

Santiago, Chile
20-22 octubre de 1999
Centro de Convenciones Diego Portales

**Diez hitos y tres conjeturas:
Navegando la senda hacia la ciencia de información geográfica**

por

**Keith C. Clarke
Profesor y Director de NCGIA (Santa Barbara)
Departamento de Geografía
UC Santa Barbara
Santa Barbara
CA 93106-4060 USA
kclarke@geog.ucsb.edu**

EXTRACTO

La senda desde el pasado hasta el presente de los sistemas de información geográfica es revisada respecto a diez hitos relacionados con la provisión de datos, métodos, tecnología y organizaciones humanas que han ayudado a lo largo de la trayectoria, culminando en la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales. Se discuten brevemente tres futuras direcciones para los Sistemas de Información Geográfica (SIG), incluyendo computación ubicua, las consecuencias de una época repleta de datos, y SIG diseñados para la participación del público en la toma de decisiones. Se ve que SIG ha evolucionado a partir de una tecnología, a través de una serie de tecnologías y se ha transformado en un nuevo enfoque para la actividad científica en las ciencias espaciales.

Introducción

En los EE.UU., SIG ha formado una serie de tecnologías de manejo

de información que han transformado de manera permanente la forma en que todos los datos, especialmente los datos geográficos, influyen en los flujos de bienes y servicios en la economía de información. SIG ha sido usado para administrar efectivamente la actividad económica, racionalizar la recopilación y disponibilidad de información catastral, mejorar el desarrollo de planos y administrar recursos naturales, y reconstruir los mapas y datos de referencia geográfica proporcionados por civiles y organizaciones de cartografía militar. No faltan historias exitosas de aplicaciones SIG en estos días. Sin embargo, esto no siempre ha sido el caso. SIG ha tenido que recorrer un camino retorcido y deformado hacia el progreso tecnológico. En todos los casos, la tecnología SIG ha jugado un papel menos significativo que el impacto del efecto transformador de SIG en las organizaciones y actividades humanas. Las consecuencias de ese cambio permanente seguirán afectando la manera de hacer negocios en el mundo de aquí a mucho tiempo más.

En esta presentación, proporcionaré un análisis muy personal de los puntos críticos a lo largo del camino de progreso SIG. Utilizaré, para ser breve, diez hitos claves en el trayecto de la ciencia de información geográfica. En todos los casos, los hitos han indicado el horizonte, y quién sabe qué habría ocurrido si se hubiese tomado el camino menos transitado.

Los diez hitos caen tácitamente dentro de cuatro categorías. Éstas son: tecnologías, métodos, datos y organizaciones. Analizaré cada una de éstas a su vez. El primer hito será por supuesto, tecnología, ya que la ciencia de información geográfica es sobre todo una tecnología de información, y una que ha sido alimentado por una serie de geotecnologías espectacularmente exitosas. De todas éstas, voy a analizar dos que se relacionan con el espacio y uno que se relaciona con software computacional. Claro que existen muchas más, pero presentaré tres de los favoritos. Presentaré sólo dos ejemplos de métodos, el primero siendo un enfoque ampliamente utilizado y el segundo todo un sistema de ingeniería de software que nos ha dado los SIG de hoy. En cuanto a datos, presentaré sólo dos ejemplos de programas históricos y contemporáneos que han dado a los Estados Unidos el liderazgo mundial en todo lo concerniente a disposición de datos. Esta disposición abierta de datos y sus consecuencias será el tema de mi conclusión. Finalmente, presentaré algunos de los

elementos más importantes y a la vez menos atractivos del éxito SIG, la construcción y administración efectiva de organizaciones humanas para el control y uso constructivo de SIG y sus bases de datos componentes. La creación de una infraestructura nacional de datos espaciales en los Estados Unidos representa en gran parte el logro máximo de estas organizaciones.

Sin embargo, una discusión de los hitos y una travesía, aunque sean suficientes para tratar el pasado y el futuro de SIG, ignorarían el futuro. Para dar una idea del hito futuro para SIG en los Estados Unidos, he seleccionado algunas sendas y he medido las dimensiones de una de éstas lo más que pude. Ésta es una senda que demuestra una nueva era SIG, una que lleva algunos nuevos (y otros antiguos) temas a la vanguardia. No obstante, antes de mirar hacia el futuro, invito a mi audiencia a acompañarme y reflexionar sobre doce hitos en la senda hacia la Ciencia de Información Geográfica.

