

Jorge López Blanco

Doctor en geografía e investigador del
Instituto de Geografía de la Universidad
Nacional Autónoma de México.
Teléfono: (525) 622 4335
Correo electrónico: jlblanco@servidor.unam.mx



SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG): CONCEPTOS, DEFINICIONES Y CONTEXTO METODOLÓGICO QUE INVOLUCRA SU USO

I. Introducción y definiciones

El avance computacional de las últimas décadas y la generación, el desarrollo y la aplicación de la tecnología conocida como sistemas de información geográfica (SIG, o GIS, por sus siglas en inglés) han permitido su utilización en los estudios de los recursos naturales y del medio ambiente, principalmente a partir de los años setenta, y en México al final de los años ochenta. Esto ha provocado que se reconsideren cada vez más los conceptos teóricos y las metodologías geográficas hasta ahora utilizadas. El empleo de esta tecnología permite integrar y analizar gran cantidad de información de naturaleza espacial (o geográfica) y no espacial (o de atributos), que hasta hace poco tiempo era muy difícil hacerlo de manera manual o mediante interpretación visual. En los últimos años, el desarrollo tecnológico de los SIG ha sido creciente; así también lo ha sido su organización y manejo de información, y parcialmente el desarrollo de su base teórica. Este amplio desarrollo no se ha extendido hacia el campo del análisis espacial conceptual ni del planteamiento de nuevas estructuras lógicas de manejo de información espacial.

El término y concepto sistema de información geográfica (SIG) se refiere principalmente a la tecnología computacional orientada hacia asuntos geográficos; también se le conoce así a los conceptos y a las estructuras lógicas (programas) de manejo de entidades espaciales usados en diferentes áreas de aplicación, y más recientemente, a un conjunto organizado de conocimientos sistemáticos sobre las diversas formas de integrar y analizar la información acerca de entidades geográficas (Maguire et al., 1991).

Todo este conjunto de técnicas, tecnologías y conocimientos ha permitido la formación de una nueva disciplina, cuyo fin es el establecimiento de formas de aplicación del análisis espacial y de los medios tecnológicos necesarios para su realización, todo lo cual adquiere cada vez mayor interés en el mundo (Maguire et al., 1991). Desde un punto de vista particular, esta nueva disciplina sirve de apoyo fundamental para la ciencia geográfica; desde una perspectiva más general, cada vez es mayor su utilidad para otras disciplinas en las cuales las dimensiones de espacio y tiempo se agregan como elementos importantes de sus métodos de análisis.

El objetivo de este trabajo es definir un sistema de información geográfica, sus elementos componentes, los niveles de complejidad de análisis y su clasificación por campos o disciplinas de aplicación general, abarcando particularmente los aspectos relacionados con el medio ambiente y la evaluación de los recursos naturales. Además, se destaca su importancia al usarlos en los estudios de la planeación ambiental.

Desde su origen, los SIG han sido considerados como un caso especial dentro de los sistemas de información general. En el cuadro I se muestran algunas definiciones conocidas de los SIG: en algunas se ha dado más relevancia a los aspectos funcionales, en otras a los elementos componentes del sistema, o bien a la clase de información empleada. A continuación se cita una selección de las definiciones que más se adaptan a las posibilidades de uso dentro del ámbito de la planeación

Cuadro I**ALGUNAS DEFINICIONES DE LOS SIG**
(simplificado de Maguire et al., 1991: 9-20)

Departamento del Medio Ambiente de Gran Bretaña (1987: 132): Un sistema para capturar, guardar, corroborar, manejar, analizar y desplegar datos, los cuales están dados espacialmente referenciados.

Aronoff (1989: 39): Cualquier conjunto de procedimientos manuales o basados en computadora, usados para guardar y manejar datos geográficamente referenciados.

Carter (1988: 3): Una entidad institucional con estructura organizada que integra la tecnología con una base de datos, personal experto y soporte financiero continuo a través del tiempo.

Parker (1988: 1547): Tecnología de información que permite guardar, analizar y desplegar ambos tipos de datos: espaciales y no espaciales.

Smith et al (1987: 13): Un sistema de base de datos en el cual la mayoría de ellos están indexados espacialmente y sobre los cuales un conjunto de procedimientos son aplicados con el fin de responder a las consultas acerca de las entidades espaciales en dicha base.

Ozenoy, Smith y Sicherman (1981: 92): Un conjunto de funciones que provee a los profesionales de herramientas avanzadas para guardar, seleccionar, manejar y desplegar información geográfica.

Koshkarirov, Tikunov y Trofimov (1989: 259): Un sistema con herramientas avanzadas para hacer geomodelamiento.

Devine y Field (1986: 18): Una forma para el manejo de información (SMI) que permite el despliegue de mapas de información general.

ambiental o del ordenamiento del territorio. Centrada en el aspecto tecnológico, la definición expuesta por Burrough en 1986/1989 señala que un SIG:

Es un conjunto de herramientas con alta potencialidad para guardar, integrar, seleccionar y en su caso transformar, analizar y desplegar datos espaciales o geográficos del mundo real.

