EVOLUCIÓN CONCEPTUAL Y TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. LA AGENDA PENDIENTE

Joan Nunes Alonso*

ON THE CONCEPTUAL AND TECHNICAL EVOLUTION OF THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) have existed for more than twenty years in USA, Canada or UK. However its widespread acceptance –going from the experimental prototypes to the general purpose tools– is a process of the last five years, because of the development of commercial products an the improvement and cost reduction of the computer resources. In Spain, although they are infinitely less diffused, GIS are no longer unknown, especially in the last two years. Still their scientific scope is not always apparent enough, given their great technological component and the pragmatism leading their development in order to meet all kind of users needs. By liberating information from the rigidity of maps and by offering more complex ways of analysis, GIS have made easier the use and diffusion of geographic information and have promoted awareness of the value of georeferenciation. Their true potential, however, is in that they require the user to develop stronger and more precise conceptualization of the geographical facts, while at the same time they are the means to test those concepts. This article offers a synthesis of the evolution and current trends of GIS from that point of view, which is very necessary given that in Spain the adoption of GIS tools is very recent and therefore there is a lak of context to understand their relevance.

---

* Departament de Geografia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

1. Introducción

A lo largo de más de veinticinco años de existencia, desde las primeras experiencias para establecer el *Canadian Geographic Information System* –CGIS– en 1962 (TOMLINSON, 1984), los sistemas de información geográfica se han convertido en un dominio de investigación y desarrollo tremendamente dinámico e innovador que ha afectado a un buen número de disciplinas científicas o técnicas, entre las cuales la cartografía, la geografía, la geología, ecología y otras ciencias de la Tierra, la ingeniería civil, la planificación urbana o regional, la administración del territorio, así como distintos campos de la informática o de las matemáticas en el desarrollo de algoritmos o de estructuras lógicas. Ello ha conllevado la formación de una comunidad científica que a pesar de su extraordinaria pluridisciplinariedad aparece diferenciada y notablemente cohesionada en torno al desarrollo de algo que ante todo es una herramienta para el manejo y análisis de un tipo particular de información, la información geográfica.

El desarrollo mismo de los GIS ha tenido lugar en tres escenarios básicos distintos: las propias instituciones o compañías con necesidades importantes de proceso de información geográfica y con capacidad de inversión y de desarrollo –tendencia netamente dominante en los orígenes y aún importante en la actualidad–; las universidades y centros de investigación –en ciertos casos con un destacado papel inicial en la creación y difusión de programas y algoritmos, y en general con una contribución decisiva a nivel de investigación y de formación de personal especializado–; y finalmente, cuando han existido una demanda y madurez suficientes y una reducción importante de costes, las empresas productoras de software y/o equipos para GIS, que en poco más de cinco años se han convertido en líderes en el desarrollo y provisión de tales sistemas, y cuyos productos constituyen de facto los estánderes establecidos en la actualidad.

La finalidad de este artículo es contribuir a un mayor conocimiento de los sistemas de información geográfica (GIS) en España. En particular, de aquellos elementos que pueden facilitar la comprensión de la naturaleza y alcance de los GIS, junto con algunas reflexiones sobre su significación para la geografía y las necesidades de investigación para su desarrollo futuro.

En otras latitudes la utilización y el desarrollo mismo de los sistemas de información geográfica, aunque también reciente en cuanto a su generalización, cuenta con una experiencia de investigación, desarrollo y enseñanza prolongada a lo largo de tres décadas y con profundas raíces en la geografía universitaria. A la luz de esta experiencia la evolución y estado actual de los GIS puede contemplarse como un proceso de maduración

enriquecedor que plantea asimismo las necesidades futuras de desarrollo en beneficio del propio instrumento y de las disciplinas relacionadas. En nuestro caso, y en el ámbito académico, la falta de tradición puede traducirse tanto en indiferencia o rechazo por desconocimiento de la naturaleza y capacidades de los GIS, como en moda pasajera debido al halo de sofisticación tecnológica que a menudo envuelve a tales sistemas. A su vez, en ámbitos más amplios, una adopción meramente utilitaria puede reducir drásticamente la capacidad de investigación, amén de conducir no pocas veces a esfuerzos innecesarios debidos a una mala apreciación inicial de la aplicación a realizar o a una visión limitada de los GIS y de la propia información geográfica, imputables en definitiva a la falta de canales regulares de formación e investigación.

De ahí la necesidad de priorizar los aspectos conceptuales por encima de las descripciones operativas y técnicas, expuestas ya, por otra parte, en algunos trabajos publicados en España (CEBRIAN y MARK, 1986; 1987; CEBRIAN, 1987; 1988) y por supuesto en la extensa literatura publicada en inglés (ver entre otros DANGERMOND, 1983; MARBLE et al. 1984; o BURROUGH, 1986).

