

# LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y LOS S.I.G.

Alicia Vela Mayorga

Miguel Fernández Mejuto

Santiago Castaño Fernández

*Alicia Vela Mayorga. Licenciada en Ciencias Geológicas.*

*Miguel Fernández Mejuto. Licenciado en Ciencias Geológicas.*

*Santiago Castaño Fernández. Doctor en Ciencias Geológicas.*

*Están en la Sección de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha.*

## RESUMEN

Este artículo representa la continuación de la serie de divulgación que comenzamos en el número anterior de esta revista, encaminada a familiarizar a todas las personas interesadas en los estudios del medio físico con la terminología y los métodos de aplicación de las técnicas de Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). En este artículo presentamos una introducción a los S.I.G., sus aplicaciones y sus conceptos fundamentales.

## ABSTRACT

This paper is the continuation of the divulgative series started in the last number of this journal. Our object is that all the people interested in the environmental studies can get acquainted with the Remote Sensing and Geographic Information Systems (G.I.S.), its terminology and application methods. In this paper we introduce the G.I.S. and their basic concepts.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica. Representación Espacial. Cartografía.

**Keywords:** Geographic Information Systems. Spatial display. Mapping.

## A) EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE REPRESENTACIÓN DEL MEDIO FÍSICO

La creciente necesidad de datos con referencia espacial para su aplicación en el desarrollo de proyectos relacionados con la gestión del medio físico, así como la exigencia, cada vez mayor, en cuanto a la calidad de estos datos, no puede ser satisfecha por las técnicas tradicionales de cartografía. Actualmente se hacen necesarios sistemas complejos de representación de la realidad que trascienden del sentido tradicional de la palabra «cartografía».

Por este motivo, se han ido desarrollando sistemas informáticos que permiten automatizar en gran medida los procesos de elaboración de la cartografía, al tiempo que conforman estructuras de datos que reflejan con gran similitud la realidad.

Se puede hablar, por tanto, de la evolución del concepto «mapa» (representación geográfica de la superficie terrestre o de parte de ella sobre un plano) a una nueva concepción de éste como una base de datos, gráficos y alfanuméricos, de parte de las características de una zona geográfica.

Esta evolución se ha desarrollado en tres etapas correspondientes a tres grados crecientes de complejidad en la estructura de los sistemas de gestión (MOPT, 1993):

### 1. C.A.D. o Dibujo Asistido por Ordenador

Es capaz de manipular gráficos, formados por puntos o líneas como entidades elementales, pero no refleja la información topológica (aquella que describe la relación entre estas entidades), por lo que es muy limitado en cuanto a sus capacidades analíticas. El software de estos sistemas está dirigido exclusivamente a la representación de aspectos gráficos.

### 2. Cartografía automática

Con este nombre se define a un conjunto de elementos para la gestión de la información cartográfica, caracterizados por su capacidad para vincular un sistema CAD a una base de datos que contiene las características o atributos de los datos gráficos.

Con estos sistemas se puede obtener no sólo la localización de los datos geográficos inventariados, sino también su descripción, pero no entran en la realización de análisis espaciales.

### 3. S.I.G. o Sistemas de Información Geográfica

Este tercer nivel representa un aspecto evolutivo que trasciende de la mera generación de cartografía. El uso efectivo de gran número de datos espaciales y medioambientales demandados por los modelos de análisis y gestión actuales depende de la existencia de sistemas eficientes que puedan transformar esa ingente cantidad de datos en información útil.

Estos sistemas, al igual que los de cartografía automática, registran la información de la localización, forma y atributos de las entidades geográficas, pero incluye además la capacidad de analizar las relaciones topológicas entre estas entidades. Esta cualidad es la que hace de los SIG una herramienta capaz de analizar y manipular datos como apoyo para la toma de decisiones en la gestión del medio físico.

