

Pasado, presente y futuro de los sistemas de información geográfica

*Dr. José Seguinot Barbosa
Recinto de Ciencias Médicas
Universidad de Puerto Rico*

Introducción

La ciencia de los sistemas de información geográfica (SIG) ha alcanzado una madurez tal, que ya no se cuestiona su identidad propia ni su relación con las disciplinas afines, de las cuales se nutre a la vez que se desarrolla. Ha transcurrido el tiempo suficiente para que esta disciplina, que el mismo Bosque Sendra (1999) define como *la naciente Ciencia de la Información geográfica*, crezca y se desarrolle con sus propios métodos y técnicas. Cuando menos han pasado cerca de cincuenta años de evolución y, si nos queremos remontar a los orígenes de la cartografía tradicional, han transcurrido varios milenios. Sin embargo, no tenemos que ir tan lejos, pues casi todos los practicantes de los SIG coinciden en que es una ciencia joven que aún tiene un largo camino por recorrer.

Este capítulo no pretende reconstruir esos cincuenta años de historia y evolución de los SIG. Sólo queremos, a modo didáctico, sintetizar los eventos y las personalidades que han contribuido a que se desarrolle esta disciplina. De hecho, esta historia ya la han reconstruido varios autores, entre los que se destacan Bosque Sendra (1997, 1999), Gutiérrez Puebla (1994), Díaz Cisneros (2000) y Jack Dangermond (1995). Como la historia ya ha sido contada por los propios actores, trataremos de presentar aquellos aspectos en los que los autores coinciden y de aportar nuestras ideas en la interpretación de ese desarrollo.

Para presentar la visión del presente y del futuro de los sistemas de información geográfica, sintetizaremos también, como hicimos en la visión del pasado, aquellos aspectos en los que los autores coinciden y aportaremos algunas ideas propias. Parece haber un consenso en el sentido de que los SIG son el producto de la evolución, tanto de la Geografía como de la ciencia de la Informática. Dentro de la Geografía, los SIG representan una revolución en sí mismos cuando se incorpora, a la Cartografía, el diseño de los mapas digitales. Éstos son asuntos en los que existe un

consenso básico del cual se parte para ubicar un punto de comienzo y una fecha o época de partida.

Algunas personas podrían sostener que los SIG han existido siempre. También podrían decir que la superimposición de mapas análogos es algo que se practica desde tiempos inmemoriales. En principio, eso es cierto porque una de las herramientas que hacen poderoso a un SIG es la capacidad de sobreponer capas de información. No obstante, la diferencia entre hacerlo manual o por un medio mecanizado es fundamental, pues, no sólo se trata de sobreponer capas, sino de crear toda una estructura geográfica que pueda manipularse e incluso analizarse y modelarse.

Cuando se trabaja con mapas análogos, éstos pueden interpretarse y analizarse con ciertas limitaciones. Los mapas digitales pueden modificarse e interpretarse mediante técnicas espaciales, y se prestan para crear diferentes escenarios geográficos en los que se pone a prueba la denominada inteligencia artificial. Este hecho en sí mismo representa una evolución sustancial en la forma como se manejan y se utilizan los mapas. Cuando se incorporan otras ramas y otras técnicas del conocimiento espacial, como los sistemas de teledetección, los de posicionamiento global y la fotogrametría, con los nuevos componentes de manejo de bases de datos, visualización, representación digital y vídeo, estamos seguros de que nos encontramos frente a una nueva forma de apreciar y manejar lo que siempre hemos llamado *mapas*. A esa nueva ciencia integracionista es la que hemos denominado la *Ciencia de la Información geográfica (CIG)*. Sin lugar a dudas, ésta es la ciencia de los sistemas de información geográfica (SIG).

