

# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1

### NOCIONES FUNDAMENTALES ACERCA DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

|   |    |
|---|----|
| 1. ¿Qué son los Sistemas de Información Geográfica? .....                                     | 19 |
| 2. ¿Para qué sirven los Sistemas de Información Geográfica? .....                             | 20 |
| 3. Componentes básicos de los SIG .....   | 22 |
| 3.1. Los elementos tecnológicos: el software y el hardware.....                               | 23 |
| 3.1.1. El componente lógico (el software) .....   | 23 |
| • El sistema operativo .....  | 24 |
| • Los programas de aplicación. Algunos de los softwa-<br>re SIG existentes en el mercado..... | 26 |
| 3.1.2. El componente físico (el hardware).....  | 28 |
| • La Unidad Central de Proceso (C.P.U.) .....   | 28 |
| • Los componentes de almacenamiento externo de la<br>información .....                        | 30 |
| • Los periféricos de entrada .....  | 33 |
| • Los periféricos de salida .....   | 34 |
| 3.2. Los datos .....  | 37 |
| 3.3. El personal técnico que maneja los SIG .....   | 38 |
| 3.3.1. La necesidad de formación de expertos en SIG .....                                     | 39 |
| 3.4. Los métodos de trabajo .....   | 40 |
| 4. Breve historia del desarrollo de los Sistemas de Información Geo-<br>gráfica .....         | 43 |
| 4.1. Algunos factores que influyeron favorablemente en el desa-<br>rrollo de los SIG .....    | 43 |
| 4.2. Principales etapas en la historia de los SIG .....                                       | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3. Principales hitos de la evolución de los Sistemas de Información Geográfica..... | 49 |
| 4.3.1. El Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS).....                     | 50 |
| 4.3.2. El Laboratorio de Harvard .....  | 52 |
| 4.3.3. Los ficheros DIME .....  | 53 |
| 4.3.4. El desarrollo de las empresas de SIG: el caso de ESRI ..                       | 54 |
| 4.3.5. El efecto de la demanda en el desarrollo de los SIG ....                       | 56 |
| 4.4. Algunas ideas sobre el futuro de los SIG .....                                   | 59 |

## CAPÍTULO 2

### LA NATURALEZA DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

|  |     |
|--|-----|
| 1. La medición de datos en Geografía. Las unidades espaciales de recogida de la información .....            | 65  |
| 2. La componente temática de la información.....   | 66  |
| 2.1. Las escalas de medida .....   | 66  |
| 2.2. Tipos de variables.....   | 69  |
| 2.3. La componente temporal de la información geográfica.....  | 71  |
| 3. La matriz de datos geográfica .....   | 75  |
| 4. La representación cartográfica de la información geográfica .....   | 75  |
| 4.1. La cartografía: fuente básica de la información geográfica e instrumento del análisis territorial ..... | 75  |
| 4.2. Características y contenido de los mapas .....  | 77  |
| 4.2.1. El mapa como representación geométrica plana .....  | 77  |
| • La forma real de la Tierra. La geodesia en la base de la cartografía .....                                 | 78  |
| • Principales sistemas de proyección.....  | 80  |
| 4.2.2. El mapa: representación a escala de la realidad .....   | 88  |
| 4.2.3. El mapa como representación simplificada y convencional .....   | 89  |
| 4.3. Tipos de mapas.....   | 91  |
| 4.3.1. Los mapas temáticos.....  | 91  |
| 4.3.2. La cartografía de base. Los mapas topográficos .....  | 97  |
| • El relieve .....   | 99  |
| • La hidrografía .....   | 103 |
| • Vegetación y cultivos .....  | 104 |
| • Núcleos de población y edificaciones .....   | 104 |
| • Vías de comunicación. Puertos y aeropuertos. Líneas de cable .....   | 106 |
| • Líneas de división administrativa.....   | 107 |

