

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA: UNA VISION INTEGRAL

Jorge Fallas G.¹

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) se han popularizado en las áreas ambientales y de recursos naturales a partir de la segunda mitad de la década de los 80. El presente artículo brinda una visión integral de los SIGs, su entorno institucional y sus áreas de aplicación. Se enfatiza la necesidad de considerarlos como una herramienta que facilita el proceso de toma de decisiones a nivel institucional y no como una solución en sí misma.

SUMMARY

Geographic Information Systems (GIS) are a well-known technology world wide. Though they exist since the early 1960s as an operational tool, it is not until 1980-85 that they became a commonly used tool in many public, private and non-

1. Director, Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (TeleSig). Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre y Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Heredia. E-Mail: Jgamboa@irazu.una.ac.cr.

governmental institutions around the world. In this article I stress the importance of thinking of a GIS as a tool in the decision making process and not as solutions to all the problems faced by the decision maker.

1. INTRODUCCION

La información cartográfica es una de las bases de datos más rústicas en la historia de la humanidad. Las primeras civilizaciones utilizaron los mapas con fines descriptivos y, además, como una ayuda para planificar y orientar sus actividades económicas, sociales, bélicas y de conquista. El uso de mapas con propósitos analíticos es una técnica más reciente y relativamente poco utilizada en el proceso de toma de decisiones en el campo de los recursos naturales en América Latina.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIGs) son una combinación de hardware (elementos físicos) y software (elementos no físicos o programas) que le permiten al profesional adquirir, almacenar, analizar, integrar y visualizar información geográfica en un formato digital (Aranoff, 1989; Burrough, 1986). Esta nueva herramienta nos permite no sólo manipular atributos utilizando bases de datos relacionales tales como Dbase, Paradox y Oracle sino también determinar su ubicación o posición en el espacio. Esta característica de los SIGs permite representar digitalmente el mundo que nos rodea manteniendo su integridad espacial. Los SIGs se han convertido en una herramienta de uso frecuente en los países desarrollados desde principios de la década de los 80 (Coppock y Rhind, 1991). Las razones para su proliferación son:

- A. Aumento considerable en la cantidad, calidad y disponibilidad de la información a nivel mundial.
- B. La información tiene un sistema de referencia implícito (ej. pueblos, cantones, distritos, etc.) o explícito (ej. latitud y longitud).
- C. Aceptación comercial: los SIGs han sido adoptados como herramientas de trabajo tanto en organismos gubernamentales como privados. Por ejemplo, para 1994, la compañía Dataquest Inc. estimó que los ingresos derivados de la utilización de los SIGs a nivel mundial fueron del orden de los 759 millones de dólares americanos (Fig. 1).
- D. Reducción sustancial en el costo de las computadoras, el software y sus periféricos. Durante las últimas dos décadas se ha observado una considerable reducción en los precios de los sistemas de cómputo. Por ejemplo, la capacidad de cálculo y visualización de las microcomputadoras actuales (ej. Pentium Pro y tarjetas de 64 bits) es superior o similar al de las computadoras utilizadas en