#### B) LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Una base de datos geográficos es un conjunto de archivos interrelacionados que representan la realidad territorial de forma digital (Comas y Ruiz, 1993). Esta base de datos almacena el conocimiento geográfico que se ha obtenido a lo largo de siglos de estudios del medio físico y es independiente tanto de la estructura física del sistema (dónde se almacenan y gestionan los datos o hardware) como de su estructura lógica (cómo se gestionan los datos o software).

El rápido avance tecnológico de los sistemas de información abre un enorme campo de aplicaciones hasta ahora inabordables por los métodos tradicionales; sin embargo, no debe olvidarse que los resultados que obtengamos dependerán de forma ineludible de la calidad de los datos de entrada que reciba el sistema (como dicen habitualmente los expertos en S.I.G. «si entra basura, sale basura»), y es en este aspecto en el que el científico, el técnico o el gestor de recursos, han de incidir con más rigor.

La conversión de la información geográfica al formato digital que procesan los ordenadores puede realizarse de diversas formas (manualmente o mediante equipos especiales de digitalización automática). Es en esta fase de trabajo en la que se cometen mayor número de errores y modificaciones de los datos base, lo que provoca una disminución del valor informativo de los mismos y hace necesario aplicar un procedimiento sistemático de detección y corrección de errores, denominado *edición de datos*. En la Tabla 1, mostramos cuáles son las fuentes de errores más frecuentes en los S.I.G. dentro de la secuencia lógica de introducción y manipulación de los datos.

**TABLA 1.**  
**De Comas y Ruiz, 1993.**

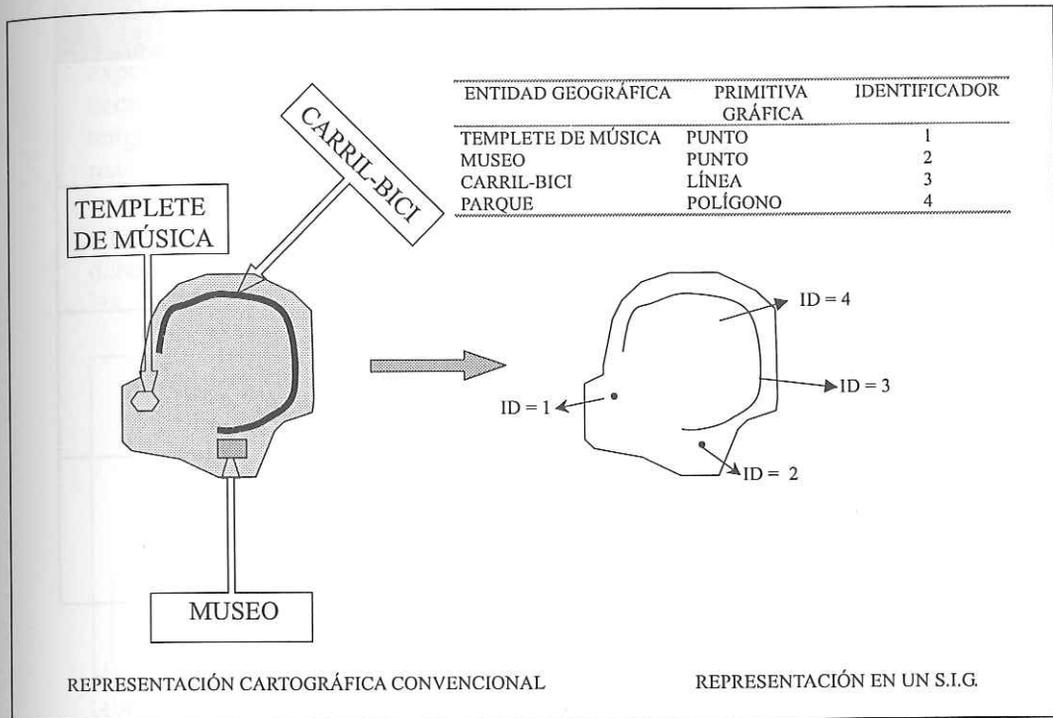
Fuentes de errores de datos en los S.I.G.	Tipos de error
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelización conceptual</li> <li>• Entrada de datos</li> <li>• Estructuración y gestión de datos</li> <li>• Análisis de datos</li> <li>• Representación visual de los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errores de recopilación.</li> <li>• Errores en las fuentes de datos</li> <li>• Errores en la digitalización</li> <li>• Errores de precisión numérica</li> <li>• Errores de precisión espacial</li> <li>• Propagación de errores al realizar superposiciones de capas</li> <li>• Errores al superponer polígonos</li> <li>• Errores de líneas de límite</li> <li>• Errores de escalado</li> <li>• Errores de los periféricos de salida</li> </ul>

