

A detailed illustration of a steam locomotive crossing a high trestle bridge. The bridge is supported by a complex network of dark metal beams and is set against a backdrop of dense, green and brown foliage on a steep hillside. The locomotive is emitting a thick plume of dark smoke. The scene is captured from a low angle, looking up at the bridge and the train.

Transporte y espacio
geográfico

Miguel Ángel Backhoff Pohls

Requerimientos para reproducir el CD

Computadora con:

- *Hardware*
CD-R
128 MB RAM
Resolución óptima de pantalla 1024 x 768
- *Software*
Microsoft Power Point 2000 en adelante

TRANSPORTE Y ESPACIO
GEOGRÁFICO.
UNA APROXIMACIÓN
GEOINFORMÁTICA

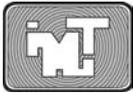
Universidad Nacional Autónoma de México



Dirección General de Estudios de Posgrado

Programa de Posgrado en Geografía

Facultad de Filosofía y Letras



Instituto Mexicano del Transporte

Colección Posgrado

La *Colección Posgrado* reúne, desde 1987, los textos que como tesis de maestría y doctorado presentan, para obtener el grado, los egresados de los programas del Sistema Universitario de Posgrado de la UNAM.

El conjunto de obras seleccionadas, además de su originalidad, ofrecen al lector el tratamiento de temas y problemas de gran relevancia, contribuyendo a la comprensión de los mismos y a la difusión del pensamiento universitario.

Miguel Ángel Backhoff Pohls

**Transporte y espacio
geográfico.
Una aproximación
geoinformática**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2005

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector

Lic. Enrique del Val Blanco
Secretario General

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez
Secretaria de Desarrollo Institucional

Dr. José Luis Palacio Prieto
Director General de Estudios de Posgrado

Dr. Ambrosio Javier Velazco
Director de la Facultad de Filosofía y Letras

Dra. Laura Elena Maderey Rascón
Coordinadora del Programa de Posgrado en Geografía

Instituto Mexicano del Transporte

Dr. Octavio Rascón Chávez
Director General

M. en I. Tristán Ruiz Lang
Coordinador de Ingeniería Portuaria y Sistemas Geoespaciales

Primera edición, 2005

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D.F.

ISBN 970-32-2179-3

Impreso y hecho en México

El único y verdadero viaje de descubrimiento
no consiste en ir a nuevos lugares,
sino en verlos con ojos nuevos.

Marcel Proust
En busca del tiempo perdido

La publicación de este trabajo representa la baliza que marca donde estamos, pero también el principio de la vía, rumbo y derrotero hacia donde debemos transitar. El sustento teórico, conceptual y metodológico es sólido, las herramientas e instrumentos están disponibles y se desarrollan, acaso, con demasiada rapidez; el compromiso y el reto están claros: mantenerse a la vanguardia en la investigación geoinformática orientada a mejorar el sistema de transporte nacional, con base en la premisa de que el mapa digital es la llave maestra para la navegación en el ciberespacio en la era de las tecnologías de la información.

La consecución de esta obra es resultado de la labor orquestada de un grupo de profesionales adscritos a la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial del Instituto Mexicano del Transporte, quienes durante años han privilegiado el trabajo en equipo; en particular y sin menoscabo de ninguno, destaca la contribución de mi amigo Juan Carlos Vázquez Paulino, con quien he explorado el fascinante mundo de los sistemas de información geográfica y tecnologías asociadas, compartiéndome siempre generoso su conocimiento; además, la versión digital resalta por el aporte siempre dispuesto y amistoso de Francisco Verde Orozco.

Dedico este esfuerzo, como una modesta retribución a lo mucho que he recibido:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser el sustento del saber, del avance del conocimiento y de la libertad de pensamiento de la Nación.

Al Instituto Mexicano del Transporte, por el amplio apoyo y respaldo permanente.

A Gaby, quien desde hace más de 20 años me impulsa a tratar de ser mejor.

A Sofía y Emiliano, por quienes tiene sentido intentar superarme.

Prólogo 11
Introducción 13

Capítulo 1. Técnicas, principios y conceptos básicos

Los sistemas de información geográfica 29
 Definición 30
 Componentes de un SIG 33
 Clasificación y estructura de la información en los SIG 46
 Funciones operativas de un SIG 69
 Potencial de aplicación de los SIG en el transporte 80
 El Sistema de Posicionamiento Global. Definiciones conceptuales
 y principios operacionales 85
 Componentes 86
 Funcionamiento 90
 Aplicaciones en el transporte 94

Capítulo 2. El Siget. Métodos, organización y descripción operativa

Generación de la información básica y estructura operacional ... 101
 Estructura de la información y programación esquemática 106
 Personalización de la interfaz para usuario final 112
 Descripción del contenido y funciones de cada módulo
 del Siget 114
 Alcances y potencial de utilización 131

Capítulo 3. Aplicaciones multitemáticas

Sistema de Información para el Análisis Espacial de Riesgos

| | |
|--|-----|
| en la Red Nacional de Carreteras | 140 |
| Definición, objetivos y marco conceptual de referencia | 140 |
| Planteamiento del proyecto | 145 |
| Avances alcanzados por grupo de riesgos y perspectivas de desarrollo del proyecto | 152 |
| Subsistema de atención de emergencias. Avances y perspectivas | 163 |
| Transporte y Accesibilidad en la Cobertura Regional de los Servicios Básicos de Educación y Salud. El caso de Querétaro | 170 |
| Definición, objetivos y marco conceptual de referencia | 170 |
| Estudio de caso. El estado de Querétaro | 177 |
| Sistema de Información Geográfica para el Proceso Binacional de Planeación y Programación del Transporte Fronterizo | 188 |
| Antecedentes | 190 |
| Alcances | 191 |
| Avances | 192 |
| <i>Corolario</i> | 199 |
| <i>Bibliografía</i> | 203 |

El transporte es una actividad integradora del territorio. Permite el intercambio de bienes y servicios entre los habitantes, y de los habitantes mismos, de un espacio geográfico determinado cuyas fronteras son cada vez más amplias y flexibles. El transporte se relaciona con la economía, con la sociedad y con la naturaleza, por lo cual en el desarrollo de su planeación siempre ha requerido de datos de características y fuentes diversas.

En las últimas décadas, los sistemas de información geográfica (SIG) y tecnologías asociadas, como la percepción remota y los sistemas de posicionamiento global, se han constituido como herramientas indispensables en la toma de decisiones relativas a la planeación del transporte en sus diferentes modalidades. No obstante el común y creciente uso en el sector transporte de estas tecnologías a nivel mundial, en México son aún escasos los ejemplos en los que estas herramientas han sido desarrolladas y aplicadas. Entre estos esfuerzos destacan los que realiza la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, sin duda pionera en nuestro país en el diseño y aplicación de sistemas encaminados a la localización de la infraestructura carretera y atributos asociados, así como en temas de accesibilidad en la cobertura de servicios básicos, programación del transporte y la evaluación de riesgos en la red nacional de carreteras.

En el trabajo pionero desarrollado por el IMT se destaca la integración de los SIG con los sistemas de posicionamiento global (GPS) desde mediados de la década de los noventa, en que se llevó a cabo un levantamiento nacional de la red carretera primaria y secundaria, siendo éste el primer esfuerzo de este tipo en el país (y en el mundo) y cuyos resultados sirvieron de base para diversos estudios posteriores, parte de los cuales quedan plasmados en este trabajo.

La madurez del trabajo que desarrolla el IMT por más de una década en estos temas, se cristaliza en el diseño, conceptualización y desarrollo del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget), sistema que por sus características puede considerarse único en México. En este trabajo, el autor describe el Siget en sus componentes y algunas de sus actuales aplicaciones y plantea otras líneas y temas que pueden considerarse para el caso específico del sector y que son, además, aplicables en otros campos.

El libro constituye un aporte importante para el transporte y del uso y aplicación de los sistemas de información geográfica. En su parte conceptual, resume los aspectos más importantes de las tecnologías SIG y GPS cuyo uso es cada día más frecuente en campos muy diversos y que son de interés no solo para geógrafos, sino en general para los manejadores expertos de información espacial, en donde la ubicación es relevante. En la parte sustantiva del trabajo, se refieren las características del Siget, descrito como una herramienta computacional, diseñada y programada para la incorporación, almacenamiento, visualización y análisis de información geográfica y no geográfica relacionada con el transporte. Finalmente, se desarrollan algunas de las aplicaciones del Siget encaminadas a la evaluación de riesgos de la red carretera, cobertura regional de servicios básicos y la planeación y programación del transporte, temas que conforman una lista, más que exhaustiva, indicativa del número creciente de aplicaciones de las tecnologías de punta utilizadas en el manejo de la información geográfica y en la toma de decisiones encaminada al mejor uso de los recursos y del territorio.

José Luis Palacio Prieto*

* Es doctor en geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México, con especialización en manejo de cuencas hidrográficas y conservación, así como en sistemas de información geográfica y procesamiento digital de imágenes de satélite por el Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Investigador nacional Nivel II y profesor en el posgrado en Geografía e investigador del Departamento de Geografía Física del Instituto de Geografía de la UNAM. Autor de varios artículos y libros, vicepresidente de la Unión Geográfica Internacional y vocal de la Unión de Geógrafos de América Latina. Fue director del Instituto de Geografía de 1997 a 2004 y actualmente es Director General de Estudios de Posgrado de esta Universidad.

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 con 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 autor de esta obra inició, desde 1991, en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), una línea de investigación inscrita en el marco de la temática que asocia el análisis del transporte y el espacio geográfico, tendiente a evaluar las denominadas tecnologías geoinformáticas 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 el 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 por obtener información precisa y actualizada sobre la localización de la infraestructura y de sus atributos asociados —características y condiciones operativas de la misma—, a iniciativa y dirección del autor, es que el IMT 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 Geoestadística para el Transporte (Siget), mediante el empleo de receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) 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 geoinformática 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 desde la perspectiva de análisis geográfico. 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.

Transporte y espacio geográfico. Definición de una relación unívoca

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 a múltiples actores —transportistas, usuarios, autoridades, etcétera—; realiza funciones diversas —comunicación, integración, traslado de bienes y personas, entre otras— y requiere de diversas tareas para su ejecución —planeación, organización, diseño, construcción de infraestructura, mantenimiento, operación, etcétera.

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 las tecnologías geoinformáticas y, en particular, de los 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 Board¹ identificó múltiples campos de desarrollo, entre los cuales destacan la 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 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 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.

Potencial de utilización de los SIG en el transporte

Las ventajas de uso de los SIG en el transporte 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, etcétera— 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, etcétera— 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 usan los SIG para planear, diseñar, construir, operar y mantener carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos alrededor del mundo. Se espera que su uso se triplique en los próximos cinco años. La infor-

mación es pública a través de Internet y es posible mantener mapas actualizados en tiempo real.²

La dependencia del transporte en la vida cotidiana se puede ilustrar con algunas cifras: se calcula que en EUA cada ciudadano pasa una hora y media por día en un camino, y la Federal Highway Administration (FHWA) estima que el uso de las carreteras se incrementará 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 creciente.³ 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 enfrentan la necesidad 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, pero también mapas dinámicos resultado de monitorear vehículos en ruta, condiciones de tránsito del camino, interrupción del paso, etcétera. Asimismo, apoyan el diseño y construcción de carreteras combinando información técnica-ingeneril con características del paisaje, condiciones de los ecosistemas e inclusive atendiendo a 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 que combina información demográfica y uso del suelo, prospectiva y modelación de escenarios de demanda de infraestructura y servicios de transporte, etcétera.

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—, etcétera.

Aplicaciones geoinformáticas en el transporte.

Referencias en el mundo

Un ejemplo relevante del uso de los SIG para la gestión de un sistema integral de transporte es 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 territorio.⁴

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, visualizar 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, etcétera, 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 ad-

ministra más de 51,000 km de carreteras y 8,000 puentes en 112,000 km² de superficie.⁵

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 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 6 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 público.⁶

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 (Road Management System for Europe, Romanse).⁷ 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 instantáneos del flujo vehicular, de la situación de la red vial, de la dispo-

nibilidad 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.⁸

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

En el caso del Departamento de Transporte de Wisconsin el reconocimiento a la utilidad de los SIG justificó el diseño del Sistema de Apoyo a las Decisiones para la Administración de Pavimentos (Pavement Management Decision Support System, PMDSS), el cual es resultado de aplicar y agregar los conceptos y operaciones de un SIG a un sistema automatizado de administración de pavimentos. La información contenida en la base de datos comprendió la red estatal de carreteras, con una longitud total de 12,000 millas, los límites administrativos del área de trabajo, los tipos de suelo, la red hidrológica, las localidades, etcétera, además de datos específicos acerca de puentes, accidentes, características del pavimento por segmentos y niveles de intensidad de tránsito, entre otros.⁹

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 —por ejemplo, deterioro de pavimentos y volumen de tráfico—, pueda com-

binarse 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, etcétera.

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° por número de operaciones en Estados Unidos, emplea un SIG para visualizar las trayectorias de los vuelos en tres dimensiones, para 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.¹⁰

En el transporte ferroviario también se usan los SIG para administrar el equipo rodante, las vías, los bienes inmuebles y la carga; un caso sobresaliente es la empresa Conrail de Filadelfia, Pensilvania,¹¹ en la que parte de su éxito comercial procede del uso de Arc-Info 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 deci-

sión crítica que puede significar una diferencia hasta de horas en el tiempo de recorrido. Por ello, cada día es mayor el uso de los SIG para agilizar el tránsito vía la transmisión de información oportuna al usuario del transporte. Un buen ejemplo de esto se encuentra en Seúl, la capital de Corea del Sur, donde hace cinco años se creó, para tal fin, el Centro de Información de Tráfico que, con base en un SIG, proporciona a los conductores, a través de Internet, las condiciones del tránsito, el clima, rutas alternas, etcétera —www.kortic.co.kr/.¹²

La utilidad se extiende a los 27 millones de personas que viven en Seúl y ciudades vecinas, muchos de los cuales se trasladan a la mayoría de los negocios y comercios que se ubican 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 son desplegados en mapas actualizados cada 10 minutos, con la información de velocidad de desplazamiento del flujo vial por carril, todo puesto a disposición del público en Internet.

Los investigadores coreanos creadores de este sistema han trabajado con los fabricantes de autos de su país para que, desde 2003, los vehículos cuenten 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; también se pretende extender su uso a otras ciudades.

Situación y experiencias 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 por el IMT. 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), como aproximación geoinformática para el análisis espacial del transporte.

Al interior del IMT, la propia consolidación de la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial (USIG), encargada del desarrollo de las tecnologías de georreferenciación, ha permitido apoyar la realización de aplicaciones en áreas diversas, como son la infraestructura para el transporte y el diseño de un módulo de análisis geográfico dentro del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (Simap).¹³ Asimismo, recientemente se ha desarrollado un sistema integral para la gestión de carreteras administradas por el organismo paraestatal Capufe y, en equipamiento para el transporte, se diseñó una interfaz de análisis geográfico para el programa nacional de evaluación de la corrosión en puentes; también 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 USIG, 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 Preventiva,¹⁴ y la utilización de ArcInfo y ArcView para el análisis de costos de operación vehicular en la red carretera federal.¹⁵

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 SCT. Entre las aplicaciones desarrolladas sobresalen 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 Subdirección de Cartografía de la Dirección General de Planeación, 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 de Evaluación y Planeación de esa secretaría, en los cuales el IMT ha marcado las directrices para conformar sistemas de apoyo en la toma de decisiones, a nivel regional, con base en la adaptación del Siget; asimismo, se ha apoyado la realización de otras aplicaciones, de las que se da cuenta en el presente libro, 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.

Mención aparte merece la creación del Comité Técnico Sectorial de Estadística y de Información Geográfica, en cuyo seno se suman diversas dependencias de la SCT y el INEGI; este comité contribuye decisivamente con la plataforma geoinformática del sistema IRIS,¹⁶ base para la programación del sistema de información geoestadística del sector comunicaciones y transportes (SIG_SCT), actualmente en desarrollo tripartita entre la SCT, el IMT y el propio INEGI, y que tiene como cimiento y estructura al Siget.

En otros ámbitos, la experiencia de utilización de 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 sobre-

salen 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 flotas, servicios proporcionados por empresas como “Intelecom” y “Tecnología QW”, agentes comerciales de la empresa paraestatal Movisat dependiente del organismo público desconcentrado 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 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 georeferenciada 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 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.
- Evaluar el potencial de aplicación del Siget mediante su utili-

zación en proyectos con temática variable y multifinalitarios.
Estructura del libro

En el primer capítulo se describen los antecedentes y el marco conceptual de referencia de las herramientas geoinformáticas 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 periodo de levantamiento— en la creación, en formato digital, de bases de datos georreferenciados, consistentes en el 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 periodo, 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, ya liquidada, 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, en el tercer capítulo se reseñan algunas de las aplicaciones multitemáticas desarrolladas con base en el Siget, demostrativas de la relación indisoluble entre el transporte y el espacio

geográfico; así, se resalta la importancia y el potencial de utilización, específicamente para los Centros SCT y dependencias de las oficinas centrales de esa secretaría, con los avances parciales de proyectos en desarrollo, realizados por el autor en el propio IMT con datos de diferentes entidades federativas, escalas y contenidos. Los proyectos presentados que ponen de manifiesto la diversidad temática de utilización del Siget son: 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, el Sistema de Información Geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo.

NOTAS

- ¹ S. Lewis & D. Fletcher, *An Introduction to GIS for Transportation*, Transportation Research Board, Annual Conference, Washington, D.C., 1991.
- ² L. Lang, *Transportation GIS*, USA, ESRI Press, 1999.
- ³ *Ídem*, p. VII.
- ⁴ *Ídem*, p. 11.
- ⁵ *Ídem*, p. 101.
- ⁶ *Ídem*, p. 21.
- ⁷ www.romanse.org.uk
- ⁸ A.P. Vonderohe *et al.*, "Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation", *Transportation Research Board*, NCHRP Report 359, Washington, D.C., 1993.
- ⁹ *Ibidem*.
- ¹⁰ www.macavsat.org
- ¹¹ L. Lang, *op. cit.*, p. 63.
- ¹² *Idem*, p. 112.
- ¹³ O.G. García y P.M. Backhoff, *El módulo geográfico del SIMAP*, publicación técnica núm. 92, México, Instituto Mexicano del Transporte, 1997.
- ¹⁴ A. Mendoza *et al.*, "Geographic Information System-Based accident data Management for Mexican Federal roads", en *Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board*, núm. 1746, Washington, D.C., National Research Council, 2001, pp. 74-83.
- ¹⁵ J.R. Leyva Castro, *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.
- ¹⁶ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, *Información referen-*

ciada geoespacialmente integrada en un sistema, IRIS 2.0, México, INEGI, 2003.

Técnicas, principios y conceptos básicos

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, Burrough¹ ha señalado que estos sistemas 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. En consecuencia, son 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 puede, a la vez, 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 sí y formar jerarquías de objetos entrelazados. Aparte de la información geográfica, que incluye 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 de estar ligadas con las bases de datos geográficas, ya que, de no ser así, se estaría desperdiciando la potencialidad del sistema y no se estarían aprovechando las virtudes de la representación territorial.

Definición

Un SIG nos permite ver el mundo y lo que hay en él, con una perspectiva distinta (véase figura 1.1).

Las definiciones tradicionales los describen 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: un sistema que, por medio de computadoras y datos geográficos, nos ayuda a tener un mejor entendimiento del mundo en que vivimos y a resolver los problemas que afrontamos diariamente.

A menudo, en casi todas las disciplinas, se toman 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 SIG.



FUENTE: Elaboración del autor 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 los mapas tradicionales, los de un SIG cambian dinámicamente en la me-

didada que los datos alfanuméricos son actualizados. En la práctica, estos sistemas pueden “mapear” cualquier información almacenada en bases de datos o tablas con un componente geográfico, lo cual posibilita visualizar patrones, relaciones y tendencias. Con este tipo de sistemas se tiene una perspectiva nueva y dinámica en el manejo de la información con el fin de ayudar a tomar mejores decisiones.

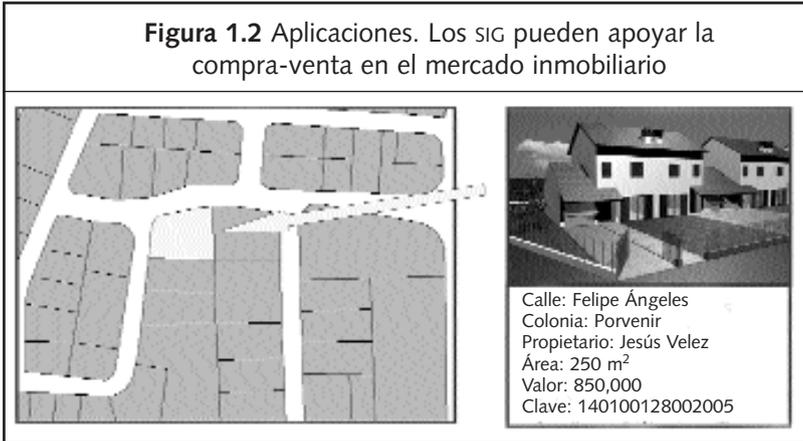
El campo de utilización de los SIG es tan amplio como el del quehacer geográfico, de manera que es aplicable lo mismo en materia de servicios a la población, que en actividades económicas, protección del medio ambiente, planeación de uso del suelo, administración de recursos naturales, análisis demográficos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

La utilidad de los SIG no tiene duda, sin embargo, su uso cada vez más extendido sí presenta 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”.²

No obstante, es irrefutable que casi todo lo que pasa en la vida cotidiana ocurre en algún lugar, saber dónde sucede resulta de vital importancia en cualquier toma de decisiones; por tanto, la información geográfica es fundamental.³ Los grandes problemas que aquejan hoy en día a la humanidad, como la sobrepoblación, el hoyo en la capa de ozono, la expansión del SIDA y otras enfermedades, la deforestación, los desastres naturales, etcétera, tienen todos una dimensión geográfica que resulta crítica.

La información geográfica es importante inclusive en situaciones como la de buscar una nueva casa, ya que se tienen 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, etcétera (véase figura 1.2). 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.



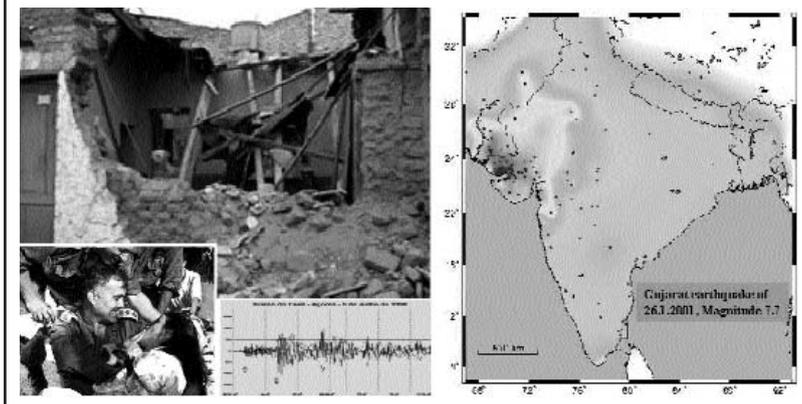
FUENTE: Elaboración del autor.

De igual manera, los SIG también son instrumentos de apoyo valiosos 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; en este caso 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 (véase figura 1.3).

Componentes de un SIG

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

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

EQUIPO (HARDWARE)

El *hardware* es la computadora con la que 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, de acuerdo a las necesidades del usuario. En un ambiente corporativo se utilizan generalmente servidores y equipos de escritorio conectados en red.

También forman parte del *hardware* los periféricos o equipo adicional, como son: *plotters* para impresión de mapas, mesas digitalizadoras, *scanner*, impresoras y unidades de almacenamiento.

PROGRAMAS (SOFTWARE)

El *software* o programas para un SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, acceder, analizar, visualizar y representar cartográficamente la información geográfica. Se debe dis-

poner 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 que existen 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.

| Cuadro comparativo de algunos de los programas de SIG más usuales | | | | |
|---|---|--------------|----------------------|--|
| <i>Software</i> | <i>Desarrollador</i> | <i>Costo</i> | <i>Funcionalidad</i> | <i>Características principales</i> |
| ArcInfo | Environmental Systems Research Institute (ESRI) | Alto | Alta | Modular, con facilidades para desarrolladores de sistemas y usuarios de nivel profesional. Construcción de topología. Manejo de grandes volúmenes de datos. Manejo de información en formato vectorial y <i>raster</i> . 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 <i>raster</i> . Interfaz |

Continúa...

| Continuación... | | | | |
|--|--------------------------|-------|-------|--|
| | | | | 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 <i>raster</i> . 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 ArcInfo. 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 Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, ITC. | Medio | Medio | Manejo de Información <i>raster</i> . 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 <i>raster</i> . Interfaz gráfica mejorada. |
| Idrisi | Escuela de Geografía de la Universidad de Clark | Bajo | Bajo | SIG <i>Raster</i> . Muy usado para educación e investigación en sensores remotos. |
| GRASS | Armada de Estados Unidos | Bajo | Bajo | SIG <i>Raster</i> . Fue desarrollado para cumplir funciones muy específicas. |

Hoy en día, se ofrecen en el mercado más de 100 sistemas o paquetes comerciales con las capacidades de un SIG; la empresa de análisis mercadológico Daratech reportó que, para el 2000, el valor de la industria SIG en el mundo entero —*software, hardware* y servicios— alcanzó casi 7,000 millones de dólares, con un crecimiento anual de 10%.⁴

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

| Clasificación de los principales programas de SIG, basada en su funcionalidad y tipo | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------|--|-------------------------------------|---|
| 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 | Arc- Explorer | GeoMedia Viewer | ProViewer | Por especificación o <i>customized</i> |
| Biblioteca para desarrollo o <i>component</i> | Incluido en diversos paquetes | Map Objects | Parte de GeoMedia | MapX, MapJ | Parte de Smallworld GIS |
| Portátil o <i>Hand-held</i> | OnSite | ArcPad | En desarrollo | MapXtend | Scout |
| SIG de escritorio o <i>desktop</i> | Autodesk Map | ArcView | GeoMedia | MapInfo professional | Spatial Intelligence |
| Professional | Autodesk Map | ArcInfo | GeoMedia Pro | MapInfo professional | Smallworld GIS |
| Servidor de Bases de Datos | Vision | ArcSDE | Utiliza Oracle Spatial | SpatialWare | Parte de Smallworld GIS |
| CAD | AutocAD MAP | ArcCAD | Incluido en diversos paquetes | Incluido en diversos paquetes | Parte de Smallworld GIS |

FUENTE: P.A. Longley, *Geographic Information Systems and Science*, Wiley & Sons, England, 2001, p. 171.

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 geoprosesamiento avanzados, y otras herramientas especializadas. El SIG profesional ofrece múltiples capacidades de análisis espacial; ejemplos de estos programas son ESRI ArcInfo y Smallworld. La gente que los usa 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 dólares.⁵

Sistema de Información Geográfica de Escritorio (Desktop GIS). En los últimos años, este tipo de paquetes (también llamado *desktop mapping system*), ha crecido hasta llegar a ser el más ampliamente usado en esta categoría de *software*. Con la particularidad del uso de datos más que la creación de los mismos, cuenta con excelentes herramientas para hacer mapas, reportes y gráficas.

Gran parte de las capacidades 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, etcétera. Asimismo, se pueden incorporar datos no gestionados directamente por el SIG de escritorio, como sonido, imagen de video, fotografías, entre otros. 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 y bases de datos. 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 de 85%— contengan un componente geográfico, permite que el SIG de escritorio muestre patrones, relaciones y tendencias que de otra manera serían difíciles de detectar.

En la actualidad, 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, etcétera. El requisito para explotar estas aplicaciones es que se suministren los datos 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, incluso 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, como manejo tridimensional y 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 Map, ESRI ArcView, Intergraph GeoMedia, Idrisi, de los laboratorios de la Universidad de Clark y MapInfo profesional. Los usuarios a menudo ven un SIG de escritorio sólo como una herramienta que permite hacer su trabajo más rápido, más fácil y más económico, en campos tan diversos como: planeación, ingeniería, docencia, mercadotecnia y otras profesiones.

El precio es notablemente menor que el anterior tipo, varía de 1,000 a 2,000 dólares.⁶

Sistema de Información Geográfica Portátil (Hand-Held GIS). En los años recientes, la miniaturización en el diseño de los equipos se ha perfeccionado, a tal grado que se ha hecho posible el desarrollo del SIG móvil de uso personal en sistemas portátiles. Con capacidades similares a los sistemas 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 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 ahora disponibles por varios desarrolladores, entre los que destacan Autodesk OnSite, ESRI ArcPad, y Smallworld Scout y su precio promedio es de alrededor de 500 dólares, por supuesto, sin considerar el costo de la computadora portátil.⁷

Biblioteca para desarrollo (Component GIS). Con el desarrollo de programas o *software* con base en componentes, algunos desarrolladores ofrecen paquetes que reúnen una biblioteca o colección relacionada a componentes o algoritmos del SIG. Estos son realmente un conjunto de herramientas con funciones —componentes— de SIG, que un programador con conocimientos razonables puede usar para construir un sistema completo personalizado. Este tipo de sistema es de interés para los desarrolladores, porque puede usar los componentes para crear aplicaciones óptimas altamente especializadas y personalizadas, que pueden instalarse 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 del SIG de componentes son ESRI MapObjectcs, 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 utilizan un SIG, en virtud de que está ensamblado en otras aplicaciones —por ejemplo, sistemas de ruteo, atlas interactivos, etcétera.⁸

Explorador o visualizador. A fines de los años noventa, 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 estos se incluían ArcExplorer, introducido por ESRI, GeoMedia de Intergraph, así como Viewer y ProViewer de MapInfo.

Actualmente, los SIG para visualización representan una significativa categoría de productos. La intención detrás de estos 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 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 ayuda en edición, análisis sofisticados, modelación o personalización.⁹

SIG en Internet. Son productos con alto potencial de usuarios y bajos costos. 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. Es 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 que crezcan significativamente las capacidades de los SIG en Internet y llegarán a ser el SIG dominante como mecanismo de distribución de aplicaciones.¹⁰

Ejemplos de productos de SIG para Internet son Autodesk MapGuide, ESRI ArcIMS, Intergraph GeoMedia WebMap y MapInfo MapXtreme. Los precios varían de 5,000 hasta 25,000 dólares, en relación al tamaño de los sistemas, su funcionalidad y las facilidades de multiusuario.

Otros programas con funciones tipo SIG son:

SIG con base en CAD. Este tipo de paquetes surgen como sistemas de diseño asistido por computadora 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 Arc-

CAD 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 sus capacidades para almacenar y procesar información geográfica. Los propios desarrolladores de SIG también 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 usuarios.¹¹

Finalmente, conviene resaltar que, de acuerdo con la clasificación antes expuesta, el tamaño del mercado mundial en el 2000, medido en número de usuarios, fue de 5,000,000, de los cuales, 3,000,000 corresponden a usuarios por Internet, 1,000,000 del tipo explorador o visualizador, 850,000 usuarios del tipo SIG de escritorio, y los demás con cantidades mucho menores.¹²

DATOS

Los datos son un componente muy importante en un SIG. Los datos espaciales y los tabulares relacionados pueden ser recolectados directamente o adquiridos con proveedores comerciales. 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 organizarlos y administrarlos.

Los sistemas de manejo de bases de datos son especializados en almacenar y administrar todo tipo de datos, incluso datos geográficos. Los RDBMS son optimizados 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 per-

miten la conectividad a los RDBMS más comunes que operan sobre plataforma UNIX como lo son: Oracle, INGRES, INFORMIX, DB2, AS400, SYBASE y sobre plataformas Microsoft utilizando protocolos ODBC.

Oracle desarrolló recientemente 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 SIG.¹³ 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 existentes en papel, mapas digitales, GPS, imágenes de satélite, ortofotos, etcétera.

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 cerrar los polígonos, fundamental en el cálculo de áreas. Otro proceso común es la conversión entre formatos.

Normalmente, los SIG tienen herramientas que permiten hacer estas conversiones, no obstante, este proceso es altamente dependiente de la calidad de la información en el formato nativo, por lo tanto es muy recomendable estudiar las estructuras de los datos del formato original. Un formato común de intercambio vectorial es el DXF creado por Autodesk.

En el 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 Geospatial Consortium (OGC). Ésta 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 ArcInfo, Intergraph Corp. de GeoMedia, GE Smallworld, desarrollador de Smallworld GIS, Genasys Inc. de Genasys, y Mapinfo Inc. fabricante de Mapinfo.

PERSONAL

Los integrantes más importantes de un SIG son las personas que lo hacen posible, su nivel de calificación será más determinante para el éxito o fracaso del sistema que cualquier otro elemento técnico.¹⁴

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.

MÉTODOS O PROCEDIMIENTOS

El éxito al 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 el cómo realizar las 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, la estructura, diagrama de flujo, etcétera.

Clasificación y estructura de la información en los SIG

Cuando se planea emplear un SIG, es necesario tener una idea clara de todo el proceso, aun cuando los detalles precisos de cada etapa dependen de los resultados de las etapas previas. Es imprescindible tener una visión general de todo el sistema y lo que se espera de éste. Podría ser frustrante que después de haber invertido gran cantidad de esfuerzo en el desarrollo del mismo, éste no cumpla con las expectativas planteadas.

El proceso de identificar y compilar los datos necesarios en un proyecto de este tipo es, como ya se mencionó, muy costoso en términos de tiempo y recursos; puede involucrar distintas etapas u operaciones, tales como la creación de mapas por medio de trabajo de campo o por interpretación y procesamiento de fotografía aérea o imágenes de satélite; o bien, la integración de cartografía impresa y de información geográfica, ya sea mediante el registro georreferenciado con receptores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), o con información estadística o descriptiva, que pueda ser de relevancia para los objetivos del proyecto.

Dentro de un SIG se pueden almacenar dos clases principales de datos: geográficos y no-geográficos o atributos.

- Los datos geográficos son todos aquellos que poseen una referencia espacial; es decir, son los elementos referidos a su localización sobre la superficie terrestre y, por tanto, cartografiables.
- Datos no-geográficos o atributos son todos aquellos datos que no tienen una referencia espacial pero que están asociados a los primeros.

DATOS GEOGRÁFICOS

Los datos geográficos tienen, básicamente, dos componentes: la información espacial y la información de atributos. La información espacial dice donde está localizado un elemento geográfico, es decir cuales son las coordenadas, ya sean estas planas o geográficas. La información de atributos describe y/o caracteriza ese elemento. Tradicio-

nalmente, en la elaboración cartográfica la información del atributo se ha descrito a través de un símbolo de representación en los mapas. Un sistema de dibujo asistido por computadora o CAD, por ejemplo, representa con diferentes símbolos los elementos en un mapa. La diferencia con los SIG es que al elemento gráfico se asocia no solamente un símbolo de representación sino una o varias tablas de información para su posterior análisis y manipulación.

La representación de mapas en una computadora requiere de abstracción, es decir, para almacenar la información espacial podemos recurrir a entidades geométricas básicas, como: puntos, líneas y polígonos. Un punto es la representación de un par de coordenadas X, Y ; una línea es un conjunto de coordenadas X, Y ; y un polígono es un conjunto de coordenadas que envuelven un área. Otras entidades geométricas que suelen usarse son circunferencias, simples o concéntricas, elipses, etcétera.

La escala de un mapa, elemento fundamental de la representación cartográfica, define el detalle de la información y del tipo de entidad representativa de los elementos geográficos. Por ejemplo, una vivienda a escala 1:100,000 se representa con un punto, mientras que a escala 1:1,000 se representa por un polígono. La escala de trabajo y las entidades de representación las definen los objetivos de trabajo por alcanzar.

La información del elemento o rasgo espacial se almacena en tablas. Existen algunos datos que provienen de las propiedades geométricas de las entidades representadas, como son las coordenadas de un punto, la longitud de la línea y el área de un polígono. Además de esta información, pueden asociarse tablas que describen los atributos alfanuméricos del elemento. Por ejemplo, una vía puede ser representada por una línea a una escala dada. A esta línea pueden asociarse la longitud, el nombre de las vías, el estado, eventos o tipo de vía.

Finalmente, cabe subrayar que en un SIG la información se organiza por capas o coberturas, correspondientes a temas distintos —geología, suelos, vegetación, topografía, drenajes, lotes, vías, usos del suelo, división política, etcétera— que se almacena en forma separada, y cuya estructura varía según el formato de origen, vectorial o *raster*.

Los datos con referencia espacial en formato digital presentan dos tipos diferentes de estructura: la “estructura *raster*” y la “estructura

vectorial". Su utilización depende del tipo de datos que se tengan y del tipo de análisis que se pretenda realizar. No todos los sistemas de información geográfica son capaces de manipular ampliamente ambos tipos de estructuras, ya que se trabajan de manera muy diferente.

Estructura vectorial

La estructura vectorial es por naturaleza más complicada matemáticamente; un "vector" es definido como un conjunto de puntos encadenados, definidos por coordenadas, que tienen una magnitud y una dirección. Las estructuras vectoriales de datos con referencia espacial están basadas en puntos cuya localización es conocida con precisión.

El formato vectorial utiliza entidades geométricas para la representación de los elementos geográficos. La información asociada es encadenada a través de un identificador que se almacena tanto en la base de datos gráfica como en la tabla de atributos. En una estructura vectorial la información se puede almacenar por puntos, líneas, nodos y polígonos.¹⁵ La siguiente tabla muestra algunos ejemplos.

| Estructura vectorial de la información geográfica | | |
|---|--|--|
| <i>Entidad geométrica</i> | <i>Representa</i> | <i>Ejemplos</i> |
| Puntos | Fenómenos puntuales en los cuales se desea conocer la posición x, y . | Alcantarillas, casetas, bancos de material, pozos, señales, postes, hidrantes, etcétera. |
| Arcos | Fenómenos lineales en los cuales se define su posición y longitud. | Vías, drenajes, oleoductos, líneas eléctricas, etcétera. |
| Nodos | Fenómenos puntuales en la intersección de arcos. | Intersecciones o entronques, semáforos, entregas de aguas en redes de drenaje, etcétera. |
| Polígonos | Fenómenos superficiales definidos por regiones homogéneas acotadas por una frontera. | Lotes, usos del suelo, cobertura vegetal, manzanas, barrios, derechos de vías, etcétera. |

FUENTE: Elaboración del autor con base en D.J. Maguire *et al.*, *Geographical Information Systems: principles and applications*, UK, Longman, 1991.

