

EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOESTADÍSTICA PARA EL TRANSPORTE

**MÉTODOS, ORGANIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN
OPERATIVA**

Miguel Ángel Backhoff Pohls
Juan Carlos Vázquez Paulino

**Publicación Técnica No.207
Sanfandila, Qro, 2002**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**El Sistema de Información Geoestadística
para el Transporte**

Métodos, organización y descripción operativa

Publicación Técnica No. 207
San Fandila, Qro. 2002

Esta publicación se elaboró en el Instituto Mexicano del Transporte por el M. en Geóg. Miguel Ángel Backhoff Pohls, Jefe de la Unidad de Sistemas de Información Espacial, y por el Téc. Juan Carlos Vázquez Paulino, investigador titular del Instituto. Se reconoce y agradece a la Geóg. Gabriela García Ortega y al M. en Ing. Óscar Rico Galeana, investigadores titulares del IMT, la atenta lectura del documento y sus valiosas observaciones. Se contó con el importante apoyo y respaldo permanente del Ing. Tristán Ruiz Lang, Coordinador de Vinculación Sectorial.

Contenido

Resumen	I
Abstract	III
Resumen ejecutivo	V
Introducción	1
Definición e importancia del tema	2
Ventajas de utilización de los SIG en el transporte	3
Aplicaciones documentadas de los SIG en el transporte	5
Situación en México	9
Objetivos del SIGET	11
1 Marco teórico de referencia sobre las herramientas técnicas que sustentan al SIGET	13
1.1 Los Sistemas de Información Geográfica	13
1.1.1 Definición	14
1.1.2 Componentes de un SIG	17
1.1.2.1 Equipo (hardware)	17
1.1.2.2 Programas (software)	17
1.1.2.4 Personal	26
1.1.2.5 Métodos y procedimientos	26
1.2 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Definiciones conceptuales y principios operacionales	27
1.2.1 Componentes	27
1.2.2 Funcionamiento	30
1.2.3 Aplicaciones en el transporte	32
2 Organización, diseño y programación funcional del SIGET	33
2.1 Generación de la información básica y estructura operacional	33
2.2 Estructura de la información y programación esquemática	37
2.3 Personalización de la interfaz para usuario final	44
2.4 Alcances y potencial de utilización	72
Conclusiones.....	79
Bibliografía.....	83

En la actualidad, los procesos de planeación, organización, gestión y evaluación del transporte reclaman sistemas eficientes de manejo y análisis de información, en términos de velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento, versatilidad y confiabilidad. Para aspirar a cumplir con lo anterior, resulta indispensable disponer de los mecanismos para garantizar la generación y acopio del insumo esencial para que funcione el sistema, esto es, de los datos.

En tal sentido, en respuesta a la demanda del sector transporte por obtener información precisa y actualizada sobre la localización, condiciones y características de la infraestructura y sus rasgos asociados disponibles para la actividad, el Instituto Mexicano del Transporte en coordinación con los 31 Centros SCT del país llevó a cabo el levantamiento del Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT), fase inicial y plataforma de partida del Sistema de Información Geostadística para el Transporte (SIGET), mediante receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) para la generación de la información geográficamente referenciada en campo y de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su procesamiento posterior.

El objetivo del INIT contempló la generación de archivos digitales que contuvieran los datos georreferenciados sobre el trazo de los más de 95,000 km de carreteras pavimentadas y más de 160,000 km de caminos rurales del país, así como una serie de atributos asociados a la infraestructura carretera (puentes, alcantarillas, gasolineras, entre otros). Se establece la utilidad práctica de la información resultante y se destacan algunas aplicaciones del SIGET actualmente en desarrollo.

El objetivo central del SIGET se resume en diseñar, estructurar e implantar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al sistema de transporte mexicano; de lo anterior se desprenden, como objetivos particulares, por un lado, diseñar un mecanismo de acceso, consulta y representación de la información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector, y por otra parte, sistematizar el registro y actualización de la información georreferenciada relativa al transporte y su infraestructura, para de ahí desarrollar un esquema metodológico y conceptual para la utilización del SIGET en las distintas unidades administrativas y organismos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y, en general, en las entidades del sector público y privado que puedan beneficiarse de su existencia.

At present the processes of planning, organization, management and evaluation of the transport, demand efficient systems of handling and analyzing information, in terms of speed of processing, storage capacity, versatility and reliability. To achieve the foregoing, it is absolutely necessary to employ mechanisms to guarantee the generation and storage of input, essential for the system to function, that is, data. In answer to the demand of the transport sector to obtain precise and up-to-date information about the location, conditions and characteristics of the infrastructure and the associated features available for the activity, the Mexican Transport Institute in conjunction with the thirty-one Centers of the Ministry of Communications and Transport (SCT) gathers the information for the Transport Infrastructure National Inventory (INIT), initial phase and platform for departure of the Geostatistics Transport Information System (SIGET), through the use of Global Positioning System (GPS) receptors, for the generation of geographical information relevant in the field and of a Geographic Information System (GIS) for its processing later. The objective of INIT deals with the generation of digital records which contain georeferenced information about the outline of more than 95,000 km of paved highways and more than 160,000 km of rural roads in Mexico, plus a series of attributes related to the highway infrastructure (bridges, culverts, and service stations among others). The practical utility of the resultant information is pointed out and potential applications of SIGET are identified, derived from the advantages offered by their management in a GIS.

The main objective of SIGET is to provide a simple, yet versatile informatic medium, for the registration, analysis and representation of the geographic and statistical information related to transport; from the foregoing, the particular purposes are, on the one hand, to design an access mechanism for consulting and representing the information generated by other sources, and means related to the transport sector. On the other hand, to systematize the registration and to bring up-to-date the georeference information related to transport and its infrastructure, in order to develop a methodological and conceptual schema for utilization of SIGET in the various bodies within the SCT.

Resumen ejecutivo

En respuesta a la demanda del Sector Transporte por obtener información precisa y actualizada sobre la localización de la infraestructura y de sus atributos asociados, características y condiciones de la misma, a iniciativa y bajo la dirección del autor, el Instituto Mexicano del Transporte con la colaboración de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), llevó a cabo el levantamiento del Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT), fase inicial y plataforma de partida del **Sistema de Información Geostadística para el Transporte (SIGET)**, mediante el empleo de receptores GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la captura en campo de información geográficamente referenciada y de un Sistema de Información Geográfica (SIG) – ArcInfo y ArcView- para el procesamiento posterior de los datos y programación de la interfaz para usuario final.

El SIGET es, en suma, la solución propuesta al problema de la carencia de un sistema integral de información en el Sector Transporte, que coadyuve a la toma de decisiones, con base en el manejo interrelacionado de las bases de datos estadísticos en su expresión territorial, desde un ambiente gráfico de fácil manejo, con funciones diversas de consulta y despliegue visual, análisis espacial y representación cartográfica.

El SIGET es el resultado de un proyecto que eslabona distintas actividades a lo largo de varios años, conjugadas desde el principio en el objetivo de proporcionar una herramienta útil que contribuya a la planeación, gestión y operación del sistema de transporte nacional. Entre las actividades realizadas con este propósito destacan fundamentalmente dos, por un lado, la correspondiente a la construcción del cimiento del sistema en sí mismo, es decir, a la generación de la información georreferenciada de la infraestructura para el transporte, mediante el levantamiento del INIT con el empleo del GPS; la segunda actividad fundamental consistió en diseñar, integrar, estructurar y programar, con la plataforma del SIG, las funciones, operaciones e interfaz gráfica del SIGET.



El marco teórico que sustenta al SIGET está constituido fundamentalmente por la definición conceptual y operativa de las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica y de Posicionamiento Global (SIG/GPS). Un SIG permite ver el mundo y lo que hay en él, con una perspectiva distinta. Las definiciones tradicionales describen los SIG como un conjunto de hardware, software, datos, personas y procedimientos; organizados para capturar, almacenar, actualizar, manejar, analizar y desplegar eficientemente rasgos de información referenciados geográficamente. Una definición más actual, y puntual es: la de un sistema que por medio de computadoras y datos geográficos ayuda a un mejor entendimiento del mundo y permite resolver los problemas que diariamente afrontamos.

A través de un SIG los mapas pueden ser integrados y correlacionados fácilmente con múltiples datos. De hecho, mediante un campo común de referencia, cualquier información en una tabla puede visualizarse en un mapa instantáneamente, y cualquier problema representado en un mapa puede analizarse varias veces. Al contrario de lo que sucede con mapas tradicionales, los mapas en un SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados. En la práctica, un SIG puede *mapear* cualquier información que esté almacenada en bases de datos o tablas que tengan un componente geográfico, lo cual posibilita visualizar patrones, relaciones y tendencias. Con el SIG se tiene una perspectiva nueva y dinámica en el manejo de la información, con el fin de ayudar a tomar mejores decisiones.

El transporte, como fenómeno social, posibilita la articulación e integración territorial así como el intercambio de bienes e ideas entre poblaciones. Es además un fenómeno geográfico incuestionable por su clara expresión territorial; de ahí que la dimensión espacial del transporte adquiera la categoría de elemento de análisis fundamental en los procesos de planeación, en la formulación de proyectos de inversión y sea un criterio relevante en el proceso de toma de decisiones dentro del Sector Transporte.

Debido a la naturaleza geográfica intrínseca de la mayoría de los datos del transporte, los SIG deben servir como base para la organización coherente de un sistema integrado de información en cualquier dependencia gubernamental, empresa u organismo encargado de esta actividad.

Por la otra parte, el Sistema de Posicionamiento Global, es un programa de navegación y posicionamiento basado en satélites. El Navigation Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS), nombre completo del sistema, es un programa financiado por el gobierno de los Estados Unidos, y administrado por el Departamento de Defensa de ese país.¹

El GPS se ha constituido en la herramienta más completa para el registro de la localización de rasgos o elementos sobre la superficie del planeta. En julio 17 de

¹ Hurn, J. *GPS A guide to the next utility*. Trimble Navigation, USA, 1989.

1995 alcanzó su plena operación y se completó la puesta en órbita de una constelación de 24 satélites (21 en operación y 3 de reserva), con la misión de transmitir señales con información de diversos parámetros de posicionamiento, que registradas por receptores en tierra permiten calcular, con un alto grado de exactitud, la localización geográfica de cualquier punto en la superficie terrestre.

El GPS es, entonces, un sistema de recepción pasiva para posicionamiento y navegación. Los satélites transmiten información a los usuarios en tierra pero no reciben información proveniente de los usuarios; esto significa que los satélites de esta constelación no funcionan como enlace de comunicación entre el usuario y alguna estación base, por ejemplo. También significa que no hay suscripción o cuotas a pagar por el acceso a las señales GPS, y que no existe límite en cuanto al número de usuarios que simultáneamente puedan aprovecharlas. Aunque se originó con objetivos bélicos, el GPS ha pasado paulatinamente a constituir una poderosa herramienta de aplicaciones civiles en todo el mundo.

La importancia creciente de las aplicaciones del GPS en el Sector Transporte es reconocida por los propios actores de la actividad; en una encuesta tendiente a dimensionar el potencial de las distintas tecnologías asociadas a los llamados *Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT)*, aplicada a funcionarios gubernamentales federales y estatales (de transportes, comercio, aduanas, migración, etc.), empresarios (concesionarios de autopistas de cuota, transportistas, agentes de carga, fabricantes y comerciantes de equipo SIT, etc.) y ejecutivos de asociaciones SIT nacionales e internacionales (Sociedad de SIT en México, ERTICO, ITS-América, etc.)², se obtuvo que las aplicaciones de GPS en combinación con SIG, ocuparon el segundo lugar entre las tecnologías de mayor potencial de utilización en el transporte de carga por carretera en México, sólo detrás del cobro automatizado de peajes.

En cuanto a su concepción y estructura operacional, se afirma que el SIGET es una herramienta computacional, diseñado y programado con base en el paquete comercial ArcView, que permite incorporar, almacenar, visualizar, analizar y representar cartográficamente, información geográfica y estadística relacionada con el transporte. Cuenta con una interfaz gráfica para usuario final *personalizada*, organizada en módulos, con despliegue en *ventanas* sucesivas para facilitar el acceso, consulta y manejo de la información multitemática de manera relacional.

El SIGET se integra y estructura a partir de la información geográficamente referenciada con GPS de la infraestructura por modo de transporte, a la cual se le asocian las bases de datos estadísticos que la caracterizan generados por organismos y dependencias oficiales, además de otras coberturas de información ambiental y socioeconómica de otras fuentes.

²Aplicaciones potenciales de los SIT en México, estudio realizado por Cal y Mayor y Asociados, S.C. por contrato para el IMT, marzo 1999.

Para alcanzar el objetivo central del proyecto SIGET, consistente en conformar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al transporte, fue necesario que a partir de la plataforma cimentada con el inventario de información georreferenciada de la infraestructura para el transporte, generado con el GPS, se procediera de manera paralela a la identificación, acopio e integración de las bases de datos provenientes de fuentes diversas y al diseño de una interfaz para usuario final del sistema.

En ese sentido, el SIGET ha sido programado en el lenguaje "Avenue" del SIG ArcView para contener, en principio, sólo algunas de las funciones y operaciones básicas de acceso, consulta, análisis y representación de la información, en un ambiente sencillo de botones, iconos, ventanas y herramientas en español para facilitar su manejo desde dos niveles espaciales de agregación, nacional y por entidad federativa.

La pantalla principal del SIGET cuenta con la opción de acceso a nivel nacional o estatal de la información; oprimiendo el botón elegido se ingresa a una pantalla en donde aparecen iconos relativos a las diferentes funciones o módulos disponibles; éstos son: 1) acceso a la información temática, 2) a la base de datos tabulares, 3) un constructor de consultas, 4) un módulo específico de las obras de la SCT; los dos siguientes botones dan acceso a dos subsistemas para aplicaciones específicas, 5) *Info_Multimodal* e 6) *Info_Puentes*; 7) un módulo para ejecutar operaciones de análisis espacial, 8) otro para impresión de mapas finales, y 9) la opción de salida del sistema



El SIGET, con base en la información registrada en el INIT, proporciona un valioso cúmulo de información en formato digital y geográficamente referenciada, con todas las ventajas que esto supone, y está en posibilidad de servir desde ahora a diversos organismos y a los propios Centros SCT para apoyar actividades como:

- a) La conservación y mantenimiento de la infraestructura carretera cuya importancia se refleja en términos de la operación, seguridad y costos de transporte, trascendiendo a la estructuración territorial y la economía en su conjunto.

b) Estudios de evaluación del diseño geométrico de carreteras al aportar datos adicionales para el cálculo del grado de curvatura y/o alineamiento horizontal y vertical de las mismas, o bien, una vez incorporados los parámetros técnicos, facilitar su análisis.

c) Asimismo, constituirá una herramienta útil para la estimación de los sobrecostos de operación vehicular debidos al efecto de la pendiente, nivel de servicio y curvatura de las carreteras, fundamental en el transporte de carga y de importancia trascendental para el país.

d) La prevención de accidentes a partir del análisis espacial de la ocurrencia de los mismos y su relación con las características técnicas de los caminos (diseño geométrico, señalización, visibilidad, etc.).

Mención aparte merece el hecho de que el SIGET se concibe también como un instrumento de apoyo a las labores de evaluación y planeación operativa del transporte; con tal propósito se contempla integrar, completar o actualizar coberturas de información espacial y datos estadísticos relativos, entre otros aspectos a:

- Distribución territorial y características de los flujos de carga por regiones y corredores de transporte.
- Distribución modal de la carga y localización de estaciones de transferencia y de concentración y reparto a los mercados.
- Cambios y variaciones en los corredores de transporte y costos de operación vehicular, por efecto del marco normativo y reglamentario.
- Rentabilidad económica por tipo de vehículos circulantes, y comparación de la agresividad de cada tipo sobre la infraestructura, a cargas netas iguales.
- Identificación de rutas, precisión de riesgos y delimitación de áreas vulnerables por el transporte de sustancias y materiales peligrosos.

El aprovechamiento pleno del sistema se debe sustentar en el desarrollo de un esquema metodológico, organizacional, conceptual y práctico para la utilización del propio SIGET en los Centros SCT, mismo que ya se encuentra en proceso a partir del diseño del propio SIGET como un mecanismo interactivo de acceso, consulta, asociación y representación de información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector, que conducirá a la sistematización del registro y actualización en archivos digitales de la información geográficamente referenciada relativa a la infraestructura para el transporte.

Puede afirmarse que el SIGET perfila un horizonte de aplicaciones de los SIG y de los GPS como tecnologías asociadas, que 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, estudiosos, entre otros.

Como corolario, puede refrendarse que el SIGET, como está estructurado, con la información disponible y con las funciones y operaciones facilitadas, es la respuesta a la inexistencia de un sistema integral de información en el Sector Transporte, que con base en el manejo relacional de las bases de datos estadísticos en su expresión territorial, contribuye a la toma de decisiones, en las labores de planeación, organización, gestión y operación del sistema nacional de transporte, desde un ambiente gráfico de fácil manejo, personalizado para usuario final inexperto, pero con capacidades de propósito múltiple y con una estructura abierta de bases de datos para actualización y expansión permanente.

El SIGET cumple con los objetivos de ser un mecanismo de acceso, consulta, despliegue visual, análisis espacial y representación cartográfica de la información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector Transporte. Al mismo tiempo, la consecución del SIGET permitió disponer, por primera vez en el país, de la información georreferenciada relativa a los distintos modos de transporte y los componentes infraestructurales asociados, con un adecuado nivel de precisión con base en los levantamientos realizados con GPS.

Por último, debe señalarse que el SIGET exige, para mantenerse vigente, un proceso continuo de mejora que conforme a sus objetivos, incorpore y adapte la innovación constante de la plataforma tecnológica que lo sustenta, tanto en términos de actualización y ampliación de la información que lo integra, como de la programación y el desarrollo de funciones y operaciones que respondan a las necesidades planteadas por los usuarios, razón de ser del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.

En la actualidad, los procesos de planeación, organización, gestión, evaluación y operación en el Sector Transporte exigen sistemas eficientes de manejo y análisis de información, en términos de velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento, versatilidad y confiabilidad. Para aspirar a cumplir lo anterior, resulta indispensable, como elemento de partida, disponer de mecanismos que garanticen la generación y el acopio del insumo esencial para que funcione el sistema, esto es, de los datos. Ante esta realidad, el Instituto Mexicano del Transporte inició desde 1991 una línea de investigación tendiente a evaluar las denominadas tecnologías de georreferenciación (SIG, GPS y procesamiento de imágenes de satélite), con el propósito ulterior de generar un inventario digital de datos geográficamente referenciados, y diseñar a partir de éste, un sistema de información geográfica especializado para su utilización en el Sector Transporte.

La generación y mantenimiento en medios magnéticos de bases de datos sobre el transporte nacional reclama, como se ha dicho, la instrumentación de metodologías y sistemas que garanticen precisión y certeza en la información, en particular cuando se trata de datos espaciales o geográficos; es decir, datos que requieren una localización específica en la superficie terrestre a partir de un sistema de coordenadas.

En este contexto, y en respuesta a la demanda del Sector Transporte por obtener información precisa y actualizada sobre la localización de la infraestructura y de sus atributos asociados (características y condiciones de la misma), a iniciativa y bajo la dirección del autor de este trabajo, el Instituto Mexicano del Transporte con la colaboración de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), llevó a cabo el Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT), fase inicial y plataforma de partida del **Sistema de Información Geostadística para el Transporte (SIGET)**, mediante el empleo de receptores GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la captura en campo de información geográficamente referenciada y de un Sistema de Información Geográfica (SIG) – ArcInfo y ArcView- para el procesamiento posterior de los datos y programación de la interfaz para usuario final.

El SIGET es, en suma, la solución propuesta al problema de la carencia de un sistema integral de información en el Sector Transporte, que coadyuve a la toma de decisiones, con base en el manejo relacional de las bases de datos estadísticos en su expresión territorial, desde un ambiente gráfico de fácil manejo, con funciones diversas de consulta y despliegue visual, análisis espacial y representación cartográfica.

El SIGET es el resultado de un proyecto que eslabona distintas actividades a lo largo de varios años, conjugadas desde el principio en el objetivo de proporcionar

una herramienta útil que contribuya a la planeación, gestión y operación del sistema de transporte nacional. Entre las actividades realizadas con este propósito destacan fundamentalmente dos: por un lado, la correspondiente a la construcción del cimiento del sistema en sí mismo, es decir, a la generación de la información georreferenciada de la infraestructura para el transporte, mediante el levantamiento del INIT con el empleo del GPS; la segunda actividad fundamental consistió en diseñar, integrar, estructurar y programar, con la plataforma del SIG, las funciones, operaciones e interfaz gráfica del SIGET.

Definición e importancia del tema

El transporte como actividad humana y proceso que posibilita la articulación e integración territorial, el intercambio de bienes e ideas y el acceso de los servicios básicos a la población, es por naturaleza un hecho geográfico dada su inobjetable expresión espacial; de aquí que la dimensión geográfica del transporte resulte fundamental en los procesos de planeación, en la formulación de proyectos de inversión y como criterio básico en la toma de decisiones.

El transporte es sin duda una actividad compleja. Involucra múltiples actores (transportistas, usuarios, autoridades, etc.); realiza funciones diversas (comunicación, integración, traslado de bienes y personas, entre otras) y requiere diversas tareas para su ejecución (planeación, organización, diseño, construcción de infraestructura, mantenimiento, operación, etc.).

La organización y planeación 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, el peso, volumen, tipo y densidad económica de los bienes transportados, itinerarios, oportunidad y seguridad de los traslados, entre muchos otros aspectos.

La visión sistémica del transporte, como principio metodológico, permite delinear el marco de actuación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el Sector, pleno de oportunidades y de retos distintos de acuerdo con la problemática particular de cada modo o medio de transporte y a la escala territorial abordada.

Estados Unidos, país líder en el uso de los SIG y en el cual existe mayor número de referencias y ejemplos ilustrativos acerca de las posibilidades y ventajas de utilización de estos sistemas, registra una gran cantidad de aplicaciones al transporte. Desde hace más de 10 años el Transportation Research Board³ identificó múltiples campos de desarrollo, entre los cuales destacan la

³ Lewis, S. & Fletcher, D. An introduction to GIS for Transportation. Transportation Research Board, Annual Conference. Washington, D.C., 1991.

administración de carreteras y red ferroviaria, la planeación, operación y conservación de la infraestructura, logística y manejo de redes así como el análisis de accidentes; asimismo, el manejo de aeropuertos y algunos servicios de apoyo a la navegación, como también en la organización del tránsito vial y los estudios de prevención de riesgos y manejo de emergencias.

Los SIG reúnen, sin duda, 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, la premisa básica para operar exitosamente un SIG consiste en la precisión de sus objetivos, así como en la selección del software más apropiado a las necesidades particulares de cada institución.

Actualmente el universo de los SIG está poblado por decenas de programas diversos, con características y funciones particulares 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 sus relaciones y, de manera paralela, deben evaluarse los rasgos distintivos de los programas comerciales en función de su capacidad de respuesta a los requerimientos analíticos de información espacial de las aplicaciones al transporte.

Ventajas de utilización de los SIG en el transporte

Las ventajas brindadas al transporte por la utilización de los SIG, se relacionan con tres funciones primordiales: integración de los datos, análisis geográfico de la información y despliegue y representación espacial de la misma. Para cumplir con las tres, la condición esencial es contar con una referencia de ubicación común o georreferenciación de los datos.

La característica integradora, vinculada a la función de acopio de información procedente de fuentes diversas (documental, mapas, sensores remotos, registro automatizado, etc.) posibilita la correlación entre series de datos distintas tanto locacionales como de atributos y temporales. Esto posibilita interrelacionar y analizar la información específica del sector transporte con otra de carácter externo (económica, social, medioambiental, etc.) y estudiar sus manifestaciones territoriales.

Debido a la naturaleza geográfica intrínseca de la mayoría de los datos del transporte, los SIG deben servir como base para la organización coherente de un sistema integrado de información en cualquier dependencia, empresa u organismo encargado de esta actividad

Aproximadamente 10,000 profesionales de la industria del transporte están usando SIG para planear, diseñar, construir, operar y mantener carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos alrededor del mundo. Su uso se espera se

triplique en los próximos cinco años. A través de Internet se pone a disposición pública la información y es posible mantener mapas actualizados en tiempo real.⁴

La dependencia del transporte en la vida cotidiana se puede ilustrar con algunas cifras, por ejemplo, en los EUA se calcula que cada ciudadano pasa 11/2 hr por día en un camino y la Federal Highway Administration, FHWA, estima que el uso de las carreteras se incrementará un 50% para el 2010. La misma FHWA estima que tendrán que gastar 15% más de su presupuesto cada año para tan sólo mantener en el mismo estado los puentes y caminos, es decir, sin considerar los costos de ampliar la infraestructura ante la demanda creciente⁵. Esto sin dejar de mencionar el elevado precio medioambiental que habrá que pagarse.

Ante esa situación, muchas dependencias de tránsito y transporte en el mundo están enfrentando las necesidades de incrementar la infraestructura y el uso eficiente de la misma con herramientas como los SIG para evaluar la congestión vehicular en áreas urbanas, la seguridad vial, y la calidad del aire, como también para la administración del mantenimiento y conservación de la misma.

En este sentido, los SIG se emplean también para elaborar mapas de calles, caminos, vías férreas, rutas, además de mapas dinámicos resultado de monitorear vehículos en ruta, condiciones de tránsito del camino, interrupción del paso, etc. Asimismo, apoyan el diseño y construcción de carreteras combinando información técnica-ingenieril con características del paisaje, condiciones de los ecosistemas e inclusive atendiendo valores escénicos.

En cuanto a la operación del transporte, hoy día los SIG resultan indispensables para coadyuvar en las actividades relacionadas con la logística y administración de flotas, planeación de rutas de transporte público, control del tráfico urbano combinando información demográfica y uso del suelo, prospectiva y modelación de escenarios de demanda de infraestructura y servicios de transporte, etc.

Debe resaltarse que adicionalmente, los SIG son el eje de aplicación de otras tecnologías y herramientas para la administración de redes, tales como: sensores automatizados en las vialidades, cámaras de video en las intersecciones o a lo largo de las carreteras para detectar velocidad, flujos y ajustar la operación de dispositivos de control de tránsito o señales; sistemas de posicionamiento global, GPS, para inventario de infraestructura, monitoreo en ruta, localización de vehículos (tractocamiones, taxis, trenes, aviones, barcos), etc.

⁴ Lang L. *Transportation GIS*. ESRI Press, U.S.A., 1999

⁵ *Idem*, p. vii

Aplicaciones documentadas de los SIG en el transporte

Un ejemplo relevante del uso de los SIG para la gestión de un sistema integral de transporte lo representa el Departamento de Transporte del estado de Nueva York, NYDOT, que tiene a su cargo más de 24,000 km de caminos, 20,000 puentes, 7,400 km de vías férreas, 600 instalaciones aeroportuarias y 12 puertos, todo ello confinado dentro de algo menos de 80,000 km² de territorio⁶.

Con base en el uso del SIG ArcInfo, el NYDOT creó un sistema que permite a los responsables en el Departamento visualizar y analizar los diferentes tipos de bases de datos con sus distintos métodos de referencia locacional; así, por ejemplo, es posible consultar la información sobre el estado del pavimento al mismo tiempo que se despliega lo relativo a accidentes registrados en un sistema de ubicación diferente.

El SIG también se utiliza para llevar la administración de los proyectos carreteros visualizando espacialmente el programa de obras, y contribuye a definir los planes de inversión al evaluar los beneficios de cada proyecto en relación con los objetivos de mejoramiento de la seguridad y reducción de la congestión vial. En este mismo sentido, el sistema ofrece un módulo específico para el mantenimiento y la conservación de los pavimentos, con la capacidad adicional de priorizar las labores al correlacionar la inspección técnica del estado superficial con los datos de volumen de tránsito, rutas alternas y accidentes.

El subsistema de manejo de accidentes permite ubicar la ocurrencia de los mismos por tipo, severidad, horario, condiciones del camino y del entorno, etc., con lo cual los administradores pueden establecer causas probables, patrones espaciales de los eventos y recomendaciones para mejorar la seguridad de los caminos.

Otro ejemplo similar lo constituye el sistema realizado por el Departamento de Transporte de Missouri, MoDOT, que desde 1995 creó una división específica para coordinar la información espacial de las áreas encargadas de tránsito y transporte del estado. El MoDOT administra más de 51,000 km de carreteras y 8,000 puentes en 112,000 km² de superficie⁷.

El sistema de gestión de transporte de Missouri cuenta con la información por tipo de camino, jurisdicción, límite de velocidad y, a nivel de segmento, su historial de reparaciones, con lo que planean su mantenimiento; del mismo modo, cuenta con un subsistema de puentes con datos por condado, condición o tipo, y un inventario actualizado de señales y accidentes, todo lo cual utilizan para mejorar la

⁶ Ibidem, p. 11

⁷ Ibidem, p.101

administración vial, incrementar la seguridad y proporcionar información útil al usuario, inclusive por Internet.

A nivel regional, sobresale la experiencia de la Southern California Association of Governments (SCAG), compuesta por 184 ciudades de seis condados del sur de California (Ventura, Los Angeles, Orange, San Bernardino, Riverside e Imperial), que desarrolló un SIG para hacer más eficiente el uso de la infraestructura actual y evitar la parálisis del tránsito esperada para el año 2020, mediante medidas para descongestionar la red vial y planear alternativas de transporte público⁸.

El SIG de SCAG combina la información de la red vial con los datos censales, la ubicación de los centros de trabajo y los datos de tráfico para determinar alternativas de transporte masivo, localización de estaciones o, según el caso, programas de carro compartido entre otros.

En Gran Bretaña, en particular en la ciudad y puerto de Southampton, se cuenta con uno de los más avanzados sistemas *inteligentes* de información para el transporte europeo, conocido como *Sistema de gestión de carreteras de Europa*, ROMANSE (siglas en inglés de Road Management System for Europe)⁹. Basa su éxito en la conjunción operativa de un SIG con un sistema de control de tránsito en tiempo real, y la plataforma de Internet para consulta y despliegue visual de los datos.

El SIG sirve como interfaz gráfica del sistema de control de tráfico, y ha sido programado para visualizar geográficamente información sobre el tránsito urbano y las condiciones de la red carretera en la región; alimentado con datos procedentes de fuentes diversas como circuitos cerrados de televisión, sensores en los caminos y sistemas de monitoreo satelital, el usuario puede realizar consultas y análisis instantáneo del flujo vehicular, de la situación de la red vial, de la disponibilidad de estacionamiento, tiempo de arribo de los autobuses, distancias y rutas a sitios de interés, entre otras operaciones.

En relación con los sistemas específicos 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.¹⁰

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

⁸ Idem, p. 21

⁹ www.romanse.org.uk

¹⁰ Vonderohe, A.P., et al. *Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation*. Transportation Research Board, NCHRP Report 359, Washington, D.C., 1993.

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. La información contenida en la base de datos comprendió la red estatal de carreteras, con una longitud 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 intensidad de tránsito, entre otros¹¹.

El desarrollo de la fase de análisis y evaluación de los SIG, para la gestión de la conservación de las carreteras, 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 consultada por medios distintos.
- ✓ Los SIG hacen posible 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.).

La aplicación de los SIG al transporte no se circunscribe al modo carretero; en el transporte aéreo, marítimo y ferroviario también existen experiencias exitosas de utilización. Por ejemplo, el aeropuerto de Minneapolis-St. Paul en Minnesota, 12° lugar por número de operaciones en los Estados Unidos, emplea un SIG para

¹¹ Idem

visualizar las trayectorias de los vuelos en tres dimensiones, planear la ubicación de nuevas pistas, hangares y otras terminales, monitorear el ruido producido por las 1,350 operaciones diarias de despegue y aterrizaje, y determinar las viviendas afectadas, sujetas de programas de compensación o medidas de atenuación.¹²

En el transporte ferroviario también se está usando SIG para administrar el equipo rodante, vías, bienes inmuebles y la carga; un caso sobresaliente es la empresa Conrail de Filadelfia, Pensilvania,¹³ en la que parte de su éxito comercial, procede del uso de ArcInfo para manejar la información espacial de sus cinco divisiones. El sistema desarrollado permite organizar las labores de mantenimiento y reparación de vías, visualizar y ubicar la posición de las 2,100 locomotoras de la compañía, vía GPS, así como diagnosticar su funcionamiento mediante una computadora a bordo; además, con el SIG se han realizado estudios para incrementar la seguridad, disminuir los accidentes y mejorar la respuesta en caso de emergencias.

En el ámbito urbano, la elección de la ruta a seguir es una decisión crítica que puede significar una diferencia hasta de horas en el tiempo de recorrido. Cada día es mayor el uso de los SIG para agilizar el tránsito vía la transmisión de la información oportuna al usuario del transporte. Un buen ejemplo de esto se encuentra en Seúl, capital de Corea del Sur, donde hace cinco años se creó el Centro de Información de Tráfico que, con base en un SIG, proporciona a los conductores las condiciones del tránsito, clima, rutas alternativas, etc., a través de Internet, www.kortic.or.kr.¹⁴

La utilidad se extiende a los 27 millones de personas que viven en Seúl y ciudades vecinas, que se trasladan a la mayoría de los negocios y comercios en el área central de la capital, al norte del río Han, por lo que tienen que cruzar alguno de los 17 puentes existentes. Los mapas en línea y datos de tráfico benefician también a los despachadores de flotillas de transporte o servicios como ambulancias ya que, por ejemplo, el sistema indica la ruta óptima entre el lugar de ocurrencia de un accidente y el hospital más cercano.

El sistema se alimenta por los datos de tránsito registrados en 2,000 intersecciones por sensores equipados con circuito cerrado de televisión; además de 120 autos que mediante receptores GPS capturan información del tránsito las 24 horas del día. Todos los datos son enviados al centro de procesamiento donde se despliegan en mapas actualizados cada 10 minutos, con la información de velocidad de desplazamiento del flujo vial por carril, y puesto a disposición del público en Internet.

Los investigadores coreanos creadores de este sistema trabajan con los fabricantes de autos de su país para que, a partir de 2003, los vehículos cuenten

¹² www.macavsat.org/GIS/

¹³ Lang, L. Op cit, p. 63

¹⁴ Idem, p. 112

con un equipo de navegación a bordo que proporcione información de tráfico y servicios de ruteo. En el futuro próximo, el sistema se integrará con las señales de teléfonos celulares para localizar autos en situación de emergencia, así como extender su uso a otras ciudades.

Situación en México

En el caso de México, la experiencia en la utilización de sistemas de información geográfica en el transporte se remonta a los trabajos precursores realizados en el Instituto Mexicano del Transporte; en efecto, desde 1991 se ha desarrollado en esa institución una línea de investigación tendiente a identificar el potencial de aplicación en el sector de las tecnologías de información georreferenciada, derivado de la cual se han realizado diversos proyectos y estudios que avalan el amplio espectro de posibilidades de uso para la planeación, organización y gestión de los distintos modos de transporte. Entre ellos destaca el Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (SIGET), objeto de esta publicación.

Al interior del IMT, la propia consolidación de la Unidad de Sistemas de Información Espacial (USIE), encargada del desarrollo de las tecnologías de georreferenciación, ha permitido apoyar la realización de aplicaciones en áreas diversas, como son: en la infraestructura para el transporte, el diseño de un módulo de análisis geográfico dentro del “*Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos*”, SIMAP;¹⁵ en equipamiento para el transporte, el diseño de una interfaz de análisis geográfico para el programa nacional de evaluación de la corrosión en puentes; asimismo, se han programado rutinas personalizadas para el proyecto en marcha del esquema rector de estaciones multimodales en México.

En paralelo, la solidez de la línea de investigación permitió, mediante capacitación y asesoría provenientes de la USIE, conformar otro grupo independiente enfocado a las aplicaciones para la prevención de accidentes y la seguridad en el transporte carretero, del cual se ha obtenido como resultado más notable el sistema de información geográfica para el análisis de accidentes, a partir de la sistematización y geocodificación de los datos de la Policía Federal Preventiva¹⁶, y la utilización de *ArcInfo* y *ArcView* para el análisis de costos de operación vehicular en la red carretera federal¹⁷.

