



LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Enrique López Lara

Carlos Posada Simeón

Jesús Gabriel Moreno Navarro

Universidad de Sevilla

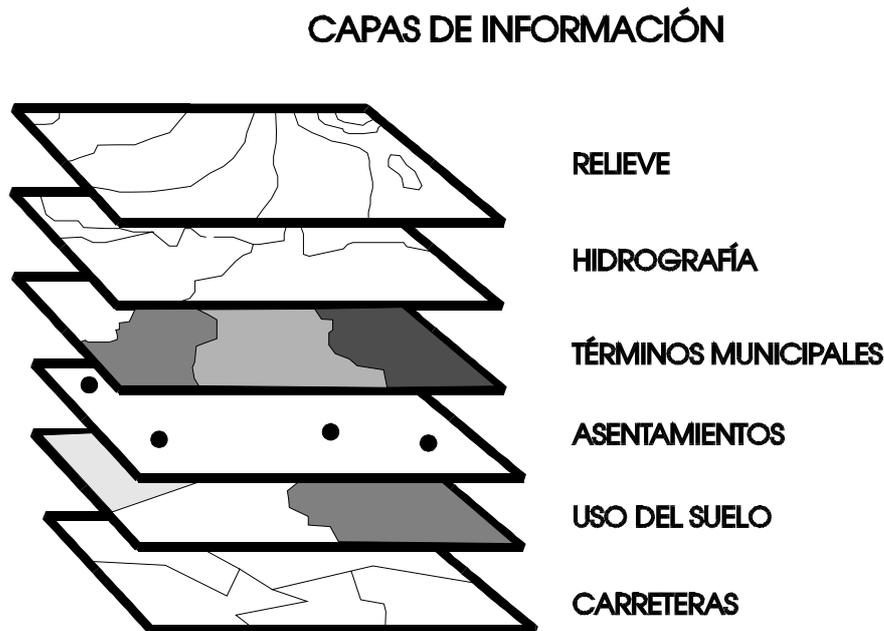
1.- Conceptos y funciones básicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIGs).

El término SIG, que en la actualidad está ampliamente difundido tanto en la geografía como en otras ciencias, en especial en aquellas vinculadas con la planificación territorial y la resolución de problemas socioeconómicos y ambientales, es de compleja definición habida cuenta de sus capacidades técnicas y analíticas y su carácter multipropósito. En realidad existen tantas definiciones como especialistas que utilizan el SIG. Tales definiciones se han efectuado desde distintos puntos de vistas, funcional y estructural (RHIND, 1981; GUEVARA, 1983; MARBLE, 1984, BERRY, 1987) o basadas en sus aplicaciones y objetivos (GOODCHILD, 1985; MULLER, 1985; BOAERTS, 1989; PEUQUET, D.J., 1990).

Detallar lo que aporta y cómo entienden los distintos autores los Sistemas de Información Geográfica es tarea aquí fuera de lugar. No obstante, a modo de introducción, la propuesta por el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de los Estados Unidos resulta útil y operativa: "*Un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación*".

Por otra parte, cualquier ciencia relacionada con el espacio, en especial la geografía, analiza el territorio a través de distintas capas temáticas (el suelo y sus usos, los términos municipales, la red hidrográfica, el sistema de asentamientos, las infraestructuras viarias --carreteras, ferrocarriles...-- la distribución de equipos y servicios...). Esto es, detectando y usando, aislada o conjuntamente, distintos estratos de información de la misma zona (Fig. I). De esta forma, el investigador puede analizar cada una de estas capas temáticas dependiendo de los objetivos de su estudio. En este sentido, la gran ventaja de los SIGs es que pueden relacionar las distintas capas entre sí, lo que concede a estos sistemas unas espectaculares capacidades de análisis, pudiendo responder a peticiones complejas y, por ello, producir mapas derivados que pueden representar situaciones reales o escenarios hipotéticos o simulados de gran utilidad (CEBRIAN, 1988)

Fig. I. CAPAS DE INFORMACIÓN EN UN SIG



2. Origen y desarrollo

Aunque existen autores que marcan el origen de los SIGs con la aparición de las técnicas cartográficas (RUIZ, M., 1995), se puede afirmar que el inicio de los SIGs se produjo con el cambio del formato analógico (cartografía convencional) al digital. Por tanto, la evolución de los Sistemas de Información Geográfica está en estrecha relación con el propio desarrollo de la informática (en especial, los aspectos del software y del hardware).

De esta forma, la aplicación de los ordenadores al análisis de la información espacial en la década de los 60 contribuyó de forma revolucionaria al tradicional método de análisis de datos espaciales. Se comenzó a manejar un mayor número de información, con una velocidad de acceso a tales datos impensable unos años antes; además, la reducción de costes para el tratamiento cartográfico, así como para su actualización, disminuyó considerablemente.

Es en 1964 cuando hizo su aparición los SIGs. Roger Tomlinson, que tuvo un papel determinante, pretendía el análisis de la información del *Canadá Land Inventory*, para un posterior desarrollo en los planes de gestión de diversas zonas de Canadá. Para ello estableció un banco de datos territorial, el denominado Canadian Geographic Information System (CGIS). Su aplicación consistió en desarrollar, a partir de una serie de mapas temáticos, un modelo de procesamiento integrado (estructuración de la información territorial, superposición cartográfica, captación de datos, vectorización de imágenes escaneadas...). Este proyecto fue financiado por el Departamento de Agricultura de Canadá, siendo la empresa IBM la que aportó del hardware necesario (BOSQUE SENDRA, J., 1992).

A finales de esta década destaca la labor realizada por el LCG (Harvard Computer Graphics Laboratory), fundada por el arquitecto H. Fisher que deseaba utilizar ordenadores para la elaboración de gráficos y el manejo de información espacial para el planeamiento territorial. De este modo se creó una serie de programas de cartografía como el SYMAP, CALFORM, GRID... que contribuyeron de manera decisiva al avance y al uso de los ordenadores en el análisis espacial. Pero sus resultados en esa época fueron poco aceptados, ya que al utilizar impresoras matriciales de baja resolución, sus conclusiones se vieron truncadas, creándose un estado de opinión poco favorable a la aplicación de estas nuevas técnicas (RUIZ, M., 1995). En una segunda etapa, este laboratorio se planteó incorporar una novedad importante que



consistió en dar topología¹ a los objetos cartográficos. Posteriormente, se crea el primer programa vectorial de SIG: ODYSSEY. Con él se incluye la digitalización semiautomática, la gestión de bases de datos y la elaboración interactiva de los mapas (BOSQUE SENDRA, J., 1992). Además, en este mismo laboratorio, se trabajó en la elaboración de diferentes programas cartográficos, basados en datos raster, entre los que destaca MAP, que sirvió de base para otros como IDRISI.

