

## CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DERIVADA DE LOS MODELOS TOPOGRÁFICOS DIGITALES

Javier MARTÍNEZ VEGA  
*Instituto de Economía y Geografía (CSIC)*  
José Luis LABRANDERO  
*IEG (CSIC)*  
José M<sup>a</sup> LÓPEZ VIZOSO  
*Universidad de Coruña*  
Juan José CARLEVARIS  
*IEG (CSIC)*  
Pilar ECHAVARRÍA  
*IEG (CSIC)*  
Olga de LERA  
*IEG (CSIC)*

**RESUMEN:** Se describen los procesos seguidos para obtener cartografía temática, a escala 1/50.000, relacionada con el relieve a partir de los Modelos Topográficos Digitales (MTDs) haciendo hincapié en las ventajas y dificultades que suelen acompañar a estos métodos cartográficos, desde la captura de los datos hasta las pruebas de color. Las áreas elegidas para mostrar los ejemplos son dos áreas de montaña: las comarcas de Espinoso (Montes de Toledo) y de Barco de Valdeorras (Orense).

**ABSTRACT:** The used processes to obtain the thematic cartography, at scale 1/50.000, will be described in relation with the Digital Elevation Models (DEMs). The advantages and difficulties of these cartographic methods will be emphasized, from the data acquisition to the colour samples. The choosed areas to show the examples are two mountains areas: the Espinoso (Montes de Toledo) and the Barco de Valdeorras (Orense) regions.

### INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales problemas de la cartografía, además del derivado de la adaptación de la superficie esférica de la Tierra a una superficie plana bidimensional, es el de la representación del relieve. Diversos métodos se han desarrollado para representar un espacio tridimensional sobre un plano

(ROBINSON et al., 1987). Perfiles abatidos, líneas esquemáticas, normales, curvas sombreadas, configuradas, de nivel, sombreados, tintas hipsométricas y mapas en relieve son algunos de los más importantes, ideados a lo largo de las dos últimas centurias.

En el marco del proyecto *Nuevas tecnologías aplicadas al diagnóstico y planificación ambiental en España y Latinoamérica (SIG y Teledetección)*, financiado por la CICYT, se ensayan nuevas metodologías que contribuyan a desarrollar bases computadorizadas de datos cartográficos. El objetivo principal es la planificación de diversos ambientes, especialmente de montaña, como la comarca de Espinoso del Rey (Montes de Toledo), escenario de los ejemplos cartográficos que presentamos en este estudio.

Para alcanzar esta meta es imprescindible disponer de una descripción precisa, a ser posible numérica, del relieve y de otras características del terreno ya que aquél es un factor clave en el aprovechamiento de los recursos.

En este contexto, dada la laboriosidad, complejidad, lentitud y pérdida de precisión cartográfica que conlleva la utilización de métodos convencionales, se decidió la modelización automática del terreno para la producción de los mapas hipsométrico, clinométrico y de orientaciones, entre otros objetivos. Además del interés intrínseco de estos mapas se pretende que el cruce de éstos con otros temas (suelos o usos) nos ayude a analizar y diagnosticar la aptitud de las tierras o pronosticar la idoneidad de los usos actuales del suelo.

En este sentido, la conexión de los Modelos Topográficos Digitales (MTDs) con la cartografía digital, en el marco de los Sistemas de Información Geográfica (SIGs), es considerada fundamental.

Para contrastar nuestras experiencias, además de las consultas a la bibliografía de referencia, hemos efectuado un estudio comparativo con otros proyectos de objetivos similares. Nos referimos, en concreto, a los *planes de desarrollo comarcal* que aplica la Xunta de Galicia, desde 1990, en una serie de comarcas piloto de montaña como la de Barco de Valdeorras, una de las primeras estudiadas.

#### **NUEVAS FUENTES EN LA PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA: LOS MTDs.**

Es conocido que las fotografías aéreas son una fuente de información geográfica de gran interés. Los datos del relieve derivados de aquéllas, mediante fotogrametría, son susceptibles de ser almacenados en una base de datos geográficos (USGS, 1990).

