

CAPÍTULO 15

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

JOSEP VILA
DIEGO VARGA

15.0 Introducción

En este capítulo se presenta una síntesis de los principales conceptos teóricos vinculados a los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)**, que se complementa con procedimientos prácticos que complementan la aproximación teórica a los SIG.

En primer lugar, cabe recordar que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) o *Geographic Information Systems (GIS)* son, ante todo, una tecnología desarrollada a raíz de la necesidad de disponer de forma rápida de datos cartográficos y alfanuméricos, en el marco de la llamada sociedad de la información. Así pues, una primera característica es que permiten disponer, gestionar y analizar de forma ágil información espacial, es decir, datos referidos a un determinado ámbito territorial.

Los primeros y rudimentarios SIG no aparecen hasta finales de los sesenta o principios de los setenta, a partir de sistemas de simulación y modelado desarrollados desde la planificación del territorio y la ecología, junto a la generación de las primeras grandes bases de datos de carácter estadístico o geográfico. Aún así, su verdadero impulso y popularización no llegará hasta la década de los ochenta, con el espectacular desarrollo de las posibilidades gráficas de los ordenadores y periféricos y la presencia de una gama cada vez más extensa y potente de ordenadores personales a precios cada vez más asequibles.

15.1 Definición de los SIG

Existe una multiplicidad de definiciones de los SIG sin que, hasta el momento, ninguna sea considerada como estándar. Entre esta variedad de definiciones cabe destacar como un buen ejemplo la realizada por el *National Center for Geographic Information & Analysis* (www.ncgia.ucsb.edu), que considera un SIG como un “sistema 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”.

Entre las principales características diferenciales de un SIG se pueden destacar las siguientes:

- Se trata de un sistema de representación que permite visualizar entidades gráficas (puntos, líneas, símbolos, imágenes...) referenciadas mediante coordenadas.
- Dispone de una base de datos adjunta fácilmente manejable.
- La organización de la base de datos hace posible el análisis de las relaciones espaciales entre los datos almacenados.
- Dispone de un sistema de acceso a la base datos que permite realizar consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de cartografía automática a partir de consultas y simulaciones.
- Dispone de un sistema de generación de información alfanumérica a partir de consultas y simulaciones.
- Dispone de un lenguaje de programación que permite la implementación de nuevas aplicaciones para dar respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.
- Dispone de un sistema de importación y exportación de datos gráficos y alfanuméricos.

Este conjunto de características pone de relieve la gran diversidad de tipos de SIG que pueden llegar a existir. Una primera diferenciación general separaría los denominados **SIG abiertos**, destinados a usuarios expertos, que permiten al usuario disponer de un sistema más sofisticado y con una gran diversidad de posibilidades y aplicaciones, de los **SIG cerrados** con un número de aplicaciones limitadas con el objetivo de satisfacer una necesidades específicas y particulares de usuarios no expertos. Evidentemente, entre un SIG absolutamente abierto, sin limitaciones de ningún tipo, y uno completamente cerrado (por ejemplo con la posibilidad de realizar una única aplicación concreta), existe una gran variedad de casuísticas intermedias.

Entre los SIG abiertos podríamos situar cualquiera de los programas estándar desarrollados por alguna empresa o institución, como por ejemplo:

- ArcGis (www.esri.com/software/arcgis)
- Idrisi (www.clarklabs.org)
- Miramon (www.creaf.uab.es/MiraMon)
- Grass (gras.itc.it). Programario libre

Entre los SIG cerrados cabe destacar aplicaciones concretas realizadas con un objetivo muy determinado como serían, por ejemplo, los visualizadores de información que permiten únicamente observar y consultar la información

cartográfica y alfanumérica almacenada por alguno de los programas estándar de SIG y que suelen ser un modesto software de distribución gratuita. Así por ejemplo tenemos:

- En ArcGis es el ArcReader (www.esri.com/software/arcgis/arcreader)
- En Miramon es el Miramon Map Reader (www.creaf.uab.es/MiraMon/mmr)

15.2 Aplicaciones

La flexibilidad implícita en los Sistemas de Información Geográfica ya pone de relieve la gran cantidad de campos de aplicación en que están presentes. A continuación, se detallan algunos de los principales campos de aplicación de los SIG entre los que encontramos de forma muy específica y particular los riesgos ambientales:

- **Recursos naturales y medio ambiente.** Es precisamente en este campo de aplicación donde nace el primer Sistema de Información Geográfica, el denominado *Canadian Geographic Information System* (CGIS), que se empieza a implementar en 1967 con objeto de gestionar los resultados de los inventarios forestales. Los SIG han tenido un gran desarrollo en el ámbito de la gestión forestal, de lo que existen múltiples ejemplos a nivel internacional, empezando por el mismo CGIS. Vinculadas al mundo forestal, se han desarrollado también múltiples aplicaciones sobre prevención de incendios forestales y análisis de la pautas de difusión, que enlazan con la cuestión de los riesgos ambientales.
- **Los estudios sobre cambios en los usos y cubiertas del suelo** han utilizado también con gran profusión los SIG que, con la ayuda de los sensores remotos, permiten una rápida actualización de la información en un contexto marcado por rápidos cambios.
- **Los estudios de impacto ambiental** utilizan los SIG aprovechando su potencial en relación a la integración y análisis de una gran cantidad de datos sobre, por ejemplo, usos del suelo, vegetación, fauna, litología, hidrología y patrimonio cultural, entre otros. Así mismo, se pueden utilizar para definir cuales son las área más óptimas para la localización de determinadas actividades, teniendo en cuenta un conjunto de condiciones y condicionantes.
- **Catastro.** Este es uno de los campos en que mayor impulso han recibido los SIG, al suponer un beneficio directo para el erario público, fruto del incremento en el control de impuestos derivados de los bienes urbanos y/o rústicos. Se les conoce específicamente con el acrónimo LIS: *Land Information Systems*. En el caso de España, se desarrolló en 1987 el

Sistema de Información Geográfica del Catastro (SIGCA) (www.catastro.minhac.es).