Las entidades geométricas mostradas en la figura anterior pueden ser agrupadas para la creación de entidades más complejas. En cierta medida, un polígono es una entidad compleja conformada por un conjunto de arcos que envuelven un área. Un conjunto de polígonos puede ser agrupado definiendo áreas con características similares. Estas áreas en ArcInfo son llamadas regiones. Una región permite manejar polígonos que se sobreponen. Un ejemplo del uso de regiones es la agrupación de lotes que conforman una manzana. La gran ventaja del uso de regiones es que disminuye considerablemente la base de datos tanto gráfica como tabular.¹⁶

En los SIG vectoriales se recurre al uso del análisis topológico para definir las relaciones espaciales de los elementos geográficos. La topología es una rama de la geometría, que estudia algunas de las propiedades de las figuras en el espacio. Cuando se construye la topología de un elemento espacial en un SIG, las propiedades geométricas y topológicas son definidas y almacenadas en tablas. La estructura de esas tablas varía dependiendo del tipo de entidad, sin embargo todas ellas tienen algunas características comunes, como son que cada entidad ocupa un registro en la tabla, cada registro en la tabla contiene como mínimo el identificador que se almacena también en la base de datos gráfica y para un conjunto de datos espaciales es posible tener más de una tabla de atributos. Por ejemplo, se pueden tener tablas para puntos y arcos o para polígonos y arcos.

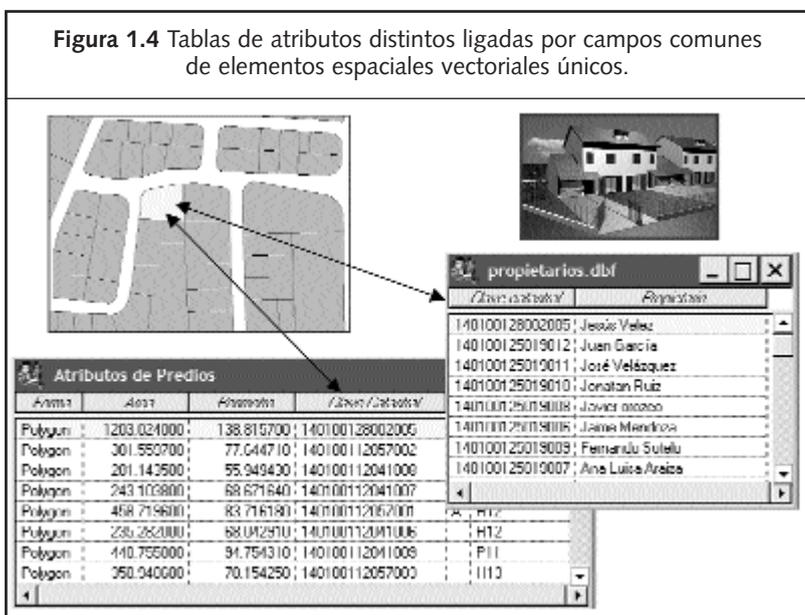
Actualmente existen varios tipos de estructuras de vectores en uso. Estos se utilizan tanto para el manejo interno de los datos como para su intercambio entre diferentes sistemas, como son: estructura de polígonos completos, estructura DIME (Dual Independent Map Encoding) y estructura ArcNodo.

Estructura *raster* (o barrido)

La estructura de datos con referencia espacial más sencilla es la *raster*; ésta ordena los datos en una forma celular o de celdas. El valor de cada parámetro de interés es almacenado en un arreglo espacial para cada celda. Por lo general las celdas son píxeles cuadrulares —aun cuando se ha tratado de implementar formas hexagonales y triangulares—, de tamaño constante dentro del mismo mapa y cuyo tamaño

está directamente ligado a la resolución de la imagen y por lo tanto a los datos asociados a ésta.¹⁷

En la estructura *raster* es posible tener varias imágenes que representen diferentes características de la misma área, por ejemplo, es posible tener imágenes de la topografía, la cobertura del suelo y la distribución espacial de un insecto, y sobreponerlos o realizar operaciones que nos permitan obtener información derivada, como la relación de altura-cobertura del suelo y presencia del vector —insecto— en áreas que presenten las mismas características de cobertura del suelo y elevación (véase figura 1.4).



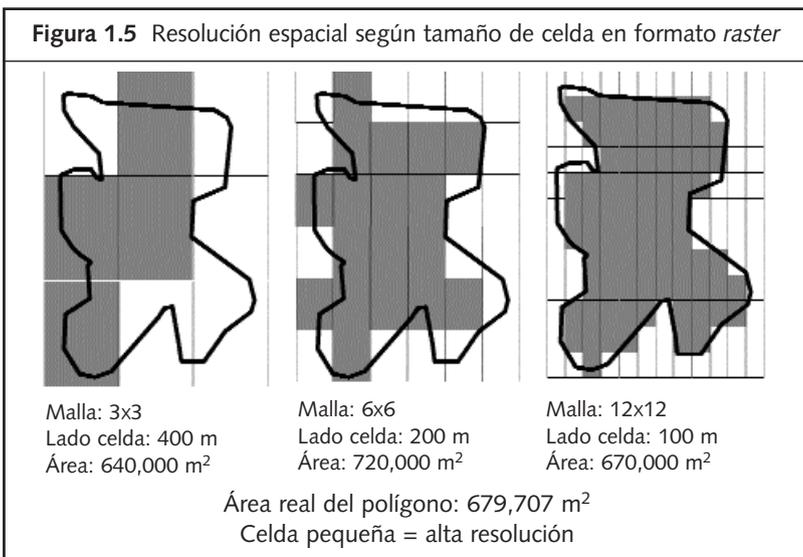
FUENTE: Elaboración del autor.

El carácter celular del *raster* obliga a tener cuidado en lo que se refiere a la relación que existe entre el tamaño de la celda y el elemento más pequeño que se desea “mapear”. Si el tamaño de la celda es similar al tamaño mínimo de mapeo, es posible que nuestra imagen omita características del terreno que son de interés para el análisis que se

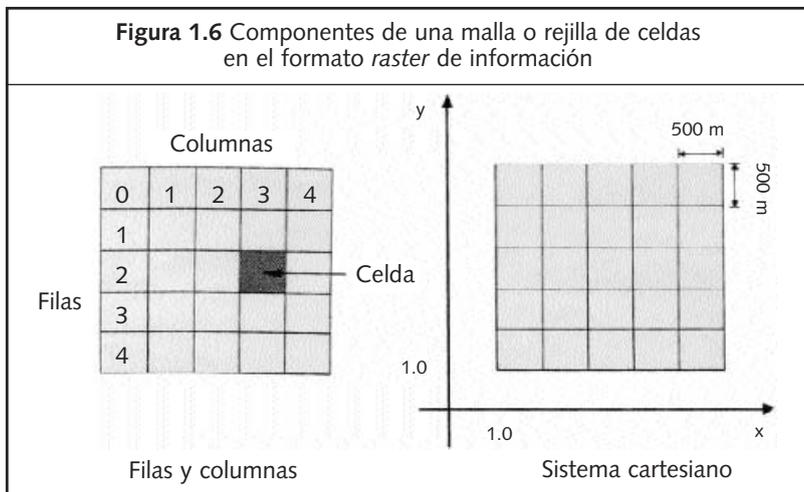
pretende efectuar. Estas consideraciones son importantes al momento de planear el proyecto. Una sugerencia conservadora es definir el tamaño de la celda de un tercio o un cuarto del tamaño de la característica más pequeña que se desea representar en el mapa.

La simpleza de la estructura *raster* permite realizar gran cantidad de operaciones ya que por su naturaleza celular, la forma natural de almacenar estas imágenes en la computadora es en forma de matriz, y, por tanto, pueden manejarse con los principios del álgebra matricial.

Hay otro elemento que interviene en la definición de la resolución o el tamaño de la celda. Dado que el atributo es asociado a cada celda como un valor único, por lo tanto, el número total de valores a ser almacenados depende del número de filas y columnas de la malla. La resolución define el tamaño de los archivos digitales así como también la precisión de localización de los elementos. A mayor precisión, mayor resolución, por lo tanto crece el tamaño de los archivos; pueden llegar a ser demasiado grandes y el procesamiento muy lento. Pero si la resolución es tosca, los datos pueden estar representados inadecuadamente (véase figura 1.5).

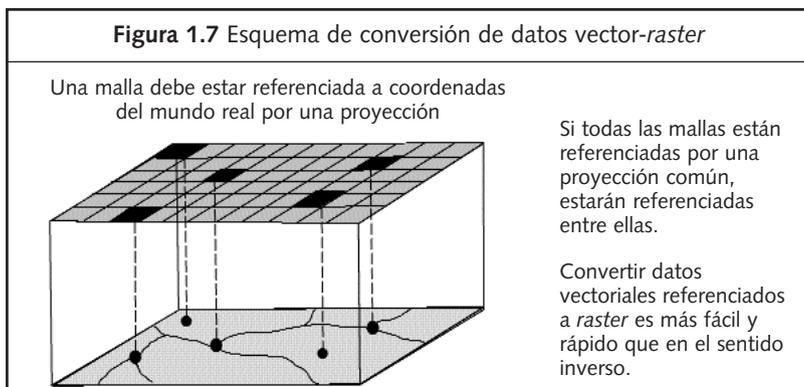


FUENTE: Elaboración del autor con base en D.J. Peuquet & D.F. Marble, *Introductory Readings in GIS*, London, UK, Taylor & Francis, 1990.



FUENTE: Elaboración del autor con base en D.J. Peuquet & D.F. Marble, *Introductory Readings in GIS*, London, UK, Taylor & Francis, 1990.

Los componentes de una malla son entonces: la celda, las filas y las columnas (véase figura 1.6); que a su vez deben estar referidas mediante un sistema cartesiano de coordenadas, proyectado cartográficamente a su posición en el mundo real para, de esta manera, hacer posible la sobreposición de otras mallas con información diversa del mismo espacio representado (véase figura 1.7).



FUENTE: Elaboración propia con base en D.J. Peuquet & D.F. Marble, *Introductory Readings in GIS*, London, UK, Taylor & Francis, 1990.

FUENTES DE DATOS GEOGRÁFICOS

Los SIG pueden manejar, analizar y representar una amplia variedad de tipos de datos geográficos, generados desde muy diversas fuentes. Desde la perspectiva del proceso de creación de las bases de datos geográficos, es conveniente clasificar a las fuentes en primarias y secundarias. Las fuentes primarias de datos son aquellas que se utilizan específicamente en un SIG mediante métodos directos de medición de los objetos registrados, mientras que las fuentes secundarias se refieren a aquellos datos capturados para otro propósito y que necesitan ser convertidos o transformados para ser usados en el proyecto SIG.¹⁸

Ejemplos de fuentes primarias de datos geográficos son, en formato *raster*, las imágenes satelitales de sensores remotos como Landsat, Spot e Ikonos, o también las fotografías aéreas digitales; y para captura de datos vectoriales, destacan los registros topográficos y de agri- mensura, por un lado, y los sistemas de posicionamiento global (GPS), por otro; cabe resaltar que las mediciones modernas en campo se realizan con equipos electro-ópticos llamados estación total, que pueden medir automáticamente ángulos y distancias con precisiones de 1 mm, con lo que se ha remplazado a los equipos tradicionales como trán- sitos y teodolitos (véase recuadro de la figura 1.8).

Los GPS son, sin duda, uno de los avances más importantes en la navegación y en las actividades relacionadas con el posicionamiento geográfico. El funcionamiento se basa en receptores móviles sobre la Tierra que capturan las señales electromagnéticas que emiten una constelación de 21 satélites en órbita. Los receptores GPS calculan su posición tridimensional mediante una operación trigonométrica con base en la señal de cuando menos cuatro satélites a la vez; esto es posible debido a que reciben codificada la información de los pa- rámetros orbitales de los satélites y la distancia se calcula midiendo el tiempo que tarda en llegar la señal que viaja a la velocidad de la luz. Finalmente, mediante un proceso de triangulación, el receptor deter- mina su posición con un margen de error promedio de 10 metros, aun con equipos de muy bajo costo (véase figura 1.8).

En el caso del levantamiento del Inventario Nacional de Infraes- tructura para el Transporte (INIT), se empleó este sistema para pro- ducir “archivos vectoriales codificados —binarios—” que, después

de un proceso de transformación, se incorporaron al SIGET como plataforma fundamental de la base de datos geográficos. La información sobre GPS se ampliará más adelante.

Figura 1.8 Sistema de posicionamiento global por satélite



Las fuentes secundarias de datos geográficos son, básicamente, documentos y mapas impresos que son integrados como bases de datos del SIG mediante procesos de creación de archivos vectoriales o *raster*. En el caso del formato vectorial, los registros se capturan a través de digitalización manual o automática, vectorización y operaciones fotogramétricas; para formato *raster*, la captura de datos se realiza con un *scanner* o barreador que convierte los mapas, planos, fotos e imágenes del formato analógico a digital. Es necesario conocer algunas coordenadas del objeto barrido para tener la posibilidad de georreferenciarlo e incorporarlo a las capas de información digital de las zonas de interés.

El proceso de digitalización convierte los mapas o las imágenes en formato digital de tipo vectorial. Esto se hace a través de dos métodos principales:

- *Digitalización manual.* El técnico sigue con un cursor todos y cada uno de los elementos de un mapa, dicho instrumento transmite a la tableta digitalizadora la ubicación exacta de los rasgos geográficos contenidos en el mapa —puntos, líneas y polígonos.
- *Digitalización automática.* Barrido de imágenes —tipo televisión— con sensores especiales o con luz láser para el trazado de las líneas y de los elementos a fin de incorporarlos al SIG. Es más rápido que el proceso manual.

La vectorización es el proceso de convertir datos *raster* a archivos de datos vectoriales; el proceso inverso es llamado *rasterización*. Generalmente, se utilizan programas que automatizan la vectorización de manera interactiva con el usuario, para evitar errores y abreviar la inevitable tarea de edición posterior; no obstante la intensiva labor que implica, la vectorización interactiva resulta mucho más productiva que la digitalización y produce datos de mayor calidad y exactitud.

La fotogrametría, por su parte, es utilizada para registrar mediciones desde las aerofotografías y otras fuentes de imágenes; a partir de los pares estereoscópicos es posible obtener modelos tridimensionales que son manejados en los SIG. También, mediante procedimientos de corrección de las distorsiones por relieve y georreferenciación, se obtienen ortofotografías de gran utilidad para análisis del territorio.

Finalmente, cabe anotar que algunas bases de datos estadísticos digitales incluyen las coordenadas de los elementos referidos —como algunos productos del INEGI. Dentro de los SIG actuales existen comandos con instrucciones predefinidas para representarlos cartográficamente, casi de manera automática.

En general, se puede afirmar que los formatos dispuestos a la venta en México son compatibles o se ajustan a los requerimientos de los actuales SIG. Además, tienen la capacidad de importar los formatos disponibles y asociarlos automáticamente a la base de atributos.

Por ejemplo, si se requieren datos sobre el Censo de Población y Vivienda de 1995 o del Censo 2000 es posible obtener por estado, los discos compactos que contienen la información respectiva y de ahí recuperar las coordenadas de todas las localidades registradas en cada entidad del país. O bien, comprar las capas de información en formato DXF e incorporarlo al SIG en uso en cada institución.

En la actualidad, el INEGI moderniza sus sistemas para ofrecer al público mapas en diferentes escalas, en formato digital, que puedan ser integrados fácilmente a un SIG, así como sistemas propietarios para la exploración, consulta y despliegue cartográfico de información estadística y geográfica. Por su parte, numerosas dependencias y organismos gubernamentales y académicos han generado una gran cantidad de información digital georreferenciada, tanto de variables medio-ambientales, como socio-económicas. En el contexto privado, la empresa Sistemas de Información Geográfica (SIGSA), ofrece cartografía digital de buena calidad, a escalas distintas a las del INEGI.

INFORMACIÓN NO-GEOGRÁFICA

Cuando hablamos de información no-geográfica nos referiremos a los atributos, mismos que son la clase de información que no tiene una referencia espacial pero que es utilizada para describir características de los objetos geográficos.

Aunque pueden ser capturados simultáneamente a los datos geográficos, es usual incorporarlos de manera independiente; en parte, debido a que es una tarea relativamente simple que no requiere de costosos equipos ni programas, y también a que algunos atributos pueden ser registrados con instrumentos de captura directa en campo o, más comúnmente, mediante el registro en una hoja de cálculo o base de datos existente.

Los datos no-geográficos o atributos que se asocian a los objetos georreferenciados pueden ser clasificados de la siguiente manera:¹⁹

- Nominales o categóricos.
- Ordinales.
- Intervalos.
- Reales o de razón.

Las *variables nominales*, como su nombre lo indica, están descritas por un nombre, y no tienen un orden específico, son mutuamente excluyentes pero no tienen relación entre sí. Ejemplo de este tipo de datos son los nombres de localidades, sexo de la población, categorías de uso de suelo, tipos de clima, etcétera.

Las *variables ordinales* son listas de clases discretas pero tienen un orden inherente, se representan comúnmente por números en un índice o escala de mayor a menor. Ejemplos de este tipo de datos comprenden el nivel de marginación, clase social, clasificaciones hidrológicas —ríos de primer orden, segundo orden, etcétera—, niveles de educación, alfabetismo, entre otras.

Las *variables de intervalo* utilizan números para describir una condición pero las diferencias entre los datos tienen un significado real. El ejemplo más claro de esto es una escala de temperaturas, en la que la diferencia entre 90 y 80 grados centígrados es la misma que entre 20 y 30. En un índice de marginación no necesariamente sería lo mismo.

Las *variables reales o de razón* son iguales que las de intervalo, sólo que, en adición, éstas tienen un punto natural de inicio o valor cero. El rango de temperaturas dentro de la escala Kelvin sería un buen ejemplo de esto, ya que tiene como referencia el cero absoluto.

Las bases de datos pueden y, en el caso de los SIG, deben estar indexadas. Esto permite que las operaciones de búsqueda y selección se realicen en forma eficiente.

Un índice es una base de datos especial que mantiene los registros debidamente ordenados basándose en una o más variables. Esto tiene el efecto de minimizar el tiempo que la computadora tarda en buscar los registros que cumplan con los criterios de búsqueda o selección.

Para poder trabajar con bases de datos relacionales es requisito que éstas estén indexadas por la variable de relación.

Para que exista dicha interacción, entre información geográfica y estadística, se requiere de un catálogo maestro o llave de acceso a los dos bancos de datos, también conocido como “campo llave”. Si, por ejemplo, el mapa contiene la división municipal, ésta debe corresponder con el mismo código que identifica los datos estadísticos de cada municipio, o bien, si la base de datos estadísticos está por puntos de interés dentro de una ciudad, la clave de esos puntos deberá estar también en la base de datos geográfica, ya que no tendría sentido y sólo ocuparía espacio de más, el que existiera en el SIG información estadística sin su correspondiente información geográfica.

Por último, cabe resaltar la importancia de elaborar los llamados “metadatos” de la información geográfica y no-geográfica. Una definición estricta sería que los metadatos son datos acerca de los datos; es decir, información que describe las bases de datos con múltiples propósitos, desde la relación de contenidos hasta las instrucciones para su manipulación.²⁰ Los metadatos son esenciales para automatizar procesos, al facilitar a los usuarios y a sus sistemas el reconocimiento de las características de la información, parámetros cartográficos, estructura y tamaño de las bases de datos, especificaciones técnicas de los formatos, programas utilizados, fechas y metodología de creación, etcétera.

La descripción de una base de datos puede generar un gran volumen de información, además de constituirse en una labor ardua, compleja y costosa, debido a que exige un elevado nivel de entendimiento de los datos y amplia experiencia profesional, particularmente cuando se carece de datos técnicos como, por ejemplo, la precisión de la cobertura geográfica de los datos, los parámetros cartográficos de proyección y *datum*, entre otras propiedades que pueden no estar fácilmente accesibles. No obstante, ante el crecimiento exponencial de información geográfica digital, resulta indispensable la creación y mantenimiento de los metadatos respectivos.

TOPOLOGÍA

En los mapas digitales vectoriales, las propiedades espaciales de los elementos y sus relaciones son determinadas a través de un procedimiento matemático conocido con el nombre de análisis topológico. La topología estudia las propiedades espaciales de las figuras geométricas que subsisten aún si éstas se someten a deformaciones tan radicales que las hagan perder todas sus propiedades métricas y de proyección en la geometría euclidiana. Los conceptos de adyacencia y vecindad, así como de intersección y de contención de un cuerpo, son en esencia conceptos fundamentales de la topología.

Toda transformación de una figura que no destruya la adyacencia de las distintas partes que la conforman se dice que es continua, si ocurre que no sólo se conservan las adyacencias sino que se crean otras nuevas, la transformación se dice que es topológica. Por lo tanto,

| Relaciones topológicas de los elementos espaciales | |
|--|--|
| <i>Relaciones espaciales</i> | <i>Propiedades espaciales</i> |
| Cada arco tiene un nodo inicial y un nodo final. | Establece una dirección y una longitud del arco. |
| Arcos conectados entre sí por medio de nodos. | Establece conectividad definiendo rutas. |
| Arcos conectados formando fronteras de polígonos. | Establece áreas y perímetros. |
| Arcos con polígonos a la izquierda y a la derecha. | Establece adyacencia. |

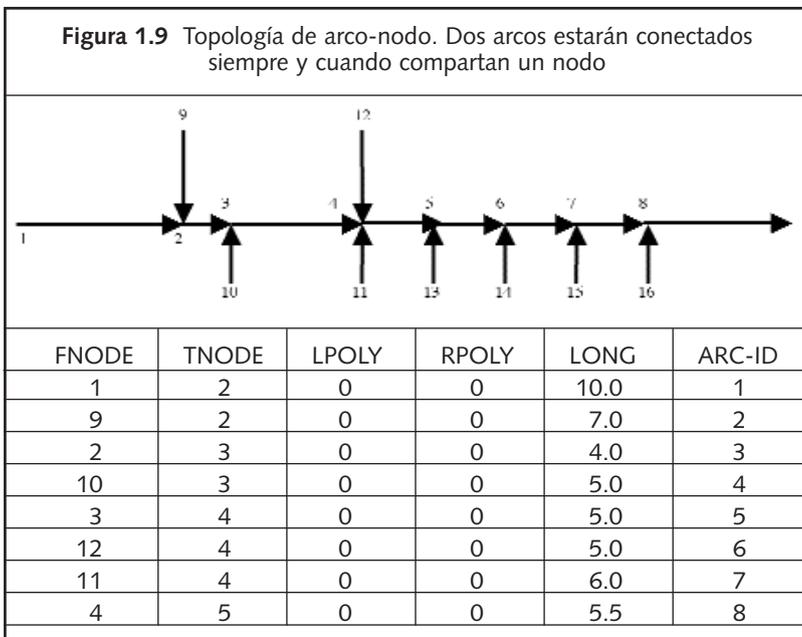
bajo la transformación topológica de una figura cualquiera, las partes que estaban en contacto siguen en contacto, y las que no lo estaban, seguirán sin estarlo; para decirlo de una forma más breve, en una transformación topológica no hay ni roturas, ni fusiones. En particular, un principio topológico es que dos puntos no se pueden unir en uno solo.

Los principales conceptos topológicos manejados por un SIG son: el de conectividad —arcos conectados a otros por medio de nodos—, la contención o definición de áreas —arcos conectados envolviendo un área—, adyacencia —arcos dotados de dirección, teniendo lado izquierdo y derecho— e intersección.

Algunas aplicaciones requieren de la utilización de la dirección del arco, tales como las redes de transporte, de drenaje y la creación de modelos de elevación digital correctos. Un buen SIG debe permitir cambiar o establecer las direcciones a los arcos, la cual está definida por el nodo inicial y el nodo final (véase figura 1.9).

La topología de polígono-arco expresa la relación entre las entidades tipo arco y entidades tipo polígono, para las cuales los arcos forman la frontera del polígono, permitiendo definir áreas y adyacencias. Dos polígonos son adyacentes si comparten un arco (véase figura 1.10).

En los SIG (véase figura 1.11), las relaciones espaciales presentes entre los elementos de un mapa se expresan con base en las características topológicas requeridas en la mayoría de los análisis espaciales, esto es:



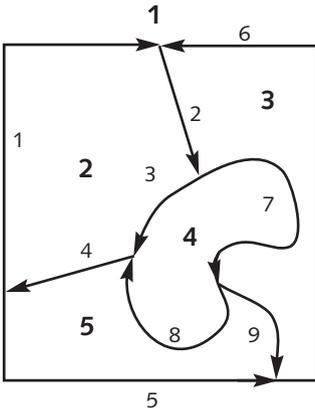
FUENTE: ESRI, *Understanding GIS, The ArcInfo Method*, 1997.

- Adyacencia y proximidad.
- Contención.
- Conectividad.
- Intersección.

Adyacencia y proximidad

Adyacencia es la relación de vecindad entre dos o más entidades geográficas que comparten límites comunes. La relación de adyacencia se presenta entre entidades cuando los rasgos geográficos percibidos como líneas o áreas sean parcial o totalmente contiguos o coincidentes. Además debe existir una base de datos geográficos que sustente esa relación (véase figura 1.12).

Figura 1.10 La topología de polígono-arco. Dos polígonos son adyacentes si comparten un arco

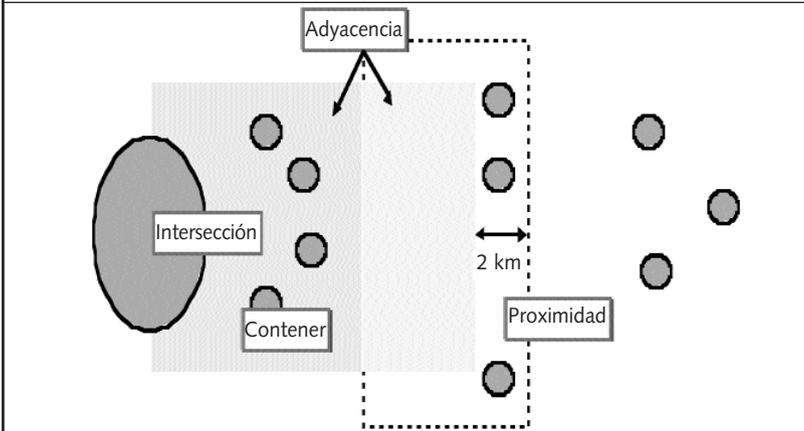


| Polígono | # de arco | Lista de arcos |
|----------|-----------|----------------|
| 1 | 3 | 1,6,5 |
| 2 | 4 | 1,2,3 |
| 3 | 4 | 6,9,7 |
| 4 | 3 | 7,8,3 |
| 5 | 4 | 4,8,9 |

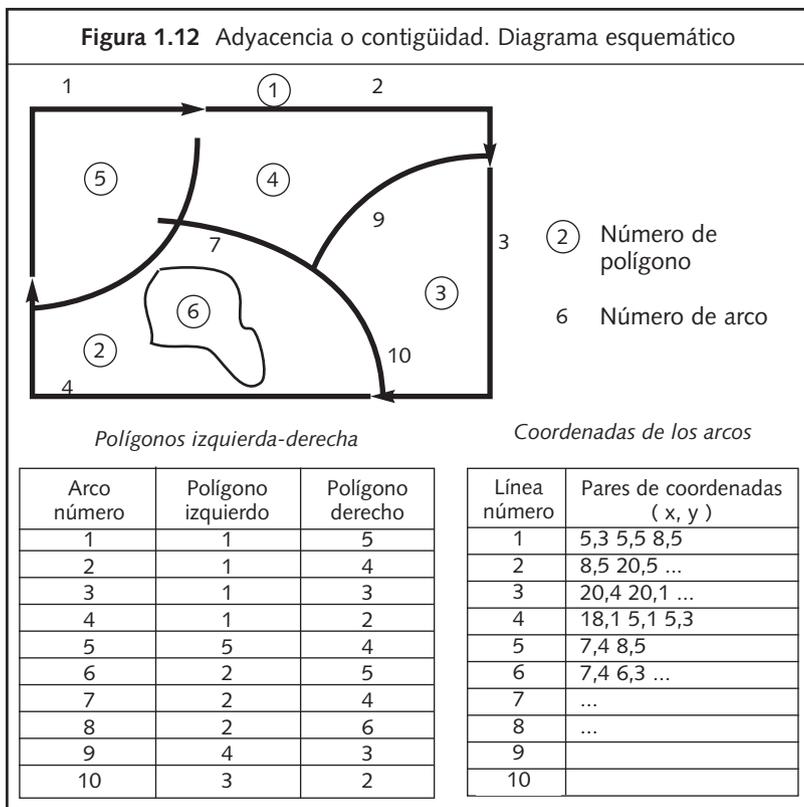
| Arco | Polígono izquierdo | Polígono |
|------|--------------------|----------|
| 1 | 1 | 2 |
| 2 | 3 | 2 |
| 3 | 4 | 2 |
| 4 | 5 | 2 |
| 5 | 5 | 1 |
| 6 | 3 | 1 |
| 7 | 3 | 4 |
| 8 | 5 | 4 |
| 9 | 3 | 5 |

FUENTE: ESRI, *Understanding GIS, The ArcInfo Method*, 1997.

Figura 1.11 Esquema de las relaciones topológicas de los elementos espaciales en un SIG



FUENTE: Elaboración del autor.

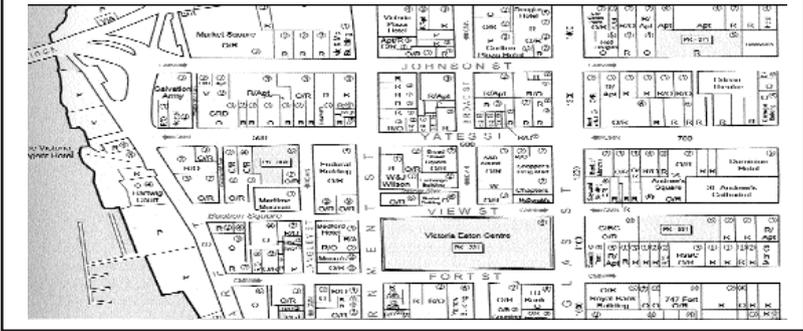


FUENTE: ESRI, *Understanding GIS, The ArcInfo Method*, 1997.

Las funciones de vecindad consideran las propiedades de la región a la que pertenece cada localización. Estas propiedades corresponden a parámetros intrínsecos derivados de su ubicación, con respecto al emplazamiento vecino. Por ejemplo, cuántos casos de cáncer se producen a una determinada distancia de una central nuclear, o cuál es el uso del suelo en lotes adyacentes (véase figura 1.13). Se pueden realizar operaciones de búsqueda, filtrado, polígonos de Thiessen,²¹ interpolación o topográficas.

La adyacencia implica que dos polígonos estén contiguos; semejante a la vecindad. Para ilustrar lo anterior, en un paquete como ArcView, se pueden identificar, por ejemplo, en el caso del estado de Yu-

Figura 1.13 Adyacencia. Lotes de terrenos contiguos destinados a diversos usos (departamentos, oficinas, parques, tiendas, etcétera)



Fuente: Colliers Internacional Real State, Victoria, British Columbia, Canadá, en *ESRI Map Book*, vol. 16, 2001.

catán, cuáles elementos son adyacentes a otro polígono, a partir de seleccionar el objeto geográfico bajo análisis.

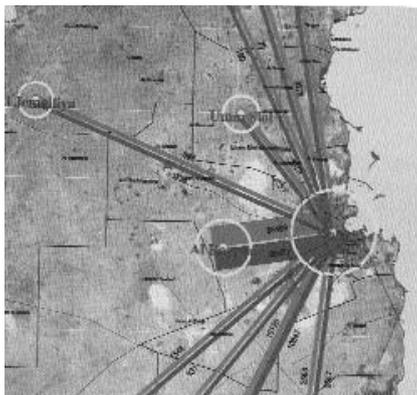
Se elige la instrucción en la cual la distancia al elemento geográfico seleccionado sea igual a 0 kilómetros o la unidad de distancia predefinida. Y el resultado es un mapa donde se resaltan los estados vecinos al de Yucatán.

Otro tipo de análisis es el de “proximidad”. En éste se buscan los objetos situados alrededor del elemento geográfico que se encuentre a una distancia determinada. Puede ser a través de una instrucción en la que se solicita se seleccionen los elementos ubicados a “x” distancia o por la creación de áreas de influencia denominadas “buffer”, que delimitan dicha área.

La proximidad es pues la relación —distancia— que comparte y al mismo tiempo separa un área seleccionada o de interés, con respecto a una entidad o grupo de entidades representados en el mismo plano geográfico.

La figura 1.14 es parte de un mapa de análisis de la demanda de viajes en Doha, Qatar, región donde se concentran más de tres cuartas partes de la población del país. El mapa muestra el flujo de viajes entre las ciudades de Doha, Al Rayyan y Al Jemaliya. Se observa que el flujo mayor se presenta con la ciudad más cercana, Al Rayyan.

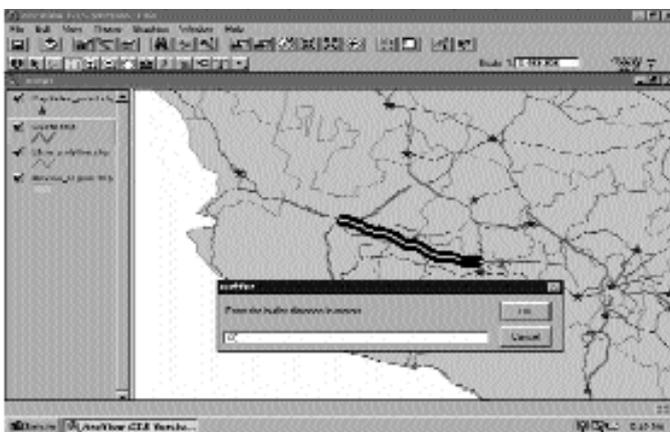
Figura 1. 14 La diferenciación de flujos de viajes entre ciudades se ve condicionada por la proximidad.



FUENTE: Planning Department, Ministry of Municipal Affairs and Agriculture, Doha, State of Qatar, en *ESRI Map Book*, vol. 14, USA, 1999.

En la figura 1.15 se ilustra la función de proximidad, otra vez desde el ambiente de ArcView y con la información del SIGET, el ejemplo co-

Figura 1.15 Proximidad. Creación de un *buffer* de 60 metros equivalente al derecho de vía



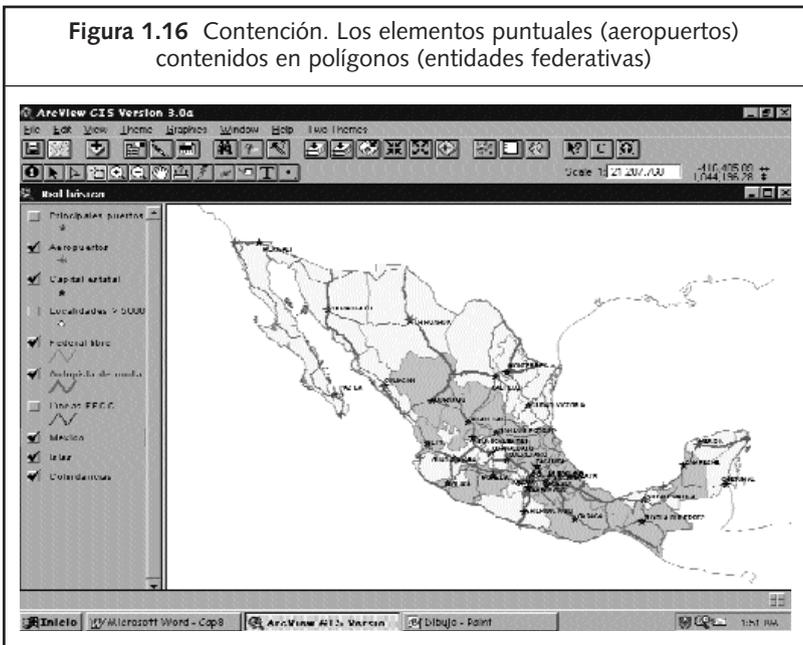
FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

responde a la creación de un “buffer” de 60 metros a lo largo de la autopista Morelia-Guadalajara, con objeto de delimitar su derecho de vía. Una vez construido el *buffer*, se pueden seleccionar los objetos que están dentro de la zona así creada.

Contención

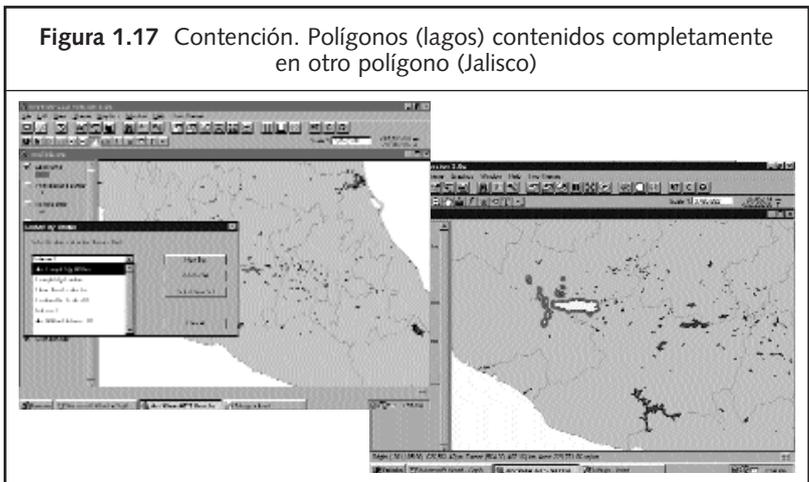
Se refiere a la entidad o entidades geográficas —puntos, líneas, polígonos— localizadas dentro de los límites de una entidad de mayores dimensiones —polígono. Indica que cualquier elemento del mapa está dentro de un polígono, bajo las siguientes modalidades:

- a) Que el polígono contenga en forma completa otro grupo de elementos puntuales. La figura 1.16 ilustra las entidades federativas que contienen los 20 aeropuertos más grandes del país.



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

- b) Que los objetos estén contenidos completamente en un polígono. Ejemplo, caso de los lagos que se encuentran completamente dentro del estado de Jalisco (véase figura 1.17).



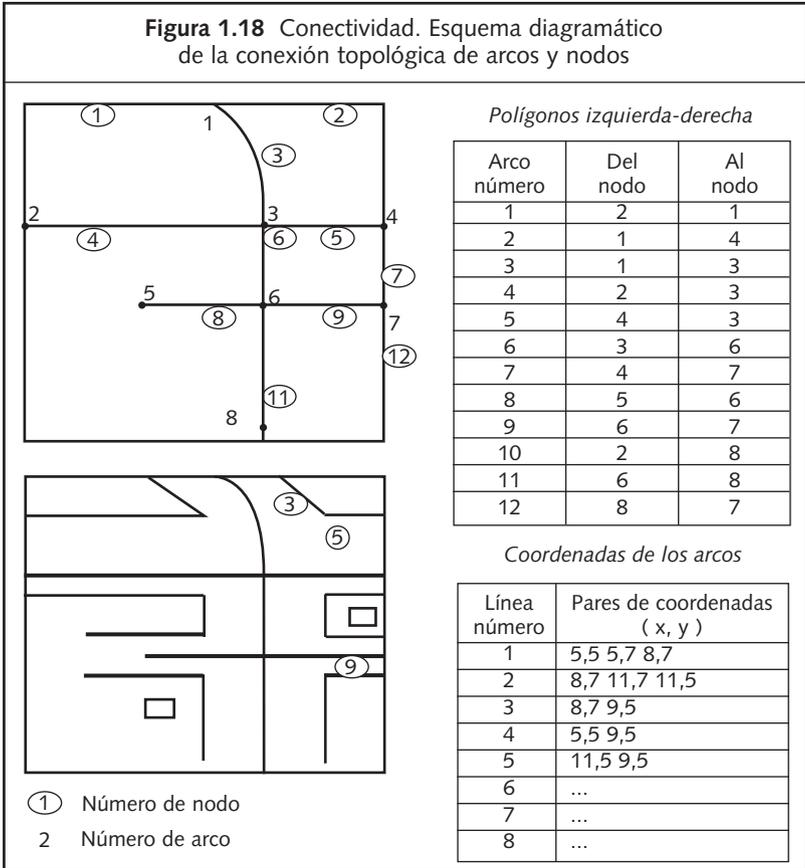
FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

El lago de Chapala no queda seleccionado porque parte de su superficie se localiza en Michoacán.