Hito 1: El programa CORONA

Cuadro 1: El satélite CORONA

Doce años antes de Landsat, cuando el software contemporáneo era sólo un sueño, los Estados Unidos logró rescatar exitosamente su primera imagen satelital desde el espacio, no como parte de un programa científico abierto, sino profundamente oculto en los niveles clasificados del programa ultrasecreto CORONA de la Fuerza Aérea y de la CIA (Day et al, 1998; Peebles, 1997; McDonald, 1998). El satélite CORONA fue diseñado para reemplazar los arriesgados vuelos de reconocimiento del avión U-2 sobre la Unión Soviética. Se trataba de un sistema satelital de retorno de película, lo cual a mediados de los años 60 había sido mejorado hasta alcanzar una resolución de imágenes de 2 metros (seis pies) sobre un área de 16 km por 190 km. Al tiempo de cancelar el programa en 1972, ya se habían reproducido más de 800,000 imágenes desde el espacio. A pesar de la Guerra Fría, se había utilizado el satélite CORONA para elaborar mapas a una escala de 1:250,000 y para mejorar mapas de todos los continentes de África, Asia, Antártica y América del Norte. Esto se logró debido a una relación de trabajo sin precedentes entre las fuerzas militares, inteligencia y agencias civiles de elaboración de mapas. Sin embargo, es probable que la mayor contribución del

satélite CORONA al mundo de SIG fue que gracias al programa se vio que los antiguos datos basados en naciones eran inadecuados para las ciencias del espacio y la elaboración de mapas globales. Como consecuencia, el programa CORONA motivó la coordinación de datos geodéticos a nivel mundial, y a partir de éstos y de otras fuentes se crearon los primeros datos centrados en la tierra para la elaboración de mapas, los cuales eventualmente llegaron a ser el WGS-84. En forma lenta pero segura la integración de sistemas que se derivó del programa CORONA, incluyendo el hardware, software, conocimiento y ciencia llegó al ámbito público, donde dio origen a SIG, SLT a muchos de los componentes de la ciencia geográfica y de elaboración de mapas que hoy damos por sentados. En 1995 se declasificó el programa CORONA y sus imágenes pueden ser revisados y adquiridos de USGS. Incluso hasta hoy, la contribución de CORONA ha sido prácticamente ignorada, por ejemplo por Goran (1998). Por muy valiosa que sean las imágenes como la primera visión de la tierra, el legado perdurable de CORONA en cuanto a SIG lo representan la tecnología, la ciencia y las organizaciones.

Hito Dos: Odyssey

Cuadro 2: Mapa primitivo de computación de SYMAP (1965)

Chrisman (1998) ha indicado que el sector académico jugó un papel importante en el desarrollo de SIG porque "el sector académico se puede dar el lujo de intentar nuevas aproximaciones de alto riesgo..." Aunque muchas de las raíces intelectuales de los SIG tienen su base en University of Washington en Seattle, la contribución práctica del software fue liderada por la Escuela de Graduados de diseño en Harvard University. Comenzando con SYMAP en 1965, el laboratorio creó una serie de programas innovadores de software incluyendo GRID y PIOS. Sin embargo, fue el primer paquete integrado de software, Un SIG Fortran llamado Odyssey, que sirve como un marcador de avance tecnológico. Odyssey fue el producto de esfuerzos paralelos que se enfocaban principalmente en los recursos naturales (tales como IMGRID, y fue la primera en incorporar el control interactivo, un lenguaje de mando, una estructura de datos sobre vectores e incorporar estructuras de datos topológicos. Cuando el

grupo de programadores se salió del proyecto Odyssey, ocuparon puestos académicos y industriales, los cuales influyeron en forma significativa el futuro de SIG. Entre éstos se encontraba Scott Morehouse, quien se incorporó a una pequeña empresa recién formada en Redlands, California, que en ese entonces trabajaba en SIG de propósitos generales y se llamaba Environmental Systems Research Institute (ESRI). En ese tiempo trabajaban en un nuevo paquete basado en minicomputadores conocido como Arc/Info.

Un elemento duradero del esfuerzo de desarrollo de Odyssey ha sido el deseo de las universidades de EE.UU. de mantener el contacto con el brazo de software de SIG. Muchos SIG tienen su origen directo en las universidades, tales como Idrisi en Clark University, y MAP con Dana Tomlin en Yale School of Forestry y University of Colorado. El eslabón entre investigación y el progreso SIG se ha hecho cada vez más importante con los años, y en muchos casos los períodos más importantes de desarrollo han sido cuando las universidades, el gobierno y la industria han trabajado juntos en SIG.

Hito 3: El Sistema de Localización Terrestre

Cuadro 3. Usando SLT para elaborar un mapa de un camino en Guatemala

El Sistema de Localización Terrestre es un grupo de satélites con órbitas terrestres que generan señales de tiempo que están disponibles en cualquier parte de la superficie o sobre de la tierra, 24 horas al día y bajo toda condición climática, que se puede usar para determinar la localización precisa de un receptor SLT en tres dimensiones (Lecik, 1995; Kaplan, 1996). El Ministerio de Defensa de EE.UU. financia y controla el SPG, y aunque las señales militares son codificadas, existe una alta disposición de correcciones de señal que permitan georeferencias, localización y navegación en niveles de precisión más altos que un metro sobre la superficie.