El pasado

La mayoría de los autores ubican el comienzo del desarrollo de los SIG como parte de la revolución cuantitativa que ocurrió en la década de los cincuenta. En ese entonces, se sentaron los primeros fundamentos teóricos: particularmente, las entidades geográficas (los puntos, las líneas y las áreas). Se hablaba de Hagerstrand, con los modelos de difusión; de Bunge, con las entidades; de Ullman, con la interacción espacial; y de Garrison y Nystuen, con la topología, entre otros, como los teóricos precursores de los SIG. Bryan Berry es una figura central en este proceso, pues con el desarrollo de las estadísticas aplicadas logra integrar el concepto de una base de datos de atributos a las entidades geográficas. Esto sienta las bases para el desarrollo de los SIG vectoriales. Por su parte, Hagerstrand había desarrollado la estructura de retícula que, luego, sirvió de base al desarrollo de los sistemas *raster*. Casi todo este desarrollo tuvo lugar en la década de los sesenta cuando todavía no había aparecido el primer SIG computadorizado.

La década de los setenta permite el continuo desarrollo de los análisis espaciales. Se crean nuevos modelos matemáticos y estadísticos, pero aún el terreno

no estaba maduro para la aparición de un SIG. Según Gutiérrez Puebla (1994), en la década de los ochenta el análisis espacial pasó a un segundo plano por la irrupción de las tendencias radicales y humanísticas en la Geografía. De acuerdo con su trabajo, hubo que esperar a los noventa para que el análisis espacial volviese a ocupar un primer plano.

Según mi criterio, la década de los ochenta fue un período de transición entre los sistemas computadorizados grandes (*main frame*) y los personales (PC). Fue precisamente con la aparición de los sistemas personales, a finales de los ochenta, que se inició una revolución en la informática, y se pusieron, a la disposición de los usuarios, programas y ordenadores que hasta ahora estaban reservados para las grandes empresas y el Gobierno. Los SIG fueron parte de esta nueva revolución, y se difundieron rápidamente desde mediados de los ochenta.

Desde el punto de vista tecnológico, el primer SIG apareció en Canadá en los años sesenta. El sistema de información geográfica de Canadá (CGIS, por sus siglas en inglés) produjo su propio sistema y su propia base de datos mediante el barrido de imágenes que, luego, eran vectorizadas. Este sistema dividió al país en diferentes hojas, creó capas temáticas, codificó y creó topología y sirvió para elaborar el inventario forestal de Canadá.

Un segundo paso en el desarrollo computadorizado de los SIG fue el desarrollo del Laboratorio para Gráficas Computadorizadas y Análisis Espacial de la Universidad de Harvard. Allí se creó el SYMAP, el cual se podría considerar como el programa de *SIG raster* más avanzado de aquel momento y que servía para diseñar mapas temáticos. Laboratorio de Harvard desarrolló, posteriormente, otros programas de SIG entre los cuales Odyssey fue el más conocido. Sin embargo, la mayor contribución de este laboratorio no fue la programación; por el contrario, fue el desarrollo de las ideas que difundieron por el mundo importantes figuras que habían trabajado en el laboratorio. Entre estas personalidades están J. Dangermond (presidente de ESRI), L. Jordan (presidente de ERDAS) y B. J. L. Berry, W. Warntz y D. Sinton (directivos de intergraph).

Las agencias del gobierno federal de los Estados Unidos también han hecho una contribución importante en la evolución de los SIG. Los programas de digitalización del Servicio Geológico Federal (USGS, por sus siglas en inglés) y los del Censo tienen más de cuarenta años. El Negociado Federal del Censo comenzó en los años sesenta el desarrollo de los archivos Dual Independent Map Encoding (DIME). Estos archivos vectoriales permitían codificar las manzanas y las calles, a la vez que integraban las direcciones.

En los años ochenta, el Censo creó la nueva estructura conocida como TIGER, la cual aplicó por vez primera en el Censo de 1990. El Servicio Geológico Federal, por su parte, creó sus propios sistemas de digitalización que han culminado en los DLG

(digital line graphics) y en los DEM (digital elevation model). Además, han desarrollado SIG especializados para estimar y evaluar inundaciones, entre otras muchas aplicaciones.

Mientras el Gobierno ha concentrado sus energías en desarrollar bases de datos, la empresa privada concentró sus esfuerzos iniciales en desarrollar los programas de SIG. A pesar de que hoy existen cientos de programas de SIG, el mercado está controlado por unas pocas empresas; entre ellas, ESRI (Environmental Systems Research Institute) que, casi seguro, es la de mayor nombre. Otras muy conocidas son Intergraph, Erdas, Strategic Mapping, Mapinfo, etc.. Los productos principales de ESRI son ArcInfo, ArcView, y Atlas. ESRI posee todo un andamiaje en módulos para aplicaciones especiales y un programa de venta y distribución de datos conocidos como ArcData. Sin lugar a dudas, ESRI e Intergraph se disputan el dominio del mercado global en sistemas de información geográfica.

