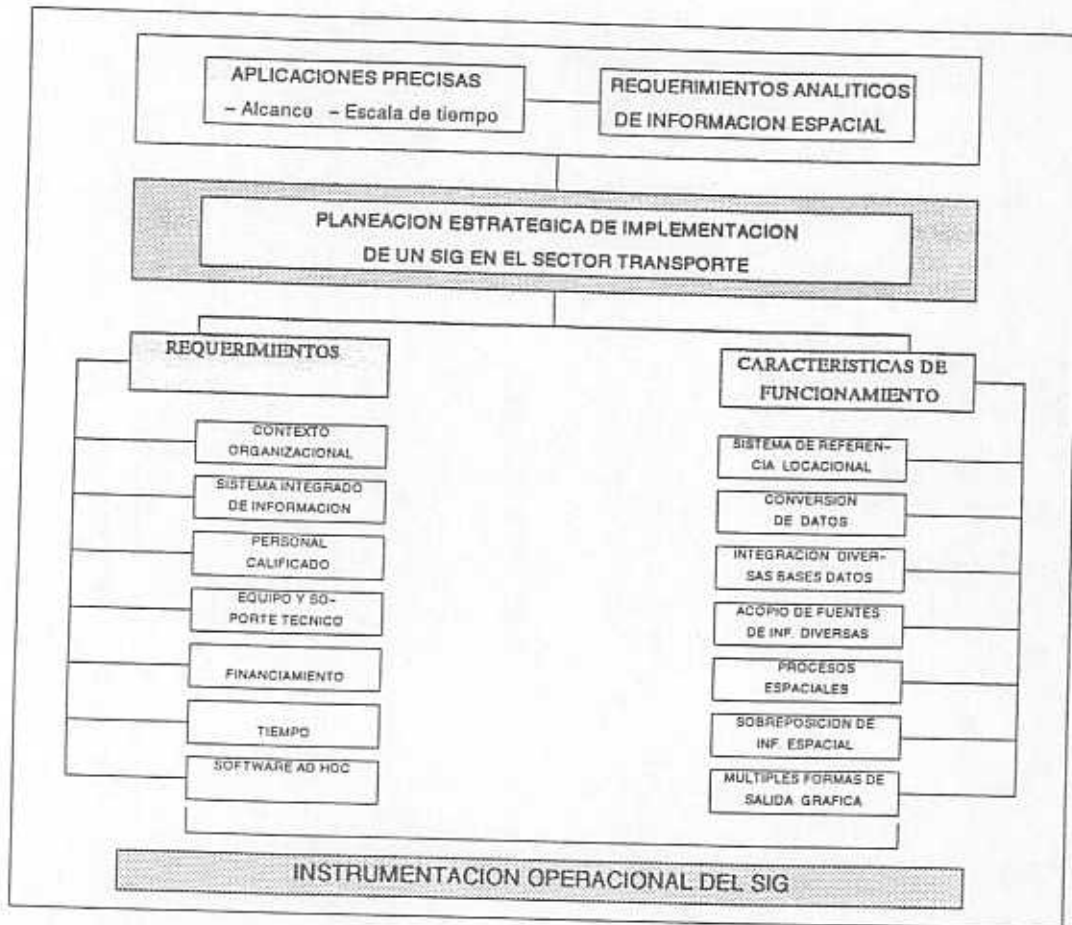


Figura 3. Condiciones para la implementación operacional de un SIG en el transporte.  
Elaborado por: García O. y Backhoff P.

En el Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas, a partir de la favorable evaluación de la utilidad del paquete ARC/INFO como instrumento de apoyo a su sistema de administración de pavimentos, se identificó como requisito previo para el empleo de un SIG, la conveniencia de desarrollar un plan de instrumentación global en todo el departamento (Paredes y Scullion, 1990).

En el caso de Pennsylvania se conformó un grupo compuesto por diversas dependencias (Departamentos de Transporte, Agricultura, Comercio, Recursos Medioambientales, Oficina de Policía y otros) con la finalidad de formular metodologías de implementación de los SIG, en base a la cooperación interinstitucional para evitar duplicidades e incrementar el intercambio de información. Con este grupo, el Departamento de Transporte está estructurando un Plan Estratégico para la incorporación plena del SIG al transporte (PennDOT, 1990).

De la misma manera, en Idaho se creó el Comité Consultivo Estatal de Información Geográfica cuyas responsabilidades son el desarrollar y supervisar las actividades relacionadas con el SIG en cuanto a sus aspectos técnicos, administrativos y financieros.

La principal razón de conformar un Sistema Integrado de Información es la intención de elevar la efectividad de los datos y la productividad de los mismos, propósito calibrado en términos de la diversidad de usuarios que se benefician de su empleo, del número de veces que un servicio ha sido solicitado y de la modificación en la calidad de la información empleada en las tareas de planeación, administración y operación de los Sistemas de Transporte.

La existencia de tecnologías que hacen factible, tanto el almacenamiento y acceso rápido a grandes series de datos, así como el manejo integrado de esos conjuntos, incrementan las ventajas y el potencial de los Sistemas Integrados de Información.

La creación de estos sistemas no es tarea fácil, pues se enfrentan obstáculos tales como la falta de interés o renuencia a colaborar de manera integrada por parte de las distintas dependencias involucradas; la ausencia de alguien que dirija la integración, especialmente cuando se trata de un proceso permanente, que requiere de esfuerzos de coordinación que son costosos y lentos para cambiar la definición, agregación y el formato de algunos conceptos; el establecimiento de la periodicidad de captura de la información; la supresión de algunas recopilaciones y la modificación de procedimientos de captura.

Dicha empresa se dificulta aún más si se piensa en la diversidad de datos que deben considerarse para que el sistema de información esté completo y cumpla con su cometido. La clasificación elaborada por Schmitt y presentada por Dueker (1989), permite visualizar la heterogeneidad de datos necesarios para describir y analizar la condición, uso y funcionamiento de los sistemas de transporte :

- **Inventario de instalaciones, condiciones y funcionamiento.** Comprende dimensiones, condiciones físicas, nombre de propietarios, capacidad y costos de operación, entre otras.
- **Inventario de equipamiento, condiciones y uso.** Incluye información acerca del número, los Kms. de recorrido, propiedad, velocidad, capacidad, costos de operación y características diversas de los vehículos (navíos, aviones, etc.).
- **Funcionamiento y condiciones de las empresas de transporte.** Considera gastos, ingresos, propiedad, cobertura de mercados, fuerza laboral, características de servicios públicos, y privados, etc.

- **Flujos de pasajeros y carga.** Comprende volúmenes, valor, distribución y comportamiento geográfico.
- **Aspectos demográficos y actividades económicas.** Distribución geográfica, inventario de vehículos y capacidad de traslado, comercio y usuarios de los sistemas de transporte.
- **Ahorro y seguridad.** Abarca accidentes, registro de heridos, servicios médicos de emergencia, horas de operación de esos servicios, causas de accidentes y otros .
- **Financiamiento y programas de administración**

La formulación de un Sistema Integrado de Información debe seguir como guía las etapas propuestas por Briggs y Chatfield (1987), que sin duda variarán conforme a los objetivos y necesidades de cada organización:

1) **ORGANIZACION.**- La creación de un Sistema Integrado de Información requiere del apoyo irrestricto de la Dirección. El cuerpo directivo debe estar convencido de los beneficios que un esfuerzo de esta envergadura puede reportar. En este sentido se recomienda el desarrollo e instauración de un sistema piloto, a fin de demostrar las ventajas de la integración.

2) **DEFINICION DE OBJETIVOS.**- La definición clara de éstos es la clave del éxito del sistema.

3) **DETERMINACION DE NECESIDADES DE LOS DATOS.**- Se considera quizá la actividad más difícil, pero es la oportunidad de que los usuarios manifiesten sus requerimientos desde la etapa de diseño del sistema.

4) **FORMULACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE LOS DATOS.**- Basados en las descripciones de las necesidades de los usuarios. Incluye la selección del método de referencia locacional que el diseño del sistema deberá reconocer.

5) **DISEÑO DEL SISTEMA COMPUTACIONAL.**- El hardware y software deben elegirse conforme a los objetivos planteados y considerando la rapidez de los cambios tecnológicos.

6) **DESARROLLO DEL SOFTWARE NECESARIO Y DE REPORTES ESTANDAR**

7) **EXPLORACION DEL SISTEMA.**- El software deberá ponerse a prueba conforme incrementa su desarrollo. En los casos en que sustituya a algún sistema anterior, el nuevo debe iniciar su operación en paralelo. Esta actividad se realizará tantas veces y con la regularidad que los problemas de operación del sistema lo reclamen, ya que

su misión es la de resolver las inconsistencias entre series de datos y su accesibilidad al usuario.