La adaptación de los restituidores analógicos y analíticos, el empleo de restituidores digitales (MENA, 1992) y los nuevos caminos explorados para derivar curvas de nivel a partir de los estereopares fotográficos (SIRCAR Y CEBRIÁN, 1990) han permitido la captura de los datos topográficos en formato digital y, por tanto, su conexión directa con los SIGs, así como la producción masiva de los MTDs. Es evidente que, una vez tratados, estos datos facilitan la producción de cartografía temática, descriptiva del terreno.

Respecto a los métodos convencionales, los MTDs agilizan y automatizan los cálculos de pendientes, no sólo en la línea de máxima pendiente sino a lo largo de distintas direcciones (SKYDMORE, 1989).

En anterior trabajo (MARTÍNEZ VEGA et al., en prensa) presentamos el esquema para generar el modelo digital de elevaciones, a partir de la interpolación de las curvas de nivel (SIRCAR Y CEBRIÁN, 1990), provenientes de restitución fotogramétrica y almacenadas en un fichero tridimensional adquirido al Servicio Geográfico del Ejército.

Este método es muy selectivo en el sentido de que se registran, explícita o implícitamente, los rasgos más destacables del terreno (CLARKE et al., 1982). No obstante, conviene verificar la consistencia de la interpolación con objeto de que el modelo definitivo sea correcto, antes de proceder a efectuar análisis sobre él o de la producción definitiva de los mapas temáticos.

Una de las entidades que más problemas conlleva en su modelización son las corrientes fluviales. Son conocidas las diferentes aproximaciones al problema (PEUCKER Y DOUGLAS, 1975; JENSEN, 1985) para asegurar el descenso progresivo de todo curso fluvial.

Si se procede a capturar la altimetría mediante tablero digitalizador hay que buscar alguna solución para otorgar cotas a estas entidades de altitud variable. En las primeras experiencias del plan de desarrollo comarcal de Galicia se optó por digitalizar los ríos en pequeños tramos de igual cota de forma que su perfil se asemejara lo más posible a su forma real.

Aún a pesar de que el modelo de elevaciones inicial tenía una estructura triangular (PEUCKER et al., 1978) convertimos ésta a una teselar con objeto de efectuar los modelos de pendientes y de orientaciones. Además de aligerar los procesos de visualización en pantalla, al disponer de topología implícita (CEBRIÁN Y MARCK, 1986), el espacio es unas 56 veces menor.

Así pues, optamos por conservar, en disco, los ficheros de malla y convertir sus estructuras a triangulares antes de trazar los vectores que proporcionan la descripción explícita de las fronteras hipsométricas, clinométricas y de orientaciones de los mapas temáticos correspondientes (ver fig. 1)