Por otro lado, la definición establecida por Cowen en 1988 (citado en Maguire et al., 1991) considera la aplicabilidad al medio ambiente:

Un sistema de apoyo para la toma de decisiones, el cual involucra la integración de datos referenciados espacialmente en la solución de problemas del medio ambiente.

En un sentido más general, un SIG puede considerarse como una serie de elementos lógicos y físicos que permite el manejo de bases de datos, principalmente de naturaleza geográfica, y que puede ser organizada o *indexada* a partir de un listado o índice, para ser manejada con referencia a un espacio localizable (Albert, 1988: 1021). Esa serie de elementos permite establecer un conjunto de procedimientos que operan sobre los datos, para estructurar la entrada de consultas y la salida de respuestas acerca de las entidades espaciales representadas. Burrough (1989: 6-7) determinó que las entidades espaciales que se emplean en los SIG deben estar descritas en términos de:

- i. Su posición respecto de un sistema de coordenadas específico;
- ii. Sus atributos que no están relacionados con la posición (color, frecuencia, costo, etcétera), y
- iii. Sus interrelaciones espaciales con otros objetos (propiedades topológicas) que

describen sus posiciones relativas, conexiones y trayectos.

La utilidad de un SIG es más clara conforme las bases de datos crecen en extensión, sobre todo cuando se manejan y analizan multitud de datos referidos geográficamente y sobre los cuales inciden gran cantidad de factores.

2. Requisitos que debe cumplir un SIG

Según Smith et al. (1986) existen algunos requerimientos generales de carácter técnico, con relación a la estructura y el manejo de la información, que deben ser satisfechos para que un sistema pueda ser considerado como de información geográfica:

- i. Tener la capacidad para manejar grandes bases de datos, heterogéneas y multitemáticas, que tengan representación espacial;
- ii. Tener la capacidad de indagar en tales bases de datos acerca de la existencia, localización y las propiedades de un amplio rango de objetos con representación espacial;
- iii. Tener eficiencia en el manejo de datos para realizar tales indagaciones, de tal manera que permita su interactividad con el usuario;
- iv. Tener una configuración suficientemente flexible como para permitir modificaciones con facilidad, o bien para aceptar una amplia variedad de aplicaciones y de usuarios de diferentes disciplinas. Asimismo, se precisa su acceso en el intercambio de información con otros SIG, o bien con bases de datos creadas con otros sistemas.

A estos cuatro puntos es posible añadir uno más, el cual es cada vez más importante: un SIG necesita tener un mínimo de técnicas estadísticas para procesar y valorar los datos, tanto de naturaleza espacial como no espacial, representados en los diferentes formatos aceptados por tales sistemas (celdas o raster, vectorial y tabular).

3. Componentes de un SIG

Los principales componentes de un SIG se pueden agrupar en tres conjuntos:

Elementos físicos (hardware)

- i. La unidad central de procesamiento (UCP);
- ii. Los dispositivos para la interacción del usuario con la computadora (teclado y monitor);
- iii. Los digitalizadores y otros elementos de entrada de datos gráficos (digitalizador óptico o scanner);
- iv. Graficadores o cualquier otro tipo de dispositivo de impresión de resultados gráficos;
- v. Unidades de manejo de cintas magnéticas para guardar información y transferirla.

Elementos lógicos (conjunto de programas o software)

Los programas individuales comúnmente conforman una estructura más compleja llamada sistema de información. Dichos programas permiten realizar una serie secuenciada de funciones para tener resultados del análisis de la información. Cada uno de esos programas individuales permite realizar un conjunto de órdenes estructuradas lógicamente que facilitan la solución de consultas (*queries*) aplicadas a dicho sistema de información. Existen cinco grupos de funciones que realiza un SIG:

- i. Introducción, transformación y verificación de los datos. Se refiere a los aspectos de captura y transformación, en formato digital, de los datos básicos obtenidos desde diferentes fuentes: mapas, imágenes de satélite, fotografías, datos de campo, resultados de laboratorio, etcétera.
- ii. Almacenamiento y manejo de la base de datos. Se relaciona con la estructura y organización interna de la información de los ele-

mentos por analizar, tomando en cuenta sus propiedades espaciales principales.

iii. Procesamiento y análisis de la información.

Aquí se concentran las funciones principales que puede desempeñar un SIG, las cuales dan respuesta a las preguntas del usuario. Un SIG proporciona una serie de funciones de análisis de los aspectos espaciales y topológicos de la información geográfica, sus atributos no espaciales y la combinación de ambos. Entre los procesos que se pueden realizar con tales funciones están los siguientes: cambios de escalas y proyecciones, cálculos de longitudes y áreas, aplicación de operadores *booleanos*, clasificaciones, sobreposiciones y cruzamientos, análisis matemático y geoestadístico, interpolaciones, etcétera.

iv. Salida y representación de los resultados.