2. Naturaleza de los sistemas de información geográfica

1. *¿Qué es un GIS?*

Aunque existen muchas definiciones de sistema de información geográfica (ver COWEN, 1988), la definición más general y comunmente aceptada es la de *sistema informatizado de propósito general para el manejo (captación, almacenamiento, consulta, análisis y respresentación) de información localizada geográficamente* (RHIND, 1981). Aunque tal definición es demasiado general y cabría matizar cada uno de los términos que comprende –en particular la generalidad de propósito, la naturaleza de la información y el tipo de análisis que permiten efectuar–, no deja de ser cierta e inevitable si se quiere abarcar todas las variedades de sistemas que de una forma u otra manejan información geográfica.

Una idea más informal pero mucho más expresiva de lo que es un GIS es imaginar la posibilidad de disponer en un mismo entorno de trabajo automatizado de toda la información contenida en un conjunto de mapas necesarios para un determinado estudio, así como otras informaciones relativas a los elementos presentes en los mapas; de poder relacionar todas esas informaciones y combinarlas a voluntad, gracias al hecho de tener cada elemento identificado individualmente junto con todas sus caraterísticas; y de poder obtener repesentaciones cartográficas de tales combinaciones y efectuar medidas como distancias, superficies, número de ocasio-

nes en que aparece cierta combinación o simplemente observar su situación con respecto a otras situaciones presentes o posibles. En definitiva todas las operaciones propias del examen o comparación de mapas –e incluso algunas más, materialmente difíciles o imposibles de realizar con documentos impresos–, pero con una capacidad operativa infinitamente superior y con la posibilidad de actualizar la información de forma inmediata o de introducir supuestos cambios sin necesidad de elaborar borradores intermedios ni de reelaborar el conjunto del documento.

Ni que decir tiene que una vez desprendida de un soporte rígido como el mapa impreso, el conjunto de la información geográfica así almacenada se convierte en un modelo a escala –analógico, como el mapa– de la realidad geográfica, pero extraordinariamente más rico, flexible y dinámico, con lo que las posibilidades de observar y analizar fenómenos específicos o representar y evaluar hipótesis se multiplican cuantitativa –mayor número de combinaciones no sólo por la mayor cantidad de información manejable sino también por la rapidez con que pueden obtenerse y visualizarse– y cualitativamente –el nivel de detalle permite tratar cada elemento individualmente–. Todo ello conservando la capacidad visual y de representación a escala propia de un documento cartográfico, junto con otras añadidas como la consulta selectiva y particularizada o la generación de tablas o informes. Naturalmente, como en el caso del mapa, la calidad del modelo dependerá de la calidad de la información-precisión espacial y conceptual y del grado de simplificación introducido al elegir qué elementos serán representados y a qué nivel de detalle. En cualquier caso, a diferencia del mapa impreso, que tiene una capacidad limitada de almacenamiento de información y es inalterable, la capacidad de almacenamiento de un GIS es virtualmente ilimitada y puede modificarse con facilidad y de forma inmediata.

Una precisión quizás innecesaria a estas alturas es que como tal instrumento de propósito general los GIS, aunque requieren cierta formación especializada de cara a su manejo, no presuponen un dominio de aplicación determinado –esto es una especialización temática– ni la asunción de una determinada concepción filosófica o ideológica de la geografía; ni tampoco, aparentemente, de una metodología de análisis determinada. Por lo menos no más de lo que supone la utilización de mapas como medio de almacenamiento, análisis y representación/comunicación de la información geográfica. Como se verá más adelante, sin embargo, un desarrollo teológico consecuente con la conceptualización rigurosa de la información geográfica implícita en los GIS puede contribuir a modificar y precisar metodologías de análisis y concepciones de la realidad geográfica. En cualquier caso si, de acuerdo con JOHNSTON (1978), hay dos maneras fundamentales de plantearse la investigación en geografía: ¿Existen relaciones entre los fenómenos presentes en distintos lugares? o, alternativa-

mente, ¿son distintos los lugares según los fenómenos presentes en ellos? La utilización de los sistemas de información geográfica resulta a todas luces pertinente en ambos casos.

