

**GENERACION DE UN MODELO
TOPOGRAFICO DIGITAL PARA LA CIUDAD
DE GRANADA: PROBLEMAS Y SOLUCIONES
CON EL PROGRAMA IDRISI.**

**Joaquín BOSQUE SENDRA
Javier DOMINGUEZ BRAVO
Julio VEGA FUENTES.**

**Departamento de Geografía
Universidad de Alcalá de Henares
Calle Colegios, 2
E-28801 Alcalá de Henares-Madrid**

1) INTRODUCCION.

Un Modelo Topográfico Digital (MDT) es "cualquier representación sobre soporte informático (digital, por tanto) de una superficie topográfica" (Cebrián y Mark, 1986, p. 293). Existen varias formas diferentes de registrar la información topográfica en forma digital, pero una de la que se utiliza más a menudo es la denominada "malla de altitudes", formada por una red regular de puntos del terreno en cada uno de los cuales se conoce el valor de la altura sobre el nivel del mar existente en la zona en estudio. Cuanto más densa sea la red de puntos más precisa será la representación obtenida de la topografía, pero también más difícil y costosa resultará de obtener y de manejar.

Las aplicaciones posibles de los modelos topográficos digitales son muy extensas y han sido descritas en el trabajo citado (Cebrián y Mark, 1986, p. 294-295), nosotros únicamente queremos añadir el interés que para el planeamiento municipal, objeto

concreto de la ponencia donde se encuadra esta comunicación, puede llegar a tener contar con una descripción digital del relieve de una ciudad, que nos permite, en primer lugar, disponer de una representación en forma de bloque diagrama del relieve de la ciudad y, después, calcular, por ejemplo, pendientes, orientaciones, cuencas de drenaje, intervisibilidad entre zonas de la ciudad, etc. Cuestiones todas ellas de inmediata aplicación a las tareas de planeamiento y a las decisiones sobre ocupaciones del suelo en cada zona urbana. El problema no es, por tanto, aplicar al planeamiento los modelos topográficos digitales; la cuestión reside, más bien, en cómo generarlos a partir de los datos usualmente disponibles. A este tema se refiere el contenido de esta comunicación, en especial considerando los medios usualmente disponibles en los ordenadores y los programas del sistema operativo MS-DOS.

2) CREACION DE UN MDT.

La generación de un MDT supone generalmente dos pasos: en primer lugar la obtención de una muestra de cotas y alturas del terreno. En un segundo momento la interpolación en el resto de los puntos de las alturas existentes. Ambas cuestiones presentan su problemática especial que discutiremos en relación al ejemplo concreto de la ciudad de Granada. Antes, no obstante, vamos a formular una pequeña discusión de los procedimientos de interpolación usualmente disponibles (Burrough, 1987, cap. 39).

La idea básica de la interpolación (Unwin, 1981) consiste en lo siguiente: conociendo las alturas existentes en los puntos de control, determinar, en función de ellos, cuál será el valor más probable en cada uno de los otros puntos que van a constituir la malla de alturas. La creencia subyacente es que la

altura en un punto concreto del espacio será bastante parecida a la existente en los puntos de control de sus inmediaciones, y menos parecida a la de los puntos de control más alejados (métodos de interpolación locales). No obstante, también se puede considerar que el valor de la altura depende en última instancia de todos los puntos de control obtenidos, aunque unos influyen más que otros, normalmente en función de lo cerca o lejos que esten de cada punto de la malla de alturas (métodos globales).

Entre los métodos globales más conocidos se encuentran el Análisis de superficie de tendencia (Chorley y Hagget, 1968; Unwin, 1975) mediante el cual se ajusta un polinomio de grado 1, 2 o 3 o incluso superior, a los valores de las alturas (que es la variable dependiente) en función de las coordenadas X e Y de cada punto (que actúan como variables explicativas). Una vez ajustado el polinomio a los valores de los puntos de control se puede emplear como método de calcular la altura en otros lugares de la malla (sustituyendo para ello los valores concretos de las coordenadas X e Y en cada caso). Este tipo de interpolación proporciona un MDT muy suavizado y, en general, poco realista.