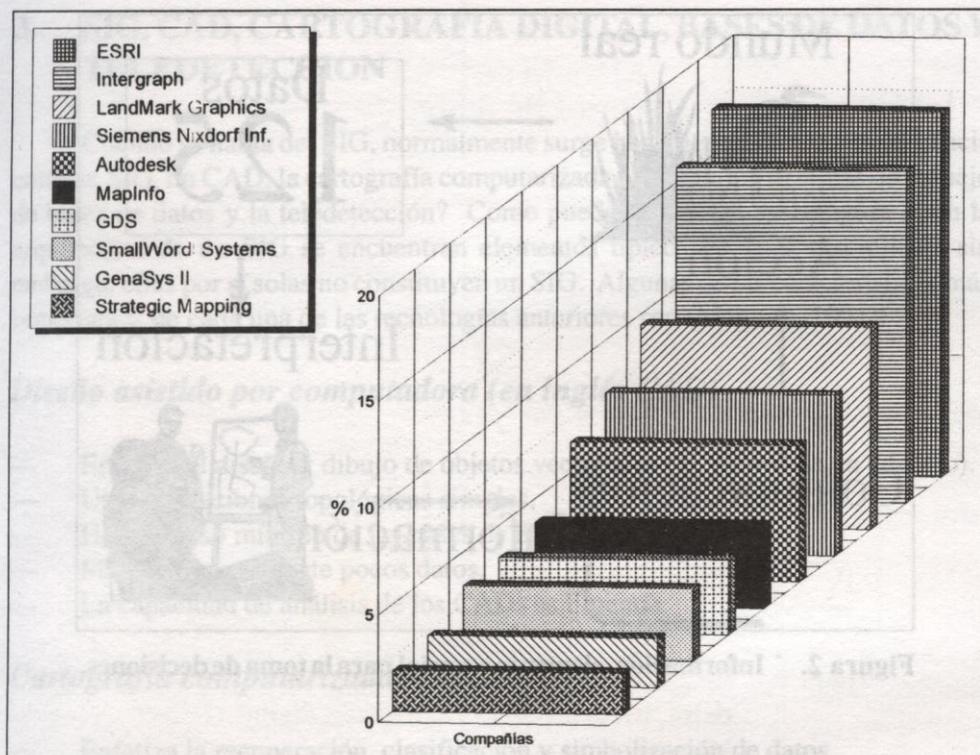


Figura 1. Distribución del ingreso (%) para las 10 compañías más grandes en SIG para 1994 (Fuente: Rajani, 1995).

los años 60 y 70 (Grosswell y Clark, 1988; Goodchild, 1991). Esta reducción en los precios se debe, por un lado, al aumento en el número de usuarios y, por otro, a la introducción de los microprocesadores en el mercado de la computación a finales de la década de los 70 y de ambientes gráficos tales como Windows 95 y NT (GIS World, 1996a).

2. LOS SISTEMAS DE INFORMACION

La información es esencial para la toma de decisiones (Fig. 2). Sin embargo, para que ésta sea útil debe sistematizarse y ser asequible a sus usuarios. A partir de la década de los 60 se ha observado un rápido desarrollo en los aspectos teórico-conceptuales, tecnológicos y organizacionales en el campo de los SIGs, los cuales se han convertido en una herramienta que integra conocimientos desarrollados en áreas tan diversas como la agricultura, informática, matemática, física, diseño gráfico y teledetección. De acuerdo con su función, los sistemas de información pueden dividirse en (Maguire, 1991):

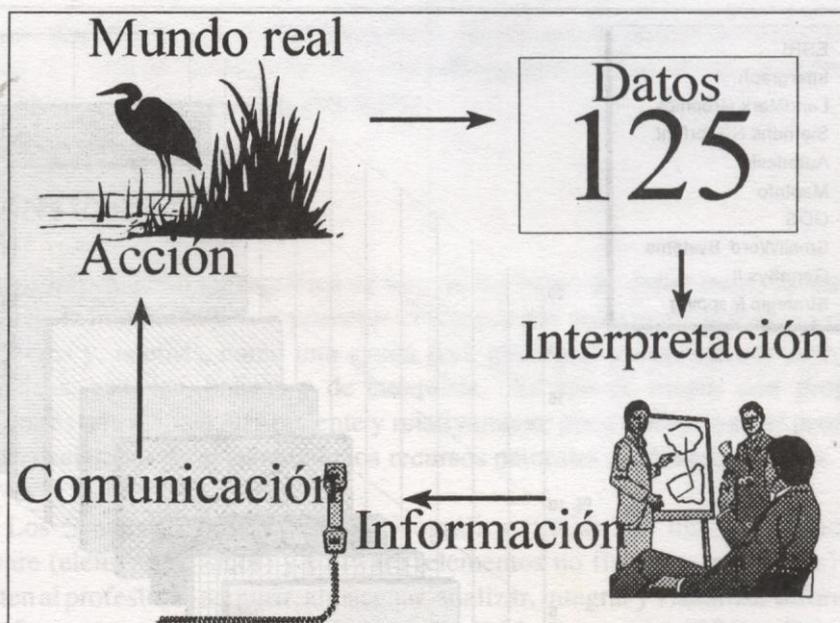


Figura 2. Información, elemento esencial para la toma de decisiones.