Después de todas las aportaciones del LCG, destaca la empresa comercial ESRI, que a partir de los trabajos realizados por el laboratorio de Harvard, desarrolló todos estos planteamientos, creando uno de los programas de SIG de mayor difusión mundial, el ARC/INFO, basado fundamentalmente en ODISSEY, si bien con bastantes mejoras y avances (BOSQUE SENDRA, 1994).

Los años sesenta y setenta, por consiguiente, se caracterizaron por la construcción de SIGs ligados a necesidades muy particulares, destacando de manera especial, los usos del suelo. Además, casi siempre bajo las pretensiones de organismos públicos como los departamentos de agricultura, ayuntamientos, etc. Pero las capacidades de los programas eran escasas. En este momento, años setenta, y a través de un inventario realizado por la UGI (Unión Geográfica Internacional), aparecieron 600 programas diferentes y 80 SIGs a disposición del público (GUTIERREZ PUEBLA, J. Y GOULD, M., 1994). A pesar de esta eclosión en programas de análisis espacial, el mayor progreso se consiguió a través del denominado método raster. De esta forma, se desarrollaron dos métodos diferentes y a la vez complementarios, el vectorial y el raster.

En los últimos años, los SIGs han evolucionado espectacularmente, destacando las aportaciones del NCGIA (Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis) de EEUU, creado en 1988 para desarrollar los fundamentos teóricos y conceptuales de futuros SIGs y no para desarrollar software SIG. Sus líneas de investigación fundamentales se adscriben a:

- Análisis y estadística espacial
- Relaciones espaciales y estructuras de la base de datos
- Inteligencia artificial y sistemas expertos
- Visualización de datos espaciales
- Cuestiones institucionales, sociales y económicas de los SIGs.

Cuadro I.HISTORIA DE LOS SIGs

	TECNOLOGÍAS	USUARIOS	APLICACIONES
1950	⇒ Primeros ordenadores electrónicos	⇒ Ejército	⇒ Militares ⇒ Atlas of the British Flora
1960	⇒ Mesas de digitalización ⇒ Miniordenadores 16 bits ⇒ Plotters ⇒ Uso estructuras raster en SIG	⇒ LCG ⇒ CGIS ⇒ Universidades EEUU	⇒ Investigación y educación ⇒ Planeamiento urbano ⇒ Gestión y análisis de recursos naturales
1970	⇒ Miniordenadores 32 bits ⇒ Uso estructuras vectoriales en SIG	⇒ ING	⇒ Investigación y educación ⇒ Censos ⇒ Atlas Nacional de España
1980	⇒ Ordenadores personales PC ⇒ SIG para PC ⇒ Extensión uso escáners	⇒ Universidades españolas ⇒ Institut Cartogràfic de Catalunya ⇒ Centro de Gestión Catastral y ⇒ Cooperación Tributaria	⇒ Investigación y educación ⇒ Sistema de Información territorial de Catalunya ⇒ Sistema de Información Geográfica Nacional ⇒ Systeme de Información Territorial -200 ⇒ SIG Catastral
1990	⇒ Integración SIG/GPS/Teledetección ⇒ Sistemas multimedia ⇒ Ordenadores proceso paralelo ⇒ Integración raster/vectorial	⇒ Ayuntamientos ⇒ Administraciones Autonómicas	⇒ Investigación y educación ⇒ Aplicaciones globales ⇒ Digital Chart of the world

Fte.: Adaptado de COMAS, D. Y RUIZ, E., 1993.

¹ El término topología hace referencia a las relaciones espaciales de los diferentes elementos entre sí.

En España, destaca, aunque algo prematuramente, la aportación del IGN (Instituto Geográfico Nacional), que desarrolló en los años setenta algunas bases de datos geográficas en formato digital. El resultado más relevante fue la creación de una base de datos digital a escala 1:200.000 de cobertura nacional (llamado BCN-200). Por otra parte, cabe hacer mención al Ayuntamiento de Madrid con el proyecto PLANO CIUDAD, o a la Junta de Andalucía con el SINAMBA (que se desarrollará posteriormente). Además cabe citar, por su avance, la labor emprendida por el Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria (CGCCT) del Ministerio de Hacienda que está generando una gran base de datos sobre fincas rurales y propiedades urbanas.

3. La representación digital: los formatos raster y vectorial.

Al igual que ocurre en los planteamientos básicos y técnicos que llevan la realidad a una representación cartográfica convencional, la introducción de datos en un SIG plantea dos cuestiones fundamentales a resolver:

- a) Cómo ha de concebirse el mundo real.
- b) Cómo sintetizar los componentes de los datos geográficos.

Como se vio anteriormente, la visión que un SIG tiene del mundo real está dividida en estratos, capas o coberturas. Según esta esquematización, el espacio está constituido por elementos cuya localización precisa es posible gracias a su referenciación mediante un sistema de coordenadas. Además, los elementos espaciales pueden tener atributos temáticos. De este modo se trabaja con dos tipos de datos: los espaciales y los temáticos. Los datos espaciales pueden, a su vez, desglosarse en otras dos componentes: geométrica (x,y) y topológica.

Según sea la forma de organizar y contener estos componentes (los elementos espaciales y sus atributos temáticos) se puede hablar de dos modelos de SIGs, con ventajas e inconvenientes que determinarán el uso de uno u otro, dependiendo de la naturaleza de las investigaciones (métodos, escalas, objeto, objetivos...). Son los modelos "raster" y "vectorial".

3.1.- El modelo RASTER

El modelo raster representa la realidad a través de superficies determinadas que quedan dispuestas en forma de matriz, en la que cada elemento está representado por un "pixel"¹. La representación cartográfica queda dividida en celdas a manera de las teselas de un mosaico, que agrupadas o en unidades, representan los objetos de la realidad. La representación queda simplificada en formas geométricas, predominando los cuadrados y los rectángulos.