Aproximadamente al mismo tiempo que el SLT entró en operaciones en 1995, se adaptaron muchos programas SIG para que los datos de las unidades SLT y los datos posprocesados por software SLT pudieran ser integrados directamente al SIG. Muchos vendedores de

SLT permiten la exportación directamente desde su software a los formatos de ingreso de los principales paquetes SIG.

El SLT ha generado toda una nueva serie de aplicaciones SIG. Se puede recolectar datos en diversos puntos, por ejemplo en las ubicaciones de los cables de alta tensión, o siguiendo las líneas del camino con un auto equipado con SLT, o delinear los bordes de un bosque o de un lago en el campo. Los datos son precisos después de ser corregidos, y son de precisión conocida todo el tiempo. El aspecto revolucionario del SLT es que incorpora mediciones directas del campo como una fuente de datos geográficos, en donde muchas veces sólo los mapas y las imágenes satelitales fueron la fuente de información SLT. Se ha integrado el SLT en otros productos de consumo, como por ejemplo los teléfonos celulares, sistemas de dirección de automóviles, y en los asistentes personales digitales. El SLT es de alto valor no sólo en la agrimensura, en donde la mayoría de la agrimensura geodésica y gran parte de la agrimensura topográfica y catastral ahora dependen del SLT, pero también en muchas aplicaciones muy populares como excursiones deportivas, directorios espaciales, y guiaje personal. El SLT marca un verdadero hito en el progreso SIG, simplemente porque ha hecho que los importantes datos georeferenciados que los SIG apoyan estén disponibles desde una serie económica y altamente flexible de tecnologías de localización.

Hito 4: Superposición de mapas

Uno de las acciones más simples pero profundamente útiles que posibilitan los SIG es la reunión de datos geográficos recolectados en diferentes escalas y sobre distintos temas para que éstas puedan usarse juntos. La operación SIG se llama superposición de mapas y consiste en funciones que permiten la asimilación de mapas (variaciones en escala y proyección, conversión de coordenados, unión de mapas, etc.) y permiten la combinación de diferentes niveles de mapas. El uso de mapas de hojas transparentes superpuestas data de la Segunda Guerra Mundial y el Alto Mando Alemán, pero luego fue adaptado para la planificación de paisajes, apareciendo por primera vez en el libro de Jacqueline Tyrwhitt sobre métodos de planificación en el año 1950 (Steinitz et al., 1976). Este método fue popularizado

por Ian McHarg en su libro *Design with Nature* (McHarg, 1969). En este libro, las diferentes restricciones ambientales fueron reunidas como mapas de hojas transparentes superpuestas, y se creó un compuesto como una solución para los problemas de localización y emplazamiento en la planificación urbana y rural.

El método de mapas de hojas transparentes superpuestas resultó ser muy afín al lenguaje del computador. Si se pudieran reunir mapas temáticos sobre una base de referencia común, el computador no sólo combinaría las partes aceptables y inaceptables de cada nivel, sino que los niveles también podrían ser pesados y combinados según los esquemas elaborados por los usuarios SIG (Chrisman, 1997).

Monmonier entrega un estudio de casos del uso de SIG en seleccionar un sitio para botar los desechos radioactivos de bajo nivel del estado de Nueva York (Monmonier, 1995). La superposición de mapas ha comprobado ser extremadamente resistente en el escenario de las aplicaciones SIG. Dana Tomlin formalizó los métodos de superposición de mapas en los SIG basados en cuadrículas, y al resultado le puso el nombre de *Map algebra*, un lenguaje formal para la combinación de mapas (Tomlin, 1990). Se incorporó rápidamente el álgebra de mapas a los SIG, especialmente en el paquete MAP, GRASS, Idrisi y otros. Se han difundido bastante las aplicaciones a problemas de recursos naturales, especialmente los que usan datos satelitales, mapas digitales de terreno, y niveles derivados tales como inclinación, aspecto, insolación y acumulación de inclinación en bajada. Otro impacto significativo de este enfoque ha sido la interconexión entre SIG como sistemas de administración de datos y las capacidades de visualización y moldeo de programas paralelos de software. Este enfoque está bien representado en una serie de reuniones que investigan las relaciones entre SIG y el moldeo ambiental (Goodchild et al., 1996; NCGIA, 1996). Entre las transformaciones cartográficas claves de datos terrenales se encuentran el cálculo de intervisibilidad o *viewshed*, las mediciones de inclinación y aspecto, particionamiento de terreno en *watersheds*, simulación de drenaje, incendios forestales, crecimiento urbano, variaciones en el uso de terreno y muchos otros fenómenos. Estos datos están siendo controlados cada vez más debido a los márgenes de error asociados con varios pasos de superposición y procesamiento, utilizando nuevos métodos como imágenes estocásticas.

