

El diseño conceptual de los sistemas de información geográfica (SIG) y el éxito de su puesta en marcha

RAFAEL CANDEAU DUFAT, SERGIO FRANCO MAASS Y VERONIQUE CESBRON*

The Conceptual Design of Geographic Information Systems (SIG) and the Success of their Implementation

Abstract. *This article is addressed to institutions and specialists who develop SIG projects and require some criteria which can serve as an adequate guide for determining the tasks and the phases that have to be carried out. In the article authors single out several contradictions which are present in these projects if they are not considered already in the phase of conceptual planning. Finally, a methodology which can guide the execution of SIG, considering the technological conditions existing in the development countries is presented.*

Introducción

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cada vez cobra mayor importancia. El número de sus usuarios y de instituciones que se adaptan a su estructura para desarrollar el manejo de la información geográfica aumenta a ritmo acelerado (Maguire *et al.*, 1991).

Para diseñar y poner en práctica un sistema de esta índole se han escrito algunos artículos y presentado varias metodologías en congresos y reuniones de carácter científico; prácticamente la mayoría de los libros sobre SIG reservan un capítulo a su organización (Clarke, 1992). Muchos de los cursos acerca de esta tecnología incluyen aspectos funcionales, conceptuales y metodológicos sobre su puesta en marcha (Franco y Candéau, 1993). Esto significa sintetizar todos los temas tratados en una experiencia globalizadora. Por supuesto, el interés en manifestar la importancia que tiene este aspecto en el desarrollo de cualquier proyecto de SIG, está más que justificado.

Sin el diseño conceptual de los SIG sería imposible prever los requerimientos de sus usuarios o satisfacer los objetivos y metas propuestas, empezando por las características que deberán tener los datos de entrada tomados en cuenta, tales como las escalas de representación cartográfica en que se encuentran, distribución espacial y dinámica temporal, el porcentaje de cobertura, el grado de actualización, los soportes analógicos o digitales, la naturaleza textual o gráfica, la estructura interna (*raster* o *vector*) y las fuentes y formas legales de adquisición, al igual que su clasificación temática de acuerdo con un determinado criterio de organización.

El diseño conceptual de los SIG es necesario para planificar en términos financieros y funcionales las plataformas de *hardware* y de sistemas operativos con los que se trabaja, la capacidad de almacenamiento requerida, la velocidad de procesamiento para gráficos, la compra de los periféricos de entrada y salida de información gráfica según las necesidades de resolución, dimensiones, formatos y calidad de impresión. Sin el diseño conceptual de los SIG, también sería difícil prever otras variantes de captura de la información, según los formatos y tipos en que se encuentra disponible o los tipos de interfaces o estilo de comunicación con los usuarios.

Los análisis y aplicaciones específicas que se necesitan desarrollar, los tipos de mapas y los métodos de representación cartográficos disponibles en el SIG, el número de ejemplares a obtener y la calidad de impresión son otros aspectos que



* Catedráticos del Taller de Cartografía Automatizada de la Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.

deben ser tomados en cuenta en la etapa de diseño para determinar la organización funcional y estructural, los requerimientos de personal, asesoría y capacitación, los gastos por infraestructura y apoyos especiales, así como el presupuesto total y por etapas.

Muchos de los proyectos de SIG que se proponen fracasan por carecer de un diseño conceptual apropiado. A pesar de que se está conformando toda una teoría sobre este aspecto de los SIG, aún se prioriza en problemas puramente tecnológicos relativos al *hardware* y al *software*, más que los geográficos y cartográficos, que en definitiva son los fundamentales y los que justifican ante todo el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza.