### **C) SIMPLIFICACIONES DE LA REALIDAD GEOGRÁFICA**

La realidad geográfica está compuesta por miles de elementos que pueden ser adyacentes o coincidir espacialmente. Pretender introducir todos estos elementos en una base de datos cartográfica supondría una tarea inabarcable y, en muchos casos, inútil y entorpecedora. Cada tipo de estudio requiere de una información particular que es totalmente independiente de otros factores. La información geográfica que se va a utilizar en cada caso será función del sistema que se vaya a diseñar, o lo que es lo mismo, de los problemas que se pretenden resolver. Por ejemplo, si se pretende elaborar un sistema que controle la distribución de agua para riego en una zona rural, es evidente que necesitaremos incluir información sobre la distribución y el tipo de cultivos, el consumo de agua de cada uno de ellos o la red de tuberías o canales para su distribución; sin embargo podrán ignorarse, dado que no aportan ninguna información útil, otras capas de información como la red ferroviaria o la de carreteras.

A esta primera simplificación, en la que hemos tomado aquellos elementos que son necesarios para representar aquella porción de la realidad que nos interesa a la hora de resolver un problema particular, hemos de sumarle otra que nos permita asimilar todos los elementos

geográficos a un conjunto limitado y convencional de elementos geométricos: las *Primitivas Gráficas* (puntos, líneas y polígonos) (Comas y Ruiz, 1993). Con estas primitivas gráficas se construirán objetos geométricos que constituirán la representación de todas las entidades geográficas. En la figura 1, se muestra cómo las entidades geográficas de una representación cartográfica convencional (en este caso, la de un parque y sus instalaciones) son simplificadas a primitivas gráficas con un identificador asociado que las relaciona con el objeto que representan.

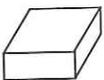


**FIGURA 1. Simplificación de entidades geográficas a primitivas gráficas.**

Como ya hemos dicho, esta simplificación desvirtúa en cierto modo la realidad, al transformar entidades espaciales del mundo real (tridimensional) en puntos, líneas o polígonos (Tabla 2). El objetivo que pretendemos cumplir al usar nuestro S.I.G. será el que determine el grado de simplificación espacial al que queremos llegar. Pongamos un ejemplo para este caso: si estuviéramos elaborando un sistema que informara a los turistas sobre los puntos de interés histórico-artístico de nuestra ciudad, un museo podría representarse espacialmente como un punto, localizado en una calle, representada por una línea. Pero si

nuestro interés es averiguar la cantidad de superficie urbana que ocupan los edificios públicos y los espacios de uso común a todos los ciudadanos, tanto el museo que nos ocupa como la calle en la que se encuentra, deberían representarse como polígonos, ya que ambos tienen una superficie asociada.