Conectividad

Es la relación de conectar físicamente entidades, se presenta cuando existe una intersección planimétrica entre los rasgos geográficos involucrados, arcos y nodos (véase figura 1.18). Comprende operaciones relacionadas con la conexión entre las entidades geográficas representadas. En este tipo de operaciones se incluyen las medidas de contigüidad, proximidad, costo, trazado óptimo, cuencas, visibilidad y análisis de redes.

Figura 1.18 Conectividad. Esquema diagramático de la conexión topológica de arcos y nodos

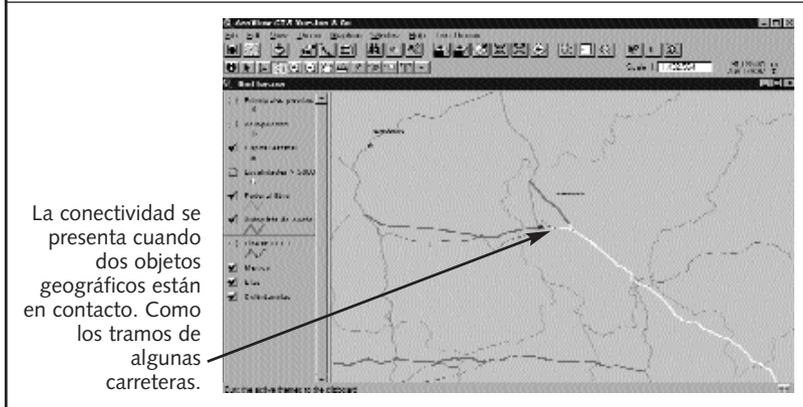


FUENTE: ESRI, *Understanding GIS*, The Arc Info Method, 1997.

Intersección

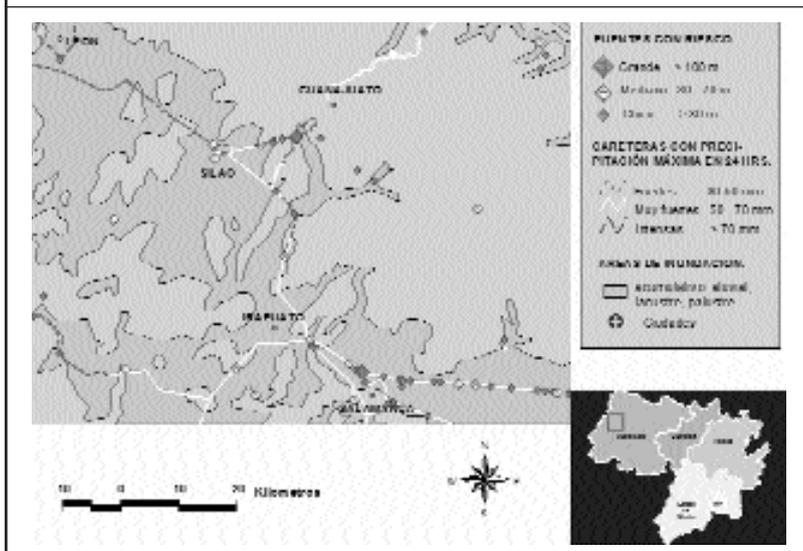
Es la relación existente entre entidades espaciales cuando el total o parte de sus rasgos físicos coinciden en una misma ubicación geográfica; cada entidad o elemento está diferenciado por su propia base de datos geográficos. Esto es, que dos objetos geográficos comparten al menos un punto o alguna área común (véase figuras 1.19 y 1.20).

Figura 1.19 Conectividad entre distintos tipos de carreteras



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

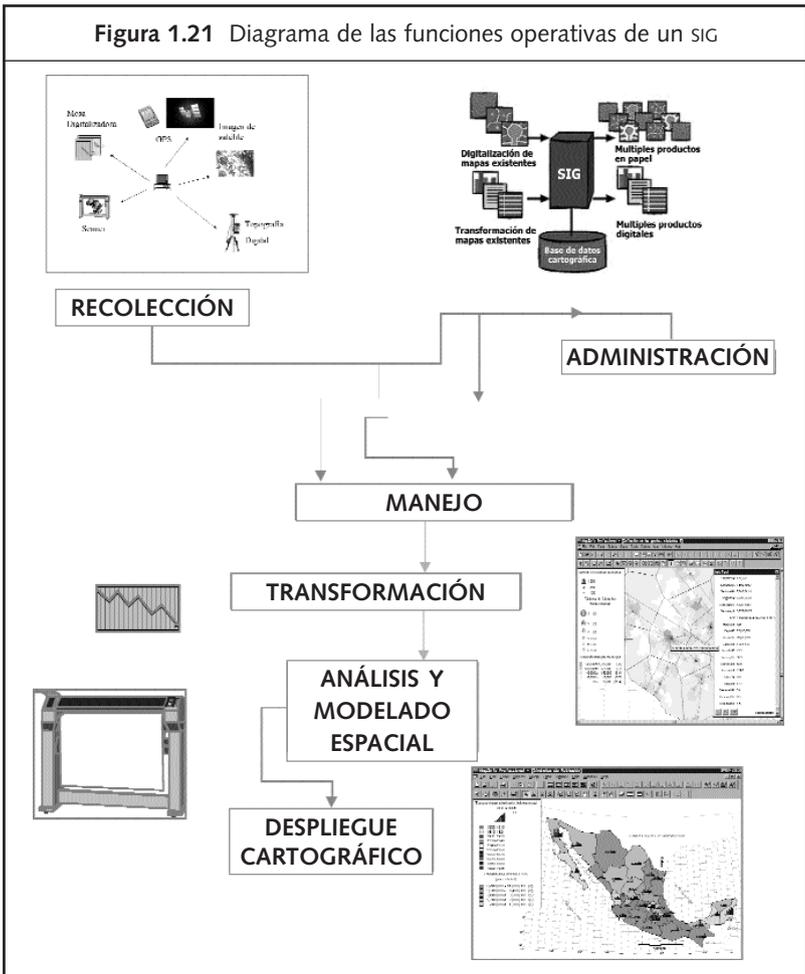
Figura 1.20 Intersección. Puntos (puentes) que se intersectan con polígonos (llanuras de desborde) en el estado de Guanajuato



FUENTE: Elaboración del autor con base en el Sistema de Información Geográfica para el Análisis Espacial de Riesgos en la Red Nacional de Carreteras, aplicación del Siget (*Ver supra* capítulo 3).

Funciones operativas de un SIG

En general, los procesos o funciones que desempeña un SIG permiten incorporar, almacenar, manejar, consultar, analizar y representar o visualizar información estadística y geográfica o espacial. Las funciones operativas de un SIG, descritas a continuación, no son necesariamente secuenciales y, en ocasiones, son simultáneas (véase figura 1.21).



FUENTE: Elaboración del autor.

ENTRADA DE DATOS

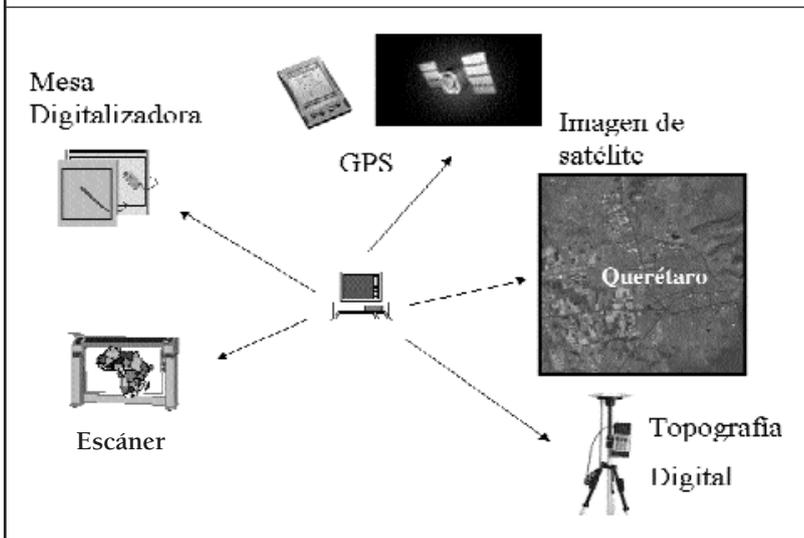
Consiste en el ingreso de la información. Antes de poder ser utilizados, los datos geográficos en un SIG deben convertirse a un formato digital apropiado. El proceso de integrar datos puede implicar la captura, la automatización, la conversión, la transferencia, la traducción y la digitalización; aunque subyacen diferencias entre estos términos, en esencia describen la entrada o ingreso de información geográfica a la base de datos (véase figura 1.22).



FUENTE: Elaboración del autor con base en www.esri.com

Como ya se describió antes, tecnologías como el GPS, los sensores remotos, la topografía digital, la ortofotografía, la digitalización automatizada y los *scanner*, entre otras, facilitan en gran medida el proceso de captura de datos (véase figura 1.23).

Figura 1.23 Fuentes y formatos diversos de ingreso de datos a un SIG



FUENTE: Elaboración del autor con base en P.A. Longley, *Geographic Information Systems and Science*, Wiley & Sons, England, 2001.

MANIPULACIÓN

Por lo general, los datos requeridos para un proyecto SIG necesitan ser transformados o manipulados en varias formas que sean compatibles con un sistema determinado. Por ejemplo, la información geográfica puede estar disponible en diferentes escalas —cartografía rural 1:25,000, catastro urbano 1:2,000, división política 1:100,000, etcétera— y necesitar de una transformación temporal para propósitos de despliegue o permanente para cuando se requiera un análisis. Entre muchos otros ejemplos de manipulación de datos georreferenciados se pueden incluir cambios de proyección, agregación de datos y generalización de los mismos.

ADMINISTRACIÓN

Para pequeños proyectos de SIG puede ser suficiente almacenar la información geográfica en archivos digitales. Pero cuando el volumen de datos y de usuarios es grande, es mejor usar un sistema de administración de bases de datos relacionales —DBMS por sus siglas en inglés— para almacenar, organizar y administrar los datos. Un DBMS no es más que un *software* para manejar bases de datos y mantener la integridad de éstos.

BÚSQUEDAS O CONSULTAS. FUNCIONES DE RECUPERACIÓN, CLASIFICACIÓN Y MEDICIÓN

Entre otras funciones, los SIG están en condiciones de abordar una larga serie de preguntas de carácter espacial, cuyas respuestas implican, desde luego, el manejo y procesamiento de sus bases de datos. Por ejemplo: ¿dónde están los mejores sitios para vialidades de la expansión urbana?, ¿cuál es el tipo de suelo predominante en un bosque determinado? Si se va a construir o ampliar una vía, ¿cómo será afectado el tráfico y cuál el área de afectación?

Las funciones de recuperación consisten básicamente en la extracción o selección de información del banco de datos del SIG. Esta recuperación se realiza a partir del establecimiento de un criterio de búsqueda que se expresa mediante la indicación de las condiciones que debe cumplir la información a obtener. El resultado de la recuperación puede registrarse nuevamente en la base de datos de forma independiente como un nuevo estrato de información, o no ser considerado y eliminarse. Se trata de funciones empleadas con mucha frecuencia, no sólo desde el punto de vista analítico, sino también para la gestión de la información.

La recuperación de información puede clasificarse en distintos tipos.²² Entre los más usuales están la recuperación temática y la recuperación espacial. La primera se refiere a la selección de la información espacial que cumple una determinada condición respecto a su componente temática —ejemplo: seleccionar zonas con pendiente >50%. En este tipo de funciones el modelo de datos y la estructura de la información tienen gran trascendencia.

La recuperación espacial, por su parte, comprende tanto la de tipo geográfico como la geométrica o topológica; esto es, en la recuperación geográfica se selecciona la información espacial que se encuentra contenida en un determinado emplazamiento —por ejemplo identificar los polígonos comprendidos entre las coordenadas UTM $x_1=440.0$, $y_1=4348$, $x_2=443.0$, $y_2=4350$. En la recuperación geométrica se establece una regla geométrica, como son la proximidad a un punto, relaciones topológicas, áreas de influencia, etcétera.

Además, es posible la combinación de distintos tipos de condiciones de recuperación mediante la aplicación de operadores “booleanos”²³ o lógicos —y, o, ni, no, etcétera— que emplean las reglas de la lógica booleana, para operar con los atributos y las propiedades espaciales de las retículas, o de las entidades básicas espaciales —por ejemplo, seleccionar áreas con altitud >300 m y cuya ocupación sea la de encinar.

Las funciones de clasificación, también conocidas como de recodificación de atributos, comprenden funciones que actúan sobre la información temática de la base de datos, modificando los valores numéricos asignados a las distintas variables. Se seleccionan una serie de categorías dentro de una variable y se procede a la recodificación de la misma, se aumenta o disminuye su número conforme a los objetivos establecidos —verbigracia, sobre una capa temática que contiene las comunidades vegetales y presenta diez clases temáticas, se aplica un proceso de reclasificación que transforma la leyenda original de tres clases representando el valor botánico de las clases originales.

Por último, las funciones de medición ofrecen la posibilidad de calcular los parámetros mesurables de los objetos geográficos; se considera una de las capacidades analíticas de los SIG de mayor importancia por las posibilidades de aplicación que le brinda al sistema. Por ejemplo, la gestión catastral fundamenta gran parte de su eficacia en el cálculo automático de superficies a partir de la digitalización del catastro.

Dentro de este grupo de funciones de medida se incluyen operaciones para cálculo de superficies, perímetros y longitudes; derivación de perfiles espaciales y temporales, así como también análisis de formas.

Mención aparte merece la estadística espacial, misma que trata de caracterizar el espacio geográfico a través del análisis del modelo de distribución de los datos espaciales. Sus fundamentos son semejantes a los de la estadística tradicional, si bien el tipo de información que procesan y los resultados que generan tienen una proyección directa sobre el espacio. La ventaja de los SIG para la aplicación de la estadística espacial es su disponibilidad de información geográfica en formato digital y su capacidad para la interpretación de los resultados territorialmente.

Existen dos clases de análisis estadístico de datos espaciales, en el primero se utiliza únicamente el componente espacial de la información y se relaciona con el análisis de las distribuciones espaciales, en el segundo se trata integralmente el componente locacional y el temático, y se analiza la variación espacial en función de los valores de los atributos.

Los sistemas de manejo de datos vectoriales no suelen incorporar funciones propiamente de estadística espacial, con lo que, prácticamente queda restringido a sistemas de formato *raster*; en éstos, encontramos tres tipos de funciones:

1. Funciones de estadística tradicional. Incluyen aplicaciones para la explotación estadística del componente temático de los datos —media, mediana, moda, varianza, correlación, regresión, etcétera.
2. Funciones de estadística espacial. Autocorrelación espacial, centro de gravedad, tendencia, análisis de formas, entre otras.
3. Funciones para la explotación de información de paquetes estadísticos estándar.

ANÁLISIS ESPACIAL

La fortaleza de los SIG radica en que pueden ser usados para analizar datos geográficos. Los procesos geográficos de análisis —a menudo llamados análisis espaciales o geoprocésamiento— usan las propiedades geográficas de los elementos para observar patrones y tendencias, así como para tratar de explicar qué ocurre si el escenario cambia.

La principal característica que distingue a los SIG de otros sistemas informáticos que operan con información espacial —CAD, sistemas de cartografía automatizada, sistemas catastrales, etcétera— es su capacidad para el análisis territorial.

Los fundamentos estructurales de los SIG se establecen mediante un proceso de modelado del espacio geográfico, se le descompone en unidades lógicas discretas —puntos, líneas, polígonos, retículas, objetos, entre otros— que pueden ser manipuladas mediante la tecnología digital. Es decir, en su propia base estructural ya se realiza implícitamente un cierto análisis al distinguir y separar las partes del espacio geográfico. Por ello, el modelo de datos va a condicionar directamente las posibilidades analíticas de cada SIG.

El análisis de la información espacial ocupa el nivel jerárquico superior dentro de las funciones de un SIG. Esta circunstancia implica que para su correcto desarrollo se debe disponer de un banco de datos espacial configurado con información exacta y precisa, que sea operativa y significativa con los objetos marcados. También deberá encontrarse libre de errores tanto en su componente locacional como temático, de manera que su procesamiento no arrastre desfases e incoherencias que desvirtúen los resultados finales.

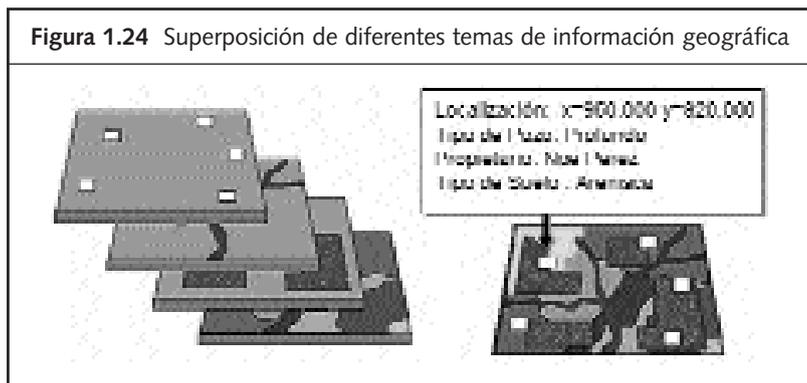
El análisis espacial se refiere a un amplio conjunto de procedimientos de estudio de los datos geográficos en los que se consideran sus características espaciales; cabe señalar que el análisis espacial tiene un importante soporte en la estadística espacial, descrita líneas arriba, cuyas técnicas han sido heredadas de la estadística descriptiva e inferencial.

Los SIG actuales cuentan con poderosas herramientas analíticas, en particular cinco muy importantes:

- a) *Análisis de proximidad*. Los SIG son a menudo usados para responder a preguntas tales como: ¿cuántas construcciones se encuentran dentro del área de derecho de vía de las carreteras?, ¿cuál es el número total de clientes en un radio de 10 km alrededor de un almacén?, ¿cuál es la vía más cercana a un pozo de agua?, ¿qué tan lejos está A de B?

Para resolver estas preguntas, los SIG utilizan procesos llamados de geoprocamiento que determinan la relación de proximidad entre diferentes tipos de elementos.

- b) *Análisis de superposición*. La integración de diferentes capas de información involucra un proceso llamado superposición —*overlay*. La superposición puede ser simple si sólo se requiere para visualización, pero cuando se necesita para operaciones analíticas es necesario que las capas de información se integren físicamente, se genera así nueva información gráfica y tabular, y se establecen nuevas relaciones entre los elementos geográficos²⁴ (véase figura 1.24).



FUENTE: Elaboración del autor con base en <http://campus.esri.com/>

La superposición es la función más utilizada en los SIG. Su propia estructura se asimila a una serie de estratos de información, de manera que la superposición es una propiedad implícita de su naturaleza.

El proceso de superposición engloba prácticamente la totalidad de las funciones analíticas desarrolladas de un SIG. El hecho de que se trate aquí como un tipo de función independiente viene condicionado por un criterio simplificador.

El conjunto de funciones descritas anteriormente se implementa mediante el uso combinado de operadores matemáticos —adición, sustracción, multiplicación, división y exponencial— y los ya mencionados operadores booleanos, “y”, “o”, “ni”, “no”, etcétera.

En sistemas vectoriales, la superposición de capas presenta una complejidad adicional al afectar tanto al componente espacial como al no geográfico de la información. De la superposición de dos capas de polígonos se genera una nueva capa con una nueva estructuración topológica.

c) *Análisis de conglomerados*. Es una variante del análisis de proximidad. Puede ser por simple cercanía física, o bien, a partir de características del objeto geográfico. Un SIG puede agrupar los objetos que estén cercanos entre sí, tanto por la distancia mínima que los separa, como por la similitud de sus atributos.²⁵ Los ejemplos clásicos son:

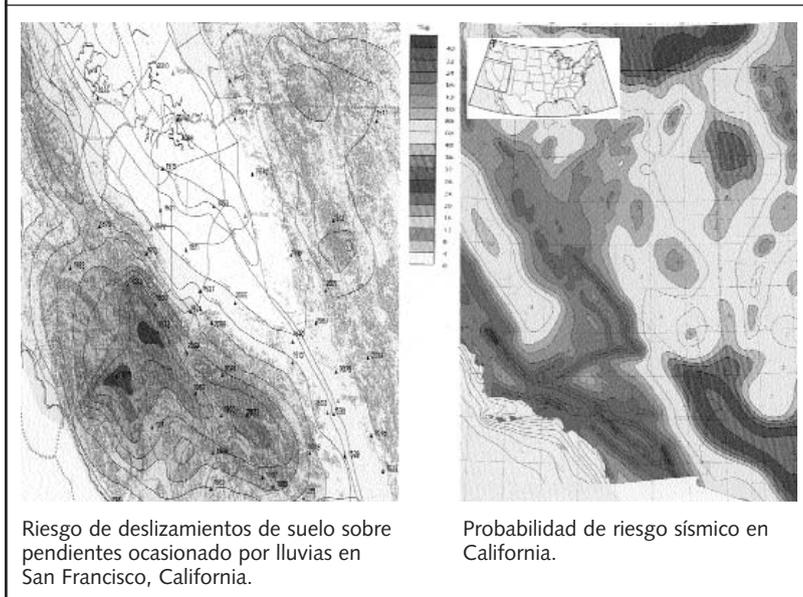
- Distancias mínimas. El SIG agrupa todos los objetos de la misma clase que se encuentren a las distancias mínimas establecidas por el usuario.
- Los polígonos de Thiessen. En cuyo procedimiento se marcan las distancias medias entre dos o más puntos y se construyen polígonos a partir de esos límites alrededor de los puntos, definiendo así áreas de influencia o de servicio.
- Generación de contornos o *countouring*. Es el proceso, similar a la interpolación, de generar contornos mediante isolíneas; un contorno es una línea imaginaria lógica que conecta puntos con diversos valores o características señaladas.

Los contornos son generados por la conexión de puntos de igual valor. El objetivo del *countouring* es reunir una base de datos con una representación espacial. Aplicaciones usuales en climatología.

En la figura 1.25 se muestran ejemplos de resultados del proceso de *contouring*; una delimita áreas de riesgo por deslizamiento de suelos en los alrededores de la bahía de San Francisco, California, y la otra el riesgo sísmico, en la costa suroeste de Estados Unidos.

- El análisis gravitatorio aplica la base conceptual del Modelo Gravitatorio de Reilly, el cual establece el nivel de interacción entre nodos o puntos de un sistema. La interacción es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional a la distancia que los separa. Su

Figura 1.25 Contouring



FUENTE: ESRI Map Book, vol. 14, USA, 1999.

mejor aplicación se relaciona a la definición de áreas de influencia o tributarias.

- d) *Análisis de redes y rutas más cortas.* En una red de líneas conectadas, por ejemplo caminos o ríos, los SIG llevan a cabo numerosas operaciones para calcular todas las rutas posibles a seguir sobre una red y encontrar aquella o aquellas que presenten las menores distancias. Se pueden agregar atributos a cada línea a fin de caracterizar los límites de velocidad, las condiciones del camino, el sentido, etcétera, y así obtener las rutas más rápidas, que no necesariamente las más cortas. Este análisis es aplicable a los servicios de emergencia o a las rutas de distribución de personas o mercancías.
- e) *Análisis de terreno.* En los SIG más complejos o en algunos de sus módulos de procesamiento existen herramientas para realizar análisis de terreno. En ellos, el sistema calcula las eleva-

ciones, mide las pendientes y marca límites con base en la topografía.

El análisis del terreno se basa en el procesamiento de la información digital correspondiente a las características topográficas —valores X, Y, Z— de la superficie terrestre, con la que se construyen los modelos digitales del terreno, para la derivación de nuevas variables: pendiente, orientación, iluminación, visibilidad, cuencas de drenaje, cálculo de volúmenes, etcétera.

A este respecto existe una diferencia sustancial entre los sistemas de estructura vectorial y los de *raster*.

En un sistema vectorial la topografía está representada por un TIN —Triangulated Irregular Network: Red de Triángulos Irregulares—, derivado de la interpolación a partir de una capa de puntos o de las curvas de nivel. La topografía se representa por una serie de triángulos y sus características —altura, pendiente, orientación— corresponden a sus atributos asociados.

En sistemas *raster*, la topografía se representa por una capa de información en la que cada una de las retículas posee un valor numérico correspondiente a su altura. Algunas posibilidades de aplicación, para ambos sistemas, son:

- Análisis de láminas de agua de una cuenca. El SIG determina las elevaciones circundantes más altas y en consecuencia su línea divisoria, con lo que delimita el área que drena una corriente y sus afluentes.
- Análisis de visibilidad. Se determina el área que puede ser visualizada desde una ubicación específica, dada la topografía o algunos otros obstáculos en la línea de observación.
- Pendiente y aspecto. Algunos SIG incluyen el cálculo del perfil topográfico y determinación de la pendiente, así como la dirección de las caras de las pendientes —aspecto.

DISEÑO Y VISUALIZACIÓN DE MAPAS

Para muchos tipos de operaciones geográficas el resultado final se visualiza en un mapa, el cual constituye la herramienta fundamental de análisis para el geógrafo. Los mapas son la forma más eficiente para

almacenar y comunicar información geográfica. Mientras que los cartógrafos han creado mapas manualmente desde hace miles de años, la tecnología SIG provee una herramienta nueva para extender y potenciar la ciencia y el arte de la cartografía.

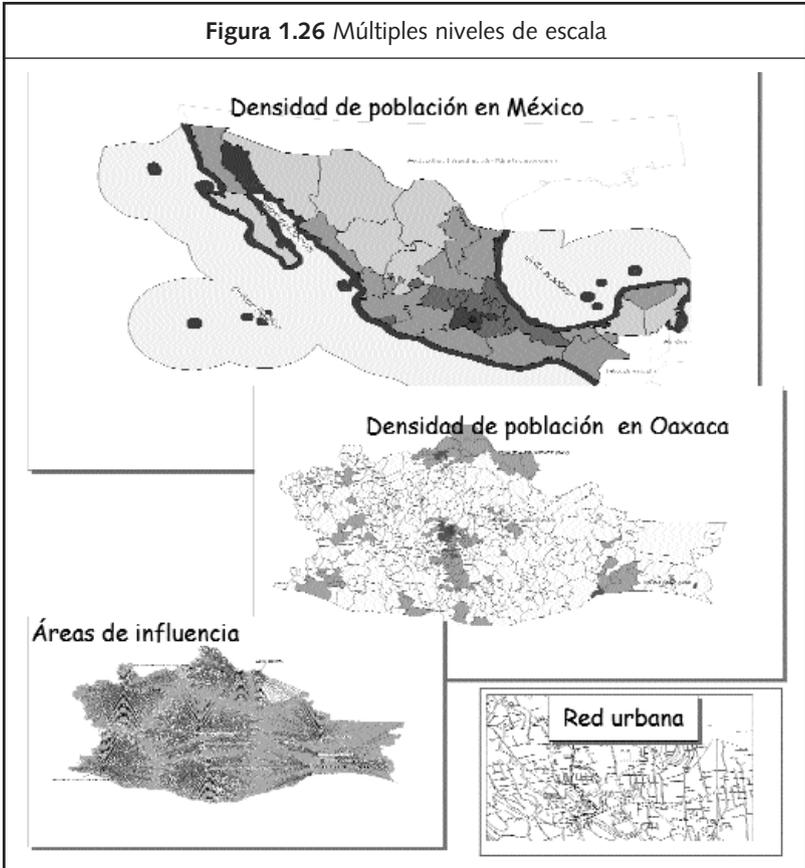
Ahora bien, visualizar y representar cartográficamente la información en un SIG, agrega una serie de ventajas a los métodos tradicionales de manejo y análisis de los mapas impresos, sin dejar de respetar las convenciones que en rigor un mapa debe cumplir.²⁶ La primera ventaja se refiere a la facilidad de ampliar o reducir la escala de visualización del área de interés de un mapa, o bien pasar de un nivel de agregación espacial a otro, revelando detalles distintos en cada caso, por ejemplo de una vista nacional a una estatal, y de ésta a otra municipal o urbana, etcétera (véase figura 1.26). En ese mismo sentido, los SIG agregan la posibilidad de ensamblar en una misma vista, mapas de áreas contiguas o rasgos que se ubican en la intersección de cartas distintas.

La tercera ventaja estriba en la posibilidad de visualizar la información del mapa en forma dinámica, inclusive con animación; además, a diferencia de los mapas en papel, por medio de un SIG se puede tener una perspectiva tridimensional del espacio geográfico representado (véase figura 1.27).

El proceso de “mapear” o representar cartográficamente la información en un SIG, es un proceso abierto, es decir, se pueden agregar y actualizar permanentemente las bases de datos que le dan origen, a diferencia de los mapas en papel; además, como ventaja adicional, vale decir que el usuario de los mapas en el ambiente de un SIG puede crear de manera interactiva su propia visión del espacio representado.

Potencial de aplicación de los SIG en el transporte

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 aquí 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 in-



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

versión y que sea un criterio relevante en el proceso de toma de decisiones dentro del sector transporte.

El transporte es sin duda una actividad compleja que involucra distintos actores —transportistas, usuarios, autoridades y prestadores de servicios auxiliares— con necesidades e intereses diferentes; realiza funciones diversas como la comunicación, integración, traslado de bienes y personas y requiere de múltiples tareas para su ejecución, como son: planeación, organización, diseño, construcción, mantenimiento, conservación, control de operación, etcétera.

Figura 1.27 Los SIG cuentan con funciones de visualización y representación multivariada del espacio geográfico

Imagen de satélite en falso color de la ciudad de Querétaro



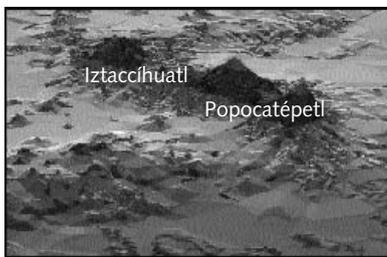
Mapa planimétrico de la ciudad de Querétaro



Fotografía aérea digital Georreferenciada de la Ciudad de Morelia, Michoacán



Modelo digital de elevación. Cumbres volcánicas



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

La organización del sistema de transporte debe considerar, además de las condiciones anteriores, las características geográficas del territorio que atraviesa y comunica.

Las aplicaciones específicas de los SIG en el sector transporte podrían clasificarse en siete áreas fundamentales:²⁷

1. Inventarios de infraestructura. Localización, dimensiones, condiciones físicas, nombre de propietarios o de administradores a cargo, capacidad y costos de operación.

2. Inventario de equipamiento, condiciones y uso. Información sobre el número, las distancias de recorrido, propiedad, velocidad, capacidad, costos de operación y características de los modos de transporte.
3. Funcionamiento y condiciones de las empresas de transporte. Gastos, ingresos, propiedad, cobertura de mercados, fuerza laboral, características de los servicios públicos y privados.
4. Flujos de pasajeros y carga. Volúmenes, valor, distribución y comportamiento geográfico.
5. Aspectos demográficos y actividades económicas. Distribución regional, inventario de vehículos y capacidad de traslado, comercio y usuarios en el sistema de transporte.
6. Ahorro y seguridad. Accidentes, registro de heridos, servicios médicos de emergencia, horario de operación de los servicios, causas, etcétera.
7. Financiamiento y programas de administración.

Las ventajas del uso de los SIG en el análisis del transporte se concentran en tres de sus atributos primordiales:

- a) Integración de datos asociados a elementos geográficos.
- b) Análisis y modelado de la información espacial y estadística.
- c) Despliegue y representación cartográfica de la información.

La visión sistémica del transporte permitirá delinear el marco de aplicación de los SIG de acuerdo a la problemática particular de cada modo de transporte o elemento del sistema y la escala territorial abordada.

En síntesis, un SIG puede describirse también por el tipo de demandas a las que puede dar respuesta. Un sistema suficientemente sofisticado debe poder responder a cinco preguntas genéricas:²⁸

- Localización: ¿Qué hay en...?

La primera de las preguntas se refiere a identificar qué es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal o por referencias geográficas como latitud y longitud.

En el caso del transporte, la utilidad de esta función es múltiple; permite explorar y ubicar la información disponible, por ejemplo, a partir del tipo de camino, de una marca de kilometraje determinada; o bien, reconocer en el mapa o vista un elemento de infraestructura determinado, por ejemplo un puente, una intersección a desnivel, un puerto o aeropuerto, entre otros.

- Relación: ¿Dónde se encuentra?

La segunda demanda es la inversa de la primera y requiere un análisis espacial. En lugar de identificar lo que se encuentra en un punto, lo que se busca es un lugar que reúna ciertas condiciones, por ejemplo: un terreno sin bosque que tenga un área mayor de 2,000 metros cuadrados, que esté a menos de 100 metros de una carretera y al que sus condiciones geotécnicas le permitan soportar edificios.

Otros ejemplos en el sector transporte versan en torno a la diferenciación de tramos carreteros según características de los flujos que transitan por ellos, por ejemplo aquellos que tiene un tránsito diario promedio anual determinado, pero que tengan una composición vehicular con predominio de tractocamiones; otro ejemplo, es cuando se busca distinguir los aeropuertos con una cantidad de operaciones de despegue y aterrizaje.

- Evolución o tendencia: ¿Qué ha cambiado desde...?

Esta pregunta involucra a las dos anteriores y su respuesta establece qué diferencias ocurren en un área determinada a través del tiempo.

Para el caso del transporte, al ser un proceso evidentemente dinámico de clara manifestación espacial, su utilidad es mucha. Se aplica cuando se desea analizar los cambios en el tránsito diario promedio de una carretera, los cambios en la ocupación de los derechos de vía, así como el impacto en el entorno a partir de la construcción de alguna obra de infraestructura del transporte.

- Distribución: ¿Qué patrones de distribución espacial existen?

Esta pregunta es más compleja. Se plantea cuando se trata de identificar un patrón espacial de ocurrencia de un fenómeno o hecho; por

ejemplo, al querer determinar si el cáncer es una causa importante de mortalidad entre las personas que residen en las proximidades de una central nuclear.

Para el sector transporte la identificación de patrones espaciales es muy importante; derivado de la configuración de una red vial es posible inferir patrones en la ocupación del uso del suelo; por otro lado, el trazo y ubicación de determinadas obras de infraestructura condicionan el patrón de crecimiento de algunos asentamientos humanos; asimismo, se pueden estudiar los procesos de articulación o estructuración del territorio, a partir de los patrones o esquemas de distribución de los distintos modos de transporte.

- Modelamiento: ¿Qué sucede si...?

Cuestión que se plantea al intentar conocer qué pasa en un sistema cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, que le sucede a un sistema vial si construimos una carretera o que sucedería si se produjera un determinado vertimiento tóxico en la red de suministro de agua potable. Las respuestas requieren, además de la información geográfica, otros datos adicionales, como pueden ser determinadas leyes científicas.

Es práctica común la aplicación de modelos matemáticos para la planeación y gestión del transporte, su uso, vinculado a las herramientas de análisis espacial propias de un SIG, sin duda potencia sus resultados. Su utilidad se extiende a la logística y distribución de carga, al diseño de redes de transporte de pasajeros, a los estudios de reparo multimodal de carga, entre otros.

El Sistema de Posicionamiento Global. Definiciones conceptuales y principios operacionales

El Sistema de Posicionamiento Global —Navigation Satellite Timing and Ranging (Navstar) Global Positioning System (GPS), nombre completo del sistema— es un programa de navegación y posicionamiento basado en satélites, financiado por el gobierno de Estados Unidos y administrado por el Departamento de Defensa de ese país.²⁹

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. El 17 de julio de 1995 alcanzó su plena operación, se completó con 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.

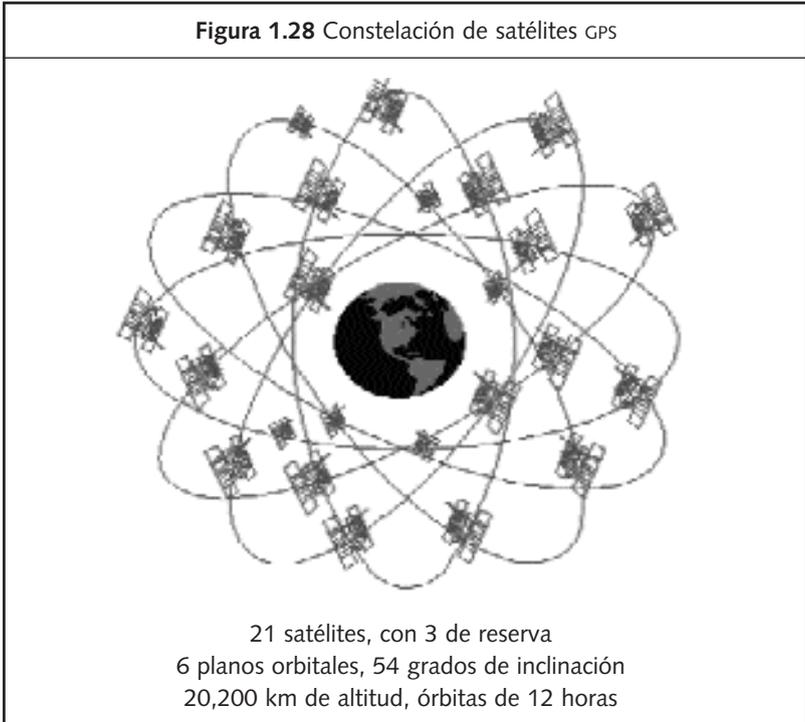
La tecnología GPS es usada primariamente como una herramienta para determinar la localización exacta de un lugar sobre la superficie terrestre, pero además puede proporcionar información sobre tiempo y velocidad de objetos en movimiento, lo que le permite actuar también como un sistema de navegación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

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 hay límite en cuanto al número de usuarios que simultáneamente puedan aprovecharlas. Aunque se originó con objetivos bélicos, paulatinamente se ha convertido en una poderosa herramienta de aplicaciones civiles en todo el mundo.

Componentes

El sistema está integrado por tres componentes o segmentos, el del espacio, el de control y el del usuario. El segmento del espacio está constituido por la constelación Navstar: los 21 satélites activos más los 3 de reserva. Se localizan a aproximadamente 20,180 km de altitud, distribuidos en 6 órbitas elípticas, cada una con 55° de inclinación respecto al Ecuador, y tienen un periodo de casi 12 horas. La configuración de la constelación asegura que, con pocas excepciones,

siempre haya un mínimo de cuatro satélites visibles desde cualquier punto de la tierra (véase figura 1.28).



FUENTE: Elaboración del autor con base en P. Dana, *The Geographer's Craft Project*, USA University of Texas at Austin, 1998.