El objetivo del presente artículo es presentar una guía metodológica que aporte criterios de orientación para aquellas instituciones o especialistas que desarrollan proyectos de SIG. A pesar de que esta temática ya ha aparecido en otras publicaciones (Clarke, 1992), ha sido asumida para condiciones tecnológicas muy distintas a las que acontecen en los países en vías de desarrollo y, por tanto, sus resultados esperados difícilmente pueden ser similares a los que realmente se obtienen. Son varias las contradicciones presentes en el desarrollo de muchos SIG que, si no son tomados en cuenta en la etapa de diseño conceptual, influirán de manera decisiva en la poca optimización de su funcionamiento, por lo que también es importante discutirlos desde un punto de vista crítico y objetivo.

I. Contradicciones presentes en el desarrollo de los proyectos de SIG

Para una institución oficial dependiente del Estado, un centro de investigación o una agencia consultora de información geográfica que ha adoptado el esquema de trabajo de los SIG, esto le ha representado un verdadero proceso de transición tecnológica en el manejo de la información geográfica, con múltiples consecuencias académicas, económicas, sociales o políticas.

De todos es conocido que la tenencia de información y las posibilidades de su manejo en busca de respuestas estratégicas confieren un cierto poder. Con el establecimiento de la tecnología SIG cambia el flujo organizacional de la información dentro de la entidad, por ejemplo, acceder a las bases de datos y obtener información actualizada o incluirla dentro de un tipo de análisis y lograr

nueva información derivada es un simple trámite computacional para los usuarios y especialistas. Por lo tanto, existe una relativa pérdida de jerarquía, importancia y control para algunos departamentos, secciones y funcionarios. Los salarios de los técnicos encargados de la puesta en marcha del proyecto, a veces por el grado de especialización que necesitan tener, son mejores que el de los antiguos empleados y responsables. Algunos departamentos pueden desaparecer del todo, como los dibujantes cartógrafos tradicionales, mientras otros se deberán crear para ejecutar algunas de las funciones claves de los SIG, como la digitalización de la información soportada en mapas, lo que provoca despidos de personal y, a la vez, contratación de nuevos empleados, en el caso de que no se prevea la capacitación inmediata.

Como se puede observar, un cambio de tal naturaleza estresa a la entidad desde sus cimientos. Se pueden producir celos, rivalidades, querrelas jurídicas y otras tantas situaciones difíciles que influyen en la marcha del proyecto de SIG.

Muchas veces la implementación de un SIG en una institución es resultado, en primera instancia, de presiones externas que demandan nuevos servicios y de expectativas internas consistentes en más ganancias, pero éstas están previstas con un tiempo de desarrollo mínimo y a un costo relativamente bajo, lo cual implica que se deban realizar ajustes de los principios metodológicos ya establecidos a las condiciones reales de la institución que desea ofrecer el servicio. Por otro lado, si no se hace la transferencia tecnológica de manera organizada y planificada, puede darse el caso de que la producción de información ya comprometida no se pueda entregar debido a grandes demoras por falta de experiencia en la nueva forma de producción. Las consecuencias derivadas de esto son verdaderamente lamentables.

Si estas situaciones difíciles y complejas no fueran consideradas en una etapa de diseño, el proyecto nunca llegaría a materializarse y sus desventajas sobrepasarían cualquier resultado positivo.

Por otro lado, la modelación cartográfica es uno de los tantos elementos de análisis y quizá el más poderoso de los incluidos en los *software* de SIG disponibles actualmente en el mercado. El término modelación cartográfica ha sido acuñado por Tomlin (1990) para significar las funciones básicas de manipulación de la información geográfica almacenada en formato digital, en una secuencia lógica, con el propósito de resolver problemas

complejos de índole espacial. Sin embargo, las actuales aplicaciones de SIG no cuentan con opciones para simular procesos. Es raro encontrar la sustitución de la realidad geográfica tomada en consideración por una expresión matemática de índole determinística que describa o simule el comportamiento complejo de un fenómeno, así como tampoco diferentes variantes de respuestas ante condiciones cambiantes, es decir, no se ha incluido la posibilidad de expresar relaciones empíricas en términos matemáticos, probabilísticos o estocásticos. A pesar de que ya ha sido señalada esta situación (Grangre, 1989; T'ikunov, 1989 y Fedra, 1990), se ha mantenido como una tendencia sostenida a través del tiempo.