2.2. *Los GIS como gestores de bases de datos*

A tenor de lo expuesto, puede formalizarse más la definición de GIS en el sentido de que su naturaleza es en esencia la misma que la de los llamados sistemas de gestión de bases de datos, ya sean jerárquicos o relacionales; es decir un entorno único de almacenaje y manejo de información con una complejidad y versatilidad de estructura y funciones incorporadas tal que sea capaz de poner en relación los distintos atributos que en cada momento caracterizan cada elemento referenciado en la base de datos, así como unos elementos con otros junto con sus atributos respectivos aun cuando pertenezcan a distintos planos de información, de forma inmediata ya la medida de cada necesidad concreta de cada usuario. Todo ello cumpliendo con algunos principios básicos, entre los cuales la integración de todas las operaciones en un mismo entorno, la independencia de la estructura lógica de la información con respecto a su estructura física y con respecto a los distintos módulos que acceden o manipulan la información, la minimización de la información redundante, y la atomicidad de las operaciones de intercambio de información a fin de asegurar la consistencia e integridad del conjunto de la base de datos aunque diversos usuarios estén accediendo y efectuando modificaciones al mismo tiempo (ver BRODIE and MANOLA, 1988).

La especificidad de los sistemas de información geográfica viene dada por la naturaleza particular de los elementos para los que se produce, almacena y gestiona información. Se trata fundamentalmente de elementos que poseen una localización geográfica y una dimensión espacial precisa –una carretera, una manzana de casas, una parcela del catastro, una parte del territorio homogénea en cuanto al uso o cubierta del suelo...–. Así los GIS, además de atributos temáticos –en sí mismos idénticos a los atributos de elementos no geográficos–, han de dar cuenta de un tipo de atributos muy particulares como son la posición, la forma y extensión y las relaciones espaciales –topología–, que sólo pueden ser relacionados y evaluados en términos espaciales y por tanto no pueden ser manejados mediante los sistemas estándar de gestión de bases de datos (ver FRANK, 1984; 1988), principalmente basados en el modelo relacional (CODD, 1970), el más extendido por su sólida formalización una temática, flexibilidad y simplicidad.

De ahí que lo que podría denominarse el estándar actual de sistema de información geográfica –es decir la mayor parte de GIS comerciales apa-

recidos en los últimos cinco años— presenta una estructura dual o híbrida denominada geo-relacional (MOREHOUSSE, 1985), con sistemas distintos para la gestión de la información espacial y la información temática, convenientemente enlazados entre sí mediante distintas soluciones, (MOREHOUSE, 1985; LAUZON et al. 1985; INGRAM and PHILLIPS, 1987). Más recientemente, y aún en fase de prototipos experimentales, los intentos de superar tal dualidad se han multiplicado, bien mediante distintas tentativas de extensión del modelo relacional (WAUGH and HEALEY, 1987; SINHA and WAUGH, 1988; CHARLWOOD et al. 1987; ABEL, 1989; entre otras), o bien mediante modelos de datos con mayor contenido semántico, entre los cuales los orientados a objetos (EGENHOFER and FRANK, 1989; FEUTCHWANGER, 1989; HERRING, 1988; 1989). Sin embargo muchos de los GIS desarrollados en el pasado —algunos aún en uso— carecen por completo de un DBMS para la gestión de los atributos temáticos y/o de una total interactividad gráfica, siendo por ello poco atractivos, lo que unido a la magnitud del coste inicial explica la menor difusión de los GIS hasta fechas recientes.

La capacidad de relacionar información geográfica —bien temáticamente mediante funciones estándar de gestión de bases de datos; bien espacialmente mediante operaciones de superposición— constituye el núcleo esencial de todo GIS propiamente dicho. Junto a ella, diversas capacidades de análisis específicas —en particular, el análisis de redes o el manejo de modelos digitales del terreno— suelen, con distintos grados de integración, estar presentes en la mayor parte de GIS actualmente disponibles.

2.3. *GIS, cartografía automática, teledetección*

Llegados a este punto las diferencias entre los GIS propiamente dichos y otros sistemas de representación y/o análisis gráfico pueden apreciarse netamente. Por una parte, la principal diferencia con respecto a sistemas concebidos estrictamente para la producción de cartografía asistida por ordenador —ya sean de alto nivel, para producir mapas topográficos, o bien simples programas de representación coroplética de datos estadísticos— está en el hecho de que en tales sistemas la información espacial que define los elementos a cartografiar no está estructurada de modo que cada entidad pueda referenciarse por separado, con lo que la asociación de atributos temáticos y la función, hoy por hoy básica, de relación espacial de diferentes entidades geográficas por superposición ('overlay') y obtención de entidades compuestas resultan materialmente imposibles. En el mejor de los casos —programas de cartografía estadística— si bien se reconocen entidades, éstas son fijas y no existe posibilidad de combinación espacial más que en términos puramente gráficos o visuales. Estas son

también las diferencias respecto a sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD), pues de hecho los sistemas estrictos de cartografía automática constituyen variantes de sistemas de CAD adaptados a las necesidades de la producción cartográfica.

