

Bases de datos para los sistemas de información geográfica

JESÚS SORIANO CARRILLO (*)

RESUMEN Un sistema de información geográfica (SIG) es un tipo especializado de base de datos en la que se incluyen no sólo datos digitales y lógicos, sino también las interrelaciones que existen entre los mismos, por lo que la preparación de estas bases, y su posterior utilización, debe ajustarse al fin al que se destine la misma.

DATA BASES FOR GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

ABSTRACT The data in a geographic information systems (GIS) are varied and complex. They may include digital descriptions of map features, logical geographic relationships among features, and non graphic data that describe characteristics of the features and phenomena that occur at specific geographic locations. The contents of the data base are determined by the varied applications that make use of a GIS in a specific situation.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica; Base de datos; Representación Raster; Representación vectorial.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de información geográfica (S.I.G.) es un tipo especializado de base de datos, que se caracteriza por su capacidad de manejar datos geográficos, especialmente referenciados, que se pueden representar gráficamente como imágenes.

Así pues, y de acuerdo con lo anterior, un sistema de información geográfica es un mecanismo informático para manejar información/datos, es decir, para facilitar el entendimiento de los fenómenos espaciales, entendimiento que está basado en los datos.

Un dato geográfico se puede descomponer en dos elementos: la observación o soporte, una entidad de la realidad sobre la que se observa un determinado hecho, y la variable o atributo temático que puede ser cualquier circunstancia que adopte diferentes modalidades en cada observación.

La situación espacial de un objeto geográfico se realiza, tanto por su localización geométrica, en relación con algún sistema de referencia exterior, como las relaciones topológicas que mantiene con otros objetos espaciales, por lo que un sistema de información geográfica debe manejar tanto las características espaciales de los objetos geográficos, como los aspectos temáticos asociados a los objetos observados.

La representación de la información espacial puede realizarse, bien mediante un modelo vectorial, bien mediante un modelo de datos raster.

El modelo vectorial representa a los objetos espaciales clasificando el límite que separa al objeto del entorno. Las líneas que actúan como fronteras se representan mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman. En la representación vectorial el elemento esencial es la línea o segmento recto.

El modelo de datos raster es el dual lógico del vectorial, ya que en lugar de codificar los límites del objeto se representa el interior y sus límites quedan implícitamente representados. Para realizar

esta representación se superpone al mapa analógico fuente una rejilla de unidades regulares, de igual tamaño y forma, y en cada unidad de la rejilla se registra el valor que tiene el mapa analógico.

En el modelo raster la topología del mapa está implícita en la regularidad de la rejilla, de modo que se sabe, de forma automática, quienes son los vecinos de una celda o "pixel" de la rejilla. La representación raster se basa en una codificación discreta de las coordenadas, de modo que las posiciones de los objetos no se establecen con total exactitud y precisión, acercándose a una posición entera próxima.

2. BASES DE DATOS

2.1. GENERALIDADES

Una base de datos puede definirse como un procedimiento de mantenimiento de registros basado en el empleo de sistemas informáticos.

Una base de datos está formada por cuatro componentes:

- Los datos a tratar.
- Los usuarios que van a trabajar con la base de datos.
- Los programas que se van a utilizar.
- El equipo informático en el que va a funcionar la base de datos.

Los usuarios, por otra parte, se pueden incluir en los siguientes grupos: administrador de la base de datos; programador de aplicaciones y usuario final.

Los programas permiten establecer la relación entre los datos almacenados y los usuarios del sistema.

Las bases de datos deben ser integradas y compartidas de modo que archivos independientes estén unificados y que puedan ser compartidos por varios usuarios que puedan trabajar simultáneamente.

Desde el punto de vista de los sistemas de información geográfica resulta muy interesante que las bases de datos se encuentren centralizadas, dado que presentan las siguientes ventajas:

1. Reducción de la redundancia, esto es, del número de veces que una misma información aparece en varios archivos.
2. Atenuación de la incoherencia, esto es, del hecho de que una misma información esté en distintos archivos de diferente forma.

(*) Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (NOPTMA).