- **Transportes.** En este ámbito, cabe destacar los inventarios de las redes de carreteras y ferrocarriles, que pueden incorporar información sobre la señalización, el estado de conservación, la intensidad de tránsito, el número de accidentes, etc. con el objetivo de disponer de la información básica y de facilitar su conservación y mejora. Así mismo, los SIG pueden ayudar a la definición de nuevos trazados, a partir de la aplicación de un conjunto de condiciones y/o condicionantes.
- **Redes de infraestructuras básicas.** Los SIG son ampliamente utilizados para la gestión y la planificación de las redes de infraestructuras básicas, tales como la red eléctrica, telefónica, de distribución de agua potable, de gas o de alcantarillado.
- **Riesgos ambientales.** La prevención de riesgos ambientales y la toma de decisiones ante catástrofes, tanto de origen natural como tecnológico, es un campo preferente de aplicación y utilización de los SIG. Entre las aplicaciones en este ámbito, podemos destacar la determinación de las áreas de riesgo ante una determinada situación: incendios forestales, terremotos, inundaciones, contaminación atmosférica, etc. A partir de aquí, se puede determinar la población susceptible de ser afectada y las medidas de prevención y/o evacuación. Los SIG se han convertido en una herramienta fundamental para el diseño y gestión de planes de emergencia. En la red se encuentran infinidad de páginas dedicadas a analizar las potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica para gestionar y mitigar situaciones de riesgo ambiental, así como la presentación de aplicaciones concretas de la utilización de los SIG ante situaciones de riesgo ambiental. Entre estas podemos destacar:

www.gisdevelopment.net/application/natural_hazards

www.oas.org/pgdm/mitiplan.htm

- **Análisis de mercado.** A partir de de la consideración de la componente espacial en la representación de la distribución de potenciales clientes y puntos de venta o distribución de productos.
- **Planificación territorial.** Los SIG son una herramienta cada vez más fundamental para el almacenamiento y gestión de información relativa a la planificación territorial en general y, de forma muy particular, al planeamiento urbanístico. En esta línea, desarrollan un papel primordial en el control de la normativa urbanística, la localización de nuevos equipamientos e infraestructuras, la revisión del planeamiento y la definición de escenarios de futuro.

15.3 Características fundamentales de los datos geográficos

Los SIG utilizan los datos geográficos como fuente principal para su funcionamiento. En este sentido, cabe destacar que los datos geográficos se caracterizan por disponer de tres grandes tipos de componentes: la temática, la espacial y la temporal:

- **La componente espacial.** Un primer factor fundamental es la “localización”, es decir, la posición de los objetos en el espacio definida a partir de un sistema de coordenadas. El sistema de coordenadas ha de ser el mismo para las distintas capas de información que se utilicen para permitir su combinación (Figura 15.1). Un segundo factor fundamental son las **relaciones espaciales**, entre las que se distinguen las **relaciones topológicas** y las **relaciones geométricas**. Las topológicas tienen un marcado carácter cualitativo y se refieren, por ejemplo, a la contigüidad física entre los elementos representados. En cambio, las geométricas son cuantitativas y se calculan a partir de las coordenadas de los objetos, como sería el caso de la distancia entre elementos representados o de la superficie ocupada por alguno de ellos.
- **La componente temática.** La tipología de los objetos representados no presenta una variación puramente aleatoria, sino que hay un cierto grado de regularidad en su variabilidad espacial y temporal. En este sentido, se ha determinado un principio fundamental vinculado a los valores temáticos, como es la **autocorrelación espacial**, que se refiere al hecho de que los objetos más cercanos entre sí tienden a tener valores temáticos más parecidos
- **La componente temporal.** La distribución de los valores temáticos se modifica a lo largo del tiempo, pero de acuerdo con un patrón no aleatorio, sino regido por algunos principios, entre los que cabe destacar la **autocorrelación temporal**. Según esta autocorrelación, los valores temáticos que cobra un mismo objeto representado a lo largo del tiempo tienden a ser más parecidos entre sí cuanto menos tiempo ha transcurrido entre dos representaciones.

Además, los datos geográficos conllevan un conjunto de problemas específicos derivados de las características mismas de la información geográfica, como son los **problemas de medición**, fruto de la necesidad de limitar el marco espacial y temporal. O como los **problemas de la recogida de la información**, resultado de la imposibilidad de recoger de forma sistemática toda la información referida un determinado territorio.

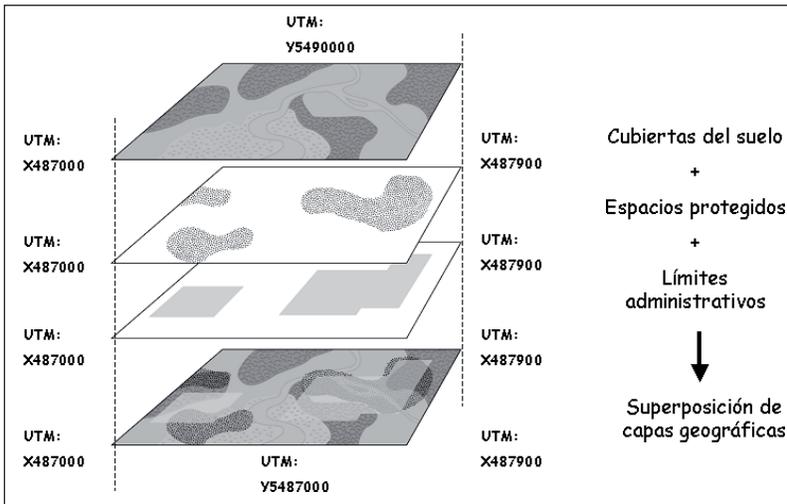


Figura 15.1.- Capas de información georreferenciadas. Fuente: elaboración propia.