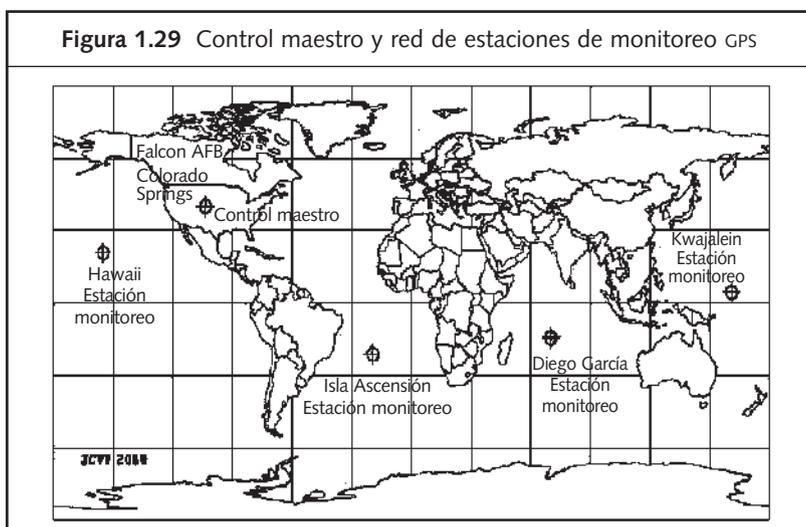
Cada satélite emite una señal de radio en la que transmite no sólo un código pseudoaleatorio con fines de medición de tiempo, sino también un conjunto de datos acerca de su localización orbital exacta y del estado del sistema en su totalidad. Esta señal es extremadamente resistente a la interferencia producida por el tiempo atmosférico y las señales de radio emitidas por estaciones terrestres y equipo electrónico.³⁰

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 $\nu_1 = 1,575.42$

MHz y L2 con $\nu_2 = 1,227.6$ 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 un ruido específico en su señal, de modo que el receptor pueda identificarlos, dicho identificador se conoce como “Falso Ruido Aleatorio” —Pseudo Random Noise (PRN)— 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, en Estados Unidos, para la determinación de los datos orbitales, los cuales son posteriormente enviados a los satélites (véase figura 1.29).



FUENTE: Elaboración del autor con base en P. Dana, *The Geographer's Craft Project*, USA, University of Texas at Austin, 1998.

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.

El segmento del usuario lo constituyen todos aquellos con 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 (véase figura 1.30). 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 1.30 Receptores GPS: 1. Garmin GPSMAP76 CS, 2. Garmin 12 XL con tarjeta de adaptación a PC Pocket, 3. GPSMAP 276C, 4. Trimble Recon



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 (véase figura 1.31). 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; esta posición puede ser calculada 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.

Paso 1. La triangulación.

- Distancia a los satélites.
- Cuatro satélites para 3D.

Paso 2. Medición de distancia a los satélites.

- Velocidad de la luz —186,000 millas/seg.
- Sincronización de los relojes.
- Código común de “seudorange”.

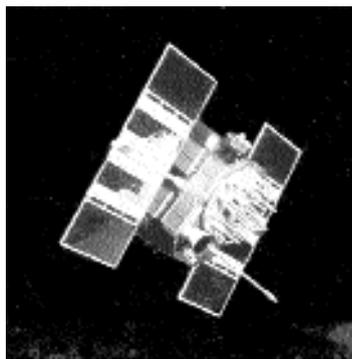
Paso 3. Tiempo de viaje de la señal.

- Reloj atómico en los satélites.
- La clave = 4° satélite.

Paso 4. Parámetros orbitales.

- Monitoreados por el DoD.
- Actualización de efemérides.

Figura 1.31 Satélite GPS



Paso 5. Corrección de errores y demoras.

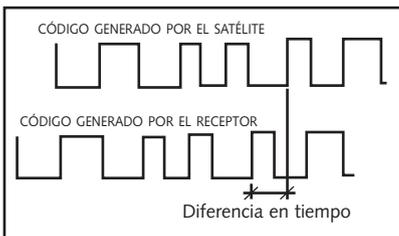
- Ionósfera y tropósfera.
- Geometría de los satélites.
- Reflexión por obstáculos.

Las señales que emiten los satélites Navstar son ondas electromagnéticas que entran en la banda L del espectro electromagnético, entre las microondas, las ondas de radio y de radar; se emiten, como ya se mencionó, en dos frecuencias, L1 y L2, moduladas por los códigos P y C/A de acuerdo con los siguientes parámetros:³¹

| | |
|-------------------------|---|
| Frecuencia fundamental: | $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ |
| Frecuencias portadoras: | L1 = $154 \times f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$ |
| | L2 = $120 \times f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$ |
| Código C/A : | C/A = $f_0 / 10 = 1.023 \text{ MHz}$ |
| Código P : | P = $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ |
| Código Y : | Código P encriptado |
| Mensaje de navegación : | 1 500 bit a 50 bit por segundo (bps) |

El código de acceso claro (C/A) está sobrepuesto en la banda L1 únicamente. El código de precisión (P) aparece sobrepuesto tanto en L1 como en L2.

La función de los códigos es, por un lado, establecer una diferencia entre los usuarios, pero primordialmente sirven como marcas de tiempo. Los receptores GPS tienen relojes que, aunque no son tan precisos, son considerados, en la práctica, como “sincronizados” con los relojes de los satélites.



La parte más difícil para medir el tiempo de viaje de las señales desde el satélite al receptor es, sin duda, determinar cuándo salió la señal del satélite. El sistema GPS logra esto por medio de la sincronización de los satélites y los receptores para generar el mismo código al mismo

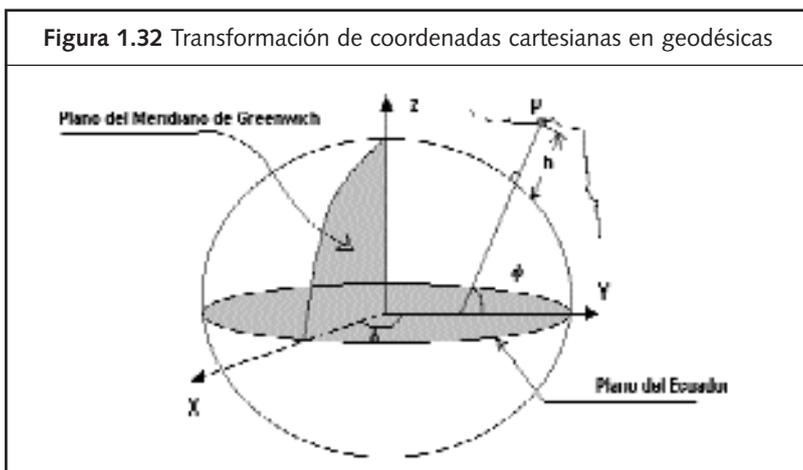
tiempo; es decir, el receptor genera una réplica del código generado por el satélite, una vez que el receptor recibe la señal del satélite, compara el código que acaba de recibir con un código idéntico gene-

rado por el propio receptor. La diferencia en tiempo entre una sección particular del código recibido y el generado por el receptor es el tiempo que requirió la señal en su viaje Δt .

El dato Δt al multiplicarse por la velocidad de la luz C , resulta en la distancia a la que se encuentra el satélite con relación al receptor, $d = C \times \Delta t$.

Ahora bien, todo el sistema GPS se apoya en un modelo geométrico denominado sistema geocéntrico cartesiano, que es un *datum* geodésico particular, el WGS84 —World Geodetic System 1984: Sistema Geodésico Mundial de 1984— con un elipsoide específico y cuyo origen hipotético se encuentra en el centro de masa de la tierra, de manera que los satélites Navstar tienen coordenadas X, Y, Z , en este sistema, calculadas por parte del subsistema de control y retransmitidas continuamente como efemérides a los usuarios en el mensaje de navegación.

Una vez que el receptor “engancha” la señal de al menos cuatro satélites, calculará sus correspondientes coordenadas X_p, Y_p, Z_p en el sistema geocéntrico cartesiano y, mediante un algoritmo matemático, las transformará en coordenadas geodésicas —latitud ϕ , longitud λ , altura sobre el elipsoide h —,³² como se muestra en la figura 1.32.



Existen factores naturales y operativos que introducen errores en la precisión del posicionamiento. Entre estos factores destacan los efectos adversos de la atmósfera de la Tierra sobre la propagación de la señal del GPS, la geometría de la constelación de satélites, la desviación y reflexión de la señal por diversos cuerpos —por ejemplo, relieve y vegetación, este último de mayor significación para el levantamiento del INIT—, y la degradación de la señal o “Disponibilidad selectiva”, introducida intencionalmente por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Afortunadamente, a partir de mayo de 2000, por decreto del presidente de ese país, se suspendió la aplicación de esta degradación de la señal, con lo cual los registros son ahora más precisos y acordes con las especificaciones que establecen los fabricantes de receptores GPS.

Existen también errores menores producidos por desajustes en los relojes atómicos de los satélites y en los de los receptores GPS, así como por desviaciones ligeras en las órbitas de los satélites, pero estos no son muy significativos y son fácilmente corregibles.

Gran parte de los errores introducidos por los factores antes mencionados, principalmente los causados por la “Disponibilidad selectiva” y por los efectos de la ionósfera, se pueden eliminar con la técnica conocida como GPS Diferencial —Differential Global Positioning System (DGPS).³³

Esta técnica se basa en el registro de las señales de satélite por medio de dos o más receptores simultáneamente. Este procedimiento funciona debido a que los satélites se encuentran en órbitas relativamente altas, de forma tal que la señal de un mismo satélite puede ser recibida por dos o más receptores en un área de hasta 500 km. Lo que significa que los errores causados por “Disponibilidad selectiva” y la atmósfera son registrados simultáneamente también.

El posicionamiento diferencial requiere de dos receptores. Una de las unidades se ubica en un punto cuyas coordenadas son conocidas con gran precisión. Esta unidad es comúnmente llamada “estación base” —*reference* o *base station*, en inglés. La otra unidad es operada en el lugar cuyas coordenadas se desea conocer. Esta unidad es referida como la unidad de campo —*remote* o *field station*, en inglés. Ambas unidades deben registrar datos de posición durante el mismo periodo de tiempo, de modo que éste sirve como índice para conocer

cuál corrección hecha en los registros de la unidad base debe aplicarse a qué registro de los datos de campo.³⁴

Los datos de campo son corregibles si ambas unidades reciben las mismas señales de al menos cuatro satélites, esto es, ambas unidades deben haber registrado señales de los mismos cuatro satélites. Las correcciones pueden ser aplicadas en dos formas: en tiempo real o por medio de posprocesamiento; en el primer caso, el receptor de campo recibe las correcciones de la base a través de una emisión simultánea de radio. En el caso de que se utilice posprocesamiento, los datos registrados por ambas unidades son posteriormente procesados en una computadora, corrigiendo primero los datos de la estación base y luego aplicando estas correcciones a los datos colectados en campo.

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.
- Despacho y control de flotillas.
- Sistemas de información al conductor.
- Control de la navegación aérea.

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, etcétera—, empresarios —concesionarios de autopistas de cuota, transportistas, agentes de carga, fabricantes y comerciantes de equipo SIT, entre otros—, y ejecutivos de asociaciones SIT nacionales e internacionales —Sociedad de SIT en México, ERTICO, ITS-América, etcétera—,³⁵ 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 (véase figura 1.33).

A cada persona entrevistada se le solicitó calificar el potencial de aplicación de las tecnologías de su incumbencia de acuerdo con criterios de costo de implementación, mercado posible, beneficios por mejoramiento de la calidad de servicio, reducción de costos de transporte, etcétera.

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.

Otra de las aplicaciones de mayor desarrollo del GPS en el transporte es, sin duda, su utilización en el modo aéreo. En la actualidad, se afirma que el GPS proporciona ventajas considerables en distintas áreas de la navegación aérea, y en un futuro cercano, en cuanto se estandarice su uso internacional, mejorará la eficiencia de las operaciones, proporcionando:³⁶

- Mayores niveles de la seguridad de los vuelos, por la vigilancia automática de precisión.
- Reducción de los mínimos de separación entre vuelos que permitirán una mayor capacidad en el espacio aéreo y en las pistas de aeropuertos, sin acrecentar los riesgos.
- Trayectorias de vuelo en ruta más directas.
- Nuevos servicios de aproximación de precisión.

Figura 1.33 Equipos con base en GPS



1 y 2. Sistemas de información al conductor (Magellan 750Nav y Magellan FX324 Map color).
3. Localización y monitoreo de vehículos

y para sistemas inteligentes de transporte (Trimble CrossCheck).
4. Terminal Echo RTX).

FUENTE:
www.MagellanGPS.com
y www.trimble.com

- Equipo reducido y simplificado a bordo de las aeronaves.
- Considerables economías para los gobiernos por la eliminación progresiva de los costos de mantenimiento de las ayudas para la navegación más anticuadas basadas en tierra, como radiofaros, telemetría y la mayoría de los sistemas de aterrizaje por instrumentos.

El gobierno mexicano, como Estado contratante de la Organización Internacional de Aviación Civil, —OACI, por sus siglas en inglés— adquirió el compromiso de adoptar el empleo del Sistema Mundial de Navegación por Satélite —GNSS, por sus siglas en inglés. Con este propósito, el 8 de abril de 2001 se expidió en el Diario Oficial de la Federación,³⁷ la Norma Oficial Mexicana: NOM-051-SCT3-2001, que regula los procedimientos de aplicación del GPS, como medio de navegación dentro del espacio aéreo mexicano. Esta norma establece los lineamientos para la selección, instalación y certificación de los equipos a bordo de las aeronaves; así como los procedimientos de operación del GPS como medio de navegación.

El GPS proporciona referencias geográficas precisas, en tiempo real y de amplia cobertura en espacio y tiempo, que son ideales para la definición de rutas de transporte en general. También, abrió la posibilidad de un nuevo entorno automatizado para la navegación aérea con grandes beneficios para sus usuarios en cuanto a la seguridad de los vuelos, eficiencia de la operación y en la utilización del espacio aéreo y la confiabilidad del control del tránsito aéreo. Estos beneficios podrán ser medidos en términos de mayores niveles de seguridad en la navegación, de un uso y control más eficiente del espacio aéreo, de menor utilización de las aeronaves y menor consumo de combustible para cubrir las rutas en forma más directa.

Los recursos tecnológicos para la navegación aérea con la utilización de señales de satélite ya han sido desarrollados y se encuentran disponibles en el mercado, por lo que la instrumentación del sistema mundial de navegación y control de tránsito aéreo sólo requiere del establecimiento de instrumentos institucionales a nivel internacional y del desarrollo de procesos de organización que le darán estructura y cohesión.³⁸

NOTAS

- 1 P.A. Burrough, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, New York, USA, Oxford University Press, 1990.
- 2 G. Bocco, *Sistemas de información geográfica: ética y concepto*, (<http://dgsca.unam.mx/jornada/1999/abr99/990405/cien-bocco.html>).
- 3 P.A. Longley, *Geographic Information Systems and Science*, England, Wiley & Sons, 2001.
- 4 Daratech, *Geographic Information Systems: Markets and Oportunities*, Cambridge, Massachusetts, Daratech, 2000.
- 5 P.A. Longley, *op. cit.*, p. 171.
- 6 *Ídem*, p. 173.
- 7 *Ídem*, p. 174.
- 8 *Ídem*, p. 176.
- 9 *Ibídem*.
- 10 *Ibídem*.
- 11 *Ídem*, p. 177.
- 12 Daratech, *op. cit.*
- 13 *Ídem*, p. 206.
- 14 S. Lewis, y D. Fletcher, "An introduction to GIS for transportation", Transportation Research Board, Annual Conference 1991, Washington, D.C., 1991.
- 15 D.J. Maguire *et al.*, *Geographical Information Systems: principles and applications*, UK, Longman, 1991.
- 16 ESRI, *Understanding GIS. The ArcInfo Method*, Redlands, Cal., ESRI Press, 1997.
- 17 D.J. Maguire, *op. cit.*
- 18 P.A. Longley, *op. cit.*, p. 206.
- 19 *Ídem*, p. 66.
- 20 *Ídem*, p. 154.
- 21 Consiste en generar polígonos a partir de un conjunto de puntos, de tal forma que los lados de los polígonos sean equidistantes con respecto a los puntos vecinos. Aunque el problema que se plantea —dentro del modelo vectorial— es la minimización de distancias euclidianas con respecto a los puntos originales, la solución no se alcanza por cálculos de distancias, sino mediante un procedimiento geométrico. Gutiérrez Puebla y Gould, *SIG: Sistemas de Información Geográfica*, Síntesis, pp. 147 y 177.
- 22 D.J. Maguire, *op. cit.*
- 23 Llamados así por George Boole, matemático británico (1815-1864), creador de la lógica matemática moderna.
- 24 Yue-Hong Chou, *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*, Santa Fe, USA, Onword Press, 1997.
- 25 *Ibídem*.
- 26 P.A. Longley, *op. cit.*, p. 251.
- 27 A.P. Vonderohe *et al.*, "Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation", *Transportation Research Board*, NCHRP Report 359, Washington D.C., 1993.
- 28 ESRI, *Understanding GIS, op. cit.*
- 29 J. Hum, *GPS: A guide to the next utilit*, USA, Trimble Navigation Ltd., 1989.
- 30 www.trimble.com/GPS

- ³¹ J. Pinzón, “Seminario: Generación y actualización de bases de datos GIS con tecnología GPS”, apuntes, SIGSA, México, 2000.
- ³² *Ibidem*.
- ³³ www.garmin.com/aboutGPS
- ³⁴ www.trimble.com/GPS
- ³⁵ Aplicaciones potenciales de los SIT en México, estudio realizado por Cal y Mayor y Asociados, S.C., por contrato para el IMT, marzo de 1999.
- ³⁶ James C. Johns, “La capacidad acrecentada del GPS satisface las necesidades de navegación del siglo XXI”, *ICAO Journal*, vol. 52, núm. 9, noviembre 1997, Montreal, pp. 7-10.
- ³⁷ *Diario Oficial de la Federación*, lunes 8 de abril de 2002, p. 47.
- ³⁸ F Heredia, “La aplicación del Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) al transporte aéreo”, *Boletín Notas*, núm. 46, Instituto Mexicano del Transporte, mayo, 1999.

El Siget. Métodos, organización y descripción operativa

Generación de la información básica y estructura operacional

El Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (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 (véase figura 2.1).

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



FUENTE: Sistema de Información Geoestadístico para el Transporte (Siget).

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 otras coberturas de información ambiental y socioeconómica de otras fuentes.

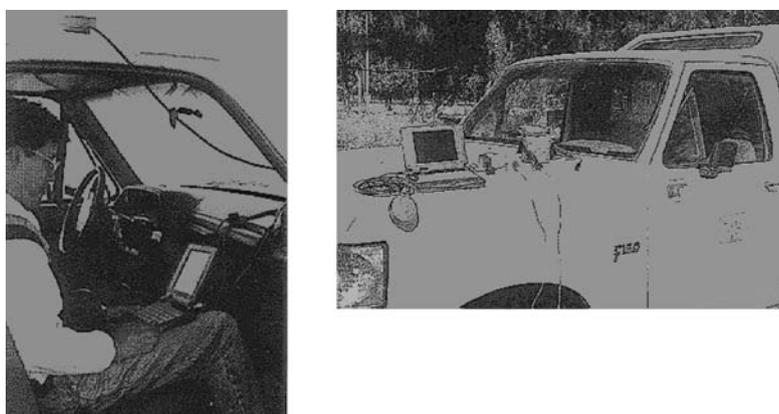
La concepción, planeación y organización del proyecto Siget son resultado de la línea de investigación que sobre tecnologías de georreferenciación realiza el autor en el Instituto Mexicano del Transporte desde hace varios años; en virtud de lo anterior, a partir de la formulación de la idea, se le asignó 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 a los 31 Centros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) del país, la Dirección General de Servicios Técnicos de la misma SCT, al 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 periodo consistente en la integración de datos de campo y técnico-documentales realizado posteriormente. La primera fase consistió, además del diseño de la logística general, de la capacitación de 32 brigadas integradas por tres elementos, una por cada entidad federativa mexicana, mediante un curso teórico-práctico de 40 horas, durante octubre de 1994, en las instalaciones del Instituto Mexicano del Transporte (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 (véase figura 2.2). La información resultante se recibió en el IMT, donde fue transformada al formato del SIG ArcInfo, con el cual se ha

editado e impreso en mapas de diferentes escalas —de 1:50,000 a 1:1,000,000— 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.

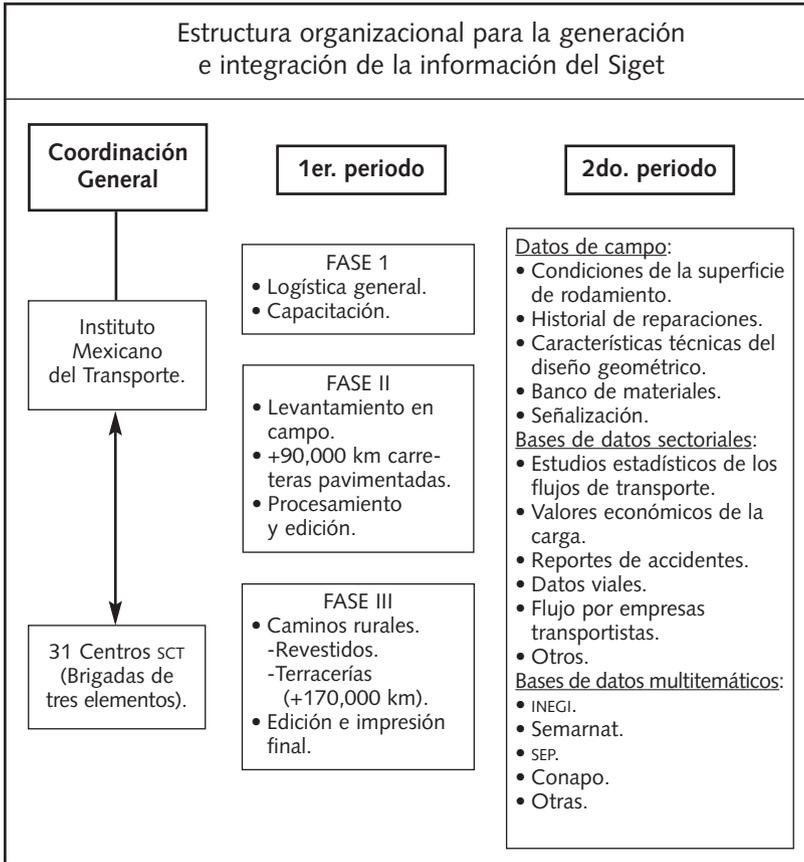
Figura 2.2 Equipamiento para el levantamiento en campo de la información mediante el empleo de GPS



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 posprocesamiento 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 segunda etapa del primer periodo 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 pa-

pel como en medios magnéticos accesibles al usuario final a través de la interfaz del Siget de fácil manejo.



Conviene señalar que la tercera fase requirió no sólo de un presupuesto más alto por la mayor longitud a recorrer, sino que también exigió un mayor esfuerzo y más 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; 28 entidades lograron terminar con sus metas respectivas y en cuatro quedaron inconclusas, con un avance estimado de 67% de la longitud total.

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 periodo de levantamiento y registro del INIT, que además de actualizarlo se incluyan datos adicionales relativos a:

1. Condiciones de la superficie de rodamiento de los caminos y derechos de vía.
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.
5. Sitios o puntos de riesgo.
 - Curvas peligrosas.
 - Zonas de derrumbes.
 - Zonas de niebla/heladas.
 - Vados y áreas inundables.
6. Servicios varios al usuario —talleres, restaurantes, tiendas, etcétera.

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.
- 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, etcétera.

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, etcétera.

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 que se posibilite no sólo la consulta ágil y sencilla de la información existente, sino que está dispuesta para una rápida 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 a 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, por ejemplo: las carreteras federales de cuatro y más carriles con un tránsito diario determinado.

| Coberturas del INIT generadas por entidad federativa |
|--|
| <p><i>Carreteras pavimentadas:</i></p> <ul style="list-style-type: none">Red federal libre de dos carriles.Red federal libre de cuatro y más carriles.Red federal cuota de dos carriles.Red federal cuota de cuatro y más carriles. <p>Red estatal libre de dos carriles.</p> <p>Red estatal libre de cuatro y más carriles.</p> <p>Red estatal cuota de dos carriles.</p> <p>Red estatal cuota de cuatro y más carriles.</p> <p>Carreteras concesionadas.</p> <p>Carreteras municipales.</p> <p><i>Caminos rurales (etapa II):</i></p> <ul style="list-style-type: none">Revestidos.Terracerías. <p>ATRIBUTOS</p> |

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.

La información integrada al Siget, tanto la procedente del INIT, registrada directamente en campo, como la procedente 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 de la página 111.

Cédula de identificación de cada camino registrado en el INIT

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, etcétera).

- 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 (por ejemplo: sentido del flujo si tiene dos cuerpos, túneles, anotaciones relevantes, etcétera). **Importante: señalar si es de jurisdicción municipal.**

| Elementos de infraestructura para el transporte registrados en el INIT | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Alcantarillas (visibles a nivel y de claro mayor de 3 m). Vados, puentevado y guardaganados (etapa II). |  |
| <ul style="list-style-type: none"> • Intersecciones y entronques (pavimentados). * A desnivel. • Intersecciones y entronques sin pavimentar. * A nivel. * A desnivel. |  |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cruce de FFCC. * A nivel. * A desnivel. |  |
| <p>PUENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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}) |  |
| <p>INFRAESTRUCTURA ASOCIADA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terminales y paraderos de camiones de carga. • Terminales y paradas de autobuses. • Casetas de peaje. • Gasolineras. • Campamentos o residencias de obra SCT. • Límite estatal. |  |
| <p>LOCALIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre |  |
| <p>PUERTOS (Cotejar con el Catastro Portuario por Entidad Federativa).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre. • Clasificación. * Comerciales. * Industriales. * Petroleros. * Pesqueros. * Turísticos. |  |
| <p>AEROPUERTOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre. • Tipo. * Aeropuerto. * Aeropista. • Clasificación. ** Comercial. * Internacional. * Nacional. ** Aviación general. |  |
| <ul style="list-style-type: none"> - Inicio y final del tercer carril de ascenso (carreteras de dos carriles). |  |

Bases de datos del sector transporte ligadas al Siget

- Catastro portuario nacional.
- Capacidad y niveles de servicio de las carreteras federales.
- Datos viales.
- Estado físico de las carreteras federales.
- Programa de inversión anual.

- Estudios de pesos y dimensiones del autotransporte de carga.
- Registros de accidentes en la red federal de carreteras.
- Información técnica de los puentes en la red federal de carreteras.

- Movimiento transfronterizo de carga.
- Movimiento de carga en puertos. Tráfico de altura.
- Movimiento de carga en puertos. Tráfico de cabotaje.

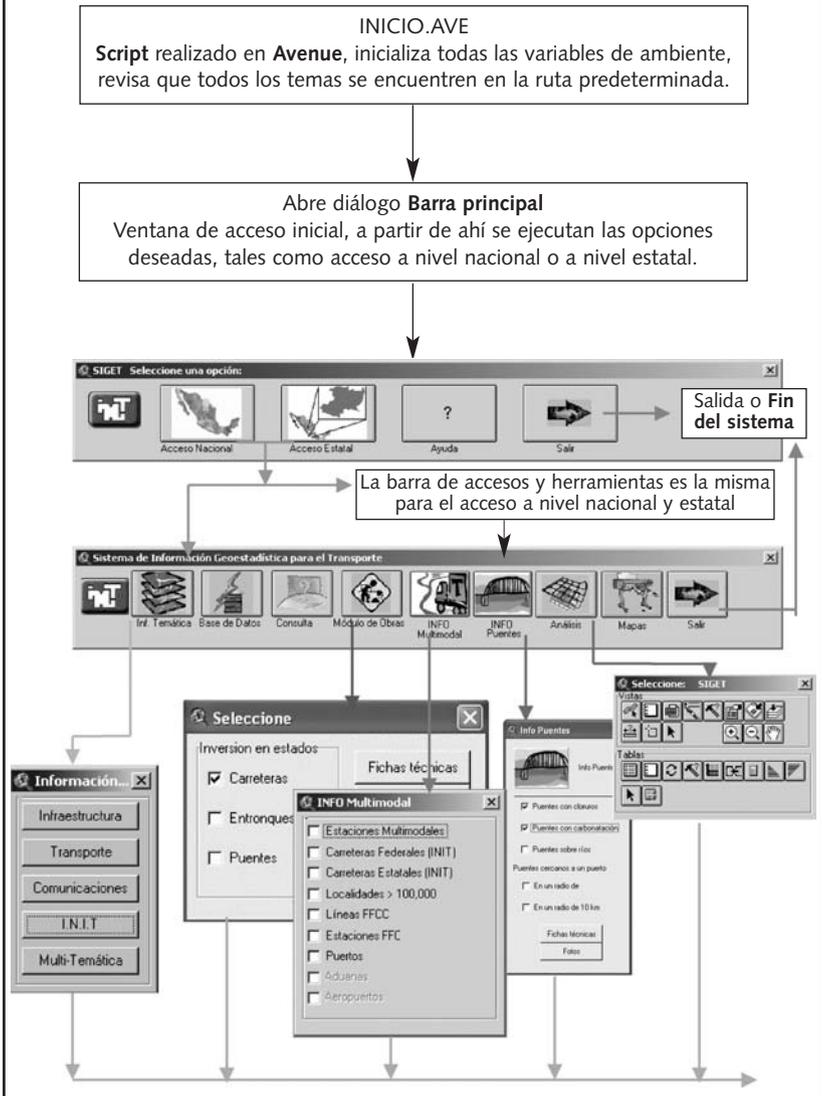
- Movimiento de carga por ferrocarril.
- Movimiento de contenedores por ferrocarril.
- Movimiento de pasajeros y carga por vía aérea.



Bases de datos multitemáticos

- ▼ División política-administrativa (Instituto de Geografía, UNAM).
 - ▼ Localidades (201,000) del Censo de Población y Vivienda 2000, (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-Sedesol).
 - Servicios educativos por localidad (SEP).
 - Registro nacional de instalaciones para la salud (SS/INSP).
 - Uso del suelo y vegetación (INE-Semarnat).
 - Riesgos geomorfológicos (INE-Semarnat).
 - INEGI
- Since. *Sistema para la consulta de la información censal.*
 Simbad. *Sistema municipal de base de datos.*
 BIE. *Banco de Información Económica.*

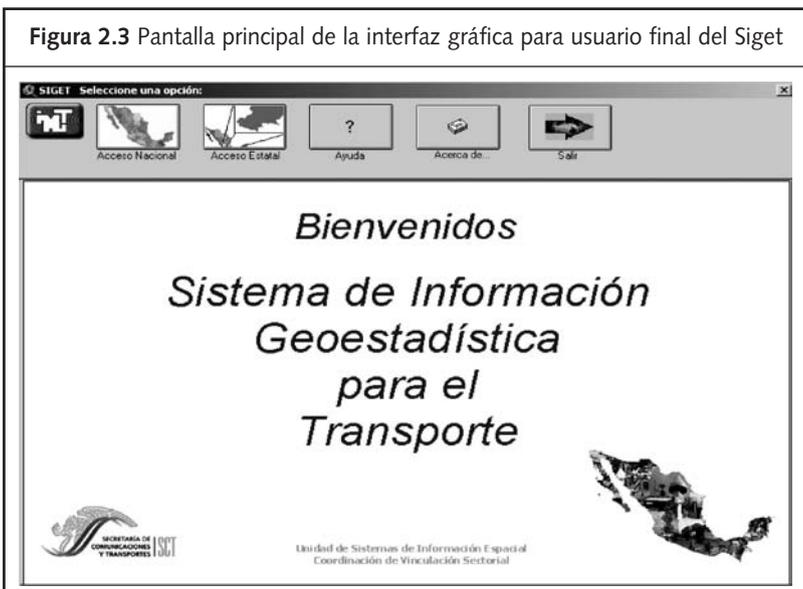
Esquema de programación del Siget



Personalización de la interfaz para usuario final

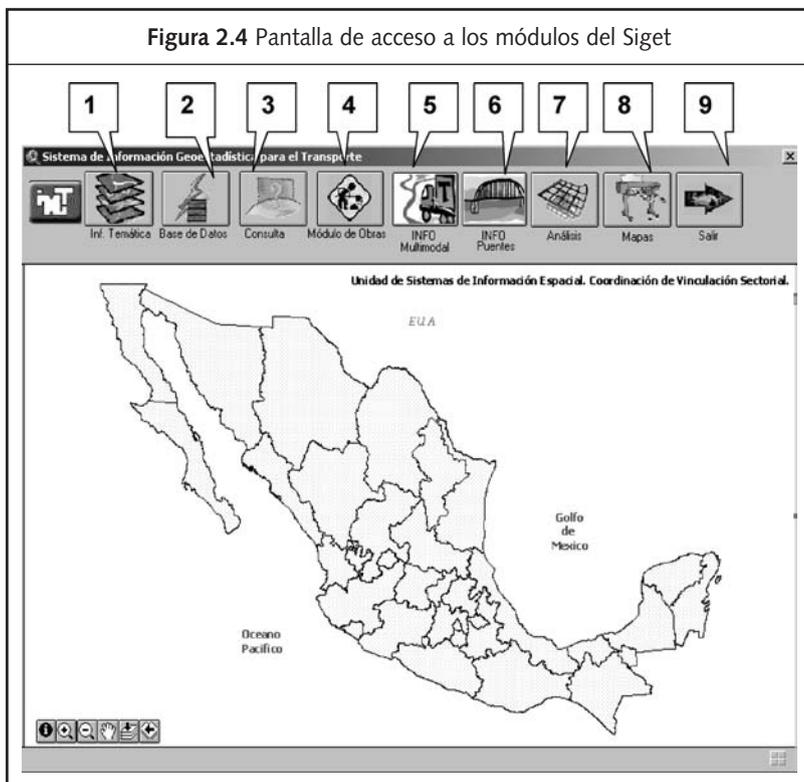
Para alcanzar el objetivo central del proyecto Siget, que es “conformar un sistema informático eficiente, versátil y sencillo para el registro, análisis y representación de la información geográfica y estadística asociada al transporte”, fue necesario que a partir de la plataforma cimentada con el inventario 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 (véase figura 2.3).



Fuente: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

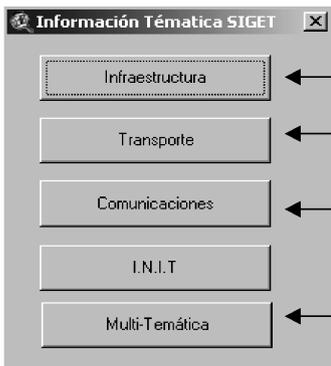
La pantalla principal del Siget cuenta con la opción de acceso a información a nivel nacional o estatal; al oprimir el botón elegido se ingresa a una pantalla donde aparecen iconos relativos a las diferentes funciones o módulos disponibles; éstos son: información temática (1), base de datos tabulares (2), constructor de consultas (3), módulo específico de las obras de la SCT (4); los dos siguientes botones dan acceso a dos subsistemas para aplicaciones específicas: Info_ Multimodal (5) e Info_Puentes (6); además cuenta con el módulo para ejecutar operaciones de análisis espacial (7), módulo para impresión de mapas finales (8) y salida del sistema (9), (véase figura 2.4).



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (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.

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, a su vez se divide en: infraestructura, transporte, comunicaciones, Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT) e información multi-temática.

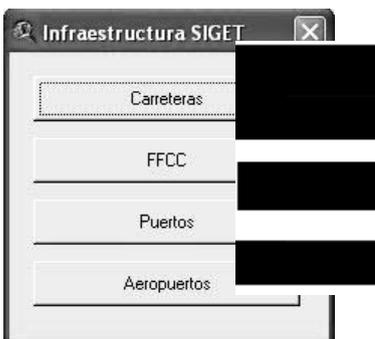
1.a

1.b

1.c

1.d

1.e



1.a *Infraestructura.*

En esta opción se da acceso a la información referente a la infraestructura por modo de transporte, tales como: carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos.

1.a.1 *Carreteras.*

Permite el acceso a la información relativa a la demanda de carreteras, da-

tos de seguridad, —que corresponde a los accidentes registrados—; estado superficial de la carretera, tránsito diario promedio anual —tanto registros históricos 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 que están a cargo de Caminos y Puentes Federales y Servicios Conexos (Capufe) (véase figura 2.5 y 2.6).

Figura 2.5 Ejes troncales del país, según condición de carretera de cuota o libre

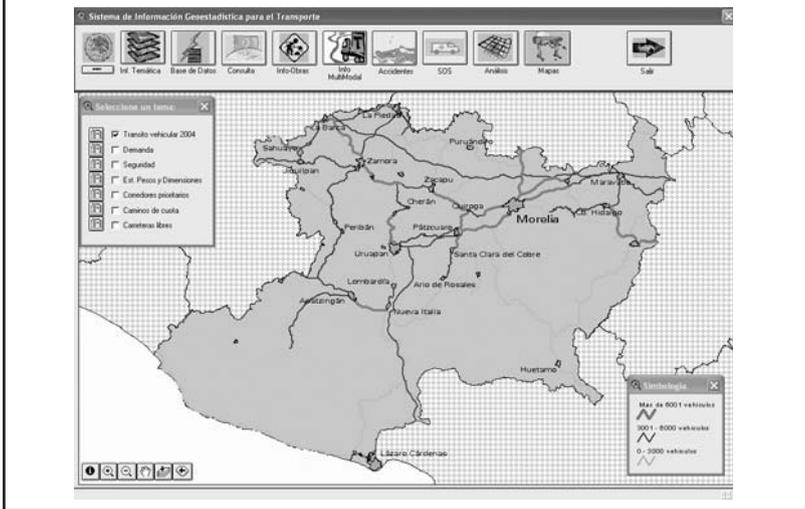


FUENTE: Unidad de Autopistas de Cuota, SCT, 2000.

1.a.2 FFCC.

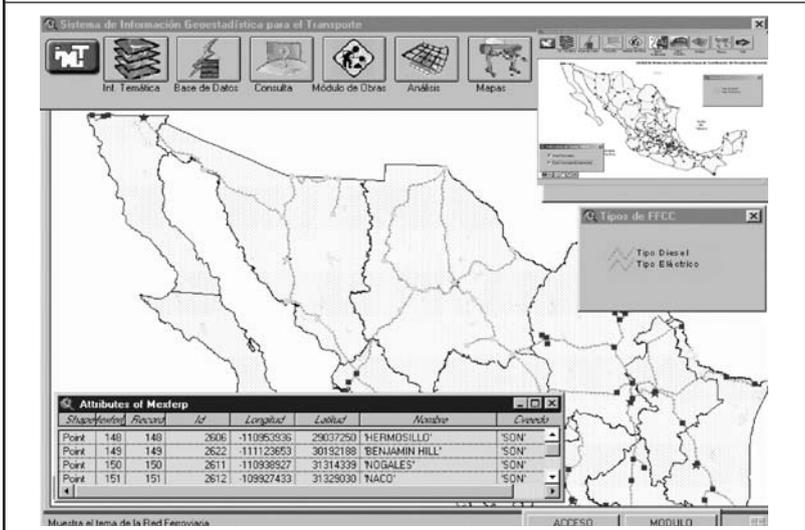
Mediante este botón se despliega la información que se refiere a los ferrocarriles, específicamente, el trazo de las líneas férreas y sus respectivas estaciones (véase la figura 2.7).