**TABLA 2.**  
Características de las Primitivas Gráficas.

PRIMITIVA GRÁFICA	DEFINICIÓN	DIMENSIONES
PUNTO	OBJETO CON POSICIÓN Y SIN DIMENSIÓN	0-D 
LÍNEA	OBJETO UNIDIMENSIONAL QUE UNE DOS O MÁS PUNTOS	1-D 
ÁREA	OBJETO BIDIMENSIONAL, QUE OCUPA UNA SUPERFICIE DELIMITADA POR UN PERÍMETRO FORMADO AL MENOS POR TRES LÍNEAS	2-D 
VOLUMEN	OBJETO TRIDIMENSIONAL DELIMITADO COMO MÍNIMO POR DOS OBJETOS SUPERFICIALES	3-D 

A esta forma de representar gráficamente la realidad, es decir, asimilando todas las entidades geográficas a puntos, líneas o polígonos, cuyos atributos asociados estén representados en tablas alfanuméricas, se le llama **sistema o modelo de representación vectorial**. Al trabajar en formatos vectoriales, los detalles de las interrelaciones geométricas entre las entidades geográficas (como pueden ser la vecindad, inclusión de una entidad dentro de otra, etc.) están recogidos en la topología. Los atributos temáticos de cada entidad están recogidos en tablas alfanuméricas, en las que un código identificador permite asociarlas a la entidad geográfica correspondiente.

Los Sistemas de Información Geográfica disponen, además de otro sistema de modelización de la realidad geográfica: el denominado *formato ráster* (fig. 2). Este formato utiliza una primitiva geográfica llamada píxel (picture element) consistente en una celda cuadrada, cuyo

tamaño será definido por el usuario en función de la precisión de los datos disponibles y de las exigencias del sistema que se va a diseñar. Un mapa ráster consiste en una matriz de  $N \times M$  píxeles, cada uno de ellos con una información asociada. Esta información, de carácter numérico, puede ir asociada a una tabla de datos que permita identificar cada píxel como perteneciente a un tipo de entidad (por ejemplo, cultivos en regadío, masas forestales, etc.). Es evidente que, a menor tamaño de píxel, mayor será la precisión de los resultados obtenidos; pero reducir su tamaño innecesariamente puede resultar un grave entorpecimiento para el funcionamiento del sistema, dado que aumenta de forma exponencial los requerimientos de memoria. Nuevamente será la experiencia del técnico que trabaja con el S.I.G. la que deberá influir decisivamente en la elección del tamaño del píxel, de forma que se obtenga una mapa con suficiente precisión pero que no contenga información redundante.

Si deseamos elaborar un mapa en formato ráster que represente el número de parcelas con cultivos en regadío en una zona determinada, deberemos conocer cuál suele ser la superficie mínima de estas parcelas, de forma que, un píxel tenga un tamaño equivalente a la más pe-

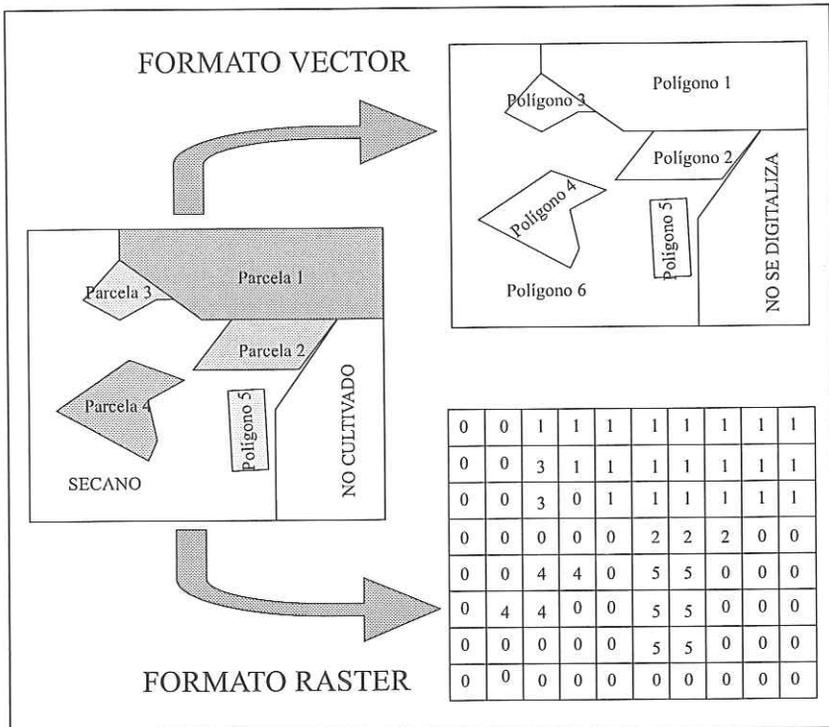


FIGURA 2. Modelización del terreno en formatos ráster y vector.