Por otro lado, consideramos que los SIG han utilizado como un medio automatizado para la obtención de los parámetros de un proceso de modelación determinado. Ellos tienen la posibilidad de generar modelos ajustados a la realidad, con la significativa ventaja que lo realizan desde una perspectiva espacial completa, pero a pesar de esta potencialidad no se han aprovechado lo suficiente en este sentido.

Los actuales paquetes de SIG se quedan limitados ante muchos problemas de modelación geográfica y esto implica la necesidad de programar, en la etapa de diseño, el desarrollo de aplicaciones muy específicas para alcanzar los propósitos particulares planteados.

Otra contradicción en el desarrollo de los SIG es observada al no posibilitar la generación de salidas complejas desde el punto de vista cartográfico.

Los mapas son modelos geográficos, pero en los paquetes de SIG no se observa la extensión de la denominada "modelación cartográfica" a la producción de mapas temáticos que reflejen, a través de los métodos de representación cartográficos, las relaciones dadas entre los componentes de la naturaleza, la sociedad, la economía y el medio ambiente. Es como si sólo interesaran las operaciones de carácter espacial que se pudieran realizar con los mapas en formato digital dentro del ambiente SIG para obtener información derivada, sin incluir la potencialidad de la imagen cartográfica como otra poderosa opción de análisis de información geográfica.

Para aquellos usuarios que requieren de la utilización de métodos de representación cartográficos más complejos que el fondo cualitativo, los cartogramas y los cartodiagramas simples o estructurados con una serie de datos necesitarán, en

la etapa de diseño, programar el desarrollo de aplicaciones que generen dicha simbología y garanticen la modelación cartográfica compleja.

A pesar de las sucesivas y reiterativas conceptualizaciones de los SIG, aún es frecuente observar proyectos aplicados única y exclusivamente a la reproducción de mapas por medios automatizados, es decir, utilizados sólo para la edición y mantenimiento de la información gráfica contenida en las cartas topográficas y temáticas, sin aprovechar las otras opciones de análisis territorial presentes en estos paquetes. Es decir, se hace un gasto significativamente alto con la puesta en marcha de un proyecto de SIG para resolver un problema que podía hacerse por medios menos complejos y costosos. Esto es una consecuencia directa de un diseño conceptual deficiente en la etapa inicial. No todos los trabajos de automatización del manejo de la información requieren de un SIG; esto depende de la envergadura y complejidad del problema a resolver desde el punto de vista geográfico y cartográfico, así como de la necesidad de utilizar las opciones de análisis espacial presentes en el *software*, lo cual debe quedar explícitamente establecido al concluir la etapa de diseño conceptual.

Sin lugar a dudas, la mayor deficiencia en el diseño de los SIG tiene su base en la falta de conceptualización de la propia institución promotora, pues casi nunca se advierte ni se toma en cuenta su condición de sistema, en el cual todos sus componentes (subdirecciones, departamentos, áreas y secciones) interactúan para alcanzar un objetivo previamente definido. Cada una de estas partes debe trabajar para crear o satisfacer las exigencias previstas en las metas ya establecidas a través del sistema de información, lo cual significa que éste es el lazo unificador. Un proyecto de SIG en una institución encargada de generar información geográfica deberá partir, ante todo, de esta premisa fundamental.

II. ¿Cómo diseñar un SIG?

Existen dos posiciones claramente definidas en el diseño de los SIG. Para algunos es sólo la planeación de una aplicación en búsqueda de la solución a un problema en específico. Pero realmente ésta es una visión limitada de lo que realmente significa organizar un proyecto de esta naturaleza, desde el punto de vista metodológico y conceptual. Lo anterior es común encontrarlo en instituciones de

índole académica, donde lo importante es resolver un problema o un grupo de problemas ligados a las investigaciones fisicogeográficas, socioeconómicas o medioambientales. En este caso, los SIG son utilizados fundamentalmente como herramientas del proceso cognoscitivo, y la responsabilidad de los desarrolladores está centrada en llegar a conclusiones o resultados sobre la temática bajo estudio, más que en brindar un servicio de consulta o manejo de información geográfica a un gran número de usuarios.