Normalmente, por lo tanto, son los procedimientos locales los más empleados. Dos tipos se suelen diferenciar: *Medias Móviles* y *Kriging*. En los procedimientos locales es preciso resolver dos cuestiones: i) el tamaño y la forma de una ventana que centrada en cada vértice de la malla de alturas nos permite escoger los puntos de control que intervendrán en el cálculo de la altura para ese vértice, y ii) la función que se empleará para calcular la altura en el vértice a partir de las alturas de los puntos de control integrados en la ventana.

El problema más serio de los dos citados, es el primero: la elección de la ventana, y los dos procedimientos mencionados se diferencian, entre otras cosas, en cómo definen la ventana de interpolación.

En el caso de las *Medias Móviles* la ventana es de tamaño variable de modo que siempre se integren dentro de ella un número fijo de los puntos de control más cercanos al vértice a interpolar. Pero nada más guía la elección de su tamaño y de su forma.

El procedimiento del *Kriging* (Alfaro, 1975; Davis, 1973; Matheron, 1962) se puede resumir como un método de seleccionar la ventana de interpolación utilizando la información disponible sobre la autocorrelación espacial de las alturas en los puntos de control, estos datos se han generado previamente en un fase de análisis mediante la construcción del denominado semivariograma. De este modo se puede obtener una interpolación "óptima" y más adecuada que la realizada con el método de las medias móviles.

En ambos casos la función de interpolación empleada suele ser una variante de calcular la media de las alturas de los puntos de control integrados en la ventana, ponderados sus valores por la inversa de la distancia que los separa del vértice a interpolar.

El procedimiento del *Kriging* tiene ventajas de precisión sobre el de medias móviles, pero exige un proceso de cálculo muy laborioso y por ello no suele estar disponible en los programas comerciales de Sistemas de Información Geográfica (SIG), tales como: IDRISI, ERDAS, pMAP, SURFER..., los cuales normalmente llevan variantes más o menos sofisticadas del método de las medias móviles.

3) EL M.D.T. DEL RELIEVE DE LA CIUDAD DE GRANADA.

La creación de este M.T.D. urbano se enmarcó en el proyecto de *Atlas Social de Granada* con la finalidad de ofrecer una representación topográfica del área de estudio fácilmente comprensible por un público amplio, que es al que se destina la publicación. Una vez planteado el objetivo y seleccionado el *software*, fueron surgiendo una serie de interrogantes que nos obligaron a profundizar en el tema de los M.D.T. y a seleccionar una serie de características metodológicas que a continuación se relacionan.

La selección de puntos muestrales viene determinada por las cotas y curvas de nivel que aparecen en el mapa de la ciudad a escala 1/5000. Las cotas se toman con una precisión máxima respecto a su altura de 50 cm., y una variación en cuanto a coordenadas "X" e "Y" despreciable. Respecto de las curvas de nivel, estas alternan cada 5 m., aunque solamente se tienen en cuenta las maestras (cada 25 m.), apareciendo claras sobre todo en zonas de baja densidad de edificación, y por tanto marginales respecto de la estructura urbana.

Con estas características se introdujeron mediante digitización un total de 880 puntos; el programa utilizado para ello fue el **ATLAS*DRAW**, utilizando el siguiente criterio: se identificaba cada punto de la muestra mediante un número que indicaba el distrito, la sección, y una tercera cifra, arbitraria, para ordenarlo dentro de la sección; es decir, se segregaban las cotas por secciones para su mejor digitalización (la forma era D,SC,NR). Como nombre secundario se introducía la altura del punto muestral.