3. Posibilidad de compartir los datos tanto por el usuario como por las aplicaciones.
4. Mantenimiento de la integridad de los datos, esto es, de la situación en la que son exactos.
5. Independencia de los datos frente a las aplicaciones lo que permite la inmutabilidad de las aplicaciones a los cambios de estructura de almacenamiento y de la estrategia de acceso.

Por otra parte, hay que señalar que las bases de datos centralizadas tienen las limitaciones siguientes:

1. Restricciones de acceso tanto a la información como a algunos usuarios.
2. Cumplimiento de las directrices del sistema informático utilizado.

2.2. MODELOS DE DATOS

El diseño de una base de datos debe tener en cuenta no sólo los datos que deben incorporarse y las relaciones existentes entre ellos, sino también cómo y quién va a acceder a dichos datos.

Los modelos de datos permiten tener una visión global tanto de los propios datos como de las relaciones existentes entre ellos. Los modelos de datos habitualmente utilizados son de tres tipos: agregación, abstracción y entidad-relación.

El modelo de agregación se basa en la veracidad de la expresión ser-parce-de.

El modelo de abstracción se basa en la veracidad de la expresión ser-un.

El modelo entidad-relación, el más utilizado en los sistemas de información geográfica, se basa en la percepción de un mundo real que consiste en un conjunto de objetos básicos denominados entidades y en las relaciones entre esos objetos.

Como ya se ha indicado, una entidad puede distinguirse de otra mediante unos atributos que describen al objeto. Igualmente, las entidades del mismo tipo pueden agruparse formando un conjunto de entidades. Las relaciones se pueden agrupar, como es lógico, en los denominados conjuntos de relaciones.

Los datos y sus relaciones tienen una representación gráfica en los llamados diagramas entidad-relación que constan de los siguientes elementos:

- Rectángulos: para los conjuntos de entidades.
- Elipses: para los atributos.
- Rombo: para las relaciones entre conjuntos de entidades.
- Líneas: para conectar los atributos entre conjuntos de entidades y éstos con las relaciones.

3. BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS

3.1. ESTRUCTURA DE LA INFORMACIÓN

Los datos geográficos (topográficos, geológicos, políticos, etc.) no son informaciones erráticas e inconexas ya que en su ámbito natural presentan una estructura más o menos patente.

Así, por ejemplo, la cota topográfica de un punto presenta una clara relación con las de su entorno inmediato; los espesores de las capas sedimentarias en los afloramientos geológicos muestran una relación secuencial; las redes fluviales presentan una clara estructura arborescente con conexión jerárquica en diferentes niveles, etc.

Así pues, y de acuerdo con lo anterior, puede decirse que la naturaleza es en sí misma ordenada y estructurada, presentando, además, diferentes tipos de organización. Este aspecto de la naturaleza es de gran interés cuando se aborda el diseño de las bases de datos que contienen información geográfica.

La secuencia de unos puntos alineados en un perfil del terreno, el límite de dos provincias, el contacto de dos afloramientos geológicos, etc., constituyen claros ejemplos de lo que en términos informáticos se conoce como "cadena".

Cuando sobre los datos de una cadena se incorpora información adicional, se puede imaginar tal situación como un impreso cuyos

líneas fueran los elementos concatenados y desde a lo largo de las líneas se van añadiendo campos con los nuevos datos asociados. Esta estructura se conoce en informática con el nombre de "tablas", y es de utilidad para contener datos alfanuméricos asociados a elementos gráficos.

La complejidad de la información de un determinado medio geográfico, da lugar a relaciones múltiples e interconectadas conforme aumenta la cantidad de datos almacenados en complejas redes de interrelación. Estas serían las potentes estructuras "en red" de las bases de datos CodaSys, que en diseños más simplificados se adaptan perfectamente a situaciones más sencillas o consideradas en forma aislada.

3.2. ALMACENAMIENTO Y CONSULTA DE DATOS

Para cada tipo de estructura de la información se ha ideado un modo de almacenamiento y consulta de los datos. Estas soluciones se han adoptado buscando tanto el ahorro de espacio en el soporte, como el ahorro de tiempo durante la consulta.