Por otro lado, tenemos la implementación de los SIG en aquellas dependencias encargadas de brindar el servicio de información geográfica o cartográfica. En este caso, el diseño conceptual consiste en la planeación de un sistema que sustituya o complete al ya existente o, tal vez, en la formulación de uno nuevo (en caso de no existir) que garantice de manera óptima el servicio a sus usuarios.

El desarrollo de cualquier SIG debe tener dos grandes etapas: *análisis* y *diseño* de sistema.

Antes de proceder en cualquier acción hay que entender por completo el funcionamiento del sistema presente o el que se pretende desarrollar y entender, además, de qué manera se puede optimizar su organización. El denominado análisis del sistema es el proceso que sirve para diagnosticar los problemas y potenciar el sistema actual hacia uno más eficiente. Esto es lo que está definido como análisis de sistema en la teoría de los sistemas de información (Senn, 1989) y comprende la interpretación exhaustiva del flujo de información geográfica actual por la que atraviesa el sistema y su evaluación, es decir, la clarificación de los requerimientos de información de entrada o salida (sobre todo cartográfica) y de los procesos intermedios, así como el estudio de factibilidad, con el cual se evalúa la mejor manera de implementarlo.

Sin el propósito de ser exhaustivos, señalamos como los pasos más importantes a considerar en la planeación e implementación de un SIG, a los siguientes:

1. Estudio del actual sistema de información en la institución promotora

En esta etapa se incluye el análisis de requerimientos geográficos y cartográficos, es decir, la determinación, con el mayor grado de detalle posible, de las nuevas necesidades de análisis geográfico y de elaboración de mapas temáticos que justifican el diseño de un nuevo sistema.

El punto clave del análisis del sistema es conocer a detalle las actividades y procesos actuales o futuros que se pretenden desarrollar en la institución: los tipos de consultas, análisis territorial o mapa temático que necesitarán. Las preguntas claves a contestar serían qué se está haciendo, cómo se está realizando, con qué frecuencia y con qué cantidad de operaciones se obtiene, qué tan buenos son los resultados, y si existieran problemas, cuáles serían sus causas.

También se incluye el estudio de factibilidad técnica, económica y operativa, para determinar si el nuevo proyecto se podrá realizar con los equipos, *software* y personal con que se cuenta en la actualidad, o se requiere de una nueva infraestructura operativa cuyos beneficios justifiquen los costos. En esta etapa se aprobará o no el desarrollo de un SIG.

2. Especificación de requerimientos para el nuevo sistema propuesto

En este caso se determinarán cuáles serán los nuevos datos a incluir, qué nueva información se deberá producir, qué nuevos procedimientos de manejo geográfico se realizarán, tales como: cálculos de indicadores hidrológicos, climáticos o socioeconómicos. También se decidirán los tiempos de respuesta y los métodos de entrada y salida de la información tomada en consideración.

Esto implica un proceso de intenso intercambio de ideas entre los usuarios potenciales del sistema, para unificar criterios con relación a las estructuras y funciones esperadas.

La ejecución de un SIG requerirá, en esta etapa, del desarrollo de un intenso proceso de capacitación que irá partiendo de lo general a lo particular de esta tecnología, y la realización de mesas de trabajo para la clara definición de las características del sistema y del nivel de participación e interrelación de los usuarios potenciales involucrados.

Una vez definidas las características generales del sistema, se deberá profundizar en el análisis de los requerimientos específicos para cada uno de los futuros usuarios. El análisis detallado de cada proceso establecido permitirá precisar en forma conjunta con los responsables:

a) Objetivos y necesidades a satisfacer con el sistema.

b) Descripción y evaluación de los datos existentes.