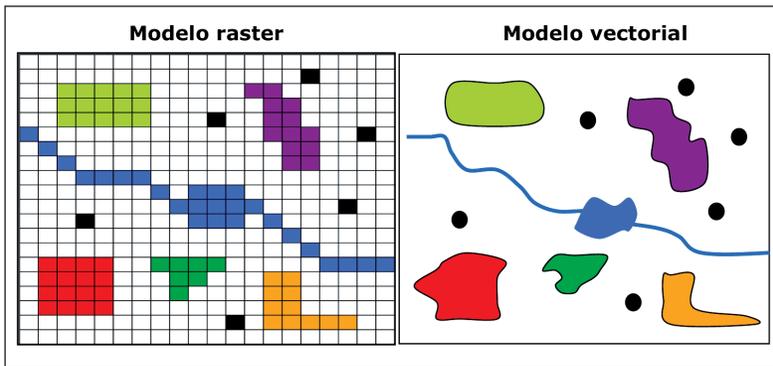


Figura 15. 2.- Los modelos raster y vectorial de representación. Fuente: elaboración propia.

Finalmente, es necesario comentar la cuestión de la calidad de los datos geográficos y, en especial, su exactitud. La **exactitud** se refiere al grado de proximidad entre una observación y el valor real. El nivel mínimo de exactitud está limitado por las características y necesidades de cada estudio. Podemos hablar de la **exactitud posicional**, o la exactitud en la localización de los elementos en el mapa. Evidentemente, la magnitud de un posible error está directamente condicionada por la escala de trabajo, de tal forma que un mismo error (por ejemplo de 1 mm) es mayor cuanto menor es la escala de trabajo y viceversa. Por otra parte, tenemos la **exactitud temática**, o la coincidencia entre el tipo de elemento que se representa y la realidad. Una mención aparte merece el concepto de **consistencia lógica**, que se refiere al hecho de que los elementos que

constituyen el mapa estén correctamente contruidos. Por ejemplo, los polígonos se han de haber cerrado de forma perfecta y no han de existir problemas de concordancia entre las distintas capas de información.

15.4 La representación de los datos geográficos en un SIG

Los SIG no pueden representar toda la información implícita en la extrema complejidad inherente al mundo real, por lo que es necesario optar por simplificaciones que destaquen los elementos que se consideren más relevantes. Estas simplificaciones se denominan **modelos de representación** y, en el mundo de los SIG, existen dos tipos de modelización básicos: el modelo raster y el modelo vectorial.

15.4.1 *El modelo raster*

En primer lugar, se caracteriza por centrar su interés en la tipología de los elementos a representar más que en su delimitación cartográfica precisa. El espacio se divide en una red regular de unidades diferenciadas, de igual tamaño y forma, denominadas **píxeles** o **celdas** y, por este motivo, se le considera como una **red regular**. Cada uno de los píxeles dispone de un valor numérico que codifica un determinado elemento del mundo real (Figura 15.2).

La representación de los elementos del mundo real se realiza de la siguiente forma:

- Un elemento puntual = un píxel
- Un elemento lineal = una secuencia de píxeles
- Un elemento poligonal = una agrupación de píxeles

La exactitud posicional de los elementos representados será mayor cuanto menor sea la superficie que representa cada píxel. La superficie representada por cada píxel se denomina **resolución**. Así, un incremento de la resolución supone un incremento de la exactitud en la localización de los elementos representados.

La localización de los elementos en el modelo raster puede ser de dos tipos: absoluta o relativa. La **localización absoluta** viene definida por el sistema de coordenadas. En cambio, la **localización relativa** se define a partir de la localización del píxel en relación al número de fila y columna.

Las representaciones tridimensionales del territorio en un SIG se denominan **Modelos Digitales del Terreno** (MDT). Los MDT tienen en cuenta la altitud y facilitan el cálculo de variables claves, como la orientación y/o la pendiente. En el modelo raster, el MDT responde también a una red regular de píxeles, donde cada píxel expresa la altitud en aquella determinada localización (Figura 15.3).

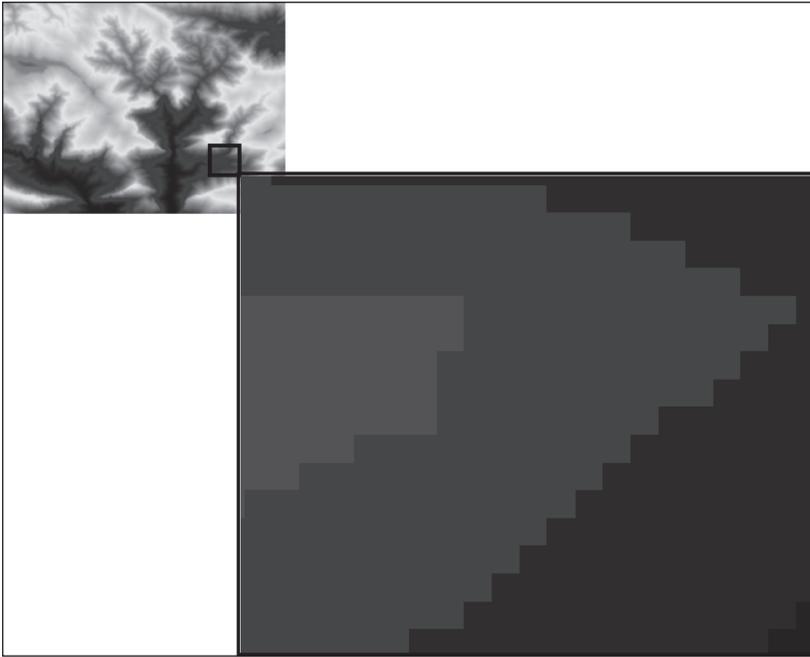


Figura 15.3.- MDT modelo raster. Red regular de píxeles. Fuente: elaboración propia.