8) *INICIO DE OPERACIONES.*- Su funcionamiento debe ser progresivo, además deberá contar con mecanismos que adiestren al usuario en su empleo y con canales que permitan reportar problemas relativos al propio sistema.

9) *EVALUACION DEL SISTEMA.*- La evaluación necesita ser periódica con el propósito de comprobar que el sistema está funcionando bien o necesita de correcciones.

Un buen ejemplo de formulación y diseño de un Sistema Integrado de Información lo ofrece el estado norteamericano de Michigan, cuyo sistema estatal de información nació para satisfacer las necesidades que al respecto enfrentaba la planeación de carreteras en el estado, y posteriormente incluso ha sido utilizado por diversas dependencias encargadas de los aspectos de planeación, análisis y administración, tanto a nivel de la entidad como del propio condado. Los productos obtenidos abordan, principalmente, asuntos político-administrativos, las actividades económicas y sociales, así como la clasificación de la infraestructura vial (Briggs y Chatfield, 1987).

La evaluación de la experiencia de Michigan, relacionada con el empleo de un Sistema Integrado de Información para la planeación carretera, destaca que el desarrollo y aplicación de éstos tiene un impacto positivo en la productividad de las instituciones públicas o privadas relacionadas con el transporte.

Un Sistema Integrado de Información en el sector transporte, por referirnos concretamente a él aunque la concepción deba generalizarse, implica de acuerdo con Briggs y Chatfield (1987):

"... un sistema de recopilación y almacenamiento de información procedente de fuentes distintas y acerca de temas muy variados, relativos todos, a un mismo punto, segmento o área geográfica".

La clave de un Sistema Integrado de Información es la capacidad de correlación entre series de datos provenientes de dos o más fuentes distintas. En este contexto, la referencia de localización resulta ser el vínculo más importante entre las colecciones de información, sin la cual, subrayan los mismos autores, los archivos independientes pierden significado.

La formación de un Sistema Integrado de Información y la consideración de la dimensión espacial como premisa imprescindible, son en el caso del sistema de transporte, el elemento que permite responder a las preguntas fundamentales del administrador:

- ¿Qué ocurre en este momento en el tramo "x" de la red carretera federal?
- ¿Cuál es la situación respecto a un tema específico a lo largo del sistema carretero nacional?

La posibilidad de correlacionar y analizar datos diversos respecto de una misma área constituye una oportunidad de suma utilidad, tanto para los responsables del diseño y modificación de la infraestructura para el transporte, como para los encargados del mantenimiento de ésta.

Datos acerca de aforos de tráfico, inventarios de señalamiento, accidentes, inspección de puentes, inventarios de cruces entre las vías férreas y las carreteras, condiciones de los pavimentos, etc. son, como ya se pudo apreciar, sólo algunos de los generados y utilizados en el sector; sin su respectiva referencia de ubicación geográfica sería difícil interrelacionarlos, pero sobretodo, su utilidad no podría proyectarse para apoyar y facilitar las grandes tareas de planeación y administración del transporte.

Por ejemplo, para analizar un accidente en carretera y poder establecer las causas que lo provocaron, es necesario recurrir a una serie de variables como la condición del pavimento, el estado del tiempo, la geometría del camino, el volumen de tráfico, señalización, alumbrado, etc., cuya correlación es factible por medio de un sistema común de referencia locacional.

En este orden y volviendo a subrayar la implicación territorial del transporte, aparecen los SIG como una herramienta con ventajas comparativas sobre los sistemas genéricos de información, debido a que aquellos, además de las funciones de organización y manejo de datos, incorporan al análisis la variable espacio, mediante la referencia geográfica de localización, elemento clave que posibilita la integración de los distintos archivos y su representación territorial.

Los SIG, señala Fletcher, están diseñados para responder dos preguntas fundamentales:

- ¿Cuáles son las relaciones espaciales inherentes a los datos?
- ¿Cuáles son los datos de una localización específica?

Preguntas ambas, directamente relacionadas con las citadas en líneas anteriores y que se refieren a dos de los grandes requerimientos de información de los administradores del sistema de transporte. Sin duda, entonces, los SIG son un instrumento que facilita algunas de las actividades de los responsables de la planeación y administración del transporte.

## 2. Condiciones de instrumentación de los SIG en el sector transporte

La administración de la infraestructura para el transporte por ejemplo, constituye un proceso continuo de planeación, diseño, construcción y operación, actividades para las cuales existen ya herramientas tecnológicas de apoyo. Fig. 4.



Figura 4. Los datos espaciales son la parte esencial de los sistemas tecnológicos de apoyo a la infraestructura para el transporte.

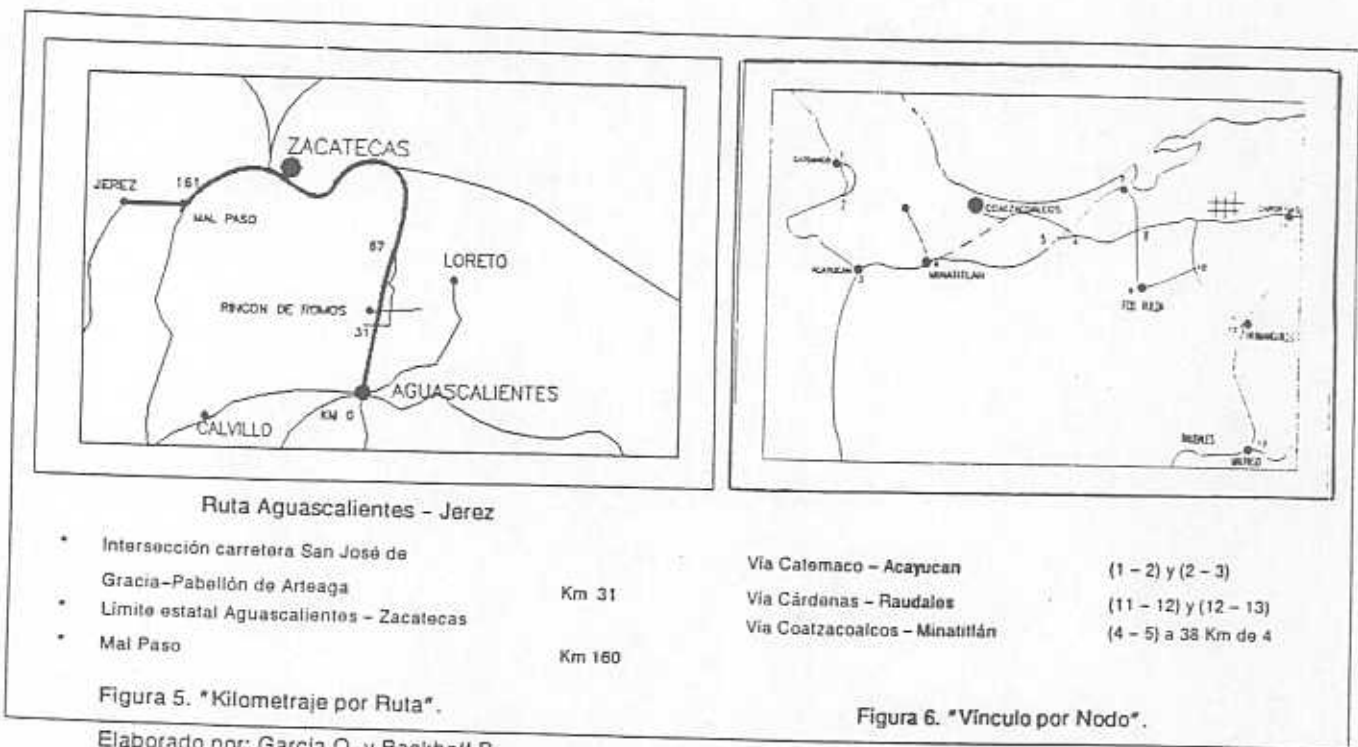
En el esquema de Dueker, el elemento clave del sistema de información para apoyar las labores relacionadas con el ciclo de vida de la infraestructura son las bases de datos espaciales. Datos relativos a la intensidad de tráfico, condiciones de los caminos, registro de accidentes, etc., se recaban generalmente por ruta y punto de referencia, anotaciones a partir de las cuales se les puede ubicar e interrelacionar, para ello es necesario contar precisamente con un sistema de referencia locacional, que no es otra cosa que un método de registro geográfico asignado a los diferentes elementos o hechos del transporte.