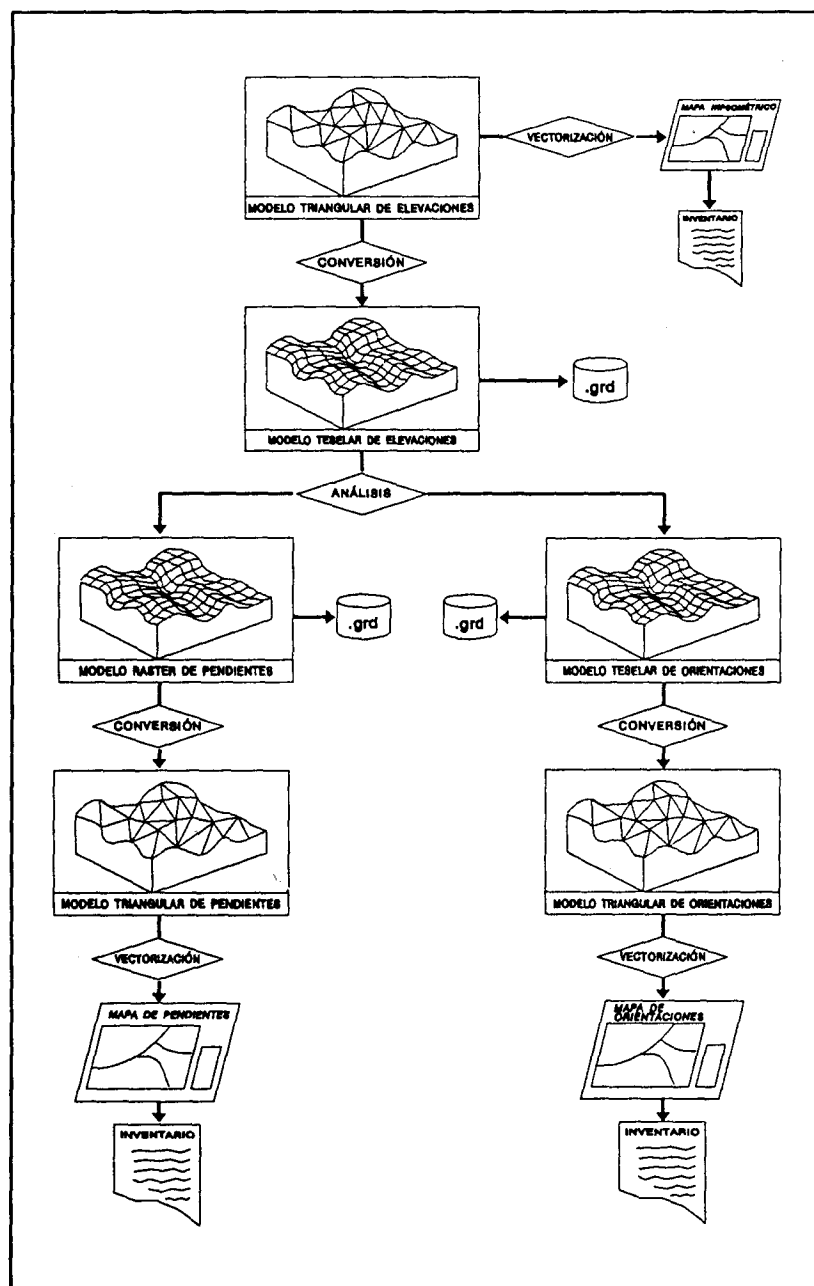


Fig. 1.- Flujo de trabajo para la obtención de mapas temáticos a partir de Modelos Topográficos Digitales.

## DISEÑO Y FORMACIÓN DE LOS MAPAS TEMÁTICOS.

### *Rasgos generales comunes.*

Antes de acometer la realización de un conjunto gráfico es necesario un estudio previo que defina las características técnicas del mismo.

Entre ellas hay algunas que ya vienen dadas en función de la escala elegida (recordemos que se decidió trabajar a escala 1/50.000 con objeto de abordar tareas de planificación) y del mapa de base tomado como referencia (la serie L del Servicio Geográfico del Ejército).

Así pues, elipsoide de Hayford, proyección cartográfica Universal Transversa de Mercator, Datum Europeo, altitudes referidas al nivel medio del mar en Alicante, equidistancia de curvas de nivel de 20 m. y una resolución de 0,02 mm a escala del mapa, son algunos rasgos técnicos que caracterizan los mapas.

Hay que tener en cuenta que estos mapas temáticos, de momento, no se van a producir en grandes series ya que no es la divulgación su objetivo. Son considerados, más bien, como documentos de trabajo útiles al planificador y, sobre todo, como información de entrada de nuevos cruces temáticos, en el entorno de un SIG, con el fin de derivar nuevos resultados gráficos e informes estadísticos.

Cada mapa está enmarcado en un rectángulo exterior de 81,5 cm X 47 cm por lo que puede imprimirse en un soporte de papel o poliéster de formato DIN-A1. Con estas especificaciones, la distribución de los datos auxiliares en los márgenes es la que se muestra en la fig. 2.

Teniendo en cuenta que cualquier mapa temático representa la distribución de un fenómeno espacial sobre un fondo de referencia (JOLY, 1979), se procedió a seleccionar, de forma cualitativa, la información de base.