15.4.2 El modelo vectorial

En primer lugar, se caracteriza por ubicar de forma muy exacta y precisa los elementos representados. Las características del espacio a representar se definen a partir de una trilogía de elementos: punto, línea y polígono.

- El **punto** es un objeto espacial sin dimensión, que dispone de una localización en el espacio, pero sin longitud ni amplitud. Se representan con un punto elementos con una dimensión despreciable. La representación en formato de punto o de polígono dependerá de la correlación existente entre la dimensión del elemento y su escala de representación.
- La **línea** es un objeto espacial de una sola dimensión, por disponer de longitud pero no de amplitud. Se define a partir de una secuencia de puntos.
- El **polígono** es un objeto espacial de dos dimensiones, pues dispone tanto de longitud como de amplitud. Se define a partir de una secuencia de líneas que se cierra. De la trilogía de elementos propios de la representación vectorial, el polígono es el que se utiliza de forma más

frecuente y territorialmente más extensa, pues muchos fenómenos geográficos y territoriales se han de representar mediante polígonos.

La **localización** de los elementos en el sistema vectorial se realiza a partir de un sistema de coordenadas.

La **estructuración de la información** en el modelo vectorial es bastante más compleja y diversa que en el modelo raster. Así, existen tres grandes tipos de estructuras de la información vectorial:

- Estructura de **datos spaghetti**. Cada objeto dispone de un identificador acompañado de una lista de coordenadas. Se trata de la estructura más sencilla y genera mucha repetición de información, vinculada a la duplicación de coordenadas en elementos que comparten puntos en común. No almacena las relaciones topológicas entre los elementos representados.
- Estructura de **diccionario de vértices**. Cada objeto se representa mediante dos ficheros. En el primero, se almacena una relación de los vértices con sus coordenadas respectivas y, en el segundo, la relación de los vértices que definen cada objeto representado. Es una estructura bastante simple, que resuelve los problemas de repetición de la información, aunque continua siendo pobre desde un punto de vista topológico.
- Estructura **arco-nodo**. El elemento fundamental es el **arco**, que podemos definir como una segmento o sucesión de segmentos que empiezan en un nodo y acaban en otro. Los nodos aparecen en los puntos de conexión entre dos líneas, o donde empieza o acaba una línea. Es una estructura compleja, pues cada objeto se representa mediante un total de cuatro ficheros dedicados, respectivamente, a la topología de los polígonos, a la topología de los nodos, a la topología de los arcos y a las coordenadas de los arcos. Es una estructura muy completa desde el punto de vista topológico, ya que se conocen perfectamente las relaciones espaciales existentes entre los distintos objetos representados, lo que proporciona una gran capacidad analítica.

En el modelo vectorial, los MDT se basan en la **estructura TIN**, un modelo de representación tridimensional propia de la estructura arco-nodo (Figura 15.4). Es una red de triángulos irregulares, donde cada nodo almacena las coordenadas de posición (X e Y) y donde, además, se introduce el valor de la elevación (Z).

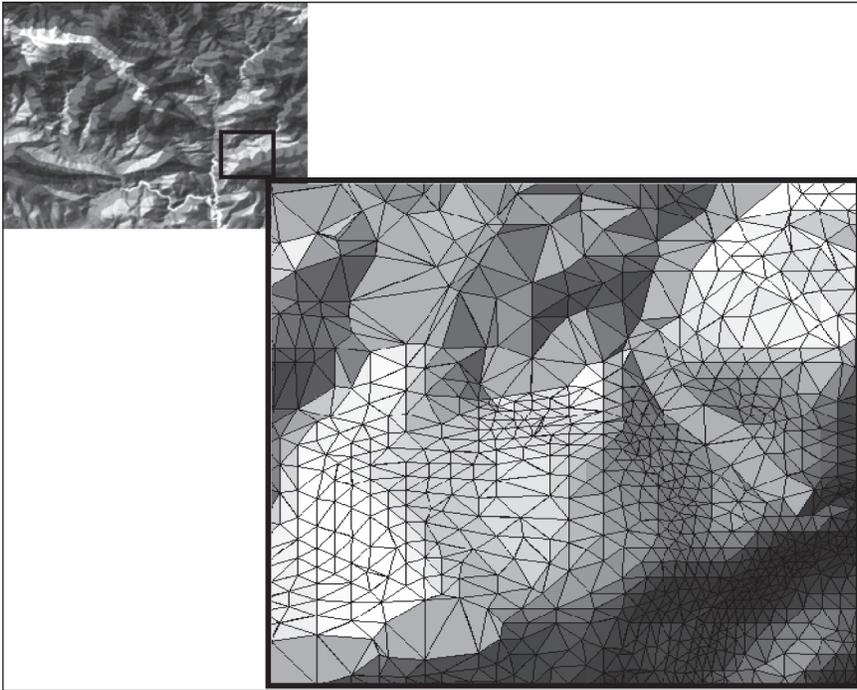


Figura 15.4.- MDT modelo vectorial. Estructura TIN. Fuente: elaboración propia.

15.5 Fundamentos de los SIG raster

La entrada de datos en un SIG raster se puede realizar a partir de diferentes opciones: (i) imágenes de satélite, (ii) imágenes escaneadas, (iii) importación de ficheros raster obtenidos, por ejemplo, mediante un satélite o escáner, y que se importan para convertirlos a un formato raster determinado con el que pueda trabajar el SIG raster en cuestión y (iv) **rasterización** o conversión a formato raster de cartografía digital en formato vectorial.

La presentación de los datos se puede realizar a partir de mapas raster convencionales, de mapas tridimensionales y también de tablas y gráficos.