¹⁵ García, O. G. y Backhoff, P. M. El Módulo Geográfico del SIMAP. Publicación Técnica #92. Instituto Mexicano del Transporte, México, 1997.

¹⁶ Mendoza, A. et al. Geographic Information System-Based accident data management for Mexican Federal roads. In *Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board*, No.1746, National Research Council, Washington, D.C. 2001, pp. 74-83

¹⁷ Leyva Castro, J.R. Desarrollo de un sistema de información geográfica para la estimación de los costos de operación vehicular del autotransporte de carga en la red carretera federal. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Sistemas de Transporte y Distribución de Carga. Universidad Autónoma de Querétaro, 2002.

Además, cabe señalar que el grupo de trabajo en sistemas de información espacial del IMT, ha contribuido a la incorporación y aprovechamiento de tecnologías SIG y GPS en distintas dependencias y entidades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Gobierno Federal. Entre las aplicaciones desarrolladas sobresale un sistema de apoyo a la planeación, conformado con la plataforma *GIS Plus* en la Dirección General de Planeación, que permite visualizar correlaciones territoriales entre la infraestructura para el transporte y las características socioeconómicas de las regiones; también, merecen destacarse los esfuerzos para sistematizar la elaboración de los mapas carreteros de la Dirección de Cartografía, con la asesoría del IMT y con el empleo de *AutoCad Map*.

Otras experiencias exitosas de utilización de los SIG/GPS en el Sector Transporte lo constituyen los trabajos para los Comités de Planeación Regional de la SCT, en colaboración con las Direcciones Generales de Evaluación y Planeación de esa Secretaría, en los cuales el IMT ha marcado las directrices para la conformar sistemas de apoyo a la toma de decisiones, a nivel regional, con base en la adaptación del SIGET; asimismo, se ha apoyado la realización de otras aplicaciones, objeto de una particular Publicación Técnica en elaboración, como son el “*Sistema de Información Geográfica para el proceso de Planeación y Programación del Transporte Fronterizo en México*”, orientado a las seis entidades federativas del norte del país, en coordinación con la Unidad de Autopistas de Cuota, dependiente de la Subsecretaría de Infraestructura de la SCT, y, por otro lado, en colaboración con la Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional de la misma Subsecretaría, se ha diseñado la versión piloto de un sistema para la atención de emergencias en caso de desastres naturales, con el propósito de transferirlo a las Residencias Generales de Caminos Alimentadores de los 31 Centros SCT del país.

En otros ámbitos de competencia, la experiencia de utilizar los SIG en el transporte es más reciente. Destacan, sin duda, los proyectos realizados por el grupo de *Geografía del Transporte* en el Instituto de Geografía de la UNAM; las aplicaciones dirigidas a la logística desarrolladas en el Instituto de Ingeniería de la misma Universidad; los trabajos de algunas dependencias de los Gobiernos estatales, entre los que sobresalen Querétaro, Chihuahua, Veracruz, Estado de México, Baja California, Jalisco, Aguascalientes y Puebla, principalmente orientadas al manejo de tránsito urbano y ordenamiento vial. En el sector privado, el empleo de estas tecnologías se ha concentrado en el monitoreo de vehículos en ruta por grandes transportistas y para apoyo de sistemas de gestión de flotillas, servicios proporcionados por empresas como *Omnitracs*, *Astrum* que emplea la señal del satélite canadiense MSAT1, y otras como *Tecnología QW*, agente comercial de la empresa paraestatal *Movisat* dependiente del organismo público descentralizado *Telecomunicaciones de México*.

Objetivos del SIGET

Objetivo general

Diseñar, estructurar e implementar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al sistema de transporte mexicano.

Objetivos específicos

- Diseñar un mecanismo de acceso, consulta, análisis y representación cartográfica de la información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector Transporte.
- Sistematizar el registro y actualización de la información georreferenciada relativa al transporte y los componentes infraestructurales asociados.
- Desarrollar un esquema metodológico y conceptual para la utilización del SIGET en los distintos organismos y dependencias de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- Diseñar y programar una interfaz gráfica *personalizada* para usuario final inexperto, que resulte sencilla pero con capacidades de propósito múltiple, y con una estructura abierta de bases de datos para actualización y expansión permanente.
- Proporcionar un marco teórico y conceptual sólido para sustentar al SIGET y las aplicaciones derivadas del mismo.
- Evaluar el potencial de aplicación del SIGET mediante su utilización en proyectos con temática variable y multifinalitarios.

Estructura del trabajo

En el primer capítulo del presente documento se describen los antecedentes y el marco conceptual de referencia de las herramientas técnicas que sustentan la creación del SIGET, a partir de la revisión teórica de los componentes, funciones operativas y alcances de los sistemas de información geográfica, por un lado, y de los sistemas de posicionamiento global por otro. En el segundo capítulo se explican los métodos y organización del SIGET, así como los alcances del mismo encaminados a su utilización práctica; en el primer apartado del capítulo, se reseña la estrategia organizacional y el contenido y estructura de la información generada por el levantamiento del Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT).

En esta parte, se destaca que la primera fase de desarrollo del SIGET consistió en la creación de la plataforma básica de datos espaciales, a partir de la cual se conformaría todo el sistema; en tal sentido, se planteó la realización del INIT, cuyo objetivo principal se centró (durante el primer período de levantamiento) en la creación, en formato digital, de bases de datos georreferenciados, consistentes del trazo de las redes carreteras pavimentadas, ubicación de puertos y aeropuertos, así como de la localización precisa de rasgos asociados a los caminos (puentes, gasolineras, alcantarillas y otros) y en un segundo período se registraron los caminos revestidos y las terracerías del país. Cabe señalar que los datos digitales y georreferenciados de las vías férreas fueron obtenidos mediante digitalización manual de la cartografía impresa por la empresa Ferrocarriles Nacionales de México.

Es en este segundo capítulo donde se describe y explica el procedimiento para el diseño de la interfaz gráfica para el usuario, así como las funciones y operaciones que cumple para el despliegue visual, consulta, análisis y representación cartográfica, programadas y personalizadas con base en el lenguaje nativo de ArcView, *Avenue*.

Finalmente, cabe subrayar que en una Publicación Técnica posterior, ya en proceso de edición, se reseñan algunas de las aplicaciones multitemáticas desarrolladas con base en el SIGET; así, en dicho trabajo se demuestra la importancia y el potencial de utilización, específicamente para los Centros SCT y dependencias de las oficinas centrales de la Secretaría, con los avances parciales de proyectos en desarrollo, realizados por los autores en el propio Instituto con datos de diferentes entidades federativas, escalas y contenidos. Los proyectos presentados con carácter demostrativo de la diversidad temática de utilización del SIGET serán: “Sistema de Información Geográfica para la evaluación espacial de riesgos en la red nacional de carreteras”, el segundo se encuentra en su fase inicial y se titula “Transporte y accesibilidad en la cobertura regional de los servicios básicos de educación y salud en México” y, por último, en colaboración con la SCT, “Sistema de Información Geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”.

1 Marco teórico de referencia sobre las herramientas técnicas que sustentan al SIGET

1.1 Los Sistemas de Información Geográfica

La tecnología actual, en particular la informática, permite desarrollar sistemas automatizados de información de gran capacidad; en este ámbito, se han generado herramientas para la manipulación computarizada interactiva de mapas u objetos que tienen atributos espaciales, estos se denominan *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*, cuya característica primordial es que permiten conservar la referencia territorial de la información.

Ligados en sus orígenes al manejo de grandes bases de datos y a la cartografía automatizada, los SIG han desbordado esos campos y situado su función en el manejo y análisis de la información que los define. Al respecto, Burrough¹⁸ ha señalado que los SIG son resultado de la amalgama de desarrollos de cómputo llevados a cabo por diversas disciplinas y técnicas relacionadas con el procesamiento de datos espaciales (cartografía, fotogrametría, tecnología de sensores remotos, geometría computacional, representación gráfica, entre otros). Como herramienta técnica desarrollada en el campo del quehacer geográfico, los SIG han destacado por el hecho de facilitar las tareas básicas características de la Geografía: análisis, integración y síntesis de los procesos espaciales.

Los SIG son instrumentos tecnológicos de capacidades múltiples, diseñados y habilitados para registrar y almacenar información geográfica, a partir de la cual desarrollan y ejecutan la serie de funciones de análisis espacial que los distinguen. Son en consecuencia, herramientas útiles a todas aquellas labores relacionadas con la planeación, el ordenamiento y la administración de procesos y actividades con clara expresión territorial.

Con el empleo de un SIG es posible observar gráficamente la localización de objetos, hechos o fenómenos que tengan una expresión espacio – temporal; por ejemplo, las áreas de influencia, las relaciones geográficas y las tendencias regionales, con ello se pueden realizar correlaciones de variables sociales y ambientales, calcular distancias y áreas; diseñar estrategias, construir modelos matemáticos, identificar rutas de acceso o evacuación y estimar las necesidades de equipamiento urbano o de infraestructura en general para una localidad o región.

Los SIG cuentan con facilidades para manipular distintas clases de objetos en forma diferenciada, así como para relacionar las clases entre si y formar jerarquías de objetos entrelazados. Aparte de la información geográfica, que incluye

¹⁸ Burrough, P.A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, U.S.A., 1990.

localización, morfología y estructura, los objetos geográficos tienen información asociada de carácter no-geográfico organizada en atributos. Para que las bases de datos estadísticas tengan sentido de análisis espacial, deben estar ligadas con las bases de datos geográficas, ya que de no ser así se estaría desperdiciando la potencialidad del SIG y no se aprovecharían las virtudes de la representación territorial.

1.1.1 Definición

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) permite ver el mundo y lo que hay en él, con una perspectiva distinta (ver figura 1.1).

Las definiciones tradicionales describen a los SIG como un conjunto de hardware, software, datos, personas y procedimientos; organizados para capturar, almacenar, actualizar, manejar, analizar y desplegar eficientemente rasgos de información referenciados geográficamente. Una definición más actual y puntual es: la de un sistema que por medio de computadoras y datos geográficos ayuda al mejor entendimiento del mundo en que vivimos, y permite resolver los problemas que diariamente afrontamos.

En casi todas las disciplinas se toman, muy a menudo, decisiones que tienen que ver con la geografía, inclusive en actividades de la vida cotidiana. Existen múltiples respuestas a preguntas que normalmente se haría un gerente, un administrador, un técnico o un ciudadano común, que podrían ser resueltas con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica.



Figura 1.1 El espacio real es desgregado en capas de información
Fuente: Elaboración propia con base en *Understanding GIS*, ESRI, 1997

La solución de muchos problemas requiere el acceso a diferentes tipos de información. El SIG permite almacenar y manipular información diversa usando la geografía como enlace, lo que posibilita analizar patrones, relaciones y tendencias.

A través de un SIG los mapas pueden ser integrados y correlacionados fácilmente con múltiples datos. De hecho, mediante un campo común de referencia, cualquier información en una tabla puede visualizarse en un mapa instantáneamente, y cualquier problema representado en un mapa puede analizarse varias veces. Al contrario de lo que sucede con mapas tradicionales, los mapas en un SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados. En la práctica, un SIG puede *mapear* cualquier información que esté almacenada en bases de datos o tablas que tengan un componente geográfico, lo cual posibilita visualizar patrones, relaciones y tendencias. Con el SIG se tiene una perspectiva nueva y dinámica en el manejo de la información con el fin de ayudar a tomar mejores decisiones.

El campo de utilización de los SIG es tan amplio como el del quehacer geográfico, de manera que lo mismo es aplicable en materia de servicios a la población, que de actividades económicas, protección del medio ambiente, planeación de uso del suelo, administración de recursos naturales, análisis demográficos o *Gestión de Riesgos*, entre otros.

La utilidad de los SIG no enfrenta dudas; sin embargo, su uso cada vez más extendido expone riesgos; uno de éstos, tal vez el más importante, es que se suelen confundir los aspectos conceptuales del quehacer geográfico con la operación de la herramienta tecnológica, de donde se derivan incongruencias como privilegiar la cuestión técnica por encima de la conceptual y la producción de nueva información no siempre confiable, aunque sí revestida de calidad y precisión; en consecuencia, el riesgo se sintetiza en el hecho de que dentro del proceso de toma de decisiones "... a los SIG se les adjudique un papel decisivo, que rebase el de mero instrumento técnico, casi como si tuvieran vida propia".¹⁹

No obstante, es irrefutable que casi todo lo que sucede en la vida cotidiana sucede en algún lugar, saber dónde sucede resulta de vital importancia en cualquier toma de decisiones; por tanto, la información geográfica es fundamental.²⁰ Los grandes problemas que aquejan hoy en día a la humanidad como son la sobrepoblación, el hoyo en la capa de ozono, la expansión del SIDA y otras enfermedades, la deforestación, los desastres naturales, etc. tienen todos una dimensión geográfica que resulta crítica.

La información geográfica es importante inclusive en situaciones como las de búsqueda de una nueva casa, ya que se tiene que tomar en cuenta una gran variedad de aspectos geográficos, tales como: sectores de estratificación, precio del terreno por colonia, cercanía a lugares como escuelas, supermercados e iglesias, vías de acceso, zonas de riesgo, etc. No es pues, una decisión simple, pero con la ayuda de un SIG se puede facilitar, de manera que se acomode a las especificaciones deseadas.

¹⁹ Bocco, G. Sistemas de información geográfica: ética y concepto. (<http://dgsca.unam.mx/jornada/1999/abr99/990405/cien-bocco.html>).

²⁰ Longley, P.A. *Geographic Information Systems and Science*. Wiley & Sons, England, 2001



Figura 1.2 Aplicaciones. Los SIG pueden apoyar la compra-venta en el mercado inmobiliario.

De igual manera, los SIG también son valiosos instrumentos de apoyo en situaciones de mayor relevancia social, como cuando se considera el impacto de un fenómeno natural capaz de ocasionar un desastre; tal es el caso de la prevención de un terremoto; cuando se requiere, por ejemplo, información geológica y sísmica para ser analizada y enlazarla con la distribución geográfica de la infraestructura y ocupación del suelo de la región afectable, así como distintos indicadores demográficos. Asimismo, con un SIG se facilita la obtención de mejores resultados en la atención de la emergencia, en caso de suceder un desastre.

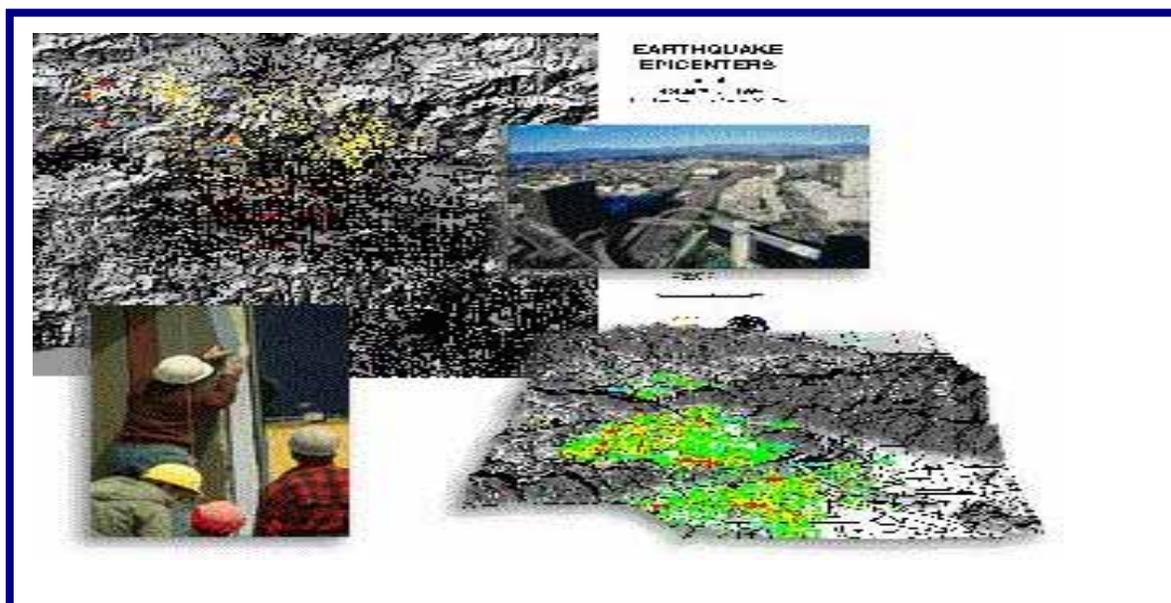


Figura 1.3 Los SIG son herramientas indispensables tanto en la prevención de desastres como en la atención de emergencias por fenómenos naturales, como los sismos.
Fuente: www.esri.com

1.1.2 Componentes de un SIG

Un SIG trabaja como cualquier sistema de información computarizado, de manera integrada con cinco componentes fundamentales: equipo o *hardware*, programas o *software*, datos, personal y métodos o procedimientos.



Figura 1.4 Los 5 componentes fundamentales de un SIG

1.1.2.1 Equipo (hardware)

El hardware es la computadora con la cual opera el SIG; para estos sistemas se requiere de equipos con alta velocidad de procesamiento y con capacidad de despliegue y almacenamiento de datos digitales. Existen en el medio diferentes equipos, marcas y configuraciones, que van de acuerdo con las necesidades del usuario. En un ambiente corporativo se utilizan generalmente servidores y equipos de escritorio conectados en red.

También hacen parte del hardware los periféricos o equipos adicionales, como son: *plotters* para impresión de mapas, mesas digitalizadoras, *scanners*, impresoras y unidades de almacenamiento.

1.1.2.2 Programas (software)

El *software* o programas para SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, acceder, analizar, visualizar y representar cartográficamente la información geográfica. Se debe disponer de herramientas para entrada, manipulación y salida de la información geográfica:

- Herramientas que soporten consultas espaciales y estadísticas, análisis y visualización.
- Una interfaz gráfica (GUI) para que el usuario acceda fácilmente a las herramientas.
- También se incluye por su importancia en un SIG, el software para procesamiento de imágenes, elaboración de mapas, transformación de coordenadas y visualización tridimensional.

Los diferentes programas de SIG en el mercado varían en funcionalidad y costo. La siguiente tabla muestra algunos paquetes de *software* o programas más usuales, sin pretender ser una lista exhaustiva, sino más bien enunciativa de la gran variedad y disponibilidad existente; además, la tabla sólo consigna los paquetes que pudieron ser evaluados comparativamente para elegir la plataforma de desarrollo del SIGET.

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.

Métodos, organización y descripción operativa.

Software	Desarrollador	Costo	Funcionalidad	Características principales
Arc/Info	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	Alto	Alta	Modular, con facilidades para desarrolladores de sistemas y usuarios de nivel <i>profesional</i> (fig.1.6). Construcción de topología. Manejo de grandes volúmenes de datos. Manejo de información en formato vectorial y raster. Interfaz gráfica mejorada. Altamente flexible. Curva de Aprendizaje lenta. Soportado para plataformas Unix, Windows y Windows NT.
ArcView	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	Medio	Alta	Modular. Manejo de grandes volúmenes de datos. Manejo de Información en formato vectorial y raster. Interfaz gráfica muy amigable. Altamente flexible. Curva de Aprendizaje rápida. Soportado para plataformas Unix, Windows y Windows NT.
Genasys	Genasys Inc	Alto	Alta	Plataforma para servicios de localización con terminales móviles. Modular. Manejo de grandes volúmenes de datos.en formato vectorial y raster. Excelentes índices espaciales. Aceptable Interfaz gráfica. Curva de aprendizaje lenta. Soportado múltiples plataformas Unix y Windows NT
GeoMedia y Modular GIS Environment (MGE)	Intergraph Corp.	Alto	Alta	Modular. Manejo de grandes volúmenes de datos. Manejo de información en formato vectorial y raster. Buena Interfaz gráfica. Soportado para Windows NT y para las máquinas propietarias de Intergraph con sistema operacional Unix propietario.
Mapinfo	Mapinfo Inc.	Medio	Medio	Muy usado en aplicaciones urbanas para estadística demográfica. Buena interfaz Gráfica. Soportado para Windows.
Erdas Imagine	Erdas Inc.	Alta	Alta	Modular. Es un SIG Raster. Muy usado en procesamiento de imágenes de satélite y radar. Integra datos vectoriales en formato nativo Arc/Info. Excelente Interfaz gráfica. Soportado para Unix y Windows NT
EASI/PACE	PCI Remote Sensing Corp	Alta	Alta	Modular. Es un SIG Raster. Muy usado en procesamiento de imágenes de satélite y radar. Soportado para Unix y Windows NT.
Ilwis	International Tnstitute for Aerospace Survey and Earth Sciences, ITC	Medio	Medio	Manejo de Información raster. Permite digitalización y cálculo de áreas. Soportado para DOS y Windows.
ArcCAD	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	Medio	Medio	SIG Vectorial. Necesita de Autocad. Soportado para DOS y Windows.
PC-Arcinfo	Environmental Systems Research Institute (ESRI)	Medio	Medio	SIG Vectorial. Soportado para DOS y Windows y Windows NT. Modular. Manejo de grandes Volúmenes de datos. Manejo de Información en formato vectorial y raster. Interfaz gráfica mejorada.
Idrisi	Escuela de Geografía de la Universidad de Clark	Bajo	Bajo	SIG raster. Muy usado para educación e investigación en sensores remotos.
GRASS	Armada de los EEUU	Bajo	Bajo	SIG Raster. Fue desarrollado para cumplir funciones muy específicas.

Figura 1.5 Cuadro comparativo de algunos de los programas de SIG más usuales.

1. Marco teórico de referencia sobre las herramientas técnicas que sustentan al SIGET

Hoy día, más de 100 sistemas o paquetes comerciales se ofrecen en el mercado con las capacidades de un SIG; la empresa de análisis mercadológico *Daratech* reportó para el año 2000 que en el mundo entero el valor de la industria SIG (software, hardware y servicios) alcanzó casi 7,000 millones de dólares, con un crecimiento anual del 10%²¹

Considerando que una de las características más asombrosas de los SIG, aunque muchas veces frustrante, es la velocidad de innovación y desarrollo, conviene distinguir el universo de paquetes y programas, de acuerdo con sus funciones y capacidades; así, se pueden clasificar en seis tipos principales de SIG y, adicionalmente, considerar como tecnologías paralelas los servidores de bases de datos espaciales y los sistemas de diseño asistido por computadora, CAD. (Ver figura 1.6).

Tipos de SIG	Autodesk	ESRI	Intergraph	MapInfo	GE Smallworld
Internet	MapGuide	ArcIMS	GeoMedia Web Map, GeoMedia Web Enterprise	MapXtreme, MapXsite	Smallworld Internet Application Server
Explorador o visualizador	AutoCAD LT	ArcExplorer	GeoMedia Viewer	ProViewer	<i>Por Especificación o Customized</i>
Biblioteca para desarrollo o Component	<i>Incluido en diversos paquetes</i>	MapObjects	<i>Parte de GeoMedia</i>	MapX, MapJ	<i>Parte de Smallworld GIS</i>
Portátil o Hand-held	OnSite	ArcPad	<i>En desarrollo</i>	MapXtend	Scout
SIG de escritorio o Desktop	World	ArcView	GeoMedia	MapInfo professional	Spatial Intelligence
Professional	AutoCAD/World	ArcInfo	GeoMedia Pro	MapInfo professional	Smallworld GIS
Servidor de Bases de Datos	Vision	ArcSDE	Utiliza Oracle Spatial	SpatialWare	<i>Parte de Smallworld GIS</i>
CAD	AutoCAD MAP	ArcCAD	<i>Incluido en diversos paquetes</i>	<i>Incluido en diversos paquetes</i>	<i>Parte de Smallworld GIS</i>

Figura 1.6 Clasificación de los principales programas de SIG, basada en su funcionalidad y tipo
Fuente: Longley, P.A. op. cit. p.171

²¹ Daratech 2000 *Geographic Information Systems: Markets and Oportunities*. Cambridge, Massachusetts:Daratech

Tipos de Programas SIG

Sistema de Información Geográfica Profesional. (Professional GIS).

El término profesional se refiere al potencial de esta clase de software. Las características distintivas del SIG profesional incluyen acopio y edición de datos, administración de bases de datos, análisis y geoprocésamiento avanzados, y otras herramientas especializadas. El SIG profesional ofrece múltiples capacidades de análisis espacial. Ejemplos de SIG profesional son ESRI ArcInfo y Smallworld. La gente que usa este tipo de sistemas con frecuencia se documenta técnicamente y se consideran a sí mismos como profesionales en SIG, con grados universitarios, y en muchos casos grados avanzados en geosistemas o disciplinas relacionadas.

El precio promedio de un SIG profesional oscila entre \$8,000 y \$20,000 dólares²².

Sistema de Información Geográfica de escritorio. (Desktop GIS)

En los últimos años, el tipo de los paquetes de SIG de escritorio, Desktop GIS, (también llamado desktop mapping system), ha crecido hasta llegar a ser el más ampliamente usado en la categoría de software SIG. Con la particularidad del uso de datos más que la creación de los mismos, cuenta con excelentes herramientas para hacer mapas, reportes y gráficas, sin duda son en la actualidad los más utilizados.

Gran parte de la capacidad de adecuación de estos productos, deriva de las posibilidades de integración con otras aplicaciones a través de los mecanismos que proveen los entornos de trabajo como Microsoft Windows, Mac OS, OS/2 PM, Windows NT, X Windows. De esta manera y junto con aplicaciones específicas se pueden crear entornos de trabajo que resuelvan gran parte de los problemas de un determinado profesional, integrándose el análisis y visualización espacial con la preparación de documentos, modelos de cálculo, etc. De la misma manera se pueden incorporar datos no gestionados directamente por el SIG de escritorio, como sonido, imagen de vídeo, fotografías, etc. Este tipo de aplicación tiene un mercado potencial mucho más amplio que un SIG profesional por las mismas razones que lo tienen los procesadores de textos, hojas de cálculo, bases de datos, etc. Permiten crear un modelo geográfico del funcionamiento de un negocio, organización o dependencia gubernamental. El hecho de que gran parte de las bases de datos existentes – se estima que más del 85 % - contengan un componente geográfico permite que el SIG de escritorio muestre patrones, relaciones y tendencias que de otra manera serían difíciles de detectar.

Actualmente el SIG de escritorio se usa en gestión pública, departamentos de mercadeo, ventas, distribución y reparto, telecomunicaciones, propiedad inmobiliaria, seguros, servicios de urgencia (bomberos, policía), salud, planeación, etc. El requisito para explotar estas aplicaciones es que se suministren los datos

²² Longley, P.A. op.cit. p.171

espaciales básicos referidos al área de interés del usuario o cliente de forma ya estructurada (mapas de municipios, infraestructura, demografía, topografía, entre los principales).

En general, los SIG de escritorio cuentan con las herramientas distintivas para manejo y análisis de la información espacial de todo SIG, inclusive, con la posibilidad de registrar y superponer imágenes (estructuras de tipo raster) a los datos vectoriales, con lo que es posible la digitalización en pantalla y el enriquecimiento del gráfico. Asimismo, suelen contar con su propio lenguaje de programación y personalización de aplicaciones; no obstante, sus limitaciones estriban en que no son aptos para la creación de nuevos mapas por digitalización, escaneado-vectorización o incorporación de datos geométricos no estructurados, pues habitualmente no se cuenta con la capacidad de depuración de los datos, creación de topología, manipulación y transformación para su correcta localización espacial.

Otras funciones más avanzadas de análisis espacial, manejo tridimensional, procesamiento de imágenes raster, entre otras, los SIG de escritorio las cumplen mediante la incorporación de módulos adicionales, muchas veces de costo mayor que el paquete central.

Ejemplos muy conocidos de Desktop SIG incluyen Autodesk World, ESRI Arc View, Intergraph GeoMedia, Idrisi de los laboratorios de la Universidad de Clark y MapInfo profesional. Los usuarios a menudo ven un SIG de escritorio como simplemente una herramienta que permite hacer su trabajo de tiempo completo más rápido, más fácil y más económico, en campos tan diversos como la planeación, ingeniería, docencia, mercadotecnia y otras profesiones.

El precio es notablemente menor que el anterior tipo, varía de \$1,000 a \$2,000 dólares²³.

Sistema de Información Geográfica portátil. (Hand-Held GIS)

La miniaturización en el diseño de los equipos se ha perfeccionado en los años recientes, a tal grado que se ha hecho posible el desarrollo de SIG móvil de uso personal en sistemas portátiles. Con capacidades similares a los sistemas de SIG de escritorio de hace pocos años, los SIG portátiles se emplean en computadoras de bolsillo, tipo palm y pocket PC, y pueden realizar funciones de despliegue, consultas y aplicaciones analíticas simples. Adicionalmente, sistemas como ArcPad pueden vincularse operativamente con un receptor GPS, mediante una conexión e interfaz adecuadas, y servir para el registro directo en campo de datos georreferenciados, en el ambiente de un SIG.

Una característica interesante de esos sistemas en la actualidad, es que todos los programas y datos son mantenidos en memoria por la falta de un disco duro en las

²³ Ibidem, p.173

computadoras de bolsillo, con lo que se obtiene un acceso rápido a la información, aunque ha obligado a los diseñadores a desarrollar estructuras compactas de almacenaje de datos. Los SIG del tipo hand-held están disponibles por varios desarrolladores, entre los que destacan Autodesk OnSite, ESRI Arc Pad, y Smallworld Scout, y su precio promedio es de alrededor de \$500 dólares, por supuesto, sin considerar el costo de la computadora portátil²⁴.



Figura 1.7 Ejemplo de SIG portátil con interfaz de operación con receptor GPS, (ArcPad de ESRI con Garmin 12XL).
Fuente: Sistema Mapa Móvil de Sistemas de Información Geográfica, s.a.

Biblioteca para desarrollo o Component GIS

Con el desarrollo de programas o software con base en componentes, algunos desarrolladores de SIG ofrecen paquetes que reúnen una biblioteca o colección relacionada con componentes o algoritmos de SIG. Éstos son realmente un conjunto de herramientas con funciones (componentes) de SIG, que un programador con conocimientos razonables puede usar para construir un sistema completo de SIG personalizado. Este tipo de SIG son de interés para los desarrolladores, porque pueden usar los componentes para crear aplicaciones óptimas altamente especializadas y personalizadas, que pueden instalarse

²⁴ Ibidem, p.174

individualmente o ensamblarse con otros sistemas. En general, los SIG de componentes ofrecen una sólida capacidad de despliegue y consulta de datos, pero sólo limitadas herramientas para cartografía y análisis espacial.

Ejemplo de SIG de componentes son ESRI MapObjects, MapInfo MapX y Blue Marble Geographics GeoObjects. El precio oscila entre \$1,000 y \$2,000 dólares por la licencia de desarrollo, y \$100 dólares por cada usuario de la aplicación; quienes, por cierto, muchas veces no saben que están empleando un SIG, en virtud de que está ensamblado en otras aplicaciones (v.gr. sistemas de ruteo, atlas interactivos, etc.)²⁵.

Explorador o visualizador

A fines de los años 90 algunos de los grandes desarrolladores liberaron gratuitamente SIG para visualización o exploración capaces de desplegar y consultar información geográfica en formatos de archivos comunes. Entre éstos se incluían ArcExplorer introducido por ESRI, GeoMedia de Intergraph y Viewer y ProViewer de MapInfo.

Actualmente, los SIG para visualización representan una significativa categoría de productos. La intención detrás de éstos es que contribuyen a establecer segmentos de mercado, terminología específica de venta y formatos de datos como estándares de facto de los desarrolladores. Los usuarios de SIG frecuentemente trabajan con un explorador sobre un objetivo básico, a menudo en conjunción con otros productos más sofisticados de SIG. Los exploradores o visualizadores tienen limitadas capacidades funcionales, restringidas a despliegue, consultas y mapeo simple. Este tipo de SIG no puede ayudar en la edición, análisis sofisticados, modelación o personalización.²⁶

SIG en Internet

Los productos SIG con alto potencial de usuarios y bajos costos son los que se clasifican en la categoría de SIG en Internet. Estimulados por la amplia disponibilidad de acceso a Internet y la creciente demanda del mercado de información geográfica, los desarrolladores de este tipo de SIG han comenzado rápidamente a liberar productos que explotan el poder de Internet. Los fabricantes han decidido explotar las características únicas de la *world wide web*, *www*, para desarrollar tecnología SIG integrada por *browsers* y servidores *Web*, y utiliza el protocolo de transmisión de hipertexto (*http*) para comunicarse.

Los SIG con base en Internet tienen el más alto número de usuarios de todas las categorías de sistemas, aunque la mayoría se enfoca en tareas simples de despliegue y consulta de información. No obstante, están sentadas las bases para esperar que las capacidades de los SIG en Internet crecerán significativamente y

²⁵ Ibidem, p. 176

²⁶ Idem, p.176

llegarán a ser el SIG dominante como mecanismo de distribución de aplicaciones²⁷.

Ejemplos de productos de SIG para Internet son Autodesk MapGuide, ESRI ArcIMS, Intergraph GeoMedia Web Map y MapInfo Mapxtreme. Los precios varían de \$5,000 hasta \$25,000 dólares, en relación con el tamaño de los sistemas, funcionalidad y facilidades de multiusuario.

Otros programas con funciones tipo SIG

SIG con base en CAD

Este tipo de paquetes surgen como sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) a los que se agregan algunas capacidades de SIG, tales como manejo de bases de datos, análisis espacial y cartografía. De ahí que, sus principales usuarios se encuentren en campos como la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Los ejemplos más conocidos de esta clase de SIG son Autodesk Map y ArcCAD de ESRI, cuyos precios varían de \$1,000 a \$3,000 dólares, sin considerar el costo del sistema CAD central.

Servidores de Bases de Datos Geográficos

El objetivo de este tipo de sistemas es administrar y facilitar el acceso de múltiples usuarios a grandes bases de datos geográficos. Esta tecnología ofrece un manejo centralizado de los datos, la posibilidad de procesamiento en un servidor, con un buen nivel de ejecución de aplicaciones simultáneas, y control sobre la edición y actualización de la información. Los grandes desarrolladores de sistemas de manejo de bases de datos, como IBM, Informix y Oracle, han extendido su capacidad para almacenar y procesar información geográfica. También, los propios desarrolladores de SIG han creado productos con esta función, entre los que destacan el ArcSDE de ESRI, Autodesk Vision y MapInfo SpatialWare, cuyo costo fluctúa entre \$10,000 y \$25,000 dólares o más, dependiendo del número de usuarios²⁸.

Finalmente, conviene resaltar que de acuerdo con la clasificación según tipo de SIG expuesta, el tamaño del mercado mundial en el año 2000, medido en número de usuarios, fue de 5 millones, de los cuales, 3 millones corresponden a usuarios por internet, un millón del tipo explorador o visualizador, 850,000 usuarios del tipo SIG de escritorio, y los demás con cantidades mucho menores²⁹.

²⁷ Ibidem, p.176

²⁸ Idem, p.177

²⁹ Daratech 2000. op. cit.

1.1.2.3 Datos

Los datos son una componente muy importante en un SIG. Los datos espaciales y tabulares relacionados, pueden ser recolectados directamente o adquiridos a proveedores comerciales de datos. Muchos SIG emplean un manejador de bases de datos relacional o RDBMS (*Relational Database Management Systems*) para crear y mantener una base de datos que ayude a organizar y administrar estos mismos.

Los sistemas de manejo de bases de datos son especializados en almacenar y administrar todo tipo de datos, incluyendo datos geográficos. Los RDBMS se optimizan para almacenar y recuperar datos, pero no tienen las herramientas de análisis y visualización espacial comunes en un SIG. La mayoría de los SIG que existen en el mercado permiten la conectividad a los RDBMS más comunes que operan sobre plataforma UNIX como son: ORACLE, INGRES, INFORMIX, DB2, AS400, SYBASE y sobre plataformas Microsoft, utilizando protocolos ODBC.