queña de ellas, ya que si éste fuera mayor se perdería la información referente a las parcelas más pequeñas, y si fuera mucho menor, sólo obtendríamos una gran cantidad de píxels con el mismo valor que no aportaría ninguna información adicional, pero aumentaría en gran medida las necesidades de memoria del sistema.

## **D) FUNCIONES DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Como hemos visto, un Sistema de Información Geográfica no es solamente un sistema informático capaz de elaborar mapas en diferentes escalas y proyecciones, sino que es una herramienta de análisis, que permite identificar las relaciones entre los objetos cartografiados. Por otra parte, un S.I.G. no almacena los mapas en un sentido convencional, guardando en memoria una imagen de un área geográfica en particular, sino que almacena la información a partir de la cual el propio usuario puede crear el mapa deseado, de forma que se adapte en cada caso a un propósito diferente. Otra manera de definir un S.I.G. es enumerando el tipo de problemas que sólo estos sistemas pueden resolver, ya que los otros métodos de cartografía automática tienen posibilidades de procesamiento muy limitadas. Desde esta perspectiva, observamos que existen cinco tipos genéricos de análisis que un S.I.G. puede realizar (ESRI, 1995):

### **1. Localización *¿Qué hay en este lugar?***

Esta primera cuestión nos permitirá conocer qué elementos se disponen en un lugar en particular. Este lugar puede ser definido de diversas formas: con unas coordenadas geográficas (latitud y longitud), con una delimitación superficial (como los límites de un término municipal), o con una referencia lineal (una calle) o puntual (un edificio, un pozo, etc.).

### **2. Condición *Busco un objeto con características definidas ¿Dónde está?***

Este segundo caso representa el opuesto al primero. En lugar de identificar los objetos que hay en un lugar dado, se pretende encontrar una localización (puntual, lineal o superficial) en la que se satisfagan ciertas condiciones impuestas por el analista. Por ejemplo, en el caso de que deseáramos perforar un pozo de abastecimiento para una pobla-

ción nuestro sistema debería identificar una zona que cumpliera, entre otras, las siguientes condiciones:

- Las aguas subterráneas deben encontrarse a una profundidad que permita que la perforación sea viable, y más rentable económica o socialmente que trasvasar las aguas desde otras cuencas en superficie.
- Deben corresponder a una zona en la que los análisis de agua permitan asegurar que estas son aptas para el consumo humano.
- Deben localizarse dentro de un perímetro definido, y no muy alejado de las redes de abastecimiento, de forma que las aguas obtenidas del pozo puedan canalizarse fácilmente, y también encontrarse en una zona accesible para la maquinaria de perforación.

Estas y otras condiciones pueden ser impuestas al sistema de forma que la respuesta obtenida nos delimite espacialmente las zonas óptimas de perforación, ahorrando una gran cantidad de recursos económicos y humanos, a los gestores de aguas de esta población.

### **3. Tendencias temporales** *¿Qué es lo que ha cambiado entre dos fechas diferentes?*

Esta tercera pregunta nos permite conocer la evolución que ha experimentado una zona determinada a lo largo del tiempo, por ejemplo, la construcción de nuevas vías de comunicación o edificios en una población, o la variación de la tasa de natalidad en una zona dada.