Es evidente que topografía, hidrografía, vías de comunicación, núcleos de población y rótulos con la toponimia, hidronimia y fitonimia son temas que deben acompañar al tema principal en un segundo plano.

Así pues, teniendo en cuenta estos criterios y la complejidad orográfica del área de estudio, se decidió incorporar, como base para el relieve, las curvas maestras (equidistancia de 100 m). Éstas, se representaron, en las pruebas, en un color rojo ya que el tradicional siena, al ser un color de fondo, si se representa como línea, en un plotter, apenas se apreciaría.

En azul, los cursos fluviales de orden principal; en verde, las carreteras comarcales y en amarillo, las locales (ninguna vía de jerarquía superior atraviesa el área); en rojo, los núcleos de población, tanto las capitales municipales como otras entidades menores.

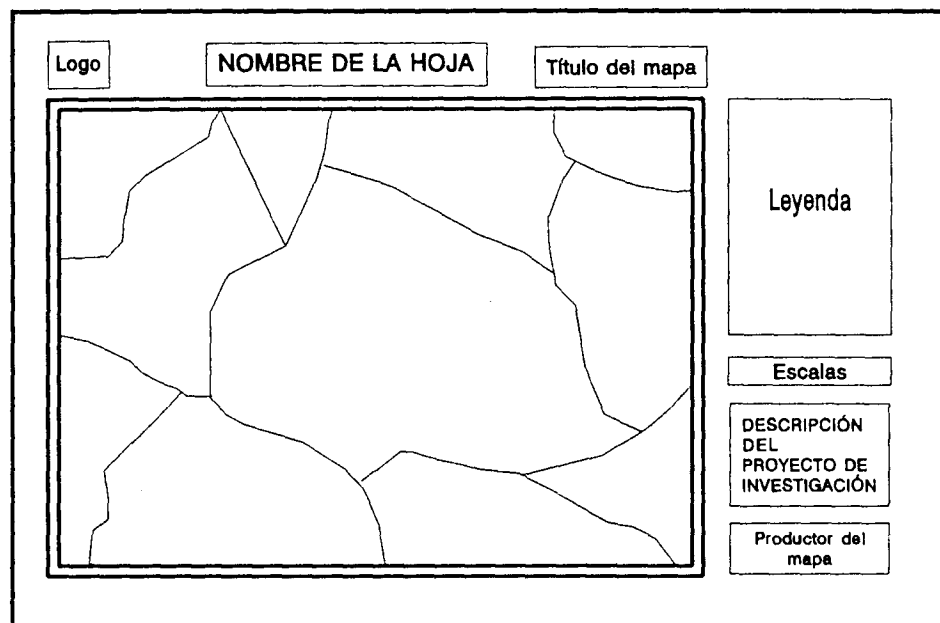


Fig. 2.- Diseño de los mapas.

Por último, entre los rótulos, separamos la hidronimia, en azul, del resto, en negro, conservando la toponimia de los principales términos orográficos para situar los principales fenómenos bajo estudio de forma nominalmente localizada.

Conocida es la enorme inversión, de horas-hombre, necesaria en los procedimientos de generalización y selección de la información en la cartografía tradicional (BUTTENFIELD y McMASTER, 1991). Los procedimientos automáticos agilizan esta tarea, permitiendo una edición interactiva.

Asimismo, si se dispone de los datos en formato numérico es fácil el proceso de integración de la información de base con la temática. En este sentido, se elimina la fase de superposición de ozalides así como la delicada tarea de colocación de los rótulos (MENA, 1992).

A pesar de las ventajas de la automatización de algunos procesos, es imprescindible efectuar sucesivas revisiones del mapa ya como salida gráfica, con objeto de detectar posibles errores que el operador, corregirá. Así por ejemplo, con toda la información del mapa, visualizada en pantalla, debe comprobar, primeramente, que los rótulos no se superpongan a otros elementos representados (carreteras, ríos, curvas de nivel, etc) y, posteriormente, una comprobación definitiva en una salida gráfica.

