

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS NATURALES: RECOMENDACIONES DE LAS EXPERIENCIAS DEL INIFAP

Moreno Sánchez Rafael*
Moreno Sánchez Francisco**

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo presentar los conceptos básicos sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las recomendaciones que se pueden derivar de algunas de las experiencias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) con estos sistemas. Se indican las precauciones principales que se deben de tener en la selección y establecimiento de un SIG. Finalmente, se enumeran algunas perspectivas para el futuro de estos sistemas en México.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica.

ABSTRACT

The purpose of this article is to present the basic concepts of Geographic Information Systems (GIS), and the recommendations derived from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), experiences with these systems. The main precautions that must be taken in the selection and establishment of these

* Ph.D., ex-Investigador del Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Coyoacán, D.F., INIFAP, SAGAR.

** Ingeniero, Investigador del Centro de Investigación de la Región Centro, Toluca, México, INIFAP, SAGAR.

systems are presented. Finally, perspectives for the future of these systems in Mexico are outlined.

Key words: Geographic Information Systems.

INTRODUCCIÓN

En las dos décadas pasadas y actualmente en nuestro país, ha surgido una mayor necesidad de identificar y considerar varios factores en el espacio y el tiempo en forma simultánea, para el análisis y solución de problemas en la administración de los recursos naturales. La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ofrece un importante medio crítico para entender y enfrentar algunos de los problemas más apremiantes de nuestros tiempos: la deforestación de áreas tropicales, el futuro del clima mundial, la necesidad de desarrollo con conciencia ecológica de los recursos naturales, el efecto de la contaminación atmosférica y la rápida urbanización, sólo por mencionar algunos (Dangermond, 1989)¹.

La tecnología de los SIG tuvo su inicio en la década de los sesentas. Durante la siguiente década sus aplicaciones se diversificaron y se avanzó significativamente en su tecnología, hasta alcanzar ambas su madurez en la década de los ochentas. En la década actual ya no se cuestiona el uso de los SIG, sino como pueden ser empleados de la manera más eficiente (Frank *et al.*, 1991)².

Desde mediados del año de 1991, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), ha realizado investigaciones a nivel nacional con la aplicación y uso de los SIG. Los Estudios de Potencial Productivo de Especies Vegetales y posteriormente el proyecto de investigación 618, denominado Enriquecimiento y Uso de la Base de Datos Geográfica del INIFAP, que se desarrolla actualmente en el Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), han generado resultados para apoyar la toma de decisiones en la planeación del uso del suelo. Actualmente dentro del INIFAP, se realizan diversos esfuerzos a nivel regional, lo que refleja la propagación del uso de esta tecnología dentro del Instituto.

¹ Dangermond, J. 1989. Foreword for the book: *Geographic information systems: A management perspective by Stan Aronoff*.

² Frank, A.U.; M.J. Egenhofer and W. Khun. 1991. A perspective on GIS technology in the nineties. 57(11):1431-1436.

El objetivo de este artículo es presentar los conceptos básicos de los SIG y como han sido usados dentro del INIFAP. Derivadas de estas experiencias, señalar algunas de las precauciones que se deben de tomar al seleccionar y establecer un SIG y finalmente, mencionar algunas perspectivas para el uso de estos sistemas en el futuro.

¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?

La función de los sistemas de información es mejorar la habilidad de las personas para tomar decisiones. Un sistema de información, integra la serie de operaciones que van desde planear la observación y colección de datos, el almacenamiento y análisis de los mismos, hasta el uso de la información derivada en algún proceso de desición (Calkins y Tomlinson, 1977)³.

Un SIG, es un sistema de información que está diseñado para trabajar con datos que están referenciados a coordenadas espaciales o geográficas (Star y Estes, 1989)⁴. En otras palabras, un SIG es un sistema con capacidades específicas para realizar operaciones de captura, almacenaje, manejo, análisis y presentación de datos espacialmente referenciados.

Los SIG, son una revolución en la estructura, contenido y uso de la cartografía. Los puntos, líneas y áreas de los mapas elaborados sobre papel, están representados por números, en el caso de un SIG, estos números representan coordenadas y atributos de los objetos. Dada esta nueva estructura, es posible dar un manejo a los mapas que no es factible cuando se encuentran en papel, por ejemplo: hacer operaciones matemáticas y algebraicas con mapas (Berry, 1988)⁵.