Se refiere a las diversas formas en que pueden ser obtenidos los resultados del análisis (mapas, tablas, gráficas e imágenes): despliegues en pantalla, impresiones en papel y película, o archivos en formato digital.

v. Funciones de interacción con el usuario.

Prestaciones o especificaciones de comunicación del usuario con el sistema. Los SIG instalados en computadoras personales funcionan a través de menús y ventanas que permiten el aprendizaje de una manera más eficiente.



Aspectos de organización al trabajar con un SIG

Los aspectos considerados en los párrafos anteriores aseguran el procesamiento efectivo de la información, pero no permiten por sí mismos confirmar que el análisis y la interpretación de los resultados sean los adecuados. Por otro lado, debe considerarse especialmente el entrenamiento del personal con que se cuente y las modificaciones en la estructura institucional en donde se inicie el empleo de los SIG.

4. Los SIG como herramientas para la planeación ambiental y la administración de los recursos naturales

La demanda para la captura, el almacenamiento, análisis y despliegue de amplios volúmenes de datos, de diferentes orígenes, temporalidades, escalas, formatos, etcétera, han propiciado la generación y el establecimiento de nuevos métodos y tecnologías de análisis. Los SIG han propiciado el cambio de los procedimientos de obtención de datos espaciales y los procesos analíticos que los utilizan (Valenzuela y Weir, 1989: 1).

Es evidente que los asuntos relacionados con el medio ambiente y la planificación de los recursos naturales son ahora aspectos de consideración primordial para las sociedades humanas, sobre todo en la evaluación de las perturbaciones potenciales y reales: el funcionamiento de los ecosistemas y los efectos directos e indirectos causados por la interacción con las comunidades bióticas, así como con los elementos del medio físico.

La información que se utiliza en asuntos ambientales es compleja y voluminosa e involucra la mayor parte de las disciplinas científicas: desde los especialistas relacionados con los aspectos físicos del medio ambiente y de los recur-

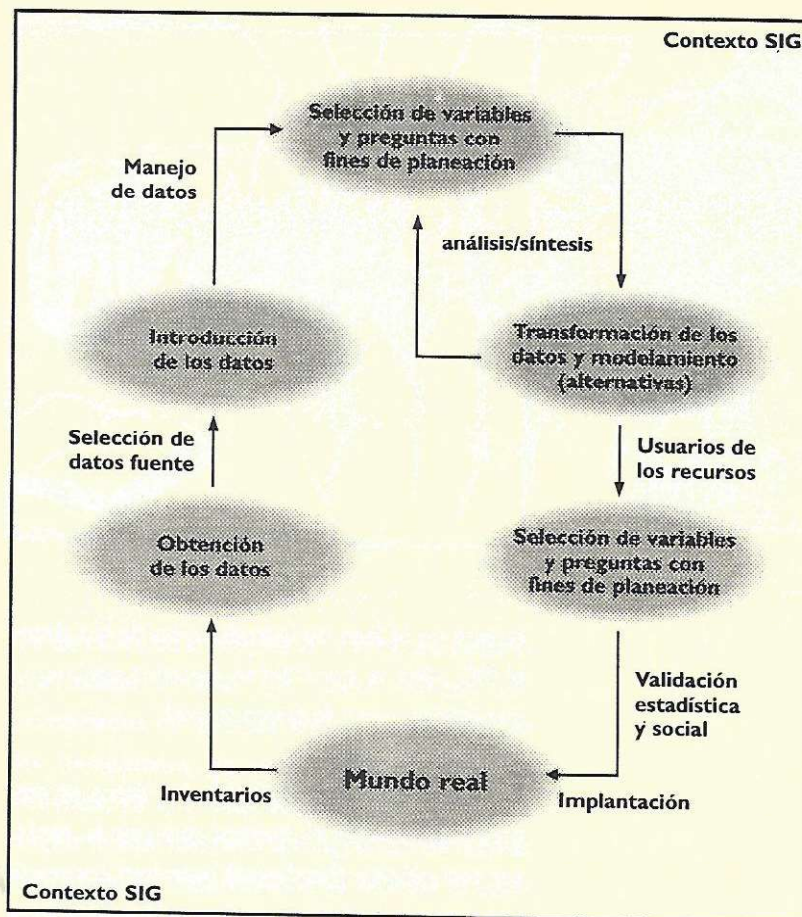
tos naturales (climatólogos, geógrafos, edafólogos, geomorfólogos, etc.); los relacionados con los aspectos bióticos (botánicos, zoólogos, ecólogos, etc.); los relacionados con aspectos sociales y económicos (sociólogos y economistas); los relacionados con aspectos legales (especialistas en la legislación ambiental), así como los que se dedican específicamente al ordenamiento territorial, la ingeniería ambiental, la gestión de proyectos, las actividades políticas, los grupos de ecologistas, las entidades no gubernamentales y otros.