1. *Sistemas para procesar transacciones*

El objetivo de estos sistemas es mantener información actualizada sobre las interacciones o transacciones que se realizan entre objetos o sujetos en una organización, empresa u oficina. Los sistemas de reservaciones de las aerolíneas, los sistemas para el manejo de inventarios de las empresas y los sistemas de cuentas corrientes de los bancos son ejemplos de estos sistemas.

2. *Sistemas para el apoyo a la toma de decisiones*

El énfasis de estos sistemas es la manipulación, el análisis y especialmente la simulación de posibles escenarios con el objeto de apoyar la toma de decisiones de grupos tan diversos como los administradores de empresas, políticos, grupos ambientalistas y militares. Por su capacidad de análisis espacial los SIGs se ubican en esta categoría. Para que estos sistemas operen con éxito es necesario que la información que proveen sea útil para la toma de decisiones, que el acceso a la información sea regulado, que exista un programa permanente de mantenimiento y actualización tanto de la información como de la tecnología y que los usuarios del sistema posean un conocimiento adecuado del tema.

3. SIG, CAD, CARTOGRAFIA DIGITAL, BASES DE DATOS Y TELEDETECCION

Cuando se habla del SIG, normalmente surge la pregunta ¿cuál es la diferencia entre un SIG, un CAD, la cartografía computarizada o digital, los sistemas de manejo de bases de datos y la teledetección? Como puede apreciarse en la figura 3, en la arquitectura de un SIG se encuentran elementos típicos de estas disciplinas; sin embargo, ellas por sí solas no constituyen un SIG. Algunas de las características más importantes de cada una de las tecnologías anteriores son (Maguire, 1991):

Diseño asistido por computadora (en inglés CAD)

- Enfatiza el diseño y dibujo de objetos vectoriales (ej. planos de un edificio).
- Utiliza relaciones topológicas simples.
- Hace un uso mínimo de las bases de datos.
- Maneja normalmente pocos datos.
- La capacidad de análisis de los CADs es limitada.

Cartografía computarizada

- Enfatiza la recuperación, clasificación y simbolización de datos.
- Su objetivo primario es la visualización de datos.
- Datos no utilizan topología.
- Datos pueden estar asociados con una base de datos, sin embargo, sólo pueden realizarse operaciones simples de recuperación de información.
- Enfatiza el diseño y la impresión de mapas de alta calidad utilizando formatos vectoriales.

Sistemas de manejo de bases de datos (en inglés DBMS)

- Programas diseñados para almacenar y recuperar información no gráfica (ej. bases de datos bibliográficas; sistema de reserva de una aerolínea).
- Capacidad limitada para visualizar y recuperar atributos gráficos.
- Capacidad muy limitada para realizar operaciones de naturaleza espacial (ej. número de casas en un radio de 5 km alrededor del embalse Arenal).

Teledetección

- Sistema diseñado para almacenar, manipular y visualizar datos en formato raster adquiridos por sensores ubicados en plataformas espaciales o aerotransportadas.
- Estos sistemas tienen capacidad limitada para manipular y procesar datos vectoriales y, por lo tanto, no son apropiados para el análisis de redes y la impresión de mapas de alta calidad utilizando información vectorial.