La descripción de los datos geográficos deberá incluir la realización de un inventario completo de los datos disponibles, su identificación y jerarqui-

zación mediante las operaciones de organización, la priorización en la frecuencia de uso que permita la correcta definición de las llaves de acceso a la base de datos y las formas de colecta y captura de la información geográfica.

Las fuentes de los datos deberán ser evaluadas con base en parámetros bien definidos, como: procedencia; formatos; cobertura territorial y temática; calidad estimada en cuanto a precisión, exactitud y grado de generalización; relevancia de los datos; y, expectativas de actualización en los plazos requeridos.

Como resultado de dicho estudio se deberá obtener un reporte que contenga la descripción detallada de la información disponible con estas características.

c) Definición de los requerimientos actuales y potenciales de información topográfica y temática.

Para determinar los requerimientos de información del SIG se solicitará a cada uno de los usuarios potenciales del sistema que elabore un listado de la información requerida para las aplicaciones y funciones que utilizarán. Dichas listas serán analizadas y confrontadas entre sí para determinar problemas de información redundante o deficiente y para obtener una clasificación jerárquica definitiva de los atributos.

El SIG permitirá el almacenado centralizado de información geográfica de la región tomada en consideración. Esto repercutirá en la reducción de información redundante y aumentará considerablemente las potencialidades de acceso y de capacidad de actualización.

La información que contendrá la base de datos dependerá del nivel de detalle que se pretenda capturar y esto estará en función de las metas trazadas y de la disponibilidad de información. Es posible prever la necesidad de incluir en el sistema las bases cartográficas en varias escalas y la información censal u otros datos estadísticos en formato digital generados por dependencias federales y estatales, así como por la propia gestión del SIG. Esto impondrá problemas en el mantenimiento de la calidad de la base de datos que puede presentar fallas de consistencias, redundancias de información, deficiencias en el cubrimiento, entre otros aspectos.

d) Definición de los modelos de análisis geográfico involucrados en cada proceso, así como de las interrelaciones de otros modelos relacionados con procesos diferentes.

De esto depende la estandarización de las diver-

sas funciones del SIG. Esta es una etapa crítica que implica un intenso proceso de intercambio con los usuarios de tal manera que se incluyan todas las alternativas de análisis requeridas.

e) Determinación de los tipos de mapas temáticos a crear, de acuerdo con el tipo de generalización y los métodos de representación cartográficos disponibles, el número de ejemplares a obtener y la calidad de impresión.

f) Definición de los requerimientos de *software* y *hardware*.

g) Definición de las características organizacionales y de administración del sistema.

3. Desarrollo de un sistema prototipo

Es necesario crear sistemas prototipo para evaluar futuros problemas, puesto que no siempre se pueden conocer por anticipado. En este sentido se evalúan situaciones de alto costo y de riesgo financiero, en sistemas o en partes de ellos. Para ello se selecciona un pequeño grupo de trabajo, se hace una compra limitada del equipo de cómputo y se ejecutan diferentes tareas para probar su efectividad. Es conveniente también ofrecer demostraciones a los usuarios potenciales.

Los resultados del análisis del prototipo irán enriqueciendo al diseño, pues se probarán los criterios y metodologías escogidas para el modelo de la base de datos como de las características funcionales en general.

Dicho estudio piloto debe "... entenderse como un marco de tiempo y espacio geográfico definido como muestra donde, de manera interactiva, se refina el modelo y se detalla la facilidad de uso y la eficiencia transaccional de las aplicaciones y del sistema en general" (Guevara, 1993).

Este estudio piloto o sistema prototipo permitirá no sólo determinar la eficiencia en el manejo de la base de datos, sino probar todas las aplicaciones de manejo, análisis y generación de salidas cartográficas diseñadas. Cada aplicación deberá responder en forma unívoca y eficiente a la resolución de los problemas específicos de los usuarios.