Una vez introducidos los datos se realizó la

interpolación con el programa **SURFER**, de Golden INC. El método utilizado fue el del *Inverso al cuadrado de la distancia*, que aplica un radio de búsqueda determinado en función del número de puntos prefijados (en este caso 5, resultando un radio de búsqueda de 150 m.), el área resultante se divide en octantes para la elaboración de la muestra; además, para los puntos duplicados se utilizaba la media.

No obstante se probaron otros métodos como el "*Kriging*", y variaciones del utilizado: modificaciones del radio de muestreo, de los *vecinos más próximos*, etc., pero eran mucho más lentos y no mejoraban el resultado. Estimamos que este hecho deriva de las limitaciones de la muestra utilizada, ya que como arriba indicábamos, la densidad en la construcción disminuía el número de posibles puntos de referencia.

Con estas características se hicieron múltiples pruebas tanto en el modo "surf" del programa **SURFER** como en el programa **IDRISI** en el módulo "ortho". Los primeros resultados, sin aplicar ningún tipo de filtro los podemos ver a continuación.

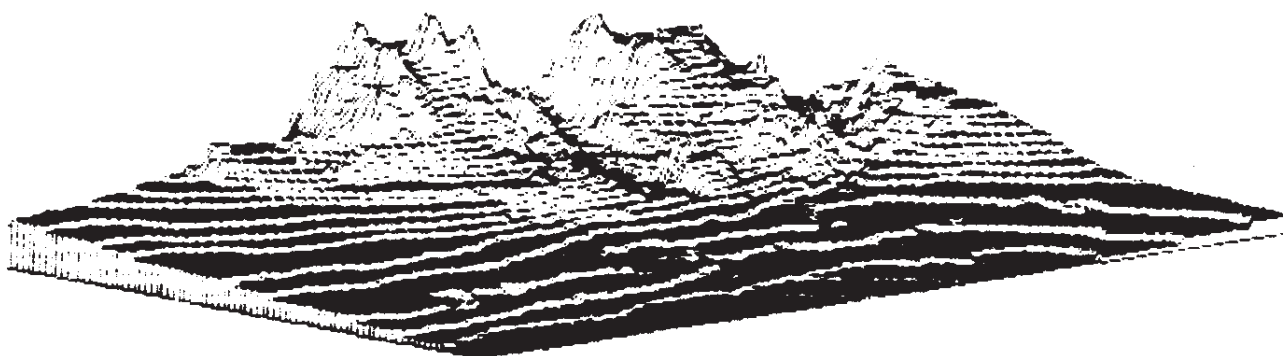


Ilustración 1: Relieve de la Ciudad de Granada
(interpolado con Surfer)

Como podemos apreciar en la ilustración nº1, el modelo resultante de la interpolación mediante el inverso al cuadrado de la distancia con el programa **SURFER**, acusa una estructuración del relieve en forma de "tarta" o pisos coincidentes con las curvas de nivel, y además, un aspecto ruiforme en las mayores altitudes; esto, obviamente, se aleja de la realidad a representar, distorsionando la fidelidad del modelo. Este resultado poco satisfactorio, deriva del sistema de interpolación realizado tal y como más arriba exponíamos.

También podemos apreciar en el mapa de

pendientes (ilustración nº2), como los valores representados, tienden a seguir las curvas de nivel, que es de donde toman los datos, produciéndose la máxima pendiente en la curva, y dejando grandes espacios vacíos y, por ello, supuestamente planos.