En resumen, mayor rapidez y precisión se obtienen en la producción automática de los mapas, liberando al cartógrafo de las tareas rutinarias, ahorrándole un tiempo que revertirá en su mayor dedicación a otras (edición y revisión).

Por último, debemos comentar que la fase tradicional de esgrafiado se ha sustituido por otros procedimientos. Si la información de un SIG se encuentra bien estructurada en distintos niveles por temas, simbología y por importancia jerárquica, es relativamente sencillo generar un fichero que contenga una descripción del dibujo que vamos a efectuar, así como las especificaciones de prioridades y atributos gráficos de peso, estilo, relleno y color.

Separados los elementos en función de su color, ya sea de línea o de masa, y de su prioridad y con la ayuda de un fichero que contiene una lista de los diferentes niveles y sus especificaciones, se pueden imprimir las pruebas de color de los diferentes mapas. Éstas se han realizado, gracias a la colaboración del IGN, en un plotter electrostático *Versatec CE-3424*, mediante cuatricomía, por lo que el color de cada elemento vendrá definido por el porcentaje de las tintas complementarias. En cada pasada, el papel levanta la fuente de toner correspondiente (negro, cyan, magenta y amarillo) si aquella parte del mapa fue cargada electrostáticamente en función de la existencia o no del elemento, de sus atributos y de su prioridad con respecto a otros elementos.

Nuestro trabajo se ha quedado en esta etapa previa a la impresión definitiva de los mapas. No obstante, a partir de los ficheros generados no sería difícil obtener los positivos necesarios, uno por color, para la confección de las planchas litográficas.

#### ***El mapa hipsométrico.***

De entre los múltiples métodos que existen para representar el relieve en un mapa hemos seleccionado el de tintas hipsométricas en conjunción con curvas de nivel generalizadas.

Somos conscientes de que la primera solución cartográfica se emplea para representar el relieve en mapas de pequeña escala. Sin embargo, su empleo conjunto proporciona una apreciación rápida del terreno y la comparación entre zonas de igual altitud es instantánea. De forma complementaria, las curvas de nivel, aunque simplificadas, proporcionan la definición geométrica al conjunto.

Es cierto que falta un efecto de plasticidad que sería de agradecer. Sin embargo, por el hecho de tratar información digital, es posible visualizar los resultados desde una perspectiva isométrica (bloque diagrama) de forma que curvas y tintas, proyectadas sobre un MTD, adquieran la plasticidad que les falta

En resumen, mayor rapidez y precisión se obtienen en la producción automática de los mapas, liberando al cartógrafo de las tareas rutinarias, ahorrándole un tiempo que revertirá en su mayor dedicación a otras (edición y revisión).

Por último, debemos comentar que la fase tradicional de esgrafiado se ha sustituido por otros procedimientos. Si la información de un SIG se encuentra bien estructurada en distintos niveles por temas, simbología y por importancia jerárquica, es relativamente sencillo generar un fichero que contenga una descripción del dibujo que vamos a efectuar, así como las especificaciones de prioridades y atributos gráficos de peso, estilo, relleno y color.

Separados los elementos en función de su color, ya sea de línea o de masa, y de su prioridad y con la ayuda de un fichero que contiene una lista de los diferentes niveles y sus especificaciones, se pueden imprimir las pruebas de color de los diferentes mapas. Éstas se han realizado, gracias a la colaboración del IGN, en un plotter electrostático *Versatec CE-3424*, mediante cuatricomía, por lo que el color de cada elemento vendrá definido por el porcentaje de las tintas complementarias. En cada pasada, el papel levanta la fuente de toner correspondiente (negro, cyan, magenta y amarillo) si aquella parte del mapa fue cargada electrostáticamente en función de la existencia o no del elemento, de sus atributos y de su prioridad con respecto a otros elementos.

Nuestro trabajo se ha quedado en esta etapa previa a la impresión definitiva de los mapas. No obstante, a partir de los ficheros generados no sería difícil obtener los positivos necesarios, uno por color, para la confección de las planchas litográficas.