Los modelos más simples para el almacenamiento de la información son los ficheros secuenciales. Estos ficheros necesitan ser leídos íntegramente para rescatar la información que contienen. Los sucesivos registros (unidades de información) son enviados a una rutina de cálculo donde se realizan las operaciones previstas en la consulta que, generalmente serán comparaciones. La actualización de datos se realiza mediante la copia de los registros sobre un segundo fichero procediendo a modificar los mismos, introducir otros nuevos o suprimir los que deban ser anulados.

Este modelo sólo es aceptable cuando la información no es muy abundante ya que las consultas son rígidas y las relaciones entre los datos responden al tipo cadena o tabla. Cuando el fichero se constituye en un sistema de acceso directo, la lectura de los sucesivos registros y su actualización puede realizarse mediante direccionamientos del puntero, lo que ahorra el agrupamiento y la ordenación secuencial de los registros.

Más útiles son los ficheros indexados que facilitan el salto a un registro determinado, con el consiguiente ahorro de tiempo durante la actualización y la consulta. En este tipo de ficheros es necesario tener un índice que pueda ser consultado por el programa para buscar la dirección del disco que corresponde al registro deseado.

El proceso de indexación es complejo. Cuando los datos son de facto presentan una identificación única (nombres, medidas, etc.), pero cuando se trata de descripciones o referencias es necesaria una cuidadosa clasificación por temas, lo que hace necesario el empleo de un tesoro y diccionario para las equivalencias, sinónimos, abreviaturas, etc., debiéndose definir unas palabras claves que se vuelven indispensables si las descripciones de los objetos geográficos se realizan por textos no codificados.

Las estructuras de tipo arborescente requieren bases de datos jerárquicas con registros de diferentes niveles. Los niveles se refieren unos a otros de acuerdo con un sistema establecido de dependencias. En este caso siempre se trata de ficheros indexados, existiendo unos punteros que guían la búsqueda de información saltando de unos registros a otros y avanzando por las diferentes ramas de la estructura. Los punteros suelen estar incluidos en los mismos registros donde se indica, junto a los datos, el punto de continuación de la lectura o una indicación para el retorno o cambio de rama.

De acuerdo con lo anterior, resulta evidente que los ficheros indexados suponen una mejora, bien por la mayor rapidez de búsqueda, bien porque facilita la reproducción de estructuras complejas de información (árboles y/o redes). Sin embargo, presentan una serie de problemas adicionales, ya que, por una parte, la actualización de los ficheros puede suponer la actualización paralela de los índices y, por otra parte, toda localización en un índice separado del fichero básico sólo supone una cita para un documento o registro potencialmente útil.

En la actualidad, y de acuerdo con las posibilidades tecnológicas de los nuevos ordenadores, parece que se está volviendo a los orige-

res, es decir a la búsqueda en memoria sobre los datos originales, lo que se consigue introduciendo las tablas en la memoria principal del ordenador.

En este caso, se consideran los datos como un conjunto de relaciones, lo que obliga a una tabulación muy rigurosa de los datos. La normalización de las tablas se realiza teniendo en cuenta las reglas siguientes:

1. De una clave no puede depender un conjunto de atributos, sino de cada uno de sus elementos.
2. No pueden existir dependencias funcionales. Los atributos deben serlo de toda la clave y no sólo de parte de ella.
3. No puede existir en la tabla dependencias transitivas: los atributos dependerán de la clave y no de otro atributo.

Las diferentes tablas que resulten de aplicar los criterios de normalización anteriores, se encontrarán ligadas entre sí a través de claves y son criterios algebraicos los que definirán los caminos de búsqueda y actualización.

3.3. REPRESENTACIÓN DE DATOS GEOGRÁFICOS/ESPACIALES

Como ya hemos indicado la representación espacial de un dato geográfico puede realizarse, bien mediante un modelo vectorial, bien mediante un modelo raster.

El modelo vectorial asume un espacio geográfico continuo, que cumple los postulados de la geometría euclídea. En él los objetos espaciales se representan codificando de forma explícita sus bordes o fronteras. Las líneas que actúan de borde son representadas mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman.