Figura 2.6 Tránsito diario promedio anual (2004) en la red federal de carreteras de Michoacán



FUENTE: Dirección General de Servicios Técnicos, SCT, 2004.

Figura 2.7 Red ferroviaria nacional y estaciones seleccionadas

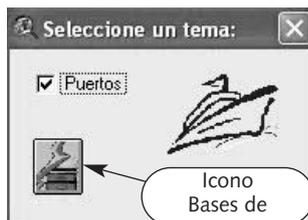


FUENTE: Dirección General de Planeación, SCT, 1998.

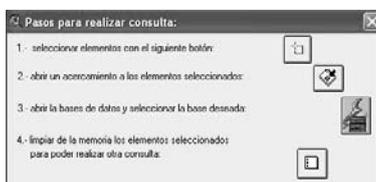
1.a.3 Puertos.

Ésta opción remite a la localización de todos los puertos del país, con su respectiva base de datos, reportada en el Catastro Portuario Nacional de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.

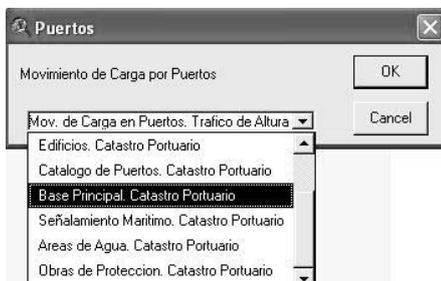
Al presionar el icono de “Bases de datos” aparecerá una ventana donde el usuario selecciona los puertos que quiere consultar.



En el cuadro de diálogo, el primer paso consiste en seleccionar los elementos —puertos— que se van a consultar. 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.

Puerto Nombre.: SALINA CRUZ

Base de Datos de Puertos

Nombre del Puerto: SALINA CRUZ

Clave del Estado: OAX

Operalt: 62 Opercab: 5

Carga Total: 309.00 Cgaalt: 274.20

Cgaaltimp: 75.10 Cgaaltexp: 199.10

Cgacab: 34.80 Cgacabent: 34.80

Cgacabsal: 0.00 Cont: 15218

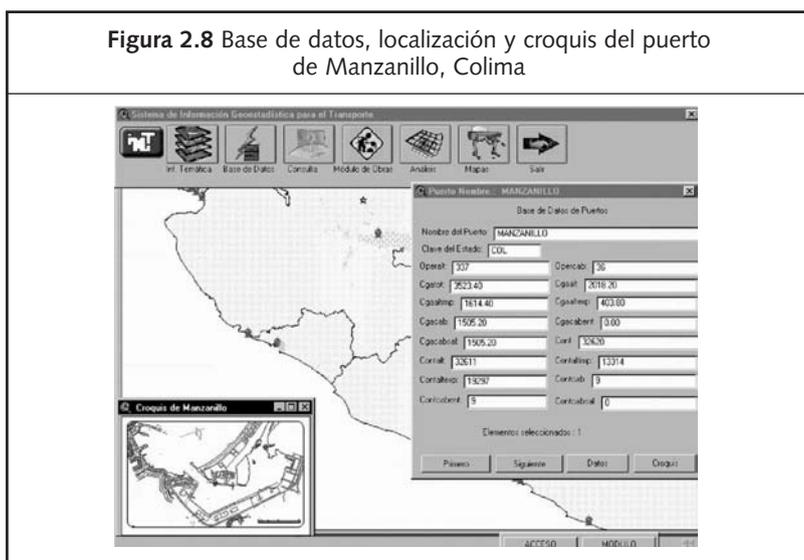
Contalt: 15218 Contaltimp: 6713

Contaltexp: 8505 Contcab: 0

Contcabent: 0 Contcabsal: 0

Al presionar el botón “croquis” se mostrará una vista con un dibujo del recinto portuario y su emplazamiento (véase figura 2.8).

Figura 2.8 Base de datos, localización y croquis del puerto de Manzanillo, Colima



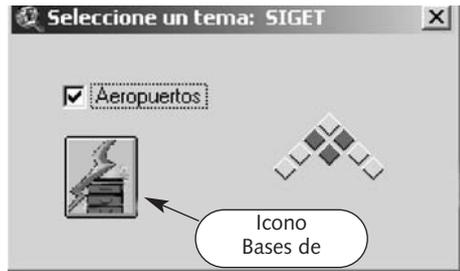
FUENTE: Catastro Portuario Nacional, Dirección General de Puertos y Marina Mercante, SCT, 2000.

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

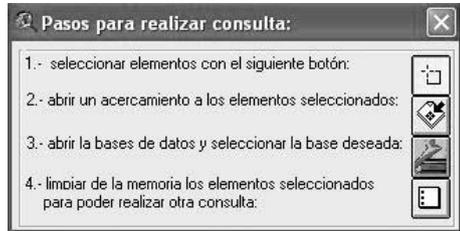
1.a.4 Aeropuertos.

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 esta opción, al presionar el icono de bases de datos aparecerá una ventana donde el usuario sigue los pasos indicados para seleccionar los aeropuertos, con sus respectivas bases de datos, que desea consultar.



El primer paso es seleccionar los elementos, en este caso aeropuertos, en 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 (véase figura 2.9).

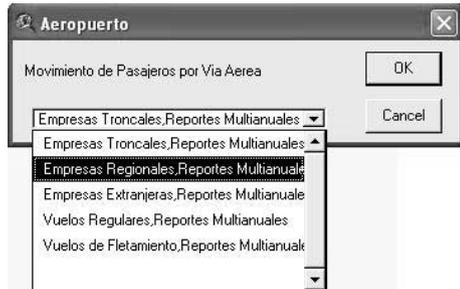
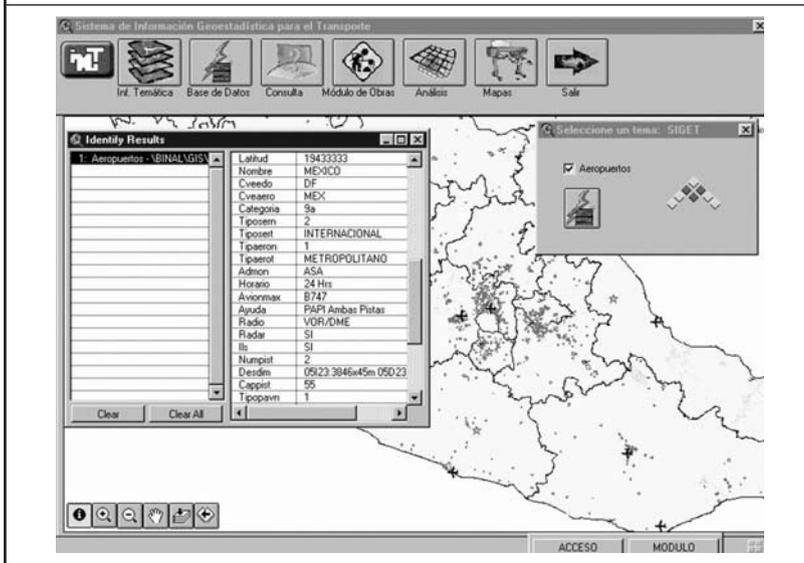


Figura 2.9 Base de datos y localización del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México



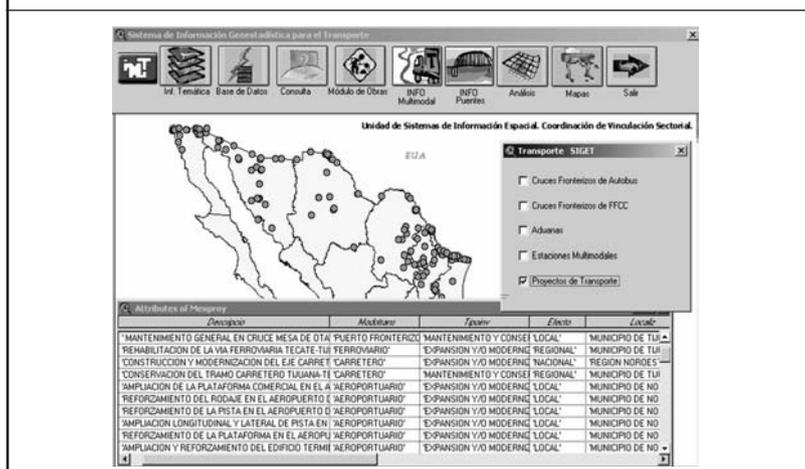
FUENTE: Dirección General de Aeronáutica Civil, SCT, 1999

El cuarto botón reestablece la vista del sistema como estaba hasta 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-Estados Unidos”, inédito, elaborado por la SCT durante 1995 y 1998, y que refiere datos únicamente para este último año (véase figura 2.10).

Figura 2.10 Proyectos de infraestructura para el transporte en las entidades federativas fronterizas.



FUENTE: *Estudio binacional de planeación y programación del transporte fronterizo México-Estados Unidos*, SCT, 1999.

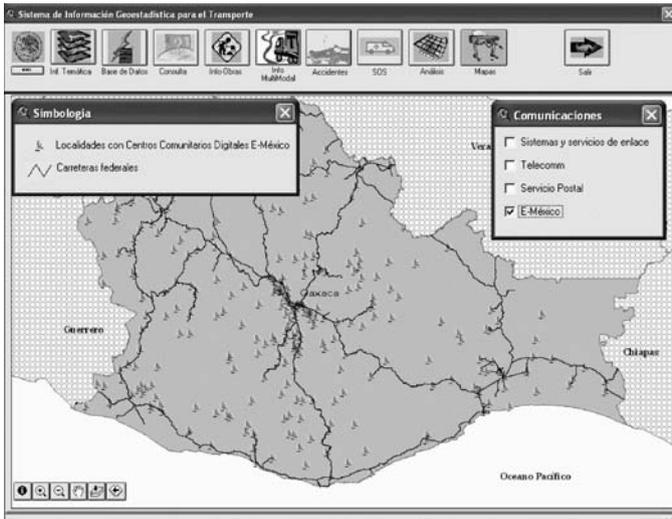
1.c Comunicaciones.

En esta opción se pretende disponer de la información por localidad de los sistemas de enlace y servicios de comunicación, tales como telégrafo, telefonía, Internet, etcétera. Debido a que no se ha podido obtener la información puntual para todo el país, la opción sólo está habilitada a nivel estatal, además de la consulta a las 3,200 localidades con servicio del sistema e-México (véase figura 2.11).

1.d Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte

Acceso a la información que se refiere al INIT, 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, tales 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 (véanse figuras 2.12 y 2.13).

Figura 2.11 Sistemas y servicios de enlace y comunicación por localidad en Oaxaca. Centros Comunitarios Digitales e-México



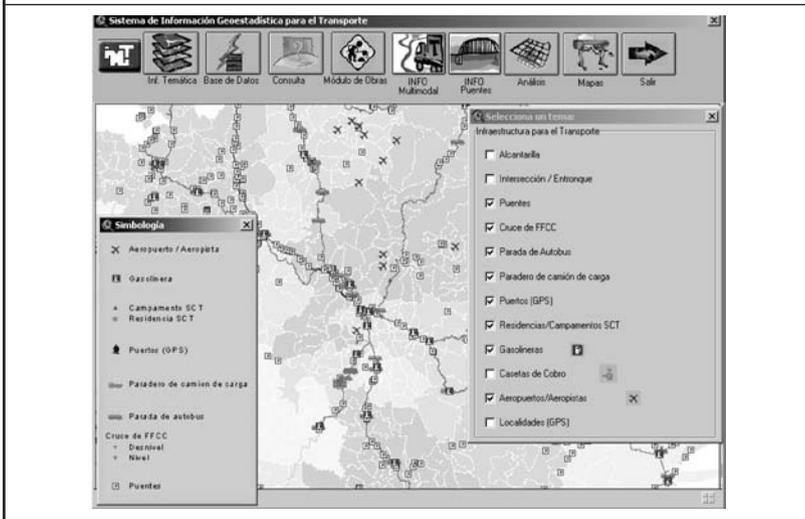
FUENTE: Centro SCT Oaxaca, 2001 y Coordinación General e-México, SCT.

Figura 2.12 INIT, nivel nacional. Red federal pavimentada y casetas de peaje



FUENTE: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte, INIT.

Figura 2.13 INIT, nivel estatal, ampliación. Red pavimentada e infraestructura asociada en el Estado de Oaxaca



FUENTE: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte, INIT.

1.e Multi-temática.

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 2000, la red de ductos proporcionada por el Sistema Corporativo de Información Geográfica de Pemex, así como el 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 (véase figura 2.14).

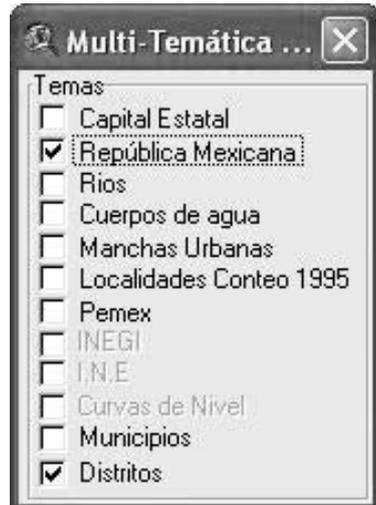
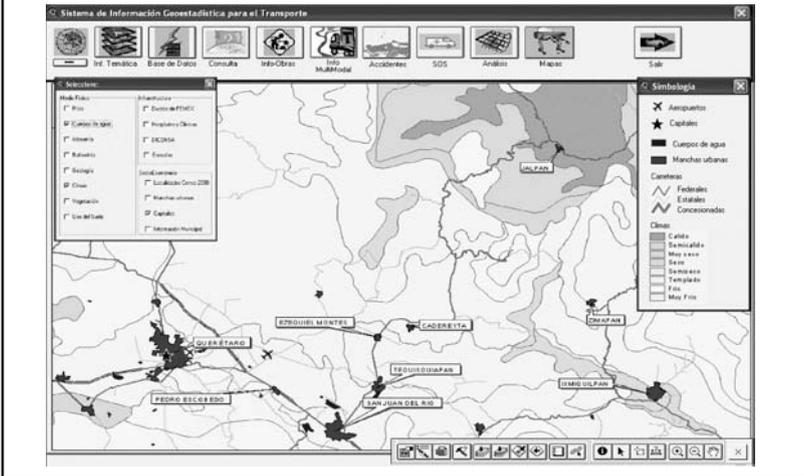


Figura 2.14 Información multimática del país, ampliación estado de Querétaro

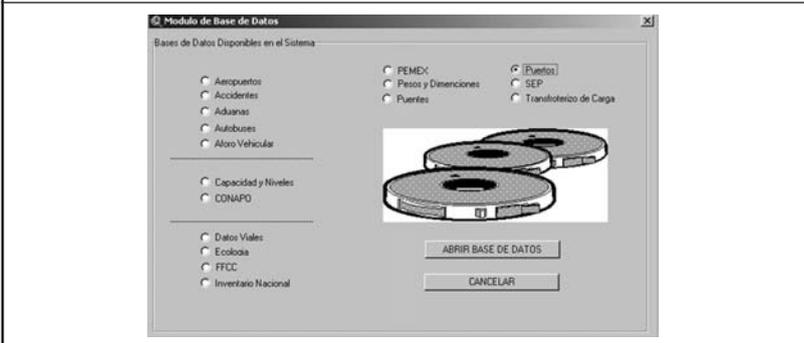


FUENTE: Censo de Población y Vivienda 2000 y Cartografía 1:250,000, INEGI.

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 (véanse figuras 2.15 y 2.16):

Figura 2.15 Pantalla de acceso al módulo *Base de datos* del Siget



FUENTE: Censo de Población y Vivienda 2000 y Cartografía 1:250,000, INEGI.

Figura 2.16 Consulta a la base de datos de puertos, señalamiento marítimo



FUENTE: Catastro Portuario Nacional, SCT, 2000.

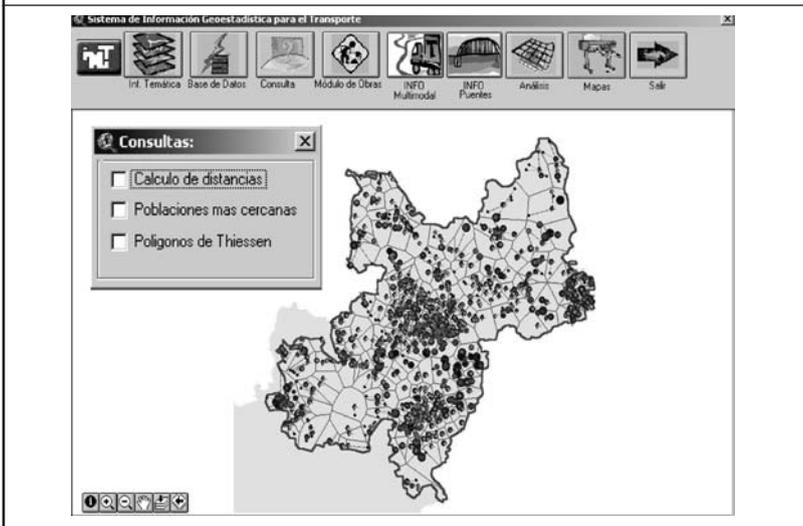
3. Módulo de consultas.

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 (véase figura 2.17).

4. Módulo de obras.

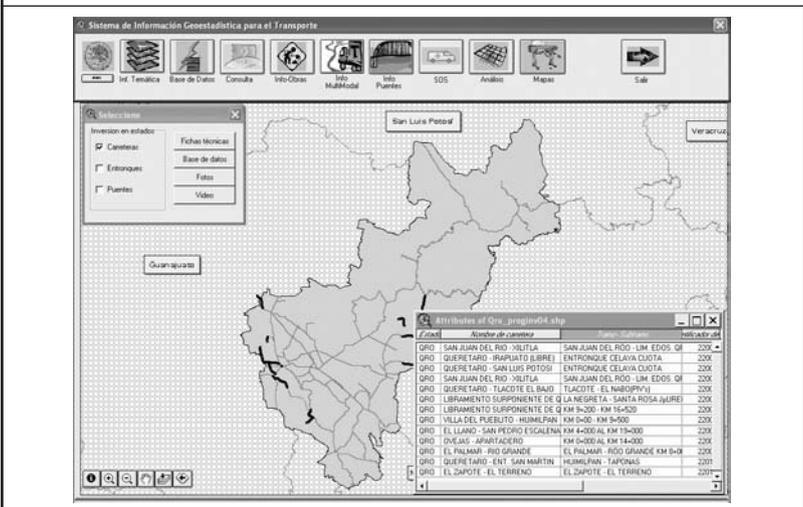
Integrado con la información procedente de la Dirección General de Planeación de la SCT, por lo que su actualización depende de la oportunidad con que se proporcione, se refiere a las obras anuales realizadas o en proceso por esta secretaría; la información corresponde a la ubicación geográfica por tipo 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 (véase figura 2.18).

Figura 2.17 Módulo de *consulta*. Polígonos de Thiessen con base en localidades con al menos una escuela, en la Sierra Gorda de Querétaro



FUENTE: Geosep, SEP, 2000.

Figura 2.18 Módulo de *obras*. Programa de inversión, SCT, 2004. Estado de Querétaro



FUENTE: Dirección General de Planeación, SCT, 2004.

5. Módulo INFO-multimodal.

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 (véase figura 2.19).

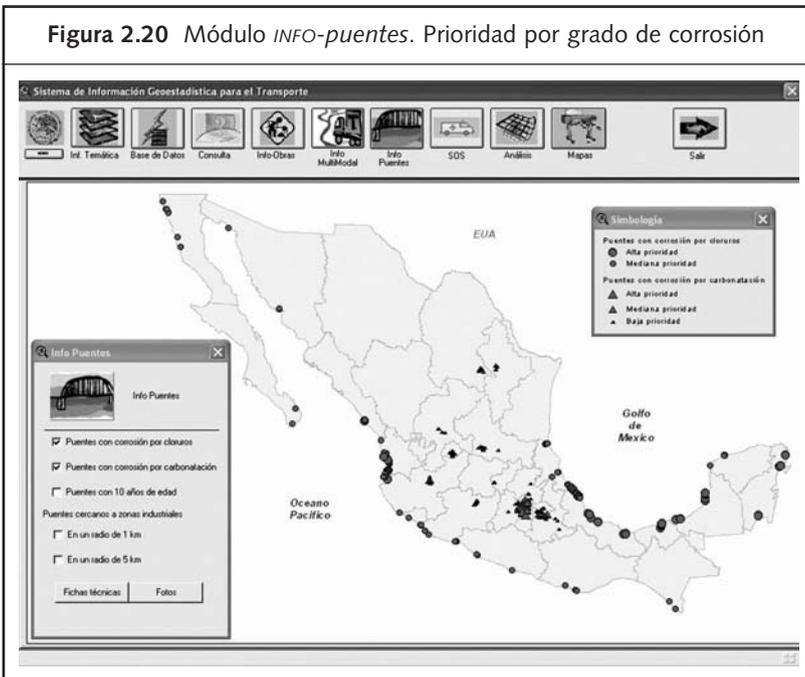


FUENTE: Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT, 2001.

6. *Módulo INFO-puentes.*

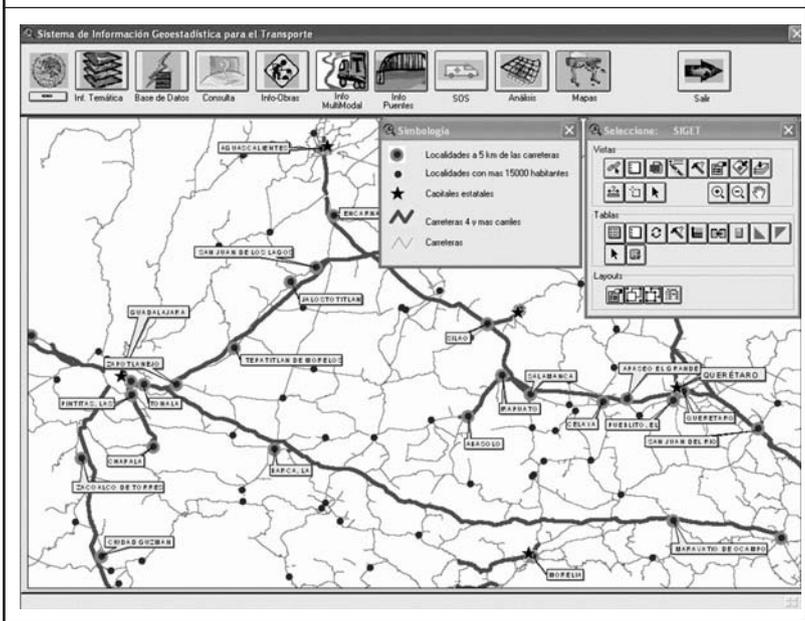
En este módulo se dispone de la localización de 6,500 puentes del país, con su respectiva base de datos obtenida del Sistema de Puentes de México, Sipumex, de la Dirección General de Conservación de la SCT; el módulo permite determinar la vulnerabilidad a la corrosión de cada puente y establecer la prioridad de atención, a partir de realizar correlaciones espaciales de la evaluación de este sistema 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 (véase figura 2.20).

Figura 2.20 Módulo *INFO-puentes*. Prioridad por grado de corrosión



FUENTE: Sipumex. Dirección General de Conservación, SCT, 2001 y Proyecto "Evaluación de la corrosión en los puentes federales", IMT 2003-2004.

Figura 2.22 Módulo análisis. Localidades mayores a 15,000 habitantes ubicadas hasta 5 km de carreteras de 4 carriles y más



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

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 donde se selecciona el tipo de mapa, orientación, tamaño e impresora de destino (véase figura 2.23).

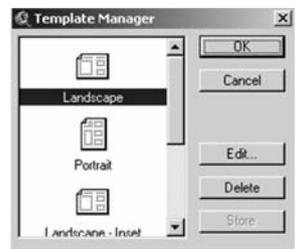
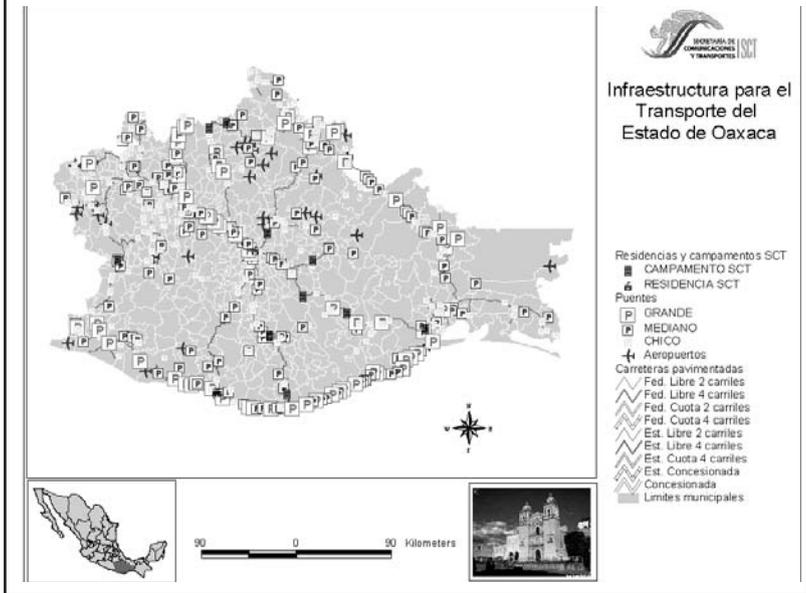


Figura 2.23 Módulo *mapas*. Formato para impresión del estado de Oaxaca



FUENTE: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte, INIT.

9. Salir.

Opción para abandonar la sesión de trabajo del Siget.

Alcances y potencial de utilización

Conviene destacar 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 y se han actualizado las cifras de las redes carreteras de cada estado.

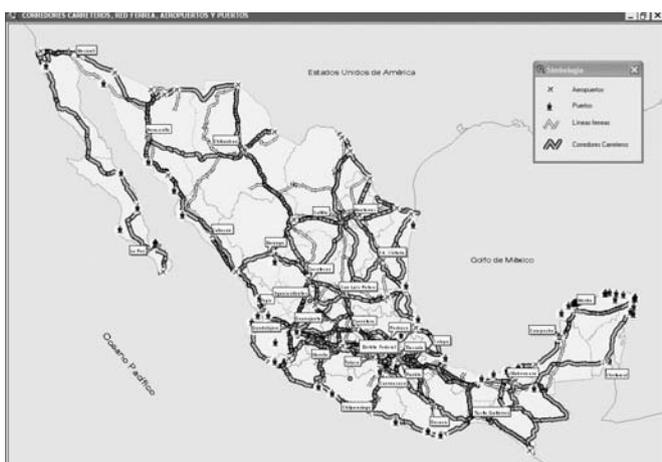
En los mapas de las siguientes figuras, elaborados con los datos obtenidos en campo mediante el GPS durante el primer periodo de

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, etcétera (véanse figuras 2.24, 2.25 y 2.26).
 - Jurisdiccional —federal, estatal, municipal (véanse figuras 2.24 y 2.25).
 - Manejo multitemático (véase figura 2.27).
2. El análisis y representación a cualquier escala, con la anotación de que a mayor escala se revela mayor grado de detalle, por ejemplo, trazo de la curvatura de los caminos (véase figura 2.27).
3. El manejo discrecional de los atributos registrados —se pueden elegir la representación de todos o sólo de los que cumplan alguna condición o combinación de variables, por ejemplo: puentes mayores a 100 metros de longitud (véanse figuras 2.24, 2.25 y 2.27).
4. Facilidad para sobreponer información procedente de otras fuentes. Por ejemplo, en el mapa de Querétaro se incluyen coberturas de curvas de nivel y toponimia generadas por otros medios (véase figura 2.27).
5. Localización y distribución precisa de todos los atributos registrados y elementos disponibles (véanse figuras 2.24 y 2.26).

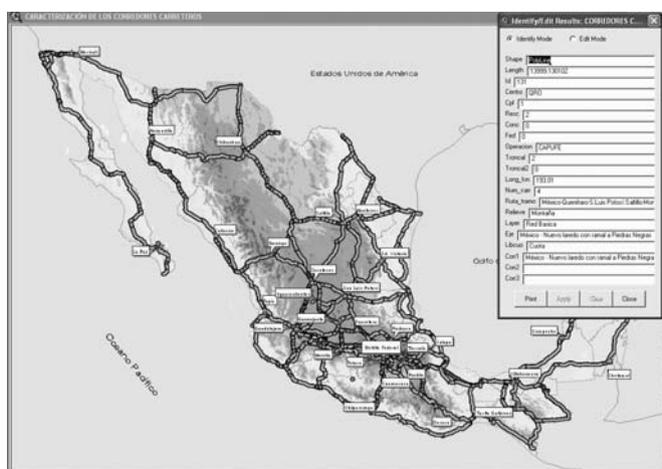
Durante el periodo de registro de información en campo, los problemas enfrentados con más frecuencia obedecieron a la degradación de la señal del satélite, producto de la “disponibilidad selectiva” —distorsión de la señal que era inducida intencionalmente por el Departamento de la Defensa de los EUA, 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.

Figura 2.24 Distribución geográfica de la infraestructura por modo de transporte



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte, Siget.

Figura 2.25 Diferenciación de la información por jurisdicción administrativa y tipología carretera



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte, Siget.

Figura 2.26 Integración de información temática de diversas fuentes y escalas



FUENTE: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT) y carta topográfica 1:250,000 del INEGI.

Figura 2.27 Representación de la información a distintas escalas con elevado grado de detalle



FUENTE: Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT) y carta topográfica 1:250,000 de INEGI.

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 Geográfico para la Evaluación de Pavimentos, 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 al 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, etcétera.

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 antes 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 esta obra 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 en el 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 y demás dependencias sectoriales, mismo que ya se encuentra en proceso en el marco de un convenio específico de colaboración entre la SCT, el IMT y el INEGI, con base en el diseño del propio Siget como un mecanismo interactivo de acceso, consulta, asociación y representación cartográfica 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 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.

| Entidades, dependencias e instituciones usuarias de la información del Siget | | |
|---|---|---|
| <u>IMT</u> | <u>Instituciones nacionales</u> | <u>Gobiernos estatales</u> |
| Coordinaciones de: <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad. • Integración del transporte. • Economía de los transportes y desarrollo regional. • Ingeniería vehicular e integridad estructural. • Laboratorio de ingeniería de puertos y costas. • Laboratorio de Infraestructura. | <ul style="list-style-type: none"> • INEGI • SEP • Sedesol • Sedena • Semarnat • Segob • Conapo • Pemex • INE • INSP • CFE • IFE • FCE • Banrural | <ul style="list-style-type: none"> • Aguascalientes • Baja California • Chiapas • Chihuahua • Coahuila • Guanajuato • Hidalgo • Jalisco • México • Michoacán • Nayarit • Nuevo León • Oaxaca • Puebla |

Continúa...

Continuación...

SCT

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • D.G. Planeación. • D.G. Autotransporte. • D.G. Servicios técnicos. • D.G. Conservación. • Capufe. • Unidad de autopistas de cuota. • Centros SCT (31). • Unidad de caminos alimentadores. • Telecomm. | <ul style="list-style-type: none"> • Diconsa. • Cenapred. • Centro Geo. • Colegio de la Frontera Sur. • Aserca. • UNAM. • Universidad Autónoma de Querétaro. • Universidad Autónoma de Campeche. • Universidad Autónoma de Nuevo León. • Universidad Autónoma del Estado de México. | <ul style="list-style-type: none"> • Querétaro • Sonora • Tabasco • Tamaulipas • Veracruz • Yucatán |
|---|---|---|

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; abarca 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; cuenta a su vez con la capacidad funcional de responder a las necesidades particulares de los diversos agentes involucrados en el transporte, léase organismos públicos, transportistas, usuarios y estudiosos, entre otros.

Aplicaciones multitemáticas

Con base en la estructura operacional del Siget como herramienta para el manejo, análisis y representación cartográfica de la información estadística y geográfica del sector transporte y fuentes diversas, se derivan proyectos de investigación y aplicaciones con temáticas múltiples, que demuestran la utilidad y versatilidad del sistema para abordar estudios interdisciplinarios con el aporte de la perspectiva de análisis territorial.

En el presente capítulo se presentan tres de los proyectos en desarrollo; estos han permitido probar la versatilidad y el potencial de utilización del Siget, en múltiples campos y desde perspectivas distintas.

El primero de los proyectos se titula “Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras”, tiene como propósito elaborar una metodología y una herramienta sistémica para evaluar, de acuerdo con la propuesta del Sistema Nacional de Protección Civil, los factores de riesgo naturales y socio-organizativos a los que está sujeta la infraestructura para el autotransporte, tanto en la etapa de prevención, como en la de atención de emergencias en caso de ocurrencia de un desastre natural. Con este fin, se presentan los avances alcanzados, desde la concepción del sistema global, hasta los ejemplos experimentales tanto del subsistema de prevención, realizados con información de cuatro entidades del centro del país —Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Estado de México—, como del subsistema de atención de emergencias con datos de Veracruz.

En el segundo proyecto titulado “Transporte y accesibilidad en la cobertura regional de los servicios básicos de educación y salud en México”, a partir del caso de Querétaro como estudio piloto, se pre-

tende también llegar a una metodología para el análisis espacial del papel del transporte, en la satisfacción de la demanda de escuelas de nivel básico y centros para la atención primaria de la salud, principalmente en zonas rurales.

Por último, el tercer proyecto: “Sistema de información geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”, busca apoyar a las dependencias y organismos de los distintos niveles de gobierno de las entidades fronterizas del país, en las labores de planeación y programación del transporte.

Sistema de Información para el Análisis Espacial de Riesgos en la Red Nacional de Carreteras

Definición, objetivos y marco conceptual de referencia

El tema se construye alrededor de la identificación y localización geográfica de la serie de riesgos a que está sometida la infraestructura carretera, así como de aquellos otros inherentes a la misma.

Se alude al concepto de análisis espacial de los riesgos en la infraestructura carretera, en virtud de que el enfoque es esencialmente geográfico. Se concentra en la identificación de lo que es riesgo y en la ubicación territorial del mismo, para de ahí analizar la distribución territorial del fenómeno y las implicaciones que de ello se derivan.

Por riesgo se entiende cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad o un bien determinado, que sea vulnerable a ese fenómeno.

Los riesgos son fenómenos generadores de posibles desastres. Un desastre puede definirse como:

...un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, en forma repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos, alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente, esta situación significa la desorganización de los patrones normales de vida, genera adversidad, desamparo y sufrimiento en las personas, efectos sobre la estructura socioeconómica de una región o país y/o la modificación del medio

ambiente; lo cual determina la necesidad de asistencia y de intervención inmediata".¹

Analizar desde la perspectiva geográfica las características y condiciones de la presencia de riesgos; evaluar su impacto en términos de daños directos e implicaciones indirectas en la infraestructura; así como establecer y estimar los efectos en la seguridad de los usuarios, son aspectos medulares del tema que deberán ser tratados a fin de contribuir al fortalecimiento de las acciones de prevención y mitigación de desastres y a hacer más efectivas y ágiles las labores de atención de emergencias.

La infraestructura carretera comprende, para efectos del proyecto de investigación, tanto a las carreteras propiamente dichas como a las señalizaciones, vados, puentes y al resto de obras que acompañan a las primeras —gasolineras, paraderos, casetas de cobro, etcétera.

El riesgo en la infraestructura carretera debe contemplarse desde dos perspectivas distintas: una, donde la infraestructura es en sí misma el objeto del riesgo, en otras palabras, es el agente donde se materializa el riesgo y se produce el daño, y cuyas implicaciones se sitúan tanto en la afectación misma de la infraestructura —efecto directo—, como también en la desactivación de su papel de vías de comunicación al servicio de las localidades cercanas y del resto de las poblaciones que enlaza, —efecto indirecto—, con lo cual el desastre y sus repercusiones se extienden y magnifican considerablemente.

Desde este ángulo, la infraestructura representa el elemento a proteger con el propósito de conservar el bien mismo y de mantener en el mejor nivel de servicio sus funciones en caso de un desastre.

La segunda perspectiva se vincula con la seguridad de los usuarios, sitúa a la carretera como el factor de riesgo para las personas y los vehículos que por ella transitan, de manera que los accidentes son, en este caso, la materialización del riesgo y en consecuencia el aspecto a evitar. Conviene aclarar que aunque se sabe que en el caso de los accidentes, la carretera no es el único, ni necesariamente el factor de riesgo en la ocurrencia de muchos de ellos, desde la óptica del presente proyecto se abordan sólo las implicaciones de riesgo inherentes a la infraestructura carretera, en virtud de que el interés se centra en la

identificación y ubicación de los riesgos que ésta enfrenta y de los riesgos que ésta promueve.

Derivado de las perspectivas anteriores, el estudio del riesgo en carreteras debe atender a la vulnerabilidad de la infraestructura ante diversas eventualidades, tales como riesgos naturales, problemas sociales y presencia de accidentes, en cuyos casos la destrucción de vías, o los bloqueos de éstas, tienen severas implicaciones económicas, sociales y en ciertos momentos hasta de índole política, que deben ser consideradas.

Dado que se pretende ubicar la serie de riesgos que asechan a la infraestructura carretera y establecer la distribución territorial de los mismos con fines primordialmente de prevención y de mitigación de desastres, el apoyo del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte resulta de gran utilidad, no sólo por las facilidades que ofrece para la “visualización de los fenómenos”, en este caso el comportamiento de los distintos factores de riesgo, sino especialmente por la serie de análisis territoriales posteriores que se pueden realizar con la información recabada y debidamente georreferenciada dentro del sistema, así como por las ventajas que proporciona en materia de organización, actualización, integración y ampliación de las bases de datos.

Los distintos procesos de análisis territorial deberán orientarse a apoyar y a facilitar la serie de tareas que dentro del tema riesgos se relacionan con la prevención, tanto de desastres, por un lado, como de accidentes, por el otro. Al mismo tiempo que las diversas funciones de que dispone el Siget deberán proporcionar nueva información, útil para la elaboración de los muy necesarios planes de contingencias y de atención de emergencias de los organismos y dependencias del sector transporte a cargo de la correcta operación de las vías carreteras; en virtud de que el propósito final es que el sistema diseñado, además de contribuir a la prevención de daños, preste apoyos también a las labores de emergencia que exigen intervenciones inmediatas.

En virtud de la constante presencia de desastres, tanto de origen natural como de origen humano y/o tecnológico, que se registran a lo largo y ancho del territorio nacional, con las consiguientes pérdidas humanas, materiales y económicas, es claro que la prevención de desastres debe convertirse en una actividad de observación y de actuación permanente, para la cual el disponer de información confiable,

oportuna, debidamente organizada y con facilidades de consulta y manejo resulta de invaluable utilidad; de ahí la razón de proponer el diseño y conformación inicial del “Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red carretera nacional”.

