

MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DE ANDALUCÍA DE 100m.



Cristina Torrecillas Lozano.
Ing. en Cartografía y Geodesia.

La edición del Modelo Digital de Elevaciones 100 m. pretende completar las restantes series topográficas del Instituto de Cartografía de Andalucía (I.C.A.) con una descripción numérica del relieve andaluz, necesaria para análisis en tres dimensiones. Los datos de altitud han sido obtenidos del Mapa Topográfico de Andalucía 1:10.000 y se ofrecen con un paso de malla de 100 metros en formato ráster (GRID y TIFF), binario (BIN), ASCII (TXT) y de superficie 3D (DTED); todos en coordenadas UTM y con la posibilidad adicional de coordenadas geográficas para los formatos GRID y ASCII. Incluye además tres programas «freeware» como herramientas de explotación y exportación a otros formatos, como el vectorial DXF o el VRML.

La inexistencia de un formato estándar mundial de exportación de datos de Modelos Digitales de Elevaciones, ha obligado a la inclusión de la mayoría de formatos posibles, al tiempo que se facilitan programas

de exportación a otros para ayudar al usuario.

Los datos que se han empleado en el modelo proceden de dos fuentes:

- Por un lado, se han empleado los vértices de la Red Geodésica Nacional perteneciente al Instituto Geográfico Nacional (I.G.N.).
- Por otra parte el Mapa Digital de Andalucía 1:100.000, producido por el Instituto de Cartografía de Andalucía (I.C.A.) a partir de la cartografía 1:10.000 propia. Las coberturas o capas de esté con las que se ha contado han sido:
 - Las curvas de nivel con equidistancia de 100 metros.
 - Hidrografía, compuesta por ríos, arroyos, lagos y embalses. Los últimos con cota.
 - El límite provincial de Andalucía.

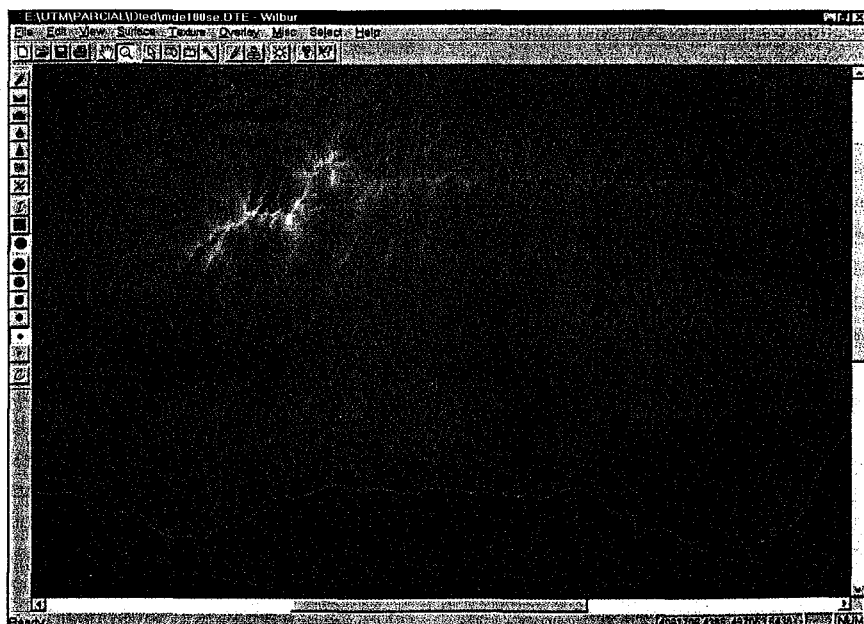
Todas éstas coberturas fueron tratadas informáticamente dentro de un entorno SIG para corregir posibles errores topológicos. En este caso el software empleado fue ARC/INFO y ARC/VIEW de la casa ESRI. Con

ARC/INFO se han corregido todas las coberturas de errores de nodo (nodo que no llega o nodo que se pasa) y etiquetas. En la cobertura de curvas de nivel además han sido eliminadas todas las posibles intersecciones entre curvas y las capas de hidrografía han tenido un tratamiento especial:

- Los ríos y, en general todas las corrientes de agua, han tenido que ser direccionadas, es decir, se ha tenido que dar una dirección única a los arcos que integraban cada río o afluente generando rutas de orientación de agua. La dirección elegida ha sido la de sus aguas, es decir, la de la desembocadura. Esta es una de las condiciones que impone la técnica que se aplicó para generar el modelo.
- Las superficies de agua que incluían polígonos islas (existía un polígono dentro de otro polígono) han tenido que ser abiertos para que no fueran excluidos los datos interiores.
- Los embalses con cota no se incluyen inicialmente en la generación del modelo dado que la técnica empleada no mantiene la cota media dada en el embalse sino que tiende a dar la cota de salida, así en el caso de existencia de presas es infravalorada, quedando por debajo de su nivel real. En un tratamiento posterior, éstos fueron incluidos.