4. Diseño del SIG

El diseño del SIG muestra la manera de funcionamiento para poder satisfacer los requerimientos identificados durante el Análisis de Sistema. La lógica indica comenzar por las salidas que el sistema producirá y sus características y de ahí partir hacia atrás, describiendo las especificaciones estructurales y funcionales, las entradas y salidas de

los módulos o subsistemas y los diferentes procedimientos que posibiliten el trabajo, así como las fechas por etapas y sus costos y los responsables de cada tarea a desarrollar.

a) Modelo de la base de datos

El diseño de la base de datos implica la creación de la representación operacional del sistema por medio del diseño físico, el establecimiento de diccionarios, así como la captura, conversión y manipulación de los datos geográficos. La base de datos será diseñada considerando:

- Los requerimientos de datos de las consultas, los análisis geográficos o los tipos de mapas propuestos por los usuarios
- La flexibilidad y rapidez de las operaciones de actualización, edición y búsquedas o recuperación
- La optimización en la organización de los datos a partir del establecimiento de relaciones entre los atributos y entre éstos y la parte gráfica.

La estructura de la base de datos del SIG deberá ser flexible de tal manera que satisfaga las demandas de múltiples usuarios involucrados en diferentes tareas y que permita la futura inclusión de nuevos usuarios con sus respectivos problemas de consulta o análisis. La tecnología SIG "... implica el procesado e interrelación de gran cantidad de datos de muy diversa índole y por tanto representa un importante esfuerzo de trabajo. La base de datos deberá cumplir con las siguientes premisas:

- Asegurar la efectividad del sistema
- Lograr la economía y eficiencia en el manejo de la información
- Proteger la integridad de los datos
- Salvaguardar la seguridad de las fuentes de información
- Cumplir con las leyes y reglamentos relacionados con el manejo de la información geográfica" (Guptill, 1988).

La precisión de los datos a ingresar en un SIG es un aspecto que deberá ser evaluado detenidamente porque "... si la información excede la precisión requerida, esto no implicará beneficios significativos para el usuario pero sí un importante aumento en los costos de adquisición y manejo. Si la precisión es muy baja, esto limita el desarrollo de futuras aplicaciones" (Hanson, 1988).

Si se considera que la base de datos es un com-

ponente esencial de todo SIG, es de especial importancia prevenir que los datos en ella almacenados presenten errores que puedan repercutir en la calidad de los resultados obtenidos.

b) Diseño definitivo de las aplicaciones de análisis o de salidas cartográficas a partir de los modelos previamente definidos

El desarrollo de las aplicaciones implica la definición de los procedimientos específicos, mismos que deberán ajustarse a las necesidades particulares y que no están incluidos en las paqueterías comerciales. Este desarrollo deberá considerar:

- Las especificaciones requeridas por cada usuario
- Los detalles de la automatización
- El diseño y prueba de prototipos
- La instalación y entrenamiento de los usuarios.

c) Especificaciones de *software* y *hardware*

Debido al importante crecimiento del mercado mundial de tecnologías de SIG, es cada vez más importante seleccionar el *software* en función de criterios tales como:

- Funcionalidad multiusuario
- Transparencia entre la base de datos gráfica y la de atributos
- Trabajo a diferentes escalas de representación integradas geográficamente de forma coherente
- Entrega de los productos de acuerdo con los estándares predefinidos por los usuarios
- Posibilidad de integración de diferentes tecnologías (geoprocesamiento) y de aplicaciones para consultas, análisis o creación de salidas cartográficas específicas
- Estar soportados en *hardware* estándar que permitan la comunicación con otros SIG ya creados. También garantizar la utilización de los equipos ya existentes y los *software* y aplicaciones en uso
- Crecimiento flexible de acuerdo con la dinámica de los requerimientos de los usuarios y la existencia de un presupuesto adecuado
- Garantía del soporte técnico por parte del proveedor.