El uso de estos interlocutores no es de ningún modo nuevo, la única diferencia es que ahora su función se realiza con el apoyo de una computadora. Existen un buen número de ellos; en 1984, según un reporte del Departamento de Transporte de Michigan, citado por Briggs y Chatfield, se identificaron 38 sistemas de referencia locacional distintos, de entre los cuales, destacan por ser los más empleados por las agencias gubernamentales de transporte de Estados Unidos el de Kilometraje por Ruta y el de Vínculos por Nodos.



El primero, utiliza el kilometraje que se le asigna a una carretera y en base a él se identifican los distintos elementos del paisaje. En cada ruta el Km. cero es elegido y la medición se inicia a partir de dicho punto. Por lo general el punto cero se fija en el extremo W para rutas este-oeste y en el extremo S para rutas norte-sur. Fig. 5.

En el segundo sistema, cada intersección es un nodo al que se le asigna un número. Cada nodo se conecta a por lo menos otro nodo a través de un segmento de camino denominado vínculo y cada vínculo representa una sección única de la vía, la cual puede identificarse a partir de los nodos de inicio y fin que lo definen. Los vínculos pueden subdividirse en subsegmentos numerando éstos; la localización a lo largo de un segmento, puede especificarse de acuerdo con la distancia a los nodos. Fig. 6.



De estos dos métodos, el primero goza de mayor preferencia, debido a que presenta ventajas de conversión de la localización en campo al sistema de referencia locacional.

El software de los Sistemas de Información Geográfica tiene, en este caso, la responsabilidad de poder convertir a coordenadas geográficas algunos de los distintos sistemas de referencia locacional, con el fin de hacer verdaderamente compatible la información a partir de sus registros de localización. En el futuro se espera que esto podrá efectuarse de manera más rápida y fácil, usando para ello

algún Sistema Global de Posicionamiento, conocidos como GPS por sus siglas en inglés (Global Position System).

Dentro del mismo esquema de planeación estratégica señalado con anterioridad, debe subrayarse que la instrumentación operacional de un SIG en el transporte exige coherencia y congruencia en la secuencia de decisiones relativas a las líneas de política, organización interna y cuestiones técnicas, como también garantías de respaldo financiero y de capacitación del personal, que aseguren la optimización en el uso del sistema ante las innovaciones tecnológicas y la propia dinámica del sector transporte.

En cuanto al equipo y soporte técnico, cabe resaltar que para los fines de aplicación en el transporte, los SIG más desarrollados cuentan con la capacidad de enlace directo con otros sistemas e instrumentos de captura y registro, tales como los de aforo vehicular, los de control de carga y pasaje, mecanismos ópticos de registro, sistemas de posicionamiento global, unidades móviles con rayo laser y deflectómetros automáticos para detectar condiciones del pavimento, sensores remotos y procesadores de imágenes de satélite, entre otros instrumentos que les posibilitan manejar información prácticamente al día.

Entre los ejemplos de vinculación de los SIG con otros instrumentos tecnológicos y sus aplicaciones en el transporte, se pueden citar algunos de los casos referidos por Petzold y Freund (1990). Los Departamentos de Transporte (DOTs) de California, Texas y Tennessee refuerzan las capacidades de sus SIG con un Sistema Global de Posicionamiento, sistemas para la captura de las referencias geográficas de los elementos codificados vía satélite, mientras que los DOTs de Louisiana, Ohio y Nuevo México, exploran la misma tecnología. Por su parte, el Departamento de Transporte de Wisconsin ha incorporado las técnicas de videoimagen (photolog) en discos láser a su Sistema de Administración de Pavimentos, que a su vez es soportado por un SIG (Fletcher, 1987).

En Australia, donde el uso de los SIG describe también un acelerado desarrollo, se están empleando medios ópticos en formato digital (CD ROM) y analógico (laservision) para el archivo y manejo de registros visuales y gráficos en grandes volúmenes, asociados con los aspectos espaciales de los SIG aplicados al transporte (Wigan, 1990).

En Gran Bretaña, para la captura y monitoreo de la información relativa a las condiciones del pavimento, se emplean equipos de reciente desarrollo, consistentes en unidades móviles de alta velocidad equipadas con rayo láser y deflectómetros automáticos que permiten registrar directamente en una microcomputadora el deterioro de los caminos (Potter, 1991). Esta información es susceptible de ser manejada por un SIG, pudiéndose obtener mapas por segmentos al instante, de indudable valor práctico.

La selección de un SIG como parte del plan de implementación no resulta tan evidente y sí, en cambio, es fundamental para la utilización provechosa del mismo. La elección del software debe estar en función de la precisión de las aplicaciones deseadas, las que a su vez determinarán las condiciones de funcionamiento con que debe cumplir el programa.

Los programas más adecuados cuando de transporte se trata, son los de tipo vectorial, que además de las funciones distintivas de los SIG permitan el manejo de relaciones topológicas entre nodos, segmentos y áreas (ARC/INFO, EARTH/INFO, GENAMAP, SPANS, TIGRIS); correcciones geométricas (ARC/INFO, ERDAS, TIGRIS); sobreposición de redes georreferenciadas (ARC/INFO, GENAMAP, SPANS, TIGRIS); de preferencia manejar estructuras de redes en tercera dimensión (ARC/INFO, GENAMAP, SPANS, TIGRIS); conversión o reestructuración de los datos a un sistema de referencia locacional común; posibilidad de integrarse con otros instrumentos de captura y registro automatizado como los señalados líneas arriba, sin menoscabo de las funciones distintivas de los SIG referentes al despliegue visual de los datos y la integración espacial de los mismos, entre otras.

Por último debe resaltarse la trascendencia del factor tiempo dentro del proceso de organización y puesta en marcha de un SIG, dado que en éste están inmersas gran cantidad de actividades tendientes a satisfacer los requerimientos señalados, lo cual exige una concepción precisa de los plazos en todos los niveles de la organización a la que apoyará.

Aún cumpliendo satisfactoriamente con todo lo expuesto, no es inusual que todavía transcurra un período de 9 a 12 meses y en ocasiones más, dependiendo de la complejidad del sistema, antes de que el SIG se encuentre en plena operación (Burrough, 1987). A manera de ejemplo, en Wisconsin el proceso de creación e implementación de la base de datos de la red estatal de carreteras troncales para el SIG, formada por 12,000 millas representadas por 14,400 segmentos, requirieron de 1.6 años calendario y 7.7 hombres/año (incluido el período de adiestramiento) para alcanzar un status operacional. (WisDOT, 1990).

## **2.2 Características de funcionamiento y uso de los SIG aplicados al transporte**

Los Sistemas de Información Geográfica han demostrado su utilidad práctica en diversas labores en torno al transporte, ya sea mediante estudios experimentales o bien, a través de su plena inserción como herramientas de apoyo en actividades particulares en distintos departamentos y organismos de transporte, principalmente de Estados Unidos y Canadá.

No obstante, la presumible dimensión del universo de posibilidades de los SIG en el transporte está aún por revelarse, en virtud tanto de las innovaciones tecnológicas que amplían sus expectativas, como por la propia complejidad de la actividad en la cual convergen distintos actores con problemáticas específicas por modo de transporte, que a su vez definen condiciones y necesidades de información múltiple y variada. De cualquier manera, como se ha señalado, el potencial de los SIG en el transporte comprende numerosas tareas ya identificadas.

Sin embargo, se debe subrayar que la capacidad de respuesta de un SIG está limitada por sus propias funciones, es decir que si bien ha probado ser un instrumento poderoso, su utilidad es producto de las características que lo conforman. De modo que para alcanzar un aprovechamiento óptimo en el empleo de un SIG aplicado al transporte, es indispensable precisar los objetivos de su utilización, a la par de cumplir con una serie de requerimientos organizacionales, técnicos, etc., señalados en el inciso precedente y tener como condición ineludible el conocer las características de funcionamiento del sistema, las cuales definen las ventajas de la tecnología SIG para el análisis de determinados aspectos de transporte.

Las ventajas de utilización que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica al transporte, derivados de sus propias características operacionales, atienden a tres funciones primordiales:

- a) Integración de los datos.
- b) Análisis geográfico de la información.
- c) Despliegue y representación espacial de la información.

El incuestionable valor que reviste el disponer de un sistema integrado de información para las grandes tareas de planeación, administración y control en el transporte, quedó de manifiesto en el inciso anterior, importancia que asumen de manera ampliada por sus ventajas comparativas los sistemas de información geográfica, los cuales brindan los beneficios de la capacidad de integración de los datos mediante el empleo de un sistema de referencia locacional común.