Las universidades han desempeñado una función muy importante en la historia de los SIG. Ya hemos establecido la importancia que tuvo el laboratorio de la Universidad de Harvard en el inicio y la difusión de las ideas del análisis espacial. La Universidad del Estado de Washington tuvo una aportación valiosa durante los primeros años de aparición de los SIG. Allí se iniciaron, a principio de los sesenta, los trabajos de cartografía automatizada que, luego, sirvieron de base a la implantación de los SIG.

La Universidad de Clark, en Worcester, Massachusetts, estableció, en la década de los ochenta, el laboratorio de SIG que desarrolló uno de los programas más difundidos internacionalmente y que lleva por nombre IDRISI. Éste es un sistema *raster* que, además de procesar imágenes, integra datos vectoriales. Es un producto que, para la capacidad que tiene, es muy accesible, dado que su costo, en relación con sus competidores, es relativamente bajo.

En Puerto Rico, podríamos decir que el nacimiento y el desarrollo de los SIG ha tenido lugar dentro del espacio provisto por las universidades, particularmente la Universidad de Puerto Rico. Desde mi perspectiva, limitada a la propia experiencia y a las relaciones interpersonales, todo comenzó en el seno del Departamento de Geografía de la Universidad de Puerto Rico en Río Piedras (UPR), allá para el año 1973. En este momento, el ingeniero Carlos Cáceres ofreció el curso de Fotogrametría y Fotointerpretación. De ese curso surgió un grupo de estudiantes interesados en la Cartografía y en la Fotointerpretación. Parte de ese grupo fue a trabajar como fotointerpretores al Departamento de Recursos Naturales, otros fueron a la Oficina de Planificación de la Comisión Estatal de Elecciones y varios fueron al Servicio Geológico en calidad de técnicos. A esa clase de 1973 pertenecía el Dr. José Molinelli, actual director del Programa de Ciencias Ambientales de la UPR, y este servidor. El curso del Ing. Cáceres se ofreció hasta finales de los setenta, por lo cual fueron varias generaciones de estudiantes los beneficiados.

A principio de los ochenta, tuve el privilegio de ofrecer los cursos de Fotointerpretación y Fotogrametría y el de Cartografía, en el Recinto de Río Piedras. En ambas materias, expuse los principios fundamentales de los SIG, los cuales había aprendido en los cursos que tomé en la Universidad del Estado de Louisiana. De mi grupo de estudiantes, se destacaron el Sr. Aurelio Castro y el Sr. Eduardo Escalona. Ambos, junto a otras personas, desarrollaron la Oficina de Sistemas de Información Geográfica de la Junta de Planificación. Bajo su liderato se creó el SIG más completo de Puerto Rico en el ámbito gubernamental. De esa Oficina, Escalona paso a trabajar en el Plan de Ordenación Territorial de Ponce, y Castro regresó a la UPR para crear varios cursos de SIG en el Programa de Salud Ambiental que dirigía Molinelli.

A principio de los noventa, el Dr. Ángel D. Cruz creó los cursos de SIG y de Percepción Remota en el Departamento de Geografía de la UPR. Desde entonces, esos cursos son parte del curriculum del Departamento. Para esa fecha, este servidor trabajaba en el Recinto de Ciencias Médicas en un proyecto desarrollado por el Censo conocido como el Instituto de Estudios Hemisféricos. En ese proyecto establecí, con la colaboración del Sr. Aurelio Castro, varios cursos de capacitación sobre Atlas GIS, ArcInfo, TIGER y ArcView. Fueron muchas las agencias y los consultores que se beneficiaron de ese programa. Con mi integración al Departamento de Salud Ambiental, creé el curso de SIG Aplicados a la Salud Ambiental. Para ofrecer ese curso, elaboramos este texto. Éstos son los hechos que resumen la historia de los SIG en el ambiente universitario de Río Piedras.