|  |     |
|--|-----|
| 5. La medición topológica de los objetos geográficos .....                         | 107 |
| 6. La problemática particular de la información espacial .....                     | 109 |
| 6.1. La autocorrelación espacial.....  | 109 |
| 6.2. El problema de la unidad espacial modificable (PUEM) .....                    | 111 |
| 7. La obtención de la información geográfica.....                                  | 112 |
| 7.1. La infraestructura de datos espaciales .....                                  | 113 |
| 7.1.1. El origen de la información geográfica de base espacial                     | 113 |
| 7.2. Las principales fuentes de la información temática .....                      | 116 |
| 7.3. Hacia una normalización global de la información geográfica ..                | 117 |
| 7.4. La recogida de la información geográfica por medio del<br>muestreo.....       | 119 |
| 7.4.1. El muestreo de base espacial .....  | 119 |
| 7.4.2. El muestreo como técnica de investigación social.....                       | 120 |
| 8. La calidad de los datos.....  | 123 |
| 8.1. Componentes de la calidad de la información geográfica .....                  | 124 |
| 8.2. Los errores inherentes a la información geográfica. Tipos de<br>errores ..... | 126 |

Capítulo 3  
**LOS MODELOS Y ESTRUCTURAS  
DE LOS DATOS GEOGRÁFICOS.  
LAS BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Los objetos geográficos y la representación digital de la informa-<br>ción espacial .....          | 131 |
| 2. Los modelos raster y vectorial de la información geográfica .....                                  | 132 |
| 2.1. La estructura espacial del modelo raster .....   | 133 |
| 2.2. La estructura espacial del modelo vectorial .....  | 135 |
| 2.2.1. Geocodificación de los objetos geográficos .....   | 136 |
| 3. La organización de la información geográfica. Las bases de datos<br>geográficas .....              | 137 |
| 3.1. Las bases de datos: concepto, evolución y principales tipos ...                                  | 137 |
| 3.2. Los modelos de bases de datos .....  | 139 |
| 3.2.1. El modelo entidad-relación .....   | 139 |
| 3.2.2. Tipos de modelos de bases de datos .....   | 140 |
| 3.2.3. Los modelos de datos relacionales .....  | 145 |
| • La estructura de las bases de datos relacionales. Res-<br>tricciones básicas en su elaboración..... | 146 |
| • La manipulación de las bases de datos relacionales .  | 150 |
| 3.3. Los Sistemas de Gestión de las Bases de Datos.....   | 154 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4. Los Sistemas de Información Geográfica y los modelos de bases de datos..... | 155 |
| 3.5. Las estructuras de datos en los modelos raster y vectorial.....             | 159 |
| 3.5.1. Las estructuras de datos raster .....                                     | 159 |
| • Enumeración exhaustiva .....   | 160 |
| • Codificación «run length» .....  | 161 |
| • Estructuras jerárquicas .....  | 162 |
| 3.5.2. Las estructuras de datos vectoriales .....                                | 164 |
| • Lista de coordenadas.....  | 164 |
| • Diccionario de vértices .....  | 165 |
| • La organización arco/nodo .....  | 166 |
| • Estructura TIN.....  | 168 |

**CAPÍTULO 4**  
**LOS SIG RASTER:**  
**ORIGEN Y PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN.**  
**LOS MODELOS DIGITALES DEL TERRENO**

|  |     |
|--|-----|
| 1. Introducción .....  | 173 |
| 2. El origen de la información en los SIG raster.....                      | 174 |
| 2.1. La digitalización raster manual .....                                 | 174 |
| 2.1.1. Cartografía puntual .....   | 175 |
| 2.1.2. Cartografía de isolíneas .....                                      | 175 |
| 2.1.3. Cartografía de unidades superficiales.....                          | 177 |
| 2.2. La digitalización raster automática: el barredor óptico .....         | 178 |
| 2.3. La interpretación de la fotografía aérea .....                        | 178 |
| 2.4. Las imágenes de satélite: la teledetección.....                       | 184 |
| 2.4.1. Concepto y técnica básica de la teledetección.....                  | 184 |
| 2.4.2. Características técnicas de los sensores remotos .....              | 186 |
| 2.4.3. Principales fases de trabajo en la obtención de imágenes....        | 190 |
| 2.4.4. La teledetección como fuente de información de los SIG.....         | 193 |
| 2.5. La rasterización de la información digital en formato vectorial ..... | 196 |
| 3. Los modelos digitales del terreno .....                                 | 200 |
| 3.1. Definición y tipos de modelos.....                                    | 200 |
| 3.2. Estructuras de datos en el modelo digital de elevaciones.....         | 201 |
| 3.3. La construcción del modelo digital de elevaciones.....                | 205 |
| 4. La presentación de la información en los SIG raster.....                | 207 |
| 4.1. Los mapas raster convencionales .....                                 | 207 |
| 4.2. Los mapas de números.....   | 215 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3. Los mapas tridimensionales.....             | 216 |
| 4.4. Tablas, gráficos y resúmenes numéricos..... | 217 |