Esta característica integradora, directamente vinculada a la función de acopio de información procedente de fuentes diversas (documental, mapas, registro automatizado, imágenes de satélite, medios ópticos, etc.) con que cuentan los SIG, posibilita la correlación entre series de datos distintas, tanto locacionales como de atributos y temporales. Esto significa que al surgir los SIG como una plataforma lógica, coherente y consistente para integrar las diversas bases de datos, es posible interrelacionar la información específica del sector transporte con otra de carácter externo (económica, demográfica, medio ambiental, etc.) y analizar sus manifestaciones espaciales.

Para el caso particular del transporte, la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA), reconoce en los SIG el valor de integrar las diversas fuentes de información y resalta el significado de vincular los datos a su localización física, lo cual debe ser incorporado al diseño de un sistema de bases de datos, de tal manera que pueda proporcionar capacidades adicionales a las demás fuentes de datos mantenidas por las agencias estatales de carreteras (Petzold y Freund, 1990).

En este sentido, quizás uno de los ejemplos más representativos de las ventajas de utilización de los SIG lo constituyen los sistemas o modelos de administración de pavimentos (PMS de acuerdo con sus siglas en inglés), los cuales deben procesar una gran variedad de datos (técnicos, registros de construcción y mantenimiento, tráfico, señalizaciones, etc.), mismos que aunque se puedan disponer en formato digital, la mayoría de las veces no se encuentran relacionados y manifiestan duplicaciones e inconsistencias. Además, se suele emplear diferentes sistemas de referencia (por kilometraje, por puntos de referencia, longitud-latitud) lo cual complica aún más su uso; en el DOT de Nuevo México, por ejemplo, empleaban 10 diferentes sistemas de referencia locacional.

Los SIG constituyen un medio que mejora significativamente los procesos de un PMS, al posibilitar la relación de los datos espacialmente integrados a partir de un sistema de referencia locacional común (Simkowitz, 1990).

El mismo Simkowitz anota que el rasgo distintivo de los SIG, respecto a los sistemas tradicionales de manejo de bases de datos, es que los atributos son asociados a objetos topológicos (puntos, líneas o polígonos), los cuales tienen una posición geográfica. La integración de los datos en un SIG se consigue mediante la geocodificación a un sistema de referencia común por medio del uso de un programa que transforma las coordenadas de un plano y los datos localizados a datos en coordenadas convencionales latitud-longitud y viceversa.

Ahora bien, generalmente los organismos y agencias de transporte optan por desarrollar métodos de conversión de los sistemas de referencia locacional prevalecientes a uno de coordenadas geográficas, debido a que resulta más racional aprovechar la inversión realizada en crear las bases de datos existentes y la posibilidad futura de obtener rápidamente latitud y longitud mediante el uso de un Sistema Global de Posicionamiento. Además, de esta manera conservan ambos archivos (Petzold y Freund, 1990).

La reestructuración o conversión de los datos de una red es una función esencial de los SIG cuando éstos son utilizados en el área de transporte. La implementación efectiva de modelos de reestructuración de datos en un SIG permite a los usuarios coleccionarlos y mantenerlos en el formato que requieran.

Muchos modelos de análisis en transporte necesitan que las redes sean representadas por una estructura de datos (nodo/eslabón o segmento), en la cual los nodos simbolizan la intersección de dos o más caminos. Adicionalmente, si el camino es bidireccional es representado por dos eslabones, cada uno de los cuales tiene sus propias series de atributos. Para emplear datos del inventario de carreteras en estos modelos de análisis, la información de la red tiene que ser convertida de los registros existentes a un formato nodo/eslabón. Este proceso, factible con la tecnología SIG, involucra la agregación y desagregación de datos-atributo para representar segmentos de camino más largos o más cortos y también desagregar datos dentro de información bidireccional (O'Neill y Akundi, 1990).

Sobra decir que la viabilidad de operación de un SIG aplicado al transporte está, en gran medida, condicionada por la estructuración de las bases de datos, proceso que implica un mayor conocimiento teórico acerca de su manejo y organización, pero para los fines del presente apartado se destacarán únicamente los llamados parámetros primarios de diseño para una base de datos geográfica.

Los parámetros aludidos son precisión, exactitud, resolución y extensión. Las interrelaciones de éstos determinan los costos de recopilación, procesamiento y almacenamiento de los datos, así como el uso y utilidad del sistema en su conjunto (WisDOT, 1990). Sin duda, de la precisión de los datos deriva el valor de los resultados, como de la exactitud depende la confiabilidad de las entidades u objetos representados en un mapa, en estrecha relación tanto con la resolución que está en función de la escala y la importancia de los datos, como con la extensión referida a la dimensión del espacio a analizar.

Una buena estructuración de las bases de datos facilita y optimiza el empleo de las funciones de análisis espacial posibilitado por los SIG, que para el caso del transporte resultan de gran utilidad por las ventajas que ofrece al manejo de las relaciones topológicas y de sobreposición de información.

Lo anterior obedece a que las reglas de la topología aplicadas al transporte en un SIG contribuyen a explicar las relaciones espaciales inmersas en los datos, esto es, permite por ejemplo visualizar entre dos interacciones o nodos los segmentos y los atributos que los definen o bien realizar elaboraciones cartográficas y análisis espaciales a partir de la adyacencia y/o conectividad entre puntos (intersecciones o nodos), líneas (segmentos o redes) o áreas.

Aunado a lo anterior, la topología constituye un elemento importante cuando se trata de analizar y correlacionar la información contenida en más de un mapa temático, es decir, en los procesos de sobreposición, técnica de análisis espacial facilitada por los SIG, que para efectos del transporte cobra mayor relevancia por la necesidad de análisis de redes representadas, considerando intersecciones, uniones y áreas, dado que un sistema de transporte se define precisamente por una serie de redes

interconectadas en donde algunos segmentos se delimitan por el valor de un atributo particular, otras, por las características de sus elementos y otros aspectos, pueden distribuirse en puntos discretos ya sea temporal o espacialmente (Simkowitz, 1988).  
Fig. 7.