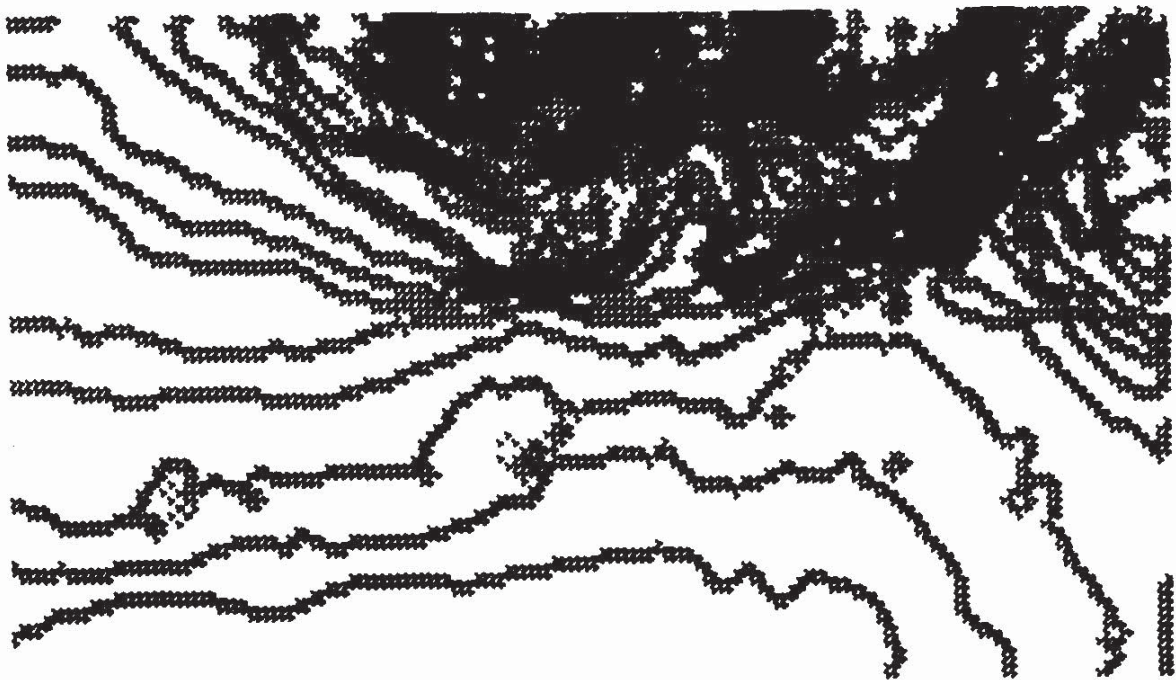
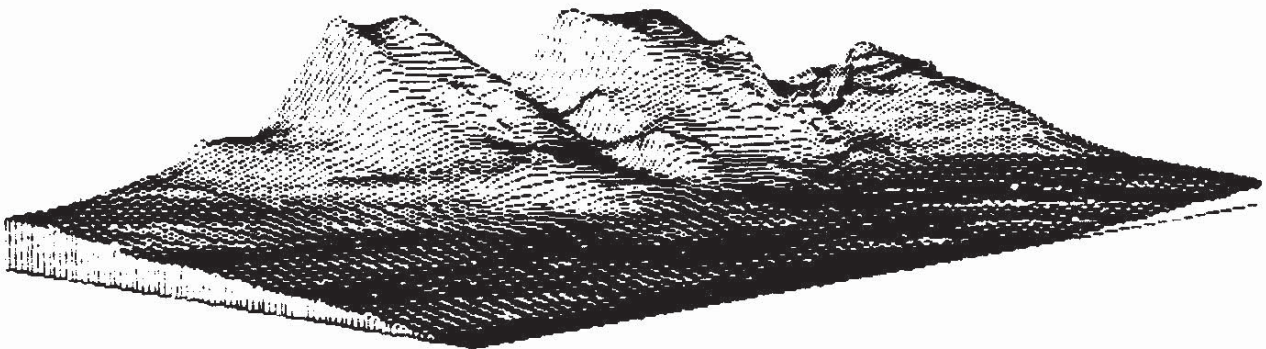


Ilustración 2: Mapa de pendientes de la ciudad de Granada (Surfer)

En vista de los resultados, se optó por suavizar el modelo mediante filtrado. El filtro utilizado es de los conocidos como *low-pass* (filtro de paso bajo), consistente en aplicar una matriz de 3*3 píxeles (cada píxel son 250 m²) que vaya promediando el píxel central en función de los circundantes y asignando este valor medio al píxel central; este método, conocido

como de *Medias Móviles*, produce un efecto de suavización del modelo, que lo asemeja más en su aspecto al relieve de la ciudad.