También los SIG son una herramienta para crear y actualizar mapas, se puede efectuar esta operación con gran facilidad y velocidad. Para su actualización, basta con cambiar la información en la base de datos del SIG e imprimirlos en un graficador. Estos y otros procesos de actualización que podían tomar días y meses se pueden llevar a cabo en minutos. En un SIG se pueden crear nuevos mapas con partes o combinaciones de los mapas e información contenida en la base de datos (Berry, 1989a)⁶.

Los SIG aportan tecnología para combinar e interpretar mapas. Se pueden combinar

³ Calkins, H.W. and R.F. Tomlinson. 1977. Geographic Information Systems: Methods and Equipment for land use planning.

⁴ Star J. and J. Estes. 1989. Geographic Information Systems: An introduction.

⁵ Berry, J. K. 1988. Maps as data: computer-assisted map analysis.

⁶ Berry, J. K. 1989a. Introduction to GIS technology: A short course for resource managers.

y/o sobreponer mapas o parte de ellos con gran facilidad y velocidad. La información contenida en la base de datos y el conjunto de funciones analíticas del SIG, permiten realizar nuevas y creativas interpretaciones de la información contenida en los mapas y la base de datos (Berry, 1989b)⁷.

Funciones de un SIG

Actualmente, existen alrededor de 177 diferentes paquetes de cómputo relacionados con los SIG en el mercado a nivel mundial, lo que nos habla de una amplia variedad de productos con este tipo de sistemas (GIS World Inc., 1991)⁸. Las especificaciones y capacidades de cada programa varían sustancialmente, además, el desarrollo de las técnicas de los SIG, provee una gama siempre creciente de funciones de análisis, por ésta razón es difícil hacer una enumeración exhaustiva de todas las funciones existentes; sin embargo, se pueden mencionar grandes divisiones dentro de las cuales se agrupan las funciones de los SIG. Dangermond (1983)⁹, propuso una clasificación y presentó ejemplos gráficos claros de cada una de éstas funciones.

Aronoff (1989)¹⁰, presentó una de las mejores clasificaciones de las funciones de un SIG. Dividió las funciones en cuatro grandes rubros: 1) mantenimiento y análisis de datos espaciales; 2) mantenimiento y análisis de atributos (datos no espaciales), 3) análisis integrado de datos espaciales y atributos, y, 4) formato de productos.

Las funciones de un SIG pueden dar respuesta a preguntas como las siguientes, (Burrough, 1986)¹¹.

- a) ¿Dónde está el objeto A (punto, línea, área)?
- b) ¿Qué características tiene A?
- c) ¿Cuánto existe de A (área, distancia, conteo)?
- d) ¿Dónde está A en relación a un lugar M?
- e) ¿Cuántas ocurrencias de A existen dentro de una distancia X del lugar M?

⁷ Berry, J.K. 1989b. Notas de clase para el curso: "Introducción a los Sistemas de Información Geográfica".

⁸ GIS World Inc. 1991. 1991-1992 International GIS sourcebook.

⁹ Dangermond, J. 1983. A classification of software components commonly used in geographic information systems. pp 70-91.

¹⁰ Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: A management perspective.

¹¹ Burrough, P.A. 1986. Principles of geographic information systems for land resources assessment.

- f) ¿Cuál es el valor de la función $Z [Z=f(A)]$ en el lugar M?
- g) ¿Cuál es el resultado de intersectar varios tipos de datos referenciados espacialmente?
- h) ¿Cuál es la ruta de menor costo, resistencia o distancia entre los lugares M y N?
- i) ¿Qué se encuentra en el lugar M?
- j) ¿Qué objetos se encuentran junto o cercanos a objetos que reúnen ciertas características?
- k) Reclassificar objetos con ciertas características.
- l) Usar la base de datos en el SIG como un modelo de la realidad para simular los efectos del proceso P actuando durante un tiempo T dado un escenario S.

Las respuestas a estas preguntas proporcionan elementos poderosos para la toma de decisiones en la conservación, manejo y fomento de los recursos naturales.

Aplicaciones de los SIG en la Administración de Recursos Naturales

Los SIG han tenido una amplia variedad de aplicaciones en el área de los recursos naturales, entre otras se pueden citar:

- a) **Manejo de recursos naturales:** análisis de procesos de deforestación (Hutachareon, 1988)¹², cambio de uso del suelo (Howard y Barr, 1991)¹³, planeación (Moeller, 1991)¹⁴.
- b) **Inventario de recursos:** inventario forestal (Murphy, 1990)¹⁵, inventario de recursos múltiples (Hegyi y Walker, 1991)¹⁶, inventarios regionales (Hegyi, 1990)¹⁷,

¹² Hutachareon, M. 1988. Application of Geographic Information Systems technology to the analysis of deforestation and associated environmental hazards in northern Thailand. pp 509-518.