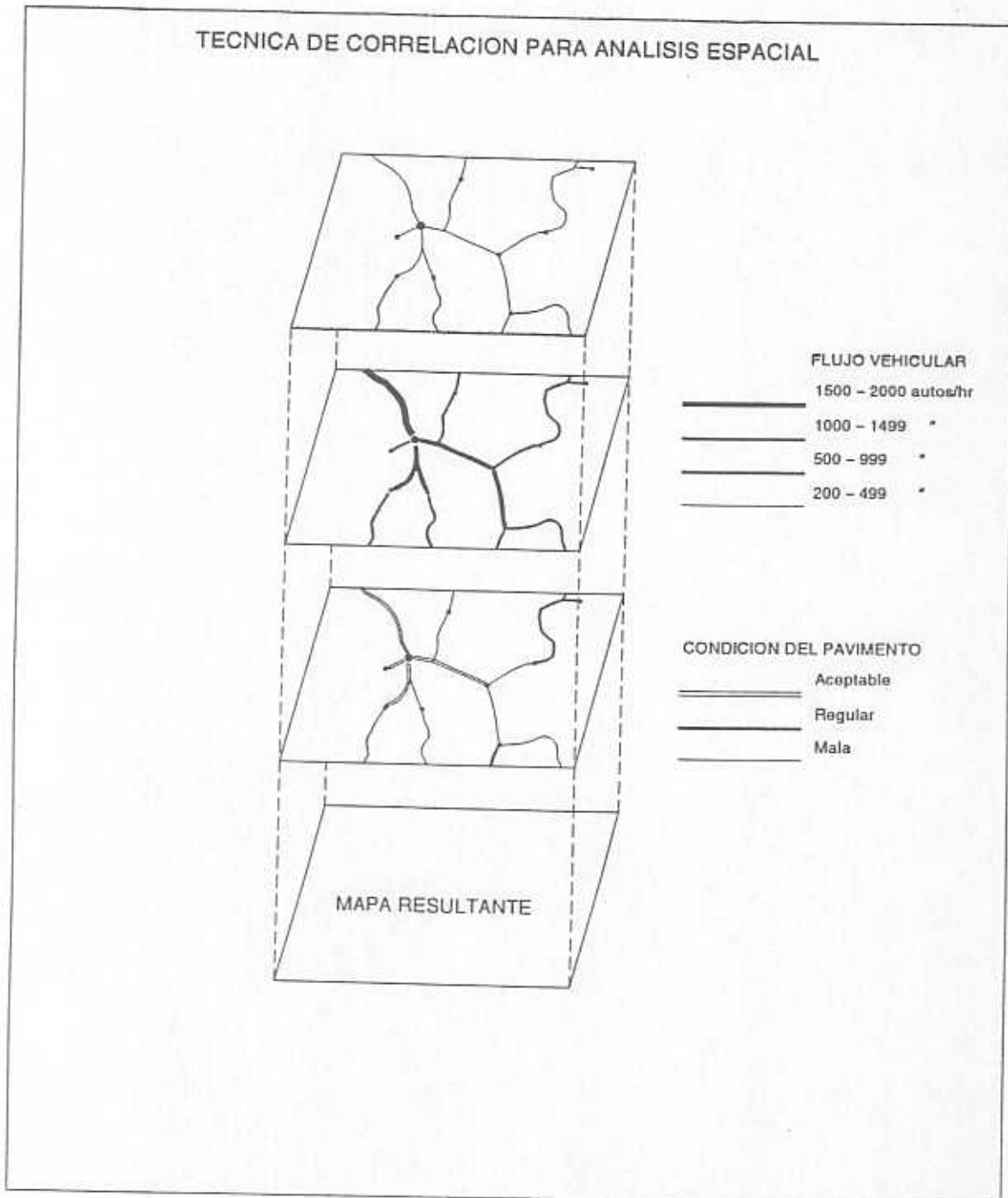


Figura 7. El método tradicional de interrelación espacial de la información ha sido el de la sobreposición física de la misma, contenida en mapas temáticos distintos.

Elaborado por: García O. y Backhoff P.

Los tipos de sobreposiciones se definen por seis clases de permutaciones posibles entre los tres elementos (puntos, líneas y áreas):

**Áreas en líneas.** - Por ejemplo, trazado de rutas óptimas atendiendo determinadas condiciones de las áreas por donde cruzan (ya sean límites administrativos, tamaño de la población, distancias, etc.). Fig. 8.

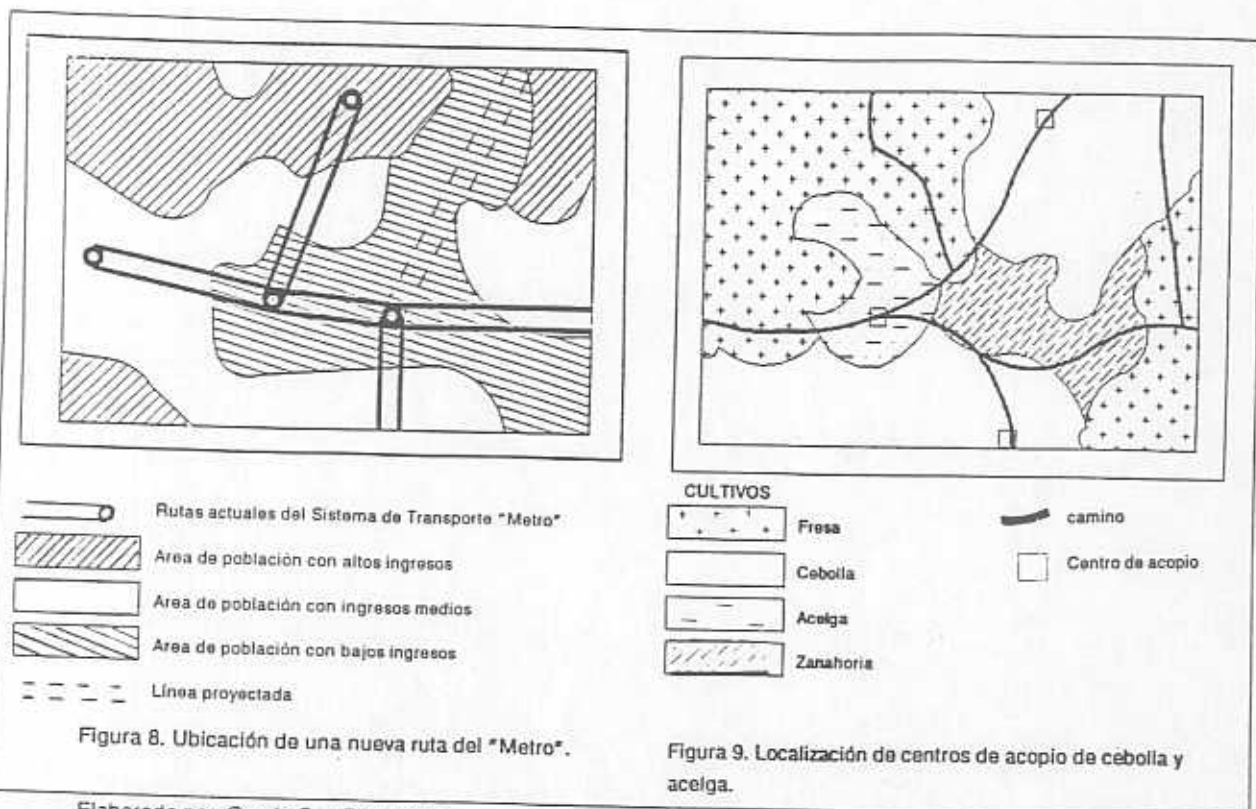
**Áreas en áreas.** - Correlación de áreas por nivel de ingreso con las resultantes de estimar un radio a partir de las rutas de abasto establecidas con el objeto de definir zonas no cubiertas.

**Punto en punto.** - Análisis de incidencia de accidentes versus puntos de intersección en la red.

**Líneas en puntos.** - Casos de estudios de prevención o de enrutamiento del tránsito a causa de interrupción de la vialidad en algún punto de la red.

**Áreas en puntos.** - Por ejemplo, de localización de centros estratégicos de acopio y distribución de carga por áreas de cobertura o influencia. Fig. 9.

**Líneas en líneas.** - Sobreposición de rutas e itinerarios de las líneas de pasajeros con los datos de tránsito promedio para determinar su incidencia en el deterioro de la infraestructura y posibles rutas alternativas.





Los ejemplos descritos, aunque simples, perfilan una más de las características de los SIG, su capacidad de "interrogación espacial", referida a la facultad de plantear cuestionamientos geográficos al sistema. Dicho de otro modo, un SIG con un algoritmo apropiado puede expresar espacialmente los resultados derivados de aplicar operaciones estadísticas y matemáticas o ejercitar las funciones de manejo de las bases de datos o de modelos de transporte asociados, a partir de los principios geográficos de localización, distribución e interrelación, ofreciendo a su vez múltiples salidas gráficas y de despliegue de la información.

Es precisamente el despliegue visual de las manifestaciones espaciales de las entidades o fenómenos estudiados, la característica de operación más evidente de los SIG, consistente en presentar la información en mapas y otras formas de representación gráfica (esquemas, croquis, gráficas, diagramas, entre otros), sustentada en las funciones cartográficas inherentes a los SIG, tales como cambios de escala, ajuste de límites, conversión raster-vector, cambios de proyecciones y edición de mapas principalmente, con lo cual se incrementan las posibilidades de análisis tanto durante el proceso mismo como en su expresión final.

Atención aparte merece por su utilidad para el análisis de redes de transporte, el hecho de que en el ambiente de la tecnología SIG se ha desarrollado el proceso denominado "segmentación dinámica", idea concebida por Fletcher (1987) para aplicación en carreteras, la cual parte del razonamiento de que la segmentación no debe registrarse solamente en los nodos o puntos de intersección, sino que en ocasiones conviene fijar otros atributos como condición de segmentación, por ejemplo: número de carriles, volumen de tráfico, accidentes, condición del pavimento, etc.

En la segmentación dinámica cada atributo se almacena en su propia representación de la red, independiente de la configuración básica. Los límites de los segmentos serán definidos por la variabilidad de cada atributo. De esta manera se puede minimizar la redundancia en la captura de los datos y en los análisis particulares se emplearían sólo los elementos requeridos (Simkowitz, 1990).

En la actualidad existen diversos software que han desarrollado e incorporado algoritmos específicos para la segmentación dinámica de las redes de transporte, sobre la base de cambios en los atributos de interés. Por ejemplo, TransCAD, un SIG creado especialmente para transporte, puede almacenar atributos en archivos donde cada registro contiene el nuevo valor de aquellos y el punto de inicio. El analista selecciona una subserie de atributos de interés y el programa automáticamente inserta nodos en la red donde uno de tales atributos cambie (Simkowitz, 1990).