Así, los objetos puntuales se representan mediante un par de coordenadas, X e Y , de la posición del objeto. Los lineales se ajustan mediante segmentos lineales que se conectan en vértices. Los superficiales (polígonos) quedan representados por el conjunto de líneas que los delimitan.

Una representación vectorial usa un conjunto de líneas definidas por un punto de inicio y otro final, conectados de alguna forma. Los puntos de inicio y final de cada línea definen un vector, y un conjunto de los mismos representan la forma de la entidad-objeto, junto con los punteros entre las líneas para indicar al ordenador como se unen las líneas.

El modelo raster, asociado al modelo denominado teselar del espacio, presupone el dividir a este espacio geográfico en elementos discretos, denominados "teselas", de forma regular, continuas y mutuamente exclusivas e indivisibles. Cada tesela pertenece a una y sólo una región, y adopta un único valor por cada atributo determinado. Así pues, cada zona o región es un conjunto conexo de unidades superficiales elementales, cuyos bordes o fronteras están definidas implícitamente.

En este tipo de modelo la entidad-objeto está constituida por un conjunto de puntos en una malla o raster. Se trata de una forma de representación explícita. Si cada célula de esta malla está identificada con un mismo código el ordenador reconocerá que el conjunto de puntos constituye una misma entidad.

Para realizar una representación raster se superpone al mapa analógico una rejilla de unidades celulares regulares, y en cada célula se registra el valor que el mapa analógico convencional adopta en la zona que recoge la célula correspondiente.

La representación vectorial requiere menos datos almacenados, es decir menor volumen de ocupación de los objetos representados, y produce una mejor resolución (equivalente a una malla de 0,2 mm), permitiendo, gracias a la conectividad entre líneas, búsquedas directas mucho más rápidas.

En la estructura raster, la captura de información es mucho más rápida y la elaboración de cambios en la forma y tamaño de los objetos son también fáciles y rápidas.

En las tablas I y II se muestran las ventajas e inconvenientes de los modelos vectoriales y raster.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Buena representación de estructuras de datos fenomenológicas	Estructura de datos compleja.
Estructura compacta de datos	Dificultad de construir simulaciones
Topología descrita completamente mediante redes de uniones	Mayor coste equipo y programas informáticos

TABLA I. Ventajas e inconvenientes de los modelos vectoriales.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Estructura de datos simple	Gran volumen de ocupación de datos
Facilidad de combinar capas con datos de sensores remotos	Menor resolución y dificultad para clasificar la información
Facilidad de análisis espacial y de simulación	
Tecnología económica	

TABLA II. Ventajas e inconvenientes de los modelos raster.

3.4. DISEÑO DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICOS

El correcto funcionamiento de un sistema de información geográfica exige un buen diseño de la base de datos que contendrá la información a tratar.

El proceso de diseño se inicia con la agrupación de las entidades geográficas en alguno de los siguientes grupos:

- 1) Tipos de elementos: lineales, puntuales, superficiales, etc.
- 2) Temática: los elementos deben agruparse en conjuntos temáticos lógicos, tales como, hidrografía, topografía, carreteras, etc.
- 3) Tipo de gestión: conviene almacenar en grupos temáticos, aquellos elementos que deban relacionarse con tablas o atributos muy dispares.

Una vez determinados los niveles o capas de elementos geográficos, hay que analizar los atributos descriptivos que deben relacionarse con cada objeto geográfico, agrupándolos en tablas o ficheros de la base de datos.

El resultado del diseño de una base de datos es un conjunto de capas o niveles que almacenan, cada uno de ellos, objetos gráficos representando entidades geográficas, y que están asociados mediante campos de enlace, con las tablas alfanuméricas de atributos descriptivos.

Debido al gran tamaño que puede llegar a tener una base de datos, la información se almacena, frecuentemente dividida. Así, el bloque es una partición de la base de datos con criterios especiales (zonas geográficas, hojas, etc.) y la capa es una partición temática (parcelas, usos de suelos, etc.).