Cuadro 4: Las páginas Web del mapa de Sacramento, California

Los SIG han avanzado significativamente desde los días de los modelos de datos simples conocidos como raster, vector y table. Un modelo de datos es la representación lógica de datos que permite su codificación en una forma legible para el computador. Los SIG siempre han tenido que lidiar con dos tipos de separados de modelos de datos, uno para los datos y uno para el mapa. El modelo de datos para la información ha seguido de cerca el campo de desarrollo acelerado de los sistemas de manejo de bases de datos (SMBD). En esta área, el dominio del SMBD relacional, basado en tablas simples y la relación entre ellos también se ha aplicado a los SIG. En consecuencia, hemos visto el desarrollo de los modelos georelacionales de datos en los cuales los datos están atados a tablas tanto para la geometría como para los atributos. La estructura Arc/Node es un buen ejemplo. La unión con los modelos topológicos y vectores también ha dominado los SIG, a menudo a expensas de los sistemas basados en raster, los cuales se desarrollaron en direcciones diferentes a los SIG.

Hay tres cosas que han alterado este arreglo simple en forma permanente. Primero, los SMBD avanzados se han convertido en motores de bases de datos altamente capaces que pueden funcionar para facilitar a gran escala el almacenamiento de datos en sistemas de computación grandes y distribuidos. El motor de bases de datos espaciales de ESRI y *Spatial* de Oracle son ejemplos de bases de datos geográficos con avanzadas capacidades de manejo que permiten interacción tipo Structured Query Language, con bases normalizadas y con conexiones directas al componente de gráfica de los SIG. Esto le ha dado a los SIG una medida de "fuerza industrial" con relación a la capacidad de manejo de datos. En segundo lugar, el aumento en la aceptación y uso del paradigma orientado al objeto ha tenido un impacto significativo en los SIG.

Se contrataron 250,000 enumeradores por el censo para hacer seguimiento calle a calle en el formulario de censo enviado por correo. Estos mapas fueron topológicamente codificados y se asignaron direcciones por calle (afortunadamente están altamente sistematizados en EE.UU.) en esta base de datos de cobertura

nacional. TIGER también cubre los territorios de EE.UU. y algunos estados dependientes como Puerto Rico, Guam y las Islas Vírgenes.

La consecuencia no prevista de los archivos TIGER una vez que fueron traspasados a SIG fue la necesidad de hacer que las direcciones coincidieran. Por ejemplo, una lista de correo en una base de datos que incluye el nombre de la calle, el número de la casa, la ciudad y el estado puede ser usada para coincidir con ubicaciones bastante exactos en un mapa TIGER. Esto permite, por ejemplo, ubicar a pacientes en los hospitales, a las empresas rastrear a los clientes que hacen órdenes de compra por correo, dirigir los servicios de correo que conectan la publicidad con la compra y muchas aplicaciones más. El nuevo campo de la geografía de negocios (Business geographics) existe exclusivamente para explotar las oportunidades comerciales creadas por SIG. Esto incluye no sólo localización al hacer que las direcciones coincidan sino también navegación, encaminamiento y asignación de circuitos. De esta manera, se puede usar SIG para despachar una serie de productos por camión a una dirección conocida de manera que no sólo se ahorra tiempo y bencina sino que el conductor puede trabajar con un óptimo índice de eficiencia.

Mark Armstrong demostró una capacidad destacable de SIG en una conferencia reciente de SIG y Sociedad, lo que él llamó "map hacking" (elaboración de copias no autorizadas de mapas). Al tomar un mapa que mostraba las personas como puntos lo traspasó a SIG, revirtió las direcciones e hizo coincidir los nombres, direcciones e incluso a través del uso de algunas páginas y direcciones Web, ubicó los números de teléfono de los individuos que aparecían como puntos en el mapa con una exactitud sobre el 90%. Esto puede entregar beneficios únicos de negocios, pero al mismo tiempo los temas de privacidad en cuanto a datos relacionados con salud y crimen, como ejemplos, tendrán que ser enfrentados y se deberá desarrollar una serie de éticas para SIG.