Otras universidades y recintos también han desarrollado sus propios cursos de SIG. Por ejemplo, la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, mejor conocida como el Colegio de Agricultura y Artes Mecánicas (CAAM), posee varios programas en los cuales se enseñan materias relacionadas con los SIG. Las facultades de Ingeniería Eléctrica y de Ingeniería Civil son las pioneras en el uso académico de esta tecnología. El profesor Ramón Vázquez, formado también en la Universidad de Louisiana, fue precursor de esta temática y contribuyó a la creación del LARSIP (Centro de Percepción Remota de Mayagüez). La Facultad de Ciencias Marinas y el Programa Sea Grant han sido también usuarios frecuentes de esta tecnología en sus proyectos de investigación. Además, en otras unidades de la UPR, se ha promovido desde hace tiempo el uso de los SIG. Entre ellas, podemos mencionar el Centro de Estudios Energéticos, la Escuela Graduada de Planificación y la Estación Experimental Agrícola, entre otros.

Durante la década del noventa, centros docentes privados, como la Universidad del Turabo, la Universidad Politécnica y la Universidad Metropolitana, han incorporado los SIG a su creciente curriculum. El ingeniero Cáceres incorporó la Cartografía y la Geodesia en la Universidad del Turabo, y ayudó al desarrollo del grado en la misma materia en la Universidad Politécnica. Más reciente ha sido la creación de un curso de SIG para obtener la maestría en Gerencia Ambiental que ofrece la UMET.

La empresa privada también ha hecho su contribución. Los productos de ESRI son representados por la compañía del Sr. Aurelio Castro, llamada *Computer Engineering*, y los de Intergraph los distribuye Habibe Computers. ESRI tiene presencia en casi todos los proyectos gubernamentales, de ordenación territorial y de carácter privado. Por su parte, Intergraph ha desarrollado varios proyectos de suma importancia para el crecimiento económico de Puerto Rico. Los dos más conocidos son los proyectos de manejo de instalaciones AM/FM de la Telefónica de Puerto Rico y el sistema catastral del CRIM (Centro de Recaudación de Ingresos Municipales).

El presente

Para nosotros el presente es el del nuevo milenio o siglo XXI. Estamos ubicados exactamente en el último trimestre del año 2000. En este momento histórico, ya los SIG llegaron para quedarse y para aplicarse en muchos y variados campos del conocimiento. Lo que parece ser cierto es que la disciplina continúa evolucionando tanto en su aspecto técnico como en el teórico, y que cada vez más personas alejadas de la Geografía y del análisis espacial la utilizan.

Como parte de su evolución natural, hoy se habla de una Ciencia de la Información geográfica (CIG). Bosque Sendra (1999) lo expresa muy bien en su trabajo titulado *La Ciencia de la Información Geográfica y la Geografía*. Bosque define esta ciencia como *un cuerpo de conocimiento que pretende el estudio, la investigación y el desarrollo de los conceptos teóricos, los algoritmos matemáticos, los programas informáticos, los instrumentos físicos, las bases de datos, las nuevas formas de uso y la búsqueda de nuevos campos de aplicación, con relación a las tecnologías de la información geográfica*.

Como aclaración de cada uno de los componentes de esta definición, Bosque Sendra propone los siguientes ejemplos. Los conceptos teóricos se refieren a la discusión de gran profundidad conceptual sobre la organización del espacio geográfico en forma de *campos* continuos o mediante la previa definición de *objetos* geográficos. Los algoritmos matemáticos e informáticos tratan de encontrar nuevas formas de resolver los modelos de localización-asignación mejorando el algoritmo de intercambio (el utilizado en la resolución de modelos de localización) o aplicándolos de manera más rápida mediante el uso de la computación en paralelo. Los programas informáticos se relacionan con el diseño de nuevas interfaces de acceso a los programas SIG, de manera que resulten más intuitivos y fáciles de utilizar por los usuarios inexpertos.