En ese sentido, como resultado del Foro del Programa Internacional del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, realizado en julio de 1999, se estableció dentro del Mandato de Ginebra sobre reducción de los desastres que:

...se debe fomentar una cultura de la previsión y se adoptarán y aplicarán medidas destinadas a reducir la vulnerabilidad de nuestras sociedades a los riesgos naturales y tecnológicos, esas medidas tendrán como principales objetivos el establecimiento de comunidades capaces de hacer frente adecuadamente a los riesgos y a la protección de la población contra la amenaza de desastres.

Por otra parte, serán necesarias investigaciones científicas, sociales y económicas, y aplicaciones tecnológicas y de planeación en gran variedad de disciplinas encaminadas a potenciar la gestión de los riesgos y la reducción eficaz de nuestras vulnerabilidades.²

Es precisamente en este marco que se inscribe y justifica el trabajo de investigación en la parte correspondiente a los riesgos que enfrenta la infraestructura carretera en su papel de objeto del riesgo.

En el mismo sentido, y con objeto de fortalecer la importancia del tema, Maskrey —uno de los principales estudiosos del tema “riesgos” en América Latina— cita las siguientes recomendaciones como base para la transformación del marco institucional dentro del cual se lleva a cabo la prevención y el manejo de desastres:

Dada la acelerada acumulación de vulnerabilidades en las regiones periféricas de América Latina es muy probable que se produzcan desastres “sorpresivos” en la región con cada vez mayor frecuencia. Actualmente se pone bastante énfasis en el estudio y monitoreo de las amenazas y su evolución pero la vulnerabilidad sigue siendo un campo de investigación marginal. Creemos que la base fundamental para la prevención y el manejo de desastres en la región tiene que ser la creación de sistemas de información que permitan identificar los patrones de vulnerabilidad que existen en la región y monitorear los cambios que ocurren en ellos. Sólo con sistemas de este tipo será posible conocer los niveles de riesgo reales que existen, su distribución espacial y su evolución temporal.³

Respecto a la perspectiva donde la infraestructura es el escenario del riesgo y al mismo tiempo uno de los factores generadores de éste, esto es, en materia de accidentes carreteros, el contar con información que permita identificar y situar los tramos de mayor peligrosidad a la vez que orientar la planeación de una serie de medidas necesarias para elevar en lo posible la seguridad, resulta una condición fundamental, que se facilita ampliamente con el apoyo de las funciones propias de un SIG, como las que el presente proyecto propone.

De hecho, la formulación del proyecto en cuestión se orienta a la elaboración ulterior de un “Atlas de riesgos para la infraestructura del autotransporte”, de enorme utilidad para una gran variedad de labores relacionadas con la seguridad en carreteras, la atención de la vulnerabilidad de la infraestructura y la realización de planes de contingencia, entre otros muchos aspectos. A este respecto, en el taller sobre “Vulnerabilidad ecológica y social”, realizado en Estocolmo, Suecia, en mayo de 1999, se reconoció la necesidad de disponer de atlas de riesgos:

...son necesarios, su precisión permite ofrecer soluciones para el uso del territorio, sin tener que, sobre la base de zonificaciones generales, establecer prohibiciones también generales, las cuales terminan por tener una utilidad práctica muy limitada.

Objetivo general

Diseñar y conformar un sistema de exploración, consulta y análisis de información espacial orientado al diagnóstico de los riesgos naturales y sociales a que está expuesta la red nacional de carreteras, así como a facilitar y fortalecer las labores vinculadas con la gestión de desastres.

Objetivos específicos

- Identificar la distribución espacial de los diferentes tipos de riesgos a los que está expuesta la infraestructura carretera.
- Clasificar la red de acuerdo a distintos niveles de riesgo.

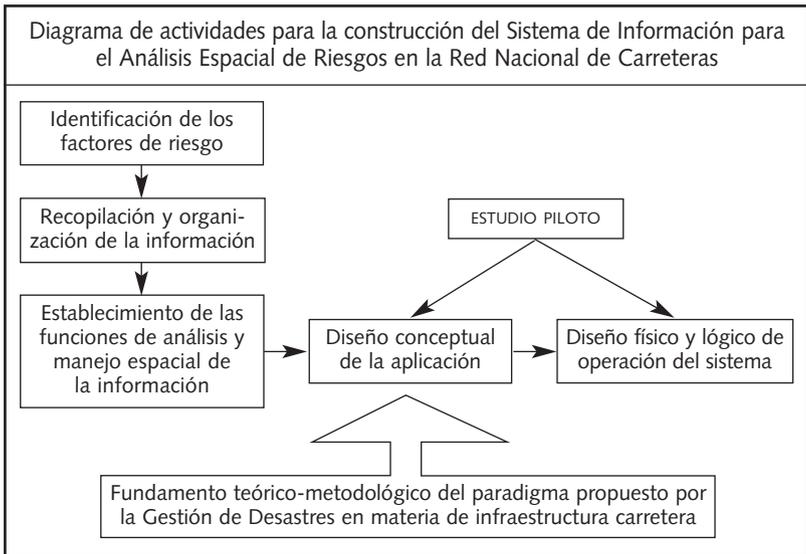
- Zonificar la red de acuerdo con diferentes niveles de vulnerabilidad.
- Disponer de mecanismos que permitan el establecimiento de rutas alternativas de evacuación para las comunidades cercanas a las zonas dañadas, en caso de desastre.
- Identificar los factores naturales y de infraestructura que determinan la concentración y/o dispersión geográfica de segmentos de alto riesgo en las carreteras nacionales.
- Establecer opciones de manejo de información, para elaborar propuestas de operación de desalojo en vías afectadas por accidentes o desastres.
- Apoyar las labores de atención de emergencias y de evacuación con algunas funciones de modelado y de simulación, básicamente de algunos procesos naturales y de derrames de sustancias o materiales peligrosos.

Planteamiento del proyecto

Con base en la plataforma brindada por el Siget, en el presente proyecto se propone la generación de un sistema para manejo de información geográfica especializado en la identificación multifactorial de riesgos presentes en las carreteras nacionales. Ello a través del ingreso, manejo, análisis y actualización periódica de información procedente de diversas fuentes —estadísticas, cartográficas, de campo, etcétera—, relativas a las condiciones ambientales, sociales y tecnológicas que contribuyen a la concentración geográfica de eventos asociados al riesgo de la infraestructura y a la seguridad de los usuarios de la red nacional.

Se pretende diseñar y proponer una metodología de carácter geográfico que sustente el diseño de sistema para usuario final, probado mediante un estudio piloto en el centro del país, con la intención de contribuir al establecimiento de estrategias de intervención orientadas a concentrar la atención y los esfuerzos de la administración pública en los factores de riesgo a los que están expuestas las carreteras nacionales, así como a coadyuvar en la conservación de niveles de calidad y de seguridad aceptables de la infraestructura y en la dismi-

nución del número de accidentes y sus consecuencias sociales y económicas.



FUENTE: M.G. García Ortega, *Sistema de Información para el Análisis Espacial de Riesgos en la Red Nacional de Carreteras*, tesis de maestría, México, UNAM, 2003.

De acuerdo con el objetivo general del proyecto, el propósito central es diseñar, a manera de propuesta, dentro del ambiente del Siget, una aplicación especializada dirigida al análisis del comportamiento territorial de una gran cantidad de variables relacionadas con:

- La presencia de riesgos susceptibles de afectar a la infraestructura carretera.
- La ocurrencia de daños de índole natural o social sobre la misma.
- La existencia de factores de riesgo promotores de accidentes carreteros.
- La vulnerabilidad de la infraestructura.

Todo ello a fin de brindar, a través de los diversos análisis de manejo espacial de la información, facilidades y ventajas para:

- La elaboración de diagnósticos de riesgo de la infraestructura.
- La toma de medidas preventivas.
- La construcción de planes de contingencia y de mitigación de daños.
- La actuación en periodos de emergencia.
- La realización de obras y acciones dirigidas a elevar la seguridad en carreteras, entre otras.

La primera labor implicó identificar los distintos factores que representan algún riesgo para la infraestructura, así como las características más relevantes que los definen. Casos, por ejemplo, de su probabilidad de ocurrencia, la época de mayor incidencia o la magnitud del peligro que representan; del mismo modo que en el caso de accidentes fue necesario identificar y establecer los distintos factores de riesgo presentes a lo largo de las vías carreteras. Se trata en consecuencia de precisar los diversos factores de riesgo que por su importancia, tanto para la propia infraestructura como para la seguridad de los usuarios de las vías, son considerados en el proyecto.

La segunda tarea consistió en recabar la información respectiva, en cuyo caso fue necesario referenciarla geográficamente, organizarla, y homogeneizar su escala y proyección geográfica; a la vez que en ciertos casos, derivar de ella nueva información, con lo cual se conformó no sólo la base de datos, sino también y muy importante, una imagen del comportamiento geográfico de las variables a manejar.

Secuencia del registro y compilación de la información del Sistema de Información para la Evaluación Espacial de Riesgos en la Red Nacional de Carreteras

1. La red carretera georreferenciada a partir de los archivos del INIT provenientes del levantamiento GPS.
2. La recopilación y clasificación de información cartográfica digital de distintas fuentes (derivadas del Siget a partir de datos del INE, IMTA, INEGI, UNAM, Conapo, Pemex).
3. Estructuración de bases indexadas sobre los atributos para cada segmento de 1 km.
4. Georreferenciación de la información sobre las condiciones de tránsito y accidentes provenientes de Dirección General de Servicios Técnicos-SCT, Capufe y Policía Federal Preventiva.

En tercer lugar, fase actualmente en desarrollo, se precisarán la serie de funciones de análisis y manejo espacial —análisis de distribución, de dispersión/concentración, de correlación espacial de variables, zonificaciones, incluso modelado y simulación de procesos, entre otras— que deberán realizarse con la información previamente recabada, con el propósito de que sirva a las acciones de prevención de desastres, al incremento de la seguridad en carreteras, al desarrollo de planes de emergencia tendientes a mitigar los efectos alcanzados en casos de desastre, así como al planteamiento de acciones orientadas a contrarrestar los efectos de bloqueos carreteros provocados por accidentes o por los propios desastres.

Alcanzados los pasos anteriores, se procederá al diseño conceptual y lógico de la aplicación. Por aplicación se entiende el desarrollo, a partir del Siget y con base en la programación de funciones desde ArcView, de las rutinas que circunscriben las operaciones y funciones a las necesidades exclusivas del análisis y monitoreo de riesgos en la infraestructura carretera.

El desarrollo de procesos metodológicos para aplicar técnicas de análisis espacial con base en las herramientas propias del SIG, será parte sustancial de esta etapa del trabajo, del mismo modo que el diseño de los programas para el manejo de indicadores específicos dentro de las rutinas de trabajo del sistema.

Una vez concebida y formulada la aplicación, se dará inicio a la fase del diseño físico del sistema dentro del ambiente de ArcView, donde se materializarán y organizarán todas y cada una de las rutinas de trabajo que conformarán al “Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras”, de acuerdo con los objetivos específicos del proyecto, previamente establecidos.

A la par de la labor anterior será necesario organizar la base de datos de que dispondrá el sistema para realizar sus propósitos. En otras palabras, las bases de datos tendrán que ordenarse conforme a las rutinas de trabajo, a fin de que alimenten convenientemente a éstas y favorezcan asimismo la operación del sistema formalmente construido.

Zona de estudio

Dado que en esta fase de la investigación lo que se busca es una propuesta del diseño y desarrollo técnico y metodológico del “Sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras”, al servicio de la prevención y el manejo de riesgos de la infraestructura del autotransporte y de la seguridad de los usuarios, se determinó que el universo de estudio comprendiera los tramos carreteros: Tepetzotlán-Palmillas, Palmillas-Querétaro y Querétaro-Irapuato, mismos que enlazan territorios pertenecientes a cuatro entidades federativas distintas: Estado de México, Hidalgo, Querétaro y Guanajuato (véase figura 3.1).



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte.

Los tramos carreteros objeto del estudio de caso, abarcan 116 km de la carretera Tepetzotlán-Palmillas —km 32+000 al 148+000— y 103 km de la carretera Querétaro-Irapuato —103+000. En tanto el tra-

mo Palmillas-Querétaro de jurisdicción federal comprende 60 km de longitud.

Los tramos carreteros elegidos son parte de uno de los principales ejes de comunicación y de distribución de bienes, servicios e información del país, a lo largo del cual se sitúan ciudades con distinta especialización funcional, localizadas en el centro y norte del país, además de formar parte de uno de los principales corredores del comercio exterior. Concretamente, el tramo Tepotzotlán-Palmillas está considerado como uno de los más importantes en el ámbito nacional, tanto por el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) que registró, por ejemplo, 33,321 vehículos en el 2000 —cifra con la que ocupó el segundo lugar nacional de TDPA—,⁴ como por las ciudades que enlaza, Ciudad de México con las localidades ubicadas sobre el corredor industrial San Juan del Río-Querétaro-Celaya, y las regiones que integra, el Bajío, occidente y norte del país; así como también por el valor de la carga que por él circula —según estimaciones, por la estación Tepotzotlán se moviliza, en un año, carga con valor equivalente a 30% del PIB nacional.⁵

Conforme a los objetivos de la investigación, el resultado final atiende a la conformación de un sistema personalizado para usuario final, que se ha denominado "Info Riesgos", cuyo propósito ulterior es justificar, sustentar y motivar, a partir de su utilidad probada, el interés por continuar en esta línea a fin de concretar y materializar el desarrollo del Atlas Nacional de Riesgos de la Infraestructura del Autotransporte.

El resultado de esta etapa de trabajo deberá ser la materialización de la herramienta computacional, con una interfaz para usuario final personalizada, orientada a apoyar y facilitar las distintas fases de actuación de la gestión de desastres en materia de infraestructura carretera.

La construcción física del "Info Riesgos" corresponderá a la primera versión del mismo, cuya intención es ponerla al servicio de las diferentes áreas de la SCT responsables de las actividades vinculadas con la prevención de riesgos y la atención de desastres en los que se ve comprometida la infraestructura para el transporte.

La aplicación del sistema de información geográfica en desarrollo está conformada por dos módulos de trabajo. El primero de ellos, orientado a las etapas de prevención de riesgos y mitigación de daños, habilitado con una serie de funciones para llevar a cabo los análisis geográficos necesarios, a fin de detectar la presencia de factores promotores de riesgos. El segundo módulo está dirigido, concretamente, a la atención de emergencias y a la rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura dañada.

El primer módulo cuenta para su operación con una amplia base de datos multitemática, que es parte esencial del propio sistema, la cual consta de datos espaciales debidamente referenciados y un buen cúmulo de atributos asociados a los primeros. El segundo módulo, en cambio, por las características intrínsecas de su quehacer, si bien aprovecha parte de la información base del sistema, trabaja principalmente con información recopilada directamente en la zona de desastre.

El producto final que se obtendrá corresponderá a un desarrollo informático, sencillo, amigable y eficiente, integrado por un conjunto de herramientas que hacen posible, por un lado, el análisis geográfico de los fenómenos promotores de riesgos a la infraestructura carretera y, por otro, de los escenarios en caso de desastre.

Con base en los análisis posibilitados por el sistema en desarrollo se espera:

- Identificar y localizar procesos generadores de riesgo.
- Instrumentar una serie de medidas de carácter preventivo.
- Elaborar planes y acciones mejor fundamentados, vinculados a la mitigación de daños.
- Organizar con mayores elementos de conocimiento las acciones a emprender en caso de emergencia.
- Sistematizar la operación de las fases de atención de emergencias y de rehabilitación y reconstrucción de daños.

Avances alcanzados por grupo de riesgos y perspectivas de desarrollo del proyecto

De acuerdo con los diferentes riesgos que pueden dar lugar a un desastre, el Sistema Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, adoptó lo que ellos llaman “clasificación de desastres según su naturaleza”, donde se distinguen y definen cinco grupos de riesgos: geológicos, hidrometeorológicos, químicos, sanitarios y socio-organizativos.

| Clasificación de los riesgos según su origen |
|--|
| <p><i>Hidrometeorológicos</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Huracanes.• Inundaciones.• Nevadas, heladas, granizo.• Sequías y temperaturas extremas.• Niebla espesa. |
| <p><i>Geológicos-geomorfológicos</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Tectónico-volcánicos, se caracterizan por la presencia de terremotos, <i>tsunamis</i> o de erupciones volcánicas que afecten obras o asentamientos.• Geomorfológicos, como los movimientos en masa, deslizamientos de tierras, flujos de lodo y las avalanchas; colapsos y hundimientos; abarrancamientos. |
| <p><i>Químicos</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Depósitos, ductos y autotransporte de materiales peligrosos.• Incendios y explosiones.• Radiaciones, fugas y envenenamientos masivos. |
| <p><i>Sanitarios</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Presencia y dispersión de enfermedades y factores de riesgo de salud pública.• Contaminación de aire, agua y suelo. |
| <p><i>Socio-organizativos</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Accidentes.• Concentraciones tumultuarias.• Terrorismo y sabotaje.• Bloqueos de vías de comunicación. |

FUENTE: Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaría de Gobernación.

Si reconocemos que la infraestructura para el transporte es un elemento en riesgo, de cuyos daños materiales y alteraciones en el servicio se derivan costos económicos significativos y repercusiones sociales y

productivas considerables, resulta de gran utilidad identificar a cuáles de los diferentes tipos de riesgo está sujeta la infraestructura carretera.

Los efectos que puede causar un desastre varían, dependen de las características y condiciones de los elementos expuestos —población, medio ambiente, vivienda, infraestructura de transporte, comercio, servicios públicos, etcétera—, así como de la naturaleza del evento mismo —huracán, terremoto, explosión, entre otros.

Los efectos, a su vez, pueden clasificarse en pérdidas directas e indirectas. Las primeras están relacionadas con las alteraciones físicas del hábitat, expresadas en víctimas, daños en la infraestructura productiva y de servicios —caso de la infraestructura para el transporte—, afectación y pérdida de viviendas, y deterioro ambiental.

Las pérdidas indirectas, por su parte, se subdividen en efectos sociales, representados en general, por la interrupción de servicios a la población, y en efectos económicos, cuyas repercusiones en la producción sumadas a la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción generan costos que suelen alcanzar proporciones considerables del Producto Interno Bruto (PIB) de los países, —en cuyo caso, se sitúa también la infraestructura para el transporte.⁶

De manera que, apoyados en la clasificación antes referida, se establecieron los grupos de riesgos a considerar para el análisis de su distribución espacial, en relación con la infraestructura para el auto-transporte. Así, de cada grupo, se ha avanzado en la obtención de la información de algunas variables y se ha procedido a la evaluación de su comportamiento territorial en la zona de estudio piloto. Conviene reiterar que el proyecto está en pleno desarrollo, con un plazo de un año para su culminación.

Grupos de riesgo

Geológicos. Comprende la serie de riesgos derivados de la actividad tectónica del planeta y de los procesos asociados a ésta, tales como sismos, maremotos, *tsunamis*, vulcanismo, deslaves, colapsos de suelos, flujos de lodo, hundimientos regionales, agrietamientos. Se trata de un grupo de riesgos de amplia cobertura espacial en nuestro país, que sin duda mantienen una presión latente sobre la infraestructura.

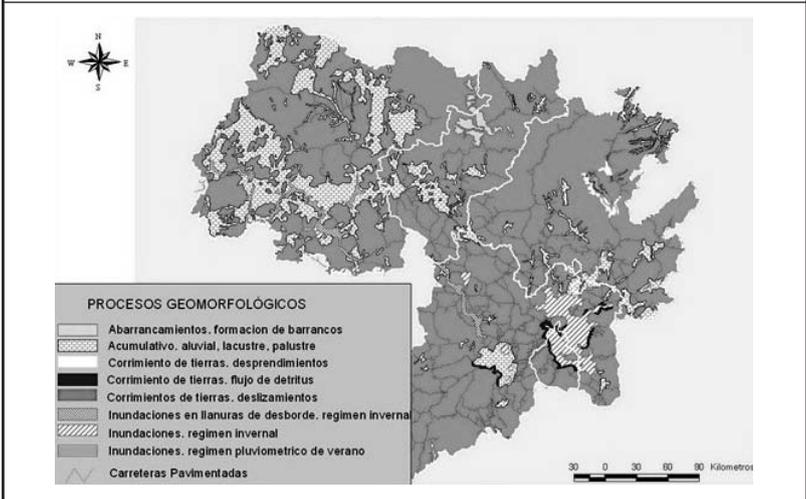
De este grupo de riesgos, con base en la información proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en escala 1:250,000, para la zona de estudio se ha compilado e integrado al sistema la información relativa a la geología y la geomorfología; en particular, riesgos sísmicos y volcánicos, fallas y fracturas, y riesgos derivados de procesos geomorfológicos, como son abarrancamientos, corrimiento de tierras e inundaciones. Mediante un procedimiento de intersección de la información fuente con la ubicación de la infraestructura, se han identificado los tramos y elementos asociados, sujetos a algún tipo de riesgo (véanse figuras 3.2, 3.3 y 3.4).



FUENTE: *Atlas nacional de riesgos*, Sistema Nacional de Protección Civil, Secretaría de Gobernación.

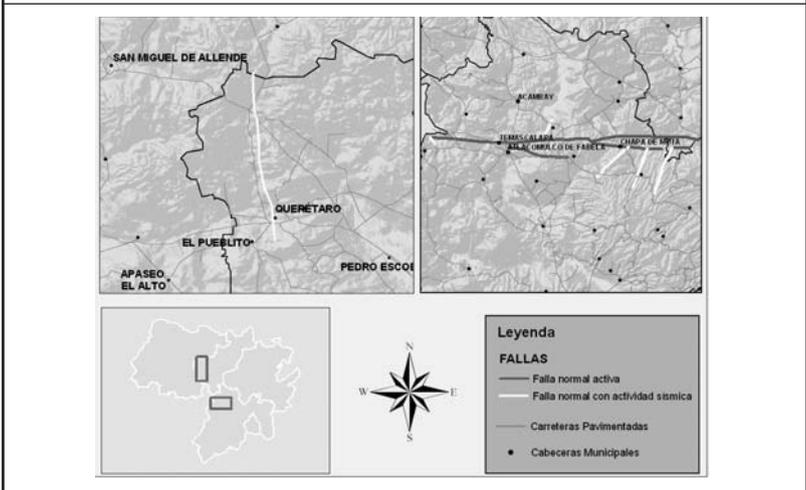
Hidrometeorológicos. Este conjunto de riesgos, provocados por la acción de fenómenos atmosféricos, como huracanes, inundaciones fluviales y pluviales; tornados, tormentas de nieve, granizo, polvo y electrici-

Figura 3.3 Procesos geomorfológicos que afectan la infraestructura carretera en la zona de estudio



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México, 2000.

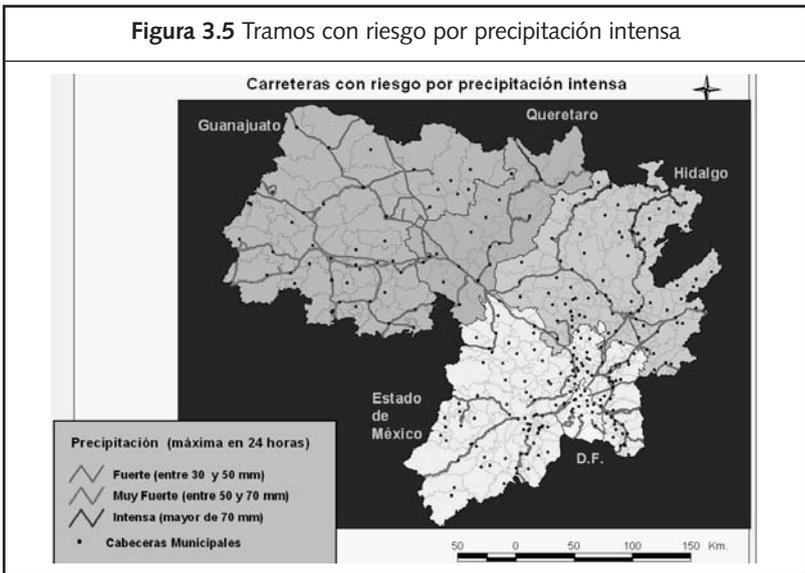
Figura 3.4 Fallas geológicas que afectan la red carretera en la zona de estudio



FUENTE: Instituto Nacional de Ecología, Semarnat, México, 2000.

dad; sequías y temperaturas extremas, ejerce una constante afectación sobre la infraestructura carretera a la vez que severos daños de manera periódica en ciertas épocas del año.

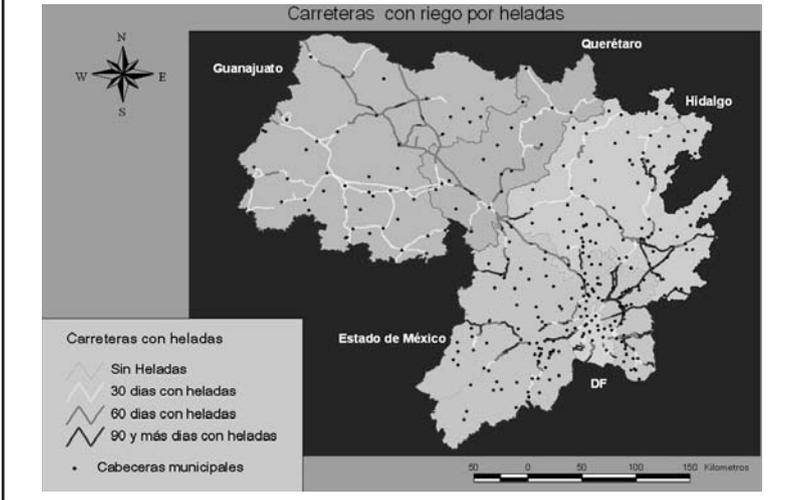
Para efectos del proyecto, se han integrado bases de datos tanto del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua como del Instituto Nacional de Ecología, con lo que se ha caracterizado el comportamiento de algunas variables climáticas a nivel regional, e identificado algunos riesgos derivados para la infraestructura del transporte en la zona de estudio (véanse figuras 3.5 y 3.6).



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

Químicos. Estos riesgos, aunque están vinculados preponderantemente a las concentraciones urbanas e industriales, —incendios domésticos, industriales y forestales; explosiones derivadas en su mayoría por el uso, transporte y almacenamiento de productos combustibles de alto potencial explosivo; radiaciones, fugas tóxicas y envenenamientos masivos—, sí constituyen factores de riesgo para la infraestructura carretera, tanto en el caso de que las sustancias o los materiales peligrosos sean transportados, como en aquellos que algunas plantas

Figura 3.6 Carreteras según rango de heladas anuales en la zona de estudio



FUENTE: Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget).

industriales o instalaciones de almacenamiento de sustancias peligrosas se encuentran asentadas en las inmediaciones de los caminos.

Para este tipo de riesgos se ha dificultado la identificación y acceso de la información necesaria, debido a que, en ocasiones, las fuentes generadoras restringen su acceso por razones de seguridad o por falta de registro ordenado; no obstante, se cuenta ya con la información del transporte de los productos de Pemex, con la que se ha comenzado el análisis de los flujos, según origen y destino, para identificar los tramos de mayor riesgo.

Sanitarios. Sus fuentes se ubican en las grandes concentraciones de población, destacan en este grupo fenómenos como la contaminación del aire, del suelo y del agua; la desertificación; las epidemias y plagas; y la lluvia ácida. Dada su naturaleza, este tipo de riesgos no provocan daños a la infraestructura carretera, razón por la que dicha categoría fue excluida del proyecto. Cabe señalar que, si bien entre los factores de riesgo se registra la presencia de lluvia ácida, la cual es de suponer tenga efectos dañinos sobre la infraestructura carretera, la falta de

información al respecto y la puntualidad territorial de su actuación la dejan por el momento fuera de las consideraciones del proyecto.

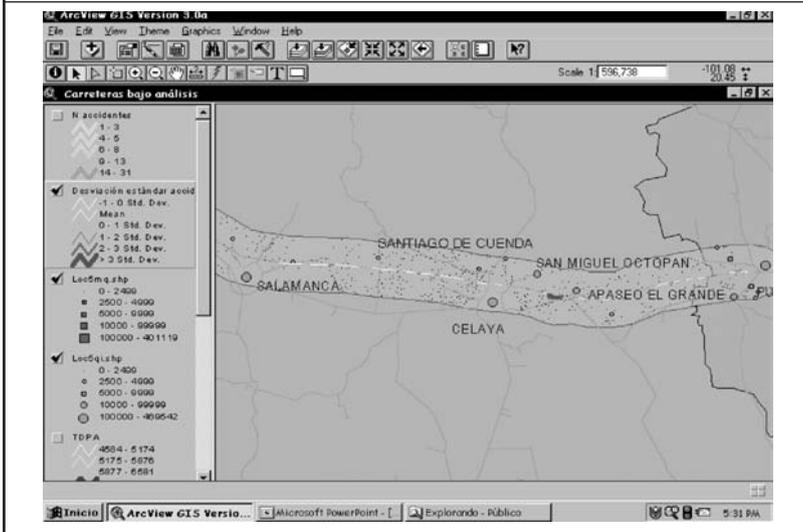
Socio-organizativos. Los orígenes de estos riesgos se inscriben en las actividades de las concentraciones humanas, se trata de fenómenos como los desplazamientos tumultuarios de personas; las concentraciones masivas de población en lugares inapropiados; los accidentes de transporte —carreteros, ferroviarios, aéreos, fluviales y marítimos— que por su tipo o magnitud pueden afectar a una parte de la sociedad, y los actos de terrorismo y sabotaje. Lo cual traducido a la infraestructura carretera significa bloqueos de vías, es decir interrupciones voluntarias e involuntarias del tránsito con serias repercusiones económicas, sociales y hasta políticas según sea la causa de la suspensión de la circulación. Situación que, en la concepción del proyecto, determina lo que llamamos “vulnerabilidad de la infraestructura”. Entre más importante sea una vía —en términos de flujos de vehículos y de valor de la carga que por ahí circula— y menos alternativas de despeje tenga, más vulnerable es y más en riesgo se encuentra ante factores como los aquí señalados.

Para los fines del proyecto, este grupo de riesgos se analizan en un nivel espacial de mayor detalle; la zona de estudio se circunscribe al área definida por una distancia de 5 km a ambos lados de los ejes carreteros principales: México-Querétaro y Querétaro-Irapuato (véase figura 3.7). En éstos, se han geocodificado los accidentes registrados por la Policía Federal Preventiva, e iniciado los análisis de correlación espacial contra datos del tránsito promedio, información demográfica y del diseño geométrico de los tramos.

Perspectivas de desarrollo del proyecto

El hecho de conocer qué tipo de eventos pueden presentarse a lo largo de una vía carretera permite orientar y establecer medidas preventivas y de emergencia, de tal manera que el impacto de tales eventos sea el mínimo posible y no signifique un severo y prolongado trastorno para la operación y los niveles de servicio de la red carretera, cuyas repercusiones afectan directamente el desarrollo socioeconómico de las áreas a las que sirve.

Figura 3.7 Promedio de accidentes por segmento de 1 km de la carretera Querétaro-Irapuato



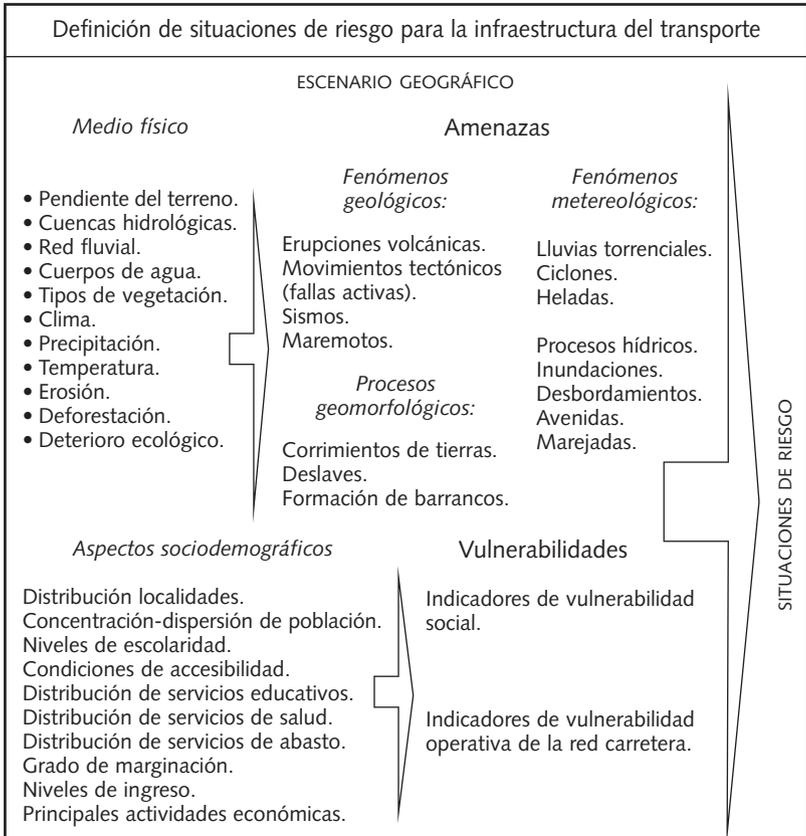
FUENTE: Elaboración propia con base en los registros de la Policía Federal Preventiva, 1998.

Dentro de la perspectiva de la infraestructura como objeto del riesgo, se establecen, a efecto de sistematizar el problema, tres categorías de conceptos para abordarlo. La primera la constituye el “grupo de riesgos”, que atiende a la génesis de los mismos; la siguiente, el “tipo de riesgos”, tiene el propósito de desglosar los diferentes riesgos, con probabilidad de ocurrir, asociados a cada grupo; y la tercera, el “indicador”, cuya finalidad es poder establecer, por un lado, grados de daño material, así como ponderar, por otro lado, la afectación de algunas de las diferentes funciones del sistema de transporte —interrupción del tráfico normal de mercancías, interferencias o rupturas en la conexión de la red, dificultades para el suministro de bienes en caso de situaciones de emergencias o de evacuación de poblaciones, etcétera.

La comprensión del riesgo se vincula, dentro de esta perspectiva del problema, al concepto de vulnerabilidad de la infraestructura carretera, entendida en términos de la magnitud de las consecuencias que se generan ante la suspensión de funciones de una vía o el mal servicio que ésta preste en razón de los daños sufridos.

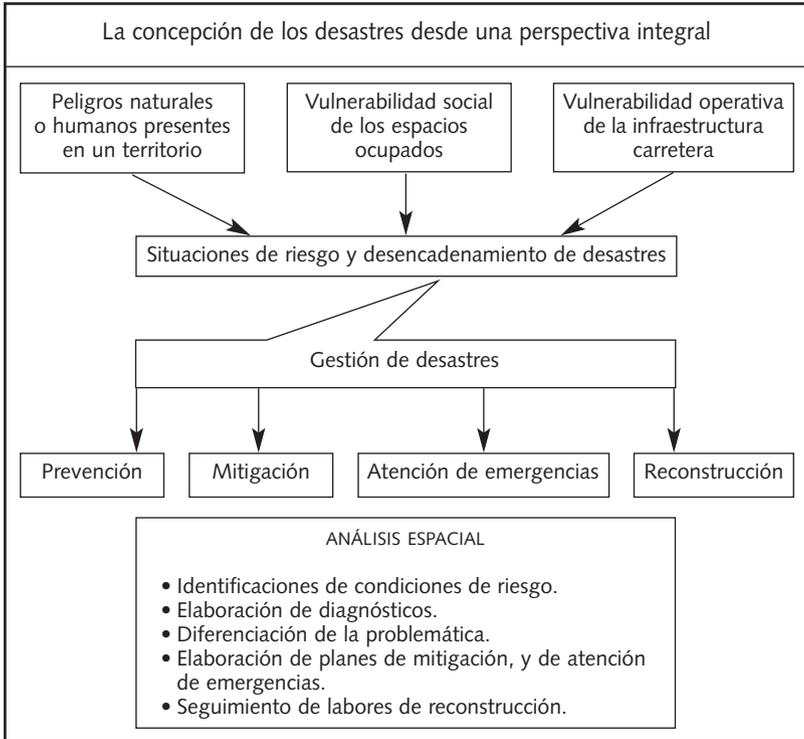
La identificación y construcción de indicadores, como categoría de detalle puede, por otra parte, ayudar a establecer diferentes niveles de vulnerabilidad de la red carretera, lo cual permite en consecuencia establecer planes de intervención y de atención de emergencias acordes a las distintas necesidades de actuación a lo largo de la red carretera, previamente identificadas y mejor sustentadas.

Con base en lo antes expuesto, se presentan a continuación los elementos de información a considerar, en las etapas posteriores del proyecto, para analizar las situaciones de riesgo a las que se encuentra sometida la infraestructura para el autotransporte en el país.



FUENTE: M.G. García Ortega, *Sistema de Información para el Análisis Espacial de Riesgos en la Red Nacional de Carreteras*, tesis de maestría, México, UNAM, 2003.

Desde la perspectiva integral de la gestión de desastres, se contempla a la infraestructura como factor de riesgo y a la seguridad de los usuarios como propósito por alcanzar. La sistematización de la información está orientada en consecuencia a fortalecer el objetivo de incrementar los márgenes de seguridad en carreteras y para tal efecto se establecieron cuatro categorías.



FUENTE: M.G. García Ortega, *Sistema de Información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras*, tesis de maestría, México, UNAM, 2003.

La primera distingue los grupos de riesgos, correspondientes a dos grandes conjuntos, los inherentes a la infraestructura propiamente dicha y los relativos a su operación. La siguiente categoría diferencia los componentes de la infraestructura con los que se asocia el riesgo. La tercera define la serie de elementos a considerar en cada caso. Fi-

nalmente, están los indicadores, cuarta categoría dentro de la metodología diseñada para abordar el problema, cuya función es establecer la presencia, carencia o ubicación inadecuada de los elementos considerados, apreciaciones hechas en términos de la factibilidad de que por ello se constituyan como promotores de riesgo.

Dentro de los dos grandes conjuntos de riesgos de la primera categoría —grupos de riesgo—, el primero contempla las fuentes de peligro asociadas con la infraestructura en sí misma —diseño geométrico, señalización, iluminación, etcétera—, es decir, la serie de riesgos inherentes a la carretera, e incluye también los riesgos derivados de la presencia de instalaciones peligrosas situadas en las inmediaciones de los caminos.

Conviene precisar el porqué de la consideración de las instalaciones peligrosas en los márgenes de las carreteras, no obstante tratarse de bienes ajenos a la infraestructura para el autotransporte. Las razones son dos y se vinculan con las dos perspectivas de los riesgos en carreteras. Por un lado, un percance en tales instalaciones puede tener repercusiones directas e inmediatas en la infraestructura vial aledaña, tanto en términos de daños materiales al camino, o bien, a causa de la interrupción del tránsito provocado por éste, ya sea para facilitar las labores de atención de la emergencia o para evitar la diseminación del siniestro. Dichos casos, en consecuencia, forman parte de los grupos de riesgos químicos y socio-organizativos a los que está expuesta la infraestructura carretera.

Desde el otro ángulo, la justificación de atender a la presencia de instalaciones peligrosas ubicadas en las inmediaciones de las carreteras obedece al peligro que supone que los vehículos en tránsito se impacten contra dichas instalaciones. De manera que en éste, como en el caso anterior, la identificación previa de los riesgos permitiría tomar las medidas preventivas correspondientes para evitar posibles accidentes.