Debido a esta diversidad de disciplinas, métodos de análisis y clases de información, la integración, el análisis, la captura y organización de los datos, con los fines mencionados, es compleja. Tal vez la aplicación de los SIG sea más clara en el campo de la planeación ambiental y la administración de los recursos naturales, debido a las posibilidades de uso de las funciones de integración de información y de análisis espacial. De acuerdo con lo anterior, es evidente que la característica principal de la información utilizada en este campo es su heterogeneidad, sobre todo con relación a las escalas espaciales y a los métodos de obtención.

Por lo tanto, el uso efectivo de grandes volúmenes de información geográfica depende de la existencia de sistemas eficientes que puedan transformar estos datos en información utilizable. Para una planificación completa, es fundamental un conocimiento amplio, exacto y preciso de la localización, cantidad y disponibilidad de los recursos naturales.

En la gráfica 1 se simplifica la forma general del contexto metodológico que involucra el uso de un SIG. Sus características principales son: flexibilidad, *re-alimentación* e interactividad.

El primer aspecto de consideración dentro del proceso es concretar una percepción del mun-

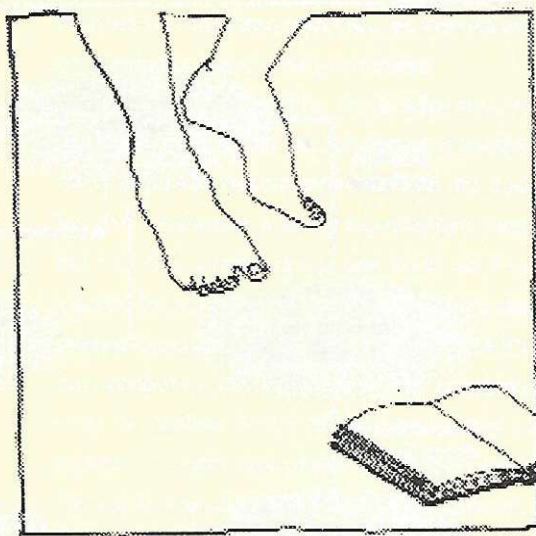


do real, la cual permita plantear las características de la información fundamental por coleccionar (la existente y la faltante), a partir de la realización de los inventarios sobre los recursos naturales. El paso siguiente es plantear una estrategia de obtención práctica de esos datos. Evidentemente esto involucra un problema importante que normalmente se presenta en estos casos: la carencia de información con suficiente detalle espacial y temporal que permita tener mayor certeza en los resultados del análisis por realizar.

De acuerdo con los objetivos planteados y el nivel de detalle del análisis, la obtención de la información puede acarrear un esfuerzo enorme de tiempo, recursos económicos, personal involucrado, etcétera. Así pues, se precisa una depuración de tal información (selección de los datos básicos), de tal mane-

Gráfica 1.

Contexto metodológico general que involucra el uso de los SIG como herramientas para el análisis espacial y la planeación (modificado de Valenzuela y Weir, 1989:2).



ra que en la fase de introducción de los datos al SIG sólo se consideren aquéllos realmente necesarios —en formato digital.

En la fase de introducción de los datos se emplea una serie de elementos, que por su carácter tecnológico (hardware) permiten conseguir una manera óptima de realizar tal función. Se ha señalado ya que la información empleada en este campo de aplicación cubre e involucra a una gran cantidad de disciplinas; dicha información es cuantiosa y de diversos tipos, lo cual provoca plantear esquemas apropiados para realizar funciones como las siguientes: definir si se utiliza un medio manual o automático de introducción de información gráfica (con tableta digitalizadora o con barreador óptico *scanner*), o bien si se emplea cierto formato de archivos con estructura *raster*, o si la base de datos tabular ya existente puede ser transferida sin complicaciones al SIG.

La dimensión de los elementos físicos y humanos por emplear en la introducción de los datos dentro del sistema está en función del volumen de la información definida como necesaria, los tipos de formatos en que se encuentra, la disposición de los recursos económicos existentes, etcétera.

En relación con la fase anterior, pero considerando que la información ya se encuentra dentro del SIG, las características del proceso descrito en el esquema dependen mucho de la estructura del manejo y la organización de la información del SIG empleado. Por lo tanto, aquí se está en dependencia total de la estructura del diseño original, para el manejo y la organización de las bases de datos, así como de las formas posibles de actualización y ampliación de esa información.

La fase más importante dentro del esquema planteado en la gráfica 1 es la que se refiere a la selección del modelo por aplicar y a las variables por utilizar. Dentro de esta fase están fundamentalmente el planteamiento y la selección de las preguntas o consultas que se harán en el SIG. Los enfoques empleados en este proceso de planeación pueden ser de diversas clases: desde el comúnmente utilizado, que privilegia los aspectos económicos, o bien el que considera primordiales los requerimientos planteados por los grupos sociales directamente relacionados, hasta el que emplea un enfoque científico-ambiental.

Para llegar a la fase siguiente, es necesario realizar una serie de procesos de análisis/síntesis con el SIG, los cuales permitirán contestar las consultas hechas previamente por los planificadores. En este punto es necesario remarcar que a medida que se tengan mayores posibilidades de análisis espacial con el SIG empleado es como se tendrán disponibles, o no, herramientas más o menos complejas para llegar a los objetivos establecidos.