Oracle ha desarrollado recientemente lo que ha llamado Oracle Multidimension con la intención de incorporar el manejo de bases de datos espaciales. El producto que ha liberado al mercado Spatial Database Option SDO, permite manipular información de puntos con coordenadas X,Y,Z en el modelo de datos Oracle.

El acopio o generación de datos en el formato, escala y proyección cartográfica adecuada, suele ser la etapa de mayor consumo de tiempo y costo; El proceso de integración de la información necesaria puede consumir hasta 85% del costo total de un proyecto de aplicación de SIG³⁰. Inclusive, aun cuando las bases de datos hayan sido completadas, el énfasis se traslada hacia su mantenimiento y actualización, dado el carácter multianual de la mayoría de los proyectos SIG; en estos casos, la administración de la información puede ser todavía más costosa y compleja que el acopio inicial .

Por lo anterior, se afirma que uno de los grandes problemas en la instrumentación de un SIG es la información. El proceso de automatización de datos es tal vez la componente crítica de los proyectos, y una buena recomendación en el proceso de conversión de datos es tener un buen sistema de control de calidad. La información puede provenir de fuentes diversas, ya sean manuscritos, mapas en papel, mapas digitales, GPS, imágenes de satélite, ortofotos, etc.

La digitalización es tal vez el método más conocido de conversión, sin embargo subsisten problemas cuando no se tiene en cuenta que la información va a ser utilizada en un sistema de información geográfica. Un error común es el no cierre de polígonos que es fundamental en el cálculo de áreas. Otro proceso común es la conversión entre formatos.

³⁰ Ibidem, p. 206

Normalmente los SIG tienen herramientas que permiten hacer éstas conversiones, sin embargo este proceso es altamente dependiente de la calidad de la información en el formato nativo, por tanto es recomendable estudiar las estructuras de los datos del formato original. Un formato común de intercambio vectorial es el DXF creado por Autodesk.

En un futuro los problemas de conversión de datos van a disminuir debido a que se están estableciendo estándares para el manejo de información geográfica. Un buen avance en este sentido es lo que se ha llamado *Open Gis Consortium* (OGC). OGC es una agrupación conformada por las principales casas fabricantes de SIG, cuyo objetivo es hacer sistemas abiertos, acabando con los formatos propietarios. Destaca la participación de ESRI, fabricante de **Arc/Info**, Intergraph Corp. de **GeoMedia**, GE Smallworld, desarrollador de **Smallworld GIS**, Genasys Inc. de **Genasys**, y Mapinfo Inc. fabricante de **Mapinfo**.

1.1.2.4 Personal

Los integrantes más importantes de un SIG son las personas que lo hacen posible. El nivel de calificación de éstos será más determinante para el éxito o fracaso del sistema que cualquier otro elemento técnico³¹.

Una limitante actual de la tecnología de SIG, se refiere a la dificultad de las organizaciones y dependencias para encontrar expertos o especialistas que administren el sistema y desarrollen planes y programas que puedan ser aplicados. De aquí que la capacitación del personal involucrado se convierta en la clave del éxito de los proyectos SIG. El personal se clasifica en forma general en expertos, usuarios especialistas y usuarios finales. Los expertos son quienes diseñan y mantienen el sistema; los usuarios especialistas son quienes realizan las consultas y análisis e introducen los datos; los usuarios finales son quienes consultan la información y la visualizan.

1.1.2.5 Métodos y procedimientos

El éxito de operar el SIG depende de un buen diseño de planes y estrategias, teniendo en cuenta que los modelos y las prácticas operativas son particulares de cada organización. Los procedimientos determinan cómo realizar tareas, tales como la forma de introducir la información en formato digital, la forma de almacenamiento y los formatos de salida de información. En este punto es importante definir muy bien los metadatos, el diccionario de datos, estructura, diagrama de flujo, etc.

³¹ Lewis, S. y Fletcher, D. "An introduction to GIS for Transportation". Transportation Research Board. Annual Conference 1991. Washington, D. C. 1991.

1.2 El Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Definiciones conceptuales y principios operacionales

El Sistema de Posicionamiento Global es un programa de navegación y posicionamiento basado en satélites. El Navigation Satellite Timing and Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS), nombre completo del sistema, es un programa financiado por el gobierno de los Estados Unidos, y administrado por el Departamento de Defensa de ese país.³²

El GPS se ha constituido en la herramienta más completa para el registro de la localización de rasgos o elementos sobre la superficie del planeta. En julio 17 de 1995 alcanzó su plena operación, y se completó la puesta en órbita de una constelación de 24 satélites (21 en operación y 3 de reserva) con la misión de transmitir señales con información de diversos parámetros de posicionamiento, que registradas por receptores en tierra permiten calcular, con un alto grado de exactitud, la localización geográfica de cualquier punto en la superficie terrestre.

La tecnología GPS es usada primariamente como una herramienta para determinar la localización exacta de un lugar sobre la superficie terrestre, pero además puede proporcionar información sobre tiempo y velocidad de objetos en movimiento, lo que le permite actuar también como un sistema de navegación por radio. Los receptores usan los datos transmitidos para calcular posiciones tridimensionales (latitud, longitud y altitud) de la antena del receptor.

El GPS es, entonces, un sistema de recepción pasiva para posicionamiento y navegación. Los satélites transmiten información a los usuarios en tierra, pero no reciben información proveniente de los usuario; esto significa que los satélites de esta constelación no funcionan como enlace de comunicación entre el usuario y alguna estación base, por ejemplo. También significa que no hay suscripción o cuotas a pagar por el acceso a las señales GPS, y que no existe límite en cuanto al número de usuarios que simultáneamente puedan aprovecharlas. Aunque se originó con objetivos bélicos, el GPS ha pasado paulatinamente a constituir una poderosa herramienta de aplicaciones civiles en todo el mundo.

1.2.1 Componentes

El sistema está integrado por tres componentes o segmentos, el del espacio, el de control y el del usuario. El segmento del espacio consiste en una constelación formada por 21 satélites activos más 3 de reserva. Los satélites se localizan en una órbita aproximada de 20,180 km y cada uno completa su órbita en 12 horas (figura 1.39). Cada satélite emite una señal de radio en la que transmite no sólo un

³² Hurn, J. op.cit.

código pseudoaleatorio con fines de medición de tiempo, sino también un conjunto de datos acerca de su localización orbital exacta y del estado del sistema en su totalidad. Esta señal es extremadamente resistente a la interferencia producida por el tiempo atmosférico, las señales de radio emitidas por estaciones terrestres y equipo electrónico³³.

Este subsistema lo constituyen los 24 satélites operativos de la constelación NAVSTAR, los cuales se hallan distribuidos en seis órbitas elípticas, cada una con 55° de inclinación con respecto al Ecuador; los satélites tienen un período de casi 12 horas y orbitan aproximadamente a 20,000 km de altitud. La configuración de la constelación asegura que, con pocas excepciones, siempre haya un mínimo de cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la Tierra.

Estos satélites están equipados con relojes atómicos activados por osciladores de Cesio o Rubidio, que permiten al satélite transmitir ondas electromagnéticas en dos frecuencias distintas, L1 con $\nu_1 = 1575.42$ MHz y L2 con $\nu_2 = 1227.6$ MHz, indicando su tiempo exacto de transmisión, mismas que son captadas por los receptores utilizados para la observación.



Los satélites de GPS se diferencian por medio de un ruido específico en su señal, de modo que el receptor pueda identificarlos, dicho identificador se conoce como PRN (Pseudo Random Noise /Falso Ruido Aleatorio) y con este identificador son reportados en las pantallas de los receptores cuando se capta su señal; en la bibliografía es usual que se indiquen con las siglas SV (Space Vehicle /Vehículo Espacial).

El segmento de control está constituido por cinco estaciones terrestres distribuidas estratégicamente alrededor del mundo para monitorear los satélites, y acumular información sobre distancias a partir de las señales emitidas por los mismos. Esta información es procesada por la estación maestra, localizada en Colorado Springs, California EEUU, para determinar los datos orbitales, los cuales son posteriormente enviados a los satélites (figura 1.40).

Cada estación de control rastrea los satélites GPS mediante radiotelescopios y envía la información hacia la estación maestra, donde se llevan a cabo complicados cálculos para determinar las *efemérides precisas* de cada satélite y el error de reloj correspondiente. La estación maestra genera la actualización de la información de navegación de cada satélite y la transmite a los satélites, de donde, a su vez, es retransmitida como parte de su mensaje de navegación al subsistema usuario.

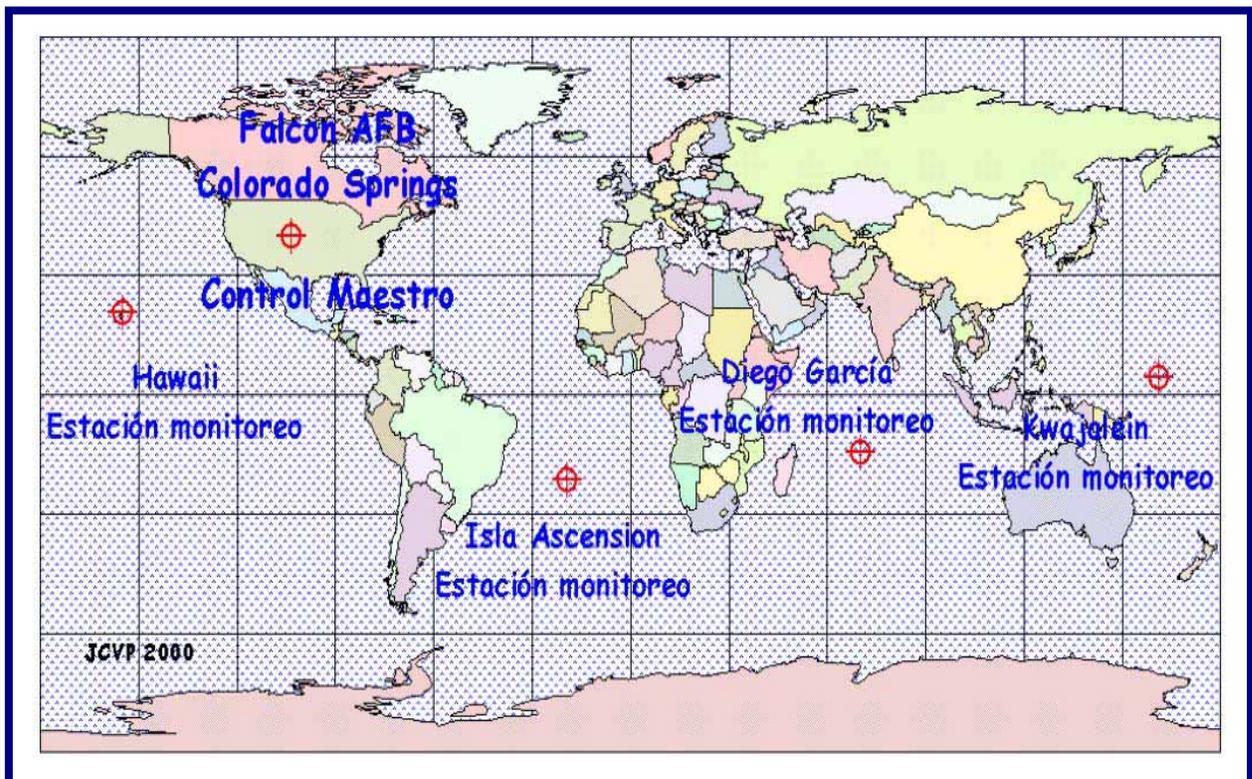


Figura 1.9 Control Maestro y red de estaciones de monitoreo GPS
Fuente: Elaboración propia con base en Dana, P. op. cit.

El segmento del usuario lo constituyen todos los usuarios de un receptor de GPS. Un receptor de GPS consta típicamente de una antena, dispositivos electrónicos para el procesamiento de la señal y un procesador digital (figura 1.41). La función primaria de un receptor es adquirir señales, recuperar datos orbitales, hacer mediciones Doppler y de distancias basadas en tiempos, y procesar esta información en tiempo real para obtener la posición, velocidad y tiempo del usuario.



Figura 1. 10 Ejemplos de receptores GPS: 1. Garmin III Plus, 2. Garmin 12 XL con tarjeta de adaptación a PC Pocket, 3. Trimble GeoExplorer

1.2.2 Funcionamiento

Un receptor de GPS es capaz de medir la distancia que existe entre éste y cualquier satélite "visible" de la constelación. Para determinar esta distancia, el receptor usa el tiempo que tarda la señal de radio en viajar desde el satélite, multiplicado por la velocidad de la luz. Puesto que la señal que envía el satélite incluye información orbital, entonces también se conoce la posición del satélite, con lo que se tienen todos los elementos para calcular posiciones. Para calcular una posición, el procedimiento se basa en la triangulación de las posiciones de los satélites y el receptor, mediante cálculos trigonométricos que ejecuta éste automáticamente; la posición puede calcularse a partir de tres satélites para

obtener una posición en 2D (dos dimensiones, "x", "y" o latitud, longitud). Si se desea obtener una posición en 3D (incluida la altitud), entonces una cuarta medición es absolutamente necesaria.

- φ Paso 1. La triangulación
 - φ Distancia a los satélites
 - φ 4 satélites para 3D
- φ Paso 2. Medición de distancias a los satélites
 - φ Velocidad de la luz (186,000 millas/s)
 - φ Sincronización de los relojes
 - φ Código común de "pseudo-rango"
- φ Paso 3. Tiempo de viaje de la señal
 - φ Reloj atómico en los satélites
 - φ La clave = 4º satélite
- φ Paso 4. Parámetros orbitales
 - φ Monitoreados por el DoD
 - φ Actualización de efemérides
- φ Paso 5. Corrección de errores y demoras
 - φ Ionosfera y troposfera
 - φ Geometría de los satélites
 - φ Reflexión por obstáculos

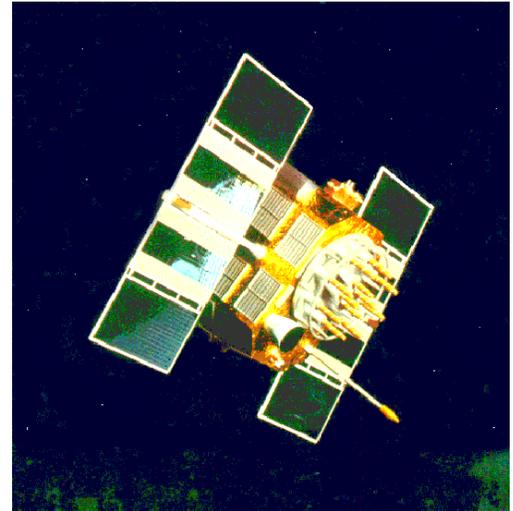


Figura 1.11 Satélite GPS
Fuente: www.navtech.com

La importancia creciente de las aplicaciones del GPS en el Sector Transporte, es reconocida por los propios actores de la actividad; en una encuesta tendiente a dimensionar el potencial de las distintas tecnologías asociadas a los llamados *sistemas inteligentes de transporte (SIT)*, aplicada a funcionarios gubernamentales federales y estatales (de transportes, comercio, aduanas, migración, etc.), empresarios (concesionarios de autopistas de cuota, transportistas, agentes de carga, fabricantes y comerciantes de equipo SIT, etc.) y ejecutivos de asociaciones SIT nacionales e internacionales (Sociedad de SIT en México, ERTICO, ITS-América, etc.)³⁴, se obtuvo que, las aplicaciones de GPS en combinación con SIG, ocuparon el segundo lugar entre las tecnologías de mayor potencial de utilización en el transporte de carga por carretera en México, sólo detrás del cobro automatizado de peajes.

Entre las aplicaciones mencionadas en la encuesta, destacan el uso para la gestión de flotillas, el monitoreo de unidades en ruta, la administración de unidades para atención de emergencias, y los sistemas de información al conductor o al usuario de transporte público.

³⁴ Aplicaciones potenciales de los SIT en México, estudio realizado por Cal y Mayor y Asociados, S.C., por contrato para el IMT, marzo 1999.

1.2.3 Aplicaciones en el transporte

Localizar ¿Dónde se ubica algún elemento de infraestructura o equipo?

Navegar ¿A dónde se dirige el vehículo?

Monitorear ¿Dónde están las unidades móviles?

Mapear ¿Dónde y cómo se distribuyen los componentes de un sistema de transporte?

Cronometrar ¿Cuánto tiempo consumen las operaciones en un trayecto determinado?

Ejemplos

- Topografía y Agrimensura en obras de infraestructura
- Inventario de infraestructura
- Sistemas de gestión del mantenimiento
- Navegación
- Localización y monitoreo de vehículos
- Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés)
- Despacho y control de flotillas
- Sistemas de información al conductor
- Control de la navegación aérea



Figura 1. 12 Equipos con base en GPS para: 1 y 2 .sistema de información al conductor (Magellan 750Nav y Magellan Nav6510); localización y monitoreo de vehículos y para sistema inteligentes de transporte (3. Trimble CrossCheck y 4. terminal Echo RTX)
Fuente:www.MagellanGPS.com y www.trimble.com/transportation

2 Organización, diseño y programación funcional del SIGET

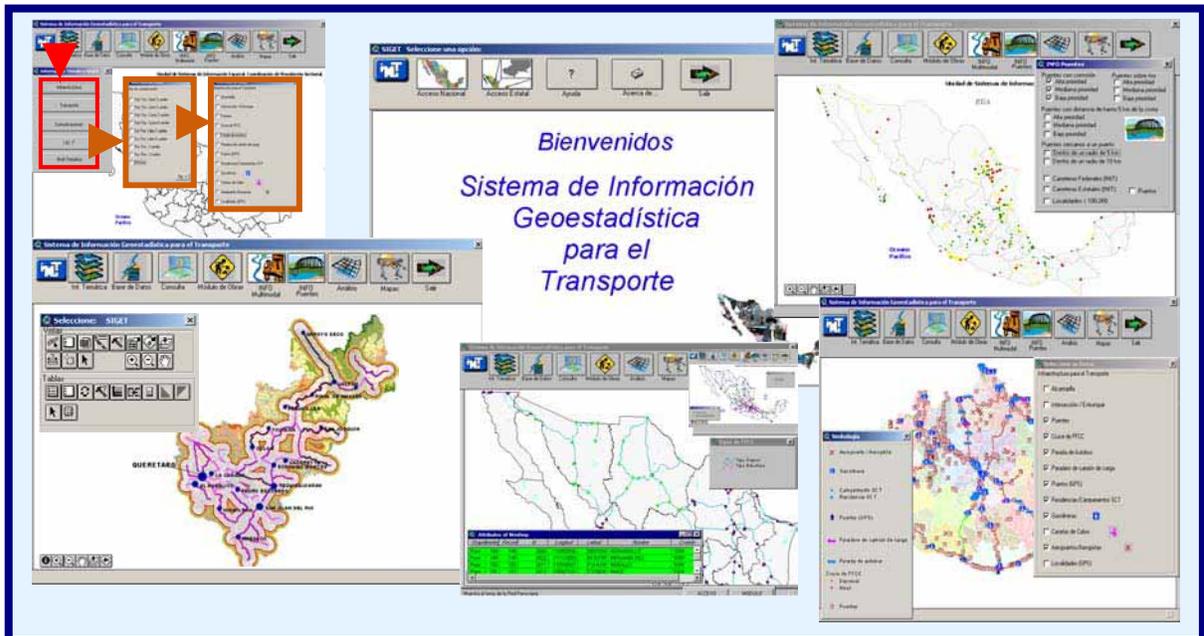


Figura 2.1 Ejemplos diversos de la interfaz gráfica para usuario final del SIGET.

2.1 Generación de la información básica y estructura operacional

El SIGET es una herramienta computacional, diseñado y programado con base en el paquete comercial ArcView, que permite incorporar, almacenar, visualizar, analizar y representar cartográficamente información geográfica y estadística relacionada con el transporte. Cuenta con una interfaz gráfica para usuario final *personalizada*, organizada en módulos, con despliegue en *ventanas* sucesivas para facilitar el acceso, consulta y manejo de la información multitemática de manera relacional.

El SIGET se integra y estructura a partir de la información geográficamente referenciada de la infraestructura por modo de transporte, a la cual se le asocian las bases de datos estadísticos que la caracterizan, generados por organismos y dependencias oficiales, además de coberturas de información ambiental y socioeconómica de otras fuentes.

La concepción, planeación y organización del proyecto SIGET son resultado de la línea de investigación que sobre tecnologías de georreferenciación realiza el autor en el Instituto Mexicano del Transporte desde hace varios años; en virtud de lo anterior, a partir de la formulación de la idea, se le asignó al mismo la coordinación general del registro del inventario nacional de infraestructura para el transporte

(INIT) mediante GPS, plataforma fundamental del SIGET. Las entidades involucradas comprendieron los 31 Centros SCT del país, la Dirección General de Servicios Técnicos de la misma SCT, el Instituto de Geografía-UNAM como asesor académico del proyecto, y al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en su calidad de órgano normativo de la producción de información estadística y geográfica en México.

La estrategia organizacional y territorial para emprender las labores se dividió en tres fases durante el primer período de levantamiento, y un segundo período consistente en la integración de datos de campo y técnico-documentales realizado posteriormente. La primera fase consistió, además del diseño de la logística general, en la capacitación de 32 brigadas integradas por tres elementos, una por cada entidad federativa mexicana, mediante un curso teórico-práctico de 40 horas de duración durante el mes de octubre de 1994 en las instalaciones del IMT en Sanfandila, Querétaro.

En la segunda fase, las brigadas equipadas con un receptor GPS "Motorola SIXGUN", conectado a una computadora portátil como medio de almacenamiento y captura y con el uso del software "Geolink", generaron las bases de datos de los registros de posición (latitud, longitud y altitud) a intervalos de un segundo, mediante el recorrido de alrededor de 95,000 km de caminos pavimentados del país, en un lapso promedio de dos a tres meses por entidad federativa. La información resultante se recibió en el IMT, donde fue transformada al formato del SIG ARC/INFO, con el cual se han venido editando e imprimiendo en mapas de diferentes escalas (de 1:50,000 a 1:1000,000) de acuerdo con el tamaño del estado y grado de detalle deseado. A la fecha, se ha concluido la generación en campo, procesamiento y edición de la información de todas las carreteras pavimentadas y 67% de los caminos rurales del país, misma que se encuentra a disposición de los usuarios interesados mediante convenios de colaboración interinstitucional con el IMT.



Figura 2.2 Equipamiento para el levantamiento en campo de la información mediante el empleo de GPS.

En virtud de que los errores máximos observados en el posicionamiento promedian 150 m, prácticamente despreciables para los propósitos del proyecto, no se contempló en esta fase la corrección de los registros por el método de post-procesamiento diferencial. No obstante, puede ser considerada en etapas posteriores apoyados por las 14 estaciones GPS de la Red Geodésica Nacional Activa que administra el INEGI.

La tercera fase del INIT, correspondiente a la 2ª etapa del 1er. período de levantamiento de información en campo, contempló el registro relativo a los más de 170,000 km de la red de caminos rurales (revestidos y terracerías), y de manera simultánea el procesamiento, edición e impresión de los resultados finales, tanto en papel como en medios magnéticos accesibles al usuario final a través de la interfaz del SIGET de fácil manejo.

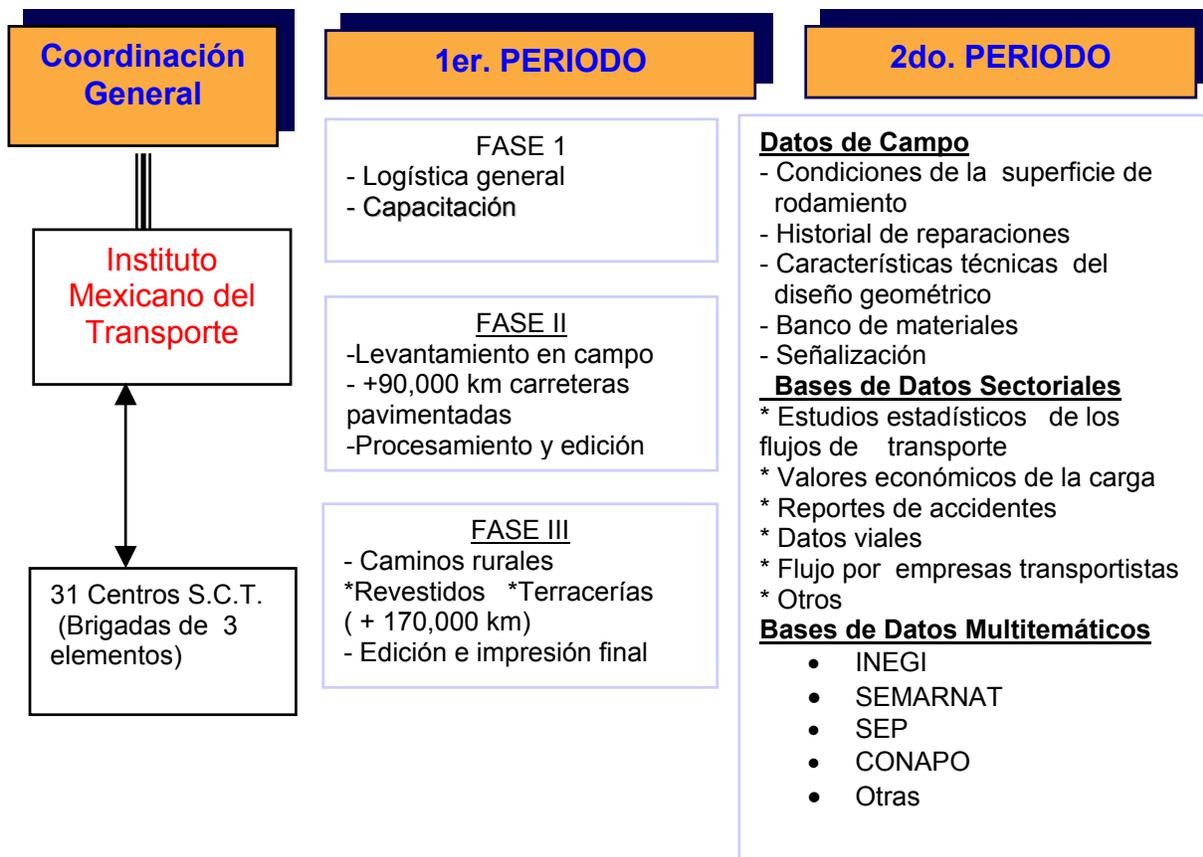


Figura 2.3 Estructura organizacional para la generación e integración de la información del SIGET.

Conviene señalar que la tercera fase requirió no sólo un presupuesto más alto por la mayor longitud a recorrer, sino que también exigió un mayor esfuerzo y tiempo debido a las condiciones de los caminos y las distancias para su acceso, por lo que se prolongó hasta mediados de 1999, cuando se agotaron los recursos presupuestados, alcanzándose a terminar 28 entidades con sus metas respectivas completas y cuatro inconclusas, con un avance estimado del 67% de la longitud.

Para cumplir con los objetivos planteados, además de otras actividades que se identifiquen en paralelo, se concibe al SIGET como de carácter continuo o permanente, de tal manera que en términos de generación de información ya se tiene planteado el segundo período de levantamiento y registro del INIT con datos relativos a:

1. Condiciones de la superficie de rodamiento de los caminos
2. Las características técnicas del diseño geométrico de los caminos:
 - Anchos de corona y calzada
 - Acotamientos y cunetas
 - Grado de curvatura
 - Alineamientos, entre otros.
3. Señalización y bancos de material
4. Ubicación de zonas de fallas reincidentes.

Conviene subrayar que la importancia del SIGET no estriba sólo en la capacidad de generar mapas, sino en la posibilidad que brinda al disponer de la información de la infraestructura georreferenciada en formato digital, para acumular, asociar y analizar información de otras fuentes relacionadas con el transporte, como por ejemplo:

- El historial de reparaciones de las carreteras.
- La condición estructural de los pavimentos.
- Ubicación de zonas de fallas reincidentes.
- La incorporación de datos propios de la operación del transporte, como los de los estudios del valor económico de la carga transportada, a partir de los estudios y encuestas de origen-destino y pesos y dimensiones del autotransporte de carga, entre otros.
- Registros de accidentes, etc.

Se debe reiterar que la importancia del banco de información resultante reside tanto en la precisión de la ubicación geográfica de los elementos registrados, como en la gran versatilidad de manejo que facilita el formato digital y georreferenciado en el entorno del SIGET, lo cual se traduce en la posibilidad de actualización permanente, representación a la escala deseada, análisis combinado de los datos, sobreposición con otras capas de información generada por otros medios, etc.

2.2 Estructura de la información y programación esquemática

La información resultante del levantamiento en campo con los equipos GPS ha sido procesada y transformada en el SIG ArcInfo y, en paralelo, se han integrado bases de datos generadas por otras fuentes e instituciones, con objeto de ponerla a disposición de los usuarios finales en un formato común de intercambio de archivos y, sobre todo, organizada en una estructura de fácil manejo, de tal manera se posibilita no sólo la consulta ágil y sencilla de la información existente, sino que está dispuesta para su actualización y la adición de nuevos datos.

La estructura de la información del SIGET se basa en la distinción de dos grandes grupos de datos; por un lado, los datos espaciales o locacionales que refieren la ubicación geográfica de los elementos o rasgos registrados, y por el otro, los datos o atributos que describen o caracterizan a estos últimos. Las bases de datos se organizan en capas o coberturas de información; esto es, el acceso, consulta y visualización de la información se realiza mediante la agrupación de datos a partir de un rasgo que los identifica, por ejemplo, la jurisdicción administrativa de las carreteras, número de carriles y/o la superficie de rodamiento.

Cabe destacar que la estructuración de la información en capas temáticas o coberturas permite selectivamente la consulta, sobreposición y despliegue gráfico de las mismas, así como la visualización y análisis de la distribución territorial de los atributos de manera discrecional; es decir, se pueden manejar todos los elementos contenidos en las bases de datos, o bien seleccionar el objeto de estudio a partir de su identificador, v.gr. las carreteras federales de cuatro y más carriles con un tránsito diario determinado.

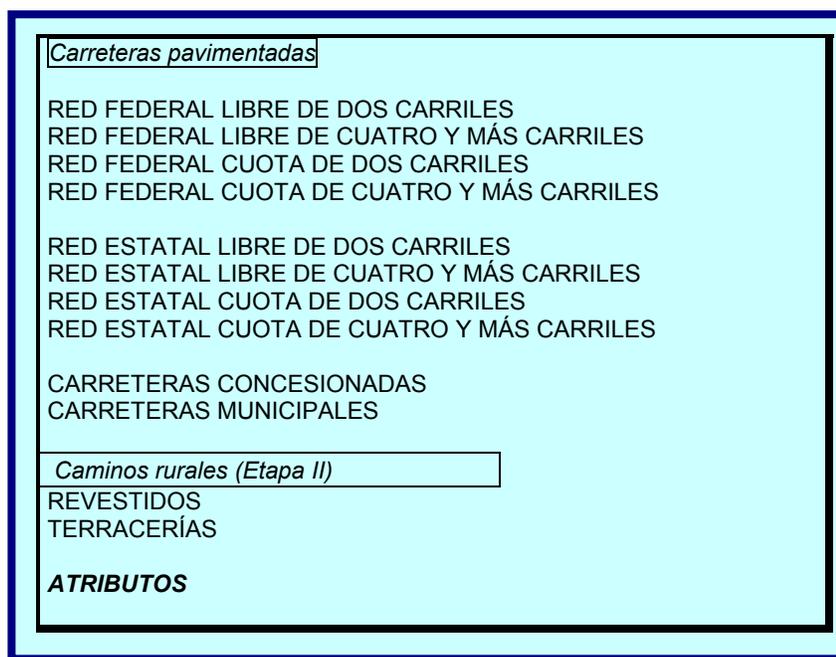


Figura 2.4 Coberturas del INIT generadas por entidad federativa

Las bases de datos que comprende el SIGET, resumidas en los cuadros siguientes, se estructuran en dos apartados; por un lado, la información tal y como fue captada en campo, derivada del INIT, asociada a las estadísticas del Sector Transporte, y por otro la información multitemática procedente de fuentes diversas.

**RELACIÓN DE RASGOS Y ELEMENTOS ASOCIADOS A LA RED DE CAMINOS.
ETAPA I**

RASGOS DE IDENTIFICACIÓN

Centro SCT _____ Responsable _____

Fecha _____ Hora de inicio _____

- Identificación actual del camino
(Número de ruta; nombre; origen-destino; tramo o ramal "x"; libramiento, etc.)

- Jurisdicción Administrativa

* Federal (troncal) - Libre _____
- Cuota _____

* Estatal (alimentadora) - Libre _____
- Cuota _____

* Concesionada _____

* Caminos rurales _____ - Revestidos _____
- Terracería _____

- Tipo de superficie de rodamiento

* Pavimentada _____

* Revestida _____

* Terracería _____

* Brechas mejoradas _____

- Número de carriles

* Dos carriles _____

* Cuatro carriles _____

* Cuatro y más _____

- Observaciones (p.ej., sentido del flujo si tiene dos cuerpos; túneles; anotaciones relevantes, etc.) **IMPORTANTE: SEÑALAR SI ES DE JURISDICCIÓN MUNICIPAL**

Figura 2.5 Cédula de identificación de cada camino registrado en el INIT.

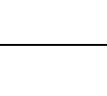
- Alcantarillas (visibles a nivel y de claro mayor de 3 m) Vados, puentevado y guardaganados (Etapa II)	
- Intersecciones y entronques (pavimentados) * A desnivel	
- Intersecciones y entronques sin pavimentar * A nivel * A desnivel	
- Cruce de FF.CC. * A nivel * A desnivel	
PUENTES	
- Clasificación por longitud * a) Grandes = mayores a 100 m * b) Medianos = entre 30 y 100 m * c) Chicos = menores de 30 m	
- Nombre (Señalar si es de cuota: {C})	
INFRAESTRUCTURA ASOCIADA	
- Terminales y paraderos de camiones de carga	
- Terminales y paradas de autobuses	
- Casetas de peaje	
- Gasolineras	
- Campamentos o residencias de obra SCT	
- Límite estatal	
LOCALIDADES	
- Nombre	
PUERTOS (Cotejar con el Catastro Portuario por Entidad Federativa)	
- Nombre	
- Clasificación { * Comerciales * Industriales * Petroleros * Pesqueros * Turísticos	
AEROPUERTOS	
- Nombre - Clasificación { * *Comercial { * Internacional * Nacional * *Aviación General	
- Tipo { Aeropuerto Aeropista	
- Inicio y final del 3er. carril de ascenso. (carreteras de dos carriles)	

Figura 2.6 Elementos de infraestructura para el transporte registrados en el INIT.