¹³ Howard, D. C. and C. J. Barr. 1991. Sampling the countryside of Great Britain: GIS for the detection and prediction of rural change. pp 217-222.

¹⁴ Moeller, J. 1991. Natural resources planning at the Bureau of Land Management. GIS World 4(3): 117-121

¹⁵ Murphy, D. L. 1990. Implementing GIS technology in a forest inventory system. pp 305-306.

¹⁶ Hegyi, F. and P. Walker. 1991. Multi-resource inventories with air- and space-borne digital remote sensing, GIS and video imaging; Tomorrow's vision, a reality today. pp 315-318.

y evaluación de recursos (Tosta y Davis, 1986)¹⁸.

- c) **Manejo de fauna silvestre:** manejo de habitat de fauna silvestre (Scepan *et al.*, 1987¹⁹; Gagliuso, 1990²⁰; Holt, 1990²¹; Eng *et al.*, 1990²²; Munroe y Decker, 1991²³; Stutheit, 1991²⁴).
- d) **Protección:** incendios forestales (Wells y McKinsey, 1990²⁵; Harrison, 1990²⁶; Wertz, 1991²⁷), control y combate de plagas y enfermedades (Jordan y Vietinghoff, 1987²⁸; Van Sickle, 1989²⁹), y estudios de impacto ambiental (Gros *et al.*, 1988³⁰; Moreno, 1991³¹).
- e) **Aprovechamientos forestales:** Bobbe (1987)³², Dippon y Cadwell (1991)³³, Jordan y Baskent (1991)³⁴ y Dippon *et al.* (1989)³⁵.
- f) **Sistemas computacionales de manejo integrado:** Riekema (1991)³⁶, McDonald y

¹⁷ Hegyi, F. 1990. The role of GIS in provincial inventories, pp 307-310.

¹⁸ Tosta, N. and L. Davis. 1986. Utilizing a Geographic Information System for statewide resource assessment: The California case. pp 147-154.

¹⁹ Scepan, J.; F. Davis and L. L. Blum. 1987. A Geographic Information System for managing California Condor habitat. pp 476-486.

²⁰ Gagliuso, R. A. 1990. Remote sensing and GIS technologies: An example of integration in the analysis of cougar habitat utilization in southwest Oregon. pp 323-330.

²¹ Holt, S. 1990. Human encroachment on bear habitat. pp 319-322.

²² Eng, M. A.; R. S. McNay and R. E. Page. 1990. Integrated management of forestry and wildlife habitat with the aid of GIS-based habitat assessment and planning tool. pp 331-336.

²³ Munroe, L. S. and E. Decker. 1991. GIS use by wildlife resource agencies surveyed. GIS World 4(3):60-69.

²⁴ Stutheit, J. 1991. Database tracks California's endangered species. GIS World 4(3): 38-47.

²⁵ Wells, L. M. and D. E. McKinsey. 1990. Using geographic information systems for prescribed fire management at Cuyamaca Rancho State Park, California. pp 337-342.

²⁶ Harrison, S. S. 1990. Post-fire recovery of riparian resources on the Idaho Batholith: A geographic information system analysis. pp 343-348.

²⁷ Wertz, W. 1991. Dynamic fire simulation for training and prediction. GIS World 4(3):78-85.

²⁸ Jordan, G. and L. Vietinghoff. 1987. Fighting budworm with a GIS. pp 492-499.

²⁹ Van Sickle, G. A. 1989. GIS-A tool in forest pest management. pp 349-354.

³⁰ Gros, S.L.; T.H.L. Williams and G. Thompson. 1988. Environmental impact modelling of oil and gas wells using GIS. pp. 216-225.

³¹ Moreno D., D. 1991. GIS supports SWIP environmental decisions. GIS World 4(1): 28-33.

³² Bobbe, T.J. 1987. An application of Geographic Information Systems to the timber sale planning process on the Tongass National Forest - Ketchikan Area. pp 554-562.

³³ Dippon, D. and C. Cadwell. 1991. Resource management planning- Linking a land information system to a harvest scheduling model. pp 355-364.