Entre los análisis de datos más característicos en los SIG raster se pueden mencionar los siguientes: (a) reclasificación de datos (*edit – assign y reclass*), (b) reagrupación de píxeles (*group*), (c) superposición de datos (*overlay*), (d) filtrado de mapas (*filter*), (e) cálculo de superficie, perímetro y forma (*area, perimeter y cratio*), (f) cálculo de distancias euclidianas (*distance*), (g) análisis de proximidad (*distance-reclass y buffer*), (h) cálculo de pendientes (*slope*), (i) cálculo de orientaciones (*aspect*), (j) análisis de sombras (*analytical hillshading*), (k) cálculo de cuencas visuales (*viewshed*), (l) cálculo de cuencas de drenaje

(*watershed*), (m) generación de polígonos Thiessen (*thiessen*), (n) interpolación de valores (*interpol-intercon*), (p) superficies de fricción (*cost*) y (q) cálculo de caminos mínimos (*pathway*).

15.6 Fundamentos de los SIG vectoriales

La entrada de datos en un SIG vectorial se puede realizar a partir de diferentes opciones:

- **Digitalización manual**
- **GPS** (*Global Positioning System*)
- **Importación de ficheros vectoriales** obtenidos, por ejemplo, mediante digitalización o generados por un GPS, y que se importan para convertirlos a un formato vectorial determinado, en el que pueda trabajar el SIG vectorial en cuestión.
- **Vectorialización**, o conversión a formato vectorial de cartografía digital en formato raster.

La presentación de los datos se puede realizar a partir de mapas vectoriales convencionales de puntos y/o líneas y/o polígonos, de mapas tridimensionales en formato TIN y también de tablas y gráficos.

Entre los análisis de los datos más característicos en los SIG vectoriales se pueden mencionar los siguientes: (1) generalización cartográfica a partir de la agregación de valores, (2) mediciones espaciales en líneas (longitud y sinuosidad) y polígonos (perímetro, área y centroide), (3) consultas de la base de datos (atributos y espaciales), (4) superposición de mapas (*overlay*), (5) análisis de proximidad (*buffer*), (6) cálculo de pendientes (*slope*), (7) cálculo de orientaciones (*aspect*), (8) cálculo de cuencas visuales (*viewshed*), (9) cálculo de cuencas de drenaje (*watershed*), (10) generación de polígonos Thiessen (*thiessen*) y (11) análisis de redes (rutas óptimas y áreas de influencia).

La tabla 15.1 presenta, a modo de conclusión, una comparación entre las principales ventajas e inconvenientes de los SIG raster y los SIG vectoriales, con el objetivo de ofrecer una visión de síntesis sobre sus principales potencialidades y limitaciones.

	Ventajas	Inconvenientes
SIG RASTER	<p>Estructura de datos simple. Cada píxel dispone de un valor</p> <p>Rápida y eficaz aplicación de las operaciones de superposición (<i>overlay</i>). Las operaciones se establecen y se realizan píxel a píxel</p> <p>Formato muy eficiente para la representación de variables con una alta variación espacial. Se dispone generalmente de un gran número de píxeles que pueden facilitar una adecuada representación de la variabilidad espacial</p> <p>Formato utilizado para la generación y tratamiento de las imágenes satélite. Una de las fuentes de alimentación principal de los SIG</p>	<p>Estructura de datos poco compacta. Cada píxel dispone de un valor único y se generan archivos muy grandes</p> <p>Ciertas relaciones topológicas difíciles de representar</p> <p>Salidas gráficas de peor calidad fruto de la representación menos precisa de los elementos propia del modelo raster</p> <p>MDT raster incapaz de adaptarse a una topografía muy cambiante por el hecho de ser una malla regular de píxeles</p>
SIG VECTORIAL	<p>Estructura de datos más compacta</p> <p>Relaciones topológicas más completas y por tanto más fáciles de representar</p> <p>Salidas gráficas de más calidad al disponer de una representación precisa de los elementos a partir de la trilogía: punto, línea y polígono</p> <p>MDT de estructura TIN que permite intensificar el número de nodos y triángulos en las zonas de relieve más cambiante</p>	<p>Estructura de datos compleja, especialmente en el caso de la arco – nodo</p> <p>Operaciones de superposición de capas de información más complejo y con el riesgo de generar falsos polígonos (“<i>slivers</i>”)</p> <p>Poco eficiente cuando la variación espacial de las variables representadas es muy alta</p> <p>Las imágenes de satélite no se pueden tratar adecuadamente en formato vectorial</p>

Tabla 15.1.- Comparación entre los SIG raster y los SIG vectorial. Fuente: Elaboración propia a partir de modificar Gutiérrez y Gould, (1994)

15.7 Prácticas

Para una introducción práctica al manejo de los SIG, se ha escogido el software ArcGis (<http://www.esri-es.com>), por ser la herramienta SIG más extendida en todo el mundo, dadas sus avanzadas capacidades de visualización, consulta y análisis de información geográfica, además de poseer numerosas herramientas de integración de datos desde todo tipo de fuentes, sus herramientas de edición y su dualidad raster y vectorial.

15.7.1 Algunos datos sobre ArcGIS

15.7.1.1 ¿Qué es ArcGis?

ArcGIS es un sistema de información geográfica (SIG) integrado por tres partes clave:

- El software ArcGIS Desktop, un conjunto integrado de aplicaciones SIG avanzadas.
- El ArcSDE™ Gateway, una interfaz para administrar las geodatabases, es decir las bases de datos geográficos, o lo que es lo mismo un sistema de administración de bases de datos (DBMS).
- El software ArcIMS, un SIG orientado a Internet para distribuir datos y servicios.

15.7.1.2 ¿Qué es el ArcGIS Desktop?