El resultado de esta parte del proceso es el establecimiento de una serie de alternativas de manejo de los recursos, de las cuales una de ellas se elige en función de las necesidades y los requerimientos de la población, así como de los objetivos asociados con los plantea-

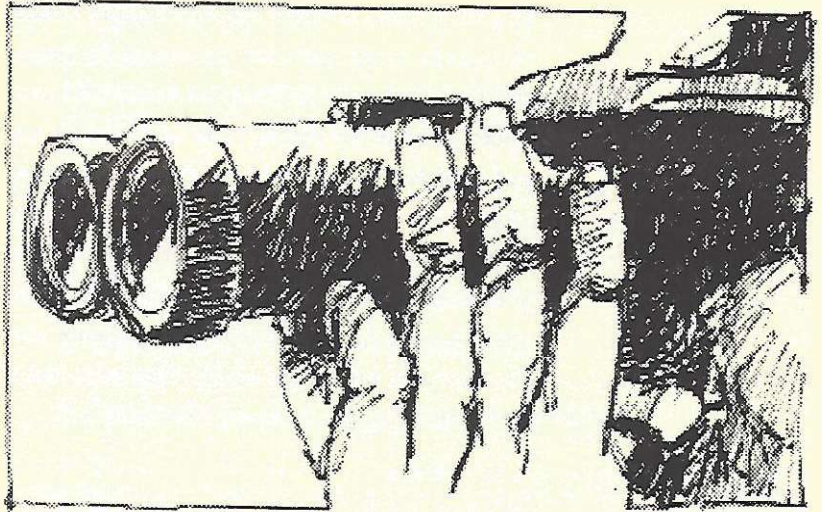
mientos propios de los directamente involucrados con el uso de esos recursos. En este sentido, se plantea como parte de un proceso ideal el que los integrantes del conjunto social (usuarios de los recursos) estén involucrados en este proceso de toma de decisiones.

La validación estadística se refiere a los aspectos puramente técnicos de los resultados del proceso de análisis/síntesis y del modelamiento: sobre todo son una serie de técnicas empleadas para agrupar entidades espaciales, en relación con la información de la multitud de variables que normalmente se encuentran involucradas en este proceso, o bien son técnicas que permiten definir cuáles variables influyen más en las condiciones del fenómeno estudiado.

Finalmente, lo que valida estadísticamente los resultados obtenidos son las pruebas de certidumbre o confianza dadas por las técnicas empleadas y por las características de la información utilizada. Sin embargo, este tipo de validación no asegura que las interpretaciones de los resultados y de los análisis realizados sean las más adecuadas.

En función de la decisión tomada, es necesario realizar un seguimiento para definir con qué éxito se llevó a la realidad tal alternativa/estrategia. Esto mismo incluye de manera muy importante una validación social de la efectividad de conseguir las metas establecidas originalmente; esto es, se hace una evaluación dentro de los grupos sociales involucrados, y se considera qué tanto éxito —según sus perspectivas de desarrollo— se ha conseguido al llevar a cabo en la realidad la estrategia elegida.

Tomando en cuenta las posibilidades de aplicación del esquema mostrado y considerando las explicaciones anteriores, se puede decir que el enfoque actual en la creación de los SIG consiste en estructurarlos con base en la presen-



cia de módulos o conjuntos específicos de programas—herramienta, los cuales pueden ser combinados de diversas formas para satisfacer las necesidades de una amplia variedad de usuarios, ya que esto asegura que exista una amplia flexibilidad para la integración de nuevas herramientas, desarrolladas ya sea por la institución creadora del SIG o incluso por el mismo usuario.

La factibilidad en esto último es alta, sobre todo cuando existe la oportunidad de realizar conjuntos de tareas secuenciales, programadas en base a los *batch files* o archivos de realización de tareas secuenciales automáticas, sin intervención del usuario; o bien mediante las funciones macro o también por los semilenguajes de programación (SQL, por ejemplo), los cuales permiten editar y aplicar líneas de programación o *queries*, integrados en muchos de los SIG comerciales.

Es importante mencionar que la información generada por las tecnologías y técnicas de la percepción remota son una fuente fundamental y básica de datos para un SIG. Esto en relación principalmente con estudios e inventarios de recursos naturales, sobre todo con el fin de tener información fidedigna, actualizada y con su-

ficiente detalle. También esa información puede ser usada tanto para los procesos de seguimiento como para los de actualización. Al respecto es preciso señalar que las técnicas de procesamiento de imágenes digitales proporcionan —sobre todo si están integradas dentro de un SIG— las herramientas para transformar y extraer información útil, partiendo de información *cruda* que es recibida originalmente por los sensores instalados en los diferentes tipos de plataformas (comúnmente en satélites).

Cuadro 2

LAS TRES GRANDES CATEGORÍAS DE CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS SIG

1. Aplicaciones en planeación y ordenamiento territorial:

- Propuestas de aprovechamiento de los recursos naturales;
- Desarrollo urbano;
- Políticas públicas, toma de decisiones, planeación integrada.