**CAPÍTULO 5**  
**LOS SIG RASTER:**  
**OPERACIONES Y ALGORITMOS DE CÁLCULO**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Principales tipos de análisis a realizar en un SIG raster .....  | 221 |
| 2. Algunas operaciones elementales de los SIG raster .....  | 222 |
| 2.1. Los cambios en la orientación y en el nivel de resolución .....  | 222 |
| 2.2. La identificación de la información temática.....  | 223 |
| 2.3. La extracción de información .....   | 224 |
| 2.4. Unión de hojas de trabajo .....  | 226 |
| 3. Operaciones locales de los SIG raster.....   | 227 |
| 3.1. Operaciones de reclasificación.....  | 227 |
| 3.2. Operaciones de superposición.....  | 230 |
| 3.2.1. La superposición lógica .....  | 230 |
| • Ejemplo de superposición del Y (LÓGICO). Determinación de la localización de áreas de vertedero en El Espinar (Segovia).....                | 233 |
| 3.2.2. La superposición algebraica.....   | 237 |
| 3.2.3. Intersección o cruce de mapas nominales u ordinales.   | 238 |
| • Ejemplo de intersección o cruce de categorías de dos mapas nominales. Determinación del crecimiento urbano de Elche entre 1949 y 1997 ..... | 239 |
| 3.2.4. Enmascarado de mapas .....   | 242 |
| 4. Las operaciones de vecindad en un SIG raster .....   | 243 |
| 4.1. Operaciones de vecindad inmediata .....  | 244 |
| 4.1.1. El filtrado de mapas.....  | 244 |
| 4.1.2. El cálculo de la pendiente .....   | 245 |
| 4.1.3. La orientación de la pendiente.....  | 252 |
| 4.1.4. Determinación del perfil topográfico.....  | 258 |
| 4.2. Operaciones de vecindad extendida .....  | 259 |
| 4.2.1. Cálculo del mapa de distancias.....  | 260 |
| 4.2.2. Mapas de costes de transporte con superficie de fricción .....   | 263 |
| 4.2.3. El cálculo de caminos mínimos .....  | 266 |
| 4.2.4. La definición de los polígonos Thiessen .....  | 266 |
| 4.2.5. El análisis de intervisibilidad .....  | 268 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 4.2.6.   | Análisis de difusión .....  | 270 |
| 4.2.6.1. | Los procesos de difusión espacial .....   | 270 |
| 4.2.6.2. | Los modelos de difusión espacial .....  | 271 |
| 4.2.6.3. | La simulación como técnica de confección de<br>modelos de difusión. Su resolución en un SIG<br>raster ..... | 273 |
| 4.2.7.   | La interpolación espacial.....  | 277 |
| 4.2.7.1. | Los métodos globales de interpolación .....   | 277 |
| 4.2.7.2. | Los métodos locales de interpolación .....  | 278 |
|          | • Los métodos de interpolación a partir de<br>puntos.....   | 280 |
|          | — El método del vecino más próximo. Modifi-<br>cación por el procedimiento de Tobler ...                    | 280 |
|          | — El método de interpolación de las medias<br>móviles con ponderación de la distancia.                      | 283 |
|          | — Método de interpolación a partir del kri-<br>ging.....  | 284 |
|          | • Métodos de interpolación a partir de líneas<br>de nivel.....  | 287 |
|          | — La interpolación lineal entre curvas de<br>nivel.....   | 288 |
|          | — La interpolación no lineal entre curvas<br>de nivel .....   | 290 |
| 5.       | Operaciones zonales .....   | 290 |
| 6.       | Integración de las diversas operaciones elementales en un análisis<br>geográfico concreto.....              | 294 |