Por otra parte las diferencias con respecto a los sistemas de proceso de imágenes, y muy especialmente de teledetección, estriban en el hecho de que la información original de una imagen digital es una información puramente pictórica, sin referenciación explícita –a menudo ni siquiera implícita– de ningún tipo de entidades. En realidad tales sistemas aprovechan la posibilidad de captar de forma inmediata imágenes de la realidad –mediante cámaras de vídeo, scanners o sensores remotos– y extraer mediante procesamiento de las mismas, información significativa en términos de reconocimiento y análisis de objetos presentes en la imagen.

A pesar de todo, los puntos en común y las conexiones entre estos diversos tipos de sistemas son numerosas y, de hecho, se complementan hasta cierto punto en la medida que toda la cartografía digital puede, convenientemente reestructurada, ser incorporada a los sistemas de información geográfica. En realidad la existencia de una amplia produción de cartografía digital va íntimamente ligada a la difusión de los GIS, no sólo por el hecho de que implica una mayor tradición y estadios previos de desarrollo común, sino porque constituye un ahorro substancial en el elevado coste que supone la captación de información para constituir la base de datos de un GIS. Del mismo modo, las imágenes resultantes del proceso digital de imágenes –en particular las obtenidas mediante sensores remotos una vez clasificadas, o mediante scanning de un mapa convencional una vez depuradas– pueden ser asimismo transformadas a los formatos y estructuras propias de un GIS determinados, por lo que constituyen una fuente de información particularmente atractiva e importante aunque no exenta de dificultades. Ni que decir tiene, pues, que la posibilidad de intercambiar y aprovechar información ya digitalizada resulta crítica a la hora de adoptar los GIS. Por ello, el desarrollo de formas de integración, formatos de intercambio y en definitiva la aproximación de los distintos sistemas hacia estructuras y formatos estándar de codificación y almacenamiento es un aspecto vital y de alcance estratégico a nivel nacional e internacional, siendo los esfuerzos más destacados en este sentido los realizados en USA y UK (ACSM, 1988; OS, 1988), países que cuentan con las coberturas de cartografía digital más sistemáticas y extensas.

Una distinción en el dominio estricto de los GIS, bastante irrelevante pero frecuente en USA (ver MARBLE, 1984), es la diferenciación entre sistemas de información geográfica (GIS), sistemas de información del territorio (*land information systems*, LIS) y el concepto de catastro multipropósito (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1980; 1983), ambos en el fondo concreciones específicas de los GIS, adaptadas sobre todo a las

necesidades de información de la planificación urbana y la gestión de los registros catastrales que a su vez tienen por objeto la entidad geográfica básica en términos de propiedad, especialmente relevante en áreas urbanas.

A fin de completar el panorama trazado cabe reseñar la existencia de algunos otros tipos de sistemas que, sin ser propiamente GIS, no dejan de estar relacionados con el manejo de información geográfica. Por una parte, existen numerosas bases de datos de tipo censo o registro que unidas a medios simples de cartografía coroplética pueden ofrecer una cierta representación geográfica –agregada a nivel de unidades administrativas– de una información que, sin ser propiamente geográfica, contiene una referencia geográfica inequívoca. Sin embargo tales bases de datos suelen estar integradas cada vez más en auténticos GIS, de modo que la información que contienen puede asociarse directamente a entidades geográficas reales –parcelas, edificios–, a menudo mediante referenciación postal, que constituye uno de los procedimientos más prometedores de cara a la integración de la innumerable cantidad de registros existentes en las administraciones locales.

Otro tipo de sistema bastante más raro es el constituido en torno a bases de datos que contienen información textual, cartográfica y/o incluso pictórica, almacenada en dispositivos de acceso rápido –*compact discs* (CD-ROM), discos de vídeo u ópticos–, que permiten consultar de forma inmediata información documental sobre un determinado lugar. El caso más destacado lo constituye el denominado *BBC Domesday Project* (RHIND et al. 1988) creado en 1986 con motivo del 900 aniversario del primer censo británico y que materialmente constituye un almanaque o enciclopedia del estado y aspecto de Gran Bretaña en la década de los 80. A pesar de su valor pedagógico y del carácter innovador con respecto a otros sistemas de información, la información que ofrece es, a diferencia de los GIS, estática y no puede ser combinada entre sí por los procedimientos típicos de un GIS propiamente dicho. Por la naturaleza documental de la información contenida y la limitada capacidad de manipulación de la misma –simple consulta y recuperación– tales sistemas son en el fondo sistemas de documentación.

3. La entificación de la información geográfica

Dejando aparte las ventajas evidentes en el terreno operativo y de las aplicaciones, el efecto más relevante del desarrollo de los GIS desde el punto de vista de la investigación geográfica es sin duda el hecho de que la mayor disponibilidad y calidad de la información, así como de los instrumentos para procesarla, ha abierto las puertas a nuevas formas de inte-

rrogar, analizar, representar e incluso, y por encima de todo, de conceptualizar los elementos que pueblan la superficie terrestre.