Estas particiones no obstaculizan una visión general de la base de datos por el usuario y cuentan con la ventaja de permitir una mayor rapidez de acceso a los datos, en la modificación de los mismos, así como de una distribución de la información que puede ajustarse a la capacidad de almacenamiento del sistema empleado.

En general, es aconsejable mantener la información genérica común a todas las posibles capas en una sola capa, que puede recrearse junto con las otras, según la conveniencia del usuario.

En la Tabla III se indican las ventajas e inconvenientes de la distribución de la información en varias capas.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Mejora la explotación y facilita el diseño	Hay que generar una capa única para actualizar y extraer información
Adaptable a otros entornos	Mayor ocupación en disco
Buena solución para análisis y consulta	

TABLA III. Ventajas e inconvenientes de la distribución en varias capas.

En la Tabla IV se indican, igualmente, las ventajas e inconvenientes de la configuración de una capa única.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Mayor facilidad y seguridad en la actualización de datos	Disminuye la eficacia de la explotación
Optimiza almacenamiento en disco	Poco adaptable a entornos diferentes
Garantiza integridad de la base de datos	

TABLA IV. Ventajas e inconvenientes de una configuración en capa única.

4. REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL

Como ya hemos indicado, el modelo vectorial representa los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus "fronteras", es decir el límite o perímetro que separa el objeto del entorno. Las líneas que actúan de fronteras se representan mediante las coordenadas de los puntos o vértices que delimitan los segmentos rectos que las forman.

El elemento fundamental de referencia en este tipo de representación es el segmento lineal delimitado por dos vértices. Por lo tanto, en la representación vectorial el elemento esencial es la línea o segmento recto, por lo que una representación vectorial del espacio es conforme y coherente con la cartografía tradicional que se organiza mediante el trazado de líneas.

4.1. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

Los métodos vectoriales de captura y almacenamiento permiten construir estructuras complejas en un espacio mínimo, gracias a las relaciones implícitas existentes entre los elementos.

La estructura vectorial se basa fundamentalmente en la definición de puntos, líneas o superficies.

Las entidades puntuales comprenden cualquier objeto gráfico o geográfico que pueda ser referenciado mediante unas coordenadas (X, Y).

De acuerdo con su función, pueden distinguirse las siguientes entidades puntuales:

1. Objeto cartográfico puntual: identifica y representa una entidad geográfica asociada con una posición espacial puntual (un puente, una torreta eléctrica, etc.).
2. Punto geométrico complementario: especifica una posición geométrica relacionada con la representación de un mapa (coordenadas geográficas de puntos de control).
3. Puntos de situación: permiten asociar una etiqueta o un texto con una entidad geográfica (nombres de polígonos, de urbanizaciones, etc.).

Las entidades lineales están formadas por objetos lineales elementales, llamados tramos, que pueden estar constituidos por:

1. Polilíneas de segmentos de recta como sucesión de pares/tripletas de coordenadas de los vértices de la poligonal.
2. Polilíneas de segmentos de arco, como sucesión de segmentos de curvas definidas mediante los parámetros que permiten establecer la función matemática de la curva.

El tramo está definido y delimitado por sus nodos, que son los puntos de discontinuidad de un objeto cartográfico lineal en el que se establece una relación de conectividad con otros objetos lineales. Los nodos coinciden con los puntos extremos del tramo, tienen una dimensión puntual y carácter de objeto cartográfico.

Las entidades superficiales resultan de la modelización bidimensional de entidades geográficas caracterizadas por una extensión, quedan definidas por los tramos lineales que forman el contorno de la superficie (polígonos).

Las entidades superficiales suelen escribirse mediante la edición de un punto interior al objeto, denominado centroide, que está definido mediante un código identificador del objeto y un par/tripleta de coordenadas. El centroide se utiliza para situar los atributos, etiquetas y textos que afectan al objeto.

La captura de información en una estructura vectorial se realiza, habitualmente, mediante mesas o tabletas digitalizadoras.