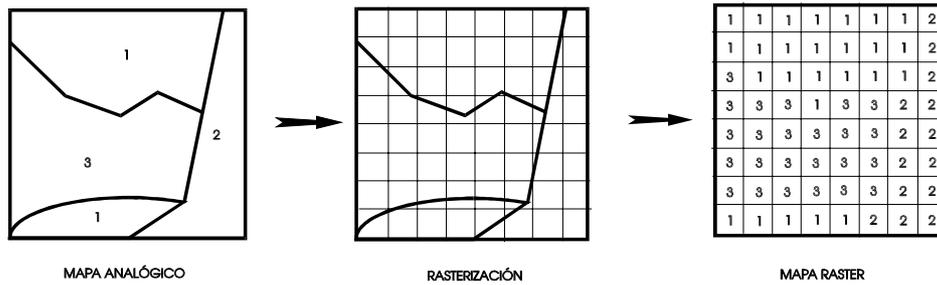
La resolución geométrica depende del tamaño de dichas celdas, que representan superficies de 10 y 100 m², y de 1 y 10 km², siendo más extendido el uso de celdas de 100 m².

Estas celdas quedan identificadas en un diagrama cartesiano según las filas y columnas que van ocupando, tal y como muestra la Fig. II.

La identificación conforme a este sistema de coordenadas tiene su correspondencia en los sistemas vectoriales que veremos posteriormente.

¹UNIDAD MÍNIMA DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DIGITALIZADA.

Fig. II. CAMBIO DEL FORMATO ANALÓGICO AL DIGITAL



El sistema raster lo que realmente hace es digitalizar el mundo real transformando los elementos a representar en píxeles. De este modo, cada celda tiene un valor que la identifica y/o agrupa entre las demás, lo que resulta especialmente útil para representar fenómenos que se manifiestan en el territorio, como por ejemplo:

- Variables físicas, como son la topografía (valor según altura o pendiente) y precipitaciones.
- Regiones, que estarían constituidas por píxeles agrupados con el mismo valor.
- Usos de suelo o cualquier tipo de información determinada por áreas, que tendrían valores asignados según una clasificación adoptada previamente.
- Distancias entre objetos, ya que existe un sistema de coordenadas con una dimensión determinada para cada uno de los píxeles.
- Emisiones y reflexiones de energía, que son captadas por los sensores de los satélites, cuya información es digitalizada en función del valor de las emisiones.

Las celdas sólo pueden tener un valor, por lo que los objetos representados tienen que estar dispuestos en diferentes archivos según la variable que se esté tratando. Es decir, se debe separar el espacio en diferentes capas según los aspectos de la realidad que se vayan a representar. Esta es una de las limitaciones del modelo raster, ya que son necesarias muchas más capas o coberturas que en un modelo vectorial.

Así, por ejemplo, si se tiene que representar un bosque, se le dará homogéneamente un valor a todo el polígono que ocupa, pero si se debe representar el valor de emisiones de infrarrojos, se tiene que pasar a una nueva cobertura en la que representar este fenómeno.

En la codificación de los datos raster se deben de tener en cuenta dos factores:

- a) el de localización, que viene determinado por el lugar que ocupa dentro de la matriz, y
- b) el del valor, que viene representado por un número. Número que debe tener un significado establecido, esto es, el bosque vendría representado por un sector de números enteros iguales y agrupados dentro de la matriz, que desde ese momento se identifica como tal fenómeno que representa. Si se manipulan diferentes coberturas de la misma zona, se debe tener en cuenta que los elementos representados en éstas están localizados por las mismas filas y las mismas columnas, quedando la diferencia sólo para los valores representados.

En el almacenamiento de los archivos raster no necesitan ser incluidas las coordenadas, sólo los valores. De todas formas la cantidad de celdas que son necesarias para obtener una resolución significativa es elevada. Una operación real suele tener en torno a las 200 coberturas por área, y si cada una tiene en torno a las 5.000 celdas, se traduce en un millón de píxeles (BERNHARDSEN, T., 1992). Como referencia, una imagen raster del satélite Landsat contiene en torno a los 35 millones de píxeles. Por



supuesto el volumen de datos depende del tamaño de los píxeles, es decir, si se reduce la cantidad de territorio representado por una celda, aumentando la resolución de la imagen, estaremos a su vez aumentando el número de píxeles y, por lo tanto la extensión del archivo. Por lo general, el problema del exceso de volumen de los archivos se intenta solventar renunciando a mejores resoluciones cuando se trata de representar grandes extensiones con valores homogéneos, o lo que es lo mismo, se aumentan las celdas a representar por cada pixel.

Como ha podido leerse, una gran ventaja del modelo raster es la fácil instrumentación de la recogida de los datos a tratar y su posterior conversión a información digitalizada. Ello lo hace sumamente útil en estudios de fenómenos con una manifestación perceptible, ya sea por sensores especiales o por la propia percepción sensorial humana. Los modelos raster resultan útiles para el tratamiento de imágenes satélites y escanadas y para el dibujo automático por plotter e impresoras.

Es especialmente útil en estudios de impacto ambiental, ya que es posible traducir la realidad a formato digital con "un antes" y "un después", sobre todo en aquellos fenómenos sólo perceptibles mediante sensores. La operatividad que le proporciona su fácil instrumentalización de cara a la recogida de datos hace también que el margen entre el antes y el después pueda reducirse y precisarse con gran exactitud. En Andalucía, dentro del proyecto SINAMBA, la desaparecida Agencia del Medioambiente desarrolló, con personal propio, un software especial de tratamiento de imágenes satélite, "AMATEL" que se ajusta a las necesidades específicas del Sistema de Información Medioambiental (FERNÁNDEZ LINEROS, F., 1994).

3.2.- El modelo VECTORIAL.

La representación espacial en un modelo vectorial se basa en la localización de puntos individuales según determinadas coordenadas, viniendo definida por funciones matemáticas, por lo que se pueden representar puntos, líneas parábolas, polígonos,... En estos casos los datos incluidos en los SIGs deben ser parámetros que se den en una ecuación, tales como radios de círculos, distancias en general, etc.