La aplicación de este filtro quince veces consecutivas sobre el M.D.T. con el programa **IDRISI** produjo el resultado que vemos a continuación.



**Ilustración 3: Relieve de la ciudad de Granada
(filtrado 15 veces)**

El resultado nos parece más adecuado al objetivo propuesto con el modelo, ya que el relieve aparece más suave, destacando de forma clara las tres elevaciones de la ciudad con un aspecto más realista; además el efecto de "tarta" ha quedado diluido.

La confirmación del resultado ha contado además con un muestreo aleatorio de cotas para localizar las posibles distorsiones impuestas en el proceso. Los resultados del muestreo son los siguientes:

COTAS DE CONTROL

<u>pixell</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>	<u>(3)</u>	<u>(4)</u>	<u>(5)</u>	<u>(6)</u>
1	20	26	20	24	725	724
2	74	45	76	46	650	651
3	22	110	21	111	800	803
4	45	147	40	132	687	695
5	44	143	32	136	725	728
6	14	47	14	47	800	786
7	4	76	6	74	950	892
8	32	91	31	90	750	738
9	3	31	3	29	752	754
10	62	36	62	36	672	671
11	61	30	61	28	675	673
12	1	16	13	11	725	723
13	27	47	27	46	725	730
14	49	17	45	13	691	689
15	49	127	49	127	678	679
16	20	45	19	45	750	752
17	48	52	48	54	676	678
18	8	54	8	54	877	865
19	37	87	36	88	697	700
20	5	116	3	118	879	862
21	55	83	55	83	667	666
22	67	57	61	51	669	671
23	84	113	78	108	654	652
24	40	78	40	83	686	690
25	11	15	16	15	725	724
26	64	105	68	104	657	659
27	50	102	49	101	667	671
28	66	116	62	118	669	669
29	66	46	65	45	666	666
30	33	64	34	65	712	720

(1) fila situación aleatoria

(2) columna " "

(3) fila situación real

(4) columna " "

(5) valor real de la altura en el pixell

(6) valor de la altura en el pixell del modelo filtrado

En esta tabla podemos apreciar cómo la mayor parte de los resultados se desvían muy poco del valor real. Esto que venimos apuntando lo podemos confirmar al observar el mapa de pendientes.