³⁴ Jordan, G. A. and E. Z. Baskent. 1991. GISFORMAN: A next generation wood supply model. pp 365-372.

³⁵ Dippon, D.; R. Wright and R. Metzger. 1989. Defining the operational forest inventory for harvest planning with Geographic Information System. pp 373-380.

³⁶ Riekema, J. K. 1991. The CAMAS project: Building a computer-assisted management and analysis system for natural resource managers. pp 241-244.

Smith (1991)³⁷, Leggat y Buckley (1991)³⁸.

Aplicaciones de los SIG en el INIFAP

A principio de 1992, el Gobierno Federal de México anunció los cambios constitucionales más drásticos desde la revolución de 1910, entre los que destacan, las modificaciones que se hicieron al artículo 27 Constitucional sobre legislación agraria y en los esquemas para la producción en el sector rural.

Desde mediados de 1991, la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), encomendó al INIFAP, la creación de una herramienta que de manera rápida y eficiente, permitiera identificar a nivel nacional las áreas con el potencial físico-climático natural para el desarrollo de especies vegetales, consideradas estratégicas en cada estado de la República. Con este fin, el INIFAP procedió a formar un equipo interdisciplinario en las Divisiones Agrícola, Forestal y en menor medida en la Pecuaria.”

Durante el período de agosto 1991 a septiembre 1992, las propuestas del INIFAP para llevar a cabo este trabajo estuvieron en revisión. Para septiembre de 1992, la SARH aprobó el proyecto después de evaluar una prueba piloto realizada en el estado de Puebla. Se requirió que la misma metodología, que sería conocida posteriormente como los Estudios de Potencial Productivo de Especies Vegetales, fuera aplicada y los resultados se generaran para algunas especies vegetales de cada estado de la República, con la expectativa de concluir estos trabajos para el mes de diciembre de 1992, lo cual no fue posible. Sin embargo, para marzo de 1993, se cumplió con este requerimiento, se elaboraron análisis de 10 a 15 especies vegetales consideradas estratégicas en cada entidad de la República.

Debido a las severas restricciones de tiempo y presupuesto, la metodología se simplificó en extremo. Esta consistió en combinar información de clima, suelo y topografía para identificar las áreas antes mencionadas. Se realizaron procesos de selección de las condiciones físico-climáticas consideradas ideales para el desarrollo de

³⁷ McDonald, W. S. and S. M. Smith. 1991. An integrated national land resource coverage: New Zealand experiences. pp 245-250.

³⁸ Leggat, K and D. Buckley. 1991. Implementing GIS into Alberta's integrated resource planning program. pp 251-258.

Los Drs. Ramón Martínez Parra y Rodrigo Avendaño Salazar fueron coordinadores generales del proyecto. Los Drs. John Corbett (CIMMYT), Marcial Ortíz y Rafael Moreno Sánchez fueron coordinadores nacionales en el desarrollo del trabajo. Un numeroso grupo de investigadores del INIFAP participó en la digitalización y combinación de las capas de información, entre ellos los autores del artículo.

la especie vegetal de interés. Esta información se reclasificó con valores de cero para las áreas que no reunían las características y de 1, para las que sí lo hacían. Estos mapas *booleanos* se sobrepusieron para identificar las áreas que reunían todas las características ideales en forma simultánea.

Es importante mencionar, que para poder llevar a cabo esta metodología, hubo necesidad de crear la cartografía digital de las tres capas de información utilizadas (suelo, clima y topografía). En la fecha de realización de los estudios no existía este tipo de cartografía excepto por el Modelo de Elevación Digital del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Para una explicación detallada de la creación de las capas de información, la metodología y las experiencias derivadas de éstos estudios, se puede consultar el trabajo realizado por Moreno *et al.*, (1995)³⁹.

Al terminar los estudios en marzo de 1993, quedó claro que eran necesarias dos rutas de desarrollo de estos esfuerzos. Una sería la revisión de la información existente y la incorporación de nuevas capas de información al mismo nivel de resolución. La otra, aumentar el nivel de resolución de la información y hacer corroboraciones de campo a nivel regional.

El Proyecto 618, del Centro de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), dependiente de la División Forestal del INIFAP, desarrolló la primera ruta de las antes mencionadas. Se corrigieron los errores de digitalización de la información edafológica, se procesó el modelo de elevación digital del INEGI a su máxima resolución (un dato cada 3"segundos de grado), y se interpoló la información de las normales climatológicas mensuales para el período 1951-1981, mediante el método de Spline.