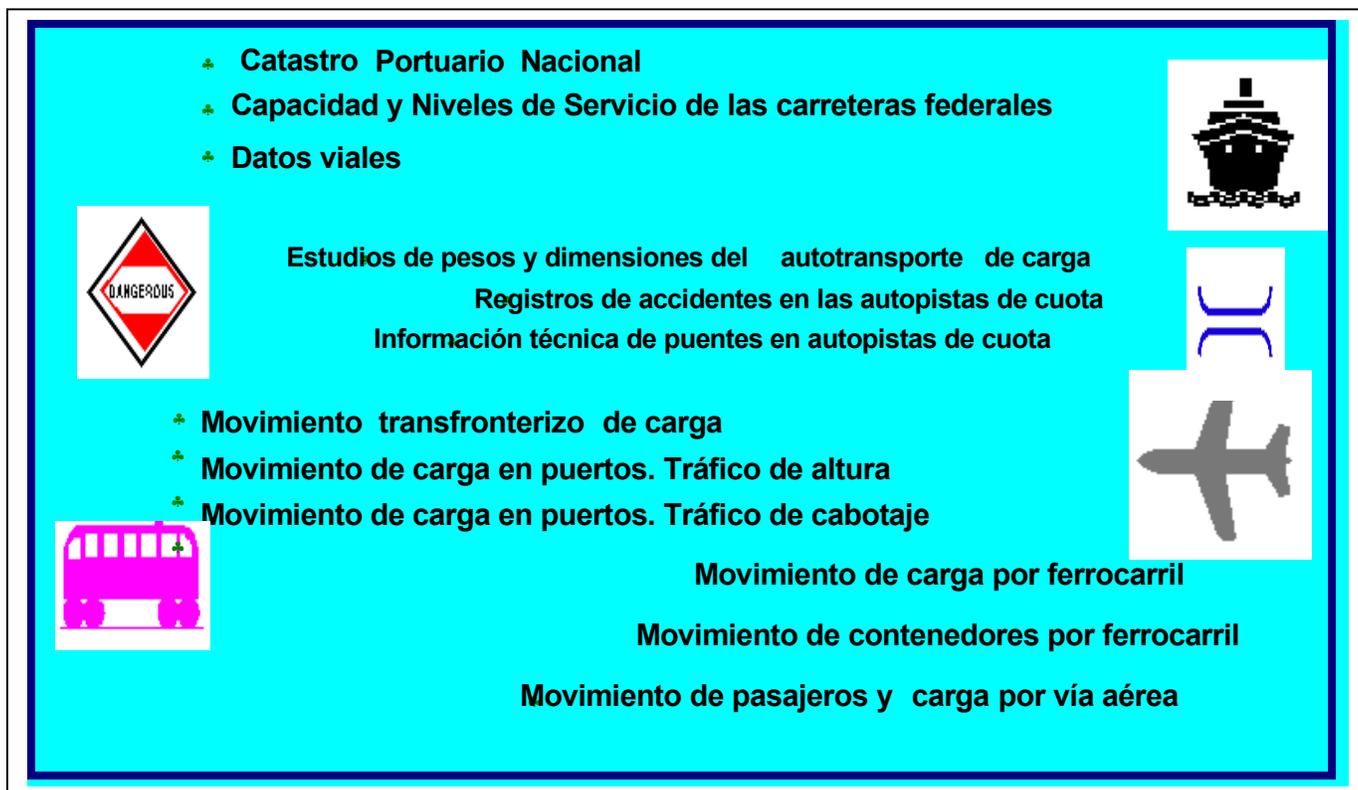


Figura 2.7 Bases de datos del Sector Transporte ligadas al SIGET

BASES DE DATOS MULTITEMÁTICOS

- ◆ División Político-Administrativa (Instituto de Geografía-UNAM)
- ◆ Localidades (201,000) del Censo de Población 1995, (INEGI)
- ◆ Altimetría (curvas de nivel con intervalos cada 100 m)
- ♣ Derechos de Vía de la Red de Ductos (SICORI-PEMEX)
- ♣ Índice de Marginación por Localidad y Municipio (CONAPO-PROGRESA)
- ♣ Servicios Educativos por Localidad (SEP)
- ♣ Uso del Suelo y Vegetación (INE-SEMARNAP)
- ♣ Riesgos Geomorfológicos (INE-SEMARNAP)

- ♣ **INEGI**
 - SINCE. *Sistema para la Consulta de la Información Censal*
 - CIEN . *Consulta de Información Económica Nacional*
 - SAIC . *Sistema Automatizado de Información Censal*

La información integrada al SIGET, tanto la procedente del INIT registrada directamente en campo, como de fuentes diversas, *Sectoriales y Multitemáticas*, puede ser explorada, analizada y representada cartográficamente a través de las opciones programadas de la interfaz gráfica para usuario final, descrita en el siguiente apartado. La organización de los programas realizados en el lenguaje

nativo de ArcView, para la personalización del SIGET se presenta en el esquema a continuación:

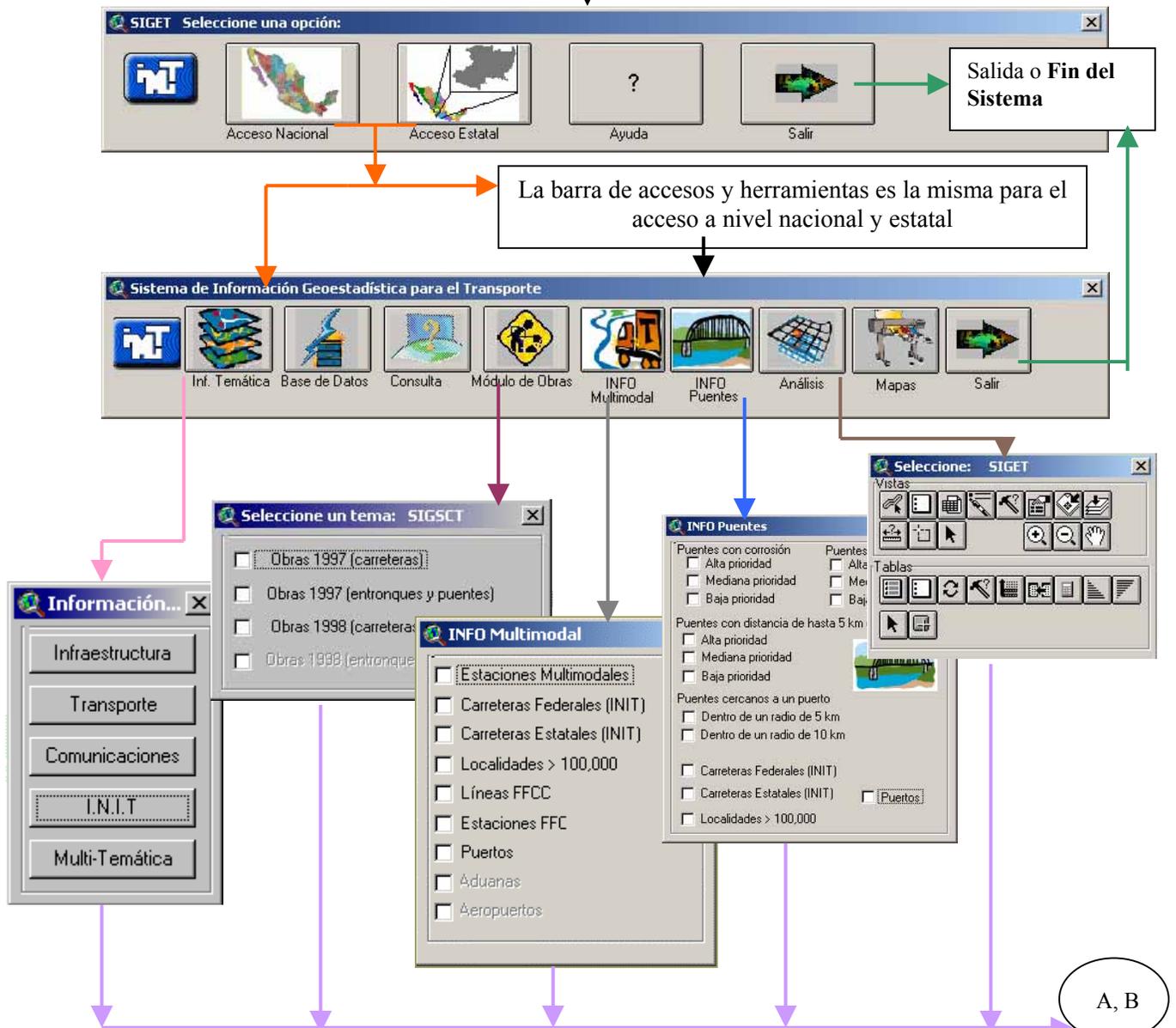
Esquema de programación del SIGET

INICIO.AVE

Script realizado en **Avenue**, inicializa todas las variables de ambiente; revisa que todos los temas se encuentren en la ruta predeterminada

Abre diálogo *Barra Principal*

Ventana de acceso inicial, a partir de ahí se ejecutan las opciones deseadas, tales como acceso a nivel nacional o a nivel estatal



A

Lista de programas generados en **Avenue** para todo el Sistema.

Abre-Db.Aduanas	AECarreterasINIT	Dialogo-Aduanas.Close	Pemex
Abre-DB.Aerea	AEEstaciones	Dialogo-Aerea.Close	Pemex1.Script
Abre-DB.Autobuses	AEFFCC	Dialogo-Autobuses.Close	prueba
Abre-DB.FFCC	AEPemex	Dialogo-FFCC.Close	puentes
Abre-DB.Frontera	AEPuentes97	Dialogo-Frontera.Close	puertos
Abre-DB.Puertos	AEPuentes98	Dialogo-Puertos.Close	Regresar
Abre-Dialogo.Accidentes	aeropuertos	edo_gro	regreso
Abre-Dialogo.Aduanas	aforo	estado	Rios
Abre-Dialogo.Aero	Apaga - Enciende MIchoacan	estado1	S_estado.Localidad
Abre-Dialogo.Autobuses	Apaga-Enciende	ffcc	S_Localidades
Abre-Dialogo.Cap	AsignaVar.Apuntador	imt	Script1
Abre-Dialogo.FFCC	autobus	in	Script2
Abre-Dialogo.Frontera	Buffer	in.Carr	Script3
Abre-Dialogo.Puertos	cabotaje	INEGI	Script4
Abre-Puertos.Carretera	carga.db	inegi.scince	Script5
Abre-Puertos.Estado	carga.db.checa	Informacion Tematica	Script6
Abre.Apuntador	carga.estado	Infraestructura	seguridad
Abre.Carreteras	carga.localidad	inicio	seguridad.mapas
Abre.Carreteras.Pruebas	carga.Puertos	Inicio.Carr	siguiente.Aduanas
Abre.mapas	carga.tablas	inicio2	siguiente.Aeropuertos
Abre.Reporte1	carretera	init	siguiente.Autobuses
Abre.Reporte2	carreteras	INIT_temas	siguiente.Estaciones de Aforo
Acceso-Carr.Dialogo	Carreteras.Script	Inter_GUI	siguiente.Estaciones de Ferrocarril
Acceso-Carretera.Carga.Espacial	cerrar	Liga.Tablas.Relacional	siguiente.INIT
Acceso-Carretera.Carga.Tabular	cerrar1	Liga.Tablas.Relacional.Carr	siguiente.Puertos
Acceso-DB.Dialogo	Checa.Acceso	LimpiaAeropuertosMemoria	sistema
Acceso-Edo.Dialogo	Checa.Modulo	Lista-Puerto.Close	sistema1
Acceso-Estatal.Carga.Espacial	CierraTodo	Lista1-Puerto.Close	TematicaAeropuertos
Acceso-Estatal.Carga.Tabular	cierratodo2	mapas	TematicaCarreteras
Acceso-Nac.Dialogo	CIMA	marginas	TematicaFFCC
Acceso-Nacional.Carga.Espacial	consultas	marginas1	TematicaPuertos
Acceso-Nacional.Carga.Tabular	consultas.Carr	menu_bd	Transporte
Acceso.Analisis	consultas1	Menus	Ventana de Analisis
Acceso.Carga.Esp-Tab	croquis	menus_a	Vistanterior
Acceso.Consulta	D.BarraPrincipal	Menusnuevo	Vistas
Acceso.Modulos	D_Analisis.Close	Michoacan	
Acceso_C	D_Analisis.Open	modulos	
acci	D_Datos-Carr.Close	modulos_sis	
acerca.imt	D_Datos-Edo.Close	movcar_pue	
aduana	D_Datos-Nac.Close	Multitematica	
aduanas	D_Mod-DB.Close	nacion	
AE_INIT_Federales	D_Puertos-DWG.Close	nacional	
AECarr97	D_Puertos-DWG.CloseEdo	Obras	
AECarr98	D_Puertos-DWG.Open	Open.Checa	
	D_Puertos-DWGEdo.Open	PasosConsulta	

B

Lista de ventanas de **diálogos** generados para el despliegue gráfico.

BarraPrincipal	Estaciones
barraprincipal2	FFCCDGP
Carreteras1997	InfAeropuertosTemas
Carreteras1998	InfCarrTemas
CarreterasINIT	InfFFCCTemas
D-Checa	InfPuertosTemas
D-Puertos.Dwg-DB	InfraestructuraD
D-Puertos.Dwg-DBEdo	INITD
D_Aduanas	MultitematicaD
D_Aerea	OpcionesEstatales
D_Apuntador	PasosParaLaConsulta
D_ArcTools	PEMEX
D_Autobuses	Puentes1997
D_carreteras	Puentes1998
D_Datos-Carr	Reporte.Aduanas
D_Datos-Edo	Reporte.Aeropuertos
D_Datos-Nac	Reporte.Autobuses
D_edos-loc	Reporte.Estaciones de Aforo
D_Estado	Reporte.Estaciones de Ferrocarril
D_FFCC	Reporte.INIT
D_Frontera	Reporte.Puertos
D_Mod-DB	Reporte1.Aduanas
D_Puertos	Reporte1.Aeropuertos
D_Puertos-D'WGEdo	Reporte1.Puertos
D_Puertos.DWG	Reporte2.Aeropuertos
D_TraC	Reporte2.Puertos
D_Vacio	TemasObras
Dialogo3	Tematica
	TransporteD
	VentanaAnalisis

2.3 Personalización de la interfaz para usuario final

Para alcanzar el objetivo central del proyecto SIGET consistente en conformar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al transporte, fue necesario que a partir de la plataforma cimentada con el inventario de información georreferenciada de la infraestructura para el transporte, generado con el GPS, se procediera de manera paralela a la identificación, acopio e integración de las bases de datos provenientes de fuentes diversas y al diseño de una interfaz para usuario final del sistema.

En este sentido, el SIGET ha sido programado en el lenguaje "Avenue" del SIG ArcView para contener, en principio, sólo algunas de las funciones y operaciones básicas de acceso, consulta, análisis y representación de la información, en un ambiente sencillo de botones, iconos, ventanas y herramientas en español para facilitar su manejo desde dos niveles espaciales de agregación, nacional y por entidad federativa.

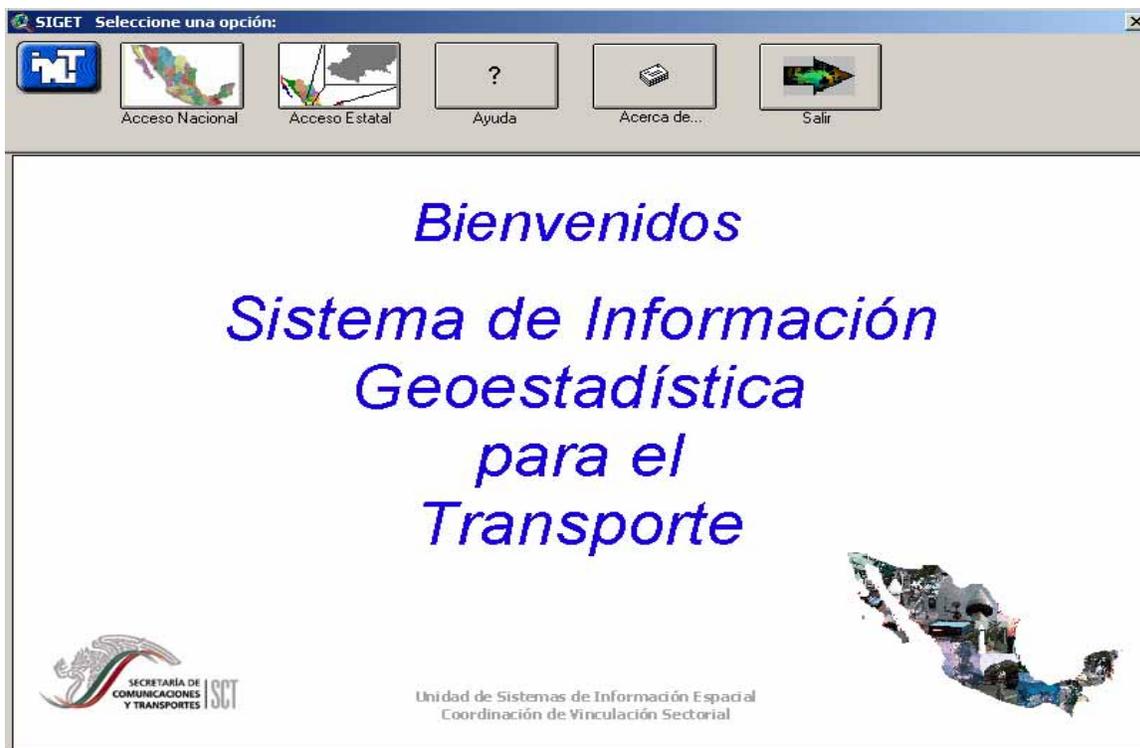


Figura 2.8 Pantalla principal de la interfaz gráfica para usuario final del SIGET.

La pantalla principal del SIGET cuenta con la opción de acceso a nivel nacional o estatal de la información; oprimiendo el botón elegido, se ingresa a una pantalla en donde aparecen iconos relativos a las diferentes funciones o módulos disponibles; éstos son: 1) acceso a la información temática, 2) a las bases de datos tabulares,

3) un constructor de consultas, 4) un módulo específico de las obras de la SCT; los dos siguientes botones dan acceso a dos subsistemas para aplicaciones específicas, 5) *Info_Multimodal*; 6) *Info_Puentes*; 7) un módulo para ejecutar operaciones de análisis espacial, 8) otro para impresión de mapas finales y 9) la opción de salida del sistema.



Figura 2.9 Pantalla de acceso a los módulos del SIGET.

En cada uno de los módulos señalados por los botones respectivos, se tiene acceso a diferentes opciones que aparecen en cascada; así, en el de información temática se despliega un recuadro con las opciones de infraestructura, transporte, ambos por modo, comunicaciones, INIT y multitemática. A su vez, cada una de éstas contiene diferentes alternativas de despliegue de la información que se activan según se desee. Por ejemplo, si se opta dentro de infraestructura por "puertos", entonces se accede a un cajón de diálogo para seleccionarlo de una lista, o bien directamente en el mapa, con lo cual se tiene la posibilidad de consultar y analizar las bases de datos del catastro portuario nacional o los movimientos de carga registrados.

2.3.1 Descripción del contenido y funciones de cada módulo del SIGET

1) **Módulo de información Temática.** Este módulo da acceso a la información temática o índice temático, que a su vez se divide en Infraestructura, Transporte, Comunicaciones, Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT) e Información Multi-Temática.

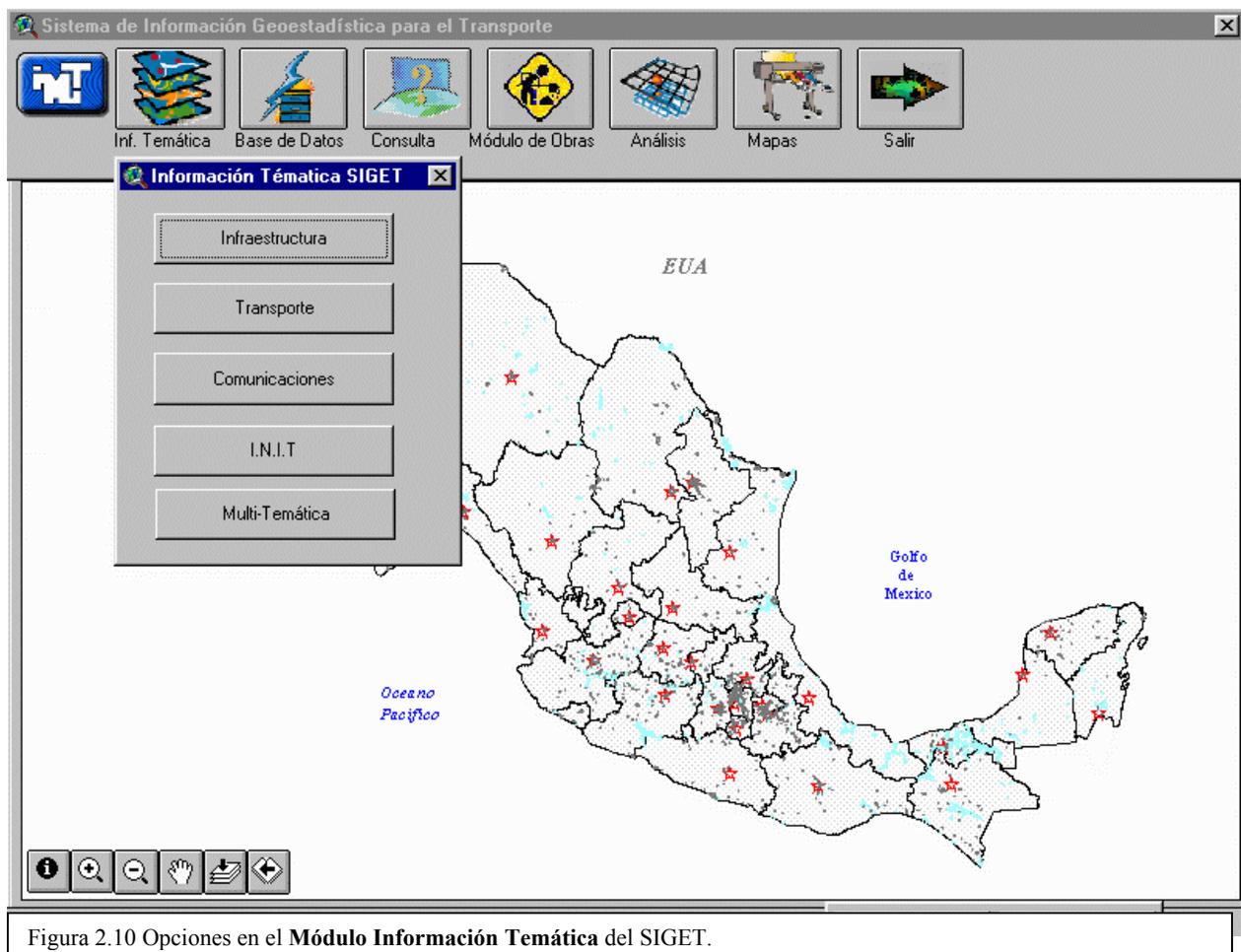
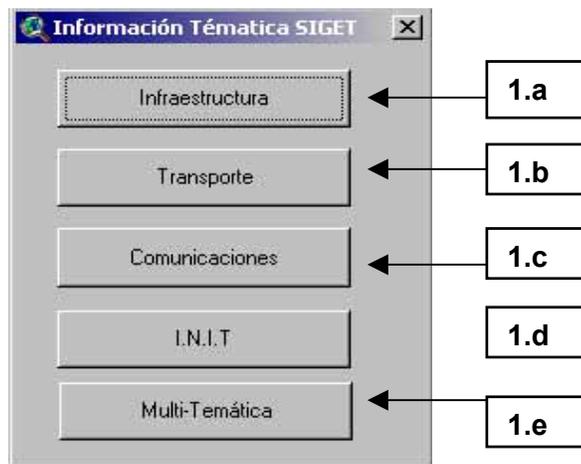
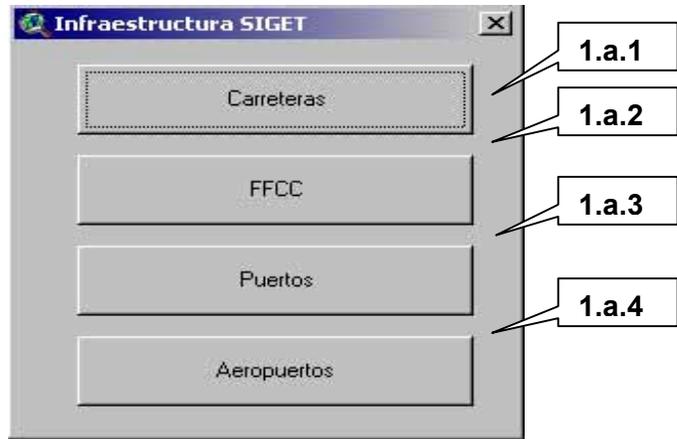


Figura 2.10 Opciones en el **Módulo Información Temática** del SIGET.

1.a En esta opción se da acceso a la información que se refiere a la **Infraestructura** por modo de Transporte, tales como Carreteras, Ferrocarriles, Puertos y Aeropuertos.



1.a.1 Permite el acceso a la información que se refiere a la demanda de carreteras, datos de seguridad, que corresponde a los accidentes registrados; estado superficial de la carretera, tránsito diario promedio anual, tanto para el año 1987 como para el año más reciente disponible; ubicación de las estaciones de aforo para el muestreo de los pesos y dimensiones del autotransporte federal de carga; así como, la distinción de los caminos en carreteras libres, carreteras de cuota, y de éstas, las carreteras a cargo de Caminos y Puentes Federales y Servicios Conexos, CAPUFE.

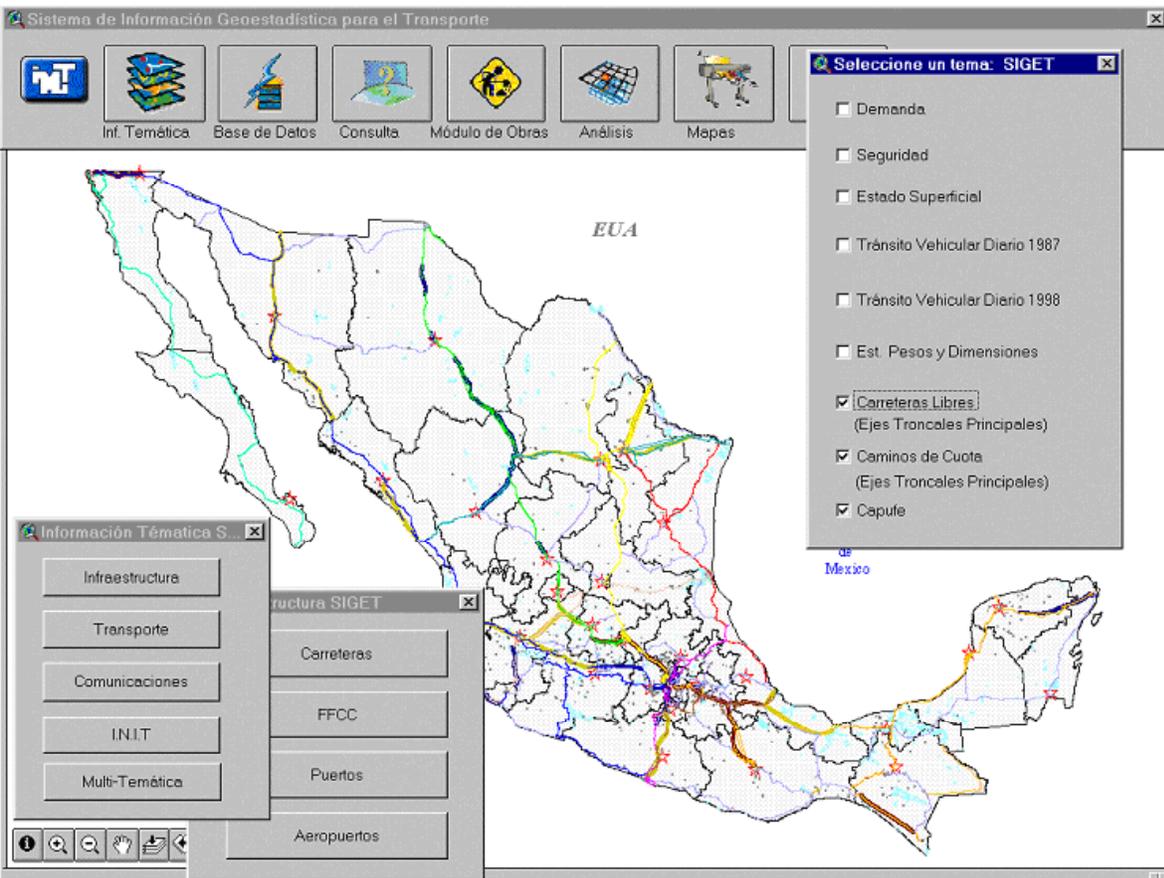
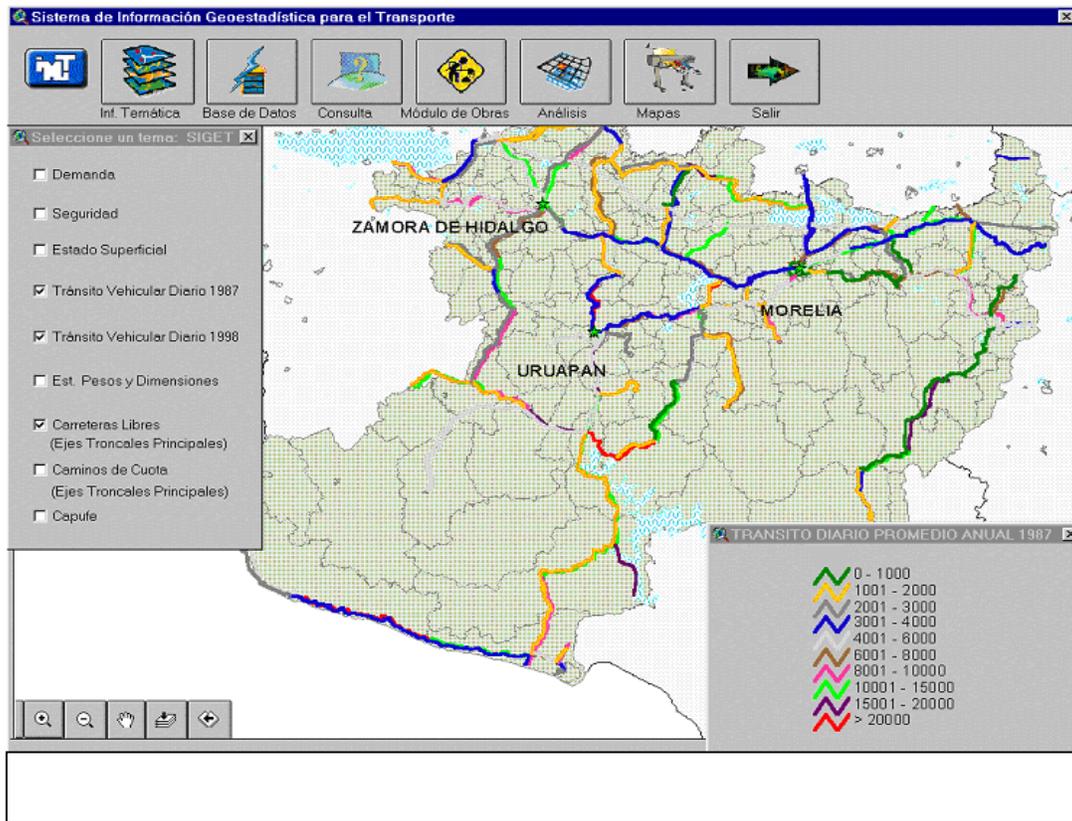


Figura 2.11 Ejes troncales del país, según condición de carretera de cuota o libre.
Fuente: Unidad de Autopistas de Cuota, SCT, 2000.

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.



1.a.2) Mediante este botón se despliega la información que se refiere a los *Ferrocarriles*, específicamente, al trazo de las líneas férreas y sus respectivas estaciones.

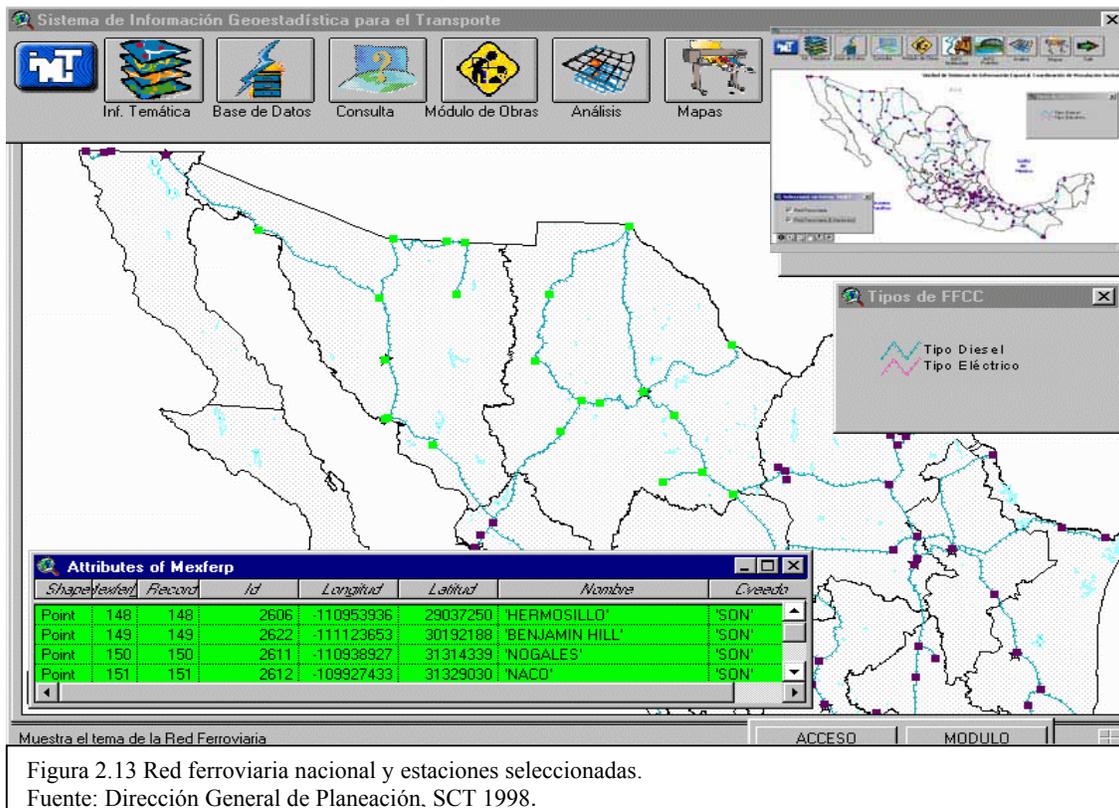
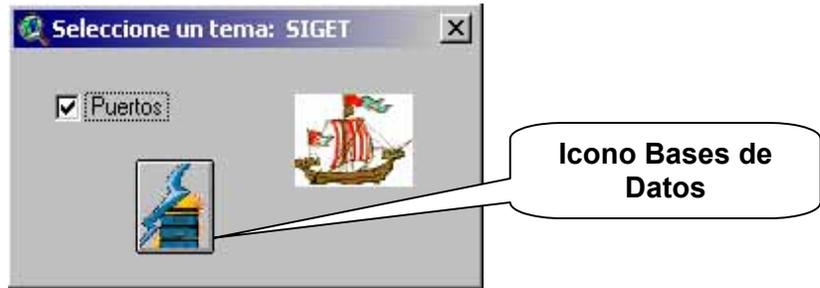


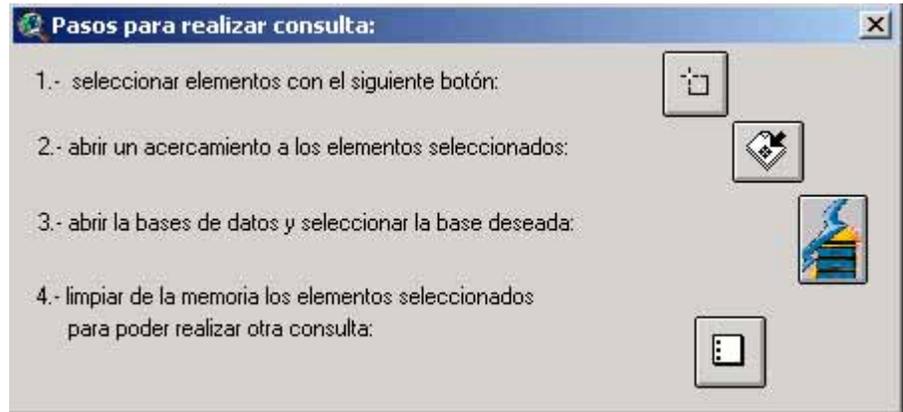
Figura 2.13 Red ferroviaria nacional y estaciones seleccionadas.
Fuente: Dirección General de Planeación, SCT 1998.