Ello ha resultado de una progresiva mejor definición de la información geográfica. Actualmente se concibe ante todo como información relativa a entidades geográficas, físicamente diferenciadas, con localización y extensión significativa. Parte de la misma se refiere a las propias entidades, mientras que parte consiste en información sobre entidades no geográficas que sin embargo tienen localización. En concreto, en entidades geográficas.

Considerar que todo, o casi, tiene una localización geográfica no es nada nuevo y a menudo ha sido invocado como razón de ser de la geografía y/o como la fuente de su imprecisa definición con respecto a otras disciplinas, por la ausencia de un objeto o dominio de estudio específico. Incluso en las corrientes que toman como objeto esencial la relación hombre/medio, la vacilación entre ambos términos –los procesos sociales y culturales versus los resultados geográficos de tales procesos– es patente. A pesar de la insistencia vidaliana –o ritteriana– en entender la geografía como ciencia de los lugares, el sesgo sociológico, económico o antropológico de buena parte de la geografía humana es notorio. Los principales conceptos de entidad geográfica surgidos de esta tradición –el lugar, la región–, aunque claramente intuibles y a pesar de la extensa literatura al respecto se han mantenido, por su naturaleza genérica, en la mayor indefinición y por tanto difícilmente asimilables a objetos o entidades. La falta de entificación de los objetos estudiados por la geografía (ver CHAPMAN, 1977) no ha hecho sino aumentar a raíz de la incorporación y difusión de los métodos de análisis cuantitativo.

El origen cartográfico de los GIS (RHIND 1977; 1981; TOMLINSON 1984), ligado a necesidades de inventario y planificación, ha sido fundamental en el relanzamiento de la información cartográfica y en la posterior redefinición conceptual de la información geográfica en base a aquélla. El pragmatismo inherente a las tareas aplicadas; las necesidades de exhaustividad y bajo nivel de abstracción propias del inventario; la referenciación a escala de elementos geográficos reales junto con el énfasis en la precisión espacial y temática propio de la cartografía; son algunos de los factores destacados que orientaron desde un principio los GIS hacia el registro de entidades geográficas propiamente dichas y de información sobre o asociada a las mismas. Las propias técnicas de análisis y puesta en relación de la información desarrolladas inicialmente y aún hoy básicas –superposición o 'overlay' de distintas capas de información cartográfica– guardan una estrecha relación con las tradiciones cartográfica y de planificación y resultan de una extraordinaria simplicidad y bajo nivel de abstracción, pero por ello mismo de gran efectividad y significación. En el fondo, el elemento crucial que permite presumir la existencia de relación

entre fenómenos a menudo no es más que la coincidencia o proximidad en el espacio geográfico, como en el célebre mapa del doctor Snow.

La progresiva entificación de la información geográfica no estaba por supuesto dada de antemano y quizás todavía hoy, cuando ya es un hecho indiscutible, puede ser visto como algo secundario desde el punto de vista práctico. Sin embargo la propia evolución conceptual y técnica de los GIS ha ido en ese sentido. Paulatinamente se ha abandonado la codificación celular o raster de la información por su limitada resolución, rigidez y en el fondo incapacidad para dar cuenta de las entidades geográficas, y ello a pesar de su gran difusión, explicable en razón de su bajo coste –codificación manual–, simplicidad y efectividad de procesamiento. Aun cuando hayan existido ciertos esfuerzos de fundamentación teórica de tales estructuras (TOMLIN, 1983), su persistencia hoy es sólo un hecho de inercia –existencia de información producida en el pasado– o derivado de la existencia de dispositivos de captación –sensores remotos, scanners– que proporcionan automáticamente información codificada de este modo.

La afirmación indiscutible de las representaciones vectoriales, que registran la forma real de las entidades, ha sido posible gracias a numerosos logros, entre los cuales: el desarrollo de estructuras topológicas a fin de reconocer cada entidad por separado junto con sus relaciones de vecindad (PEUCKER and CHRISTMAN, 1975); de procedimientos de estructuración topológica automática a partir de segmentos digitalizados en cualquier orden; de procedimientos de superposición y reestructuración automática de redes de polígonos. Aunque por motivos inicialmente técnicos de compatibilizar la representación cartográfica de calidad con las operaciones de análisis por superposición, tales desarrollos sentaron durante la década de los 70 las bases para convertir los GIS en registros de entidades geográficas, tanto de su información espacial como temática, es decir determinando el paso del mapa digital a la base de datos, o dicho de otro modo de un elemento gráfico de representación a un objeto del mundo real.