El segundo gran conjunto de riesgos, correspondiente a la primera categoría, comprende aspectos vinculados con la operación de las vías —composición del flujo vehicular, clases de los caminos, operativos para la atención de emergencias, etcétera—, los cuales contribuyen, sin duda, a vulnerar la seguridad de los usuarios de las carreteras.

Un complemento imprescindible de la identificación y ubicación de riesgos a lo largo de la infraestructura vial es la localización de sitios peligrosos. La identificación de estos sitios a lo largo de las carreteras es una de las principales funciones de la ingeniería de seguridad carretera. La intención de esta tarea es la de ubicar, dentro del sistema carretero, los sitios cuya incidencia de accidentes es notablemente alta, con el propósito ulterior de efectuar tratamientos adecuados a fin de reducir los riesgos. De manera que, para los objetivos del presente proyecto, se trata de información fundamental, que entre otras cosas permite confrontar o cotejar el resto de la información utilizada en los análisis dirigidos a elevar los márgenes de seguridad de la red carretera nacional.

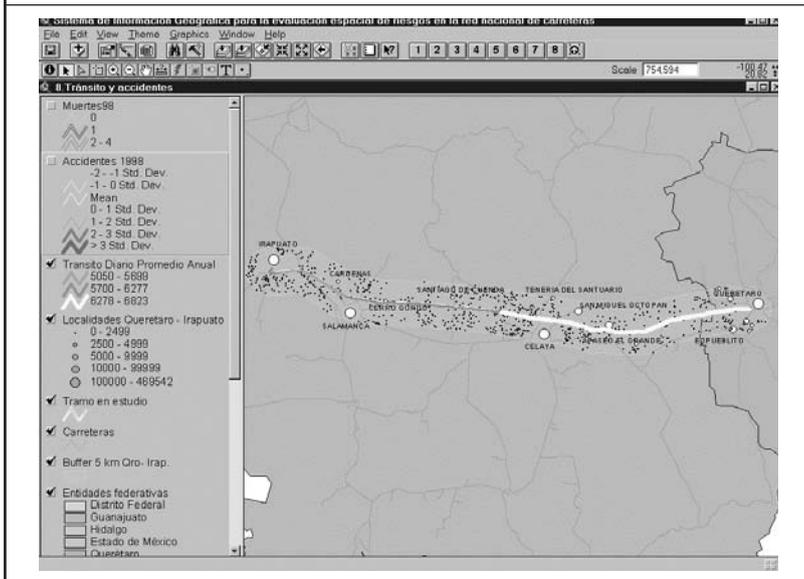
A manera de ejemplo, en la figura 3.8 se muestra la representación cartográfica de dos de las variables consideradas para evaluar los riesgos asociados con la operación del transporte, en este caso ilustrativo, se trata del tránsito diario promedio anual y número de accidentes registrados en 1998 en la carretera Querétaro-Irapuato. Es importante destacar que, a la fecha, el estudio de la infraestructura como factor de riesgo, y en particular, el análisis espacial de la ocurrencia de accidentes, constituye una etapa del proyecto todavía por consolidarse.

Subsistema de atención de emergencias. Avances y perspectivas

Como se explicó en el apartado correspondiente al planteamiento del proyecto, el sistema de información para el análisis espacial de riesgos en la red nacional de carreteras consta de dos módulos o subsistemas, uno para la prevención de riesgos, descrito líneas arriba, y el de atención de emergencias por desastres ocasionados por fenómenos naturales.

Por tratarse del desarrollo de una aplicación del Siget, que exige pruebas de desempeño directamente en campo, en situaciones de emergencia, en la primera fase de diseño se recurrió a simular, mediante la reproducción en gabinete de las circunstancias de un evento real ya sucedido, las acciones y funciones que deberá realizar el subsistema cuando entre en operación real.

Figura 3.8 Información del tránsito diario promedio anual y número de accidentes por tramo (Querétaro-Irapuato)



FUENTE: Elaboración propia con base en los datos de la Dirección General de Servicios Técnicos, SCT, 1999.

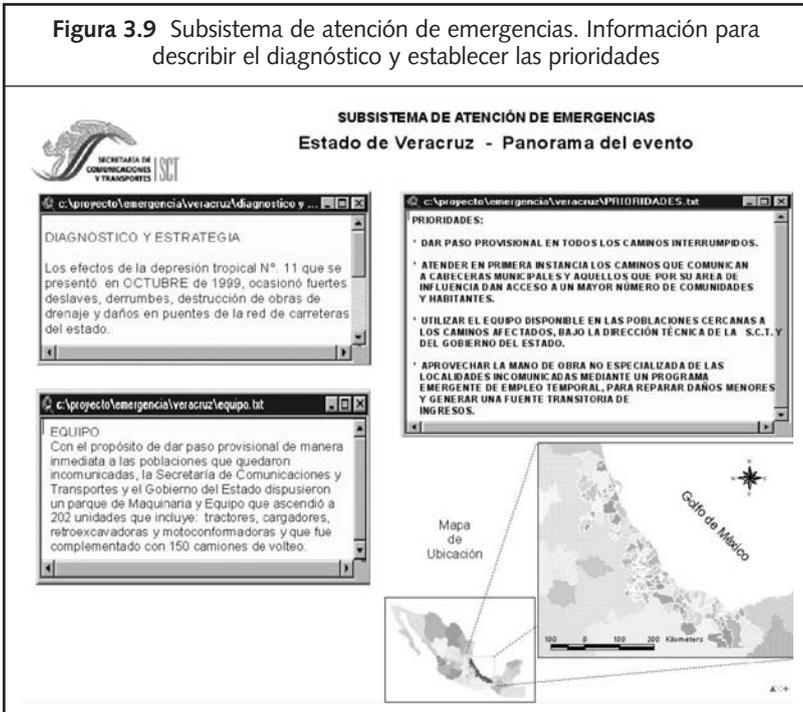
El suceso que sirvió de referencia para la conformación de la primera versión experimental fue el desastre ocurrido en el estado de Veracruz, derivado de las lluvias torrenciales ocasionadas por la depresión tropical número 11 que se presentó durante los primeros días de octubre de 1999, mismas que provocaron grandes daños a múltiples comunidades y sus bienes, asociados a inundaciones, importantes deslaves, derrumbes, destrucción de obras de drenaje y daños en puentes de la red de carreteras y caminos rurales de la entidad.⁷

La información utilizada para diseñar las funciones elementales del subsistema de atención de emergencias, en esta fase meramente demostrativa, procede de dos fuentes directas: la primera es el *Manual para la atención de emergencias en la red de carreteras alimentadoras y caminos rurales*,⁸ y la segunda son los reportes elaborados por los responsables de atender el desastre durante el transcurso de la emergencia, por parte del Centro SCT de Veracruz.

Además, se emplea información organizada en el propio Siget, consistente en la red georreferenciada de todos los caminos de Veracruz, puentes, vados y alcantarillas, instalaciones de la SCT, los límites municipales, ubicación de localidades, gasolineras y bases de datos demográficos asociadas.

De acuerdo con el manual referido en el párrafo anterior, el subsistema, mediante cuadros de diálogo, cuenta con la opción de incluir un diagnóstico de la situación emergente, así como de consignar las prioridades y el equipo —tractores, retroexcavadoras, motoconformadoras, etcétera— disponible para su atención (véase figura 3.9).

Figura 3.9 Subsistema de atención de emergencias. Información para describir el diagnóstico y establecer las prioridades



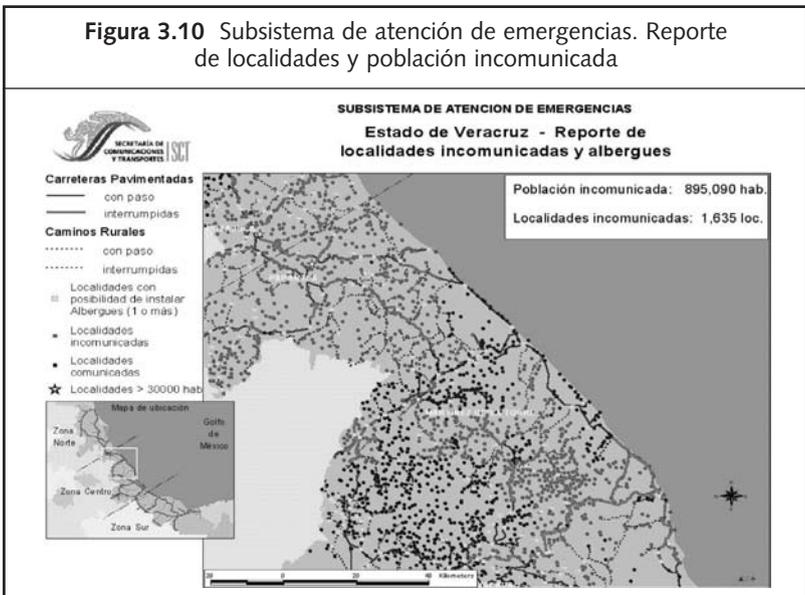
FUENTE: Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Estado de Veracruz, SCT, 1° de noviembre de 1999.

De la misma manera, el subsistema facilita el ingreso y consulta de información referente a los costos implicados y al Programa de Empleo

Temporal (PET), el cual tiene por objeto apoyar con un ingreso transitorio a las personas de las comunidades afectadas por el evento, mediante su contratación para las reparaciones menores, tales como limpieza de cunetas, desazolve de alcantarillas, bacheo y relleno de deslaves.

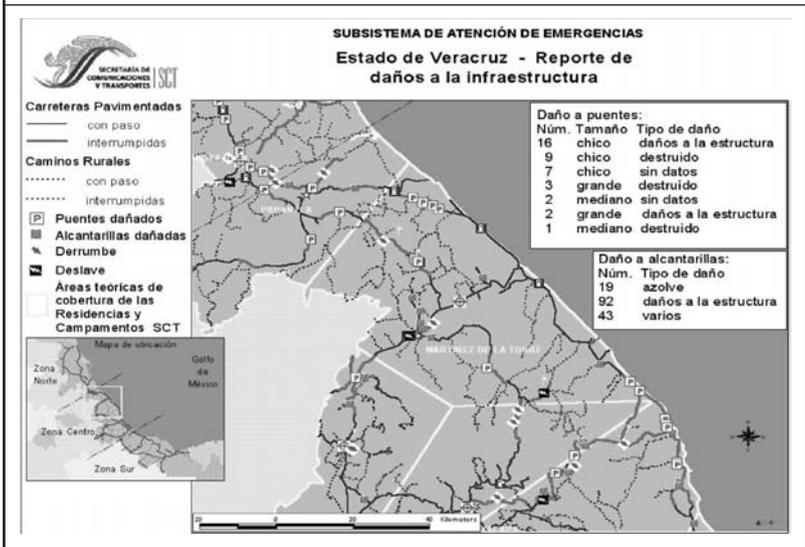
La información disponible, en la opción que describe el panorama general de la zona afectada, sirve de base para evaluar la magnitud de los daños, a partir de los reportes de las brigadas a los sitios siniestrados. El subsistema cuenta con la opción para ubicar geográficamente los caminos interrumpidos y localidades aisladas, así como sus causas, tales como derrumbes, deslaves, puentes dañados, etcétera, aunado a la posibilidad de obtener población incomunicada y longitud, por tipo, de carreteras dañadas (véase figura 3.10).

Así mismo, se dispone de la opción para reportar los daños a la infraestructura puntual asociada a los caminos, tales como puentes y alcantarillas, así como los campamentos y residencias de la SCT, instalaciones centrales para la atención de la emergencia (véase figura 3.11).



FUENTE: Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Estado de Veracruz, SCT, 1° de noviembre de 1999.

Figura 3.11 Subsistema de atención de emergencias. Reporte de daños a puentes y alcantarillas



FUENTE: Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Estado de Veracruz, SCT, 1º de noviembre de 1999.

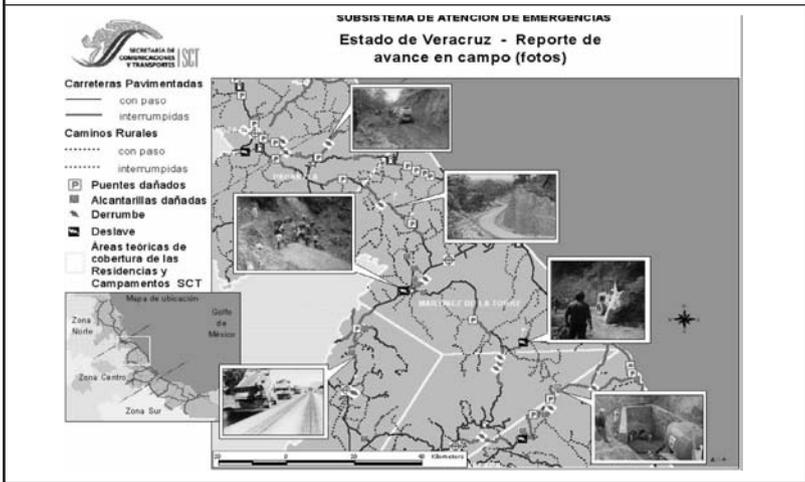
Adicional al manejo de la información derivada del diagnóstico y la evaluación de la situación inicial de emergencia, en el subsistema se contemplan las opciones de mantener al día un reporte con una tabla donde se muestra un resumen del avance por tipo de camino y daño atendido (véase figura 3.12); así como la visualización cartográfica del avance de las obras para la rehabilitación de la infraestructura y el restablecimiento de las vías de comunicación para la atención de la población afectada (véanse figuras 3.13 y 3.14).

Figura 3.12 Resumen del avance por tipo de camino y daño atendido

| avance pavimentadas | | | |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|
| tipoDaño | Tipo | avance | Length |
| derrumbes y deslaves | Est. Libre 2 carr. | 100 % | 43.922 |
| derrumbes y deslaves | Fed. Libre 2 carr. | 70% | 38.819 |
| daños serios al pavimento | Fed. Libre 2 carr. | 100 % | 29.624 |
| derrumbes y deslaves | Fed. Libre 2 carr. | 100 % | 20.282 |
| | Fed. Libre 2 carr. | 20% | 19.876 |
| derrumbes y deslaves | Est. Libre 2 carr. | 20% | 19.460 |
| daños serios al pavimento | Fed. Libre 2 carr. | 70% | 14.193 |
| daños serios al pavimento | Concesionada | 100 % | 13.691 |
| derrumbes | Fed. Libre 2 carr. | 20% | 12.073 |
| daños serios al pavimento | Fed. Libre 2 carr. | 20% | 11.764 |
| derrumbes y deslaves | Est. Libre 2 carr. | 70% | 10.776 |
| derrumbes | Fed. Libre 2 carr. | 100 % | 10.008 |
| inundación | Est. Libre 2 carr. | 100 % | 8.097 |
| pavimento levantado | Est. Libre 2 carr. | 70% | 6.492 |
| daños serios al pavimento | Est. Libre 2 carr. | 70% | 3.241 |
| pavimento levantado | Fed. Libre 2 carr. | 70% | 0.039 |
| derrumbes y deslaves | Fed. Cuota 4 carr. | 20% | 0.028 |
| pavimento levantado | Fed. Libre 2 carr. | 100 % | 0.024 |
| pavimento levantado | Est. Libre 2 carr. | 100 % | 0.019 |
| daños serios al pavimento | Est. Libre 2 carr. | 100 % | 0.018 |
| | Est. Libre 2 carr. | 20% | 0.017 |
| derrumbes y deslaves | Fed. Libre 2 carr. | 20% | 0.016 |

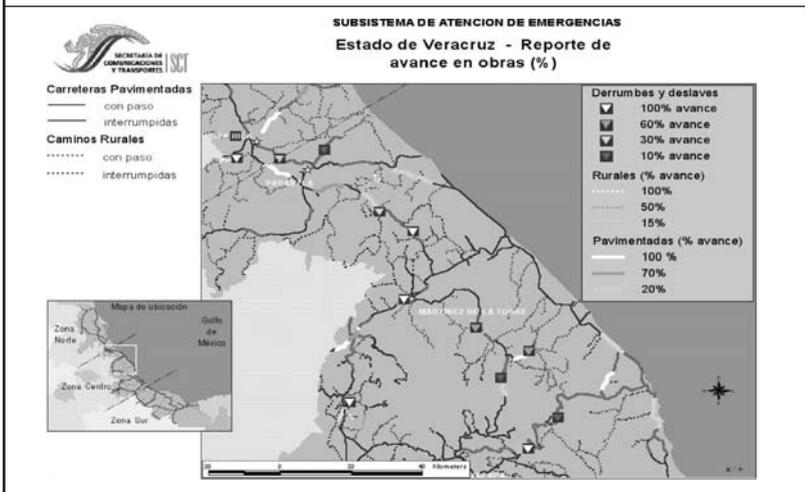
FUENTE: Subsistema de Atención de Emergencias.

Figura 3.13 Subsistema de atención de emergencias.
Reporte de avance en campo



FUENTE: Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Estado de Veracruz, SCT, 1° de noviembre de 1999.

Figura 3.14 Subsistema de atención de emergencias.
Reporte de avance en obras (%)



FUENTE: Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales. Estado de Veracruz, SCT, 1° de noviembre de 1999.

Finalmente, a manera de corolario, conviene subrayar que la trascendencia de la continuación de un proyecto como este, reside en que los daños a la infraestructura para el transporte extienden y magnifican las consecuencias del desastre en términos de:

- La desvinculación regional que provocan.
- La interrupción de las actividades económicas que ocasionan.
- Las comunidades que quedan aisladas.
- Su importancia como medios de acceso para atender las emergencias.

De ahí la importancia de analizar el problema y contribuir con elementos de conocimiento y herramientas de trabajo útiles a las labores de prevención de desastres y a la atención de emergencias.

La dispersión geográfica de los fenómenos naturales y la extensión territorial de los desastres que ocasionan, dificultan la formulación de los planes de prevención y la atención oportuna de los problemas que le ocasionan a la infraestructura para el transporte.

En tal marco, el desarrollo de un sistema como el aquí descrito, constituye un apoyo significativo:

- Por las facilidades para el manejo espacial de variables que el sistema ofrece.
- Por la diversidad de funciones que el mismo brinda para la realización de análisis geográfico.
- Por las ventajas para el uso y manejo de fuentes de información diversa.
- Por su flexibilidad para brindar apoyos y dar respuestas en las distintas etapas del proceso de gestión de desastres.

El proyecto centra su labor en generar, con base en la aplicación del Siget, un sistema especializado y procesos metodológicos que permitan obtener panoramas del problema, constituidos a nivel de gran visión o escala regional, en las fases de Prevención y Mitigación de desastres, en donde, entre otras razones, el detalle de la información no permite estudios casuísticos de escala local.

No así en el caso del subsistema de atención de emergencia, donde por la naturaleza de sus necesidades y por nutrirse de información tomada directamente de campo, sí puede ofrecer análisis y resultados de nivel local.

Transporte y Accesibilidad en la Cobertura Regional de los Servicios Básicos de Educación y Salud. El caso de Querétaro

Definición, objetivos y marco conceptual de referencia

En México existen grandes dificultades para hacer llegar servicios básicos a la población, principalmente la asentada en pequeñas localidades. La diversidad regional, tanto natural como socioeconómica, agudiza esta problemática, a la vez que la delimita geográficamente.

La exclusión social al disfrute de bienes y servicios mínimos necesarios para el bienestar de la población tiene una expresión regional asociada a dificultades de acceso en zonas de abrupta topografía. De hecho, en una primera panorámica nacional, es posible observar cómo el mapa con la ubicación de los municipios de mayor marginación, coincide con el mapa en que se representan las grandes cadenas montañosas mexicanas.

En esta perspectiva, la marginación puede analizarse como un fenómeno transicional, en el que las condiciones pueden cambiar si mejora el nivel de vida; o bien, como fenómeno estructural en la que grupos poblacionales son excluidos del disfrute de servicios básicos, como educación, salud, vivienda y servicios públicos —agua, drenaje, pavimentos, caminos, electricidad—, ingresos monetarios suficientes o de su participación en asuntos políticos.⁹

En trabajos recientes, el Conapo, en particular dentro del Programa de Educación, Salud y Alimentación (Progresá, ahora Oportunidades), ha generado la iniciativa de incorporar criterios espaciales asociados a la disponibilidad de caminos para medir con mayor precisión la participación de la población en los beneficios del desarrollo. De tal suerte que ha incorporado en su definición de marginación el elemento de “cercanía” a las principales vías de comunicación, para

evaluar la presencia o ausencia de carreteras como indicador de comunicación diferenciada entre localidades.¹⁰

En este contexto, el transporte, específicamente el carretero, juega un papel fundamental, ya que se desempeña como factor de impulso económico y condición indispensable para favorecer el mejoramiento de las condiciones de vida. Es, asimismo, la base del intercambio del flujo de bienes y servicios, así como de la difusión de innovaciones entre los principales núcleos urbanos y las localidades medias y pequeñas. Su presencia y disposición física entre localidades hace posible la interacción, la articulación y la integración regional.

La expresión territorial del transporte carretero establece la necesidad de realizar análisis espaciales considerando las posibilidades de correlación geográfica con otros fenómenos naturales, sociales y económicos ubicados en el mismo tiempo y espacio. En este sentido, la representación cartográfica permite modelar, bidimensionalmente, los elementos y relaciones presentes en un territorio dado; no obstante, ante la diversidad temática y complejidad de asociaciones espaciales que puede manifestar el transporte carretero, en particular cuando se vincula a la accesibilidad y la cobertura de servicios básicos, como en este proyecto, se plantea la necesidad del uso de herramientas que, adicionalmente a las ventajas de los mapas convencionales, añadan recursos para efectuar análisis estadísticos básicos y espaciales, y al mismo tiempo resulte en una representación cartográfica de alta precisión, como es el caso de esta aplicación del Siget.

A partir de la perspectiva geográfica y del uso de herramientas como el Siget, es posible identificar patrones regionales, derivados de la contigüidad, la cercanía, la correlación o superposición con otros fenómenos, así como la homogeneidad o heterogeneidad en la distribución de los caminos respecto a la población y los servicios básicos.

Es por lo anterior que se ha planteado como propósito final de este trabajo estructurar una aplicación del Siget que permita analizar, desde la perspectiva regional, cuál es la función de la red carretera en la accesibilidad y la cobertura de los servicios básicos de educación y salud para la población, en principio del estado de Querétaro, y subsecuentemente en otras entidades federativas.

Objetivo general

Diseñar un sistema de consulta y análisis geográfico en el ámbito estatal, con la intención de proveer información para la toma de decisiones a las autoridades sectoriales locales, además de proveer herramientas metodológicas a los profesionales del transporte en los procesos de planeación.

Objetivos específicos

- Establecer la disponibilidad geográfica estatal de los servicios de atención primaria a la salud y de escuelas primarias y secundarias públicas atendidos por las secretarías de Educación y Salud del Gobierno del Estado.
- Determinar la población objeto de cobertura de ambos servicios con indicadores relativos a la condición de aseguramiento, edad y nivel socioeconómico. Esto en el ámbito municipal y local. Analizar los indicadores de disponibilidad según el tamaño del establecimiento y el tamaño de la población objetivo de la cobertura.
- Determinar el alcance geográfico de cobertura de los servicios con diagramas espaciales radiales y cálculo de polígonos de Thiessen-Voronoi.
- Calcular el nivel de accesibilidad a través de análisis de redes aplicado a la red carretera entre los establecimientos y su área de cobertura geográfica.
- Comparar las coberturas geográficas calculadas con las coberturas administrativas declaradas sectorialmente.
- Identificar la influencia de otros factores ambientales y sociales en los niveles de accesibilidad y cobertura.

El caso de estudio piloto es el estado de Querétaro, en virtud de la disponibilidad de información y las posibilidades de interrelación con los responsables de los sectores educativo y de salud.

En el siguiente cuadro se sintetiza la definición conceptual de accesibilidad, en términos de correspondencia entre la disponibilidad de servicios y la diferenciación de su alcance o cobertura, en fun-

ción de determinantes sociales que tienen relación con aspectos culturales de los grupos objetivo, condiciones económicas y sociales de cada individuo; limitaciones impuestas por la distancia geográfica medida en tiempos de desplazamiento y medios de traslado, así como en consideración de las formas de organización de los servicios.

Definición conceptual de accesibilidad

Accesibilidad se define como el grado de ajuste/contraposición entre ciertas

CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN COMO:

- Cultural —tipo de servicio *versus* necesidades, creencias, actitudes y comportamientos.
- Social —instituciones *versus* grupos sociales.
- Económica —costos *versus* ingresos.
- **Geográfica —ubicación de los servicios y repercusiones en distancias/tiempos desplazamiento *versus* acceso a vías y medios de transporte.**
- Organizacional —estructura y organización *versus* horarios de trabajo, tiempo libre o preferencias.

Las dimensiones de la accesibilidad geográfica, pueden expresarse en función de:

- Ubicación relativa de los servicios respecto a las comunidades para establecer la magnitud de su separación física y/o de sus relaciones espaciales, medida en distancias lineales o tiempos de recorrido.
- A través de la red de caminos, en función de la conectividad de las sedes como nodos dentro de la red de caminos u orden o rango de los mismos que llegan a una sede en particular.
- Servicio de transporte disponible. Ubicación y recursos con los que cuenta la población para trasladarse hacia los servicios.
- Disponibilidad o ausencia de carreteras como indicador de comunicación diferenciada entre localidades.
- Indicadores agregados de tiempos, distancias y costos desde las comunidades hacia los caminos.

La variabilidad de conceptos empleados para abordar el estudio de la cobertura es muy amplia. Se ha examinado desde la mera disponibilidad física de unidades de atención, o la capacidad de producir y prestar servicios, hasta la inclusión del concepto de calidad de un nivel aceptable para la satisfacción de las necesidades de una determinada población.¹¹

La cobertura de las instituciones del Sistema Nacional de Salud en México ha planteado la problemática inherente a su definición y a las dificultades de precisar con exactitud los indicadores sobre sus alcances regionales y poblacionales. No obstante, se admite una cobertura nominal o legal fluctuante entre 90% y 103%¹² de la población por los servicios formales de salud —por la suma de poblaciones abierta más la de derechohabientes declarada por cada institución de salud.

De acuerdo con los datos de la SEP, para el ciclo escolar 1999-2000 se reporta 95 % de la cobertura de educación básica, mientras que el restante 5% fue cubierto por los particulares.¹³ En tanto, la cobertura de los servicios de educación secundaria se ha incrementado de manera continua hasta alcanzar 77.4% de la población en edad de cursar este nivel para el mismo periodo.

Es necesario distinguir la aplicación de estos conceptos de accesibilidad y cobertura de los servicios de salud respecto a los servicios educativos. En el primer caso, el uso de los servicios de salud es discrecional y tiende a efectuarse bajo condiciones de necesidades percibidas, elegibilidad y por la voluntad expresa de una persona de buscar y demandar los servicios. De tal suerte que el uso de servicios de salud depende de una cadena de acontecimientos en la que se involucran desde el concepto individual de la enfermedad, hasta la posibilidad de acudir o no a solicitar atención.

En el caso de los servicios educativos el nivel de obligatoriedad es mayor. De ahí que los indicadores para detectar deficiencias en la cobertura pudiesen asociarse más a la asistencia de los alumnos inscritos en la matrícula de cada centro educativo. Un hecho importante en la satisfacción de la demanda por servicios de educación es el carácter obligatorio de este tipo de servicio y el mandato constitucional de ofrecerlo a todos los mexicanos ha contribuido a vincular la cobertura de estos servicios con la evolución demográfica de México.

Por otra parte, se concibe la accesibilidad como un continuo, donde la disponibilidad —entendida como la presencia física de los recursos y su productividad, por ejemplo su capacidad para producir servicios— está en un extremo del fenómeno y la cobertura en el otro extremo. Ambas se encuentran mediadas por obstáculos o factores disuasivos. Decir que algo es accesible para el individuo significa que está fuera de él mismo y que para obtenerlo requiere de necesitarlo, desearlo, buscarlo y alcanzarlo.

Sin embargo, el individuo cuenta con ciertos atributos que facilitan u obstaculizan la obtención del servicio que busca y al mismo tiempo los servicios tienen características que facilitan u obstaculizan su utilización. En esta forma, la accesibilidad no es una característica aislada ni de los individuos, ni de los servicios, sino una relación funcional entre el conjunto de obstáculos a la búsqueda y obtención de la atención y las capacidades correspondientes de la población para superar tales obstáculos.

La cobertura, por otra parte, se ha medido tradicionalmente en términos de población potencial sin considerar las posibilidades de interacción entre población y servicios. Por ello, el concepto de cobertura se referirá a la relación entre la ubicación y disponibilidad de servicios respecto a la ubicación y residencia de la población que requiere de ellos.

Así, la cobertura puede definirse como la disponibilidad de recursos entre la población potencial a cubrir —cobertura potencial— y el número de consultas otorgadas o el número de visitas pero, en el caso de los servicios de salud, continuamente se carece del registro de las personas que son realmente atendidas en las instituciones que les corresponde por derecho o por prioridad —cobertura institucional.

Otras discusiones sobre la medición de la accesibilidad física se dirigen hacia el esclarecimiento de la razón distancia/tiempo de viaje en la medición de la accesibilidad física ya que tomándose por separado no se logra reflejar el esfuerzo invertido por la población en el traslado y no se puede identificar la naturaleza de los obstáculos geográficos, ya sean estos las condiciones de las vías de comunicación, los medios de transporte o el tránsito.

En investigaciones previas, en México se ha observado una participación muy amplia del sector privado en la atención a la salud de la

población mexicana; no obstante, se carece de referencias cuantitativas en el nivel nacional, que permitan caracterizar, en forma global, los alcances de las distintas modalidades de cobertura por parte de las instituciones públicas y privadas que conforman el sector salud, ya que su cuantificación se ha realizado por programa o por nivel de atención.¹⁴

Adicionalmente, hay que considerar el efecto de los problemas económicos de nuestro país en los niveles de cobertura nominal e institucional, seguramente el incremento en los niveles de desempleo abierto ha causado un efecto negativo en los niveles de cobertura de los servicios de salud por parte de los servicios de seguridad social. Por otra, el decremento del poder adquisitivo, en términos monetarios ejercerá evidentemente un efecto negativo en el nivel de uso de los servicios privados, en los que es necesario efectuar desembolsos directos o a crédito por la atención recibida y, por consecuencia, el aumento de la demanda en servicios públicos.

Las necesidades educativas son un reto para la oferta federal de servicios educativos debido a las elevadas tasas de crecimiento poblacional de años pasados, las cuales han significado llegar al punto máximo histórico en relación con la demanda de educación básica. No obstante, y como resultado de la disminución en el ritmo de crecimiento de la población en las últimas décadas, los niños y jóvenes de entre 5 y 14 años de edad, es decir, el sector poblacional en edad de cursar la educación básica, tiende a estabilizarse en alrededor de 21.7 millones, cifra que se espera empiece a disminuir en los años por venir.

De acuerdo con datos del INEGI, se identificó que para 1995, en el nivel nacional, 1.5 millones de niños y jóvenes de entre 6 y 14 años de edad no asistían a la escuela, la gran mayoría de los cuales residen en zonas de elevada dispersión poblacional y aislamiento.¹⁵

La primaria cubre un número importante de niños, muy cercano a la totalidad de la población en edad de cursar este nivel, por eso ahora la expansión de los servicios de educación básica se dirige fundamentalmente en el preescolar y la secundaria. Así, los propósitos del gobierno, están dirigidos hacia un mayor acceso a una educación básica de calidad que responda a las necesidades de aprendizaje de los

niños y jóvenes mexicanos, en especial los más desprotegidos.

Entre las estrategias gubernamentales para favorecer a las zonas rurales y de difícil acceso, se ha ampliado la cobertura de la telesecundaria. En el ciclo escolar 1996-1997 esta modalidad se ofreció en 12,081 planteles, y se benefició a 756.7 miles de alumnos. Con relación al periodo anterior, esto significa que se atendió a 66 mil alumnos más. A partir del ciclo 1994-1995, la atención educativa a través de telesecundaria creció 22.3%, lo que representa una cobertura adicional de 138 mil alumnos.¹⁶

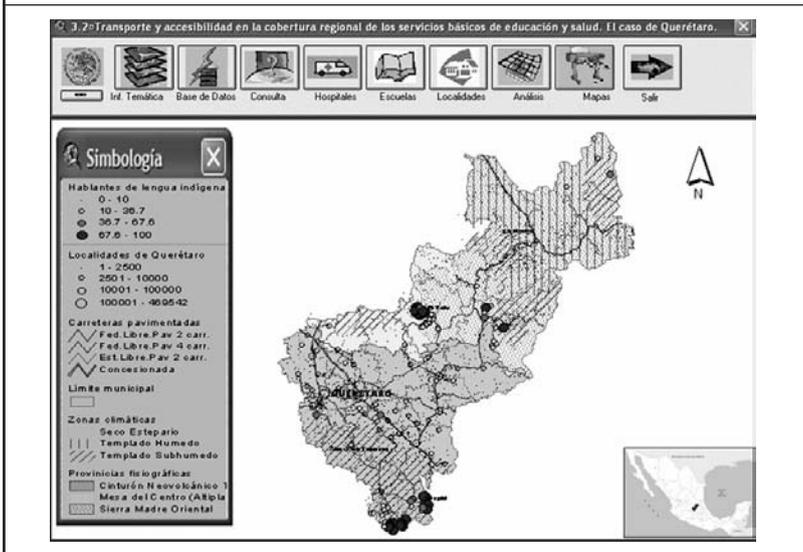
Estudio de caso. El estado de Querétaro

Conviene subrayar de inicio que el estudio de caso se encuentra en su primera fase, correspondiente a la caracterización fisiográfica, económica y social del territorio estatal. No obstante, el apoyo brindado por el Siget ha sido indispensable, desde el comienzo, para integrar, organizar y visualizar geográficamente la información necesaria; inclusive en el manejo de algunas variables se ha avanzado hacia la formulación de hipótesis, gracias a la aplicación de técnicas de análisis espacial facilitadas por el sistema; éstas permiten presumir que en las etapas posteriores del proyecto, el Siget se convertirá en el instrumento fundamental para alcanzar los objetivos propuestos.

En este apartado se presenta un panorama general, mediante mapas, de la distribución geográfica de algunos de los indicadores básicos de información referente a, por un lado, factores ambientales y la disponibilidad de servicios educativos y para la atención de la salud (véase figura 3.15), y por otra parte, algunos de los indicadores sociales y demográficos más relevantes para efecto de análisis posterior en la determinación de la cobertura real de estos servicios a la población.

Asimismo, se describen de manera breve los métodos y técnicas empleadas hasta el momento para la diferenciación espacial de la información disponible; esta actividad, todavía en desarrollo, ha permitido validar el uso de algunas funciones y operaciones incluidas en el Siget, aplicadas a información multitemática de manera combinada, es decir, ha permitido demostrar la funcionalidad de la organización de las bases de datos del transporte, en combinación con información procedente de fuentes diversas del sector social, princi-

Figura 3.16 Provincias fisiográficas, zonas climáticas y distribución de la población en Querétaro



FUENTE: INEGI, Síntesis geográfica de Querétaro y Censo de Población, 1995.

localidad, entonces se maneja ese nivel de detalle.

Distribución geográfica de los indicadores básicos de información

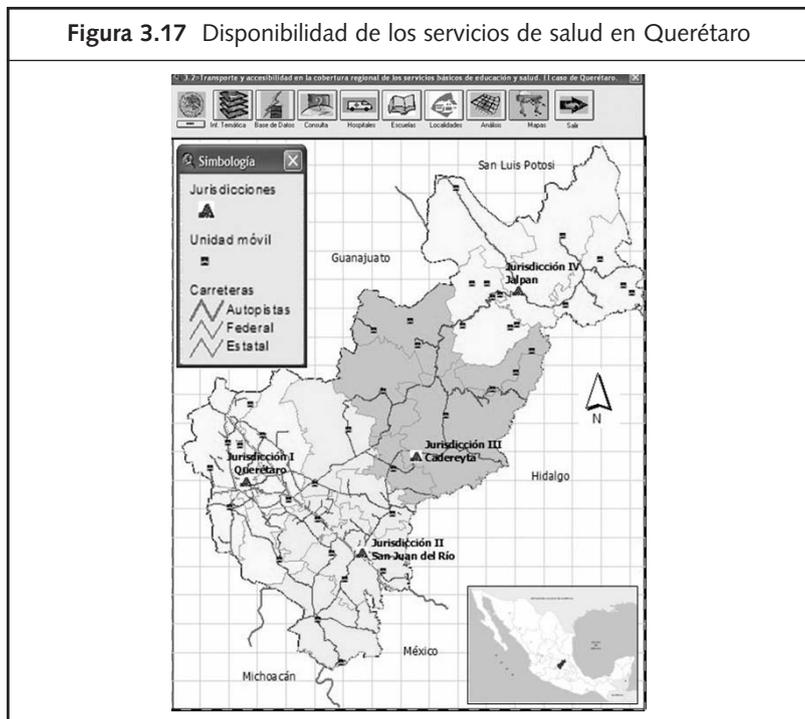
La disponibilidad de servicios básicos a nivel nacional según los reportes del Conapo, la SEP y la SSA, refiere que de las 199,391 localidades del país que en 2000 contaban con datos de ubicación espacial:

- 54,344 localidades contaban con escuela primaria.
- 14,233 con escuela secundaria.
- 9,963 con servicios de salud, como clínicas u hospitales.

En Querétaro se reportan 2,482 localidades con ubicación georreferenciada, en 18 municipios. Los servicios de salud y educación disponibles son:

- Salud¹⁷ (véase figura 3.17)
 - 34 hospitales —26 privados, 5 de la Secretaría de Salud es-

Figura 3.17 Disponibilidad de los servicios de salud en Querétaro



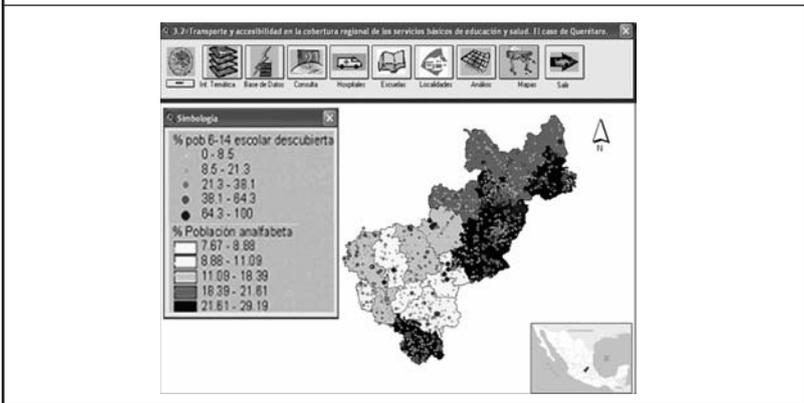
FUENTE: Secretaría de Salud del Estado de Querétaro, 1998; INEGI, Censo de Población, 1995.

tatal, SESEQ, y 3 del IMSS e ISSSTE.