1.a.3) La opción *Puertos* remite a la localización de todos los puertos del país, con su respectiva base de datos, reportada en el Catastro Portuario Nacional de la Dirección de Obras Marítimas de la SCT.

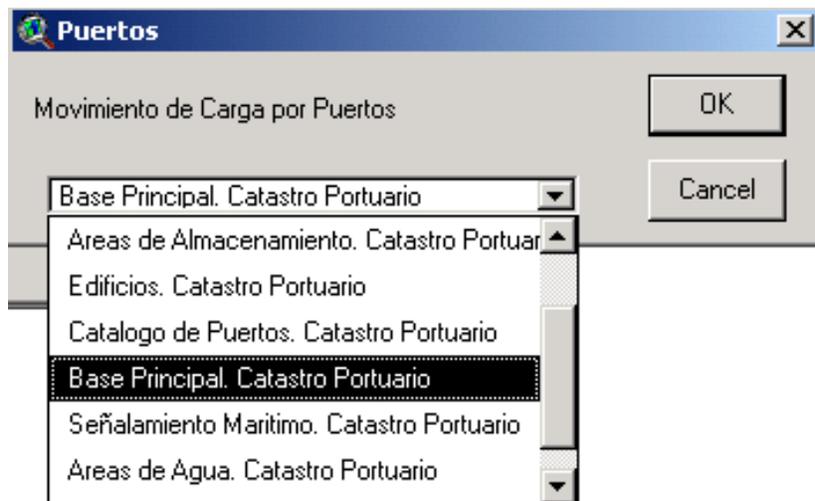
Al presionar el icono de Bases de Datos aparecerá una ventana en donde el usuario selecciona los puertos que quiere explorar y realizar una consulta a su base de datos.



En el cuadro de diálogo, el primer paso consiste en seleccionar los elementos, puertos, a los cuales se va a realizar la consulta. El siguiente botón es para hacer un acercamiento a los elementos seleccionados.



El tercer paso mostrará una lista de las bases de datos disponibles para los puertos seleccionados; de ésta, se seleccionan las bases requeridas.



Al hacer esto se desplegará una pantalla como la siguiente, donde se mostrarán los resultados de la consulta realizada.

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.

Puerto Nombre.: ACAPULCO

Base de Datos de Puertos

Nombre del Puerto: ACAPULCO

Clave del Estado: GRO

Operalt: 66 Opercab: 0

Cgatot: 66.40 Cgaalt: 66.40

Cgaaltimp: 30.10 Cgaaltexp: 36.30

Cgacab: 0.00 Cgacabent: 0.00

Cgacabsal: 0.00 Cont: 2140

Contalt: 2140 Contaltimp: 1133

Contaltexp: 1007 Contcab: 0

Contcabent: 0 Contcabsal: 0

Elementos seleccionados : 1

Primero **Siguiente** Datos Croquis

Al presionar el botón Croquis se mostrará una vista con un dibujo del recinto portuario y su emplazamiento.

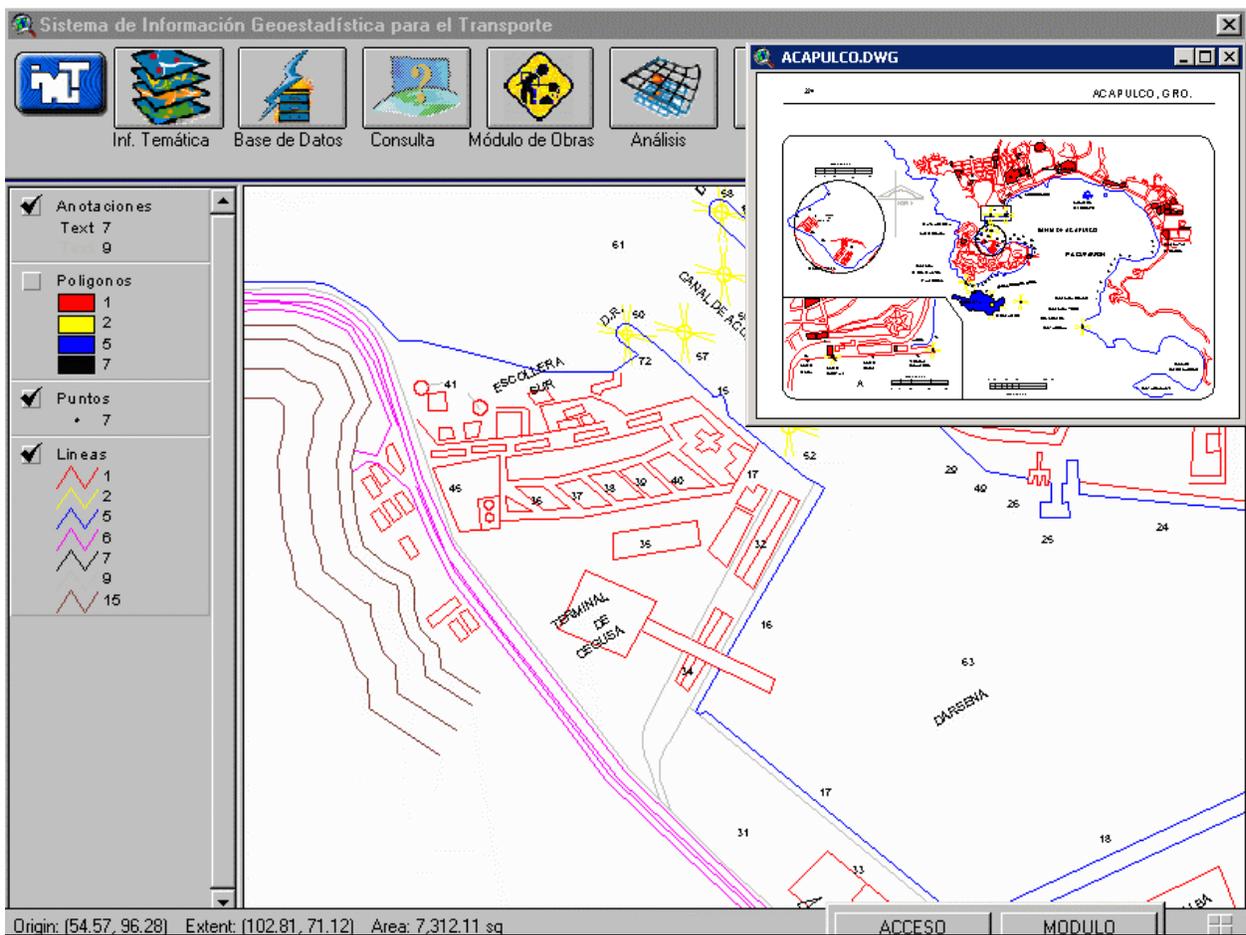


Figura 2.14 Croquis del puerto de Acapulco, Gro. y detalle del canal de acceso de Manzanillo, Col.
Fuente: Catastro Portuario Nacional. Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, SCT 2000.

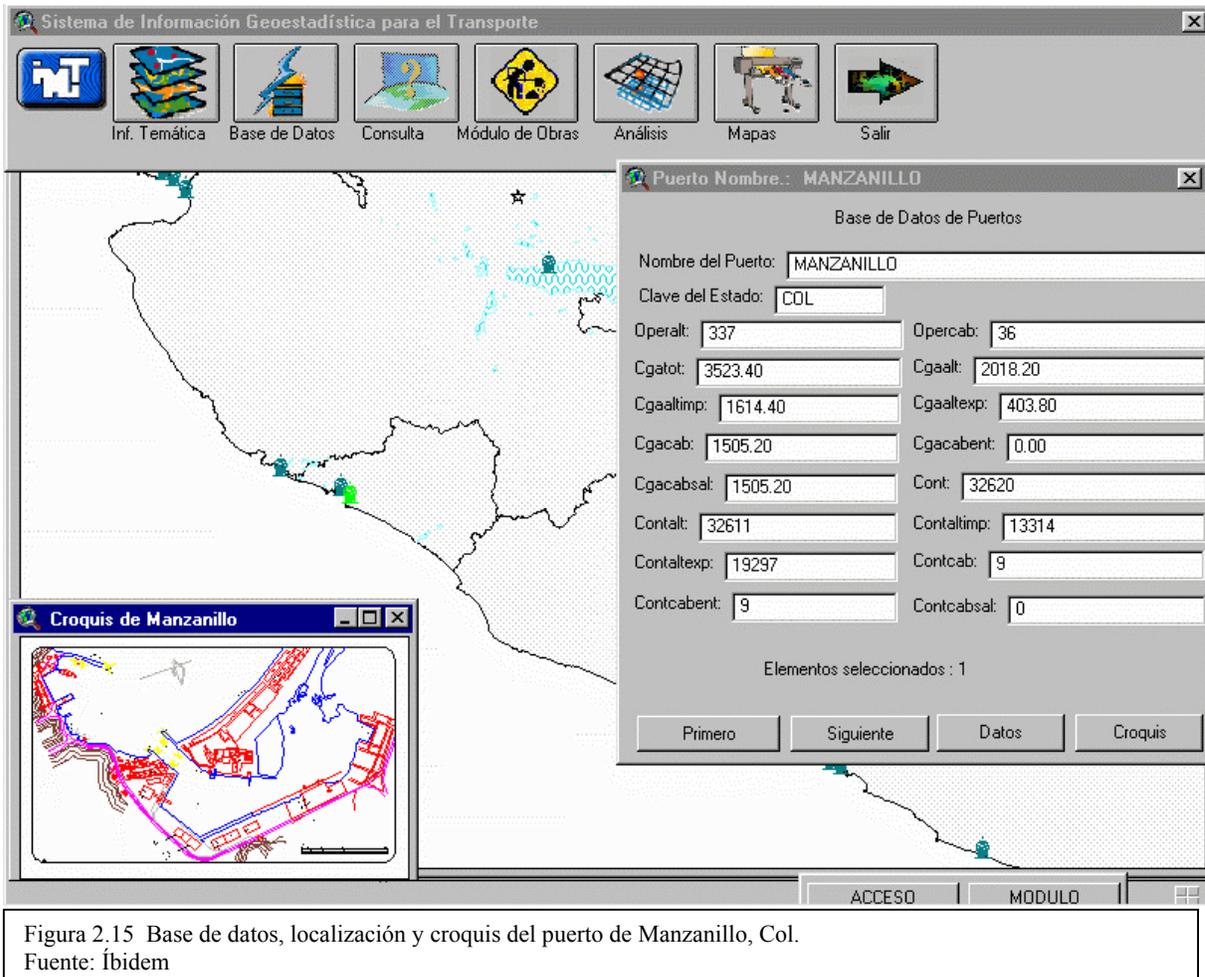
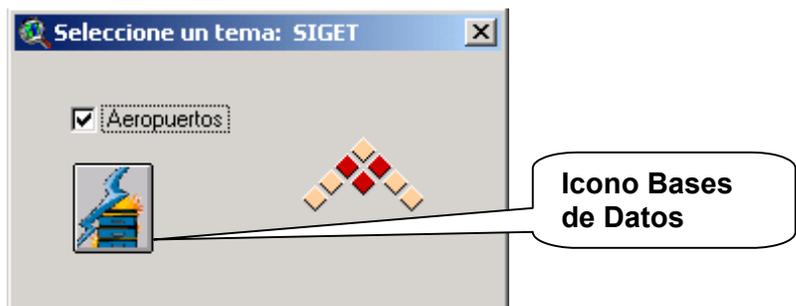


Figura 2.15 Base de datos, localización y croquis del puerto de Manzanillo, Col.
Fuente: Íbidem

Finalmente, el cuarto botón reestablece la vista o pantalla con el mapa como estaba hasta antes de la selección de consulta de puertos.

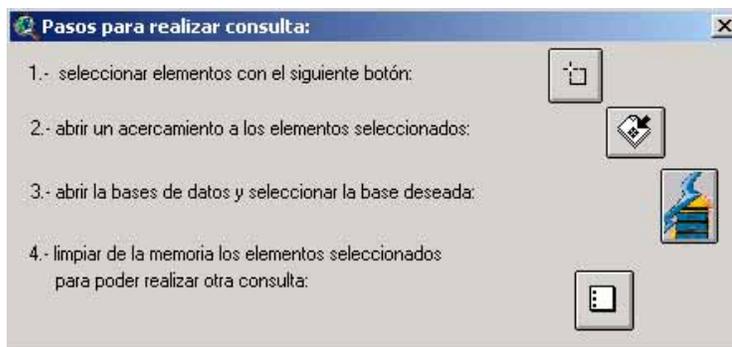
1.a.4) La última de las opciones dentro de *Infraestructura* corresponde al modo de transporte aéreo; en ésta, el funcionamiento es similar al de puertos, con acceso a la ubicación de la red aeroportuaria nacional, con ligas a sus respectivas bases de datos, proporcionadas por la Dirección General de Planeación de la SCT.

Una vez activada la opción *Aeropuertos*, al presionar el icono de bases de datos aparecerá una ventana en donde el usuario sigue los pasos indicados para seleccionar los aeropuertos, con sus respectivas bases de datos, que desea consultar.



El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.

El primer paso es seleccionar los elementos, en este caso aeropuertos, a los cuales se va a realizar la consulta. El siguiente botón es para hacer un acercamiento a los elementos seleccionados



El tercer paso consiste en seleccionar las bases de datos que se desea consultar. Aparecerá una ventana en donde se mostrará la información solicitada ordenada por aeropuerto.

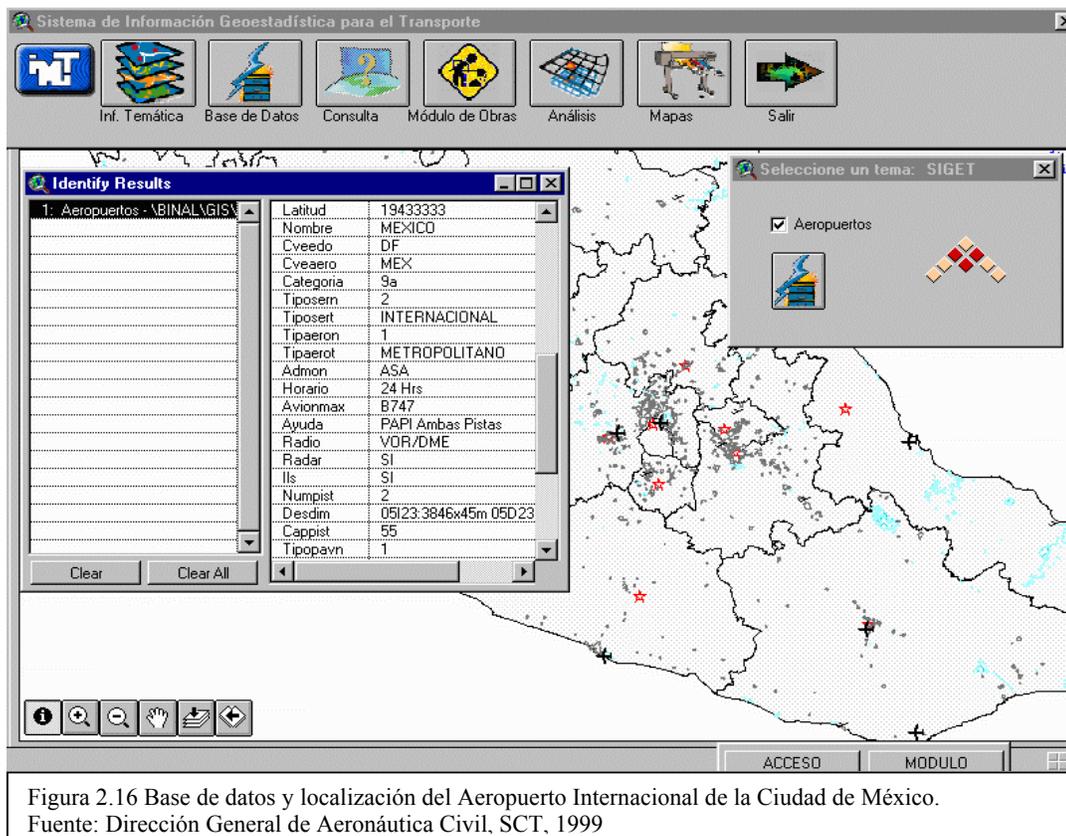
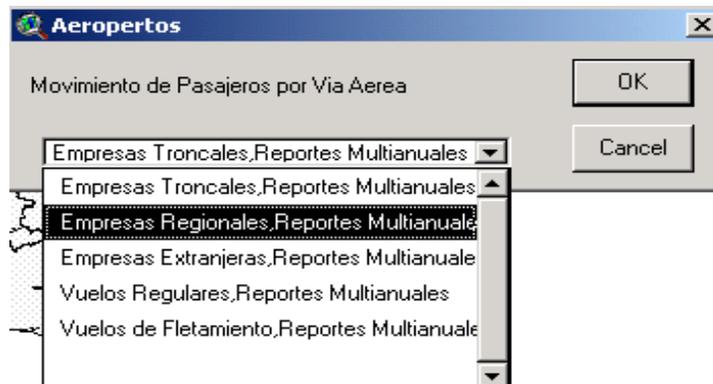


Figura 2.16 Base de datos y localización del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil, SCT, 1999

El cuarto botón reestablece la vista del sistema como estaba antes de la selección de consulta de aeropuertos.

1.b) Transporte. Esta es la segunda opción dentro del módulo de *Información Temática*. Corresponde a la información que se refiere a algunas operaciones particulares de movimiento de carga y pasajeros, tales como: *Cruces fronterizos de autobús*, *Cruces fronterizos de ferrocarril*, *Aduanas*, *Estaciones multimodales* y *Proyectos de transporte*. La información disponible procede del “Estudio binacional de planeación y programación del transporte fronterizo México-EE.UU”, inédito, elaborado por la SCT durante 1995 y 1998, y refiere únicamente a datos para éste último año.

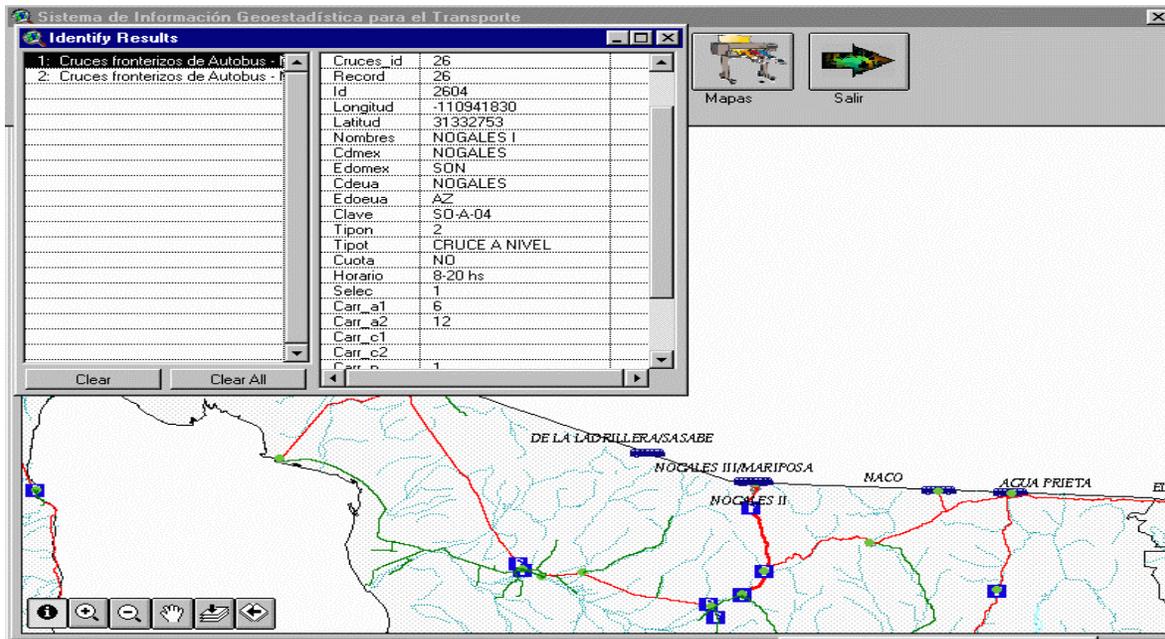


Figura 2.17 Cruces fronterizos por autobús.

Fuente: Estudio binacional de planeación y programación del transporte fronterizo México-EEUU.SCT, 1999

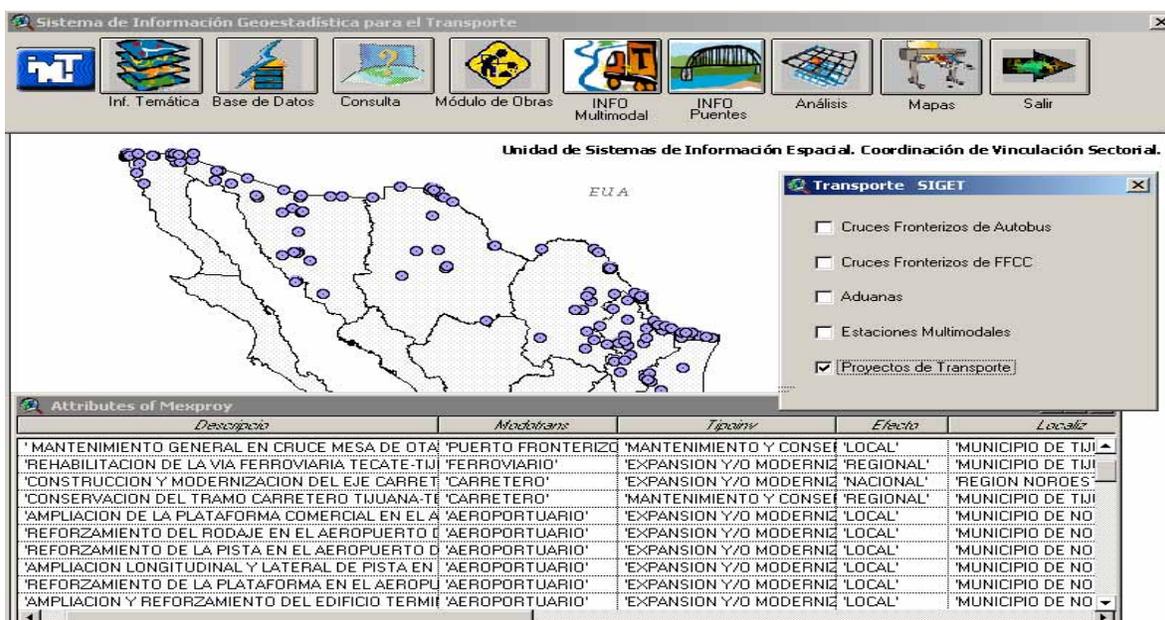
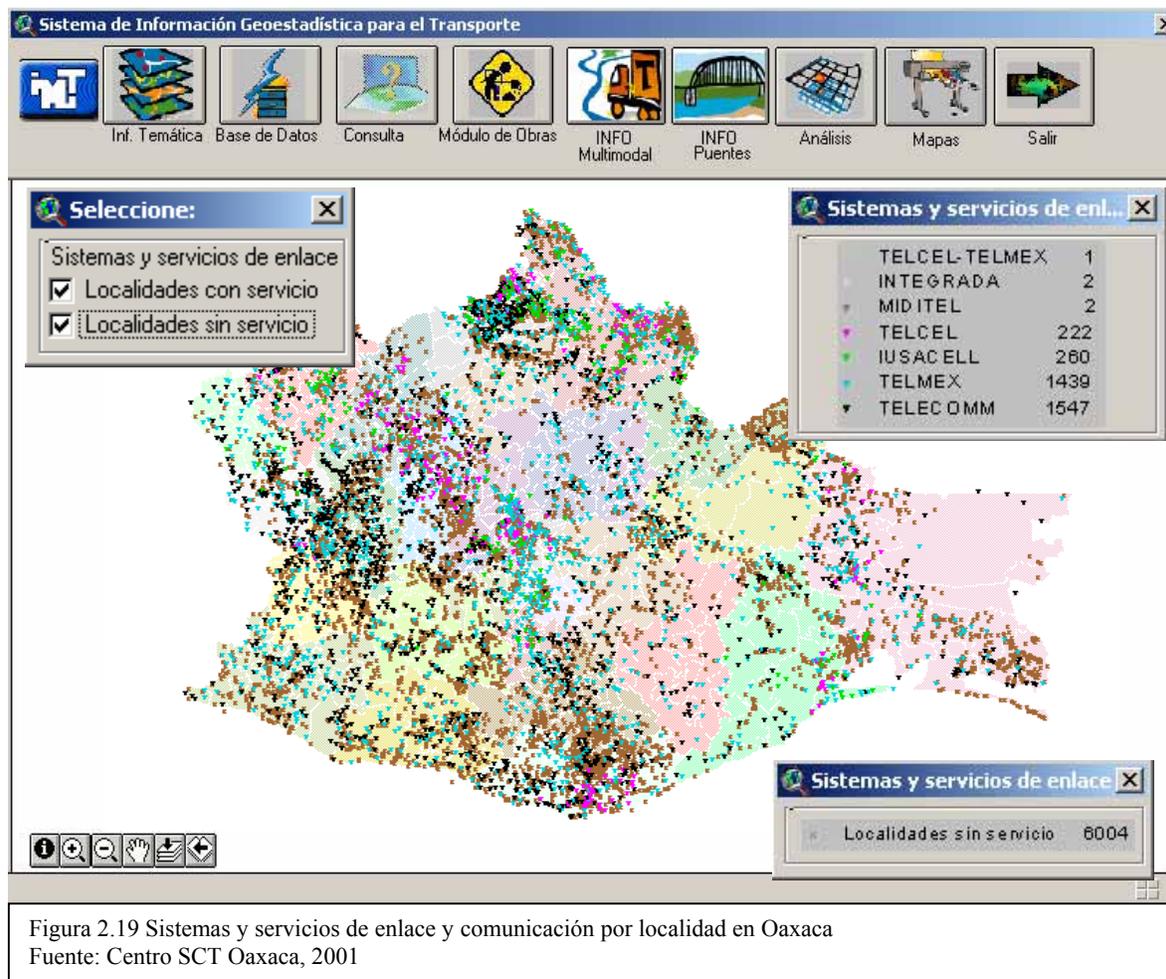


Figura 2.18 Proyectos de infraestructura para el transporte en las entidades federativas fronterizas.

Fuente: Estudio binacional de planeación y programación del transporte fronterizo México-EEUU. SCT, 1999

1.c) Comunicaciones. En esta opción se pretende disponer de la información por localidad de los sistemas de enlace y servicios de comunicación, tales como telégrafo, telefonía, etc. Debido a que no se ha podido obtener la información para todo el país, la opción sólo está habilitada a nivel estatal, siendo Oaxaca la entidad de ejemplo.



1.d) Acceso a la información que se refiere al **Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte**, descrito en el apartado precedente; comprende accesos, por un lado, a los tipos de caminos registrados según jurisdicción y número de carriles y, como segunda opción, a los distintos elementos de infraestructura asociados al transporte ubicados mediante GPS, como *alcantarillas, intersecciones y/o entronques, puentes, cruce de ferrocarril, paradas de autobús, paradero de camión de carga, puertos, residencias y campamentos SCT, gasolineras, casetas de cobro, aeropuertos y aeropistas, y localidades.*

2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET

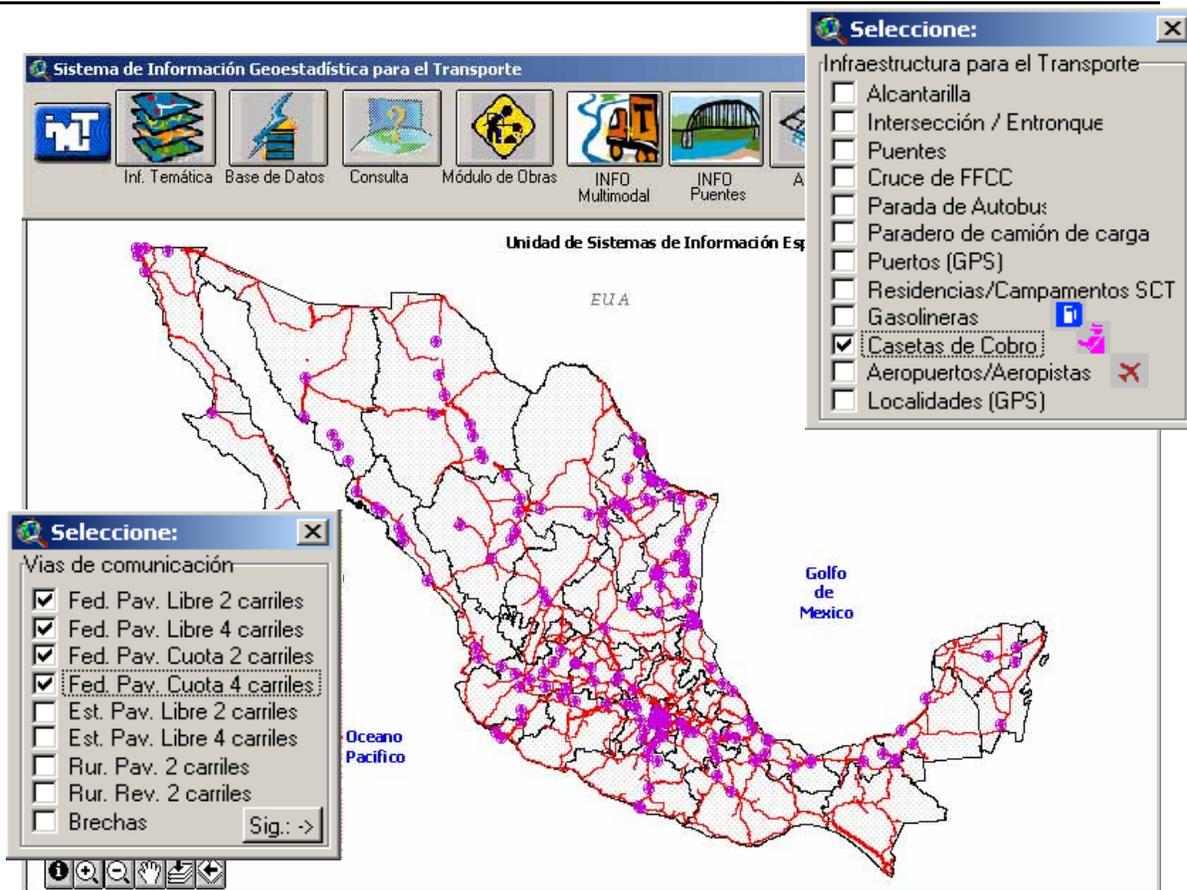


Figura 2.20 INIT, nivel nacional. Red federal pavimentada y casetas de peaje.
Fuente: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte - INIT

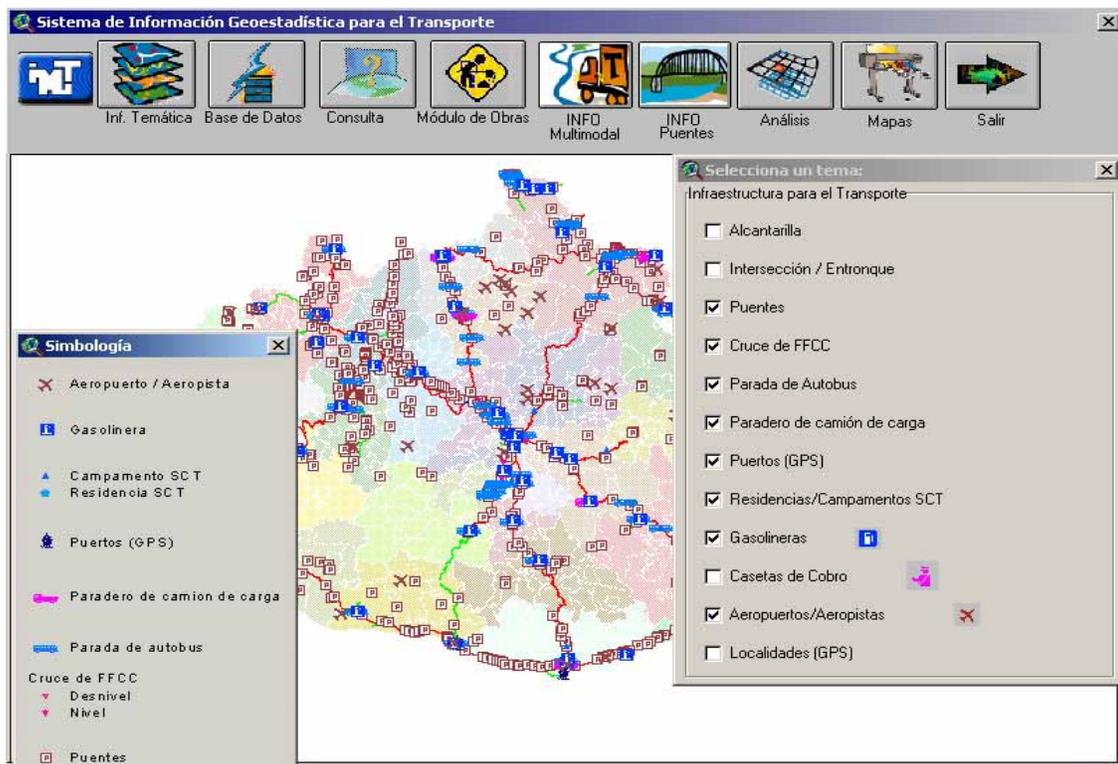
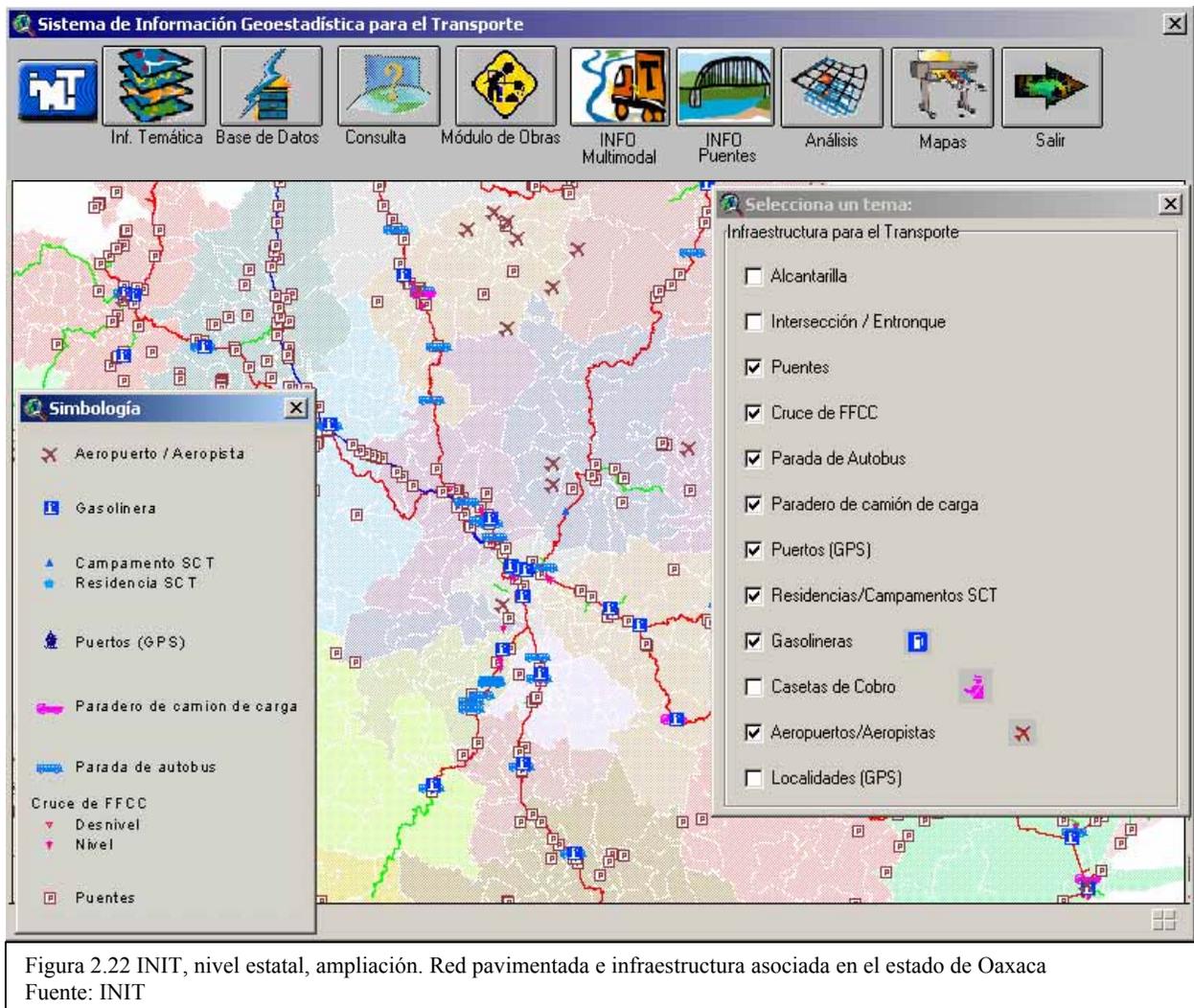
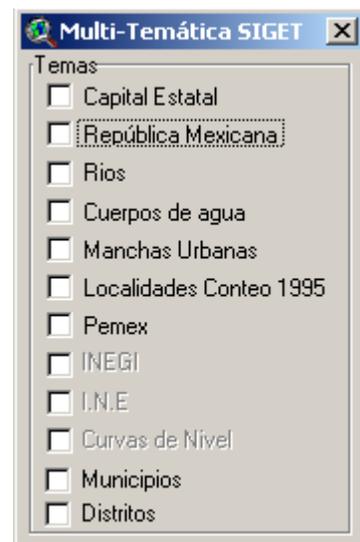


Figura 2.21 INIT, nivel estatal. Red pavimentada e infraestructura asociada en el estado de Oaxaca.
Fuente: INIT

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.