El ArcGIS Desktop es un conjunto de aplicaciones integradas: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Usando estas tres aplicaciones juntas, se puede realizar cualquier tarea SIG, desde una simple hasta una muy avanzada, incluyendo mapeo, administración de datos, análisis geográficos, edición de datos y geoprocésamiento. Además, ArcGIS permite tener acceso a abundantes recursos y datos espaciales disponibles en Internet a través de los servicios de ArcIMS. ArcToolbox es utilizado para la conversión de datos y el geoprocésamiento.

- **ArcMap.** ArcMap es la aplicación central del ArcGIS Desktop. Es la aplicación SIG usada para todas las actividades basadas en mapeo, incluyendo cartografía, análisis de mapas y edición. En esta aplicación, se trabaja con mapas. Los mapas tienen un diseño de página que contiene una ventana geográfica, o una vista con una serie de capas, leyendas, barras de escalas, flechas indicando el norte y otros elementos. ArcMap ofrece diferentes formas de ver un mapa (una vista de datos geográficos y una vista de diseño), en la cual se puede desempeñar un gran rango de tareas avanzadas SIG.
- **ArcCatalog.** La aplicación ArcCatalog ayuda a organizar y administrar todos los datos SIG. Incluye herramientas para explorar y encontrar información geográfica, para grabar y ver metadatos, para ver rápidamente cualquier conjunto de datos y para definir la estructura del esquema de las capas de datos geográficos.
- **ArcToolbox.** ArcToolbox es una aplicación sencilla que contiene muchas herramientas SIG útiles para el geoprocésamiento. Hay dos versiones de ArcToolbox: la ArcToolbox completa, que viene con ArcInfo y una versión más sencilla, que viene con los *software* ArcView y ArcEditor.

15.7.1.3 ¿Qué son las extensiones en ArcGis?

Las denominadas extensiones son todas aquellas funcionalidades del programa incorporadas a posteriori en el intento de solucionar tareas específicas no contempladas por defecto en el programa base.

Ya desde la versión 3.x de ArcView, es frecuente usar distintos módulos para ampliar la funcionalidad de los productos ESRI. De la misma forma, poseemos en ArcGIS distintas opciones para añadir funcionalidad a nuestro programa básico mediante las llamadas extensiones, y aumentar así sus potencialidades de uso (<http://arcscrips.esri.com>). Algunas de las extensiones más utilizadas son:

- Extensión *Spatial Analyst*. El módulo de Análisis Espacial de ArcView (*ArcView Spatial Analyst*) provee funciones basadas en raster, que incluyen cuencas, contornos, análisis de distancia, y superposiciones (*overlays*) de capas de información. Permite el modelado raster y vectorial integrado. Este módulo permite la generación de curvas de nivel a partir de modelos de elevación del terreno (DEM).

La extensión *Spatial Analyst* de ArcGIS proporciona una amplia gama de características espaciales, de gran alcance para el modelamiento y el análisis. Con esta herramienta se puede (a) crear, preguntar, mapear y analizar píxeles basados en datos del tipo raster, (b) realizar análisis integrado de raster/vector, (c) álgebra de mapas, (d) consultar información a través de capas de datos múltiples e (e) integrar completamente datos raster con fuentes de datos tradicionales de tipo vector.

- Extensión *Geostatistical Analyst*. Su importancia radica en la creación de superficies continuas a partir de medidas registradas en puntos discretos del área de muestreo. Ayuda a predecir con seguridad valores para superficies, usando el método de interpolación espacial *kriging*. Posee, además, herramientas para calcular errores estadísticos y umbrales y para modelizar la probabilidad.
- Extensión *3D Analyst*. El *3D Analyst* es una extensión que permite visualizar y analizar datos en formato tridimensional (3D). Esta extensión incorpora un visualizador especializado en 3D, llamado ArcScene, que aporta la interfaz para ver capas múltiples de datos tridimensionales, creando y analizando, a la vez que proporciona nuevas capacidades para ArcMap y ArcCatalog. Permite la visualización y el análisis efectivo de datos de superficie. Usando esta extensión, se puede ver una superficie desde varios puntos de vista, consultar superficies, determinar lo que es visible desde una ubicación seleccionada y crear imágenes en perspectiva.

15.7.2 Georreferenciar imágenes, digitalizar en pantalla y añadir a un mapa puntos definidos por coordenadas X, Y

15.7.2.1 Agregar una imagen en ArcMap y georreferenciarla a partir de un archivo de puntos confeccionado manualmente

El término **Georreferenciación** se refiere a la localización de una imagen raster o archivo vectorial en el espacio, definida por un sistema conocido de referenciación de coordenadas. La georreferenciación puede ser usada para convertir el sistema de coordenadas de una imagen (fila y columna) en el sistema de una capa vectorial (p. ej. UTM), o a puntos de control obtenidos por GPS, o al sistema de otra imagen ya georreferenciada. Los pasos a dar para realizar una correcta georreferenciación son principalmente: agregar al mapa la imagen raster y a la capa ya georreferenciada, agregar puntos de control y procesar los datos.

15.7.2.2 Crear un World File

Un *World File* proporciona información para el registro de una imagen raster, de tal manera que ésta pueda ser visualizada dentro de la aplicación GIS (Arcview, Arcinfo, ArcGIS etc.) con sus correspondientes coordenadas reales, definidas en el sistema cartográfico de representación que estemos utilizando.