- 176 centros de salud de la SESEQ.
- 22 unidades médicas familiares del IMSS.
- 19 unidades médicas familiares del ISSSTE.
- Educación¹⁸
 - 1,371 escuelas primarias.
 - 343 secundarias.
 - 315,686 individuos de 6 a 14 años, de éstos 7.6% no asiste a la escuela (véase figura 3.18).
 - 854,670 personas son mayores de 15 años, de los cuales, 11.87% son analfabetas, 21.48% cuentan con primaria completa y 22.63% con educación media básica terminada.

De las 2,112 localidades en total registradas según el INEGI en Que-

Figura 3.18 Proporción de población analfabeta y porcentaje de grupo de 6-14 años que no asiste a la escuela



FUENTE: USEBEO, Secretaría de Educación de Querétaro, 1998.

Distribución proporcional de la población según los niveles de marginación por localidad

Nivel socioeconómico (figura 3.19 y 3.20).

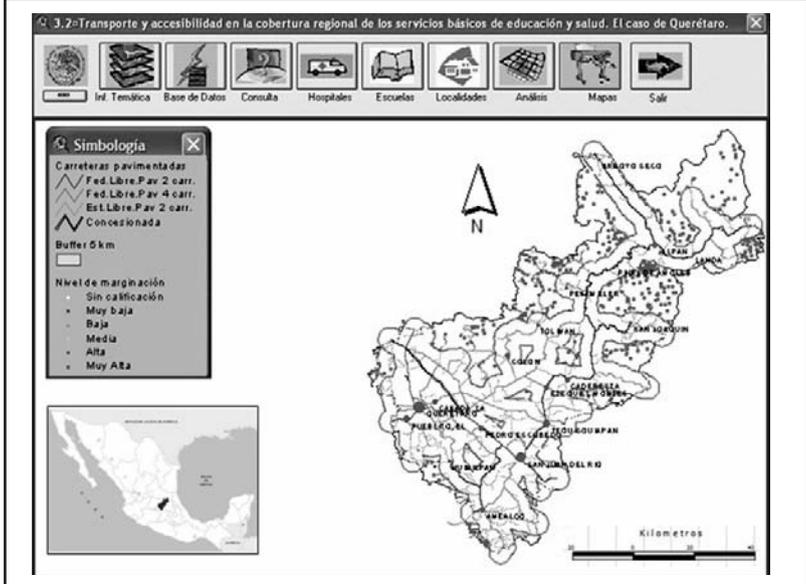
- 2,112 localidades en total en la entidad, de éstas:
 - 28.3% cuentan con menos de 2 viviendas, por lo que no se reportan datos socioeconómicos ni calificación de marginación.
- 1,514 localidades con datos socioeconómicos y nivel de marginación:

| | | | |
|---------|----------|---------|----------|
| - 5.2% | muy bajo | 753,828 | personas |
| - 7.4% | bajo | 129,464 | " |
| - 19.5% | media | 175,618 | " |
| - 22.1% | alto | 91,347 | " |
| - 46% | muy alto | 96,188 | " |

FUENTE: Conapo/Progres a con base en INEGI, Cuento de Población, 1995.

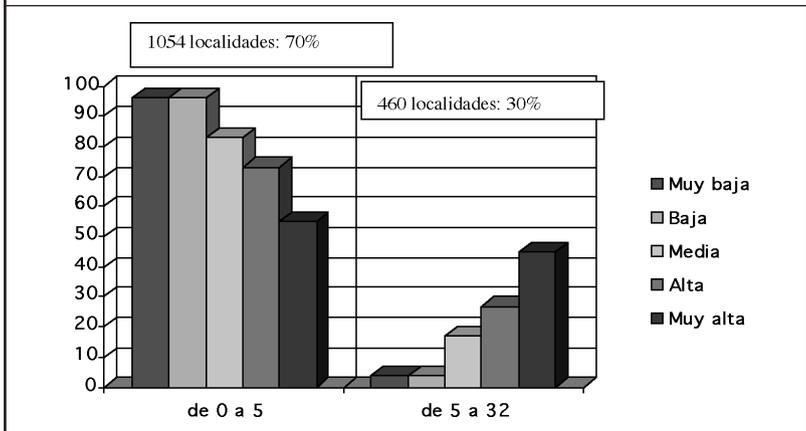
rétero, 1,558 de ellas se localizan a una distancia que varía de 0 a 5 kilómetros de los caminos pavimentados; por el contrario, 554 localidades se ubican lejos de este tipo de carreteras —más de 5 km. El factor distancia se encuentra muy relacionado con el grado de marginación, de tal forma que el número de localidades de menor a mayor marginación es inversamente proporcional respecto al total según la

Figura 3.19 Grado de marginación por localidad



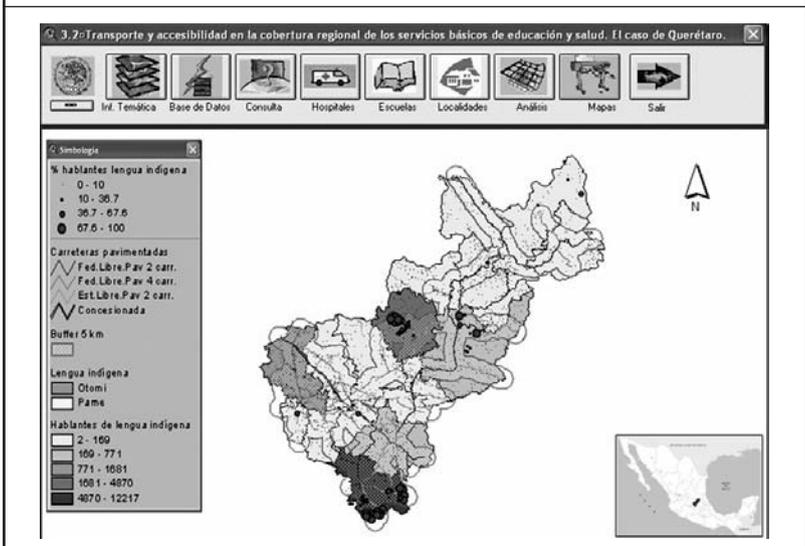
FUENTE: INEGI, Síntesis geográfica de Querétaro y Censo de Población, 1995.

Figura 3.20 Distribución de las comunidades de Querétaro según su nivel de marginación y distancia hacia los caminos pavimentados (km)



FUENTE: Elaboración propia con base en Conapo/Progres, 1998.

Figura 3.23 Distribución de población indígena y distancia relativa a las carreteras de la entidad



FUENTE: INEGI, Censo de Población y Vivienda, 2000.

distancia a los caminos (véase figura 3.20).

Métodos y técnicas

El análisis espacial requiere de conexiones lógicas entre los elementos del mapa y sus atributos, así como de procedimientos operacionales que generan la relación espacial entre los elementos del mapa. Incluye operaciones de una sola capa de información, de capas múltiples, modelado espacial, análisis de puntos, de redes y de superficie, entre otras. En este proyecto se ha explorado, sin llegar aún a la fase de análisis integral, la aplicación de las siguientes técnicas de manejo de información espacial, cuyos resultados se expresan en diferentes mapas que ilustran el presente apartado.

Homologación de proyecciones y escalas. Toda la información cartográfica digital se integró a una misma proyección cartográfica, en este caso, la llamada “proyección geográfica” —con coordenadas: longitud y latitud en grados decimales—; asimismo, se ha procurado manejar

la misma escala de representación.

Georreferenciación. Las 2,482 localidades de Querétaro provenientes del Censo de Población y Vivienda 2000, se georreferenciaron a partir de sus coordenadas en grados, minutos y segundos, posteriormente transformadas a coordenadas en grados decimales; además de la correspondiente creación de puntos (véase figura 3.15).

Operaciones con una sola capa. El manejo de cada capa de información digital es crítica para tener posibilidades de manipular, seleccionar y clasificar la información de interés para los fines del proyecto. Para esto, ha sido necesario investigar los metadatos descriptivos de cada base de datos.

Entre las operaciones con una sola capa de información, destaca la creación de zonas de proximidad o *buffer*; se han realizado para elementos de infraestructura como paraderos de camión (véase figura 3.22), redes carreteras (véase figura 3.23), o bien instalaciones de salud o educativas.

Operaciones con capas múltiples o geoprocesamiento. Se refiere básicamente a la sobreposición y correlación espacial para capas de distinta naturaleza. Con estas herramientas ha sido posible la generación de modelos explicativos multivariados sobre la distribución de carreteras respecto a las localidades y las condiciones ambientales —topografía, hidrografía, climas, etcétera— (véase figura 3.16); carreteras y variables socioeconómicas (véanse figuras 3.19, 3.21, 3.22 y 3.23).

Análisis de superficies.

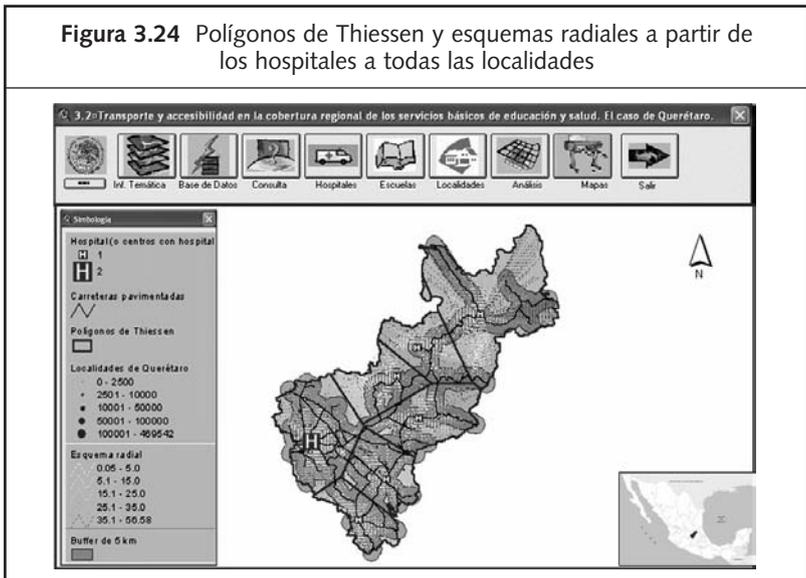
- a) *Interpolación*. Esta técnica, explicada ampliamente en el primer capítulo, ha permitido correlacionar variables como la altimetría con rasgos lineales como la red carretera y la definición de áreas equidistantes a éstas.
- b) *Polígonos de Thiessen*. Una técnica importante del análisis de superficie es la construcción de los llamados polígonos de Thiessen, cuya propiedad más importante es que forman límites de polígonos equidistantes entre “centroides” adyacentes. De esta suerte, se genera un sistema de territorios delineados con áreas

de influencia entre puntos contiguos (véanse figuras 3.24 y 3.25). Otra técnica que se perfila como muy útil para la definición de áreas de cobertura y accesibilidad de los servicios estudiados es, sin duda, la definición de “Esquemas radiales y distancias”; ésta permite establecer la distancia, en línea recta, entre un punto definido —por ejemplo una escuela o un centro de salud— y las localidades en un área preestablecida, en nuestro caso, a partir de los polígonos de Thiessen (véanse figuras 3.24 y 3.25).

Asimismo, se ha identificado la necesidad de realizar análisis de redes y definición de rutas óptimas; en este sentido, se ha avanzado en la definición de tiempos de recorrido, en función del tipo de camino, distancia caminando a los mismos y relieve (véase figura 3.26).

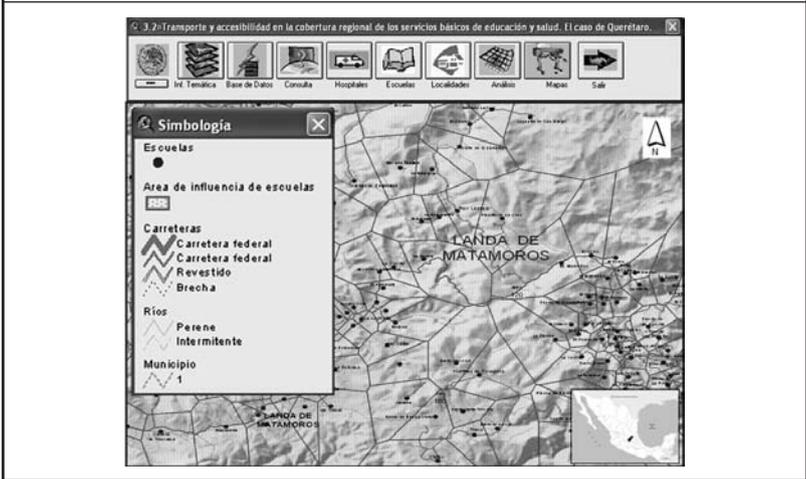
Finalmente, para el manejo relacional de las bases de datos se han empleado técnicas estadísticas, descritas en el capítulo uno, tales co-

Figura 3.24 Polígonos de Thiessen y esquemas radiales a partir de los hospitales a todas las localidades



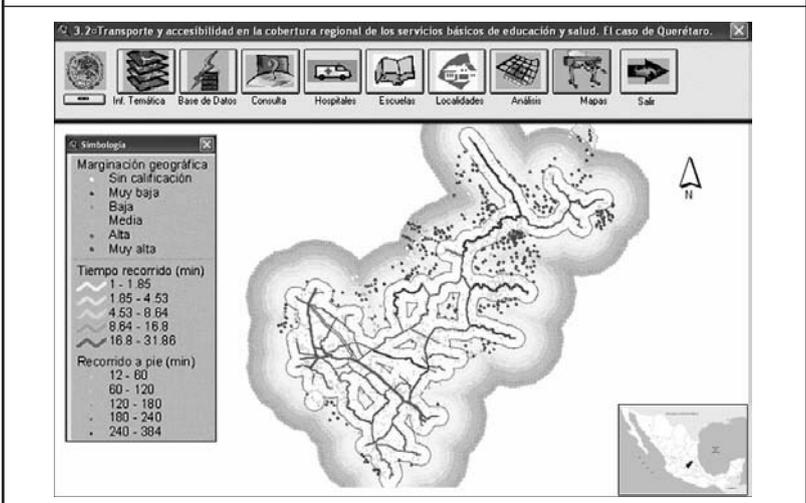
FUENTE: Elaboración propia.

Figura 3.25 Identificación de limitantes del entono físico-geográfico a la accesibilidad a las escuelas



FUENTE: Elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Educación del Estado de Querétaro.

Figura 3.26 Tiempo de recorrido por tipo de camino y distancia de localidades a los caminos



FUENTE: Elaboración propia.

mo el cálculo de desviación estándar y la ruptura natural, entre otras. Cabe resaltar que la importancia de un proyecto como el aquí planteado reside en la posibilidad de aportar elementos de conocimiento, derivados del análisis espacial de las variables medio-ambientales y socioeconómicas, resultante de la aplicación del Siget, que afectan la utilización y planeación de los servicios de educación y salud.

Sin duda, la precisión de la accesibilidad a los servicios, y la determinación de la cobertura, exigen información detallada del territorio y las herramientas adecuadas para manejarla. En este sentido, esta aplicación se presenta como un esfuerzo inicial para desarrollar, posteriormente, una metodología que permita la sistematización de la información geográfica y el cálculo de la accesibilidad con base en la localización de la población objetivo, distancia real a los servicios, en función del tipo de camino, la pendiente y disponibilidad de medios de transporte, como un aporte relevante a la conceptualización del problema de accesibilidad y cobertura.

En tal dirección, entre las tareas pendientes está el realizar un análisis de redes completo, que contemple tanto las condiciones de los caminos hasta el nivel de brechas, como los tiempos de recorrido que considere el tipo y frecuencia de servicio de transporte; también, resulta indispensable identificar, recabar y analizar información detallada de los servicios prestados por los sectores Salud y Educación en la entidad, con objeto de tratar de determinar áreas de cobertura real, y contrastarla con la cobertura programada. En este sentido, será necesario levantar encuestas directas en campo, tanto a los usuarios como a los prestadores de los servicios y oferentes del transporte.

Sistema de Información Geográfica para el Proceso Binacional de Planeación y Programación del Transporte Fronterizo

Además de contribuir en los proyectos descritos en los dos apartados precedentes, surgidos por iniciativa del autor de este libro, el Siget también ha servido como plataforma de desarrollo para otros estudios, generados en dependencias y organismos diversos de la SCT. Entre otras aplicaciones actualmente en marcha, cabe mencionar el diseño de una interfaz para la exploración de información territorial para mandos superiores, el módulo geográfico del sistema de planeación re-

gional, en coordinación con la Dirección General de Planeación y Centros SCT, y el proyecto en su etapa inicial de desarrollo, aquí presentado, titulado “Sistema de información geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”, realizado en colaboración con la Unidad de Autopistas de Cuota de la misma secretaría.

El sistema aquí descrito surge en el seno del Comité Conjunto de Trabajo capítulo México (CCT) creado en el marco de los acuerdos particulares al transporte del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, TLCAN, con las siguientes funciones específicas:

- Incrementar la eficiencia del sistema de transporte binacional del área fronteriza.
- Mejorar la comunicación y la coordinación de la planeación y programación del transporte, así como las políticas y operaciones, entre las entidades fronterizas, incluyendo a las dependencias públicas y a los proveedores de servicios.
- Establecer y mantener un banco de datos binacional.
- Mantener los programas y procesos de transporte existentes de las dependencias públicas participantes que están involucradas en la planeación y programación de mejoras al transporte, en la zona fronteriza.
- Conducir estudios especiales para abordar los asuntos relevantes identificados por el CCT.

El CCT está compuesto por seis representantes de los gobiernos estatales —Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas—, y una coordinación en el ámbito federal —la SCT— que cuenta con el apoyo del Instituto Mexicano del Transporte como su brazo técnico. Cada entidad federativa se encuentra en comunicación y cooperación constante con su contraparte en Estados Unidos —California, Arizona, Nuevo México y Texas.

En ese contexto, se identificó al Siget como el modelo a seguir para apoyar las funciones del CCT, en cuanto a la conformación de un sistema integral de apoyo a la planeación sectorial y, al mismo tiempo, que sirviera como referencia metodológica y plataforma de información básica que responda a los objetivos del proyecto, que a la letra

dicen:

- Plantear un esquema conceptual para el diseño de una herramienta, con base en la utilización de un SIG, para apoyar el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo encabezado por el Comité Conjunto de Trabajo (CCT)-México.
- Realizar un diagnóstico de la situación actual sobre el estado que guarda el desarrollo de SIG's entre los miembros del CCT-México.
- Preparar recomendaciones y elaborar un plan de acción para impulsar el desarrollo de herramientas de SIG entre los miembros del CCT-México.

Antecedentes

La SCT y el Departamento de Transporte del Gobierno de Estados Unidos, llevaron a cabo un estudio durante 1995-1998 para establecer las bases de la planeación del transporte fronterizo binacional,¹⁹ en el que se recopiló información existente en cuanto a experiencias de utilización de un SIG en el sector, y se puso a disposición de usuarios autorizados la información recopilada en archivos formato GIS+—*software* desarrollado por Caliper Corporation para PC en ambiente Windows— y en formato compatible con ArcInfo.

En el estudio citado se integró la información del Siget, complementada con las bases de datos de los distintos modos de transporte, organizadas por la Dirección General de Planeación de la SCT; además, de información socioeconómica proporcionada por el INEGI.

Otro antecedente del presente proyecto, por su ámbito territorial eminentemente fronterizo, es el “Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte”, diseñado por el Colegio de la Frontera Norte.²⁰ Este sistema es utilizado para la gestión de una amplia gama de bases de datos, con escalas y niveles de agregación diversos, tanto nacional, como estatal y urbano

Un antecedente importante fue también la revisión de la capacidad instalada actual, en materia de SIG, en las dependencias involucradas en los estados fronterizos mexicanos; después de las conversaciones sostenidas, se puede concluir que ninguna dependencia estatal conta-

ba con una estructura organizacional formal que tuviera incorporada un área específica o recursos destinados para llevar a cabo funciones de desarrollo de SIG en transporte. Se observó una falta de cultura en este sentido de manera general. Este será el primer punto que habrá que atender dentro del plan de acción en cuanto a la implantación de un SIG en cada uno de los estados fronterizos.

En este contexto, el CCT reconoce que el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) cuenta con una infraestructura de SIG bien fundamentada, con recursos humanos, de *hardware* y *software* para cumplir su función como brazo técnico en este importante esfuerzo.

Otro elemento muy importante a tomar en cuenta es el acceso que los estados fronterizos mexicanos tienen al Programa Fronterizo de Intercambio de Tecnología (BTEP, por sus siglas en inglés), bajo este programa, funcionarios de transporte de México tienen acceso, entre otros servicios, a capacitación sobre temas como los SIG.

Alcances

El propósito de este trabajo es establecer las características técnicas que son necesarias para estructurar, implementar y operar el “Sistema de información geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”. La herramienta que se diseñe deberá permitir la captura, actualización, consulta y presentación de datos relacionados con el transporte fronterizo.

Asimismo, el sistema deberá proporcionar datos actualizados, similares y compatibles, para su uso por las dependencias federales, estatales y locales, así como entre las entidades privadas de comercio y transporte, en el manejo de los asuntos relevantes de planeación y programación del transporte, especialmente los de carácter binacional, en la zona fronteriza.

La información que contendrá el sistema deberá estar georreferenciada y comprenderá aspectos del diseño geométrico de la red carretera, capacidad, nivel de servicio, clasificación y jurisdicción, como también datos de la operación del transporte; asimismo, describirá los flujos y la ubicación, trazo y características relevantes de la red férrea, complementada con información de las áreas urbanas fronterizas con vialidad primaria que vincule los accesos carreteros a los cruces fron-

terizos; localización y servicios de las terminales intermodales y registros de las operaciones en las aduanas, aunado a las bases de datos demográfica y socioeconómica.

El esquema global de desarrollo del sistema contempla la creación de una primera versión para cada uno de los estados fronterizos, que contenga, cuando menos, la información ya estructurada en el Siget; la operación, mantenimiento y actualización estará a cargo de cada organismo responsable en las entidades federativas fronterizas, con el compromiso de compartir la información actualizada con el CCT/IMT.

Avances

A la fecha, la estructura y la información del Siget han permitido conformar la primera versión del “Sistema de información geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”, entregado para evaluación a los organismos responsables de cada entidad federativa involucrada.

En esta fase, el sistema permite la exploración y consulta de la información derivada tanto del Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT), descrito en el capítulo dos, como de fuentes diversas integradas por la Dirección General de Planeación de la SCT; de igual manera, permite visualizar cartográficamente las bases de datos procedentes del Censo de Población y Vivienda 2000. Es importante destacar que el sistema, entregado por entidad federativa, se acompaña de un archivo con los metadatos respectivos, donde se describen las fuentes de la información, los parámetros de la proyección cartográfica, los campos de las bases de datos, entre otras características.

Con objeto de ejemplificar los resultados alcanzados, se muestran a continuación algunos mapas realizados desde el sistema, en los que se aprecia la versatilidad en el manejo y representación de la información en diferentes niveles de agregación; así, se visualiza la infraestructura del transporte por entidad federativa (véase figura 3.27).

También es posible apreciar que, a mayor escala, se revela un mayor detalle en el trazo y clasificación de los caminos y definición de rasgos puntuales; así, se observan una gran cantidad de elementos de infraestructura como paraderos de autobuses y camiones, gasolineras, aeropistas e instalaciones de la SCT entre otros (véanse figuras

3.28 y 3.29).

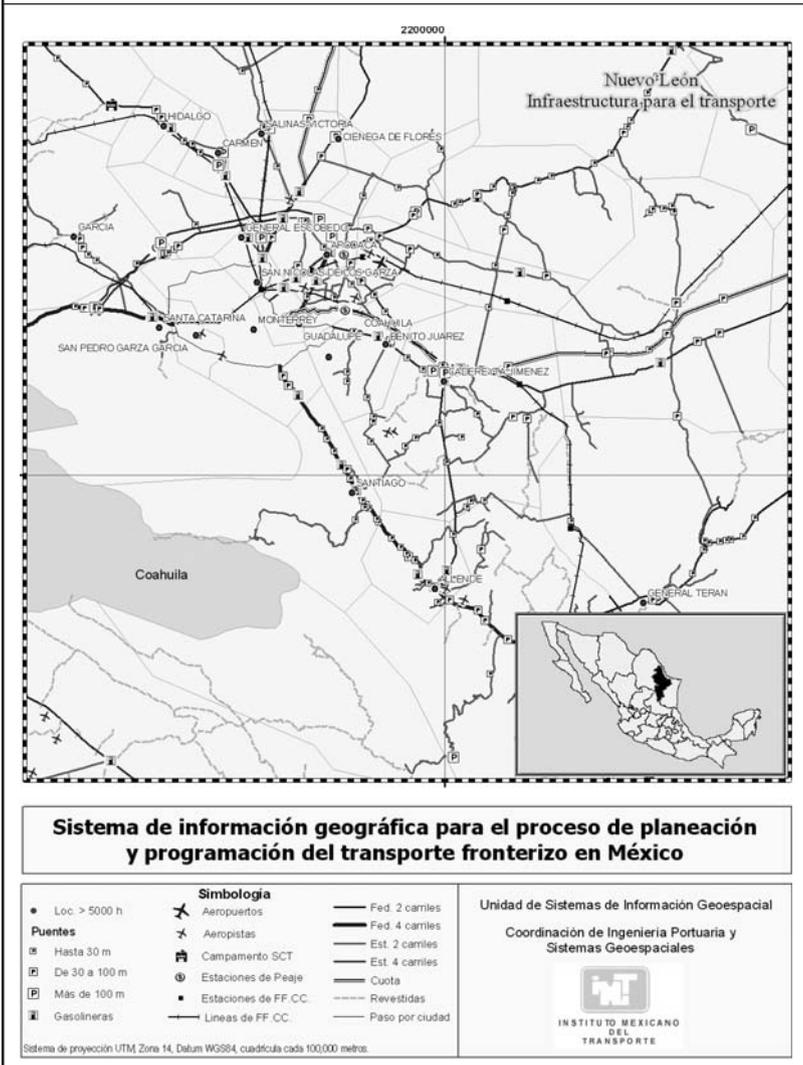
Si bien la aplicación del Siget en este proyecto se encuentra aún en su fase inicial, se perfila desde ahora como el instrumento fundamental para integrar, organizar y analizar la información geográfica y estadística, indispensable para contribuir en la planeación y pro-

Figura 3.27 Infraestructura para el transporte en Tamaulipas



FUENTE: Elaboración propia con base en el Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT).

Figura 3.28 Infraestructura para el transporte en Nuevo León. Ampliación Monterrey-frontera



FUENTE: Elaboración propia con base en el Inventario Nacional de Infraestructura para el Transporte (INIT).

gramación del transporte fronterizo binacional.

NOTAS

- ¹ Omar D. Cardona A., “Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo”, en A. Maskrey (comp.), *La Red. Los desastres no son naturales*, Lima, ITDG, 1993.
- ² Foro del Programa Internacional del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), julio de 1999, “Mandato de Ginebra sobre reducción de los desastres”.
- ³ A. Maskrey, “Comunidad y desastres en América Latina: Estrategias de Intervención”, en *La Red, viviendo en riesgo*, Lima, ITDG.
- ⁴ Dirección General de Servicios Técnicos, SCT, *Datos viales 2000*, México, 2001.
- ⁵ Ricardo E. Arredondo O., *Criterio para jerarquizar la conservación de carreteras con base en su importancia económica*, publicación técnica núm. 83 del Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, SCT, 1996.
- ⁶ Gustavo Wilches-Chaux, “La vulnerabilidad global”, en A. Maskrey (comp.), *La Red. Los desastres no son naturales*, Lima, ITDG, 1993.
- ⁷ *Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales*. Estado de Veracruz. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1° de noviembre de 1999.
- ⁸ Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional, SCT, México, 2000.
- ⁹ Conapo-Progres, *Índices de Marginación 95*, México, 1998.
- ¹⁰ *Ibidem*.
- ¹¹ Coplamar, *Necesidades esenciales en México. Situación actual y perspectivas*, vol. 4 Salud, México, Siglo Veintiuno, 1989, pp. 153-158.
- ¹² G. Oláis, “Cobertura de servicios de salud”, en *Indicadores en salud. Resultado de los programas nacionales*. Cuadernos de Salud, núm. 2, México, Secretaría de Salud, 1994, p. 15.
- ¹³ Portal de la Secretaría de Educación Pública, www.sep.gob.mx
- ¹⁴ Oláis, Lezana, Fernández, Sepúlveda, “Censo de la Medicina Privada en México”, *Salud Pública*, México, 1995.
- ¹⁵ www.inegi.gob.mx
- ¹⁶ *Ibidem*.
- ¹⁷ Secretaría de Salud, Gobierno del Estado de Querétaro, 2000.
- ¹⁸ Unidad de Servicios Educativos Básicos del Estado de Querétaro, Secretaría de Educación del Estado, 2000.
- ¹⁹ SCT, “Estudio Binacional de Planeación y Programación del Transporte Fronterizo México-Estados Unidos”, 1998. Documento de circulación restringida.
- ²⁰ El Colegio de la Frontera Norte/ORSTOM, Sistema de Información Geográfica y

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, las tecnologías geoinformáticas en general, y los sistemas de información geográfica (SIG) en particular, 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; por tanto, resultan 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 poten-

cial 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 obra.

Si bien es cierto que para los propósitos de desarrollo del Sistema de Información Geoestadística para el Transporte (Siget), el GPS sólo se utilizó para el registro de la información georreferenciada de la infraestructura, 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 representa la aproximación geoinformática más sólida para apoyar el análisis de la relación entre transporte y espacio geográfico; 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. 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 presentadas, aunque se tratan de proyectos 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 geoinformáticas asociadas, que se extiende a todos los modos de transporte, en distintas escalas espaciales o niveles de detalle de los elementos de infraes-

estructura 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 y estudiosos, entre otros.

Los proyectos expuestos como aplicaciones del Siget permiten afirmar que el diseño conceptual y lógico del sistema facilita su utilización en diversos campos de acción, así como que favorece la interacción con procesos de análisis, información y métodos propios de otras disciplinas y sectores de actividad.

Tal es el caso del 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, 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 perfilase 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 del proyecto “Transporte y accesibilidad en la cobertura regional de los servicios básicos de educación y salud en el estado de Querétaro”, 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 “Sistema de información geográfica para el proceso binacional de planeación y programación del transporte fronterizo”, concebido y diseñado con base en la estructura del Siget, constituye una experiencia de aplicación exitosa y trascendente, en términos de colaboración entre distintas dependencias de los gobier-

nos 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 de mejora continuo 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

- ARONOFF, S., *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, Ottawa, Canada, WDL Publications, 1993.
- ARREDONDO O. y E. Ricardo, *Criterio para jerarquizar la conservación de carreteras con base en su importancia económica*, publicación técnica núm. 83 del Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, SCT, 1996.
- BURROUGH, P.A., *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, New York, USA, Oxford University Press, 1990.
- CAL y Mayor y Asociados, S.C., *Aplicaciones potenciales de los SIT en México*, Estudio por contrato para el IMT, marzo 1999.
- CARDONA A, Omar D. "Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo", en A. Maskrey (comp.), *La Red. Los desastres no son naturales*, Lima, ITDG, 1993.
- COLEGIO de la Frontera Norte, El/ORSTOM, *Sistema de Información Geográfica y Estadística de la Frontera Norte*, México, 1994.
- CONAPO-Progres, *Índices de marginación 95*, México, 1998.
- COPLAMAR, *Necesidades esenciales en México. Situación actual y perspectivas*, vol. 4 Salud, México, Siglo Veintiuno, 1989.
- DANA, P., *The Geographer's Craft Project*, USA, University of Texas at Austin, 1998.
- DARATECH, *Geographic Information Systems: Markets and Opportunities*, Cambridge, Massachusetts, Darathech, 2000.
- DAVIS B., *GIS: A Visual Approach*, Santa Fe, Onword Press, 1996.
- DIARIO Oficial de la Federación, lunes 8 de abril de 2002.
- ESRI, *ArcView. User's Guide*, USA, Cal., Redlands, 2000.
- _____, *Map Book*, vol. 16, USA, 2000.
- _____, *Map Book*, vol. 14, USA, 1999.
- _____, *Understanding GIS. The ArcInfo Method*, Redlands, Cal., ESRI Press, 1997.

FORO del Programa Internacional del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), julio de 1999, "Mandato de Ginebra sobre reducción de los desastres".

GÁMIR, Ruíz, Seguí, *Prácticas de análisis espacial*, Oikos-Tau.

GARCÍA, O.G. y P.M. Backhoff, *El módulo geográfico del SIMAP*, publicación técnica núm. 92, México, Instituto Mexicano del Transporte, 1997.

GIM "GIM's GPS Glossary", *Geodetical Info Magazine*, vol. 7, núm. 3, march, 1993, pp. 68-69.

GPS World, "Intelligent Vehicles & Highways", vol. 7, núm. 4, april, 1996, pp. 46-59.

HEREDIA, F., "La aplicación del Sistema Mundial de Determinación de la Posición (GPS) al transporte aéreo", *Boletín Notas*, núm. 46, México, Instituto Mexicano del Transporte, mayo, 1999.

HURN, J., *GPS. A guide to the next utility*, EUA, Trimble Navigation Ltd., 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, INEGI, 1995.

_____, *Información referenciada geoespacialmente integrada en un sistema*, IRIS 2.0, México, INEGI, 2003.

JOHNS, James C., "La capacidad acrecentada del GPS satisface las necesidades de navegación del siglo XXI", *ICAO Journal*, vol. 52, núm. 9, noviembre 1997, Montreal, pp. 7-10.

LANG, L., *Transportation GIS*, USA, ESRI Press, 1999.

LEWIS, S. y D. Fletcher, *An Introduction to GIS for Transportation*. *Transportation Research Board*, Annual Conference 1991, 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 de maestría en Ingeniería en Sistemas de Transporte y Distribución de Carga, Universidad Autónoma de Querétaro, 2002.

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

MADEJ, E., *Cartographic Design using ArcView GIS*, USA, On World Press, 2001.

MAGUIRE, D.J. et al., *Geographical Information Systems: principles and applications*, UK, Longman, 1991.

MASKREY, A., "Comunidad y desastres en América Latina: Estrategias de Intervención", en *La Red, Viviendo en Riesgo*, Lima, ITDG.

- 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*, núm. 1746, Washington, D.C., National Research Council, 2001, pp. 74-83.
- MILLER, H.J., S. Shaw, *Geographic Information Systems for Transportation. Principles and Applications*, New York, Oxford University Press, 2001.
- MITCHELL, A., *The ESRI Guide to GIS Analysis*, vol. 1 Geographic patterns & relationships, USA, ESRI Press, 1999.
- MONMONIER, M., "Elements of the map", en *How to lie with maps*, Chicago, The University of Chicago Press, 1991, pp. 5-24.
- OLÁIS, G., "Cobertura de servicios de salud", en *Indicadores en salud. Resultado de los programas nacionales*, Cuadernos de Salud, núm. 2, Secretaría de Salud, México, 1994.
- _____, Lezana, Fernández y Sepúlveda, "Censo de la medicina privada en México", *Salud Pública*, Mexico, 1995.
- PETZOLD, R.G. & D.M. Freund, *Potential for geographic information systems in transportation planning and highway infrastructure management*, EUA, Federal Highway Administration, 1990.
- PEUQUET, D.J. & D.F. Marble, *Introductory readings in GIS*, London, UK, Taylor & Francis, 1990.
- ROBINSON, A., R. Sale, J. Morrison y P. Muehrcke, *Elements of cartography*, New York, John Wiley and Sons, 1984.
- SECRETARÍA de Comunicaciones y Transportes, *Programa emergente de carreteras alimentadoras y caminos rurales*, Estado de Veracruz, 1º de noviembre de 1999.
- _____, *Catastro Portuario Nacional*, México, Dirección General de Puertos y Marina Mercante, 2000.
- _____, *Datos Viales 2000*, México, Dirección General de Servicios Técnicos, 2001.
- _____, *Anuario Estadístico 1999*, México, Dirección General de Aeronáutica Civil, 2000.
- _____, *Transporte Ferroviario y Multimodal*, México, Dirección General de Tarifas, 2001.
- _____, *Integración de información para la planeación*, documento interno, México, Dirección General de Planeación y Centros SCT, 1998 y 1999.
- _____, *Sistema de Puentes de México*, México, Dirección General de Conservación, Sipumex, 2001.
- _____, *Modernización de la Red Federal de Carreteras*, México, Unidad de Autopistas de Cuota, 2000.
- _____, *Estudio Binacional de Planeación y Programación del Transporte Fronterizo México-Estados Unidos 1998*, documento de circulación restringida, México, Unidad de Autopistas de Cuota.

- _____, *Manual para la atención de emergencias en la red de carreteras alimentadoras y caminos rurales*, México, Unidad de Infraestructura Carretera para el Desarrollo Regional, 2000.
- SISTEMA Nacional de Protección Civil, *Atlas Nacional de Riesgos*, México, Secretaría de Gobernación.
- SLOCUM, T.A., *Thematic cartography and visualization*, New Jersey, USA, Prentice Hall, 1999.
- STAR, J. y J. Estes, "Data Structures", en *Geographic Information Systems. An Introduction*, Santa Barbara, University of California/Prentice Hall, 1990.
- STEEDE-Terry, K., *Integrating gis and the Global Positioning System*, USA, ESRI Press, 2000.
- TRANSPORTATION Research Board, *Transportation Research Record*, núm. 1497, "Artificial Intelligence and Geographic Information", Washington, D.C., USA, 1995.
- UNIDAD de Servicios Educativos Básicos del Estado de Querétaro, Secretaría de Educación del Estado, 2000.
- VONDEROHE, A.P. *et al.*, "Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation", *Transportation Research Board*, NCHRP Report 359, Washington, D.C., 1993.
- WILCHES-Chaux, Gustavo, "La vulnerabilidad global", en A. Maskrey (comp.), *La Red. Los desastres no son naturales*, Lima, ITDG, 1993.
- YUE-HONG Chou, *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*, Santa Fe, Onword Press, 1997.

PORTALES EN INTERNET:

www.romanse.org.uk
www.macavsat.org/
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.opengis.org
www.wiley.com/gis
www.usgs.gov
www.sep.gob.mx

Transporte y espacio geográfico. Una aproximación geoinformática
—editado por la Dirección General de Estudios de Posgrado, la Facultad
de Filosofía y Letras y el Programa de Posgrado en Geografía
de la Universidad Nacional Autónoma de México;
y por el Instituto Mexicano del Transporte—
se terminó de imprimir en papel cultural de 75 gr,
en Digital Oriente, Calle 20, Mz. 105, lote 11
Col. José López Portillo, 09920, México, D.F.
en marzo de 2005.

La edición consta de 1,000 ejemplares

Dirección General de Estudios de Posgrado
Secretario Académico
Lic. Gerardo Reza Calderón

Coordinación Editorial
Lic. Lorena Vázquez Rojas

Diseño y formación:
Concepto Integral en Imagen y Comunicación, S.A. de C.V.

Diseño original de portada: Cecilia Atenea Cota Trujillo
Diseño de portada: D.G. Citlali Bazán Lechuga

Obra pictórica: José María Velasco
Puente curvo en la cañada de Metlac (detalle), 1881
Óleo sobre tela

Reproducción autorizada por el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura