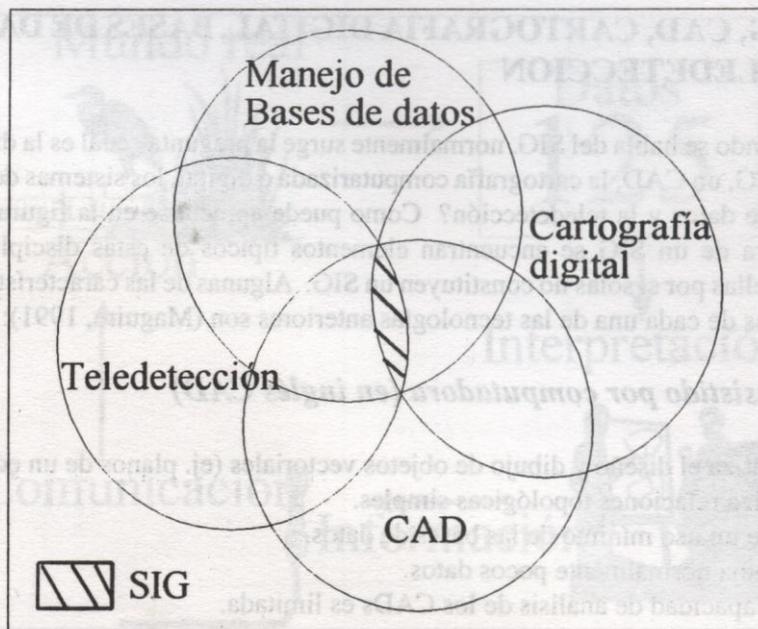


Figura 3. Relación entre SIG, CADs, manejo de bases de datos, teledetección y cartografía digital (Fuente: Maguire, 1991).

— El manejo de atributos es limitado y su sistema de manejo de bases de datos es también limitado.

Los sistemas anteriores preceden a los SIGs, y por lo tanto, éstos tienen muchos elementos en común con los primeros. Sin embargo, el SIG se distingue por su capacidad de realizar operaciones geoespaciales utilizando objetos que comparten el mismo sistema de coordenadas.

4. MAPAS, BASES DE DATOS Y ANALISIS ESPACIAL: TRES ENFOQUES DE UN SIG

En un SIG encontramos tres elementos básicos: los mapas —la materia prima, las bases de datos—, la información estructurada sobre los mapas —y el análisis espacial—, el uso de mapas, bases de datos y operadores matemático/geométricos para responder a preguntas de naturaleza espacial (Berry, 1986). Los SIGs pueden clasificarse según su énfasis en (Maguire, 1991; McHarg, 1969; Openshaw, 1991 y Tomlin, 1983 y 1991):

Cartográfico: *enfatisa los mapas.* En este enfoque los SIGs se presentan como un sistema para el proceso y la visualización de mapas, frecuentemente en formato raster. Las operaciones (ej. sumar, restar, multiplicar y búsqueda de patrones) requieren de un mapa como insumo y generan, a su vez, un mapa como producto.

Bases de datos: *enfatisa la importancia de una base de datos bien diseñada y eficiente.* Los promotores de este enfoque argumentan que un sistema de manejo de base de datos sofisticada y funcional es un componente esencial de todo SIG. Esta visión es común entre los profesionales que provienen del área de ciencias de la computación y que utilizan búsquedas simples para resolver sus preguntas de naturaleza espacial.

Análisis espacial: *enfatisa la capacidad del SIG de responder a preguntas de naturaleza espacial.* Bajo este enfoque se da mayor énfasis a la capacidad de modelar y analizar información georreferenciada del SIG. La mayoría de los SIGs comerciales proveen un número limitado de operaciones en esta área y es un aspecto que debe desarrollarse con mayor énfasis en el futuro.

Dado el desarrollo alcanzado por los diferentes proveedores de software, en la actualidad, no es fácil clasificar a un SIG en una u otra de las anteriores categorías y es claro que los diferentes énfasis tienden a confluir en la práctica. Esta tendencia puede observarse claramente en la versión de IDRISI para Windows que puede leer y escribir archivos en el formato de Access de Microsoft.

5. ENFASIS EN EL DISEÑO DE UN SIG Y EN SUS ENFOQUES TEMATICOS

Desde el punto de vista del diseño de los programas se pueden encontrar también tres aproximaciones básicas (Aranoff, 1989; Bracken y Webster, 1989):

1. *Procesadores de archivos*

En estos SIGs tanto los programas como los archivos de datos son almacenados en archivos individuales y ambos interactúan al ejecutarse operaciones analíticas. Los programas IDRISI de la Universidad de Clark (Eastman, 1995) y CI-SIG de Conservación Internacional (Conservación Internacional, 1995) son dos ejemplos de este tipo de aproximación.

2. *Diseño híbrido: sistemas georrelacionales*

Bajo este diseño se utiliza un programa para manipular y visualizar los entes gráficos y un sistema de bases de datos para almacenar y manipular los atributos no gráficos. Arc/Info, Genamap y MGE de Intergraph son ejemplos de este diseño.

3. Sistema de manejo de bases de datos ampliado

En este caso tanto los atributos como la información georreferenciada son almacenados en una base de datos relacional que provee funciones geoanalíticas. El programa SYSTEM9 es un ejemplo de esta categoría (Ingram and Phillips, 1987). En la actualidad compañías tales como Oracle, Intergraph y Vision International están desarrollando programas basados en esta tecnología (GIS World, 1996b).

El término *Sistemas de Información Geográfica* es una frase genérica que engloba sistemas con diferentes énfasis temáticos. A continuación se ofrece una lista de nombres alternos utilizados para designar a los SIGs en función de su área de aplicación.

Cuadro 1: Los sistemas de información geográfica y sus enfoques temáticos.

-
- Sistemas de información catastral.
 - Sistemas de datos de tierras.
 - Sistemas de información de tierras (en inglés se le designa LIS).
 - Sistemas de información para recursos naturales.
 - Catastro multipropósito.
 - Sistemas de información para la planificación.
 - Sistemas de información edafológico.
 - Sistemas de información urbano.
 - Sistema espacial de apoyo a la toma de decisiones.
-

6. APLICACIONES

A finales de la década de los 60 McHarg (1969) introdujo la técnica de sobreposición de mapas como un medio de aplicar los conceptos de análisis cartográfico a la planificación del paisaje a nivel local y regional. Una de las desventajas del método propuesto por este autor era su laboriosidad y en algunos casos su imprecisión al sobreponer mapas manualmente. El análisis espacial utilizando computadoras resolvió esta limitante en la década de los 70. Sin embargo, no fue realmente hasta la década de los 80 cuando el método se convirtió en una herramienta operacional y popular en diferentes disciplinas a nivel mundial (Coppock y Rhind, 1991; Marble y Amundson, 1988; Rubin, 1992; Valenzuela, 1988). Aun cuando los sistemas de información geográfica digitales ofrecen un medio eficiente y preciso para manipular y analizar grandes volúmenes de información, su utilización es todavía poco frecuente y con frecuencia ausente en los procesos de planificación, diseño y monitoreo ambiental en Costa Rica (Fallas, 1994).

Los SIGs fueron diseñados para responder a preguntas de naturaleza fundamentalmente espacial y, por lo tanto, su capacidad de análisis y modelaje de datos georreferenciados es su principal característica. Con un SIG podemos responder a las siguientes preguntas:

1. Ubicación ¿Cuál es la población estudiantil de Heredia?
2. Condición ¿Cuántos estudiantes viven en un radio de 5 km de la Universidad Nacional?
3. Tendencia ¿Cuáles usos del suelo han cambiado entre 1984 y 1995 en Costa Rica?
4. Rutas ¿Cuál es la ruta más corta entre San José y Heredia?
5. Patrón ¿Cuál es el patrón de distribución de los incendios forestales en Heredia?
6. Modelado ¿Cuál sería el impacto sobre la biodiversidad de Costa Rica si la temperatura global incrementara 1,7 °C?

Las preguntas anteriores son genéricas y, por lo tanto, pueden aplicarse a diversas disciplinas tal y como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2: Los SIGs y sus áreas de aplicación.