Los dispositivos físicos se refieren al empleo de instrumentos de realidad virtual para el manejo de programas SIG. Las bases de datos deben ser más eficientes (incluso en la dimensión temporal), interoperables y deben permitir los análisis y los tratamientos en distintas escalas espaciales. Las nuevas formas de uso tratan sobre el empleo del

GPS para la toma de datos sobre producciones agrarias, en un nivel de detalle espacial muy elevado, y dentro de los nuevos temas, entre los que aplican las tecnologías geográficas, está el desarrollo de la denominada *agricultura de precisión*.

Bosque Sendra (1999) define en su trabajo un amplio número de disciplinas ya existentes que están relacionadas, de alguna manera, con la naciente Ciencia de la Información Geográfica. Si utilizáramos sus propias palabras, tendríamos, por un lado, las disciplinas que han estudiado tradicionalmente la información geográfica: la Cartografía, la Teledetección, la Geodesia, la Topografía, la Fotogrametría, etc. Por otro lado, las que estudian la información geográfica en formato digital: la Informática (bases de datos, geometría computacional, reconocimiento de patrones, proceso de imágenes) y la Ciencia de la Información. También tendríamos las que estudian, de forma tradicional, la Tierra, en especial su superficie: la Geología, la Geofísica, la Oceanografía, la Agronomía, la Biología (la Ecología, la Biogeografía), las Ciencias Ambientales, la Geografía, la Sociología, la Antropología y otras. Además, las que pretenden integrar los conocimientos sobre la superficie terrestre procedentes de otras disciplinas: la Geografía, las Ciencias Ambientales, el cambio global, etc. Finalmente, aquellas que estudian la naturaleza del pensamiento del ser humano y su interacción con los ordenadores: la Psicología (Psicología Cognitiva y Psicología Ambiental), la Ciencia de la Cognición, la Inteligencia Artificial.

Más adelante, Bosque Sendra (1999) nos señala que la Ciencia de la Información Geográfica es una propuesta reciente de algunos autores norteamericanos (Goodchild, Wright, Goodchild y Proctor) que, en algunos lugares (Canadá, Australia, Francia), suele llamarse *Geomática*, y que recibe actualmente el creciente apoyo de diversas instituciones. Entre los hitos que marcan con claridad el surgimiento de esta nueva ciencia, incluye el NCGIA (USA) y su nuevo proyecto de investigación VARENIUS, centrado en el desarrollo conceptual de la nueva disciplina y la nueva versión del *Core curriculum* para SIG del NCGIA, ahora denominado *Core Curriculum for GIScience*.

La creación del Consorcio universitario para la CIG en Estados Unidos de América puede considerarse uno de los principales promotores de la creación de esta nueva disciplina. En diversas reuniones y congresos han elaborado una amplia documentación sobre el asunto, la cual está accesible por INTERNET (<http://www.ucgis.org>). En ella se enumeran una serie de temas como los más importantes para la investigación en la nueva ciencia. Entre estos temas se encuentran los siguientes:

- * La adquisición y la integración de los datos geográficos
- * La informática distribuida. Las bases de datos descentralizados
- * Las extensiones de la representación digital de los datos geográficos
- * La percepción y la cognición de la información geográfica
- * La interoperabilidad de la información geográfica
- * La escala espacial
- * El análisis espacial en un SIG

- * El futuro de la infraestructura de información espacial
 - * La incertidumbre en los datos geográficos y en los procesos de análisis de los SIG
- La Ciencia de la Información Geográfica y la sociedad

Para finalizar, Bosque Sendra hace una clasificación de las tecnologías de la información geográfica, pero antes las define como los procedimientos desarrollados para reunir y manipular (analizar) la información geográfica, en especial, aquella que se expresa en formato digital. De acuerdo con su criterio, existen varios tipos: las más antiguas, como la Topografía, la Geodesia y la Cartografía; otras más recientes, pero ya clásicas: la Fotointerpretación y la Fotogrametría y las más recientes y novedosas: GPS y GLONASS, constelación de satélites terrestres que permiten determinar con gran exactitud la posición geográfica sobre la superficie terrestre, mediante el uso de un receptor de radio. La teledetección, los sensores y las cámaras en órbita terrestre y aerotransportadas, permiten obtener información de diversos tipos sobre la superficie de la Tierra, mediante la obtención de imágenes digitales y su integración en base de datos. El SIG es un sistema de soporte físico (hardware), de soporte lógico (software), de datos y de usuarios, que permite capturar, almacenar, desplegar, cartografiar, y analizar información geográfica, ayudando a la toma de decisiones.