2. Aplicación en estudios ambientales:

- Bases de datos nacionales, continentales y mundiales de variables ambientales (PNUMA, CORINE, etcétera);
- Base de datos específicas: suelos, erosión, vegetación, cuencas, etcétera;
- Integración y análisis de variables en estudios específicos.

3. Aplicaciones en estudios económicos y sociales:

- Tenencia de la tierra, catastros rural y urbano;
- Censos económicos y de población, actividades electorales;
- Dotación y prestación de servicios urbanos;
- Análisis de mercados.

Basada en la estructura de Maguire et al., 1991 y presentada por López-Blanco (1994).

5. Aplicación de los SIG en diversas disciplinas

Las posibilidades de aplicaciones de los SIG son muy amplias. Los límites más comunes son los que dan la profundidad de los conocimientos, la claridad de los objetivos, la experiencia, el ingenio, la imaginación y la creatividad del grupo de usuarios que trata de aplicar dicha tecnología. Entre la gran cantidad de aplicaciones con los SIG, Aronoff (1989: 2) menciona:

- i. La búsqueda de coincidencia de factores que intervienen en la presencia de un fenómeno (determinación de patrones del fenómeno, modelamiento y la creación de escenarios);
- ii. La actualización de la información geográfica ya producida, sea temática o básica;
- iii. Para el monitoreo, mantenimiento y la planeación de los servicios en las ciudades, o definición de áreas para implantar medidas de control, para disminuir los efectos negativos del uso de los recursos, etcétera.

En el cuadro 2 se muestran las tres grandes categorías de los principales campos de aplicación de los SIG, y están clasificados de acuerdo con los tres principales aspectos que han desarrollado para la organización, el conocimiento y manejo de sus recursos las sociedades humanas: planeación, medio ambiente y economía—sociedad. En Maguire et al. (1991, vol. 2) se ha hecho una recopilación amplia de las aplicaciones a nivel mundial de los SIG, en los campos o disciplinas más importantes, considerándolos por países y también por materia. Los aspectos o temas que se han incluido dentro de cada una de las categorías de aplicaciones son sólo algunos tópicos entre los muchos que podrían haberse incluido en cada caso.

Valenzuela y Weir (1989: 2) realizaron un agrupamiento de áreas frecuentes de aplicación de

los SIG, con relación a los resultados materiales que se obtienen (productos obtenidos):

- i. Cartografía automatizada;
- ii. Trazado de parcelas y calles, cálculo de movimiento de tierras en proyectos de ingeniería civil;
- iii. Producción de mapas catastrales;
- iv. Producción de mapas de autopistas;
- v. Cartografía geodésica;
- vi. Cartografía de eventos (accidentes, incendios, robos, etcétera);
- vii. Cartografía de censos y estadísticas relacionadas;
- viii. Datos asociados a registros de pozos de extracción (agua, petróleo, gas, etcétera);
- ix. Planeación del uso del suelo;
- x. Estudios de impacto ambiental;
- xi. Mapeo de recursos naturales (inventarios);
- xii. Tenencia de la tierra;
- xiii. Estudios de mercado;
- xiv. Rutas para vehículos en tránsito;
- xv. Planeación urbana y regional;
- xvi. Selección de trazos de carreteras, etcétera.

6. Niveles de complejidad de análisis realizados con un SIG

Toda consulta de un SIG emplea ciertas funciones de análisis espacial. En el cuadro 3 se presentan los principales niveles de análisis que se pueden aplicar. Nótese que son cada vez más complejos conforme crece el número que los identifica.

El primer nivel se refiere al principio fundamental de la geografía: la localización, que es el más simple y con él se responde una pregunta específica:

“¿Qué está en...?”, es decir qué clases de objetos están en el sitio que se está analizando. Por ejemplo: “¿Cuáles son los tipos de vegetación registrados en cierto municipio?”

Cuadro 3
NIVELES DE COMPLEJIDAD DE ANÁLISIS
Y TIPOS DE CONSULTAS CON UN SIG

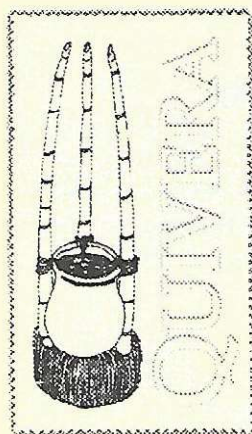
Nivel	Tipo de Consulta
1. Localización	¿Qué está en...?
2. Condición	¿Dónde está?
3. Tendencias	¿Cómo ha cambiado?
4. Rutas	¿Cuál es el mejor camino o sitio?
5. Patrón	¿Cuál es el patrón del fenómeno?
6. Modelamiento	¿Qué va a pasar si...?