Hito 7: Formación de imágenes

Cuadro 6: Ortofotografía digital del Campus UCSB a un metro de resolución

Aunque la base de datos centrada en la calle para Estados Unidos TIGER es ideal para aplicaciones humanas y comerciales, muchos recursos naturales, militares y de manejo de tierra, las aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) requieren datos más amplios que cubran todas las características del terreno. Esto, generalmente es de dos tipos, información de imagen detallada y amplia de la tierra. La última ha sido muy bien respaldada por más de 25 años por el programa Landsat. Es conocida la primera historia del Landsat de trazado de mapas a gran escala, especialmente para las cosechas en agricultura. Con cobertura espectral esencialmente idéntica para la imagen, el Landsat ha mejorado la resolución de 79 metros a 30 metros con el Thematic MAPPER y ahora a 15 metros con el Mapper Plus temático mejorado en el Landsat 7. También el Landsat 7 devuelve el programa Landsat a una cobertura continua, que cuando se combina con estaciones receptoras mundiales asegurará que la mayor parte del mundo se representa sobre una base mucho más regular. La conversión de las imágenes Landsat a datos de uso para la ciencia de la tierra, manejo de recursos, aplicaciones tales como combatir incendios etc. es posible en muchos SIG y en sistemas de procesamiento de imágenes. Algunos de los estratos más útiles como cubierta de terrenos, humedad del suelo, índices de vegetación etc. son mejoradas en forma significativa cuando SIG se usa para presentar información auxiliar, especialmente de topografía. SIG también puede georectificar rápidamente y unir las imágenes en coberturas utilizables, estructuradas por áreas o aspectos de interés más que por la naturaleza de la cobertura del satélite.

De igual forma la imagen de alta resolución puede usarse en SIG en lugar de las capas básicas, es decir como lo que ha llegado a llamar datos de almacén. Caminos, ríos, aspectos de la cubierta de la tierra etc. pueden sacarse a la imagen de alta resolución subyacentes, o incluso capturarla de ella directamente. Si la imagen ha sido ortorectificada y se deriva de una cobertura estereo, pueden resultar imágenes precisas modelo de Elevación digital de resolución muy alta.

El mapa cuadrangular de ortofografía digital ha reemplazado muchas otras capas base para el uso de SIG y a menudo es la capa de referencia común a la cual se corrigen todas las otras. El ambicioso

programa DOQ en Estados Unidos planea una cobertura nacional de 1 metro con un ciclo de repetición de 5 años.

Considerando que la cartografía topográfica original de los Estados Unidos tomo casi 120 años, esta frecuencia y actividad probablemente tenga un gran impacto en el uso de SIG en Estados Unidos. Dos aplicaciones que hacen un extenso uso de la imagen DOQ son el manejo de emergencia y la agricultura. La planificación urbana es una aplicación que probablemente hará mayor uso de las imágenes bases. Además una nueva generación de imagen de percepción remota de alta resolución comercial aumentará grandemente la cantidad de cobertura de este tipo que esté disponible. Es probable que un proyecto SIG en cualquier parte del mundo puede empezar de una base de imagen altamente detallada y de una alta precisión, incluso en los trópicos donde el radar parece adecuado para penetrar la ubicua cubierta de nubes.

Hito 8: NCGIA

El Centro Nacional para Información y Análisis Geográfico (NCGIA) fue fundado en 1988 con un importante premio de la Fundación de Ciencia Nacional. Un consorcio de tres Universidades con base en la Universidad de California, Santa Bárbara y con sedes en la Universidad de Maine en Orono y la Universidad en Buffalo de la Universidad Estatal de Nueva York, el NCGIA ha estado muy comprometido con actividades de investigación de guía y de manejo en SIG. El NCGIA condujo 20 iniciativas de investigación apuntadas a remover los obstáculos técnicos que impedían el progreso de SIG. Bajo el proyecto Varenios (1996-1999) el alcance del interés de los SIG, definiendo a SIG como Ciencia de Información Geográfica, más allá de una simple tecnología y constituyendo un enfoque nuevo para hacer ciencia. NCGIA ha dirigido proyectos relacionados con guías de vehículos, modelos de crecimiento urbanos, comportamiento espacial humano, manejo de metainformación, bibliotecas digitales y muchos otros.

Entre 1988 y 1997 los científicos de investigación del NCGIA produjeron 646 artículos en diarios de arbitraje, 834 artículos en otras publicaciones y 54 libros, y dieron 1006 disertaciones y presentaciones

en conferencias y talleres.

Las contribuciones del NCGIA a la educación de SIG empezó con el desarrollo del "Currículum Central del Centro Nacional de Estados Unidos para Información Geográfica y Análisis (NCGIA) en los Sistemas de Información Geográfica (SIG)", un conjunto de material de enseñanza que se ha adoptado como base para los cursos de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a nivel universitario en más de 1000 instituciones mundiales y traducidas a varios idiomas diferentes, incluyendo el ruso, chino, japonés, francés y húngaro. El NCGIA también ha desarrollado materiales similares para uso en la educación media y básica. Dentro de los 3 últimos años el NCGIA ha creado un currículum central en sensoría remota, un currículum central para colegios técnicos y ha coordinado una revisión del currículum central que ahora reside en el Web mundial y es accesible para todos.