Con el nacimiento de la CIG comienza una nueva era de discusión conceptual y técnica de la ubicación de esta disciplina en el mundo del conocimiento. Esto plantea nuevos retos a los especialistas en informática espacial, entre los que se incluyen los geógrafos, los ingenieros, los arquitectos, los planificadores, los matemáticos y los informáticos. Lo cierto es que los SIG ya no pertenecen exclusivamente al mundo de los geógrafos, debido a que cada vez más usuarios sin formación espacial los utilizan. Esto a su vez plantea algunas dificultades en cuanto al uso y a la interpretación que se les da a los datos geográficos.

Entre los aspectos que es necesario investigar y mejorar en el contexto de esta nueva ciencia, están las siguientes:

- la creación y el diseño de mejores modelos espaciales
- el mejoramiento en la visualización gráfica de la dimensión de altitud
- la inclusión de la dimensión espacio-temporal
- la evaluación de la calidad y de los errores de los datos utilizados
- el mejoramiento en los métodos de análisis espacial
- la integración más armoniosa de los formatos de la información o su estandarización
- la integración de las escalas de análisis local, regional y global
- la simplificación de las aplicaciones específicas
- la producción de modelos visuales que se aproximen más a la realidad
- la búsqueda de medios para hacer más accesible la tecnología al público.

Éstos son sólo algunos de los retos que confronta esta materia en los comienzos del nuevo milenio.

Desde el punto de vista comercial, ESRI e Intergraph acaparan casi el cincuenta por ciento del mercado global. Eso significa que ellos continuarán desarrollando aplicaciones nuevas y que continuarán con su estrategia de mercadeo. Además, ofrecerán una versión nueva de su producto, cuando menos cada dos años. Claro está, el desarrollo y la utilización de los SIG varía con cada región y con cada país. Esto presupone que el mejor SIG es el que se tiene y el que se puede utilizar, aunque sea gratuito.

Los SIG se han difundido por todo el mundo, y han seguido los caminos de la desigual distribución económica que segrega a los países en desarrollados y en vías de desarrollo. Lógicamente, siendo una tecnología de punta, los países industrializados de América del Norte y Europa han alcanzado el mayor desarrollo y hoy constituyen la cuna de donde emergen los cambios en los nuevos SIG. Muchos países han optado por desarrollar sus sistemas de acuerdo con las necesidades internas. China, por ejemplo, utilizó este enfoque para desarrollar el sistema para el manejo de sus tierras; los países socialistas europeos siguieron un enfoque similar para inventariar sus recursos, y otros implantaron SIG para la creación de sus atlas nacionales (Díaz Cisneros, 2000).

Hoy día, con la difusión de las computadoras portátiles, cualquier persona con un limitado número de recursos puede tener un SIG básico y funcional. Incluso puede conseguir una versión gratis a través del Internet. Muchas bases de datos están disponibles gratuitamente y otras pueden conseguirse a un precio relativamente bajo. Las universidades poseen laboratorios en donde se ofrecen talleres y cursos regulares para beneficio de los usuarios. De hecho, la Universidad de Puerto Rico es una de las que posee más laboratorios y ofrece más cursos en el País. Actualmente, ofrecen cursos y laboratorios de informática para SIG el Departamento de Geografía, el Programa de Ciencias Ambientales y la Escuela Graduada de Planificación. En el Recinto de Ciencias Médicas tenemos un laboratorio con los programas de ESRI, Intergraph e Idrisi. Allí se ofrece un curso graduado regular y algunos adiestramientos, además de realizar investigación académica. Mayagüez tiene varios laboratorios ubicados en la Facultades de Ingeniería Civil y Eléctrica. El Centro de Estudios de Ecología Tropical también tiene otro laboratorio con equipo para sistemas *raster* y vectoriales. La UPR continua usando ampliamente estos sistemas para la enseñanza y la investigación; esto ha permitido producir algunos trabajos novedosos, tales como el Nuevo Atlas de Puerto Rico (Cruz Báez, 1999), entre otras muchas aplicaciones presentadas en este texto.