- Gestión y monitoreo ambiental.
- Descripción y evaluación de hábitat.
- Estudios de impacto ambiental.
- Mapeo de uso y ocupación del suelo.
- Catastro y tenencia de la tierra.
- Distribución de especies (flora y fauna).
- Modelado de procesos erosivos.
- Manejo de áreas protegidas.
- Manejo de cuencas hidrográficas.
- Planificación urbana y regional.

La tecnología SIG es un área del conocimiento relativamente nueva que provee los medios (equipo y programas) requeridos por el profesional para modelar espacialmente sus decisiones. En algunos sentidos, el SIG, es similar a los métodos cartográficos convencionales utilizados para procesar mapas (ej. el uso de lápices, planímetro, curvímetro y acetatos para la sobreposición y el análisis manual de mapas).

Pero, por otro lado, es un conjunto de herramientas que el profesional puede usar para dar respuesta a preguntas complejas y muy variadas (Fowler y Barnes, 1992; Lafargue y Poullaouec-Gonidec, 1991). Por ejemplo, empleando la misma base de datos cartográfica, el especialista en manejo de vida silvestre puede evaluar sitios potenciales para la repatriación de especies faunísticas, considerando elementos tales como la extensión y el tipo de cobertura, proximidad a carreteras, visibilidad y la presencia de corredores biológicos. El silvicultor, por su parte, puede evaluar la adaptabilidad potencial de una o más especies forestales basado en los requerimientos ecológicos de la(s) especie(s). Esta capacidad de análisis y versatilidad es lo que diferencia a un SIG asistido por computadoras del análisis cartográfico convencional.

7. LOS SIGs Y SU INSERCIÓN INSTITUCIONAL

A pesar de las ventajas de la tecnología SIG, su aporte a la toma de decisiones es muy limitado en el proceso de planificación y monitoreo de los recursos naturales en los países en vías de desarrollo (Fallas, 1994). Los SIGs son herramientas para la toma de decisiones y como tales deben estar integradas en la estructura organizativa de la institución o empresa donde son utilizados. Sin embargo, su adopción, aceptación e integración en el ambiente de trabajo no es una tarea fácil ni automática. Basándonos en la experiencia de países desarrollados se estima que se requieren de 12 a 15 años para que la tecnología SIG se establezca como una herramienta de uso cotidiano en una institución (Crain y MacDonald, 1984). Aun cuando el período parece muy largo, se puede apreciar mejor si consideramos que toda empresa/institución debe pasar por tres etapas o fases para lograr integrar la tecnología SIG en su ambiente de trabajo (Fig. 4).

Fase I: Inventario de datos

Durante esta fase la energía es dirigida a la colección y organización de información para posteriormente crear bases de datos digitales. El SIG es utilizado para responder a preguntas simples del tipo de ubicación y condición.

Fase II: Operaciones y análisis

Una vez que el profesional se ha familiarizado con las funciones básicas del SIG está en capacidad de utilizar operaciones más complejas. Con frecuencia se usan varios mapas o niveles de información y diversas técnicas de análisis estadístico-espacial para responder a preguntas más complejas de condición y tendencia. Aplicaciones típicas de esta fase son, por ejemplo, la selección de áreas para la repatriación de una especie de fauna silvestre o el monitoreo de los cambios en el uso del suelo en una determinada área geográfica.