Modificado de Rhind (1990), presentado en López-Blanco (1994: 9)

El siguiente nivel permite contestar a la pregunta: “¿Dónde están los sitios u objetos con tales características?”, es decir, se establece la condición de determinar las entidades que se caracterizan por cierta propiedad, por ejemplo: “¿Cuáles son las áreas de cierto municipio, cuyo tipo de vegetación es matorral?”

El nivel tres se refiere al análisis a partir de un seguimiento en el tiempo. Se consideran interrogaciones, como el cambio de las entidades en cierto lapso. Para ello es necesario tener una resolución de la información temporal al mayor detalle, para así establecer una tendencia mínima de la dinámica del fenómeno.

Al nivel cuatro le corresponde la aplicación de una serie de funciones relacionadas sobre todo con el análisis de redes. En este caso, el tipo de pregunta es: “¿Cuál es el mejor camino a seguir dentro de una red (ríos, gasoductos, calles, etcétera)?”, por ejemplo, cuál es el sitio más adecuado para construir un hospital al cual se pueda llegar desde cualquier punto de cierta ciudad, de la manera más rápida posible.



El nivel cinco permite establecer cuáles son los elementos, la distribución y las funciones que se presentan continuamente al analizar un fenómeno determinado, y a partir de esto definir un modelo que explique el fenómeno. Un ejemplo de consulta en este nivel podría ser: "¿Cuál es el patrón de distribución en las áreas erosionadas de cierto municipio?"

El nivel seis presenta la mayor complejidad en el análisis; en este caso se considera más de una consulta simultánea. Se trata de conjugar una serie de funciones que permiten diferentes tipos de análisis para llegar a resolver el objetivo de realizar el modelamiento. A partir de la aplicación de modelos se obtienen las respuestas del tipo: "¿Qué va a pasar si...?" También se refiere a la posibilidad de crear escenarios geográficos, es decir, la creación de mapas o imágenes instantáneas de las condiciones que se presentarían a partir de la aplicación de un modelo.

7. Instituciones y usuarios de los SIG en México

Para entender mejor cuáles han sido los principales campos de aplicación de los SIG, se tiene que considerar también cuáles son los usuarios o las instituciones que hacen uso de tales sistemas de información. En México se han orientado las aplicaciones de los SIG por diversos caminos, definidos por intereses y objetivos particulares de las entidades y de los individuos. Existen algunas áreas, instituciones o usuarios reconocidos como centros en los cuales se ha hecho uso de los SIG en los años más recientes:

1. Los institutos de investigación científica y algunas facultades pertenecientes a las universidades públicas, principalmente, y en algunos casos a las universidades privadas. En este ámbito se han aplicado particularmente

en áreas relacionadas con los inventarios de recursos naturales, en evaluaciones ambientales y en la caracterización de algunos tipos de infraestructura.

En algunos centros universitarios relacionados con la enseñanza de las ciencias de la tierra, ecología y ciencias ambientales —tanto en conexión con los aspectos físicos, como con los socioeconómicos— se han implementado dentro de sus planes de estudios, asignaturas, cursos de posgrado y educación continua, relacionados con la tecnología de los SIG y la cartografía automatizada. En la actualidad existen diversos ejemplos de esto: algunos diplomados, especialidades y cursos de licenciatura y posgrado, y una cantidad cada vez mayor de especialistas egresados expertos en el manejo apropiado de la tecnología de los SIG (institutos de Geografía, Ecología e Ingeniería de la UNAM, Facultad de Geografía de la UAEM, UAM-Iztapalapa, Facultad de Ciencias de la UNAM, Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, entre otros).

En algunas reuniones académicas nacionales (simposios, congresos, revisiones de planes de estudio, etcétera), tanto de ciertas disciplinas geográficas como de gremios de colegas (v. gr.: Primer Simposio de Profesores de Cartografía en México) se le ha dedicado en algunas de ellas, con tiempos extensos, al aspecto específico de la docencia de la tecnología SIG, dentro de la nueva era de la información, lo cual ha permitido poner énfasis en los puntos a los que se refiere este apartado.

Por otro lado, existen ejemplos muy sobresalientes desarrollados en centros docentes universitarios, en los cuales se han generado programaciones de módulos complementarios y específicos para aplicar algunas técnicas dentro del algún SIG en particular, disponible dentro del mercado mexicano. Con tales programacio-

nes se han ampliado las perspectivas en términos de análisis espacial y modelación cartográfica. Incluso algunos de dichos esfuerzos han culminado con distinciones a nivel mundial. Todo esto demuestra el impacto que ha tenido en nuestro país la asimilación de tal tecnología en los medios académicos.

2. En otro ámbito, los SIG se han aplicado en las entidades gubernamentales (secretarías de estado), que en algunos casos cumplen funciones de servicio. Por ejemplo, en la actualidad existe un amplio y complejo conjunto de elementos tecnológicos conjugados en un contexto de aplicación de sistema de información geográfica, con fines de producción de la cartografía topográfica en formato digital de todo el país, en escala 1:50,000.