El Futuro

Aunque el futuro es siempre impredecible, podemos establecer, a base de las tendencias actuales, unas situaciones que pueden abordarse para el futuro. Jack

Dangermond (1995), presidente y fundador de ESRI, escribió hace apenas unos años un trabajo titulado *¿Hacia donde va la tecnología de los SIG?* Según su opinión, la tecnología de los SIG cuenta con una tradición de unos 25 años, una tradición relativamente joven en la vida de las nuevas tecnologías. Sin embargo, esta juventud se manifiesta en el creciente uso que se les da a los SIG actualmente, un crecimiento mucho más rápido que en ningún momento del pasado.

En años recientes, nos dice Dangermond, el uso de los SIG se ha incrementado gradualmente en una proporción entre el 25% y el 40% anual en algunos lugares. En el año 2000 habrá de 5 a 10 millones de usuarios de SIG en el mundo, lo cual significa un incremento de 100 veces o una duplicación cada dos años. Por la naturaleza de este crecimiento, las características del usuario típico de los SIG variarán radicalmente. Por eso, la mayoría de usuarios de los SIG en los próximos diez años serán personas que hoy no conocen lo que es un SIG, y que no pueden imaginar siquiera la cantidad de problemas que la tecnología SIG es capaz de resolver.

Estos nuevos usuarios tendrán mayores experiencias que los usuarios de los 80; dispondrán de más recursos y verán multiplicados los efectos sinérgicos. Como el número de usuarios está creciendo, aumentará también el número de firmas que les ofrezcan apoyo. Los Gobiernos se convertirán en proveedores directos de servicios de datos para los ciudadanos. El desarrollo garantizará que los ordenadores en los que se implantarán los futuros SIG sean mucho más rápidos, más pequeños, más confiables y equipados y con una mayor memoria y capacidad para almacenar datos. La potencia del ordenador estará orientada a mejorar la rapidez, a hacer más intuitivas y más gráficas las interfaces de los usuarios SIG, y a ser tan sencillas de utilizar que, cada vez, más sistemas se tendrán que vender sin instrucciones.

La recopilación, la estandarización, la integración y la automatización de datos continuará siendo un problema, especialmente porque se introducirán en los SIG nuevos tipos de datos. Por ejemplo, los de análisis químicos, datos atmosféricos, información urbana en tres dimensiones y datos geográficos. Uno de los logros más importantes en la recopilación de datos para la próxima década será la fabricación de mecanismos de medición en tamaños de miniaturas. Estos mecanismos, construidos con la misma tecnología con la que se crean ahora los microprocesadores (algunas veces llamada *nanotecnología*), se comunicarán con estaciones centrales. Estas se autolocalizarán mediante el uso de los sistemas de posicionamiento global (GPS), y se especializarán en recopilar formas particulares de datos que ahora deben recogerse mediante el trabajo de campo.

Una visualización radiográfica, apoyada por inteligencia artificial y por procesos paralelos, mejorará lo suficiente como para que los mapas impresos, los dibujos y los documentos puedan capturarse sin intervención humana, excepto en el proceso de estandarización de datos. La disciplina específica de la entrada y la captura de datos en estaciones de trabajo empezará a estar disponible. El progreso se reflejará entonces

en la disponibilidad inmediata de información que ahora espera formar parte de los SIG.

Las bases de datos geográficos tendrán más capacidad, tanto para el almacenamiento de datos como en el área de cobertura; la densidad de datos se incrementará, y la variedad de recursos de información disponibles para los usuarios de los SIG comenzará a crecer pronto. El incremento en el número de bases de datos SIG será global y sus datos estarán al alcance de los usuarios alrededor del Planeta. Las bases de datos a las que podrán acceder los usuarios serán de 10 a 100 veces mayores que aquéllas a las que hoy tienen acceso. Con este gigantesco crecimiento de usuarios, la mayoría de los cuales querrán datos sobre su propia área local geográfica, muchas compañías y firmas trabajarán en ofrecer recursos de esa información geográfica local, y se especializarán en distintos tipos de datos. Como mínimo, existirán miles de firmas, probablemente el número se sitúe en los 10,000, y se distribuirán por todo el mundo.