Tal vez el SIG con el mayor avance en cuanto a la segmentación dinámica sea el ARC/INFO 6.0, última versión desarrollada por la empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute) de Estados Unidos. En la terminología de ARC/INFO,

un segmento corresponde a la porción de un rasgo geográfico definido por un atributo, por ejemplo el afluente de un río o una calle entre dos avenidas. La segmentación representa el proceso de descomponer en porciones un rasgo lineal conforme a los cambios registrados en sus atributos por medio de nodos. Fig. 10.

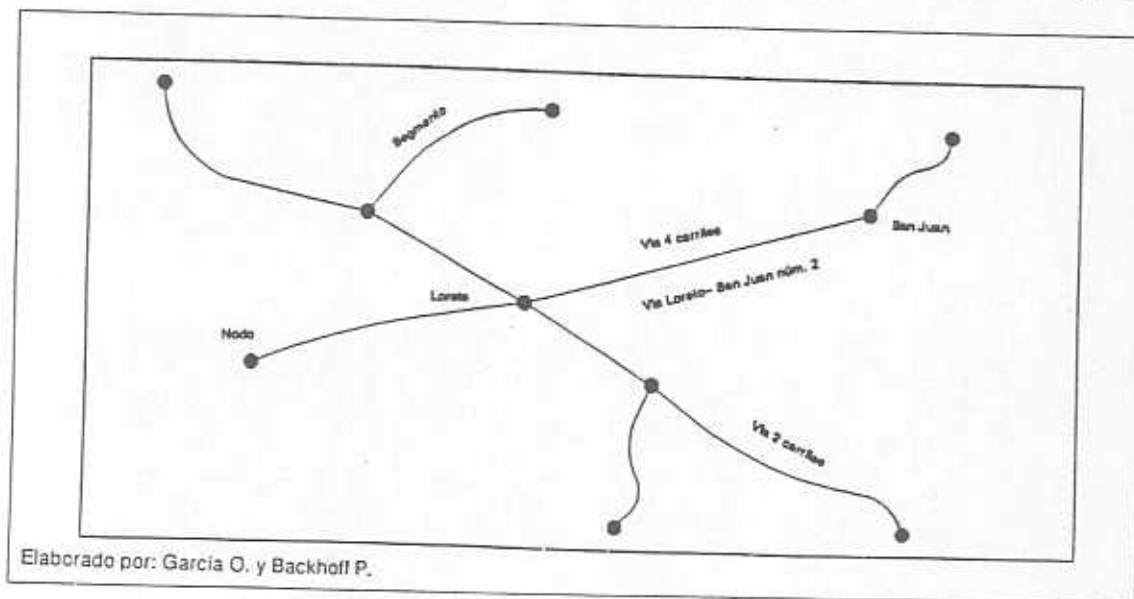


Figura 10. Hasta antes de la innovación propuesta por el concepto de "Segmentación Dinámica", un segmento sólo podía representar al rasgo lineal que lo definía.

La segmentación dinámica revoluciona los conceptos y ofrece la oportunidad de asociar al rasgo lineal, léase carretera, vía férrea, falla geológica, etc., un cambio sin necesidad de registrar nuevos nodos ni de definir otros segmentos. Se trata pues, de un método distinto de archivo de atributos de gran utilidad para el análisis de problemas relacionados con redes de transporte. Los atributos se registran utilizando sus posiciones relativas (distancias en relación a los nodos) a lo largo del segmento y sólo son referidos cuando son requeridos. Dichos atributos son almacenados en bases de datos independientes, en donde cada registro cuenta con una clave de identificación única. Fig. 11.

A manera de conclusión, se puede afirmar que la instrumentación operacional de un SIG en el sector transporte exige para un óptimo aprovechamiento, el cumplimiento de los requerimientos planteados y el conocimiento cabal de sus características de funcionamiento, enfatizando que un SIG se distingue por sus capacidades de manejo, integración y análisis de datos espacialmente referenciados, ofreciendo múltiples opciones de representación gráfica de la información.

Para ello, los componentes fundamentales de un SIG aplicado al transporte, de acuerdo con Simkowitz (1990), deben comprender: un editor flexible para archivo y corrección de las bases de datos necesarias para el análisis; fórmulas que faciliten

la computación de nuevas relaciones; ejecutar operaciones estadísticas de regresión múltiple y correlación; capacidad de graficación; herramientas de manejo matricial en una y dos direcciones; algoritmos y modelos de transporte, y vínculos con procedimientos externos, tales como costos del ciclo de vida, análisis de decisión, asignación de tráfico, entre otros.

Los esfuerzos de investigación y desarrollo en este campo se orientan a la integración de la tecnología SIG con los sistemas de administración y modelos de transporte, con el propósito de fusionar en un mismo sistema las ventajas funcionales de las diversas herramientas, considerando las innovaciones tecnológicas en áreas vinculadas como la percepción remota y el procesamiento de imágenes, medios ópticos de registro, sistemas expertos de cómputo, GPS, etc., con lo cual se materializa un enorme potencial de los SIG aplicados al transporte.

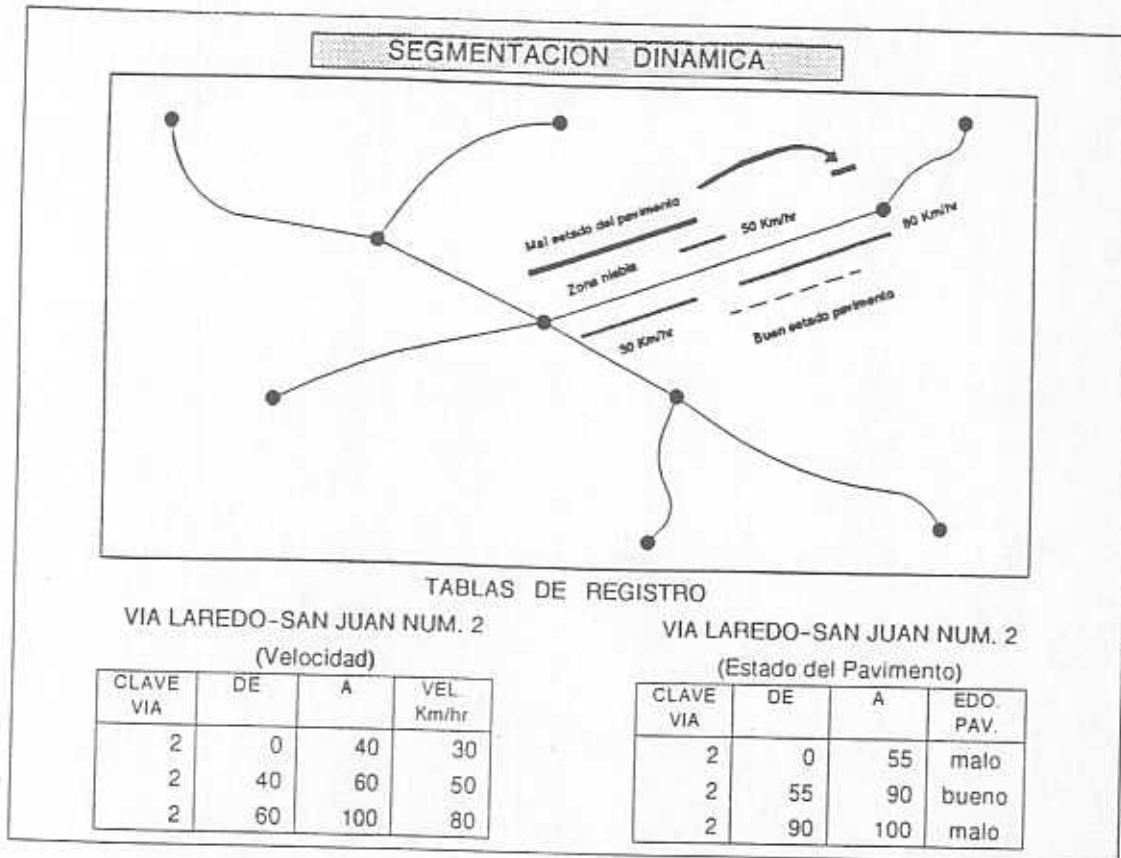


Figura 11. La "Segmentación Dinámica" hace posible relacionar a un mismo segmento diferentes atributos asociados a porciones de éste, sin necesidad de definir otros nodos y nuevos segmentos.

Elaborado por: García O. y Backhoff P.

*2. Condiciones de instrumentación de los  
SIG en el sector transporte*

---

### 3. Aplicaciones en el Instituto Mexicano del Transporte

---

Fundamentadas las ventajas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica como instrumentos de trabajo a diversas actividades y a distintas líneas de investigación en el transporte y conocidas tanto sus características de funcionamiento, como los requerimientos para su instrumentación operacional, se arribó a la fase del planteamiento de proyectos específicos en cuyos casos es conveniente el empleo de un SIG.