El plano a digitalizar está referenciado a las coordenadas de la mesa de digitalización. Las coordenadas de los puntos contenidos en el plano se transforman posteriormente, partiendo de la asignación de coordenadas reales del terreno a varios puntos del plano, de la escala y del área de trabajo.

4.2. BÚSQUEDA Y RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN

Las operaciones de extracción de información de una estructura vectorial se utilizan para buscar y extraer objetos/entidades espaciales de la base de datos, seleccionando aquellos que cumplen una condición establecida por el usuario, de modo que el usuario conoce no sólo los atributos temáticos sino también las características espaciales de los objetos recuperados.

El objetivo de las operaciones de búsqueda y recuperación, es obtener un mapa, y/o una tabla de valores que contengan todos los objetos geográficos con un conjunto particular de atributos, ya sean espaciales, ya sean temáticos.

Existen, por tanto, dos modos diferentes de realizar las operaciones de búsqueda y recuperación: la búsqueda/recuperación de tipo espacial y la búsqueda/recuperación de tipo temático.

La búsqueda espacial se realiza para saber, por ejemplo, que valor adopta una variable temática en una localización concreta. La búsqueda temática se utiliza para conocer, por ejemplo, la localización de un atributo temático concreto.

La búsqueda espacial se puede realizar de tres modos diferentes:

1. Especificando un dominio espacial: se establece un dominio espacial, señalando un par de coordenadas y se extraen todos los objetos espaciales que estén dentro o que toquen en alguna parte dicho ámbito espacial.
2. Mediante condición geométrica: se establece el dominio espacial de interés especificando una condición de tipo geométrico. Todos los objetos espaciales que estén dentro del dominio fijado se extraen y se representan mediante tablas y/o mapas.
3. Por muestreo espacial: es la selección aleatoria de una serie de entidades espaciales que después se utilizarán para estudios posteriores. Se trata de aplicar los diferentes procedimientos de extracción de una muestra aleatoria para determinar que objetos geográficos de todos los existentes en la base de datos formarán una muestra representativa del conjunto.

La recuperación temática se puede efectuar de dos formas diferentes:

1. Mediante especificación simbólica o nominal: dado el nombre de un objeto espacial se obtiene una tabla y/o un mapa donde se muestra el objeto espacial y sus características temáticas y/o espaciales.

2. Mediante condición aritmética y/o lógica: se establece una condición aritmética y lógica que afecta a uno o varios atributos temáticos, todos los objetos espaciales que cumplan dicha condición se extraen y se representan mediante una tabla o mapa.

5. REPRESENTACIÓN RASTER DE LA INFORMACIÓN ESPACIAL

La estructura raster más simple consiste en una matriz de células. Cada célula está referenciada por un número de línea y columna, y contiene un número representando el tipo o valor del atributo a referenciar.

Un punto queda referenciado por una célula. Una línea está representada por un número de células vecinas y una superficie, por un conjunto de células vecinas.

En este tipo de estructura de representación existen algunos problemas relativos a errores en la representación de las longitudes y áreas, debido a la falta de precisión implícita en la propia forma de representación raster.

5.1. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

En general, la fuente de información utilizada para crear una estructura raster es la cartografía analógica. Existen tres posibilidades de entrada de datos en un sistema de información geográfica raster: la digitalización raster manual; la digitalización raster automática y la "rasterización" de datos en formato vectorial.

La digitalización raster manual se realiza superponiendo sobre el mapa analógico que sirve de fuente, una cuadrícula cuya celda base tiene un tamaño que es precisamente el del elemento base establecido para el proyecto a realizar. A continuación, se codifica cada celda con un número que indica el carácter de la información analógica que está contenida en ella.

La digitalización raster automática se hace mediante un dispositivo físico, el "barreador óptico" o "scanner", que asigna a cada punto del mapa analógico un valor cuantitativo que es proporcional a su contenido gráfico. Hay que indicar que el scanner proporciona una "imagen" del mapa analógico y no un verdadero mapa raster ya que el aparato no genera, simultáneamente, una leyenda de la imagen donde se establezca el significado que tiene en la realidad un color concreto de la imagen.