Por último, y decisiva, la integración de los GIS de las funciones de gestión de bases de datos en la primera mitad de los 80, aun cuando mera evolución natural sobre sus propias bases y en el fondo incorporación de un avance informático general –como tantos otros previamente incorporados– ha supuesto la entificación definitiva de la información geográfica, en la medida que toda base de datos es ante todo una colección de entes de algún tipo, sobre los cuales se almacena información, incluidas sus interrelaciones. Hoy por hoy el modelo relacional de base de datos no permite una especificación 'inteligente' de tales definiciones y relaciones. Sin embargo una vez en el universo de la gestión de bases de datos los GIS pueden beneficiarse de los modelos conceptuales de datos, en base a los cuales es posible almacenar no sólo la información sino su significado.

Las posibilidades de desarrollo conceptual, así como de verificación, que ello abre para la geografía son ni que decir tiene extraordinarias.

4. Establecimiento de políticas de investigación para el futuro

El efecto de los GIS a nivel general, sobre la toma de conciencia del valor de la información geográfica, puede apreciarse mejor en relación a la experiencia y perspectivas de investigación en dos de los países líderes en su desarrollo y aplicación, USA y UK (ver con respecto a otros países, desarrollados o en desarrollo, las reseñas aprecidas en los dos últimos años en *International Journal of Geographic Information Systems* y anteriormente en *Geo-processing*). En particular, a propósito de la puesta en marcha de políticas nacionales de difusión e investigación que contienen verdaderas agendas de investigación para el futuro.

En el caso británico (RHIND, 1981; 1987; 1988), con una estructura de gobierno y administración fuertemente centralizadas, es conocida la tradición de constituir comisiones parlamentarias para el estudio de cuestiones de interés nacional, cuyos informes y recomendaciones se convierten en políticas al respecto. Tal práctica ha llegado ya al terreno de la información geográfica, que ha sido objeto de dos comisiones parlamentarias. La primera, en 1983, sobre teledetección y cartografía digital (DoE, 1983); la segunda, de mayor impacto, en 1986, sobre el manejo de la información geográfica (DoE, 1987). Aparte de la experiencia de más de veinte años de realizaciones –entre ellas algunos de los primeros sistemas y dispositivos de captación digital–, y de una extensa cobertura cartográfica digital de territorio a gran escala –1:1250, 1:2500–, algunas iniciativas recientes dan idea del grado de adopción de los GIS; como por ejemplo, la creación de los *Regional Research Laboratories (Economic and Social Research Council)* en respuesta a las necesidades de difusión e investigación apuntadas por el citado comité; o la constitución del *National Joint Utilities Group,* formado por las diversas compañías de servicios públicos para constituir una base de datos común con todas las redes de servicios del país sobre una base topográfica a gran escala de su propia realización. Por otra parte RHIND (1987) estima en un 40% el número de centros universitarios –principalmente departamentos de geografía– que realizan actividades de investigación y enseñanza en el área de los GIS.

Las necesidades de investigación identificadas en este terreno (RHIND, 1988) son el reconocimiento automático de formas y objetos a partir de imágenes; la integración de información de diferentes fuentes y escalas; estructuras de datos y procedimientos de búsqueda –arquitectura de bases de datos–; generalización de representaciones cartográficas; sistemas expertos; formación asistida por ordenador; y mayor conceptualización de los hechos geográficos –en particular de las entidades imprecisas

('fuzzy')–. Además de estas áreas, para todas las cuales se considera necesaria la aplicación de técnicas de inteligencia artificial, se apuntan algunas otras áreas técnicas como la búsqueda de estadísticos espaciales descriptivos, sobre todo con respecto a la calidad de los datos y la propagación de errores a lo largo de las operaciones de análisis; la creación de interfases basados en el lenguaje humano; y el desarrollo de mayores capacidades analíticas, capaces de sotener la utilización de modelos. Igualmente se considera necesaria la investigación de los aspectos organizativos, legales y económicos de la adopción de los GIS.

En el caso norteamericano la presencia de los organismos institucionales en la vida pública es menor, mientras que la existencia de empresas dedicadas a producir información geográfica es mucho mayor que en cualquier otro país. De todas maneras son igualmente numerosas las agencias gubernamentales que producen o analizan tal información, algunas de ellas pioneras, por otra parte, en el desarrollo de los GIS. Del mismo modo, la participación de la universidad ha sido esencial desde los orígenes –una reciente encuesta realizada por ASPRS cifra en varios centenares el número de cursos sobre GIS, cartografía digital y teledetección, incluido Canadá–. Por último la labor de las asociaciones profesionales (ASPRS, ACSM, URISA, AAG) es fundamental en la difusión a través de la organización de reuniones científicas internacionales –más de 10 al año– y publicaciones periódicas.