Los puntos, las líneas y los polígonos son las unidades que contienen la información, de manera más compleja que en el modelo raster. Al tratarse de funciones tiene la ventaja de que su representación gráfica mantiene siempre el mismo tamaño del trazo, ya que este no tiene magnitud. Es decir, si se aumenta un cuadrante con un "zoom", las líneas se mantendrán del mismo grosor, mientras que en el raster se trataba de teselas que aumentarían de tamaño.

Los elementos están representados por una función matemática y a su vez mantienen un vínculo con una base de datos. En esta última, cada uno de los elementos tendrá asignado los parámetros identificativos para su función dentro de un registro. Estos parámetros suelen estar contenidos en campos, como por ejemplo "perímetro" en el caso de los polígonos, "longitud" en el caso de las líneas y, por supuesto, las coordenadas de los puntos que lo constituyen o configuran.

En este modelo la unidad básica de representación gráfica es el punto. Una línea estará determinada por un punto de origen y otro final, cada uno con sus respectivas coordenadas. A su vez un polígono estará determinado por varias líneas. En el argot de los SIGs se denominan *nodos*, *arcos* y *polígonos* propiamente dichos. Estos elementos representados por registros pueden añadir a los campos contenidos otros atributos, tanto nominales como numéricos, aunque en algunos SIGs vectoriales se mantienen los atributos en diferentes bases de datos. Cada elemento llevará una etiqueta que lo vincula a su correspondiente registro dentro de la base de datos y por lo tanto le asigna los atributos que se hayan incluido. De esta forma se consigue llevar hasta su máxima consecuencia la definición de un SIG como una herramienta que aplica la operatividad de una base datos a la representación cartográfica de sus



registros, pero que además toda modificación en su componente gráfica va a tener a su vez su efecto correspondiente en la base de datos.

Así, por ejemplo, este modelo de SIG permite la edición de archivos DBF de manera gráfica y matemáticamente asociada a su lugar geográfico, esto es "georreferenciada" incluyendo todas las posibilidades de reordenación, clasificación y condicionamientos que se pueden aplicar en la base de datos. La mayor ventaja estriba en la posibilidad de asignar varios atributos a un mismo elemento dentro de una misma cobertura, e incluso la posibilidad de asociar varios temas dentro de cada una.

Dentro de los modelos vectoriales se distinguen los modelos "spaghetti" y los modelos topológicos. Los modelos "spaghetti" son los más simples y se limitan a identificar sus elementos según las coordenadas. Las fronteras comunes entre polígonos están duplicadas, es decir están digitalizadas dos veces, una por cada polígono que la comparte, siendo la única forma de mantenerlos como unidades independientes. El resultado es una trama de líneas que, en el caso de los polígonos adyacentes, da lugar a la representación de líneas dobles entrecruzadas, mostrando similitud al entramado de espaguetis, de ahí el nombre. Esta circunstancia aleja al sistema de la precisión necesaria para representar la realidad.

La inclusión de topología como factor de identificación de los elementos evita esos inconvenientes. El modelo topológico tiene en cuenta, además de su localización por coordenadas, las relaciones con los elementos adyacentes. Esta relación topológica se mantiene aunque se altere la forma y la extensión de los elementos, lo que significa una gran ventaja a la hora de manipular los datos.

Estos modelos presentan ventajas sobre los raster a la hora de analizar redes y realizar análisis de contigüidad y conectividad. La superposición de coberturas vectoriales tiene también más posibilidades de análisis, ya que se mantienen las formas y los elementos de las coberturas, mientras que la superposición de coberturas en los modelos raster se limita a la operación de matrices que recrean nuevas coberturas. Sin embargo, como se apuntó anteriormente, los modelos raster se acoplan mejor al tratamiento de imágenes satélites.

No parece clara la imposición de un modelo sobre otro, ya que como se ha venido indicando, las ventajas intrínsecas de cada uno lo hacen indispensables y favorables para determinadas áreas de estudio y su correspondientes líneas metodológicas. De hecho los SIGs, tanto vectoriales como raster, tienen herramientas de conversión para tratar las coberturas con las diferentes posibilidades de cada uno de los modelos. En la vectorización, las áreas que contienen las mismas celdas son convertidas a polígonos con sus atributos. Del mismo modo, al rasterizar una imagen vectorial, cada celda contenida en un polígono estará representada por un mismo valor correspondiente a un atributo. Por supuesto, en esta conversión se debe tener en cuenta las limitaciones que presentan ambos sistemas y preparar previamente las coberturas. No se crea información al convertir, más bien se puede perder si no se tiene en cuenta esas limitaciones. La conversión, en esencia, sólo sirve para facilitar las labores de análisis de datos.

4.- Aplicaciones básicas de los SIGs. Algunos modelos de análisis generados en Andalucía.

Dadas las características técnicas de los SIGs, su rápida y eficaz evolución hacia la simplificación y mejora de su uso, así como sus altas prestaciones como herramientas multipropósito, los campos de aplicación son muy diversos.

En este epígrafe se va a realizar un inventario general y un breve y seleccionado repaso a las utilidades y aplicaciones básicas de los SIGs, si bien se hará una mayor inflexión en aquellas cuestiones de referencia y análisis regional, por causas obvias de contextualización de la ciencia regional.

Las líneas básicas y generales de aplicación SIG, diferenciables en cada una de ellas por el tratamiento escalar y territorial posible, son principalmente (GUTIERREZ PUEBLA , J. y GOULD, M., 1994):