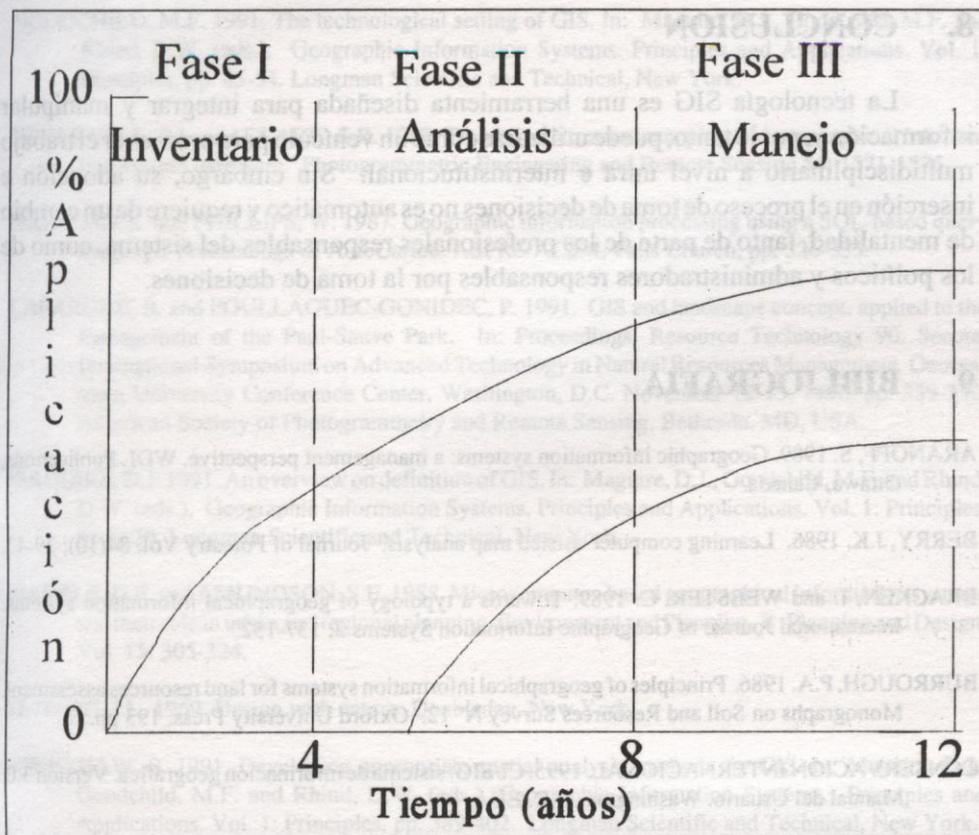


Figura 4. Cronología en la adopción de la tecnología SIG (Fuente: Crain y McDonald, 1984).

Fase III: Herramienta para la toma de decisiones

Durante esta fase el SIG ya ha alcanzado su madurez en la institución/empresa y se convierte en una herramienta de uso cotidiano en el proceso de toma de decisiones. El SIG es utilizado en la institución para dar respuesta a preguntas que requieren del uso de técnicas sofisticadas de análisis y de modelado espacial. Algunas preguntas típicas de esta fase son: ¿cuál debe ser el patrón óptimo de uso del suelo en la provincia de Heredia?, ¿cuál debe ser la composición y distribución óptima de los componentes del hábitat del venado cola blanca en Guanacaste? En este nivel se responde a las preguntas o interrogantes empleando elementos de análisis de rutas, patrones y de modelado espacial.

8. CONCLUSION

La tecnología SIG es una herramienta diseñada para integrar y manipular información y, por lo tanto, puede utilizarse como un vehículo para promover el trabajo multidisciplinario a nivel intra e interinstitucional. Sin embargo, su adopción e inserción en el proceso de toma de decisiones no es automático y requiere de un cambio de mentalidad, tanto de parte de los profesionales responsables del sistema, como de los políticos y administradores responsables por la toma de decisiones.