Además, para conocer la funcionalidad de cualquier *software* de SIG se deberá evaluar la manera en que administra la información, los trabajos con multiusuarios en red, la protección y accesos, las validaciones, los formatos de almacenamiento, la

captura de los datos geográficos desde diferentes fuentes, la transformación de coordenadas, variantes de búsquedas y consultas espaciales, tipos de análisis territorial, opciones de procesamiento de imágenes y de la producción de mapas bases y temáticos según los criterios de la modelación cartográfica compleja, entre otros.

d) Plan de ejecución

El desarrollo de un proyecto de SIG requiere tanto de la adecuada interacción y coordinación con diversos especialistas como de la inclusión de importantes avances tecnológicos y, por tanto, debe basarse necesariamente en el establecimiento de un plan de ejecución.

Este plan constituye la base estructural, administrativa y operativa, sobre la que se sustentan e interconectan los diversos procesos técnicos involucrados, por lo que tiene como función fundamental el garantizar la continuidad de los trabajos ya establecidos y su inclusión dentro de un proceso automatizado de alta tecnología.

Esta etapa debe considerar los siguientes aspectos:

- Establecimiento de las etapas
- Descripción de las tareas específicas involucradas en cada etapa
- Programación y presupuestación detallada
- Control de calidad (Hanson, 1988).

La programación y presupuestación se hará con base en la calendarización de actividades, los requerimientos de presupuesto y la secuencia de trabajo. Esto implica una serie de acciones complejas, como:

- Descripción y clasificación de las tareas por realizar
- Estimación de tiempo y costo por cada tarea
- Definición del diagrama de flujo
- Determinación de requerimientos de insumos, equipo y personal
- Análisis de las formas de optimización del programa de trabajo.

Las tareas de revisión y control de calidad deben considerarse como un aspecto fundamental para garantizar el éxito del proyecto. Estos controles se derivan de los procesos periódicos de revisión y en ellos participan tanto el personal encargado de la administración como los especialistas adscritos al proyecto de SIG.

Dado el alto nivel científico y la complejidad de las investigaciones involucradas, se hace necesario

considerar un proceso continuo de interrelación entre administradores y usuarios. Esto incluye:

- Diseño y calendarización de cursos de capacitación
- Programación y seguimiento de reuniones de trabajo
- Establecimiento del programa de consultorías.

Una vez establecidos y probados el modelo conceptual, el *hardware* y el *software*, se procederá a la instalación y puesta en operación del SIG. En esta etapa se realizará el cargado total de la base de datos y de los archivos gráficos necesarios para el análisis espacial.

La conversión de los datos será una de las tareas prioritarias en la instalación definitiva del SIG y "... requiere de habilidades especializadas para la adecuada digitalización de los datos cartográficos" (Guptill, 1988).

La digitalización de la información cartográfica se realizará fundamentalmente mediante procesos manuales vectoriales. A pesar de las conocidas ventajas del manejo de la información espacial en formato *raster*, la digitalización por *scanner* no se considera como la mejor alternativa para la carga de las bases cartográficas de un SIG. Esto se debe muchas veces a faltas de originales cartográficos adecuados, costosos equipos y la necesidad de prolongados trabajos de posproceso para la corrección interactiva de errores.

Debido a la gran cantidad de bases cartográficas por digitalizar, muchos proyectos de SIG consideran que se requiere establecer un Plan de Digitalización que permita el control de calidad y la consecuente validación de la información capturada. Dicho plan incluirá el instructivo de operación, la descripción de los procesos y su secuencia de aplicación, y la pormenorización de los estándares de conversión de la información geográfica.

El proceso de conversión requiere que cada uno de los subsistemas de la carta topográfica sea digitalizado en coberturas predefinidas y, en una segunda etapa, se integre la información adicional proveniente de otras fuentes cartográficas de carácter temático.

Una vez instalado el sistema se procederá a la elaboración de los manuales de operación y a la capacitación de los usuarios.

A veces se puede dejar trabajando en forma paralela al viejo sistema junto con el nuevo, así se podrán comparar resultados y desempeños.