La información anterior se transformó a formatos compatibles con los resultados del Inventario Nacional Forestal (INF), realizado por la entonces Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre (SFFS) y el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en 1994. Como resultado de lo anterior, se cuenta con una base de información cartográfica digital que incluye:

- a) **Suelos** (unidad de suelo, textura y presencia de fases físicas y químicas).
- b) **Clima** (promedios mensuales de temperatura mínima, máxima, precipitación y evaporación).
- c) **Topografía** (un dato de elevación cada 3" de grado).

³⁹ Moreno S., R.; F. Moreno S.; G. Cruz B. y D. Reygadas P. 1995a. Los Estudios de Potencial Productivo de Especies Vegetales del INIFAP: Experiencias, observaciones y perspectivas para el futuro.

- c) **Topografía** (un dato de elevación cada 3" de grado).
- d) **Vegetación** (áreas arboladas clasificadas en 36 clases).
- e) **Imágenes de satélite LANDSAT TM** (7 bandas).

Precauciones en el Proceso de Selección y Establecimiento de un SIG

De las experiencias del INIFAP en el uso y aplicación de los SIG, se pueden derivar las siguientes recomendaciones generales. Los SIG tienen características especiales que los hacen propicios a convertirse en inversiones altamente costosas, no redituables, es decir "elefantes blancos", y entre ellas se menciona que:

Es una tecnología cara. Existe una amplia variedad de productos en el mercado, se pueden encontrar SIG que varían de menos de \$1,000 US Dólares hasta más de \$30,000.00 tan solo por el software. Muchos SIG pueden funcionar en microcomputadoras, pero para ser eficientes éstas requieren ser de alta capacidad de procesamiento, con muy buen monitor y discos duros de alta capacidad, lo cual a la fecha (primavera 1995) está en el rango de \$ 3,000.00 a \$7,000.00 US Dólares por una de estas máquinas. Además, dependiendo del volumen de información a manejar y la complejidad de los procesos, se puede requerir como plataforma para el SIG una estación de trabajo operada bajo UNIX, que dependiendo de la configuración, puede costar entre entre \$15,000 y \$50,000 US Dólares.

El costo de la compra del programa y el equipo de cómputo representan solo la "punta del iceberg", entre el 15% y el 25% del costo total de tener el sistema totalmente operando (Berry, *op. cit.*). El costo más grande es la construcción de la base de datos necesaria para operar el sistema. De acuerdo con Antenucci (1991)⁴⁰ este costo representa el 50% del costo total de tener el sistema operando. El "cuello de botella" en el desarrollo de un SIG, es el proceso de alimentar datos, en especial la digitalización de la información cartográfica existente (Frank *et al.*, *op. cit.*). El siguiente costo en orden de magnitud es la capacitación del personal, el cual representa aproximadamente el 25% (Antenucci, *op. cit.*). Finalmente, existen una serie de costos ocultos que van apareciendo en el proceso de establecimiento y operación del SIG. Entre ellos: tecnología de apoyo (instalaciones especiales, equipo extra, etc.) cambios operativos e institucionales necesarios para la eficiente operación del sistema.

⁴⁰ Antenucci, J.C. 1991. Risk GIS?. pp. 58-60.

Debido al tiempo necesario para construir la base de datos, no se pueden dar resultados rápidamente. Esta situación puede provocar frustración y el retiro del apoyo económico para los proyectos relacionados con los SIG.

Para minimizar las sorpresas y riesgos en la selección y puesta en marcha de un SIG se recomienda:

- Hacer un inventario detallado de las necesidades del usuario.
- Elaborar una lista minuciosa de toda la información existente con la que se alimentará al sistema, indicando cantidad, tipo y calidad de la misma.
- Contar con una lista detallada de la información que no está disponible y que será necesario recolectar indicando cantidad, tipo y calidad de la misma.
- Con los tres puntos anteriores preparar un concurso entre vendedores de SIG y llevar a cabo pruebas de comparación.
- Una vez seleccionado el sistema, obtener del vendedor los requerimientos necesarios para el lugar donde se instalará el SIG. Entre otros: espacio, temperatura, humedad, energía eléctrica, condiciones del edificio (sin alfombra, ventilación, sin sol, protección contra variaciones de energía eléctrica, robo, etc).
- Tomar previsiones en cuanto a tiempo y dinero para la capacitación del personal.
- Establecer prioridades para la captura de la información.
- Contemplar planes piloto para la aplicación del SIG para tener resultados en poco tiempo y mantener el interés y apoyo económico, para este tipo de proyectos.
- Contar con tablas de tiempo realistas para la captura, procesamiento, análisis y obtención de resultados. Esto es para no tener falsas expectativas que al no cumplirse provocan frustración y descontento.
- Elaborar una cuidadosa planeación financiera. La construcción de la base de datos debe considerarse como una fuerte inversión de capital que tiene que ser planeada mesuradamente.
- Prever los cambios operacionales e institucionales que serán necesarios al desarrollar el SIG. La introducción de un SIG a una institución altera los flujos de