#### ***El mapa hipsométrico.***

De entre los múltiples métodos que existen para representar el relieve en un mapa hemos seleccionado el de tintas hipsométricas en conjunción con curvas de nivel generalizadas.

Somos conscientes de que la primera solución cartográfica se emplea para representar el relieve en mapas de pequeña escala. Sin embargo, su empleo conjunto proporciona una apreciación rápida del terreno y la comparación entre zonas de igual altitud es instantánea. De forma complementaria, las curvas de nivel, aunque simplificadas, proporcionan la definición geométrica al conjunto.

Es cierto que falta un efecto de plasticidad que sería de agradecer. Sin embargo, por el hecho de tratar información digital, es posible visualizar los resultados desde una perspectiva isométrica (bloque diagrama) de forma que curvas y tintas, proyectadas sobre un MTD, adquieran la plasticidad que les falta



desde una vista ortogonal.

Aunque la selección de intervalos de altitud siempre es subjetiva, hemos tenido en cuenta que el reparto de las áreas cubiertas por cada tinta en el mapa fuese equilibrado. En el cuadro 1 se muestra la superficie que ocupa cada zona altimétrica.

Asimismo, en su elección se han tenido en cuenta la representatividad de la variedad topográfica y los límites altitudinales de los pisos bioclimáticos presentes en la zona de estudio. Excepto dos intervalos, el resto sigue una progresión aritmética.

En la elección del color, se han considerado las reflexiones de Sydow. En 1838, proponía una gradación de los colores más presentes en la naturaleza: desde los verdes a los marrones. Esta escala de color es la que muestra el *Mapa de la Península Ibérica, Baleares y Canarias* de escala 1/1.000.000, publicado por el IGN.

**Cuadro 1.- Inventario superficial de los intervalos hipsométricos.**

Intervalos hipsométricos (m)	Superficie (ha)
545-650	1.581,97
650-750	10.943,30
750-900	19.300,89
900-1000	9.455,73
1000-1100	6.717,53
1100-1200	3.220,41
1200-1500	1.758,37
<b>T O T A L</b>	<b>52.978,21</b>

Igualmente, se ha procurado que, además de proporcionar una visión agradable del conjunto gráfico, existiera un contraste suficiente entre los colores de intervalos vecinos con objeto de facilitar la lectura del mapa al usuario.

Teniendo en cuenta que el relieve es un fenómeno continuo y que, por tanto, debe existir una gama cromática (CUENIN, 1972) así como las anteriores consideraciones, se ha optado por asignar unos colores que oscilan desde los claros para los fondos de valle, con el fin de no enmascarar la planimetría más frecuente en estas zonas, a los oscuros para las cimas topográficas.

Así pues una gama que va de los verdes, pasando por una gama claroscuro de sienas, al gris donde predominan los espacios orófilos con escasa vegetación y el roquedo aflorando ha sido la solución adoptada respecto a esta variable visual.

### ***Mapas clinométrico y de orientaciones.***

El mapa de pendientes es una fuente de información fundamental para derivar nuevos resultados. La inclinación del terreno es clave para estimar la aptitud de las tierras y calcular los riesgos de erosión, entre otras aplicaciones.

Cuando se dibujan automáticamente, a partir de los MTDs, los vectores fronterizos entre las clases temáticas, los resultados no siempre son válidos. Son imprescindibles la revisión, edición y corrección de los errores, visualizando, simultáneamente, mapa y modelo correspondiente.

Por otra parte, procedimos a reclasificar los valores de pendiente y de orientaciones en menor número de intervalos. Los resultados gráficos preliminares, considerando 6 intervalos de pendientes y 8 de orientaciones, así como una unidad mínima cartografiada de 6,25 ha (25 mm), eran ilegibles cartográficamente. Las razones estriban en la enorme complejidad orográfica del área de estudio. Más de 3.000 polígonos de pendientes y de 5.000 recintos de orientaciones dificultaban la comunicación de los contenidos.