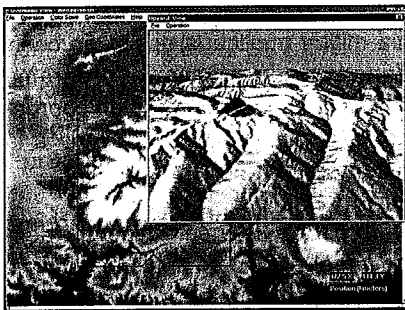
También ha sido necesario insertar otros datos altimétricos en las zonas próximas a la costa y en las marismas del bajo Guadalquivir, en forma de puntos acotados obtenidos a partir de la cartografía 1:10.000 ya citada, para mejorar la estabilidad del modelo en las zonas llanas.

Uno de los motivos de gran peso que influyó en la elección de una deter-



Consulta del Modelo Digital de Elevaciones 100 metros.

minada metodología es que el tipo de datos de entrada puede obligar a desechar algunos métodos y favorecer a otros. Este es el caso de los datos hidrográficos, elementos deterministas en la generación de un relieve y que no deberían de ser obviados en la construcción de ningún modelo, sin embargo la mayoría de los procedimientos no están diseñados para admitir este tipo de datos. Además las curvas de nivel son históricamente el método de medida y representación de la información de elevación; desafortunadamente es la propiedad más difícil de emplear en un proceso de interpolación general. Su desventaja parte de la falta de información entre curvas, sobre todo en zonas de relieve suave. Estas dos necesidades obliga a rechazar la mayoría de métodos de elaboración de mallas, Grid, lattices ó procedimientos ráster de obtención de una superficie en función de una disposición de celdas generalmente rectangulares, en favor de los que denominaremos vectoriales y cuyo modelo de salida suele ser una red de triangulación irregular (TIN).



Consulta del Modelo Digital de Elevaciones 100 metros.

Si se tiene en cuenta la orografía de Andalucía, desde las elevaciones de Sierra Nevada a las llanas marismas del Bajo Guadalquivir, el terreno es tan variado que debe ser tenido en cuenta en la elección de una metodología. El método debe funcionar perfectamente tanto en zonas llanas (una de las zonas más problemáticas para los métodos de generación de terrenos a partir de curvas de nivel) como en zonas de vasta pendiente.

Inicialmente se estuvo abierto a cualquier metodología, diversos artículos se decantaban por el empleo de la triangulación frente a la generación

de mallas o métodos GRID, por lo que esta tendencia marcó el estudio inicial. Lo estaba decidido desde el primer momento era que el resultado final sería un formato GRID, al poseer éste mayor versatilidad de formatos.

Otro tema que había que resolver era la luz de la celda del modelo final. La información hallada hablaba de tomar la distancia mínima entre dos curvas, de tomar la equidistancia o de realizar pruebas, estudiar el error y a partir de él seleccionar el tamaño de la celda. Ante estas discrepancias, se dejó la elección de la celda al volumen físico del modelo en disco. De hecho, se pensó inicialmente en celdas de 50 metros, pero teniendo en cuenta el tamaño de Andalucía de 523x307 kilómetros aproximadamente, el resultado sería de 10460x6140 celdas, lo que supone 64.224.400 celdas que pueden llegar a ocupar 1014.7 Mb de datos no comprimidos, un tamaño muy excesivo. En función de este dato, el ancho de la celda se limitó a 100 metros.

Tomadas estas consideraciones, se continuó con la realización de pruebas. Éstas se realizaron sobre una parte de terreno, puesto que realizarlas con toda Andalucía hubiera supuesto una gran pérdida de tiempo. Las características de la zona elegida debían de representar a la del total incluyendo sus zonas conflictivas. La elección final fue un trozo del oeste de la provincia de Almería, que incluye la *Sierra de los Filabres* donde las altitudes varían unos 2500 metros y dispone de una amplia vaguada.

Sobre esta superficie se realizaron pruebas de triangulaciones, interpolaciones de métodos splines, Kriging, método TOPOGRID, ponderación inversa a la distancia, superficies de tendencia y paso a malla desde la triangulación. Finalmente el algoritmo empleado para generar el modelo fue el TOPOGRID. Es un método de interpolación diseñado específicamente para la creación de modelos digitales del terreno hidrológicamente correctos desde coberturas con pocos pero muy seleccionados datos de elevación y direcciones.

Está basado en el Inicial ANUDEM de Michael Hutchinson.

El procedimiento de interpolación ha sido diseñado para tomar las ventajas computacionales de una interpolación local como la interpolación en función de la inversa de la distancia, sin perder la continuidad de una superficie obtenida por interpolación global, como en el caso de los splines o el kriging. Éste método da la posibilidad de incluir los datos procedentes de la traza de los ríos para obtener modelos de mayor precisión, además de ser hidrológicamente correctos. Es esencialmente una delgada placa de splines discretizada, donde la falta de rugosidad ha sido modificada para permitir encajar el MDE a los abruptos cambios del terreno, como puede ser un río o un barranco. También permite controlar la suavidad de la superficie mediante una serie de tolerancias que hacen referencia al error altimétrico y planimétrico de los datos de entrada. El proceso, además es iterativo, estando la media de iteraciones en una 40 para corregir posibles errores de generación de sumideros falsos.