información dentro de la organización, así como su estructura. Con un SIG, se genera la misma información como antes de tenerlo, pero con la ventaja de obtenerla de manera más rápida y eficaz. La información seguirá diferentes rutas dentro de la institución, por lo que un SIG representa una tecnología que requiere de personal capacitado que debe ser bien pagado y respetado.

- Se deben hacer previsiones para determinar mecanismos de control y establecimiento de derechos de acceso a la información contenida en el SIG. En los Estados Unidos de América (EUA), se han presentado problemas legales sobre quien tiene acceso a la información, por ejemplo de ingresos económicos, valor catastral de propiedades, número de hijos, grupos étnicos, etc., dado que esta información se puede usar para hacer discriminaciones de diversos tipos sin el conocimiento de los individuos afectados.

- A partir del diseño del sistema se deben de prever los mecanismos y subsistemas para hacer la información accesible a usuarios y funcionarios sin entrenamiento en SIG. El impacto final de un proyecto de SIG depende en gran medida de contar con una interfase amigable que permita hacer uso de la información para apoyar la toma de decisiones (Moreno *et al.* 1995b). Se recomienda seguir una estrategia de base de datos distribuidas con el grueso del volumen de información en un servidor UNIX, la cual puede tener acceso a una red local por terminales de PC. La ventaja de esta estrategia es que facilita el desarrollo de interfases en computadoras personales (PC) en ambiente Windows o con software de simulador de terminales gráficas tal como el PC-XWARE.

Perspectivas Futuras

Los Sistema de Información Geográfica son una tecnología que ofrece un gran potencial para enfrentar los retos de la administración de los recursos naturales en un mundo en el que ya no se puede hacer uso extensivo de los mismos. Por otra parte, México llega al encuentro de los SIG cuando esta tecnología se encuentra lo suficientemente madura (tanto en software, hardware y aplicaciones) para obtener el mayor provecho de ella. Algunas perspectivas de esta tecnología en México son:

- Con el desarrollo tecnológico, los precios del hardware disminuirán constantemente, ésto hará factible que más gente tenga acceso a los SIG. La combinación de estos factores hace posible prever que los SIG tendrán una amplia difusión en la década de los noventas en México. Sin embargo, está difusión puede ser retrasada significativamente si no se contemplan las precauciones que con anterioridad se mencionaron, lo que provocaría comenzar a tener experiencias negativas.

- En su desarrollo, los SIG de bajo costo diseñados principalmente con fines educativos son cada vez más sofisticados, reduciéndose la brecha entre éstos y los SIG profesionales de alto costo.

- Habrá la necesidad de crear un respaldo importante de literatura en teoría, metodologías de aplicación y experiencias prácticas en la administración de los recursos naturales de México. Esto puede ser parte importante de la creciente necesidad de capacitación que se tendrá. Aquellas instituciones que apliquen esta tecnología en forma consistente y exitosa, obtendrán relevancia científica, especialmente al atacar problemas como: producción de alimentos, degradación ecológica (contaminación, deforestación, cambio de uso del suelo, etc.), producción de agua, crecimiento urbano y planeación de la instalación de servicios (agua, electricidad, comunicaciones, oleoductos), entre otros.

- Será necesario llevar registros detallados de los costos del proceso de selección y establecimiento de un SIG y después registrar los beneficios en términos de reducción de costos y mayor eficiencia, para poder hacer análisis de costo/beneficio de estos sistemas en las condiciones existentes en el país. Estos estudios marcarán la pauta para todos aquellos que contemplen establecer un SIG.