1.e) Acceso a la información **Multi-temática**, procedente de otras fuentes de datos; entre éstas los límites político-administrativos, la altimetría y la hidrología superficial de la carta escala 1:250,000 del INEGI, las manchas urbanas del Sistema de Información Censal (SINCE), las localidades del Censo 1995, la red de ductos proporcionada por el Sistema Corporativo de Información Geográfica de PEMEX, así como despliegue y manejo de temas diversos generados por el Instituto Nacional de Ecología, tales como uso del suelo, fragilidad ecológica y riesgos geomorfológicos, entre otros.



2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET

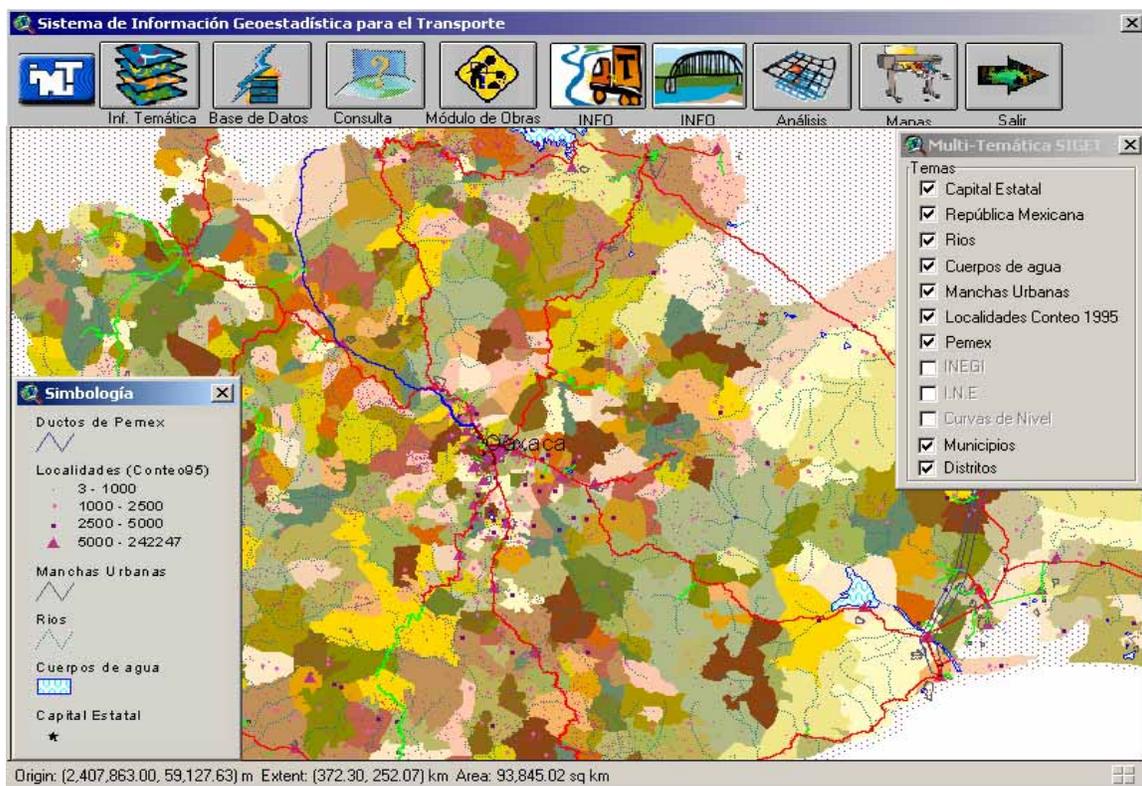


Figura 2.23 Información multitemática de Oaxaca

Fuente: Censo de población, 1995 y Cartografía topográfica 1:250, 000, INEGI; SICORI-PEMEX

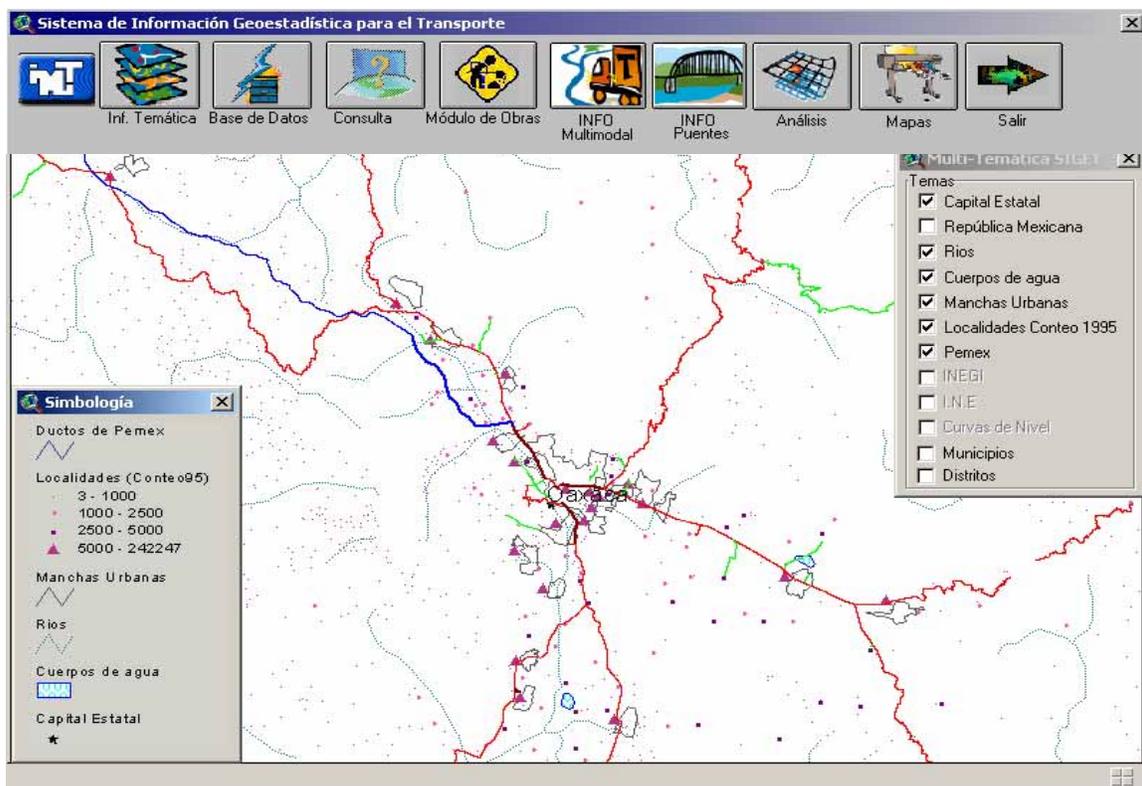


Figura 2.24 Información multitemática de Oaxaca. Ampliación valles centrales.

Fuente: Censo de población, 1995 y Cartografía topográfica 1:250, 000, INEGI; SICORI-PEMEX

2) **Módulo Base de Datos.** Este segundo módulo permite el acceso a las bases de datos relacionales, con lo cual se pueden consultar y manipular directamente las tablas con los datos estadísticos de cada uno de los temas disponibles en el índice general del SIGET, ilustrado a continuación:

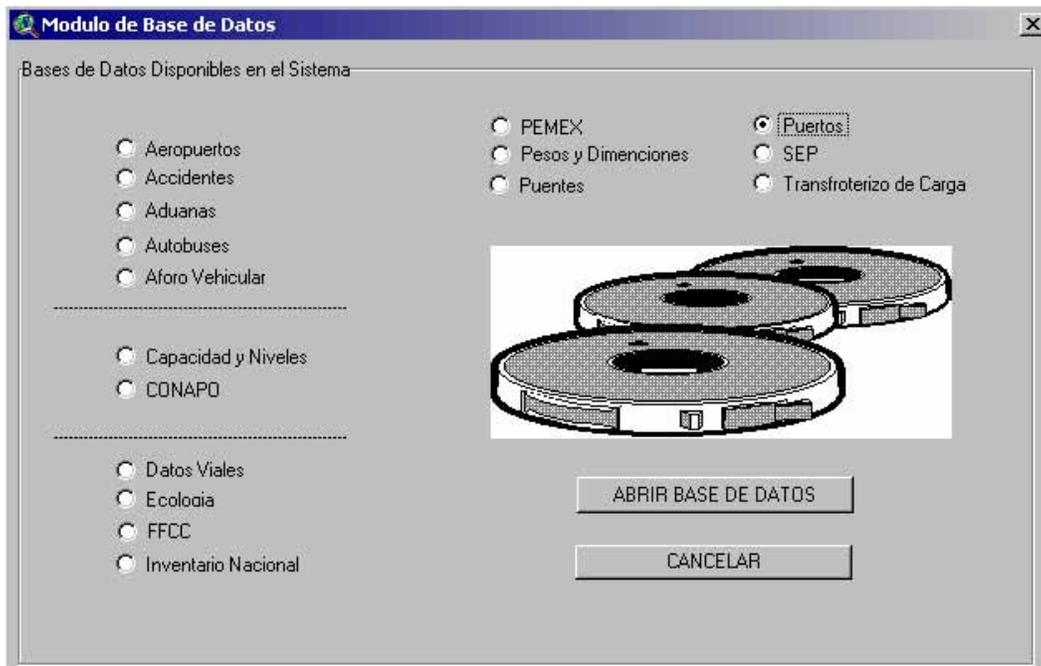


Figura 2.25 Pantalla de acceso al **Módulo Base de Datos** del SIGET.

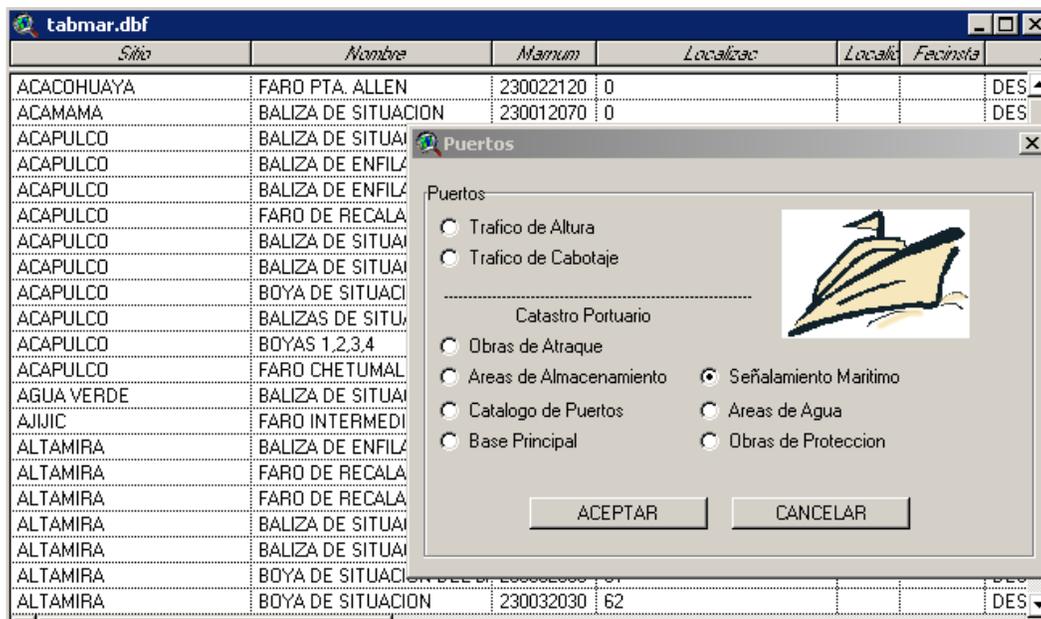


Figura 2.26 Consulta a la base de datos de puertos: señalamiento marítimo
Fuente: Catastro Portuario Nacional, SCT 2000.

- 3) **Módulo de Consulta.** Éste facilita la realización de algunas consultas usuales por lo que han sido prestablecidas, tales como cálculo de distancias, ubicación de poblaciones más cercanas, y despliegue y consulta a través de polígonos de Thiessen.

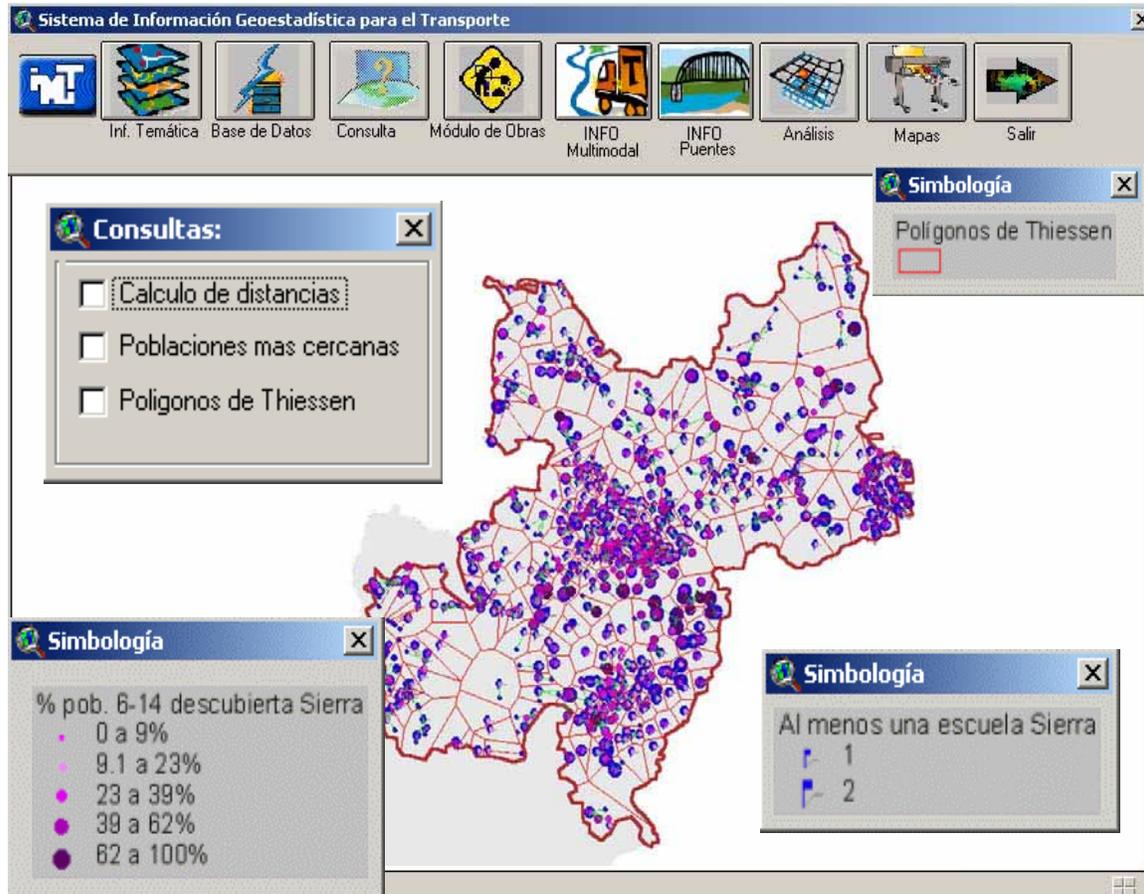


Figura 2.27 **Módulo de Consulta.** Polígonos de Thiessen con base en localidades con al menos una escuela, en la Sierra Gorda de Querétaro.

Fuente: GEOSEP, S.E.P. 2000

- 4) **Módulo de Obras.** Integrado con la información procedente de la Dirección General de Planeación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por lo que su actualización depende de la oportunidad con que se proporcione; se refiere a las obras anuales realizadas o en proceso por la SCT; la información corresponde a la ubicación geográfica por tipo de obra, así como datos sobre inversión, grado de avance y observaciones relevantes. Cabe señalar que se distinguen las obras en dos grupos, aquellas cuya longitud es variable, entiéndase ampliación o construcción de carreteras, y las de tipo puntual, es decir, obras en puentes, cruces o intersecciones.

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.

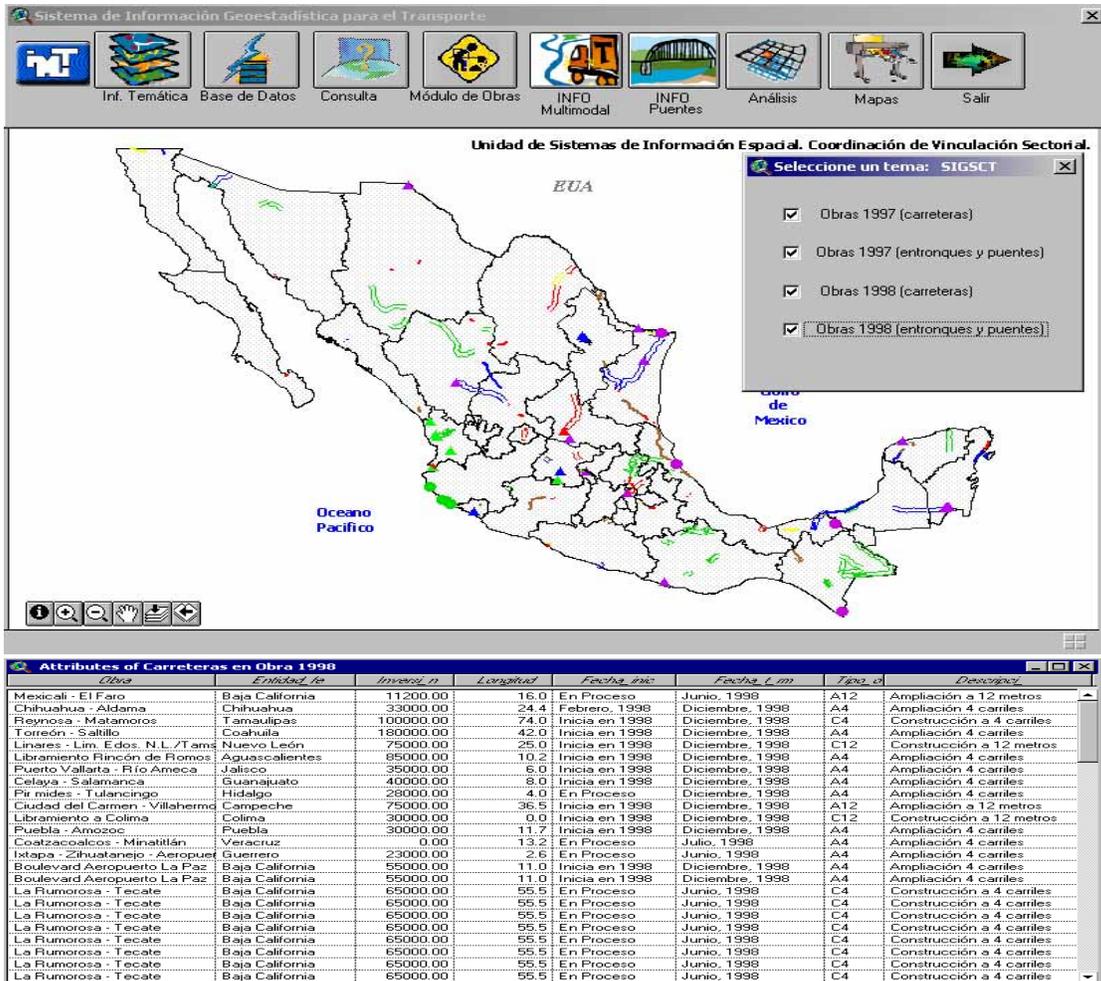


Figura 2.28 Módulo de Obras realizadas por la SCT, 1997-98
Fuente: Dirección General de Planeación, SCT 1997 v 1998

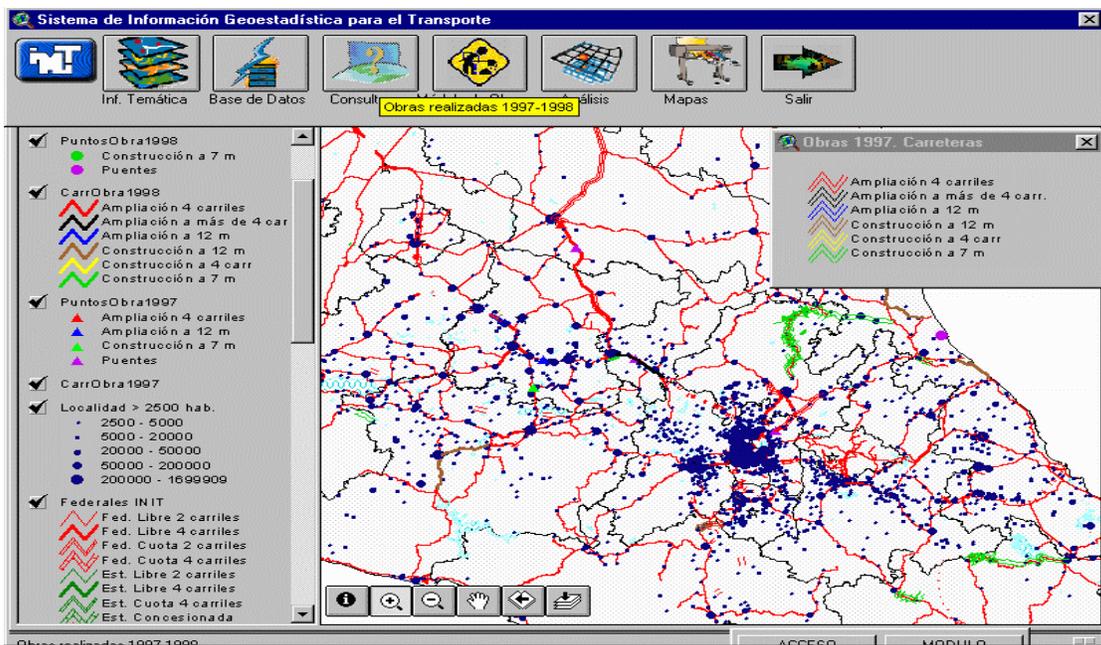


Figura 2.29 Módulo de Obras realizadas por la SCT, 1997-98. Acercamiento centro del país.
Fuente: Dirección General de Planeación, SCT 1997 y 1998

- 5) **Módulo InfoMultimodal.** El propósito de este módulo es facilitar la correlación espacial entre la ubicación de las estaciones de transferencia de carga inter y multimodal, contra algunos de los factores que las condicionan, como son la distribución y caracterización de la infraestructura por modo de transporte, diferenciación de las localidades por rango de población, e información de los flujos actuales de carga.

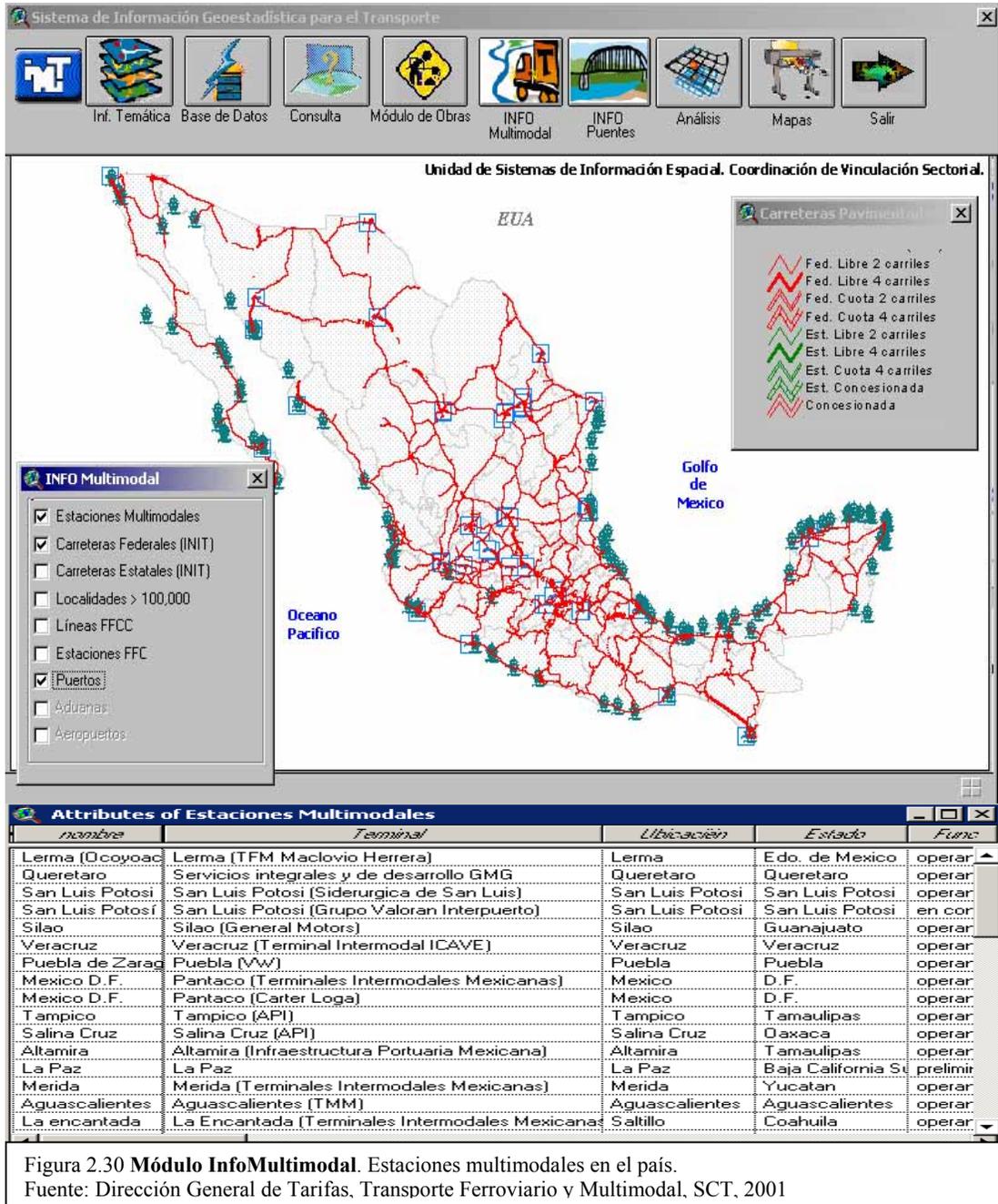
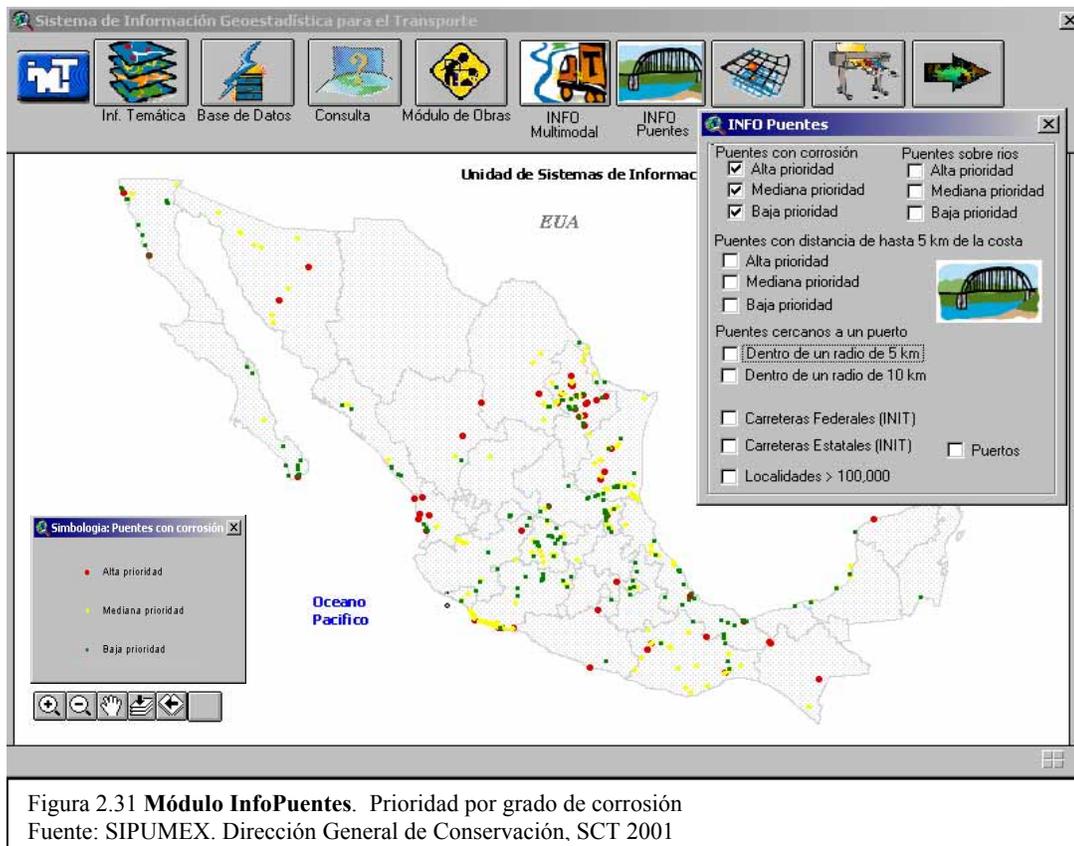


Figura 2.30 **Módulo InfoMultimodal.** Estaciones multimodales en el país.
Fuente: Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT, 2001

6) **Módulo InfoPuentes.** En este módulo se dispone de la localización de 6,500 puentes del país, con su respectiva base de datos obtenida del *Sistema de Puentes de México, SIPUMEX*, de la Dirección General de Conservación de la SCT; el módulo permite determinar la vulnerabilidad a la corrosión de cada puente, y establecer la prioridad de atención, a partir de correlaciones espaciales de la evaluación de *SIPUMEX* contra factores predefinidos y manejables desde el SIGET, como distancia a la línea de costa, ubicación sobre río o canal permanente, zona climática, antigüedad de construcción y distancia a parques industriales.



7) **Módulo de Análisis.** En este módulo se incorporan al SIGET directamente las herramientas para análisis espacial disponibles desde ArcView 3.1, respetando inclusive sus propios iconos y botones; sin embargo, se reconoce que esto obliga al conocimiento previo de las funciones y operación del paquete comercial original. El módulo permite el empleo de herramientas de análisis tales como la creación de *buffers*, manejo de la base de datos, edición de simbología personalizada, medición de distancias, selección de elementos gráficos, generación de consultas a las bases de datos utilizando variables simples o compuestas, fusión de tablas de manera permanente a nivel de registro a registro (*join*), liga de tablas a nivel de registro a registros (*link*), ordenar los registros en forma ascendente o descendente, calculadora de campos, entre otras.

2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET

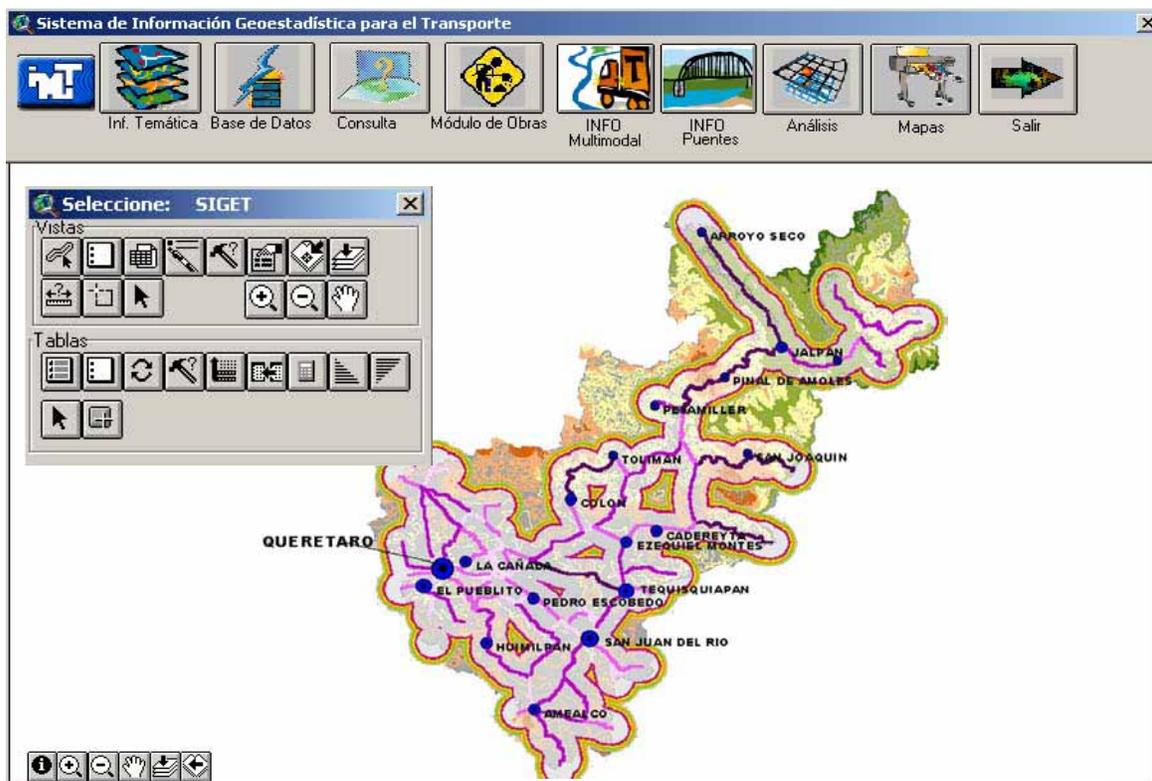


Figura 2.32 **Módulo Análisis**. Definición de *buffers* de 5 km a lo largo de las carreteras de Querétaro y establecimiento de tiempos de recorrido entre nodos

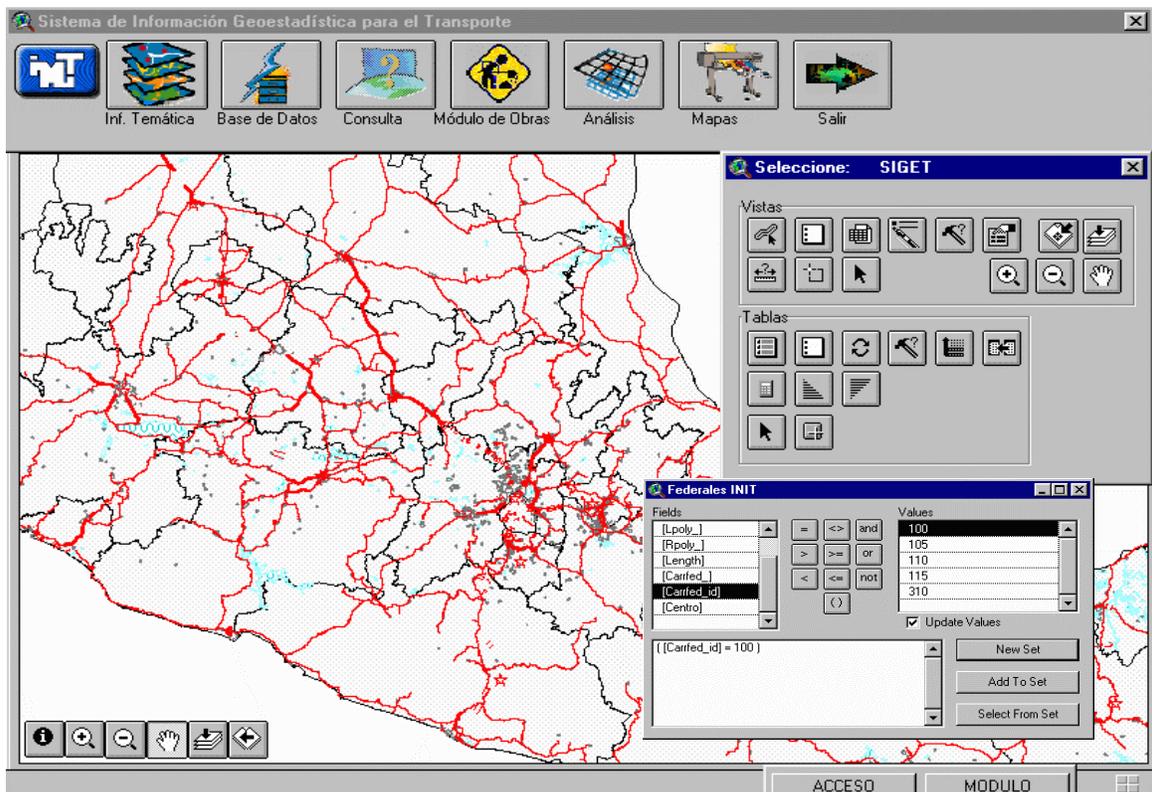


Figura 2.33 **Módulo Análisis**. Selección de las carreteras federales libres de dos carriles.
Fuente: INIT

8) **Módulo de Mapas.** Con esta opción el usuario dispone de las herramientas de impresión, comunes a la mayoría de los paquetes comerciales, con las que se generan los formatos para imprimir los mapas finales; para esto, aparece una ventana en donde se selecciona el tipo de mapa, orientación, tamaño e impresora de destino.