**CAPÍTULO 6**  
**LOS SIG VECTORIALES:**  
**ORIGEN, PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN**  
**Y PRINCIPALES OPERACIONES DE CÁLCULO**

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 1.     | Introducción .....   | 299 |
| 2.     | El origen de la información en los SIG vectoriales.....  | 299 |
| 2.1.   | Los procedimientos de captación y conversión a formato digi-<br>tal vectorial de la información espacial ..... | 299 |
| 2.1.1. | Los métodos de observación directa .....   | 299 |
|        | • El sistema GPS.....  | 300 |
| 2.1.2. | El empleo de fuentes secundarias.....  | 303 |
|        | • La digitalización vectorial semiautomática .....   | 303 |

|   |     |
|---|-----|
| • Principales errores de la digitalización. Corrección de errores, generalización y suavizado de líneas ..... | 306 |
| • La vectorización automática de datos raster .....   | 309 |
| 2.2. La entrada de la información temática.....   | 310 |
| 3. La presentación de la información en los SIG vectoriales .....   | 312 |
| 3.1. Los mapas temáticos vectoriales .....  | 314 |
| 4. Principales tipos de análisis a realizar en un SIG vectorial .....   | 318 |
| 4.1. La selección/recuperación de la información geográfica.....  | 319 |
| 4.1.1. La selección o búsqueda temática .....   | 319 |
| 4.1.2. La selección o búsqueda espacial .....   | 322 |
| 4.1.3. La selección o búsqueda mixta (temática y espacial)...   | 323 |
| 4.1.4. La recuperación de la información seleccionada .....   | 324 |
| 4.1.5. La reclasificación de la información temática.....   | 325 |
| 4.2. Superposición de mapas.....  | 325 |
| 4.2.1. Superposición de puntos en polígonos.....  | 326 |
| 4.2.2. Superposición de líneas en polígonos .....   | 329 |
| 4.2.3. Superposición de polígonos.....  | 332 |
| 4.3. Análisis espacial de proximidad.....   | 337 |
| 4.4. El análisis de redes .....   | 340 |
| 4.4.1. Definición de red .....  | 340 |
| 4.4.2. La conversión de las redes a formato digital.....  | 342 |
| 4.4.3. Medidas de cohesión de una red .....   | 344 |
| 4.4.4. Medida de accesibilidad a través de una red.....   | 346 |
| • Medida de accesibilidad topológica .....  | 346 |
| • Medida de accesibilidad en distancia directa .....  | 347 |
| 4.4.5. Funcionalidades del análisis de redes .....  | 348 |
| • Trazado de rutas óptimas.....   | 348 |
| • Análisis de áreas de influencia .....   | 351 |
| • Mapas de isocronas .....  | 352 |
| 4.5. Medición espacial de objetos geográficos .....   | 353 |
| 4.6. La agregación de objetos geográficos.....  | 354 |

## CAPÍTULO 7

### APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

|  |     |
|--|-----|
| 1. Principales campos de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica..... | 359 |
| 1.1. Medio ambiente y recursos naturales .....                                     | 359 |
| 1.1.1. Cambios de usos del suelo.....  | 359 |
| 1.1.2. Gestión de los recursos naturales .....                                     | 360 |
| 1.1.3. Análisis del paisaje .....  | 361 |