El fichero *World File* está compuesto de información ASCII, editable con cualquier aplicación como el *Wordpad* que viene con Windows o con Microsoft Word. Contiene una serie de números, cuya explicación daremos a continuación, que sirven para establecer la equivalencia entre el tamaño de la imagen raster y el territorio que representa o, lo que es lo mismo, la equivalencia entre sus coordenadas-imagen y las coordenadas reales del espacio que representa. El formato de los ficheros *World File* que comentamos es el utilizado por las aplicaciones de ESRI Arcview y Arcinfo. El aspecto general de un *World File* es el siguiente:

```
0.99999147653587 - A
0.0000000000000000 - D
0.0000000000000000 - B
-0.99999147653587 - E
720943.99743443715852 - C
3695515.00267636729404 - F
```

Donde:

A: Dimensiones de un píxel sobre el terreno en el eje x

B, D: Términos de rotación

C, F: Términos de translación; coordenadas reales x,y del píxel situado en el ángulo superior izquierdo de la imagen

E: Dimensiones de un píxel sobre el terreno, en el eje y. Este valor es siempre negativo, porque el sistema de medir las coordenadas relativas de las fotos (coordenadas-imagen) tiene origen en el ángulo superior izquierdo, y las coordenadas son positivas en el eje y a medida que se desciende, justo al revés que en cualquier sistema de representación cartográfico convencional, donde las coordenadas en el eje y son positivas cuando se asciende.

15.7.2.3 Digitalizar en pantalla

El ingreso de información a través del *mouse* sobre la pantalla, es lo que conocemos como **digitalización en pantalla**. Con esta práctica, se pretende desplegar una imagen, ingresar arcos y polígonos, agregar polígonos vecinos y dividir polígonos ya creados. Para ello, se necesita activar la barra de herramientas *Editor* que se encuentra dentro de *View >Toolbars >Editor*. Para comenzar el ingreso de polígonos, se ha de pulsar el botón *Editor* y elegir *Start Editing*. Para dibujar los polígonos, se ha de seleccionar la herramienta *Sketch* de la barra *Editor*.

15.7.2.4 Añadir a un mapa puntos definidos por coordenadas x, y

Es de gran importancia poder contar con una herramienta que nos permita simbolizar, etiquetar, clasificar, preguntar y analizar diferentes características, a partir de puntos tomados de terreno vía GPS, o bien datos existentes con sus respectivas coordenadas. En este ejercicio, se llevarán puntos desde un archivo Excel hasta ArcGis.

El primer paso, es guardar el archivo Excel como Dbase IV, para que pueda ser leído en ArcMap. Para visualizar los puntos, se ha de seleccionar del menú *Tools* la opción *Add XY Data* y buscar la ruta donde se encuentra el archivo dbf. Por último, hay que indicar correctamente el campo que contiene la coordenada X e Y.

15.7.3 Trabajar con Spatial Analyst: álgebra de mapas y reclasificación

Mediante el módulo *Spatial Analyst* se incrementan las posibilidades de trabajo en cuanto al tratamiento de datos geoespaciales basado en archivos de tipo raster. La extensión permite combinar mapas para establecer relaciones, mediante un completo grupo de herramientas, a fin de encontrar el emplazamiento perfecto para un determinado servicio, contemplando una consulta multicriterio mediante el álgebra de mapas.

15.7.3.1 Introducción al álgebra de mapas

Proporciona instrumentos para realizar operaciones, declaraciones condicionales y funciones locales, focales, zonales, globales, y de aplicación.

Los operandos pueden ser un campo, un número, o una secuencia. Los operadores lógicos pueden ser igual a (=), mayor que (>), menor que (<), mayor que o igual a (>=), menor que o igual a (<=), o no igual o distinto a (<>). Una instrucción del lenguaje de interrogación puede incluir dos o más expresiones lógicas conectadas por uno o más conectadores booleanos. Los conectadores booleanos son AND, OR, XOR, y NOT. Para realizar este tipo de operaciones, se ha de desplegar la extensión *Spatial Analyst* y elegir la opción *Raster Calculator*.

15.7.3.2 Reclasificar imágenes raster

Otra de las funciones habituales en el tratamiento de archivos raster, suele ser la reclasificación, que consiste simplemente en cambiar el valor de las categorías que tenemos asignadas, para adaptarlas a la nueva información que se ha generado. Esto se realiza para obtener nuevas informaciones, para asignar valores a categorías para las que no tenemos datos, o bien para agrupar categorías entre sí, además de para ponderar, homogeneizar y/o priorizar unas categorías por con respecto a otras.

Si ejecutamos la opción *Reclassify* del cuadro de herramientas, se nos abre una ventana donde podemos llevar a cabo esta orden.

Primero, definimos el archivo que contiene los datos que queremos reclasificar y, seguidamente, el campo concreto de la tabla de atributos al que deseamos vincularnos.

Podemos agrupar diferentes categorías de forma rápida, dándoles el mismo valor, si seleccionamos todas ellas y pulsamos con el botón de la derecha y escogemos *Group entries*.

15.7.4 Trabajar con *Spatial Analyst*: cálculos de distancia y análisis superficial

15.7.4.1 Cálculo de distancia, lineal y de coste

El concepto **distancia** es uno de los más utilizados a la hora de realizar mediciones superficiales y, en relación a él, podemos ejecutar multitud de cálculos gracias a las herramientas de análisis espacial.

Conociendo el tamaño de las celdas, podemos calcular fácilmente la *Straight Line Distance* (distancia en línea recta o euclidiana) entre dos puntos.

Para realizar un cálculo de la distancia euclidiana, debemos activar la barra de herramientas de *Spatial Analyst* y escoger la opción *Distance* seguido de *Straight Line*.

Acto seguido, se abre la ventana de diálogo de dicha función y debemos introducir las propiedades del cálculo. Debemos especificar la capa que contiene los elementos a partir de los cuales queremos realizar el cálculo.

Opcionalmente, podemos establecer la distancia máxima a partir de la que ya no nos interesa realizar el cálculo. También hemos de especificar el tamaño de las celdas que tendrá la imagen de salida y el nombre de dicha imagen

Otra gran aportación de este módulo, es la posibilidad de calcular la distancia en relación a su coste (*Cost Weighted Distance*), lo que sería equiparable a calcular la **fricción de la distancia**, un término muy habitual en modelización estadística, que se refiere al gasto que se estima necesario para cruzar cada una de las celdas del territorio. En este caso, la línea recta no tiene por qué ser la distancia más corta entre dos puntos.