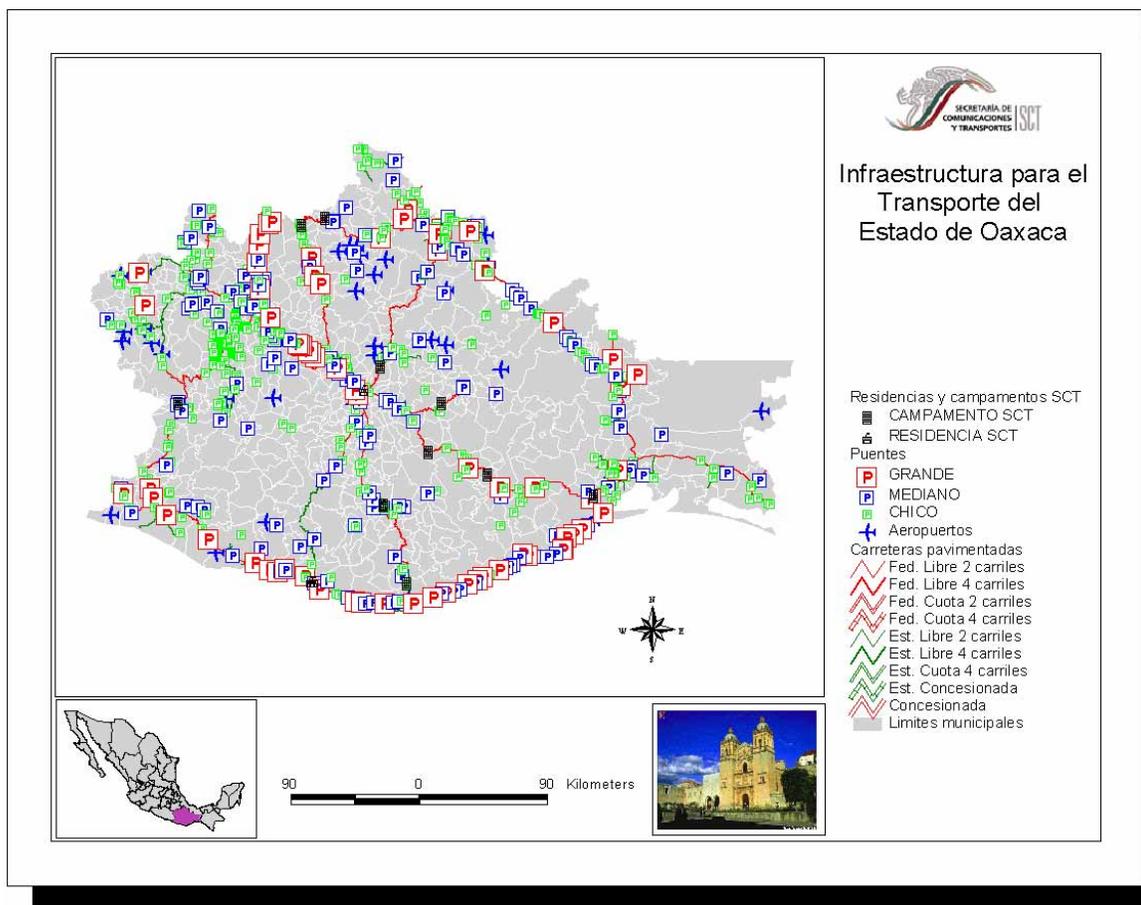
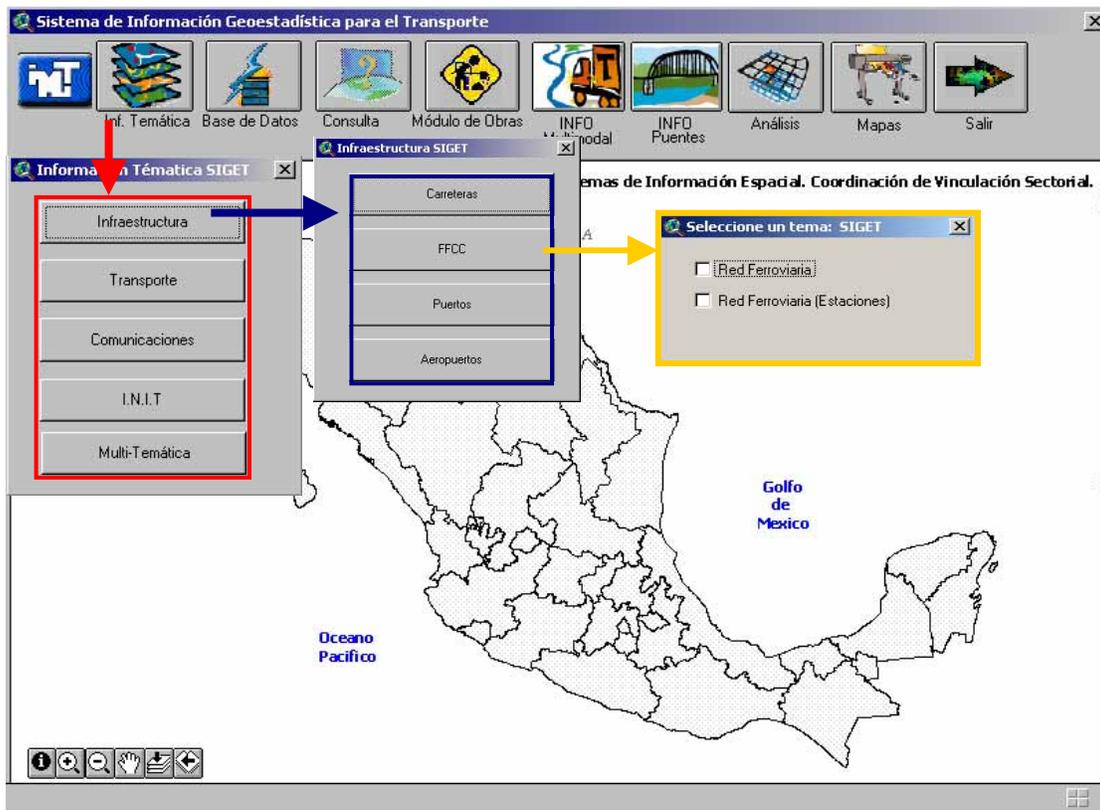
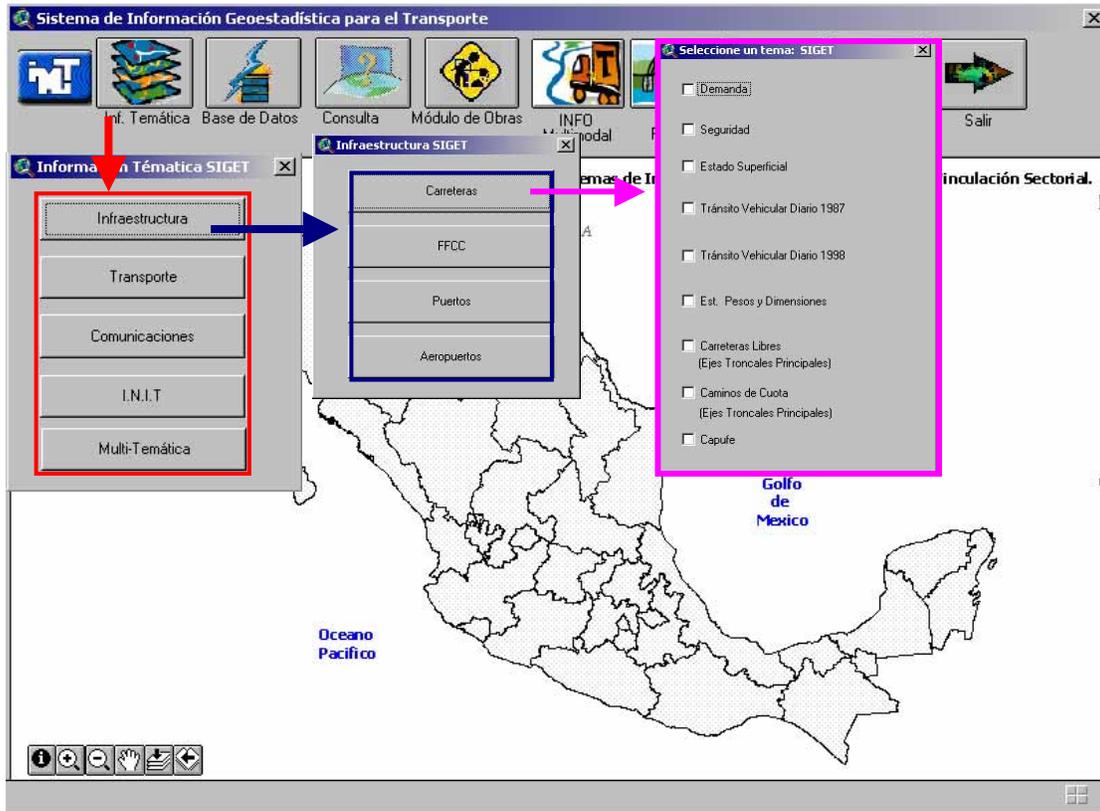


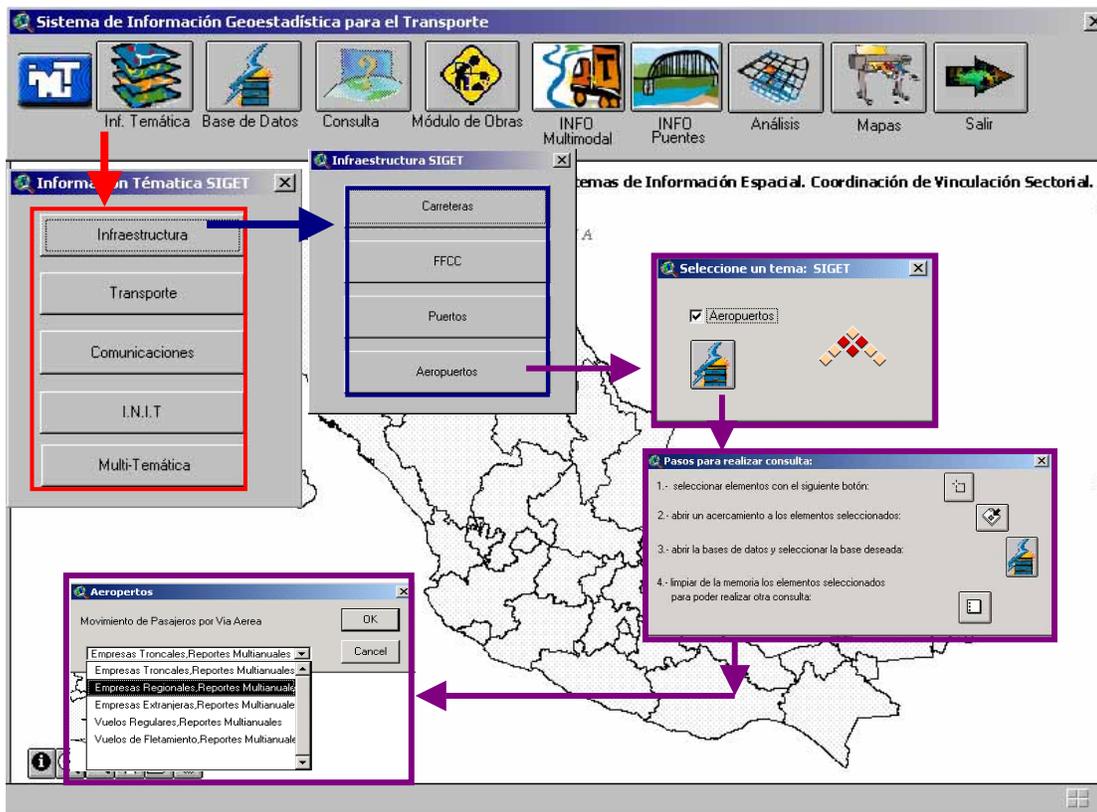
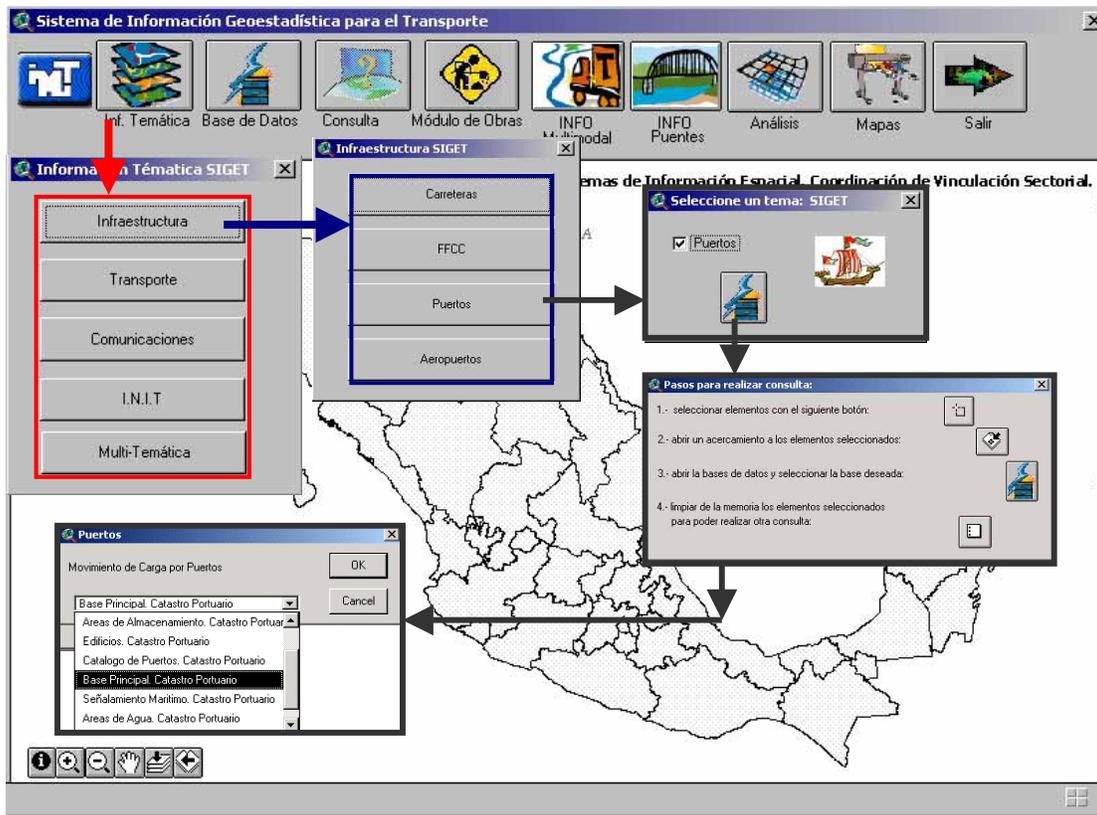
Figura 2.34 **Módulo Mapas.** Formato para impresión del estado de Oaxaca
Fuente: INIT

9) **Salir.** Opción para abandonar la sesión de trabajo del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.

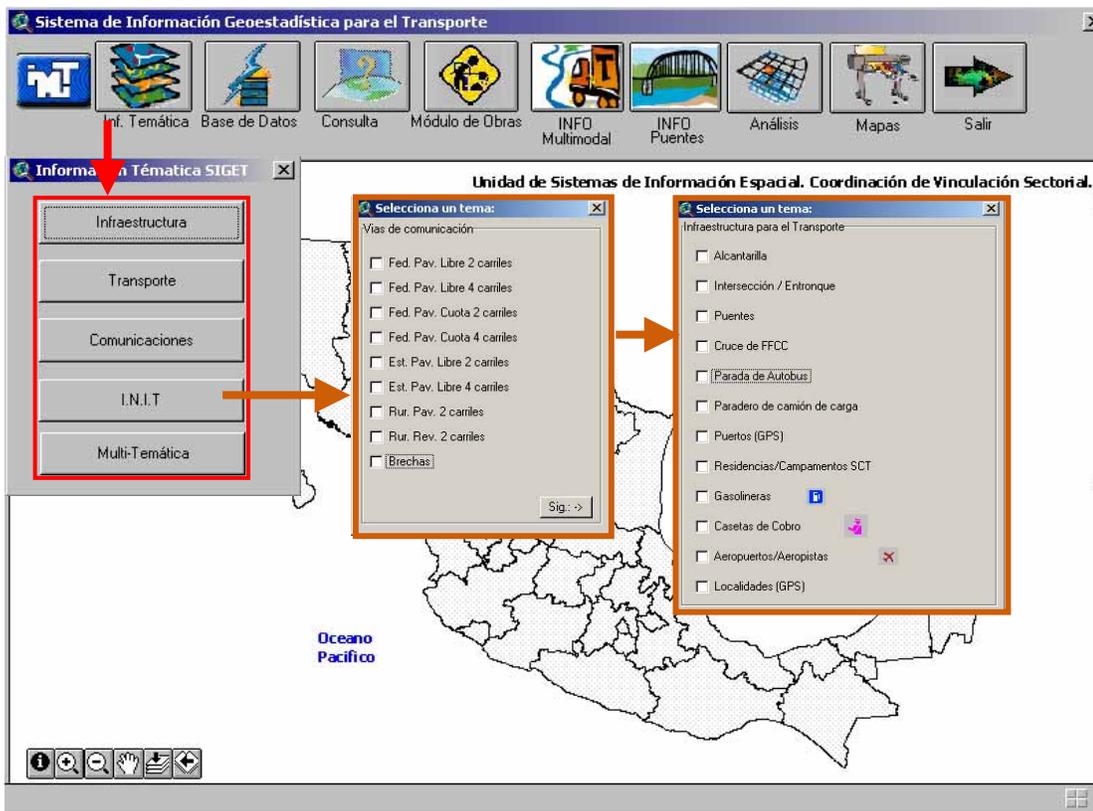
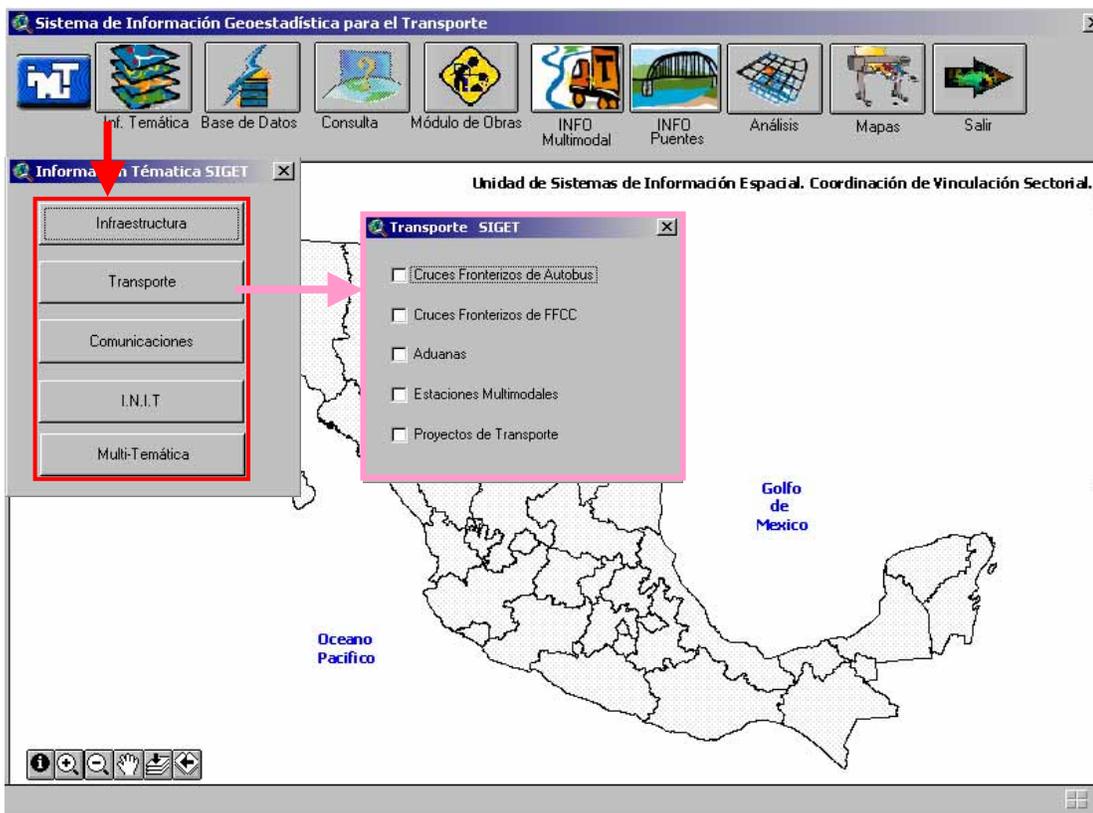
2.3.2 Resumen diagramático de la estructura de operación del SIGET



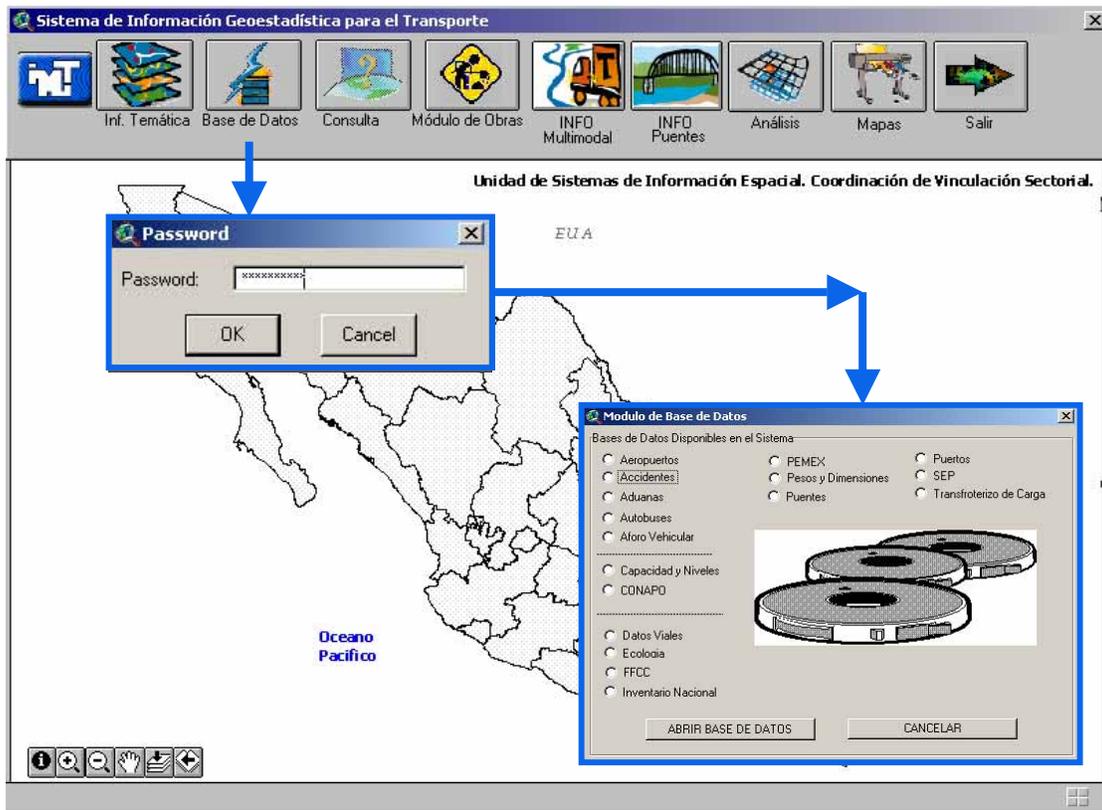
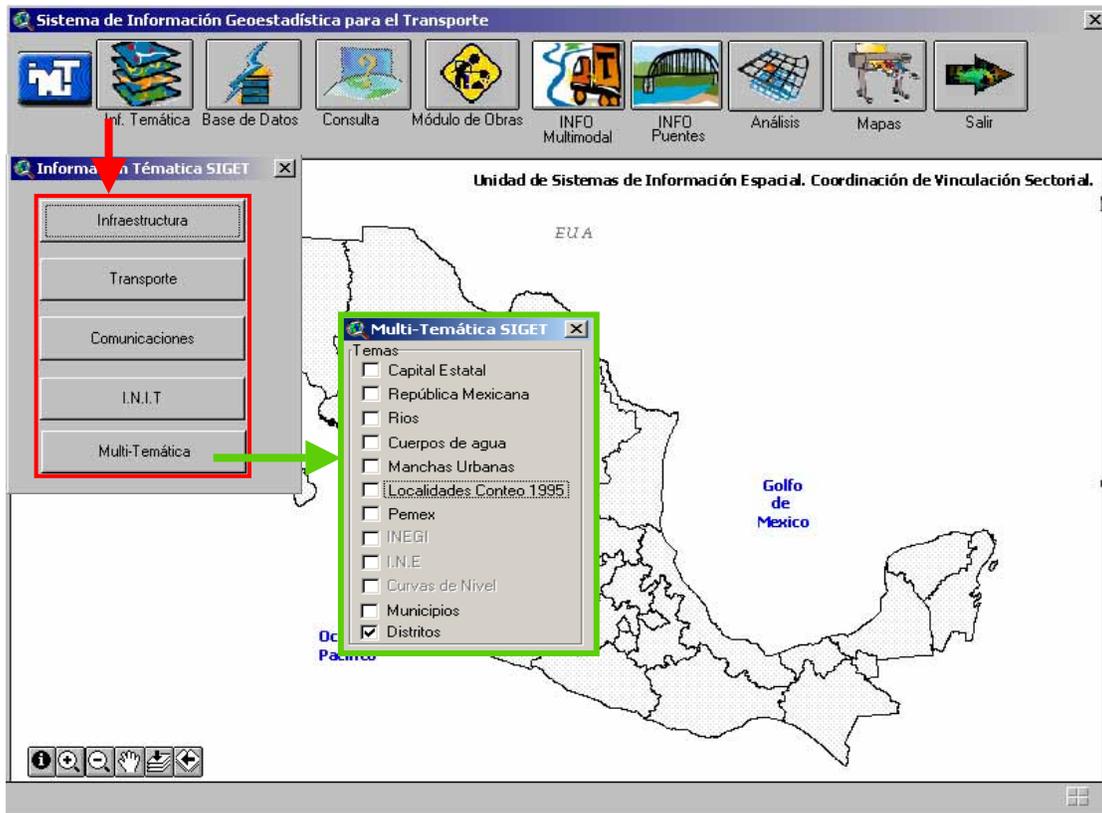
El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte. Métodos, organización y descripción operativa.



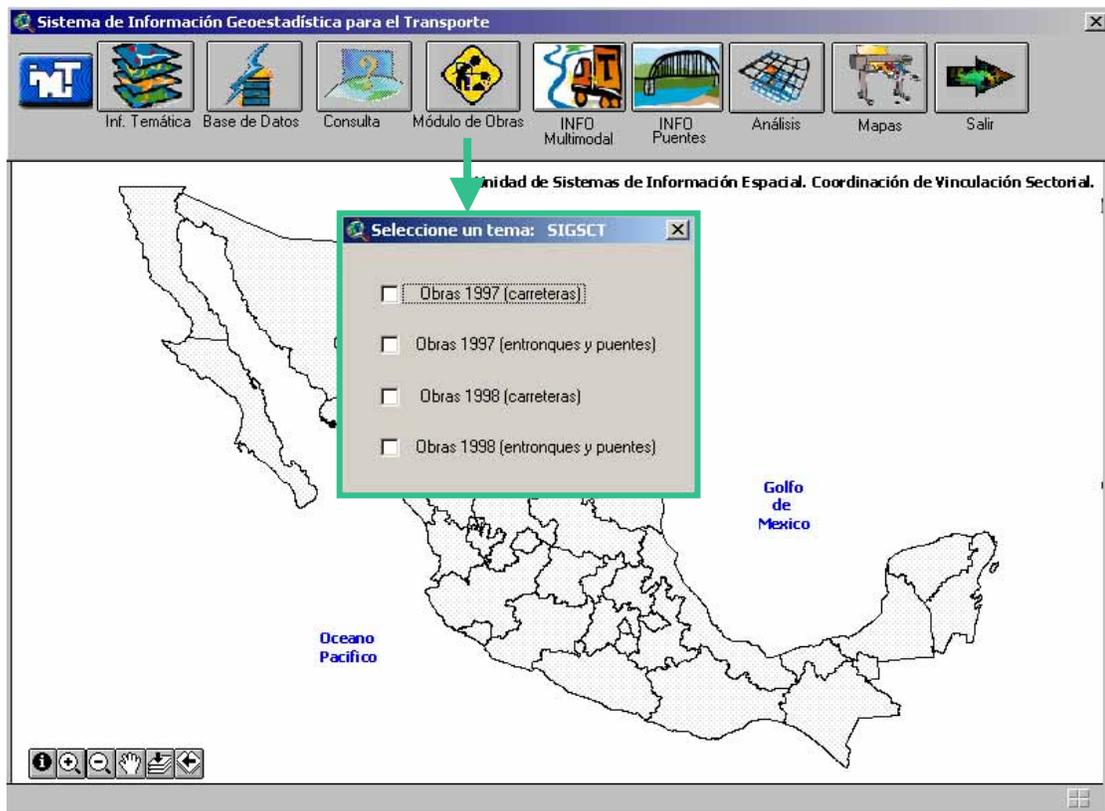
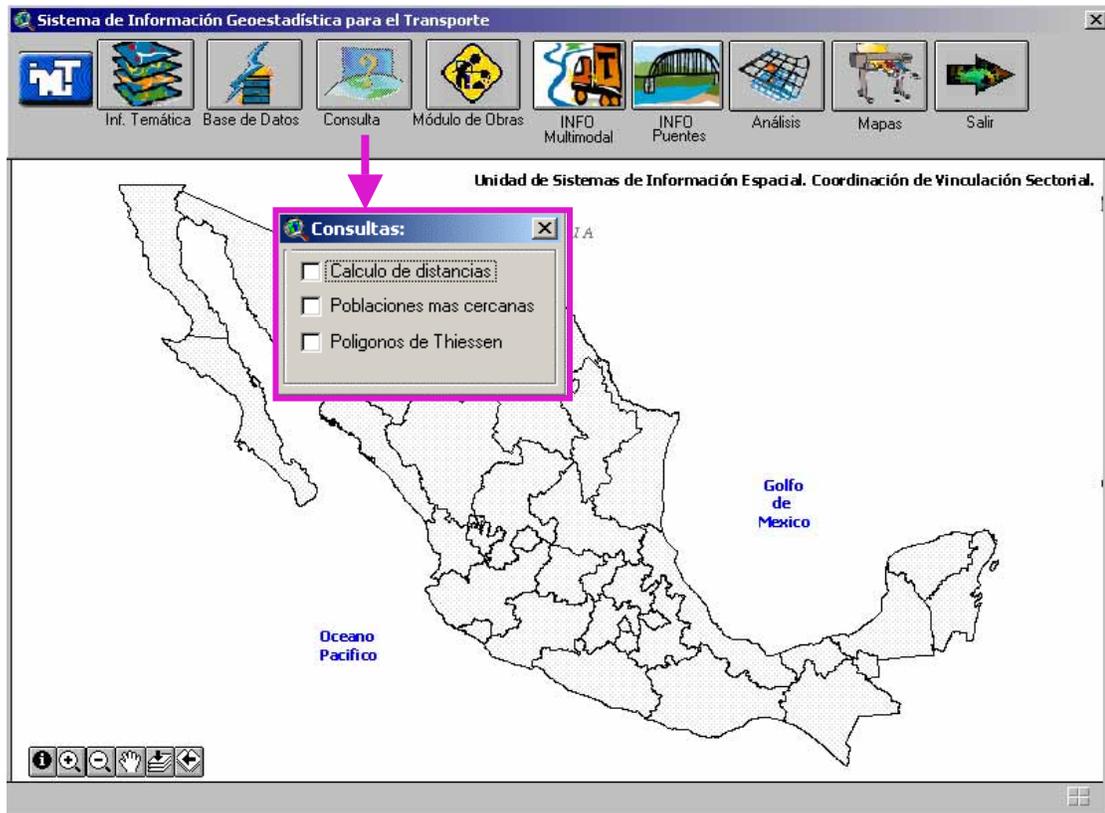
2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET



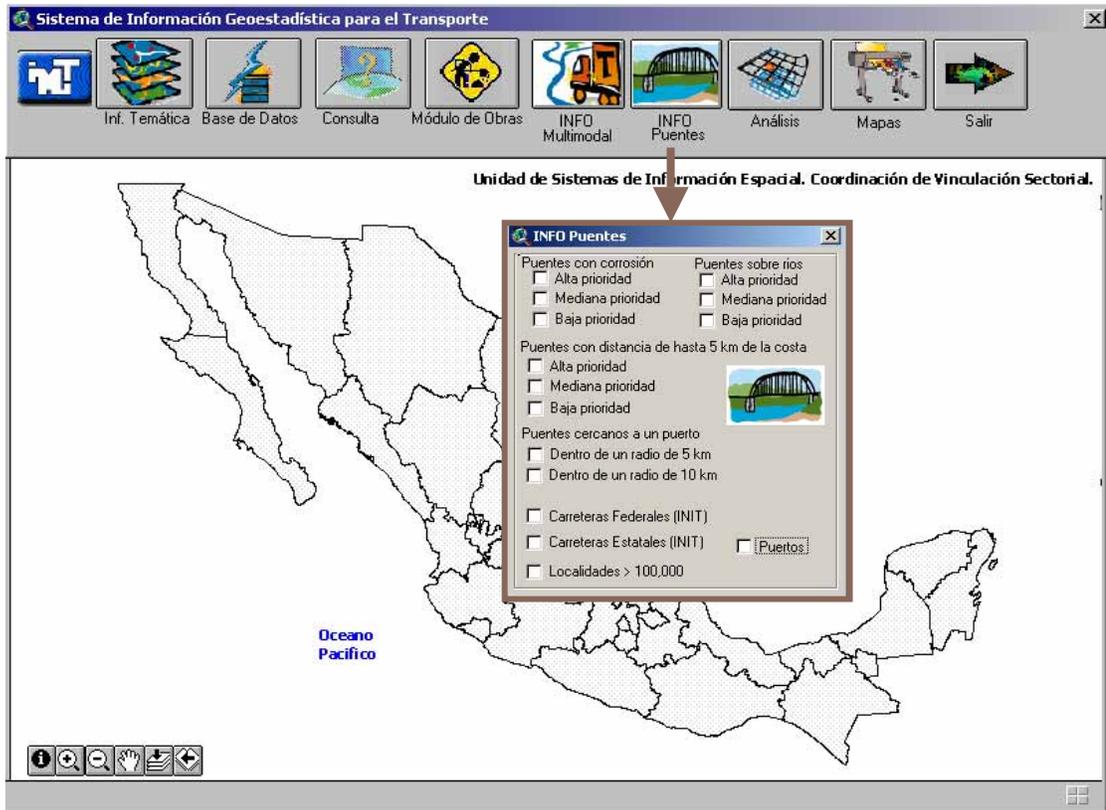
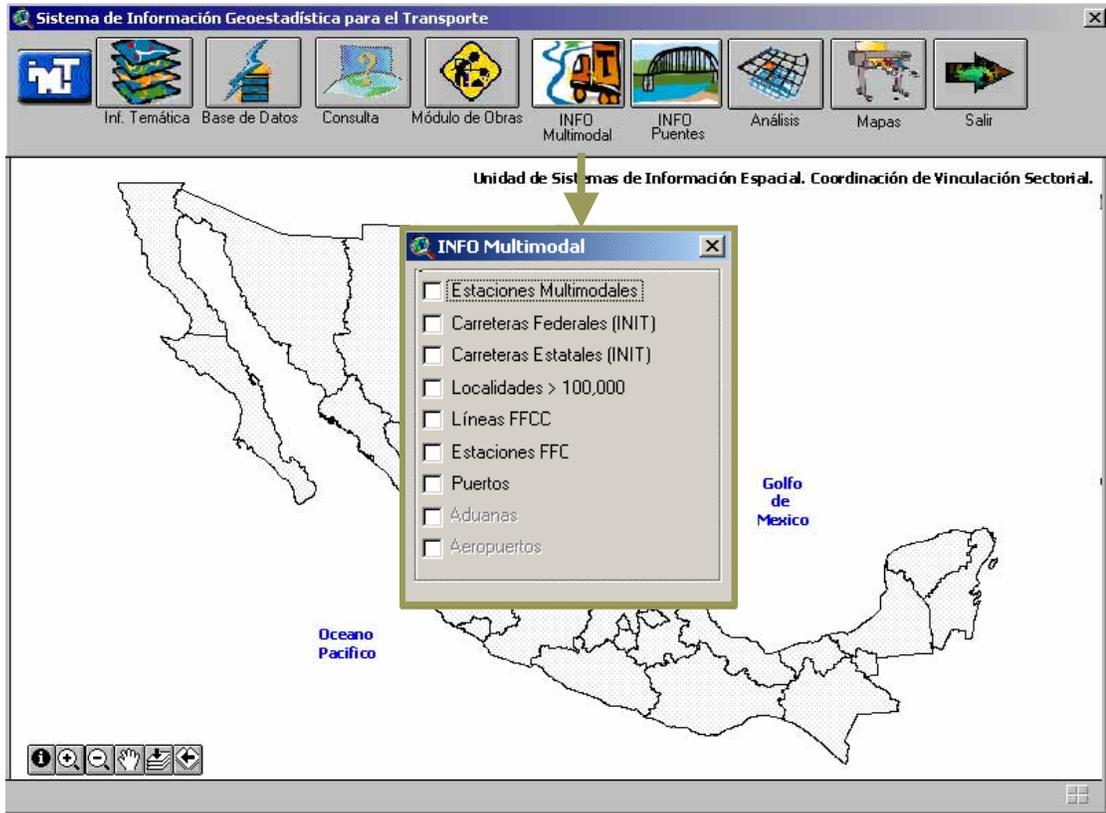
El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte. Métodos, organización y descripción operativa.