Quizá la iniciativa más destacada en los dos últimos años, que sin revestir la forma de política nacional puede tener repercusiones similares, ha sido la creación del *National Center for Geographic Information and Analysis,* bajo los auspicios de la *National Science Foundation* (ver ABLER, 1987; NCGIA, 1989), como consorcio de los departamentos de geografía de las universidades de California, Santa Barbara y Buffalo, y del "Department of Surveying Engineering", Universidad de Maine.

El NCGIA, en tanto que organismo dedicado a la investigación, tiene como objetivos de identificación y eliminación de las barreras que puedan impedir la adopción y aplicación generalizada de los GIS. En particular, en torno a cinco áreas principales: análisis espacial y estadística espacial –incluida la aproximación estadística de las propias entidades–; relaciones espaciales y estructuras de bases de datos –que incluye todos los aspectos conceptuales, de representación múltiple, diseño de interfases y lenguajes espaciales sobre bases cognitivas y lingüísticas, asi como la incorporación de la dimensión temporal de la información análisis geográfico–; inteligencia artificial –en realidad a través del resto de áreas–; visualización –exploración de nuevas formas de visualizar los cada vez mayores volúmenes de información disponible–; y por último la vertiente social, económica e institucional del uso de sistemas de información geográfica.

5. Conclusión

Dos aspectos destacan entre las abultadas agendas de investigación en torno a los GIS: la ampliación de su capacidad analítica y la mayor definición conceptual de las entidades y relaciones geográficas. La tentación de proceder a la simple implementación del nutrido arsenal de técnicas y modelos cuantitativos existentes es comprensiblemente muy fuerte. Contrariamente, los GIS han mostrado ya cual es la naturaleza de la información que manejan ofreciendo y a su vez exigiendo la profundización en la conceptualización del espacio geográfico. La ampliación de su capacidad analítica no debería pues proceder más que sobre la base de la ampliación de su capacidad para establecer modelos conceptuales de la realidad.

En España, la tradición del empleo de GIS es hoy por hoy limitada, aunque empieza a ser un hecho. El establecimiento de una política de investigación y difusión al respecto debería ser un objetivo a alcanzar en un futuro no muy lejano. La geografía, especialmente, podría hallar en ello no sólo una oportunidad de innovación metodológica, sino de profundización teórica.

Bibliografía

ABEL, D. J. (1989): «SIRO-DBMS: a database tool-kit for geographical information systems», *International Journal of Geographic Information Systems,* 3, 2, 103-116.

ABLER, R. F. (1987): «The National Science Foundation Center for Geographic Information and Analysis», *International Journal of Geographic Information Systems,* 1, 303.

ACSM (1988): «The Proposed Standard for Digital Cartographic Data», *The American Cartographer,* 15, 1, 9-140.

BRODIE, M. L. an MANOLA, F. (1988): «Database Management. A Survey» in SCHMIDT, J. W. and THANOS, C. (eds.) *Fundamentals of Knowledge Base Management Systems.* New York: Springer Verlag.

BURROUGH, P. A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment.* Oxford: Oxford University Press.

CEBRIAN, J. A. y MARK, D.M. (1986): «Sistemas de información geográfica. Funciones y estructuras de datos», *Estudios Geográficos,* XLVII, 184, 277-299.

CEBRIAN, J. A. y MARK, D.M. (1987): «Gestión y perspectivas de desarrollo de sistemas de información geográfica», *Estudios Geográficos,* XLVIII, 188, 359-378.

CEBRIAN, J. A. (1987): «Una categorización de las principales funciones de establecimiento y explotación de sistemas de información geográfica», *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 7, 29-41.

CEBRIAN, J. A. (1988): «Sistemas de Información Geográfica» in AA.VV. *Aplicaciones de la informática a la geografía y ciencias sociales.* Madrid: Síntesis.

CHAPMAN, G. P. (1977): *Human and Environmental Systems: A Geographer's Appraisal.* Oxford and New York: Academic Press.

CHARLWOOD, G.; MOON, G. and TULIP, J. (1987): «Developing a DBMS for geographic information: a review» in *Proceedings of the Auto-Carto 8*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

CODD, E. F. (1970): «A relational model for large shared databanks», *Communications of the ACM*, 13, 377.

COWEN, D. J. (1988): «GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Diferences?», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LIV, 11, 1.551-1.555.

DEPARTAMENT OF THE ENVIRONMENT (1983): Select Committee on Science and Technology. *Sub Committee 1 Remote sensing and digital mapping*. London: HMSO.

– (1987): *Handling Geographic Information. Report of the Committee of Enquiry Chaired by Lord Chorley*. London: HMSO.