El NCGIA también ha ayudado en la creación de un nuevo consorcio, el Consorcio Universitario SIG, que ahora incluye más de 40 Universidades y promueve el conocimiento avanzado de SIG entre los creadores de políticas de la nación. Este objetivo ha sido notoriamente exitoso a nivel federal, con muchos programas nuevos y emocionantes que comenzarán en los próximos años. Estos esfuerzos altamente organizados del Consorcio Universitario han producido un gran impacto dentro del desarrollo de SIG en los Estados Unidos y continuarán en el futuro. Éstos son una parte esencial de la infraestructura que rodea a los SIG que han tenido tanto éxito en construir colaboraciones universidad–gobierno– industria.

Hito 9: Normas e interoperabilidad

Mientras SIG estaba aún tomando forma en los Estados Unidos, pronto se puso de manifiesto para la comunidad de usuarios y productores de SIG que el futuro de la ciencia de información geográfica está en la remoción de las incompatibilidades entre sistemas específicos. Formatos de datos, modelos de datos, normas de precisión, idiomas, sistema de operación y muchos otros factores llevaron el proyecto SIG hacia el *ad hoc*, que es como una solución que funcionó bien una vez, pero que fue en gran parte irrepetible. Claramente los datos, métodos, mapas, técnicas e incluso los

resultados, podrían volver a usarse con gran efectividad dentro de SIG.

Para poder usar datos existentes de otra fuente, traerlo a su propio SIG y poder usar los datos inmediatamente, se convirtió en una visión de interoperabilidad que sólo ahora se está comprendiendo. Las normas han sido una parte importante dentro de este concepto de interoperabilidad. Mientras muchos países han desarrollado normas para SIG, Estados Unidos fue obligado a empezar a trabajar antes y continuaron por casi una década hasta su completación en 1992 cuando las normas de transferencias de datos espaciales (SDTS) fueron aprobadas y se convirtieron en la norma 173 Procesamiento de Información Federal. FIPS 173 se transformó en ANSI NCITS 320 en 1998. El propósito de la SDTS es promover y facilitar la transferencia de datos espaciales digitales entre sistemas de computación desiguales, mientras se preserva el significado de la información y se minimiza la necesidad de información externa a la transferencia. La SDTS es neutral, modular, orientada al crecimiento, extensible y flexible, todas características de una norma de "sistemas abiertos". El apoyo para la norma ha sido la regla entre usuarios y vendedores de SIG por igual. En realidad el censo completo del 2000 será emitido en las SDTS.

Las seis partes de las SDTS son las especificaciones lógicas que exponen un conjunto de términos y modelos y definiciones, una lista de rasgos espaciales, una especificación para una verdadera transferencia de archivo y tres perfiles, para vectores topológicos, fondos y puntos que reducen la norma a rasgos determinados. Se incluye una sección que especifica la exactitud hasta donde se refiere a la norma, de modo que los usuarios pueden emitir juicios acerca de la conveniencia de los datos para su uso. Muchas normas siguieron al SDTS. Entre estas están las normas metadatos del comité Federal de Datos Geográficos, Geo TIFF, DIGEST, Formato de Producto Vector, los SIG de servicio triple, normas de datos espaciales, SIG abiertos y muchos otros. Dentro del Comité Federal de Datos Geográficos hay normas en desarrollo para datos de terrenos, datos de vegetación, mapas de tierras pantanosas, ortoimágenes digitales, datos catastrales y muchos otros. El valor de las normas SIG no puede exagerarse. Han sido la piedra angular del éxito de SIG. El crear normas obligó a los SIG a ser explícitos en sus

definiciones, métodos y especificaciones. Una vez que las formalizaciones estuvieron en su lugar, la base común que crearon podía garantizarse, de modo que los SIG pudieran desarrollarse debidamente. Las normas son la espina dorsal de la Infraestructura Nacional de Datos Espaciales de los Estados Unidos.

Y así llegamos al último hito, NSDI (Infraestructura Nacional de Datos Espaciales). Surgida a través de una orden ejecutiva presidencial en 1994, NSDI fue creada para "apoyar las aplicaciones de información geoespacial en el sector público y privado, en las áreas de transporte, desarrollo comunitario, agricultura, situaciones de emergencia, administración ambiental y tecnología de la información". Esta amplia vista de la información espacial en el bienestar público de los EE.UU. ha evolucionado a un sistema múltiple que contiene metadatos, un banco de liquidación, normas, un marco teórico de información y depositarios. El concepto de un "banco de liquidación" consiste en una base de datos vastamente distribuida, en donde los datos espaciales permanecen en servidores Web a disposición de instituciones anfitrionas, tal vez agencias de producción y metadatos para datos espaciales son combinados para fines de investigación generalizada para asegurar que exista al menos un nivel básico de contenido, datos del marco o de referencia generalizada como redes de calles y topografía a disposición de todos. Todos los demás datos son proporcionados por los usuarios y depositarios del sistema. Una ventaja importante radica en que si un depositario no desea contribuir con información específica, puede al menos contribuir información global al macrosistema.