III. Prueba del sistema

Esta etapa permitirá controlar la calidad del sistema totalmente cargado. A pesar de que la prueba piloto está diseñada para detectar y corregir inconsistencias y fallos del sistema, será necesaria una evaluación ulterior que determine:

a) Posibles fallos de funcionamiento e inconsistencias.

b) Capacidad del sistema para responder a requerimientos de desarrollo de aplicaciones adicionales.

c) Capacidad del sistema para responder a los requerimientos de toma de decisiones críticas en tiempos reales de operación.

En la medida en que la implementación del SIG llegue a niveles operativos, es importante centrar la atención en la calidad tanto de los datos como en la capacidad para la obtención de resultados. "Aunque la calidad de la información que ingresa al sistema haya sido controlada durante las etapas de diseño e implementación, es importante considerar que un SIG es mucho más que un juguete de alta tecnología y su calidad depende del adecuado funcionamiento de todos sus módulos" (Dennis, 1988).

IV. Evaluación y mantenimiento

Una vez implementado y puesto en operación el sistema será necesario desarrollar toda una serie de acciones encaminadas a su evaluación y mantenimiento:

1. Control de avances

Permitirá controlar los procesos de implementación del programa y generar reportes que conduzcan a la evaluación del cumplimiento de los objetivos planteados.

2. Replaneación y reprogramación

Permitirá establecer las acciones correctivas pertinentes para el ajuste de los trabajos al cumplimiento de las metas planteadas. La reprogramación permitirá plantear nuevos objetivos y, con base en ellos, proponer nuevas alternativas de desarrollo del sistema.

Para concluir queremos reiterar que el éxito de la tecnología SIG es un hecho evidente a la luz de los actuales problemas ambientales, a pesar de las numerosas contradicciones presentes en su aplicación y desarrollo. En este texto se presenta

una metodología del diseño de SIG, propuesta en un sentido abierto y factible de ser adecuada a las situaciones específicas de las instituciones promotoras. ♦

BIBLIOGRAFÍA

- Clarke, A. (1992). "GIS Application evaluation and implementation", en *Longman Scientific Technical*. U.K. Ltd., England.
- Dennis, H. (1988). "User expectations for selecting a micro-computer-based municipal automated mapping/land informations system AM/LIS. GIS/LIS'88, proceedings accessing the world", en *Third Annual International Conference, exhibits and workshops*, Vol. 1. AAG, San Antonio, Texas.
- Fedra, K. (1990). "GIS and environmental modeling", en *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University.
- Franco, S. y Candeau, R. (1993). *Programa de Restructuración de la Especialidad en Cartografía Automatizada*. Facultad de Geografía, UAEM, Toluca.
- Grange, K. (1989). "Process modeling and GIS", en *Breathing life into spatial analysis*. Proceedings of eight biennial conference. Canberra ACT. Australian National University, Australia.
- Guevara, J. (1993). *Apuntes del Primer Taller Latinoamericano sobre SIG*. INEGI, México.
- Guptill, S. (1988). "A process for evaluation GIS. GIS/LIS'88, proceedings accessing the world", en *Third Annual International Conference, exhibits and workshops*, Vol. 1. AAG, San Antonio, Texas.
- Hanson, O. (1988). "Conversion of municipally records for a GIS. Considerations and Technics. GIS/LIS'88, proceedings accessing the world", en *Third Annual International Conference, exhibits and workshops*, Vol. 1. AAG, San Antonio, Texas.
- Maguire, D.; Goodchild, M. y Rhind, D. (1991). "GIS", en *Principles*, Vol. 1. Longman Scientific Technical. U.K. Ltd., England.
- Tikunov, U. (1989). "Modern research tools on the society natural environmental systems in Soviet geography", en *Journal of Environmental System*. Vol. 19, Núm. 1.
- Tomlin, C. (1990). *Geographical Information System and Cartography Modelling*. Englewood Cliff. Prentice Hall Publisher.
- Senn, J. (1989). *Análisis y diseño de sistemas de información*. McGraw-Hill/Interamericana de México, México.