Para solventar esta deficiencia, la generalización incidió en dos cuestiones: (i) se agrandó el tamaño de la mínima unidad cartografiada a 15 ha y (ii) se agruparon los intervalos de las tablas correspondientes. Finalmente, los mapas expresan tres niveles de pendientes (< 8%; 8-30% y > 30%) y cuatro orientaciones (N, S, E y W) con un total de 157 recintos clinométricos y 651 de orientaciones.

Los colores empleados se corresponden con una gama de sienas, desde los más claros, para las pendientes suaves, hasta los más oscuros para las escarpadas (CUENIN, 1972). En el mapa de orientaciones, el criterio seguido ha sido asignar tintas cálidas a las exposiciones más iluminadas y frías a las vertientes de umbría (Norte y Oeste).

### **CONCLUSIONES.**

Los Modelos Topográficos Digitales se consolidan como útiles fuentes para la elaboración de los mapas temáticos, descriptivos de la topografía. Facilitan, igualmente, el desarrollo adecuado de numerosos proyectos de planificación ambiental mediante operaciones y procesos sencillos.

Es evidente que aventajan, en rapidez y precisión, a los métodos convencio-

nales de ejecución de mapas clinométricos y de aspectos.

Su manipulación, en el entorno de un SIG, y su formato digital, facilitan la integración con la cartografía digital.

Por último, la representación automática de la cartografía, mediante la supresión de algunas etapas laboriosas, aporta mayor rapidez y un nivel de calidad adecuado a las normas cartográficas y a las exigencias de los usuarios.

#### REFERENCIAS.

- BUTTENFIELD, B. P. y McMASTER, R. B., (1991). *Map Generalization: making rules for knowledge representation*, Essex, Longman, 245 pp.
- CEBRIÁN, J. A. y MARCK, D. M., (1986). "Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos", *Estudios Geográficos*, núm. 184, pp. 277-299.
- CLARKE, A. L., GRUEN, A. y LOON, J. C., (1982). "The Application of Contour Data for Generating High Fidelity Grid Elevation Models", *Proceedings AutoCarto 5*, Cristal City (VA), pp. 213-222.
- CUENIN, R., (1972). *Cartographie Générale*, Paris, Eyrolles, vol. 1, 324 pp.
- JENSEN, S. K., (1985). "Automated Drainage Feature Delineation from Digital Elevation Model Data", *Proceedings AutoCarto 7*, pp. 301-310.
- JOLY, F., 1979: *La Cartografía*, Barcelona, Ariel, 280 pp.
- MARTÍNEZ VEGA, J., LABRANDERO, J. L., CARLEVARIS, J. J., LERA, O. y CEBRIÁN, J.A., en prensa: "Teledetección y SIG en la planificación ambiental. El ejemplo de Espinoso del Rey" en Cantón, M. (ed), *Ordenación del Territorio y Medio Marino*, Las Palmas, Universidad de Las Palmas-AET, 15 pp.
- MENA, J., (1992). *Cartografía digital: desarrollo de software interno*, Madrid, Rama, 313 pp.
- PEUCKER, T. K. et al., (1978). "The triangulated irregular network", *Proceedings of the DTM Symp. American Society of Photogrammetry-American Congress on Survey and Mapping*, St. Louis (MI), pp. 24-31.
- PEUCKER, T. K. y DOUGLAS, D. H., (1975). "Detection of Surface Specific Points by Local Parallel Processing of Discrete Terrain Elevation Data", *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 4, pp. 357-387.
- ROBINSON, A.H. et al., 1987: *Elementos de cartografía*, Barcelona, Omega, 543 pp.
- SIRCAR, J. K. y CEBRIÁN, J. A., 1990: "Creación de modelos topográficos digitales (MTDs) a partir de curvas de nivel rasterizadas", *Anales de Geo-*

---

*grafía de la Universidad Complutense*, núm 10, pp 13-34.

SKYDMORE, A.K., 1989: "A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model", *International Journal of Geographical Information Systems*, vol.3, núm 4, pp. 323-334.

USGS, 1990: *The Quiet Revolution in Mapping*, Sioux Falls, USGS, 15 pp.