A medida que NSDI se va desarrollando y creciendo, una nueva visión ha surgido que transporta el concepto de base de datos a niveles más altos. El concepto Tierra Digital está siendo desarrollado por la NASA y permitirá al público en general, tanto jóvenes como adultos, ver de una manera simple como las fuerzas geológicas, biológicas y climáticas de la tierra y la civilización humana, etc., afectan nuestro planeta (NASA 1999). La Tierra Digital es una representación virtual del planeta que nos permite explorar e interactuar con una gran cantidad de información cultural y natural relacionada con la Tierra. Junto con incorporar los últimos avances en gráfica computacional y tecnología ambiental virtual, el sistema permite a los usuarios examinar información científica, la cual es medida y pronosticada. Esta

información se proyecta sobre un modelo de gran resolución de la Tierra. Está de más decir que intentar conseguir datos de extremadamente alta resolución desde una base de datos distribuida sobre una área muy grande y traspasarlos a una ambiente de proyección virtual que sea intuitiva ante los usuarios presentará muchos grandes desafíos de investigación y tecnología, especialmente para SIG.

El futuro

Al seguir los diez hitos, el camino nos ha llevado desde un comienzo con las primeras imágenes borrosas de sensoría remota y los primeros días del uso de computadores para SIG hasta el presente. Hemos podido apreciar que SIG como "sistemas" han dado paso a "ciencia" SIG. Concluiré mi presentación dando tres vistazos hacia el futuro de SIG. Cada uno de estos geofuturos tendrán un impacto radical, al igual que los hitos que fueron analizados anteriormente, y transformarán la ciencia de información geográfica a su propia manera.

El hito futuro: computación ubicua

Cuadro 8: Un computador que uno se puede poner

Durante generaciones, los computadores han ido reduciendo su tamaño. Sin embargo, SIG ha sido mayormente un trabajo para computadores de escritorio. Los últimos años han visto a SIG transformarse a la modalidad de computadores portátiles (laptops) y ahora a los asistentes personales digitales. Las capacidades que antes requerían computadores mainframe que ocupaban salas enteras ahora están disponibles a todo tiempo al estar sentado en un tren o en un avión. No obstante, el usuario SIG sigue siendo en la mayoría de los casos una parte pasiva del ambiente computacional.

La computación ubicua producirá cambios significativos en este escenario. Computadores que sean suficientemente pequeños como para ponérselos o guardarlos en el bolsillo ya están dejando de ser prototipos y entrando a producción. Su típico modelo interactivo

(mouse, teclado y pantalla) cambiará a sistemas VISIO con entrada de voz y salida de sonido e imágenes. La voz y el sonido vendrán de un micrófono de manos libres y utilizará reconocimiento de voz y software de reproducción de sonidos. Las imágenes se proyectarán en pequeñas pantallas que serán ajustadas para la visión periférica de los usuarios. Por fin, SIG podrá cambiarse de la oficina al campo (Clarke 1999).

Por otra parte, existen algunas complicaciones interesantes para datos espaciales. ¿Hemos de seguir usando una proyección mapeada, o mejor sobreproyectamos vistas tridimensionales directamente sobre las imágenes a la vista? Se ha referido a tal enfoque como "realidad aumentada". Similarmente, ¿cómo nos "dibujamos" dentro de este SIG? Una manera sería por entrada de datos SIG directamente desde el cuerpo del usuario. Otra manera sería hacer cambios rápidos desde NSDI (o desde la Tierra Digital) a la pantalla. Aun otra manera sería capacitar los movimientos humanos de manera espacial.

Las consecuencias de la computación ubicua para los usuarios SIG podría ser revolucionario, sobrepasando incluso todos los logros SIG a la fecha. Podremos realizar cálculos computacionales en todo lugar y en todo momento, y utilizar análisis geográfica para las acciones más simples de cada día, tal como seleccionar un asiento para un concierto o conducir el auto al trabajo.

Hito futuro: La inundación de datos y el Web

Se ha dicho que el Internet se usa para generar un millón de mapas al día. De manera similar, los sistemas de adquisición de datos espaciales tales como la empresa de ciencias de tierra NASA transformará el goteo de información presente hoy en día en una virtual inundación de información a medida que cada vez más información esté disponible. Para aplicaciones SIG, este sistema tendrá la necesidad de operar en un modo más bien "rico en información" que "pobre en información". Agentes de inteligencia que estén monitoreando el estado y la condición de la información podrán ser de gran importancia, de la misma forma como pueden serlo el tipo de sistema distribuido que represente NSDI. Serán de más utilidad los "clientes delgados" SIG, las aplicaciones de programas que permitan

acceso a las funcionalidades de SIG, pero que no contengan ni el software (el cual puede permanecer en los servidores en las bases de datos de los nodos distribuidos. De igual manera, representará un desafío el desarrollo de sistemas que permitan el uso de muchos tipos y fuentes de información en forma simultánea, para visualizarlos y manejarlos de tal forma que no se sobrecargue con información el usuario. Casi no caben dudas en relación a la pregunta si el sistema Web mundial será el mecanismo de distribución dentro de tal sistema o no. Sin embargo, sus capacidades y rango de banda tendrán que ser expandidos de manera significativa.