- Medio ambiente y recursos naturales: (estudios y actuaciones forestales, cambios en los usos del suelo, estudios de impacto ambiental, localización de vertederos, evaluación de la desertización y la erosión, gestión de recursos, etc.)
- Catastro de bienes rústicos y urbanos: información espacial (localización, límites y superficies) y temática (cultivos o aprovechamientos, calidades, valores...) de los catastros para su gestión rápida y eficaz.
- Infraestructuras, transportes y articulación regional: (trazado y planificación de las infraestructuras lineales, mantenimiento y conservación de infraestructuras de transportes, impactos territoriales de las nuevas infraestructuras, sistemas de navegación para automóviles, determinación de caminos óptimos, dibujo de áreas de influencia...)
- Redes de infraestructuras básicas: (redes eléctricas, telefónicas, de distribución de agua, de gas, alcantarillados, etc.; análisis de capacidades, trazados, conectividad, accesibilidad, impactos, evaluaciones medioambientales y económicas, etc.)
- Protección civil: determinación y evaluación de riesgos, desastres, y catástrofes ya naturales, ya antrópicas... Planes de actuación ante su presencia.
- Análisis de mercados: (análisis espacial de mercados, geomarketing o geodemografía; localización de sedes o centros, estudios de accesibilidad, potencial de mercado, áreas de influencia, etc.)
- Planificación urbana: gestión de impuestos municipales, control del cumplimiento de la normativa urbanística, localización de nuevos equipamientos, mejora del transporte, control del tráfico, etc.
- Estudios del Patrimonio histórico, arqueológico, antropológico, etc. Localizaciones, impactos, actuaciones...
- Aplicaciones varias en la *sanidad* (distribución de centros, determinación de áreas de influencia con carencias/necesidades, evaluaciones y seguimientos epidemiológicos, red de transporte sanitario/ambulancias...), estudios de *seguridad* (policía y militar), *aplicaciones pedagógicas/docentes* (a todos los niveles, en el aula o mediante resultados trasladables a libros, atlas, formato digital y/o CD-ROM, etc.). Aplicaciones en *ingeniería* (control de piezas y sistemas).

De forma sucinta, quedan recogidas las principales aplicaciones de las herramientas SIGs. Ha de tenerse en cuenta que los objetivos del trabajo o de la investigación deben determinar la escala y el territorio abarcado, así como el modelo a utilizar (raster o vectorial) y los caracteres básicos de las coberturas a generar o usar. Estos aspectos, aparentemente obvios, son de vital importancia por cuanto de ellos va a depender la validez de los resultados. Es por ello por lo que es necesario insistir que, tan importante como la utilización SIG, es la determinación metodológica y operativa de lo que se pretende hacer, para evitar el caer en falsos resultados o fracasos y desilusiones evitables.

En el siguiente epígrafe se mostrará la variedad y falta de homogeneidad de las fuentes y coberturas SIGs aplicable actualmente en el territorio andaluz.

Se recoge a continuación las aplicaciones más sobresalientes de las que tenemos constancia que, hasta la fecha, se han producido en Andalucía. Cabe abrir este apartado empezando por la producción de la administración autónoma, en especial lo realizado por la actual Consejería de Medio Ambiente, antes Agencia del Medio Ambiente. Con carácter pionero, y no sólo en nuestro ámbito autonómico, ha proyectado y llevado a buen puerto el SinambA (Sistema de Información Ambiental de Andalucía). Éste lleva un largo camino recorrido (empezó en septiembre de 1985), en sucesivas fases, centradas en las siguientes líneas (CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE, 1996):



- 1.- Creación de bases de datos, alfanuméricos y georreferenciados, sobre los principales recursos naturales (relieve, suelo, clima, agua, uso, vegetación...)
- 2.- Confección de bases de datos, alfanumérica y georreferenciadas, sobre la estructura socioeconómica de la región.
- 3.- Elaboración de información, alfanumérica y georreferenciada, sobre la carga contaminante que pesa sobre la región, diferenciándose la carga de emisión de la estructura socioproductiva y la capacidad de emisión de diversos agentes (salud humana, flora y fauna, edificaciones, recursos naturales, etc.)
- 4.- Conformación y desarrollo de la arquitectura informática (elementos del hardware y del software necesarios para el tratamiento de la información procesada).
- 5.- Implantación de una red telemática que permite acceder al SinambA desde Universidades y Delegaciones provinciales de la Consejería.
- 6.- Desarrollo de las técnicas de tratamiento digital de imágenes satélites.
- 7.- Definición de niveles coherentes de manejo de información generada e integrada en el Sistema.

Es de reseñar, tal y como la propia Consejería indica, que el SinambA se configura, más que como una mera recopilación de información, como un modelo interdisciplinario complejo de simulación-predicción que supera visiones parciales de la realidad. Es capaz de dar respuestas a cuestiones tanto explicativas de la realidad, como orientativas de futuras actuaciones de agentes públicos y privados (CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE, 1996).

Es ahora cuando cabe reseñar la iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía y Hacienda y de la empresa pública Sadiel, el SIGMA (Sistema de Información Geológico Minero de Andalucía), con el objeto de manejar y gestionar de manera dinámica la información geológica y minera.

De interés, no por ser un SIGs, pero sí por la evolución que hacia este formato está adquiriendo, es el SIMA (Sistema de Información Municipal de Andalucía), a cargo de Instituto de Estadística de Andalucía. Éste también está generando, aunque de forma lenta y confusa, el *Sistema de Gestión de Indicadores Económicos de Andalucía*. La institucionalización del IEA (Ley 4/1989 de 12 de diciembre) dio un empujón a la producción de estadísticas a cargo de la propia administración autónoma, adquiriendo el municipio el carácter de referente o unidad básica y menor de generación, adquisición y presentación de datos o estadísticas. Las producciones de informaciones alfanuméricas, en bases de datos, debe dar pronto, con necesidad urgente, a formatos digitales.

SinambA, SIGMA y SIMA son los modelos y procesos de mayor renombre de la administración autónoma. Luego cabe aludir a las realizaciones, desgajadas por adscripciones, temáticas y objetivos, de los diferentes órganos autonómicos. En el siguiente epígrafe se expone una relación de coberturas existentes con formato SIG. Se ha creado, no obstante, una Comisión de Cartografía de Andalucía, adscrita al Instituto de Cartografía de Andalucía de la Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo que, en 1994 realizó una Ponencia sobre SIGs, "con el objetivo de impulsar la coordinación entre los centros directivos de la Junta de Andalucía que usen sistemas de información georreferenciados" (JUNTA DE ANDALUCIA, 1996).

Otros órganos administrativos, en especial las Diputaciones (Sevilla, Granada..) y los ayuntamientos (Puerto de Santa María, Jerez, Sevilla,etc.), están generando coberturas digitalizadas de sus respectivos ámbitos territoriales.



Finalmente, centros de investigación (las Universidades, en particular) y empresas públicas y privadas (por ejemplo, Red Eléctrica) están generando, en función de sus objetivos, los diversos trabajos o encargos de investigación, productos (coberturas y análisis) SIGs. Éstas están dispersas, abarcan ámbitos territoriales muy dispares, escalas diferentes y, por ello, escasa coherencia, compatibilidad y complementariedad de las mismos. En Andalucía es reseñable lo producido por la Universidad de Málaga, Granada y Sevilla, a tenor de las aportaciones a los Congresos SIGs, en especial a los del Grupo de Métodos Cuantitativos de la AGE (1992 y 1994).