Dicha fase se inicia con la identificación de aquellos estudios, que realizados actualmente en el propio I.M.T., son susceptibles de beneficiarse con el apoyo de un SIG., con el objetivo inicial de probar directamente la tecnología y dominarla, con el propósito ulterior de transmitir resultados y experiencias de utilización a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en su carácter de órgano rector del sector, para su eventual utilización. En tal sentido se contemplan en una etapa posterior trabajos conjuntos con sus áreas de Planeación y Conservación, entre otras.

Los proyectos específicos aludidos versan , en esta 1a etapa de experimentación, fundamentalmente en torno al transporte carretero por la importancia que reviste para el país, tanto en carga como pasajeros; no obstante, no se descartan estudios futuros sobre otros modos de transporte.

A continuación se describen los estudios identificados como propuestas de aplicación de los SIG al transporte, los cuales se encuentran en diversas etapas de avance, pero en cuyos procesos de trabajo y por las características de la información manejada, es factible y conveniente la utilización de un Sistema de Información Geográfica.

#### **"El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)"**

Del estado de la superficie de rodamiento de la red carretera depende en buena medida su funcionamiento y los costos de operación vehicular. De aquí que de la oportunidad y acierto con que se realicen las labores de mantenimiento y conservación será la calidad de servicio de la red. Sin embargo, la realización de estas tareas no es de ningún modo fácil, no sólo porque tiene frente a sí 40,000 Km de longitud carretera por atender, distribuida en un territorio de 2'000,000 de Km<sup>2</sup>, sino porque además, para lograrlo, requieren enormes recursos económicos, humanos y técnicos, en torno a los cuales las tareas de administración tienen que hacer gala de sobrado ingenio.

Una contribución al problema la constituyen los sistemas computacionales de administración de pavimentos, cuyo objetivo primordial es el de evaluar y caracterizar el estado del pavimento en cada tramo de una red vial. No obstante su utilidad, por sí solos estos sistemas no son capaces de ofrecer una imagen geográfica de la situación que en un momento determinado presenta la red o parte de ella, información que sin duda facilitaría el planteamiento de la estrategia de conservación y de la programación de las actividades a seguir y que es posible obtener con el apoyo de un SIG. Al respecto, la Federal Highway Administration de Estados Unidos reconoce la utilidad de los SIG y los propone como herramientas de trabajo a los Departamentos Estatales de Transporte de ese país.

El I.M.T. cuenta entre sus desarrollos con el llamado Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP), al que conforme a lo anteriormente expuesto, se sugiere incorporar en forma de módulo adicional el apoyo prestado por un SIG, por medio del cual se pretende enlazar las bases de datos del primero con un sistema de referencia locacional común ofrecido por el segundo.

#### **"Sistema para la Administración de Puentes (SIAP)"**

De manera análoga al SIMAP, en el I.M.T. se plantea la incorporación de un SIG al SIAP, con el propósito de que este último se complemente con algunas de las funciones del primero, tanto en las fases de pre como de postproceso de la administración de puentes.

El apoyo de un SIG en este caso, ofrece al usuario por un lado, la oportunidad de acceder a la información contenida en la base de datos del propio SIAP mediante la visualización de los puentes seleccionados (o tramos carreteros en el caso del SIMAP), así como la comunicación y consulta en otras bases de datos a través del sistema de referencia locacional del SIG; por otro lado, complementado con el SIG el SIAP obtiene la facultad de distintas opciones de salida del material e información procesada (mapas, cuadros, gráficas, etc.).

#### **"Pesos y dimensiones del transporte de carga en México"**

Si bien las mediciones del volumen e intensidad del tráfico son datos útiles para la planeación de las labores de mantenimiento y conservación de la infraestructura, la consideración de ampliaciones o incluso la propuesta de un nuevo proyecto carretero, entre otras actividades, el contar con información adicional que distinga al parque vehicular, enriquece sustancialmente los fundamentos en que se apoya una decisión.

Conscientes de la importancia de generar más y nueva información en la cual sustentar las labores emprendidas por las áreas de planeación, administración y operación del transporte, el I.M.T. sumó a sus líneas de investigación el estudio de los parámetros asociados al peso y dimensiones del autotransporte de carga, con objeto de caracterizar el flujo vehicular de las principales carreteras del país.

De nueva cuenta, el SIG se propone como el instrumento capaz de asociar los datos recabados en la investigación con la base territorial, geográficamente referenciada, de la red carretera, correlación que da a los resultados del estudio mayor proyección y versatilidad en la intención de servir como insumos a las labores de planeación, administración y conservación de la infraestructura desempeñadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

### **"Evaluación permanente de la situación del transporte de carga en México"**

La necesidad de información como insumo básico para la toma de decisiones, plantea la formulación de estudios abocados en principio a la captura de la misma, como es el caso que nos ocupa y cuyo propósito es el de monitorear y dar seguimiento a los problemas y los cambios que el transporte enfrenta, a través de entrevistas a transportistas, usuarios y otros involucrados en las actividades del transporte de carga en el país, con la finalidad posterior de iniciar la realización de trabajos complementarios de carácter económico-regional.

Con el empleo de un SIG será posible obtener de manera rápida una visión gráfica de la distribución espacial de la problemática o de los cambios ocurridos en el transporte de carga en México. Asimismo colaborará de manera eficiente en la interrelación y análisis de las variables consideradas en los estudios económico-regionales.

### **"Distribución y comercialización de productos avícolas en la zona centro" (Enfoque logístico)**

La implicación territorial de la logística y de las cadenas de transporte fundamenta en sí misma la utilidad de un SIG, como herramienta de apoyo en la investigación, particularmente cuando la meta del estudio es la elaboración de una metodología que oriente la realización de distintos trabajos desde esta perspectiva.

### **"Estrategias para la realización de estudios origen-destino"**

De acuerdo con el propósito de elaborar una metodología para localizar en una red de carreteras los puntos en donde es más conveniente realizar los registros, que

luego servirán a los estudios de origen-destino de los flujos vehiculares, el uso de un SIG resulta recomendable, dado que ofrece sensibles ventajas tanto en el proceso de localización de los sitios más pertinentes como puntos de registro, como en el análisis de la información recabada tendiente a describir los movimientos que se presentan a lo largo de la red y entre los puntos que la integran y en la elaboración del material cartográfico correspondiente.

#### **"Análisis de necesidades de libramientos en pueblos y ciudades"**

El objetivo de la investigación, como en otros casos, también es el de llegar a definir una metodología que contemple los requisitos necesarios para el estudio y construcción de libramientos carreteros en localidades. Incuestionablemente, la justificación, proyección y construcción de un libramiento debe no sólo considerar, sino realizar en sus diferentes etapas, diversos análisis espaciales, para lo cual la ayuda prestada por un SIG es de gran utilidad.

#### **"Problemas de conectividad en puertos y fronteras. Casos de Nuevo Laredo, Tamaulipas y Lázaro Cárdenas, Michoacán"**

La presencia de la dimensión espacial en estudios relativos a problemas de conectividad como éstos, sugiere que el apoyo de un SIG ofrece ventajas metodológicas y garantiza buenos resultados en el cumplimiento de los propósitos de identificar los elementos clave de la problemática del transporte de carga de largo itinerario, que tiene como destino algún puerto o ciudad fronteriza.

#### **"Análisis de vulnerabilidad de grandes ciudades por problemas de conexión del transporte interurbano y suburbano con la red general de carreteras. Caso del corredor "Tequesquahuac-Tepoztlán".**

Una vez más, por la implicación de la variable geográfica en la investigación orientada a detectar y proponer alternativas de solución a los problemas que enfrenta el transporte de carga, en relación a las dificultades de entrada y salida de una ciudad, se recomienda el uso de un SIG en todas aquellas actividades que lleven implícitas procesos de ubicación y de análisis o interrelaciones espaciales de elementos.

#### **"Manual Estadístico del Sector Transporte, 1991"**

El uso de un SIG le ofrece a este tipo de trabajos la posibilidad de llevar a cabo, en forma rápida y sencilla, diferentes representaciones cartográficas de la información contenida en el manual, con lo cual se eleva su objetividad, en concordancia con los objetivos de elaboración del mismo, respecto a servir de



apoyo a la planeación y realización de estudios generales orientados a mejorar la coordinación de los distintos modos de transporte, así como a prever oportunamente la evolución cuantitativa del transporte en el país y, finalmente, apoyar en consecuencia la toma de decisiones.