Dentro de este mismo contexto de generación y actualización de la cartografía básica, actualmente se están obteniendo los primeros resultados de un gran esfuerzo realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Este es el caso de la cartografía de uso del suelo y vegetación en escala 1:250,000, que emplea un método de delimitación y corroboración en campo, compuestos en color de imágenes de satélite corregidas, georreferenciados y editados cartográficamente (*espaciomapas*).

Productos digitales resultados de este esquema de servicio de comunicación y generación de información geográfica son por ejemplo las bases de datos tabulares de los censos económicos y de población, información espacial digital en formatos *raster* (modelos digitales de terreno) y vectorial, así como las configuraciones con segmentos de las áreas urbanas de algunas ciudades del país. Otro ejemplo de entidades donde se realizan aplicaciones de SIG en el área de los servicios es en la asignación de tasas de impuesto predial con fines de captación; por

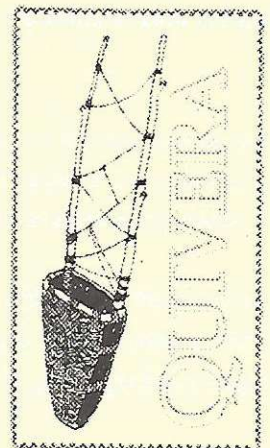
ejemplo, la oficina de catastro del Departamento del Distrito Federal.

3. A partir de la necesidad de realizar estudios del medio ambiente (manifestaciones de impacto ambiental y estudios de ordenamiento territorial) como una propuesta establecida por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (ahora Secretaría de Desarrollo Social), deseable de realizar por todas las entidades públicas y privadas que hacen uso de algún tipo de recursos naturales y de elementos del medio ambiente, se ha abierto un campo amplio de aplicaciones, el cual ha sido aprovechado por algunas compañías de consultoría. Sus aplicaciones en esta área han sido limitadas en el sentido de la profundidad de análisis espacial, además de que dichos estudios han sido parciales en cuanto a nivel de análisis, generación de nueva información y planteamiento, y aplicación de metodologías *ad hoc* a las posibilidades de análisis existentes en los SIG. En muchos casos, y para esta rama de aplicación, los SIG sólo han sido usados como herramientas automatizadas de generación de cartografía.

4. Entre las instituciones usuarias de los SIG, mencionamos las siguientes: institutos de investigación del sector público (gobierno), descentralizados y de iniciativa privada (principalmente empresas transnacionales); ejemplos de esto son, respectivamente, los institutos mexicanos del Petróleo, Transporte, Comunicaciones, Colegios de la Frontera Norte y Sur, Centro Científico IBM, etcétera.

Conclusiones

Cuando se aplica adecuadamente, la tecnología de los SIG forma parte de un conjunto de herramientas útiles en los procesos de análisis espacial de objetos y fenómenos de diversa índole. El uso de un SIG no asegura por sí mismo que los resultados obtenidos y su interpretación sean correctos. Para definir esto se tiene que



considerar primero si es realmente necesaria la aplicación de esta tecnología, si los modelos a emplear en el análisis son teóricamente consistentes, si la información de las variables usadas es homogénea, tanto en calidad, como en nivel de detalle espacial y temporal, y finalmente si los tipos y las magnitudes de los errores sistemáticos involucrados son permisibles y no afectan en alto porcentaje a los resultados obtenidos.

En el planteamiento de un esquema metodológico

general de los SIG permitió vislumbrar e intuir la alta potencialidad de análisis que se facilita con el uso de dicha tecnología para realizar una planeación ambiental.

Es importante tener certeza en los diferentes niveles de complejidad de análisis espacial que se pueden realizar con un SIG, ya que esto facilitará los requerimientos de resolución de la información por emplear y las posibilidades de uso e interpretación de los resultados por obtener.

Es fundamental conocer la verdadera dimensión de la utilidad de esta tecnología, para que en cualquier momento se puedan reconocer las exageraciones que se expresan con respecto a su alta (o en el caso contrario, baja) potencialidad de solución de problemas; lo mismo para sopesar los comentarios relativos a la obtención de resultados de los SIG.

Bibliografía

- Albert, T.M. (1988) "Knowledge-based geographic information systems (KBGIS): new analytic and data management tools", *Mathematical Geology*, vol.20, No.8, pp.1021-1035.
- Aronoff, S. (1989) *Geographic information systems: a management approach*. WDL Publications, Canadá.
- Burrough, P. (1989) *Principles of geographical information systems for land resources assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- López-Blanco, J. (1994) *Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS)*, Tesis de Doctorado en Geografía, FFyL, UNAM.
- Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (Eds. 1991) *Geographical information systems: principles and applications*, volume 1: Principles and volume 2: Applications, Longman, U.K.
- Smith, T., Peuquet, D., Menon, S. and Agarwall, P. (1986) *KBGIS-II: A knowledge-based geographic information system*, Department of Computer Science, University of California, Santa Barbara.
- Valenzuela, C.R. and M.J.C., Weir. (1989) *Introduction to geographic information systems*, ITC-Enschede, The Netherlands, circulación interna. ☐