5. Fuentes: estado actual de la producción de información territorial SIGs en Andalucía.

La realización de la información base para poder hacer las aplicaciones y los análisis antes reseñados requiere, según se ha comentado, una parte sustancial de los costes (temporales y económicos) de los usuarios de los SIGs. Por ello cada vez se hace más relevante el conocer las fuentes, el inventario de las coberturas en disposición de ser utilizadas y sus vías de comercialización.

En este sentido se ha de apuntar que, en general, y debido al carácter incipiente y, en cierta medida hasta ahora, autárquico de las herramientas SIGs, la información disponible es escasa, su normalización prácticamente inexistente y las vías de comercialización aún confusas.

Se debe achacar el estado de la cuestión fundamentalmente al carácter pionero que esta herramienta aún presenta. No en balde, la generalización de los programas SIGs para PC es relativamente reciente. Además, las más de las veces, han sido los propios usuarios (grupos de investigación, organismos de las diferentes administraciones públicas, empresas privadas...) quienes han tenido que confeccionar sus bases cartográficas, digitalizando los mapas de formato analógico, en general, de forma descoordinada y atendiendo a los caracteres intrínsecos de los objetivos de la investigación o trabajo.

Como se puede suponer, ante este estado de cosas, la mayor parte de los formatos y de las coberturas SIGs aparecen hoy por hoy diseminadas en su propiedad y aleatorias en sus caracteres temáticos, territoriales y escalares. En resumidas cuentas, prácticamente inadecuadas para la mayoría de los potenciales usuarios. Cuestión de importancia singular habida cuenta de las posibles duplicidades e inversiones económicas y temporales, que pueden llegar a evitarse.

En contrapartida hay que señalar que, desde hace unos cinco años, existe una preocupación creciente por parte de los diferentes organismos e instituciones de producción cartográfica analógica en crear, generar y comercializar producciones en formato digital. A continuación se realiza un recorrido por éstos, siguiendo una metodología de exposición escalár.

A nivel estatal tres son los organismos que hasta la fecha se han preocupado de desarrollar, elaborar y comercializar coberturas para usuarios SIGs, a saber: el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Servicio Geográfico del Ejército (SGE) y el Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria (CGCCT).

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) tiene como producción digital base el BCN-200 (Bases Cartográficas Numéricas), en donde queda recogido a escala 1:200.000 el territorio del Estado Español. El BCN-200 permite la gestión informática del territorio como si fuera un mapa continuo, acoplándose en éste las bases de datos municipales y provinciales. El BCN-200 se encuentra actualmente comercializado.

Tiene previsto el IGN la comercialización del BCN-25, esto es, las Bases Cartográficas Numéricas a escala 1:25.000 (disponibles, probablemente, a finales de este año).



El IGN dispone, asimismo, de un mapa de ocupación del Suelo (CORINE-Land Cover) a escala 1:100.000, y modelos digitales del terreno (MDT200 y MDT25), e imágenes de Teledetección Landsat y SPOT.

El Servicio Geográfico del Ejército (SGE) cuenta con un modelo digital del terreno con malla de 30 m. y ha editado la Carta Digital de España a escala 1:250.000.

El Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria (CGCCT), en atención a sus funciones, digitaliza desde 1988 coberturas a distintas escalas. Por regla general, realiza el catastro de rústica a escala 1:5.000 y el de urbana a 1:1.000 o a 1:500, dependiendo de la importancia de los núcleos. Por ello, la cobertura que ha producido el CGCCT es variable y dispersa. Actualmente intenta llegar a acuerdos de colaboración con las diferentes entidades locales (ayuntamientos) para la generación de levantamientos y las labores de restitución cartográfica con criterios de homogeneización.

A nivel autonómico, las diferentes Comunidades han ido generando, con desigual intensidad, productos cartográficos digitalizados. Cabe destacar en sentido positivo, tanto por la cantidad como por la calidad, lo realizado en Cataluña, Andalucía, Madrid, Valencia, Aragón y País Vasco (JUNTA DE ANDALUCIA, 1996).

En lo que concierne a la Comunidad Autónoma de Andalucía, ha de decirse que ocupa un lugar principal en relación al resto de las CC.AA., dadas las experiencias realizadas. En este sentido destaca con luz propia lo generado por la Consejería de Medio Ambiente, en especial todo lo vinculado al proyecto SinambA (Sistema de información ambiental de Andalucía). Después, son de mención las realizaciones de la Consejería de Obras Públicas y Transportes. No es de extrañar, por lo comentado, que actualmente las coberturas SIGs existentes y de más y mejor calidad sean las que hacen referencia al medio natural (medioambiente), en especial a los Espacios Naturales y a los ámbitos costeros, y a las infraestructuras en general, viarias en particular.

Atendiendo al Diagnóstico que la Consejería de Obras Públicas y Transportes realizó en julio de 1996, el estado actual de las coberturas SIGs generadas en la administración autónoma es, en cantidad aceptable, pero en calidad mejorable. Existe una honda preocupación para que no se dimensione la producción cartográfica digital sin criterios de homogeneidad (en formato, en escalas, en territorios...) ya que ello puede ocasionar despilfarros en los esfuerzos económicos y temporales y, lo que es más grave aún, falta de funcionalidades presentes y futuras por las incompatibilidades que las inadecuaciones puedan generar entre los distintos organismos de la propia administración autónoma.

Y no sólo entre éstos, sino los que puedan producirse con y entre los de otras administraciones (Diputaciones, Ayuntamientos...) y centros de investigación (la Universidad, en particular).

A continuación se expone un CUADRO de síntesis de las coberturas disponibles para el territorio andaluz. Es destacable que desde 1995 se halla disponible el MTA (Mapa Topográfico de Andalucía) a escala 1:10.000 en formato ráster, editado por el Instituto de Cartografía de Andalucía (I.C.A.). El MTA escala 1:10.000 en formato analógico fue elaborado (1987-1992) por el I.C.A., contando con 2.738 hojas, que cubren totalmente el territorio de la Comunidad. Es la referencia escalar, a nivel de detalle, señalada por el SinambA.

El resto de coberturas se relaciona a continuación.