|  |     |
|--|-----|
| 1.1.4. Estudios de capacidad e impacto ambiental .....   | 362 |
| 1.2. Localización óptima de actividades humanas en el espacio ...  | 365 |
| 1.2.1. Localización de actividades productivas y de consumo<br>en el territorio.....   | 365 |
| 1.2.2. Localización de actividades no deseables en el territorio.....  | 366 |
| 1.3. Estudio del transporte y de las infraestructuras .....  | 370 |
| 1.3.1. Trazado de infraestructuras lineales.....   | 371 |
| 1.3.2. Sistemas de navegación para automóviles.....  | 371 |
| 1.3.3. Redes de infraestructuras básicas.....  | 372 |
| 1.4. Estudio de los riesgos naturales .....  | 372 |
| 1.5. Planificación territorial y planeamiento urbano .....   | 374 |
| 1.6. Gestión del catastro .....  | 377 |
| 1.7. Análisis de mercados .....  | 380 |
| 2. Algunos ejemplos de aplicación de la tecnología SIG a la resolución de problemáticas de índole variada, socioeconómica y medioambiental .....                                 | 382 |
| 2.1. La obtención de mapas de aptitud del territorio. Aplicación a la definición de la aptitud territorial de Sos del rey Católico, respecto a la implantación del regadío ..... | 382 |
| 2.1.1. Introducción al problema planteado .....  | 382 |
| 2.1.2. Metodología general utilizada .....   | 382 |
| 2.1.3. Presentación de los resultados .....  | 385 |
| • Imágenes de partida de la información .....  | 386 |
| • Preparación de los factores y de los criterios limitantes .....  | 386 |
| • Factor 1 (altitud).....  | 388 |
| • Factor 2 (pendiente) .....   | 388 |
| • Factor 3 (orientación).....  | 388 |
| • Factor 4 (litología) .....   | 388 |
| • Factor 5 (distancias a los cursos del agua) .....  | 389 |
| • Criterio limitante 1 (pendiente inferior al 8%) .....  | 389 |
| • Criterio limitante 2 (usos del suelo limitados).....   | 389 |
| • Clasificación de los valores de la aptitud .....   | 390 |
| 2.2. Efectos de las nuevas autopistas orbitales de Madrid, en la mejora de la accesibilidad .....  | 391 |
| 2.2.1. Introducción al problema planteado .....  | 391 |
| 2.2.2. Metodología general utilizada .....   | 392 |
| 2.2.3. Presentación de los resultados .....  | 394 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.3. Análisis de la dinámica espacio temporal del paisaje en áreas de montaña .....   | 396 |
| 2.3.1. Introducción al problema planteado .....   | 396 |
| 2.3.2. Metodología general utilizada .....  | 397 |
| 2.3.3. Presentación de los resultados .....   | 398 |
| 2.3.4. Factores explicativos de la dinámica paisajística .....  | 401 |
| 2.4. Análisis de la localización y el área de mercado para el pequeño comercio minorista.....   | 402 |
| 2.4.1. Introducción al problema planteado .....   | 402 |
| 2.4.2. Metodología general utilizada .....  | 403 |
| 2.4.3. Presentación de los resultados .....   | 403 |
| 2.5. Valoración del paisaje en la comarca nordeste de Segovia.....  | 407 |
| 2.5.1. Introducción al problema planteado .....   | 407 |
| 2.5.2. Metodología general utilizada .....  | 407 |
| 2.5.3. Presentación de los resultados .....   | 412 |
| 2.6. Diseño de carreteras mediante un SIG: costes de construcción y costes ambientales .....  | 412 |
| 2.6.1. Introducción al problema planteado .....   | 412 |
| 2.6.2. Metodología general utilizada .....  | 412 |
| 2.6.3. Presentación de los resultados .....   | 416 |
| 2.7. Sistemas de Información Geográfica y Teledetección en la prevención de incendios forestales: un ensayo en el macizo oriental de la Sierra de Gredos..... | 417 |
| 2.7.1. Introducción al problema planteado .....   | 417 |
| 2.7.2. Metodología general utilizada .....  | 418 |
| •1) Preparación de las capas individuales de la información .....   | 420 |
| — Variables derivadas de la topografía .....  | 420 |
| — Vegetación .....  | 420 |
| — Variables meteorológicas .....  | 421 |
| — Factor humano .....   | 422 |
| •2) La elaboración de los tres índices propuestos para medir la probabilidad de incendios forestales .....  | 422 |
| — Probabilidad de ignición .....  | 422 |
| — Riesgo derivado de la vegetación .....  | 423 |
| — Riesgo asociado a las actividades humanas .....   | 423 |
| •3) Interpretación de los tres índices .....  | 424 |
| 2.7.3. Presentación de los resultados .....   | 424 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | 427 |
| <b>GLOSARIO .....</b>   | 441 |