Es claro que en los próximos años, el CD-ROM alcanzará un significado extremadamente importante en cuanto al almacenamiento y la distribución de información de los SIG a los nuevos usuarios de todo el mundo. Es probable que la durabilidad, la mayor capacidad de almacenamiento, el acceso rápido e interactivo, la capacidad multimedia y otras de sus características faciliten a los usuarios de los SIG la elección de la forma como almacenarán los datos. En un futuro algo lejano, la infraestructura de las comunicaciones sostendrá la transmisión rápida de cantidades de datos referenciados espacialmente y los distintos tipos de información relacionada, además de permitir esa transmisión a cualquier parte del mundo.

Los SIG continuarán con su función de integradores de información, y facilitarán a los usuarios abundante información. El SIG multimedia, capaz de trabajar con información *raster* y vectorial, CAD, sonido, imágenes, dibujos animados, vídeos, imágenes en movimiento y texto, llegará a estar rápidamente disponible en CD-ROM. La necesidad de inventar nuevos algoritmos para la manipulación de información en cuatro dimensiones, los mejores requerimientos para el procesamiento y el almacenamiento de datos y la necesidad de nuevas ideas en la visualización de estos datos requerirá mucha imaginación técnica. Las imágenes en tres dimensiones, las secuencias temporales y los mapas de alta definición se utilizarán para crear presentaciones de vídeos animados.

Conviene prestar atención a los Sistemas de Información Espacial (SIE), diferentes de los Sistemas de Información Geográfica. Los SIE probablemente se pondrán al servicio de campos como la medicina, la biología molecular, la nanotecnología, la manufacturación, la ciencia del medio ambiente y, entre otras, múltiples áreas que incluirán las humanidades y las artes. Con el apoyo de las posibilidades multimedia, el resultado de varios modelos de los SIG estarán disponibles de tal forma que se ofrecerá a los usuarios un sentido más concreto de las

consecuencias de las interacciones de un sistema. Algunos tipos de estos modelos tendrán una gran aceptación y un uso cotidiano, como herramientas de ayuda en la toma de decisiones. Cada vez más, la cantidad de problemas que se tratan a partir del uso de los SIG será más el resultado de los esfuerzos especializados en un proyecto.

Finalmente, dentro de unos años, todas las escuelas utilizarán los SIG para enseñar a los alumnos a través de extensos y competentes cursos. Las ideas de Dangermond, expresadas en los párrafos anteriores, son realmente revolucionarias. Éstas tienen un gran impacto, máxime cuando vienen del presidente de la compañía ESRI.

Gutiérrez Puebla (1994) resume algunas tendencias del futuro de los SIG, las cuales pueden resumirse en los lineamientos siguientes:

- mayor capacidad de integración de los datos
- diseño de bases de metadatos (datos sobre los datos)
- mayor interacción *SIG-usuario*
- desarrollo de nuevas aplicaciones especializadas
- aparición de lenguajes espaciales y de hipermedia (realidad virtual)
- mejoramiento de los sistemas de inteligencia artificial
- mejoramiento de los sistemas para el almacenamiento de datos.

Algunos aspectos que van más allá de la tecnología y la información y que son de particular interés para el futuro incluyen la calidad de la información geográfica, la privacidad de la información, la apertura de los SIG en un mundo globalizado y el uso cotidiano de un SIG para situaciones de emergencia y de seguridad personal. Si el mundo continúa como va, será muy fácil tener un SIG integrado a nuestro teléfono móvil (celular) que nos dirá dónde estamos y nos representará la ruta más directa para llegar adonde queramos ir. Además, podremos enviar a través de la Internet nuestros propios mapas a un centro de intercambio de información espacial.

Aunque parece imaginario, esto es sólo una pequeña parte del futuro que nos depara. Claro está, antes de llegar a ese punto, es menester resolver muchos problemas globales asociados no sólo a la tecnología, sino a los problemas sociales y ambientales que vive la humanidad. Pero, incluso en la búsqueda de una mayor justicia social, ambiental y espacial, esta tecnología también puede ayudar.