9. BIBLIOGRAFIA

- ARANOFF, S. 1989. Geographic information systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canadá.
- BERRY, J.K. 1986. Learning computer-asisted map analysis. *Journal of Forestry* Vol. 84(10): 39-43.
- BRACKEN, I. and WEBSTER, C. 1989. Towards a typology of geographical information systems. *International Journal of Geographic Information Systems* 3: 137-152.
- BURROUGH, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Monographs on Soil and Resources Survey N° 12. Oxford University Press. 193 pp.
- CONSERVACION INTERNACIONAL. 1995. CI/SIG: sistema de información geográfica. Versión 3.0. Manual del Usuario. Washington, D.C. EUA.
- COPPOCK, J.T. and RHIND, D.W. 1991. The history of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: principles and aplicaciones*. Longman, London, pp. 21-43.
- CRAIN, I.K. and MACDONALD, C.L. 1984. From land inventory to land management. *Cartographica* 21: 40-46.
- EASTMAN, J.R. 1995 Idrisi: Windows version. User's guide. Clark University, Graduate School of Geography. Worcester, Massachusetts, USA.
- FALLAS, JORGE (ed.). 1994. Memoria. Seminario-Taller: Sistemas de Información Geográfica, Teledetección y Sistemas de Posicionamiento Global en Costa Rica: Aplicaciones en Recursos Naturales. Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional. Heredia. 75 pp.
- FOWLER, C. and BARNES, G. 1992. Modeling the relationship between deforestation and malnutrition in Zaire using a geographic information system (GIS) approach. In: ASPRS/ACSM/RT 92 Technical Papers. Vol. 3: GIS and Cartography, pp. 24-33. Washington, D.C. August 3-8, 1992. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping. Bethesda, MD, USA.
- GIS WORLD. 1996a. Windows use to increase among GIS users. May, p.15.
- GIS WORLD. 1996b. Intergraph, Oracle to define "OLE for GIS data server". May, p. 13.

- GOODCHILD, M.F. 1991. The technological setting of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographic Information Systems. Principles and Applications. Vol. 1: Principles*, pp. 45-54. Longman Scientific and Technical, New York.
- GROSSWELL, P.L. and CLARK, S.R. 1988. Trends in automated mapping and geographical information system hardware. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54: 1571-1576.
- INGRAM, I.K. and PHILLIPS, W. 1987. Geographic information processing using a SQL-based query language. *Proceedings of AutoCarto8. ASPRS/ACSM, Falls Church*, pp. 326-335.
- LAFARGUE, B. and POUULLAOUEC-GONIDEC, P. 1991. GIS and landscape concept, applied to the management of the Paul-Sauve Park. In: *Proceedings: Resource Technology 90. Second International Symposium on Advanced Technology in Natural Resources Management. Georgetown University Conference Center, Washington, D.C. November 12-15, 1990*, pp. 339-352. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, USA.
- MAGUIRE, D.J. 1991. An overview on definition of GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographic Information Systems. Principles and Applications. Vol. 1: Principles*, pp. 9-20. Longman Scientific and Technical, New York.
- MARBLE, D.F. and AMUNDSON, S.E. 1988. Microcomputer-based geographical information systems and their role in urban and regional planning. *Environment and Planning. B: Planning and Design. Vol. 15*: 305-324.
- McHARG, I.L. 1969. *Design with nature*. Doubleday, New York.
- OPENSHAW, S. 1991. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographic Information Systems. Principles and Applications. Vol. 1: Principles*, pp. 389-402. Longman Scientific and Technical, New York.
- RAJANI, PURVI. 1995. Key players push geographic information technology into mainstream markets. *GIS World, Vol. 8(11)*: 44-46, 48, 50, 52 y 54.
- RUBIN, T. 1992. Using common database and spreadsheet/plotting programs as inexpensive geographic information systems. In: *Geographic Information Systems (GIS) and Mapping. Practices and Standards*. Johnson, A.I., Petterson, C.B. and Furton, J.L. (eds.). ASTM STP 1126. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, pp. 97-105.
- TOMLIN, C.D. 1983. Digital cartographic modelling techniques in environmental management. Doctoral dissertation. School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, New Haven, Connecticut, USA.
- TOMLIN, C.D. 1991. Cartographic modelling. In: Maguire, D.J., Goodchild, M.F. and Rhind, D.W. (eds.). *Geographic Information Systems. Principles and Applications. Vol. 1: Principles*, pp. 361-374. Longman Scientific and Technical, New York.
- VALENZUELA, C. 1988. ILWIS overview. *ITC (Holanda). Publication Number 7*, pp. 4-14.