Hito Futuro: SIG y sociedad (PPSIG)

Un último hito SIG podría emerger del interés creciente en PPSIG (participación del público en SIG). Esta rama de la ciencia IG estudia como la información geográfica dentro de SIG se usa para solucionar problemas y tomar decisiones. Se están desarrollando algunos métodos innovadores para ayudar a grupos en la toma de decisiones complejas y permitir a diferentes grupos de interés "votar" en decisiones de acuerdo al peso y las prioridades que ellos asignen a diferentes factores involucrados en una decisión. Por ejemplo, un sitio en redesarrollo en un área urbana puede generar grupos de planificación interesados en la preservación del empleo, provisión de la vivienda, desarrollo económico y sacar ganancias de la construcción involucrada. SIG es una de las formas de hacer que los diferentes grupos que a veces son contenciosos progresen hacia un plan de consenso que podría suplir las necesidades de todos. SIG tiene mucho que ofrecer en este escenario, y muchos métodos nuevos que están ahora bajo investigación y en desarrollo podrían resultar en nuevos productos SIG y métodos de uso que ayuden a mejorar el camino del desarrollo, el manejo de recursos y las decisiones tocante al futuro.

En resumen, en los Estados Unidos, SIG se ha convertido, partiendo de un modesto origen gubernamental y académico, en un conjunto integrado de tecnologías (SIG, SLT, sensoría remota, elaboración de mapas, agrimensura, etc.) que en forma colectiva representa un nuevo enfoque científico llamado Ciencia de la Información Geográfica. Hemos examinado una serie de hitos a lo largo del camino hasta llegar

a los sistemas de hoy, y hemos hecho afrontes acerca de lo que nos guarda el futuro. Ya están en el pasado los días cuando sólo los especialistas o una nación podían participar en las aplicaciones SIG. El futuro de SIG es, sin duda, un viaje que nos involucra a todos.

REFERENCIAS

- Chrisman, N. (1997) Exploring Geographic Information Systems. New York: John Wiley.
- Clarke, K.C. (1995) Analytical and Computer Cartography. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Clarke, K.C. (1999) "Visualizing Different Geofutures" Chapter 7 in Longley, P. Brooks, S., macmillan, B. And McDonnel, (1999) Geocomputation: A Primer, London: J. Wiley. Pp. 119-137.
- Cooke, D.F. (1998) "Topology and TIGER: The Census Bureau's Contribution", Chapter 4 in Foresman, T.W. (Ed.) The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Day, D.A., J.M. Logsdon, and B. Latell, 1998. Eye in the Sky: the story of the Corona spy satellites. Washington D.C: Smithsonian Institution Press.
- Goodchild, M.F.L.T. Steyaert, and B.O. Parks, et al. (1996) GIS and Environmental Modeling, Fort Collins: GIS World.
- Goran, W. (1998) "GIS Technology Takes Root in the Department of Defense", Chapter 12 in Foresman, T.W. (Ed.) The History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Kaplan, Elliott D. (Ed.) 1996. Understanding GPS: Principles and Applications. Boston: Artech House Publishers.
- Leick, Alfred. (1995) GPS Satellite Surveying. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- McDonald.R.A. (Ed.) 1997. CORONA: Between the Sun and the Earth.

The

first NRO reconnaissance eye in space. Bethesda, MD: The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Mc Harg, I.L. (1969) Design With Nature. New York: John Wiley.

Monmonier, M. (1995) "Siting, Cartographic Power, and Public Access."

Chapter 7 in Drawing the Line: Tales of maps and cartography.

New York: H. Holt.

NASA (1999) Digital Earth. Página Web:

<http://holodeck.gsfc.nasa.gov/digitalearth/intro.html>

NCGIA (1996) Third International Conference/Workshop on Integrating GIS

and Environmental modeling CD-ROM, Santa Fe, New Mexico, January 21-25, 1996. Disponible en el sitio Web:

http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD_ROM/sfinfo.html

Peebles, C., 1997. The CORONA Project: America's first spy satellites.

Annapolis, MD: Naval Institute Press.

Steinitz, C., Parker, P. and Jordan, L. (1976) "Hand-drawn overlays: their

history and prospective uses", Landscape Architecture, 66, 5, 444-455.

Tomlin, C.D. (1990) Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.