CUADRO I. COBERTURAS DEMANDADAS POR LA ADMINISTRACIÓN AUTONÓMICA

COBERTURAS DEMANDADAS		
COBERTURA	ESCALA 1/	ESTADO
Clinometría	100.000	
Modelo Digital del Terreno (DTM)	10.000-100.000	Incompletos
Geología y Litología	10.000-100.000	
Cartografía Geológica	50.000	
Perfil Geología	200.000	
Estratigrafía Cronológica	50.000	Inexistente
Estratigrafía Litológica	50.000	Inexistente
Características hidrogeológicas	50.000	Inexistente
Características constructivas materiales	50.000	Inexistente
Geomorfología	50.000	Inexistente
Formaciones Superficiales	50.000	Inexistente
Procesos Activos	50.000	Inexistente
Unidades cartográficas Taxonómicas	50.000	Inexistente
Red Hidrográfica	50-100-200-400-1.000*	No adecuadas
Cuencas Hidrográficas	50-200-400-1.000*	No adecuadas
Riesgos Hidrología	100.000	Inexistente
Climatología	?	No adecuada
Inventario Vegetación actual	50.000-100.000	Incompleta-No ade.
Recursos Vegetación	100.000	Incompleta
Vegetación potencial	50.000	No adecuada
Mapa Reorganización de propiedad	5.000	Inexistente
Mapa Propiedad Agraria	5.000	Inexistente
Fincas del IARA	10.000	Inexistente
Actuaciones Colonización	2.000	Inexistente
Concentración Parcelaria	2.000	Inexistente
Cat. Explotaciones Prioritarias	10.000	Inexistente
Superficie Cultivos Agrícolas	50.000	Inexistente
Superficie Cultivos Leñosos	50.000	Inexistente
Superficie de regadíos	10.000	No adecuada
Superficie de Secano	10.000	No adecuada
Superficie de Cultivos	10.000	No adecuada
Suelos	200.000	No adecuada
Mapa cultivos y aprovechamientos	50.000	No adecuada
Mapa pendientes	50.000	No adecuada
Mapa altitudes	50.000	
Clases agrológicas en pendiente	50.000	No adecuada
Registro de Lodos Depuración	10.000	No adecuada
Registro Vitícola	5.000	No adecuada
Comarcas agrarias	200.000	No adecuada
Contaminación Recursos Naturales	100.000	No adecuada
Contaminación Recursos Biológicas	100.000	Inexistente
Contaminación Ecosistemas	100.000	Inexistente
Espacios Protegidos	100.000	
Planes Ordenación EE.PP.	50.000	Incompleta
Espacios Naturales de Interés	50.000	Incompleta
Planes Forestales	50.000-100.000	Inexistente
Mapa de paisajes	50.000-100.000	Inexistente
Zonas metropolitanas	10.000	Inexistente
Callejeros	1.000	Inexistente
Núcleos Urbanos	1-2-10.-20*	Inexistente
Sistema de Ciudades	100.000-200.000	
Figuras Planeamiento Urbanístico	10.000	Inexistente
Régimen del Suelo	2.000	Inexistente
Espacios Públicos	10.000	Inexistente



Residuos	100.000	
Saneamiento	100.000	
Saneamiento aguas Residuales		
Infraestructuras (en general)	50-200-400*	Inexistente
Infraestructuras Industriales	100.000	
Infraestructuras de Transporte	100.000	
Infraestructuras Hidráulicas	100.000	
Instalaciones de Riesgo	200.000	Inexistente
Embalses	1.000.000	
Red viaria	5-50-100-200-400-1.000*	Inexistente/No ade.
Red ferroviaria	100.000	
Puertos Pesqueros	1.000.000	No adecuada
Red Electricidad (privada)	-	Inexistente
Red electricidad Sevillana	-	
Red Gas (urbana)	10.000	
Red Telefónica	-	Inexistente
Red Airtel	-	Inexistente
Red Retevisión		Inexistente
Conjuntos Históricos	1.000	Inexistente
Edificios Singulares	1.000	Inexistente
Localización de Servicios	200.000	
Mapa de actividades culturales	1.000-10.000	
Mapa de Recursos Culturales	10.000	Inexistente
Sistemas de Abastecimiento	100.000	
Zonas Turísticas	100.000	Inexistente
Espacios Públicos Supramunicipales	100.000	Inexistente
Actuaciones en Vivienda	10.000	Inexistente
Planes Intermodales de Transportes	10.000	Inexistente
Secciones Censales	10.000	Inexistente
Zonas Básicas de Salud (ZBS)	10.000	Inexistente
Distritos Escolares	10.000	Inexistente
Términos Municipales	50-100-200-400-1.000*	No adecuadas
Límites Comarcales	50-200-400-1.000*	
Límites Provinciales	50-100-200-400-1.000*	No adecuadas
Contornos Regionales	100-1.000*	
Contorno europa	4.000.000	
Mapa del Litoral	10.000	Inexistente
Mapa Topográfico de Andalucía	10.000-50.000	Incompleto/inexi.

* por mil.

Fte.: Adaptado de *Los SIG en la Junta de Andalucía*.

De todas estas coberturas, hay que precisar que algunas de ellas se están llevando a cabo o se van a hacer, tal como se recoge en el cuadro.