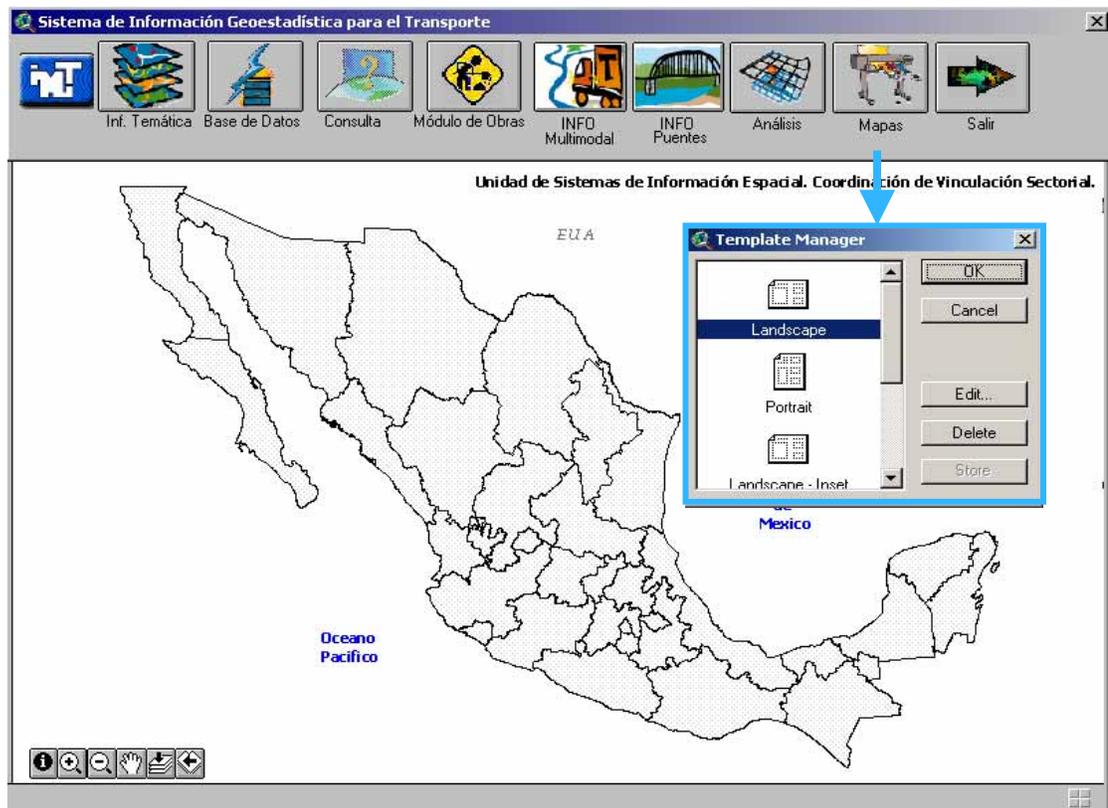
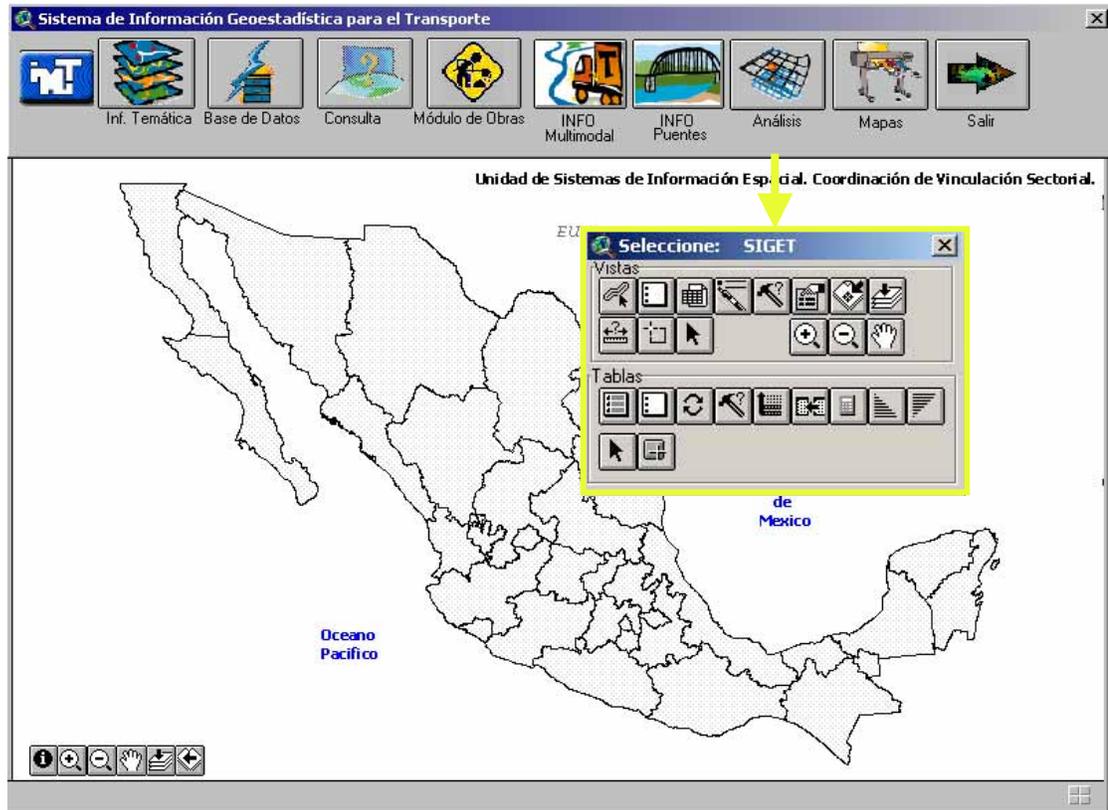
2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET



El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.
Métodos, organización y descripción operativa.



2. Organización, diseño y programación funcional del SIGET



2.4 Alcances y potencial de utilización

Cabe resaltar que los resultados obtenidos, en cuanto a registro de información en campo, muestran un alto grado de precisión en la localización de los trazos y atributos, que se confirma al cotejarlos con los originales fotogramétricos del INEGI y la cartografía tradicional de la SCT; aunado a ello, se ha obtenido la longitud de los caminos con mayor precisión con lo que se han actualizado las cifras de las redes carreteras de cada estado.

En los mapas de las siguientes figuras, elaborados con los datos obtenidos en campo mediante el GPS durante el primer período de levantamiento del INIT, complementados con información diversa y editados en el ambiente del SIGET, se pueden apreciar las siguientes ventajas derivadas de las funciones de manejo y análisis propias del sistema:

1. La diferenciación de la información a distintos niveles.

- Territorial (nacional, estatal, regional, etc.) Figuras 2.35, 2.36 y 2.37
- Jurisdiccional (federal, estatal, municipal) Figuras 2.35 y 2.37
- Manejo multitemático. Figura 2.39

2. El análisis y representación a cualquier escala, con la anotación de que a mayor escala se revela mayor grado de detalle, v.gr. trazo de la curvatura de los caminos. Figura 2.38

3. El manejo discrecional de los atributos registrados. (Se puede elegir la representación de todos o sólo de los que cumplan alguna condición o combinación de variables, v.gr. puentes mayores de 100 m de longitud). Figuras 2.35, 2.36 y 2.38

4. Facilidad para sobreponer información procedente de otras fuentes. Por ejemplo, en el mapa de Querétaro se incluyen coberturas de curvas de nivel e hidrología, generadas por otros medios. Figuras 2.37 y 2.39

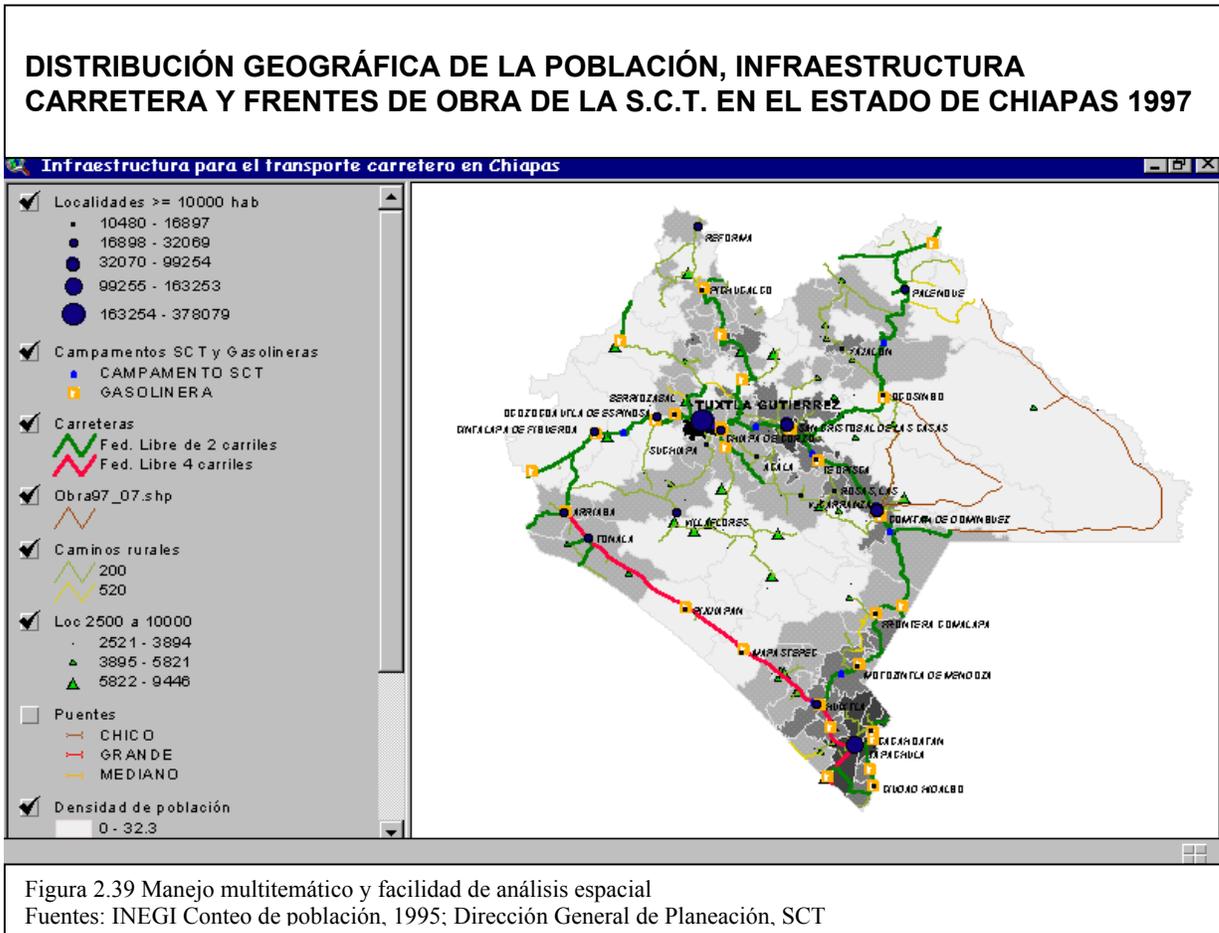
5. Localización y distribución precisa de todos los atributos registrados y elementos disponibles, Figura 2.35 y 2.37



Figura 2.35 Distribución geográfica de la infraestructura por modo de transporte



Figura 2.36 Diferenciación de la información por jurisdicción administrativa y tipología carretera



Durante el período de registro de información en campo, los problemas enfrentados con más frecuencia obedecieron a la degradación de la señal del satélite, producto de la “Disponibilidad selectiva” (distorsión de la señal que era inducida intencionalmente por el Departamento de la Defensa de los EUA, hasta mayo de 2000 cuando fue suprimida por decreto presidencial), o por efecto de la interferencia de la vegetación en aquellos caminos densamente arbolados, principalmente en las zonas tropicales, que inducían errores mayores de posición o inclusive impedían el registro de los puntos, aunque sólo por tramos cortos. En tales casos, con el fin de completar los trazos en los mapas finales, se digitalizaron las líneas faltantes a partir de mapas impresos de la propia SCT.

El SIGET, con base en la información registrada en el INIT, proporciona un valioso cúmulo de información en formato digital y geográficamente referenciada, con todas las ventajas que esto supone, y está en posibilidad de servir desde ahora a diferentes organismos y a los propios Centros SCT para apoyar actividades como:

a) La conservación y mantenimiento de la infraestructura carretera cuya importancia se refleja en términos de la operación, seguridad y costos de transporte, trascendiendo a la estructuración territorial y la economía en su

conjunto. En este ámbito, un ejemplo destacado es el **Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP)**, instrumento informático diseñado en el IMT para evaluar el grado de deterioro y el tipo de daños por segmentos de una red y priorizar las acciones de mantenimiento derivadas de las mediciones, observaciones y análisis económicos que realiza. La incorporación a este sistema de la información y métodos del SIGET podrá apoyar, entre otras acciones a:

- El análisis espacial y representación gráfica de las variables técnicas y económicas.
- La diferenciación territorial de las redes de acuerdo con el estado de deterioro de los pavimentos.
- El trazo de metas e itinerarios de trabajo de las cuadrillas.
- La calendarización y distribución territorial de las acciones, maquinaria y equipos.
- La priorización de las labores de conservación con base en el criterio del valor de la carga transportada (mediante la utilización de los datos elaborados en los estudios respectivos por el IMT).

b) Estudios de evaluación del diseño geométrico de carreteras al aportar datos adicionales para el cálculo del grado de curvatura y/o alineamiento horizontal y vertical de las mismas, o bien, una vez incorporados los parámetros técnicos facilitar su análisis.

c) Asimismo, constituirá una herramienta útil para la estimación de los sobrecostos de operación vehicular debidos al efecto de la pendiente, nivel de servicio y curvatura de las carreteras, fundamental en el transporte de carga y de importancia trascendental para el país.

d) La prevención de accidentes a partir del análisis espacial de la ocurrencia de los mismos y su relación con las características técnicas de los caminos (diseño geométrico, señalización, visibilidad, etc.).

Mención aparte merece el hecho de que el SIGET se concibe también como un instrumento de apoyo a las labores de evaluación y planeación operativa del transporte; con tal propósito, se contempla integrar, completar o actualizar coberturas de información espacial y datos estadísticos relativos, entre otros aspectos a:

- Distribución territorial y características de los flujos de carga por regiones y corredores de transporte.
- Distribución modal de la carga y localización de estaciones de transferencia y de concentración y reparto a los mercados.

- Cambios y variaciones en los corredores de transporte y costos de operación vehicular por efecto del marco normativo y reglamentario.
- Rentabilidad económica por tipo de vehículos circulantes y comparación de la agresividad de cada tipo sobre la infraestructura, a cargas netas iguales.
- Identificación de rutas, precisión de riesgos y delimitación de áreas vulnerables por el transporte de sustancias y materiales peligrosos.

En este sentido, para cumplir con las labores descritas, resulta imprescindible la participación de los Centros SCT, principales organismos involucrados y beneficiados de la aplicación de esta herramienta tecnológica.

En apoyo de lo anterior, en paralelo al diseño, conformación y programación del SIGET, el autor de este trabajo ha llevado a cabo un programa de identificación de aplicaciones y capacitación, dirigido al personal operativo de los 31 Centros SCT y Direcciones de las oficinas centrales, consistente en el uso teórico y práctico del SIGET y del GPS en algunas actividades operativas del Sector, del cual han resultado enriquecidas las aplicaciones multitemáticas presentadas en el siguiente capítulo, como lo demuestra el elevado potencial de utilización real de cada una.

El aprovechamiento pleno del sistema se debe sustentar en el desarrollo de un esquema metodológico, organizacional, conceptual y práctico para la utilización del propio SIGET en los Centros SCT, mismo que ya se encuentra en proceso a partir del diseño del propio SIGET como un mecanismo interactivo de acceso, consulta, asociación y representación de información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector, que conducirá a la sistematización del registro y actualización en archivos digitales de la información geográficamente referenciada relativa a la infraestructura para el transporte.

No obstante, es un hecho real que el potencial de utilización del SIGET no se circunscribe al propio Sector Transporte, tan es así que, la información digital resultante del proyecto SIGET ha sido transferida a múltiples usuarios (ver figura 2.40) mediante acuerdos de colaboración e intercambio, quienes la han empleado para muy diversos fines y objetivos, con lo cual se demuestra y convalida el amplio horizonte de utilidad y aplicaciones del mismo.

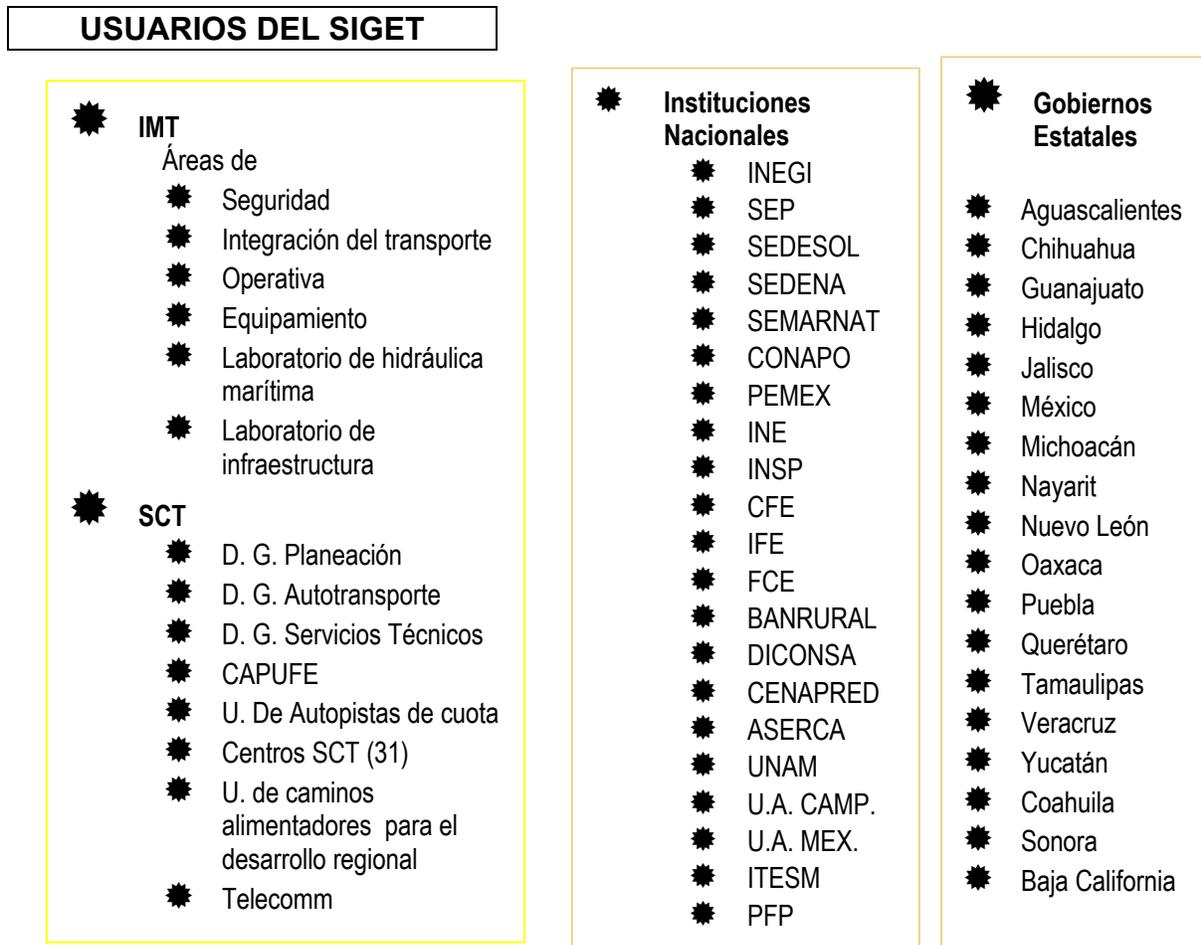


Figura 2.40 Entidades, dependencias e Instituciones usuarias de la información del SIGET.

Puede afirmarse que el SIGET perfila un horizonte de aplicaciones de los SIG y de los GPS como tecnologías asociadas, que 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, estudiosos, entre otros.

De acuerdo con la estructura misma del trabajo, las conclusiones se presentan organizadas en tres grupos. En el primero, se agrupan las relativas a los aspectos teóricos que le dan sustento, tanto en la concepción del transporte como en las tecnologías utilizadas; después, se abordan las conclusiones derivadas de la organización, diseño y programación funcional del SIGET; finalmente, se presentan las referentes a algunas de las aplicaciones multitemáticas actualmente en desarrollo.

El transporte como actividad que atiende a la movilidad de personas, bienes y mercancías, y proceso que posibilita la articulación, integración y estructuración territorial, es por definición un hecho geográfico dada su inobjetable expresión espacial; de aquí que, la dimensión geográfica del transporte resulte fundamental en los procesos de planeación, administración y operación del mismo, así como en la formulación de proyectos de inversión y como criterio básico en la toma de decisiones sectoriales.

Debido a la naturaleza geográfica intrínseca de la mayoría de los datos del transporte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) deben servir como base para la organización coherente de un sistema integrado de información en cualquier dependencia gubernamental, empresa u organismo encargado de esta actividad.

Los SIG constituyen, sin duda, una poderosa herramienta para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y despliegue de datos espaciales; de aquí que resulten ser un instrumento indispensable para planear, diseñar, construir, operar y mantener los sistemas de transporte, como lo demuestran las múltiples aplicaciones documentadas en distintas partes del mundo, que se ven favorecidas por las ventajas funcionales de los SIG para incorporar información de fuentes muy diversas, manejo automatizado, análisis geoestadístico y multivariado, visualización gráfica y generación de mapas, gráficos y tablas.

Por otra parte, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es hoy día una tecnología fundamental para una eficiente planeación, operación y gestión del sistema de transporte nacional. Su relevancia queda demostrada tanto por el reconocimiento explícito a su potencial de aplicación por los propios actores del transporte (funcionarios, empresarios, concesionarios, prestadores del servicio, estudiosos, entre otros), como por los resultados expuestos en la presente publicación.

Si bien es cierto que, para los propósitos de desarrollo del SIGET, el GPS sólo se utilizó para el registro de la información georreferenciada de la infraestructura para el transporte, la gama de aplicaciones demostradas abarcan, entre otras actividades, el uso para la gestión de flotillas, el monitoreo de unidades en ruta, la

administración de unidades para atención de emergencias, y los sistemas de información al conductor o al usuario de transporte público.

El SIGET, como está estructurado, con la información disponible y con las funciones y operaciones facilitadas, es la respuesta a la inexistencia de un sistema integral de información en el Sector Transporte, que con base en el manejo relacional de las bases de datos estadísticos en su expresión territorial, contribuye a la toma de decisiones en las labores de planeación, organización, gestión y operación del sistema nacional de transporte, desde un ambiente gráfico de fácil manejo, personalizado para usuario final inexperto, pero con capacidades de propósito múltiple y con una estructura abierta de bases de datos para actualización y expansión permanente.

El SIGET cumple con los objetivos de ser un mecanismo de acceso, consulta, despliegue visual, análisis espacial y representación cartográfica de la información generada por otras fuentes y medios relacionados con el Sector Transporte. Al mismo tiempo, la consecución del SIGET permitió disponer, por primera vez en el país, de la información georreferenciada relativa a los distintos modos de transporte y los componentes infraestructurales asociados, con un adecuado nivel de precisión con base en los levantamientos realizados con GPS.

Las aplicaciones apenas aludidas, aunque se tratan de proyectos actualmente en desarrollo, permiten afirmar desde ahora, que el SIGET es la plataforma adecuada para perfilar un amplio espectro de posibilidades de utilización de los SIG y de los GPS como tecnologías asociadas, que se extiende a todos los modos de transporte, en distintas escalas espaciales o niveles de detalle de los elementos de infraestructura que interesen; 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, estudiosos, entre otros.

Las aplicaciones mencionadas del SIGET, confirman que, el diseño conceptual y lógico del sistema, facilitan su utilización en diversos campos de acción, así como también, favorecen la interacción con procesos de análisis, información y métodos propios de otras disciplinas y sectores de actividad.

Tal es el caso del proyecto en desarrollo del “Sistema de información geográfica para la evaluación espacial de riesgos en la red nacional de carreteras”, en el cual concurren el aporte del SIGET para el análisis territorial de la infraestructura y operación del transporte, con la perspectiva del riesgo y la vulnerabilidad desde un enfoque multidisciplinario, a partir de la concepción integral de los factores que los determinan, como son los medioambientales, sociales, políticos y económicos.

En estrecha relación con la afirmación anterior, el SIGET sirve de sustento para que el “Subsistema de atención de emergencias”, se profile como el instrumento indispensable para armar una estrategia común, desde la perspectiva

interdisciplinaria y multisectorial, donde concurren los distintos niveles de gobierno, que permita organizar, evaluar y coordinar las acciones tendientes a mitigar los daños ocasionados por un desastre originado por un fenómeno natural.

En ese mismo sentido, la aplicación del SIGET como herramienta fundamental para la integración, análisis espacial y representación cartográfica de la relación entre transporte y accesibilidad en la cobertura regional de los servicios básicos de educación y salud, también en su fase final de desarrollo, demuestra su versatilidad y, sobre todo, su potencial de aprovechamiento para la determinación de áreas de cobertura real y potencial de los servicios básicos a la población, mediante el uso, en el ambiente del SIGET, de distintas técnicas de análisis espacial de variables determinantes diversas.

Finalmente, el SIGET se ha significado como una experiencia de aplicación exitosa y trascendente, en términos de colaboración entre distintas dependencias de los gobiernos federal y estatales, reconocimiento explícito de la utilidad del sistema como herramienta medular para incorporar la dimensión espacial en las labores de planeación y programación de acciones para mejorar la eficiencia del transporte fronterizo binacional.

Por último, debe señalarse que el SIGET exige para mantenerse vigente, un proceso continuo de mejora que, conforme a sus objetivos, incorpore y adapte la innovación constante de la plataforma tecnológica que lo sustenta, tanto en términos de actualización y ampliación de la información que lo integra, como de la programación y el desarrollo de funciones y operaciones que respondan a las necesidades planteadas por los usuarios, razón de ser del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.

Bibliografía

- Arredondo O., Ricardo. E. Criterio para jerarquizar la conservación de carreteras con base en su importancia económica. Publicación Técnica núm. 83 del Instituto Mexicano del Transporte. SCT. Querétaro, 1996.
- Burrough, P.A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, U.S.A. 1990.
- Cal y Mayor y Asociados, S. C. Aplicaciones potenciales de los SIT en México. Estudio por contrato para el IMT, marzo 1999.
- Dirección General de Puertos y Marina Mercante, SCT Catastro Portuario Nacional, México, 2000.
- Dirección General de Servicios Técnicos, SCT. Datos Viales, 2000. México, 2001.
- Dirección General de Aeronáutica Civil, SCT, Anuario Estadístico 1999, México, 2000.
- Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT, 2001.
- Dirección General de Planeación y Centros SCT. Integración de información para la planeación (documento interno), 1998 y 1999.
- Dirección General de Conservación, SCT. Sistema de Puentes de México, SIPUMEX, México, 2001.
- Dana, P. The Geographer's Craft Project. University of Texas at Austin, 1998.
- Daratech 2000 Geographic Information Systems: Markets and Oportunities. Cambridge, Massachusetts:Daratech, 2000.
- Davis B. GIS: A Visual Approach. Onword Press. Santa Fe, 1996.
- El Colegio de la Frontera Norte/ORSTOM. Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte. México, 1994.
- ESRI. ArcView. User's Guide. Redlands, California, EE.UU., 2000.
- ESRI Map Book, vol. 16, USA, 2000.
- ESRI Map Book, vol. 14.USA, 1999.
- ESRI. Understanding GIS. The ArcInfo Method. ESRI Press, Redlands, Cal. , EE.UU.,1997.
- Gámir, Ruíz, Seguí. Prácticas de Análisis Espacial. Ed. Oikos-Tau.
- García, O. G. y Backhoff, P. M. El Módulo Geográfico del SIMAP. Publicación Técnica núm. 92. Instituto Mexicano del Transporte, México, 1997.

- GIM “GIM’s GPS Glossary”. Geodetical Info Magazine, Vol. 7, No. 3. March, 1993, pp.68-69.
- GPS World. “Intelligent Vehicles & Highways”. Vol. 7, No. 4. April, 1996, pp. 46-59.
- Heredia, F. “La aplicación del sistema mundial de determinación de la posición (GPS) al transporte aéreo”. Boletín Notas No. 46, Instituto Mexicano del Transporte, mayo, 1999.
- Hurn, J. GPS. A guide to the next utility. Trimble Navigation, Ltd., E.U.A., 1989.
- Instituto Nacional de Ecología, Sistema de Información Geográfica para el Ordenamiento Ecológico, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 2000.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Conteo de Población y Vivienda 1995, México.
- Johns, James C. “La capacidad acrecentada del GPS satisface las necesidades de navegación del Siglo XXI”, ICAO Journal, Vol. 52, No. 9, noviembre 1997, Montreal, pp. 7-10.
- Lang L. Transportation GIS. ESRI Press, U.S.A., 1999.
- Lewis, S. & Fletcher, D. An introduction to GIS for Transportation. Transportation Research Board, Annual Conference. Washington, D.C., 1991.
- Leyva Castro, J.R. Desarrollo de un sistema de información geográfica para la estimación de los costos de operación vehicular del autotransporte de carga en la red carretera federal. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ingeniería en Sistemas de Transporte y Distribución de Carga. Universidad Autónoma de Querétaro, noviembre, 2002.
- Longley, P.A. Geographic Information Systems and Science. Wiley & Sons, England, 2001.
- Maguire, D.J., et al. Geographical Information Systems: principles and applications. Longman, UK, 1991.
- Mendoza, A. et al, “Geographic Information System-Based accident data management for Mexican Federal roads.” In Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board, No.1746, National Research Council, Washington, D.C. 2001, pp. 74-83.
- Monmonier M. Elements of the Map. En: How to lie with maps. The University of Chicago Press, Chicago 1991: 5-24.
- Petzold, R. G. and Freund, D. M. Potential for geographic information systems in transportation planning and highway infrastructure management. Federal Highway Administration, E.U.A. 1990.

- Peuquet, D. J. & Marble D. F. Introductory readings in GIS. Taylor & Francis. London, UK, 1990.
- Robinson A, Sale R, Morrison, J y Muehrcke, P. Elements of cartography. John Wiley and Sons. New York, 1984.
- Star J, Estes J. Data Structures. En: Geographic Information Systems. An Introduction. University of California, Prentice Hall, Sta. Barbara, Cal., 1990.
- Transportation Research Board. Transportation Research Record No. 1497 “Artificial Intelligence and Geographic Information”. Washington, D.C., USA, 1995.
- Unidad de Autopistas de Cuota, SCT. Modernización de la Red Federal de Carreteras, México, 2000.
- Vonderohe, A.P., et al. “Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation”. Transportation Research Board, NCHRP Report 359, Washington, D.C., 1993.
- Yue-Hong Chou. Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems. Onword Press, Santa Fe, 1997.

Portales en Internet:

www.romanse.org.uk

www.macavsat.org/GIS

www.esri.com

www.trimble.com/gps

www.navtech.com

www.garmin.com/aboutGPS

www.MagellanGPS.com

www.trimble.com/transportation

www.geographynetwork.com

www.fgdc.gov

www.openqis.org

www.wiley.com/gis

www.usgs.gov

www.sep.gob.mx