- Un factor clave para la adopción de los SIG y para realizar el máximo impacto de su aplicación, es el hacerlos accesibles a personal sin entrenamiento así como a funcionarios a bajo costo. A nivel mundial existen grandes esfuerzos en este sentido por parte de investigadores y de las compañías de software. Flores *et al.* (1995)⁴¹ y Moreno *et al.* (1995b)⁴² presentaron el desarrollo de una interface para facilitar las funciones de despliegue, análisis y mantenimiento de la cartografía digital del INIFAP. Compañías como Environmental Systems Research Institute (ESRI) productores de ARC/INFO han desarrollado el ARCVIEW 2; un programa de bajo costo y operación en ambiente de Windows para PC lo que permite facilitar las búsquedas y análisis de cartografía digital.

- Cada vez será más común el uso de bases de datos distribuidas en las que los grandes volúmenes de información se almacenarán en un servidor central operando bajo UNIX y esta información será accesada a través de redes desde terminales de PC operando en Windows con software extremadamente barato y de fácil operación y aprendizaje.

⁴¹ Flores S., M.; E. Sánchez T. y R. Moreno S. 1995. El Arc Macro Language (AML) de ARC/INFO en la creación de interfases para la visualización y modelaje de cartografía digital.

⁴² Moreno S., R.; M. Flores S. and E. Sánchez T. 1995b. User interface for visualization and modeling of a nationwide database in México. pp 1007-1010.

- Conforme los SIG se adopten cada día más en las operaciones cotidianas de instituciones educativas, gubernamentales y privadas, será necesario establecer estándares para asegurar la compatibilidad de la información que se generará.
- Es necesario diseñar un esquema bajo el cual, eventualmente, se pueda crear un consorcio de instituciones con información cartográfica digital. Mediante dicho consorcio se podría poner a la disposición del público y funcionarios la totalidad de la información digital disponible a nivel nacional. En dicho consorcio; cada institución sería responsable del mantenimiento y enriquecimiento de la información con que ya cuenta.

BIBLIOGRAFÍA

- Antenucci, J.C. 1991. Risk GIS?. *Geo Info Systems*. October 1991; 58-60.
- Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: A management perspective. WDL Publications. Ottawa, Canadá. 294 p.
- Berry, J. K. 1988. Maps as data: computer-assisted map analysis. Spatial Information Systems, Inc. Springfield, VA. USA. 157 p.
- Berry, J. K. 1989a. Introduction to GIS technology: A short course for resource managers. Notes for a short course sponsored by the USDA Forest Service. Fort Collins, CO. USA. 72 p.
- Berry, J.K. 1989b. Notas de clase para el curso: "Introducción a los Sistemas de Información Geográfica". Colorado State University, Fall 1989. Fort Collins, Colorado, USA.
- Bobbe, T.J. 1987. An application of Geographic Information Systems to the timber sale planning process on the Tongass National Forest - Ketchikan Area. *In: Proceedings of the GIS '87 Symposium*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia, USA. pp 554-562.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of geographic information systems for land resources assessment. Claredon Press. Oxford, England. 189 p.

- Calkins, H.W. and R.F. Tomlinson. 1977. Geographic Information Systems: Methods and Equipment for land use planning. International Geographic Union Commission on Geographic Data Sensing and Processing. Resource and Land Investigations (RALI) Program. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, USA.
- Dangermond, J. 1983. A classification of software components commonly used in geographic information systems. *In: Design and implementation of computer-based geographic information systems*. Peuquet, D. J. and J. O'Callaghan Eds. IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing. Amherst, NY. USA. pp 70-91.
- Dangermond, J. 1989. Foreword for the book: Geographic information systems: A management perspective by Stan Aronoff. WDL Publications. Ottawa, Canada. 294 p.
- Dippon, D. and C. Cadwell. 1991. Resource management planning- Linking a land information system to a harvest scheduling model. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 355-364.
- Dippon, D.; R. Wright and R. Metzger. 1989. Defining the operational forest inventory for harvest planning with Geographic Information System. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 373-380.
- Eng, M. A.; R. S. McNay and R. E. Page. 1990. Integrated management of forestry and wildlife habitat with the aid of GIS-based habitat assessment and planning tool. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 331-336.
- Flores S., M.; E. Sánchez T. y R. Moreno S. 1995. El Arc Macro Language (AML) de ARC/INFO en la creación de interfases para la visualización y modelaje de cartografía digital. Aceptado para publicación. Revista: Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía de la UNAM. México
- Frank, A.U.; M.J. Egenhofer and W. Khun. 1991. A perspective on GIS technology in the nineties. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(11):1431-1436.