CUADRO II. COBERTURAS A PRODUCIR POR LA ADMINISTRACIÓN AUTONÓMICA

COBERTURAS A PRODUCIR	
COBERTURA	ESCALA 1/
Modelo Digital del Terreno (DTM)	10.000-100.000
Estratigrafía Cronológica	50000
Estratigrafía Litológica	50000
Características hidrogeológicas	50000
Características constructivas materiales	50000
Geomorfología	50000
Formaciones Superficiales	50000
Procesos Activos	50000
Unidades cartográficas Taxonómicas	50000
Red Hidrográfica	50-100-200-400-1.000*
Cuencas Hidrográficas	50-200-400-1.000*
Riesgos Hidrología	100000
Climatología	?
Inventario Vegetación actual	50.000-100.000
Recursos Vegetación	100000
Vegetación potencial	50000
Mapa Reorganización de propiedad	5000
Mapa Propiedad Agraria	5000
Fincas del IARA	10000
Actuaciones Colonización	2000
Concentración Parcelaria	2000
Cat. Explotaciones Prioritarias	10000
Superficie Cultivos Agrícolas	50000
Superficie Cultivos Leñosos	50000
Superficie de regadíos	10000
Superficie de Secano	10000
Superficie de Cultivos	10000
Suelos	200000
Mapa cultivos y aprovechamientos	50000
Mapa pendientes	50000
Clases agrológicas en pendiente	50000
Registro de Lodos Depuración	10000
Registro Vitícola	5000
Comarcas agrarias	200000
Contaminación Recursos Naturales	100000
Contaminación Recursos Biológicas	100000
Contaminación Ecosistemas	100000
Planes Ordenación EE.PP.	50000
Espacios Naturales de Interés	50000
Planes Forestales	50.000-100.000
Mapa de paisajes	50.000-100.000
Zonas metropolitanas	10000
Callejeros	1000
Núcleos Urbanos	1-2-10.-20*
Figuras Planeamiento Urbanístico	10000
Régimen del Suelo	2000
Espacios Públicos	10000
Infraestructuras (en general)	50-200-400*
Instalaciones de Riesgo	200000
Red viaria	5-50-100-200-400-1.000*
Puertos Pesqueros	1000000
Red Electricidad (privada)	-
Red Telefónica	-
Red Airtel	-



Red Retevisión	
Edificios Singulares	1.000
Mapa de actividades culturales	1.000-10.000
Mapa de Recursos Culturales	10.000
Zonas Turísticas	100.000
Espacios Públicos Supramunicipales	100.000
Actuaciones en Vivienda	10.000
Planes Intermodales de Transportes	10.000
Secciones Censales	10.000
Zonas Básicas de Salud (ZBS)	10.000
Distritos Escolares	10.000
Términos Municipales	50-100-200-400-1.000*
Límites Comarcales	50-200-400-1.000*
Límites Provinciales	50-100-200-400-1.000*
Mapa del Litoral	10.000
Mapa Topográfico de Andalucía	10.000-50.000

* por mil.

Fte.: Adaptado de *Los SIG en la Junta de Andalucía*.

6.- LOS SIGs. Y LA CIENCIA REGIONAL.

Las utilidades y las aplicaciones que los Sistemas de Información Geográfica pueden ofrecer a la Ciencia Regional son múltiples. Obviamente, dependerán de los análisis, de sus objetivos, de sus métodos... Se trata, como se ha ido comentando sucesivamente en la ponencia, de una herramienta multipropósito que permite una gran variedad de aplicaciones, todas ellas georreferenciadas y por ello, básicas para la instrumentación y análisis regional. Y además, para la presentación gráfica de los resultados.

Es necesario volver a recordar que sólo se trata de una técnica, esto es, de un medio, útil en la medida que los distintos análisis y estudios de investigación hagan buen uso de él. Por ello es necesario su correcto conocimiento y su justa aplicación, adecuada a las necesidades que se vayan presentando en cada momento o fase de las diferentes investigaciones. Ha de pensarse que las utilidades de los SIGs, en los próximos años, van a seguir su inexorable perfeccionamiento, por lo que es un buen momento para prepararse en su conocimiento y en el manejo de sus utilidades prácticas.

BIBLIOGRAFIA:

BERNHARDSEN, T., (1992): *Geographic Information Systems*, Viak IT, Norway, 319 pp.

BERRY, J.K. (1987): "Fundamental operations in computer assisted map analysis", *International Journal of Geographical Information System*, Vol. I, nº 2, pp. 119 - 136.

BOSQUE SENDRA, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*, Rialp, Madrid, 451 pp.

CEBRIAN, J. A. (1988): "Sistemas de Información Geográfica", *Aplicaciones de la Informática a la Geografía y a las Ciencias Sociales*, Síntesis, Madrid, pp. 125 - 140.

COMAS, D. Y RUIZ, E. (1993): *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*, Ariel Geográfica, Barcelona, 295 pp.

GOODCHILD, M. F. (1985): "Geographic Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma", *The Operational Geographer*, Vol. 8, pp. 34-38.

GUEVARA, J. A. (1983): "A framework for the analysis of geographic information system procedures: The polygon overlay problem, computational complexity, and polyline intersection". Dissertation, SIGL. Sunny. Buffalo. USA.

GUTIERREZ PUEBLA, J. Y GOULD, M. (1994): *SIG: Sistemas de Información Geográfica*, Editorial Síntesis, Madrid, 251 pp.



- JUNTA DE ANDALUCIA (1996) Los Sistemas de Información Geográfica en la Junta de Andalucía. Diagnóstico. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Julio de 1996.
- MAGUIRE, D. y GOOLCHILD, M. (1991) Geographical Information System. 2 vols. Avon.
- MARBLE, D. F. (1984): "Geographic information systems: an over-view", PECORA 9 Proceedings, Spatial Information Technologies for Remote Sensing. Today and Tomorrow, Sioux Falls, South Dakota, USA, pp. 18 - 24
- MORENO NAVARRO, J.G. (1994) "Posibilidades de integración de los Sistemas de Información en R.I.C.A. (Red Informática Científica de Andalucía)". Desigualdades y dinámicas regionales en el umbral del Siglo XXI. Ed. Grupo Estudios Geográficos Andaluces. Sevilla. pp. 253-259.
- MULLER, J. C. (1985): "Geographic Information Systems: A unifying force for geography", The Operational Geographer, nº 8, pp. 41 - 43.
- OJEDA ZÚJAR, J. (1990): "Los elementos de reconocimiento territorial en Andalucía", Geografía de Andalucía, Vol. VII, Ed. Tartessos, Sevilla. pp. 91 - 125.
- PEUQUET, D.J., 1990: "A conceptual framework and comparison of spatial data models", Introductory readings in Geographic Information Systems, Taylor & Francis, Londres.
- RHIND, D. W. (1981): "Geographical information systems in Britain", Quantitative Geography, Routledge & Kegan Paul, London, pp. 419.
- RUIZ, M. (1995): "Sistemas de información geográfica y análisis espacial", en Prácticas de Análisis espacial. Oikos-tau, Barcelona. pp. 249 - 373.
- VV.AA. (1992): V Coloquio de Geografía Cuantitativa. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio/Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 657 pp.
- VV.AA. (1994): Perfiles actuales de la Geografía Cuantitativa en España. A.G.E., Málaga, 532 pp.