15.7.4.2 *Análisis de superficies*

Spatial Analyst proporciona gran cantidad de funciones orientadas a realizar análisis de superficies, a partir de la combinación de archivos raster y vectoriales. A continuación, vamos a hacer un repaso de las principales aportaciones de la función *Surface Analysis*:

- **Slope.** Este cálculo se extrae a partir de la comparación entre la altitud de la celda en cuestión y las de sus celdas vecinas, con lo que se obtiene el grado de inclinación, que se puede expresar en porcentaje o bien en grados decimales. Este parámetro es también decisivo en cálculos relacionados con los riesgos naturales, tales como el riesgo de aludes o la estabilidad de las laderas.
- **Aspect.** Podemos definir la orientación como la posición de cada una de las celdas en relación a sus celdas vecinas, tomando por referencia los puntos cardinales y midiendo dicha orientación en grados (desde el 0 que correspondería al Norte, pasando por el valor 180 que sería el Sur, hasta llegar otra vez al Norte en el valor 360). Conocer la orientación del terreno puede ayudarnos a elegir el emplazamiento de determinadas actividades relacionadas con la aportación energética del sol o bien con los fenómenos meteorológicos.
- **Hillshading.** Simulación referente al ángulo de incidencia solar, del que podemos deducir la aportación energética que cada una de las celdas recibe. Es imprescindible tener en cuenta el **azimut**, que es la dirección en la que incide el sol sobre el terreno y también la altura del sol respecto al horizonte en el momento de efectuar el cálculo.
- **Viewshed.** A partir del Modelo Digital del Terreno, podemos identificar las áreas o celdas desde las cuales son visibles unos elementos concretos por lo que, en caso de que estos afecten negativamente a nuestra percepción del entorno, podemos replantearnos su ubicación o tomar medidas correctivas para paliar sus efectos.

15.7.5 Trabajar con 3d Analyst: análisis tridimensional y modelos digitales de elevación

15.7.5.1 Análisis tridimensional con 3D Analyst

El módulo *3D Analyst* nos proporciona las herramientas necesarias para crear un modelo de interpretación tridimensional. El *3D Analyst* es una extensión para ArcGis, que permite visualizar y analizar datos en formato tridimensional (3D). Esta extensión agrega un visualizador especializado en 3D, llamado ArcScene.

EL *3D Analyst* permite crear TINs a partir de temas de puntos, polígonos o líneas, así como desde *grids* o *rasters*. El TIN se puede crear en cualquier *ArcMap* o *ArcScene*. El TIN se genera a partir de todos los elementos del tema activo, a no ser que sólo se tenga seleccionado un *set* de *features* del mismo tema activo.

15.7.5.2 Trabajar con Modelos Digitales de Elevaciones (MDE)

Estas modelizaciones se pueden realizar a partir de datos raster y también a partir de una red de triángulos irregulares, lo que se conoce como TIN.

La primera de las formas de generación de capas superficiales se conoce como **GRID** en el entorno de ArcGIS, y su lógica se basa en la creación de una malla uniforme, en la que cada celda tiene un valor para la coordenada Z, que indica la altitud de dicha porción de terreno.

La *Triangulated Irregular Network* (TIN) permite la adaptación del tamaño de los triángulos en función de la orografía, con el fin de reducir el volumen de información referente a las áreas llanas, de menor interés, y de aumentar la resolución cuando la superficie se vuelve más accidentada y poder reproducir con mayor fidelidad las variaciones del relieve.

15.8 Referencias

Bibliografía básica en español

- Barredo J.I. (1996). "Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio". RA-MA Editorial. Madrid
- Bosque Sendra J. (1997). "Sistemas de Información Geográfica". 2ª edición, RIALP. Madrid.
- Calvo M. (1993). "Sistemas de información geográfica digitales. Sistemas Geomáticos". Oñati, Instituto Vaso de Administración Pública.
- Chuvieco E. (2002). "Teledetección ambiental". Colección Ariel Ciencia. Editorial Ariel. Madrid.
- Comas D. y Ruiz E. (1993). "Fundamentos de los sistemas de información geográfica". Editorial Ariel. Barcelona.
- Gutiérrez J. y Gould M. (1994). "SIG: Sistemas de Información Geográfica" X Síntesis. Madrid.

- Moldes F.J. (1995). "Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica". RA-MA Editorial. Madrid.
- Ordóñez C. (2003). "Sistemas de información geográfica: aplicaciones prácticas con Idrisi 32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales". RA-MA Editorial. Madrid.
- Peña J. (2006). "Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio: entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales : teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9". Club Universitario. Alicante.

Bibliografía básica en inglés

- Bernhardsen T. (2002). "Geographic Information Systems. An introduction". 3rd edition. John Wiley & Sons. New York.
- Burrough P. (1986). "Principles of Geographical Information Systems for Land Resource Assessment". Oxford University Press. Oxford.
- Clarke K.C. (2003). "Getting started with Geographic Information Systems". Fourth Edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Goodchild M.F. Steyaert L.T. and Parks B.O. (1996). "GIS and Environmental Modeling: Progress and research Issues". GIS World. Fort Collins.
- Heit M. and Shortreid A. (eds.) (1991). "GIS Application in Natural Resources". GIS World. Forst Collins.
- Korte G.B. (2001). "The GIS Book". 5th edition. Onword Press. New York.

EN RED

<http://recursos.gabrielortiz.com/>

<http://www.sigte.udg.es>

<http://gisweb.ciat.cgiar.org/SIG/esp/recursos-sig.htm>

<http://www.procig.org/principal.htm>

<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/index2.html>

<http://www.fao.org/Regional/LAmerica/proyecto/139jpn/ordenam.htm>

http://www.usuarios.lycos.es/arcgis/index_es.htm