Desde luego el uso del SIG en este caso se plantea como aprovechamiento marginal de la herramienta y nunca entre las razones de su adquisición, ni como justificante de su utilidad.

Independientes a las investigaciones internas del I.M.T. hasta aquí mencionadas, existen dos propuestas de trabajo sugeridas a éste para ser realizadas en forma conjunta, una por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM y otra, por el Instituto de Geografía de la misma universidad, en las cuales el uso de un SIG se plantea no como posibilidad sino como condición. Las propuestas de trabajo sugeridas son:

#### **"Logística de la distribución física del transporte de carga"**

Ante los cambios en el panorama comercial de México, las direcciones y volúmenes de los flujos de intercambio entre regiones expondrán nuevos patrones, los cuales deberán ser escrupulosamente estudiados ya que a partir de ellos se identificarán las demandas en la logística del transporte de carga y de la infraestructura de apoyo al mismo. Tal situación abre un vasto campo en la investigación del transporte, en donde los SIG ofrecen claras ventajas en el manejo de las múltiples variables y en el análisis de su expresión espacial.

#### **"Análisis de accidentes y estudios de prevención"**

En atención a los cuantiosos daños que traducidos a costos generan los accidentes en carreteras, el estudio de las principales causas es indispensable para formular y promover acciones de prevención y de instrumentación de programas de seguridad, contexto en el cual los SIG aparecen como instrumentos útiles por su capacidad de correlación espacial de variables, tales como: condición del pavimento, registros meteorológicos, geometría del camino, volumen de tráfico, señalización, entre otras.



## Bibliografía

---

- Bertalanffy, Ludwig von. (1984). Teoría General de los Sistemas. Fondo de Cultura Económica, cuarta reimpresión. México.
- Bocco V., G., Palacio P., J. L. y Valenzuela, C. R. (1991). "Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica" en Ciencia y Tecnología. Volumen XVII, núm 97, marzo - abril 1991. CONACYT, México.
- Buen R., O de. (1989). Funciones, efectos y componentes del sistema de transporte. Aspectos de la tecnología del transporte carretero. Inédito.
- Burrough, P. A. (1987). Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press. Inglaterra.
- Briggs, Dwight W. y Chatfield, Benjamín V. (1987). "Integrated highway information systems". Transportation Research Board. E.U.A.
- Cebrian, Juan A. y Mark, David M. (1986). "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y Estructuras de Datos" en Estudios Geográficos. Tomo XLVII núm. 184. julio - septiembre 1986. Madrid, España.
- Collado, J. L. (1990). Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos. Inglés - Español, Español - Inglés. 3 volúmenes. McGraw-Hill, 8ª edición. Reimpreso por McGraw-Hill Interamericana de México.
- Cundy, H. M. y Rollett, A. P. (1951). Mathematical Models. Clarendon Press. Oxford, Inglaterra.
- De Man, E. (1988). "Establishing a geographical information system in relation to its use: a process of strategic choices" en Peuquet and Marble (1990). Introductory readings in Geographic Information Systems. Taylor and Francis U.K.
- Dueker, Kenneth J. "Impacts of emerging information technology on data collection and availability." Transportation Research Record Num. 1253. E.U.A.
- Environmental Systems Research Institute. (1991). Use of GIS in Transportation. Curso presentado en la Tercera Conferencia Latinoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Chile.
- Fletcher, D. (1987). Integrating photolog data into a Geographic Information System. Wisconsin DOT, E.U.A.

Fletcher, D. (1987). Modeling GIS Transportation Networks. URISA, 24<sup>ava</sup> Conferencia Anual. Florida, E.U.A.

GIS World. "The 1990 GIS software survey" en GIS WORLD. 1991, E. U. A.

Instituto Mexicano del Transporte. (1988). Sistema Integral de Transporte. Publicación Técnica núm. 2. México.

Lane, J. S. y Hartgan, D. T. (1990). "Factors affecting adoption of Information Systems in State Departments of Transportation". Transportation Research Record Num. 1271. E.U.A.

Lewis, S. M. (1990). The Use of GIS in the Federal Highway Administration's Office of Policy Development. FHWA presentado en el Simposio de SIG de la AASHTO. Texas, E.U.A.

Lewis, S. and Fletcher, D. (1991). An Introduction to GIS for Transportation. Transportation Research Board. Annual Conference 1991. Washington, D. C., E. U. A.

Maguire, David J. (1989). Computers in Geography. Longman Scientific and Technical, Londres, Inglaterra copublicado con John Willey and Sons, Nueva York, E. U. A.

Meyer, M. D. (1990). Statewide Workshop Report. Transportation Research Record Num. 1271. E.U.A.

O'Neill, W. A. y Akundi, B. (1990). "Automated conversion of milepoint data to intersection/link network structure: An application of GIS in transportation". Transportation Research Record Num. 1261. E.U.A.

Paredes, M. Fernando y Scullion, T. (1990). Pavement management applications of GIS: a case of study. Presented at the 69th annual meeting Transportation Research Board. Washington, D.C., E.U.A.

Pennsylvania Department of Transportation. Bureau of Transportation Systems Performance. (1990). The Development of a Geographic Information System in Pennsylvania. E.U.A.

Peuquet, Donna J. y Marble, Duane F. (1990). Introductory readings in Geographic Information Systems. Taylor and Francis. Londres, Inglaterra:

- Marble, Duane F. 1984. Geographic information systems: an overview. p.p. 8-17.

- Tomlinson, Roger F. 1984. Geographic Information Systems - a new frontier. p.p.18 - 29.
- Dangermond, Jack. 1983. A classification of software components commonly used in geographic information systems. p.p. 30-51.
- Cowen, David J. 1988. GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences?. p.p. 52 - 62.
- Sobel, Joel. 1986. Principal components of the Census Bureau's TIGER File. p.p. 112 -119.
- Marx, Robert W. 1986. The TIGER system: automating the geographic structure of the United States Census. p.p. 120 - 141.
- Tomlinson, Roger F. 1987. Current and potential uses of geographic information systems: the North American experience. p.p. 142 - 158.
- Peuquet, Donna J. 1984. A conceptual framework and comparison of spatial data models. p.p. 250-285.
- Vrana, Ric. 1989. Historical as an explicit component of land information systems. p.p. 286 - 302.
- De Man, W. H. Erik. 1988. Establishing a geographical information systems in relation to its use: a process of strategic choices. p.p. 324 - 340.
- Goodchild, Michael F. y Rizzo, Brian R. 1987. Performance evaluation and work-load estimation for geographic information systems. p.p. 353 - 363.

Petzold, R. G. y Freund, D. M. (1990). Potential for geographic information systems in transportation planning and highway infrastructure management. E.U.A.

Poder Ejecutivo Federal. Plan Nacional de Desarrollo 1989 - 1994. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.

Potter, J. (1991) Sistemas de administración de pavimentos en Inglaterra. Seminario Internacional de Pavimentos. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Rico R., A. y de Buen R., O. (1988). Algunos desequilibrios del sistema nacional de transporte. Publicación Técnica núm. 3. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Rico R., A. y de Buen R., O. (1991). Consideraciones para modernizar la infraestructura de transporte nacional. Publicación Técnica núm. 19. Instituto Mexicano del Transporte. México.

San Martín R., J. (1989). The transport system in Mexico and its relationship to international trade. Ensayo presentado como requisito para obtener el grado de Maestro en Ciencia en el Centro de Desarrollo y Planeación de Proyectos de la Universidad de Bradford en Gran Bretaña.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Programa Nacional de Modernización del Transporte 1989 - 1994.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Programa Nacional de Modernización de la Infraestructura del Transporte 1989 - 1994.

Simkowitz, H. J. (1988). GIS: an important technology for transportation planning and operations. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Office of Planning. Washington, D.C., E.U.A.

Simkowitz, H. J. (1990). "Using Geographic Information System technology to enhance the pavement management process". Transportation Research Record Num. 1261. E.U.A.

Simkowitz, H. J. (1990). "Integrating Geographic Information System Technology and Transportation Models". Transportation Research Board Num. 1271. Planning and Administration. E.U.A.

Wigan, M. (1990). "Emergent roles for optical media in transport engineering". Transportation Research Record Num. 1261. E.U.A.

Wisconsin Department of Transportation. (1990). A Network Database Model for GIS Applications: Implementation at the WisDOT. E.U.A.

Wisconsin Department of Transportation. (1990). Pavement Management Decision Support Using a Geographic Information System. Geographic Information Services Section. Wisconsin, E. U. A.