- Gagliuso, R. A. 1990. Remote sensing and GIS technologies: An example of integration in the analysis of cougar habitat utilization in southwest Oregon. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 323-330.
- GIS World Inc. 1991. 1991-1992 International GIS sourcebook. GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. 603 p.
- Gros, S.L.; T.H.L. Williams and G. Thompson. 1988. Environmental impact modelling of oil and gas wells using GIS. *In: Proceedings of the 1988 ACSM-ASPRS Annual Convention. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Falls Church, Virginia, USA. Vol. 5:216-225.
- Harrison, S. S. 1990. Post-fire recovery of riparian resources on the Idaho Batholith: A geographic information system analysis. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 343-348.
- Hegyí, F. 1990. The role of GIS in provincial inventories. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 307-310.
- Hegyí, F. and P. Walker. 1991. Multi-resource inventories with air- and space-borne digital remote sensing, GIS and video imaging; Tomorrow's vision, a reality today. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 315-318.
- Holt, S. 1990. Human encroachment on bear habitat. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 319-322.
- Howard, D. C. and C. J. Barr. 1991. Sampling the countryside of Great Britain: GIS for the detection and prediction of rural change. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado, USA. pp 217-222.
- Hutachareon, M. 1988. Application of Geographic Information Systems technology to the analysis of deforestation and associated environmental hazards in northern Thailand. *In: Proceedings of the GIS '87 Symposium. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Falls Church, Virginia.

USA. pp 509-518.

Jordan, G. and L. Vietinghoff. 1987. Fighting budworm with a GIS. *In: Proceedings of the Eighth International Symposium on Automated Cartography*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia. USA. pp 492-499.

Jordan, G. A. and E. Z. Baskent. 1991. GISFORMAN: A next generation wood supply model. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 365-372.

Leggat, K. and D. Buckley. 1991. Implementing GIS into Alberta's integrated resource planning program. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 251-258.

McDonald, W. S. and S. M. Smith. 1991. An integrated national land resource coverage: New Zealand experiences. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 245-250.

Moeller, J. 1991. Natural resources planning at the Bureau of Land Management. *GIS World* 4(3): 117-121

Moreno D., D. 1991. GIS supports SWIP environmental decisions. *GIS World* 4(1): 28-33.

Moreno S., R.; F. Moreno S.; G. Cruz B. y D. Reygadas P. 1995a. Los Estudios de Potencial Productivo de Especies Vegetales del INIFAP: Experiencias, observaciones y perspectivas para el futuro. Aceptado para publicación, revista: *Investigaciones Geográficas*. Instituto de Geografía de la UNAM. México.

Moreno S., R.; M. Flores S. and E. Sánchez T. 1995b. User interface for visualization and modeling of a nationwide database in México. *Proceedings GIS 95*, Vancouver, Canada. March 20-23. pp 1007-1010.

Munroe, L. S. and E. Decker. 1991. GIS use by wildlife resource agencies surveyed. *GIS World* 4(3):60-69.

- Murphy, D. L. 1990. Implementing GIS technology in a forest inventory system. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 305-306.
- Riekens, J. K. 1991. The CAMAS project: Building a computer-assisted management and analysis system for natural resource managers. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 241-244.
- Scepan, J.; F. Davis and L. L. Blum. 1987. A Geographic Information System for managing California Condor habitat. *In: Proceedings of the GIS '87 Symposium*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia. USA. pp 476-486.
- Star J. and J. Estes. 1989. Geographic Information Systems: An introduction. Prentice Hall. Englewoods Cliffs, New Jersey. USA. 303 p.
- Stutheit, J. 1991. Database tracks California's endangered species. *GIS World* 4(3): 38-47.
- Tosta, N. and L. Davis. 1986. Utilizing a Geographic Information System for statewide resource assessment: The California case. *In: Proceedings of the 1986 Geographic Information Systems Workshop*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia. USA. pp 147-154.
- Van Sickle, G. A. 1989. GIS-A tool in forest pest management. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 349-354.
- Wells, L. M. and D. E. McKinsey. 1990. Using geographic information systems for prescribed fire management at Cuyamaca Rancho State Park, California. *In: GIS applications in natural resources* (Heit, M. and A. Shortreid Eds.). GIS World Inc. Fort Collins, Colorado. USA. pp 337-342.
- Wertz, W. 1991. Dynamic fire simulation for training and prediction. *GIS World*, 4(3):78-85.