DANGERMOND, J. (1983): «A Classification of Software Components Commonly Used in Geographic Information Systems» in PEUQUET, D. and O'CALLAGHAN, J. (eds.) *Proceedings of the United States/ Australia Workshop on Design of Computer-Based Geographic Information Systems*. Amherst, New York: IGU Commission on Geographical Data Sensing and Processing.

EGENHOFER, M. and FRANK, A. (1989): «Object-Oriented Modeling in GIS: Inheritance and Propagation» in *Proceedings of Auto-Carto 9*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

FEUCHTWANGER, M. (1989): «Geographical logical database model requirements» in *Proceedings of Auto-Carto 9*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

FRANK, A. (1984): «Requirements for Database Systems Suitable to Manage Large Spatial Databases» in *Proceedings of the Ist International Symposium on Spatial Data Handling*. Zurich, Switzerland: IGU Commision on Spatial Data Sensing and Processing.

FRANK, A. (1988): «Requirements for a Database Management System for a GIS», *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, LIV, 11, 1.557-1.564.

HERRING, J.R. (1988): «TIGRIS: Topologically Integrated Geographic Information System» in *Ponencias del Seminario INTERGRAPH de Cartografía y Mapping*. Barcelona: Intergraph.

HERRING, J. R. (1989): «A Fully Integrated Geographic Information System» in *Proceedings of the Auto-Carto 9*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

INGRAM, K. J. and PHILLIPS, W.W. (1987): «Geographic information processing using a SQL based query language» in *Proceedings of Auto-Carto 8*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

JOHNSTON, R. J. (1978): *Multivariate Satistical Analysis in Geography*. London: Longman.

LAUZON, J. P.; MACLAREN, R.A. and HARWOOD, C. (1985): «Database support for geographic information systems, the Wild System 9 approach» in *Proceedings of the ACSM-ASPRS Fall convention*. Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

MARBLE, D.F. (1984): «Geographic Information Systems and Land Information Systems: Differences and Similarities» in *Proccedings of FIG: International Symposium on Land Information Systems*.

MARBLE, D.F.; CALKINS, H. and PEUQUET, D. (1984): *Basic Readings in Geographical Information Systems*. Williamsville, New York: SPAD Systems Ltd.

MOREHOUSE, S. (1985): ARC/INFO: A Geo-relational Model for Spatial Information» in *Proceedings of AUTO-CARTO 7, Seventh International Symposium on Computer-Assisted Cartography*. Little Falls Church, Virginia: ACSM-ASPRS.

NCGIA (1989): «The research plan of the National Center for Geographic Information and Analysis», *International Journal of Geographic Information Systems*, 3, 2, 117-136.

OS (1988): *A summary of the Ordenance Survey Specification for Digitising Large Scale Maps*. London: Ordnance Survey.

PEUCKER, T. and CHRISMAN, N. (1975): «Cartographic Data Structures», *The American Cartographer*, 2, 1, 56-59.

RHIND, D. W. (1977): «Computer Aided Cartography», *Transactions, Institute of British Geographers*, New series, 2, 1, 71-97.

– (1981): «Geographical Information Systems in Britain» in WRIGLEY, N. and BENNETT, R.J. (eds.) *Quantitative Geography*. London: Routledge and Kegan.

– (1987): «Recent developments ingeographical information systems in the U.K.», *International Journal of Geographic Information Systems*, 1, 3, 229-241.

– (1988): «A GIS research agenda», *International Journal of Geographic Information Systems*, 2, 1, 23-28.

RHIND, D. W.; ARMSTRONG, P. and OPENSHAW, S. (1988): «The Domesday Maschine: A Nationwide Geographical Information System», *The Cartographic Journal*, 154, 1, 56-68.

RHIND, D. W. and MOUNSEY, H. (1989): *Understanding Geographic*

Information Systesms. Basingstoke, UK: Taylor and Francis Ltd.
SINHA, A.K. and WASUGH, T.C. (1988): «Aspects of the implementation of the GEOVIEW design», *International Journal of Geographic Information Systems*, 2, 91.
TOMLIN, C.D. (1983): «A Map Algebra» in *Proceedings of the 1983 Harvard Computer Graphics Conference*. Cambridge, Massachussets: Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Harvard University.
TOMLINSON, R.F. (1984): «Geographic Information Systems. A New Frontier» in *Proceedings of the Ist International Symposium on Spatial Data Handling*. Zurich, Switzerland: IGU Commision on Spatial Data Sensing and Processing.
US NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1980): *Need for a Multipurpose Cadatre*. Washington D.C.: National Academy Press.
— (1983): *Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre*. Washington D.C.: National Academy Press.
WAUGH, T.C. and HEALEY, R.G. (1987): «GEOVIEW: a relational data base approach to geographical data handling», *International Journal of Geographic Information Systems*, 1, 101.