### **4. Tendencias espaciales** *¿Qué es lo que hace diferentes a dos zonas?*

Esta capacidad de análisis de los S.I.G. nos permite formular preguntas más sofisticadas, que nos indiquen cuáles son los patrones espaciales de variación de una característica dada. Usando esta aplicación, podríamos, por ejemplo, estudiar cuál es la variación del precio del suelo en función de la distancia o proximidad a zonas conflictivas o insalubres (vertederos, aeropuertos o industrias ruidosas o contaminantes, etc.).

### **5. Modelización** *¿Qué pasaría si...?*

La respuesta a este tipo de preguntas requiere, además de la información geográfica, otro tipo de información, que puede incluir leyes

científicas y conocimientos empíricos de los expertos en el tema a estudiar.

Como ejemplo para ilustrar las aplicaciones de los S.I.G. en la modelización, vamos a volver a la situación del apartado 2. **Condición.** Supongamos que, entre las que nuestro S.I.G. nos ha propuesto, hemos elegido una ubicación óptima para nuestro pozo de abastecimiento urbano y éste está funcionando de forma efectiva. En esta situación un particular solicita permiso para instalar en una carretera cercana una gasolinera. El gestor debe entonces usar un modelo de flujo subterráneo (hidrogeológico) interrelacionado con el S.I.G. En este modelo se introducirían los parámetros hidrogeológicos y las fórmulas físicas que controlan la dinámica del sistema acuífero. Posteriormente se podría simular la situación de una hipotética fuga de combustible desde los depósitos subterráneos de la gasolinera, para decidir si este combustible podría alcanzar al agua del pozo (y cuánto tiempo tardaría en hacerlo) o si, al contrario, migraría en otra dirección.

Este tipo de análisis ofrece a los gestores:

- a) capacidad de decisión basada en previsiones fiables y
- b) en el peor de los casos, capacidad reacción antes de que la contaminación, en caso de un accidente, alcanzara los depósitos de agua usada para el consumo público.

## E) LA TELEDETECCIÓN Y LOS S.I.G.

Desde el punto de vista informático, una imagen obtenida por un satélite tiene la misma estructura que un mapa ráster. Esto se debe a que el satélite realiza un barrido de la superficie terrestre, asignando a cada píxel el valor medio de la reflectancia de su superficie. Como vimos en el artículo del año pasado, la resolución espacial, es decir, el tamaño del píxel, viene fijado en cada tipo de sensor y satélite ( $5 \times 5$  m, en el caso del satélite IRS,  $1 \times 1$  Km., en los satélites meteorológicos, p.ej.), por lo que la elección del sensor vendrá condicionada, entre otras, por el grado de precisión espacial que requiera el trabajo que se va a realizar.

Como ya hemos dicho, existe una equivalencia de formatos entre una imagen de satélite y un mapa ráster; ¿qué es, entonces, lo que los distingue? En el ejemplo de la figura 2, veámos cómo una entidad geográfica conocida se transformaba en una serie de píxels con un valor asociado que permitía relacionarlos con el objeto al que correspondían. En una imagen de satélite, el valor del píxel, sin embargo, no representa una entidad geográfica, sino una medida relativa de la respuesta de la superficie a la radiación electromagnética. En este caso, el trabajo del científico consistirá en identificar mediante las técnicas de

tratamiento de imágenes a qué tipo de superficie corresponde cada intervalo de respuestas espectrales (como por ejemplo, cultivos en regadío, vegetación forestal, suelos desnudos, etc.) y, posteriormente, clasificar la imagen de forma que esta constituya realmente un mapa tipo ráster, en el que cada valor asociado a un píxel pueda asociarse a una entidad geográfica determinada.

## BIBLIOGRAFÍA

- COMAS, D. y RUIZ, E. 1993: *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Ed. Ariel. Barcelona.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. 1995: *Understanding G.I.S. The ARC/INFO Method*. ESRI. USA.
- MOPT (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES) 1992: *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Ed. Centro de Publicaciones del MOPT.