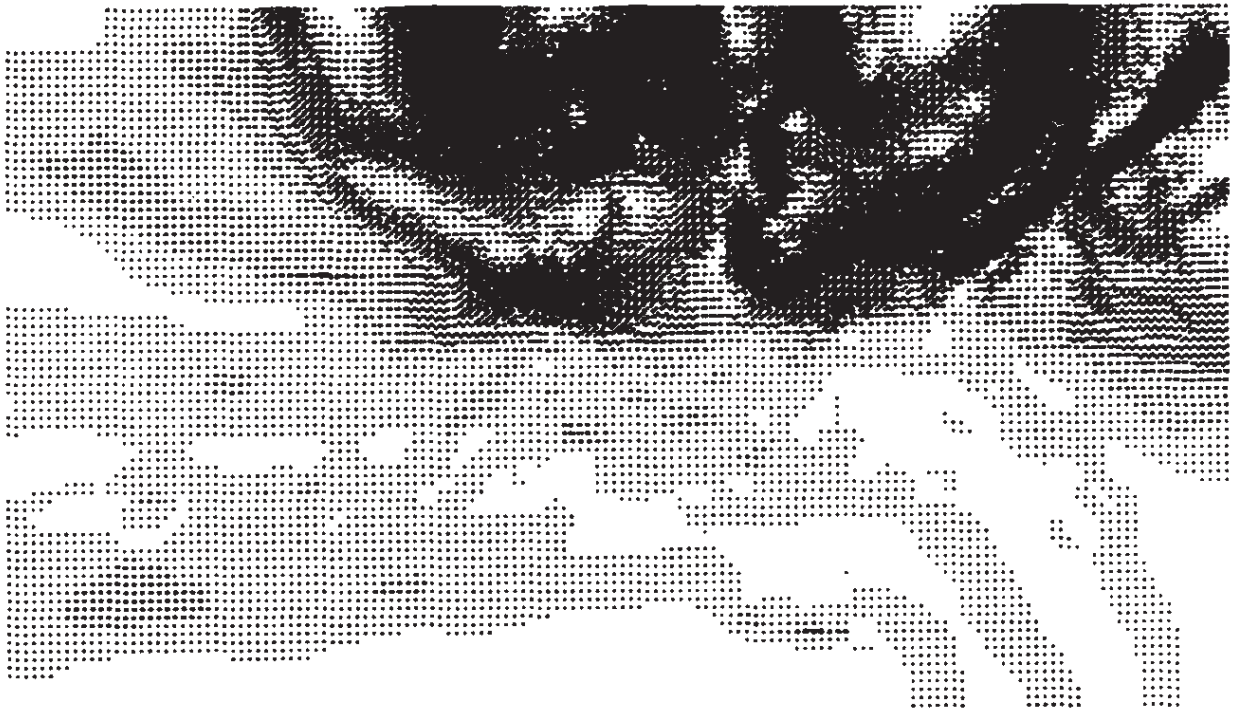


Ilustración 4: Mapa de pendientes de la ciudad de Granada (filtrado).

En este mapa podemos ver cómo el efecto de "tarta" prácticamente ha desaparecido. Además, quedan muy pocas zonas en blanco (totalmente planas por carecer de datos numéricos para interpretar su altura); y un dato significativo, las oscilaciones en los valores porcentuales de las pendientes son muy inferiores a los resultados obtenidos con el anterior modelo.

4) CONCLUSIONES.

Del estudio realizado podemos aportar las siguientes conclusiones:

** La incidencia de la muestra seleccionada a la hora de realizar un M.D.T. es fundamental y viene determinada, en gran medida, por la relación de datos disponibles/tiempo/coste. Por ello:*

** La utilización de modelos sencillos de interpolación, tales como el de Medias Móviles, a través de S.I.G. aptos para microordenadores, presenta problemas que se pueden corregir, en parte, mediante la utilización de filtros "low-pass" ("de paso bajo").*

BIBLIOGRAFIA

ALFARO, M.A. (1975): *Curso práctico de Geoestadística*. Madrid, Centro de Cálculo, E.T.S. de Ingenieros de Minas.

BURROUGH, P.A. (1987): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, Clarendon Press.

CEBRIAN, J.A. y MARK, D. (1986): "Modelos topográficos digitales", en *Métodos cuantitativos en Geografía: enseñanza, investigación y planeamiento*. Madrid, A.G.E., pp. 292-354.

CHORLEY, R. y HAGGETT, P. (1968): "Trend-Surface Mapping in Geographical Research" en *Spatial Analysis*. (B.J.L. Berry y D. Marble, editores) Englewoods Ciffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 195-217.

DAVIS, J.C. (1973): *Statistics and data analysis in Geology*. Nueva York, J. Wiley and Sons.

MATHERON, G. (1962): *Traité de Géostatistique appliquée*. Paris, Editions Technip, 333 pp.

UNVWIN, D.J. (1975): *An Introduction to Trend Surface Analysis*. Norwich, Catmog, 5, Geoabstracts.

UNWIN, D. (1981): *Introductory Spatial Analysis*. Londres, Methuen.