La forma más habitual de generar un mapa raster es partiendo de información sobre la realidad codificada en formato vectorial. El proceso consiste en leer la información sobre las coordenadas vectoriales que delimitan los objetos puntuales, lineales y poligonales y determinar si en cada pixel del mapa raster se sitúa o no, alguno de los objetos vectoriales registrados. A continuación, en el elemento base donde un objeto vectorial se asigna un valor temático. Una cuestión previa a resolver es la diferente organización de los ejes de coordenadas en el sistema vectorial (el origen está abajo y a la izquierda) y en el sistema raster (el origen está arriba y a la izquierda); la solución es, antes de empezar la rasterización, cambiar el origen de las coordenadas y vectoriales mediante una operación de reflexión de coordenadas.

En relación con el almacenamiento de los datos raster, hay que señalar que existe el acuerdo de almacenarlos fila a fila, desde el extremo izquierdo.

En el caso de que existan varias capas de información, lo usual es almacenar cada una por separado, aunque también puede almacenarse toda la información correspondiente a cada

celda, circunstancia que requiere espacio extra para alojar los nuevos niveles que pudieran generarse durante el análisis o tratamiento de la información.

5.2. BÚSQUEDA Y RECUPERACIÓN DE INFORMACIÓN

Las operaciones de búsqueda y recuperación de información en una estructura de tipo raster presenta especiales dificultades ya que los objetos geográficos no están contenidos de forma explícita.

Existen tres métodos para realizar la búsqueda y recuperación de información en una estructura raster: la búsqueda temática raster; la búsqueda espacial raster y el muestreo.

En la búsqueda temática raster se establece una condición aritmética y lógica que afecta a uno o varios atributos temáticos; todos los pixels que cumplan dicha condición se extraen generando para ello un nuevo mapa raster. Este tipo de operación se realiza mediante la combinación de análisis local: reclasificación y superposición de mapas. Mediante operaciones de reclasificación se crean distintos mapas que cumplen cada una de las condiciones aritméticas. Posteriormente se superponen los mapas y se crea un nuevo mapa que muestre las zonas que cumplen simultáneamente con la condición formulada previamente.

La búsqueda espacial raster consiste en el establecimiento de un dominio espacial y a continuación la extracción de todos los pixels que estén dentro de dicho dominio espacial. Al realizar esta operación sobre uno de los mapas raster de la base de datos, se puede conocer los valores, en las localizaciones señaladas, de ese mapa raster en concreto.

La búsqueda espacial se realiza, en general, operando sobre un mapa visualizado en pantalla, señalando, mediante el cursor, la posición y las características del ámbito espacial que se desea explorar.

El muestreo se realiza mediante la selección de un conjunto de pixels que formen una muestra representativa de todos los existentes. Los pixels así seleccionados forman un mapa máscara que, mediante operaciones de superposición de mapas, permite obtener valores concretos, en esas posiciones, tomados de los mapas temáticos de la base de datos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L.; KEVANY, M.J.; ARCHER, H. (1991). *Geographic information systems. A guide to the technology*. Van Nostrand Reinhold, New York, 301 pp.
- BOSQUE, J. (1992). *Sistemas de información geográfica*. Rialp, Madrid, 451 pp.
- DATE, C.J. (1986). *Introducción a los sistemas de bases de datos*. Addison-Wesley Iberoamericana, México, 648 pp.
- GUINET, J. (1992). *Introducción conceptual a los sistemas de información geográfica*. Estudio Gráfico, Madrid, 139 pp.
- LOUDON, T.V. (1979). *Computer methods in geology*. Academic Press, London, 269 pp.
- MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Edited by) (1993). *Geographical information systems*. Longman Scientific & Technical, Essex, 2 vol., 1.096 pp.
- RINCÓN, A. (1984). *Inventario de datos geográficos. Aspectos de su almacenamiento y cartografía*. Jornadas Técnicas del Instituto Nacional de Industria en Buenos Aires.
- VERA, J.A. (1994). *Sistemas de bases de datos. Curso Internacional de Hidrología general y aplicada*, CEDEX, Tomo II, 57-73.