El programa actúa conservando aquellas depresiones que contradecían a los datos de entrada, éstos suelen aparecer en un fichero de diagnóstico. Esta información debe emplearse para corregir errores, especialmente cuando se procesa gran volumen de datos.

El algoritmo de *forzar el drenaje*, limpia las depresiones inesperadas modificando el MDE al incluir una salida de drenaje al punto más bajo del área de drenaje. Por supuesto, las depresiones incluidas y reconocidas no se alteran. Esta limpieza de las depresiones se realiza dentro de una tolerancia de altitudes, ésta depende de la tolerancia general que es introducida en el cálculo, así por encima de esa tolerancia las depresiones no se modifican. Este procedimiento de forzar el drenaje puede ser sustituido por la incorporación de líneas de corriente. Esto es muy útil cuando se requiere mayor precisión en el emplazamiento de las líneas de flujo.

Al comienzo del proceso de interpolación de TOPOGRID se úsa información inherente a la curva de nivel para generar un modelo generalizado de drenaje. Identificando áreas de locales máximos de curvatura en cada contorno, las áreas de pendiente más escarpada son localizadas y se crea una red de corrientes y ríos. Esta red es usada para asegurar propiedades hidrogeomorfológicas en el GRID de salida y además puede ser usada para verificar la precisión de del MDE de salida.

Cuando las curvas de nivel son usadas como información, todas las curvas son leídas y generalizadas. Entonces un máximo de 50 puntos es empleado para determinar la cota de cada celda. Para la resolución final, solo un punto crítico es empleado para cada celda, por esta razón disponer de una densidad de curva que atraviesa varias veces una celda es redundante. TOPOGRID emplea además un método de interpolación de multiresolución, comienza con un Grid de baja resolución y continua hasta la resolución predefinida por el usuario. Para cada resolución las condiciones de drenaje se imponen, se realiza la interpolación.

El error ha sido calculado a partir de puntos acotados correspondientes a las hojas que engloban a los municipios de Algeciras, Cádiz, Córdoba, Huelva y Jaén. Estos puntos no se han empleado en el modelo al no estar disponibles cuando se realizó el MEDEA100. Su origen parte de la vectorización 1:10.000 que se está llevando a cabo en la actualidad en el Instituto de Cartografía de Andalucía.

Sobre estos puntos se realizó una primera comprobación de errores, fase en la que todos aquellos valores que daban un error superior a 100 metros fueron revisados y todos ellos se debían a errores de digitalización o a errores de cotas de la propia hoja. Estos puntos fueron eliminados.

El valor medio final es la media de los obtenidos, llegando al valor de 23.21 metros. Cabe destacar que los mayores errores se sitúan en las zo-

nas más montañosas como cabria destacar, y los menores valores en las zonas más llanas (Véase el valor de 12 .89 metros para Huelva).

Dado que los vértices geodésicos no se sitúan obligatoriamente en picos de montañas, esto implica que en muchos casos no representan el vértice más alto de una cumbre y otras, como en el caso de iglesias, se encuentra por encima de la cota del terreno. Estos problemas estarían incluidos dentro del error de los modelos cifrado en unos 23 metros.

El modelo digital de elevaciones de Andalucía se presenta como modelo global y parcial por razones de eficiencia. Las cotas han sido redondeadas a la cifra entera por este mismo motivo.

La nomenclatura del modelo correspondiente a la totalidad de la superficie de la provincia de Andalucía se ha denominado MEDEA100, y a división en cuatro cuadrantes tiene por nomenclatura la orientación geográfica de sus cuadrantes; así el cuadrante situado al nordeste se denomina MDE100ne, el del noroeste, MDE100no, el del sudeste, MDE100se y el del sudoeste, MDE100so.

Los modelos se corresponden con las siguientes características cartográficas:

- En coordenadas U.T.M.: huso 30, coordenadas de sus esquinas en metros, celda de 100 metros, cotas en valores enteros;
- En coordenadas geográficas (Longitud, Latitud): celda de 3.6" (segundos), unidades de sus coordenadas máximas y mínimas en grados y décimas de grado, longitud Oeste en valores negativos y cotas en valores enteros.

Los formatos facilitados son ASCII, binario, Dted, GRID de Arc/info y TIFF. Se agrupan en una serie de subdirectorios según en nombre de su formato:

Los archivos incluidos dentro del directorio ASCII son archivos de texto *.txt, que contienen una malla o matriz de cotas z. Le acompaña un archivo ASCII de extensión *.prj, que hace referencia a la proyección del

modelo. Estos tipos de ficheros son los más utilizados para exportación de datos y generalmente deben llevar una cabecera específica en el fichero. Pueden utilizarse con cualquier programa de Teledetección y en la mayoría de programas de tratamiento de MDE. Los de este CD-ROM están preparados especialmente para que sirvan como archivos de entrada en el programa 3DEM (incluido en el CD-ROM).

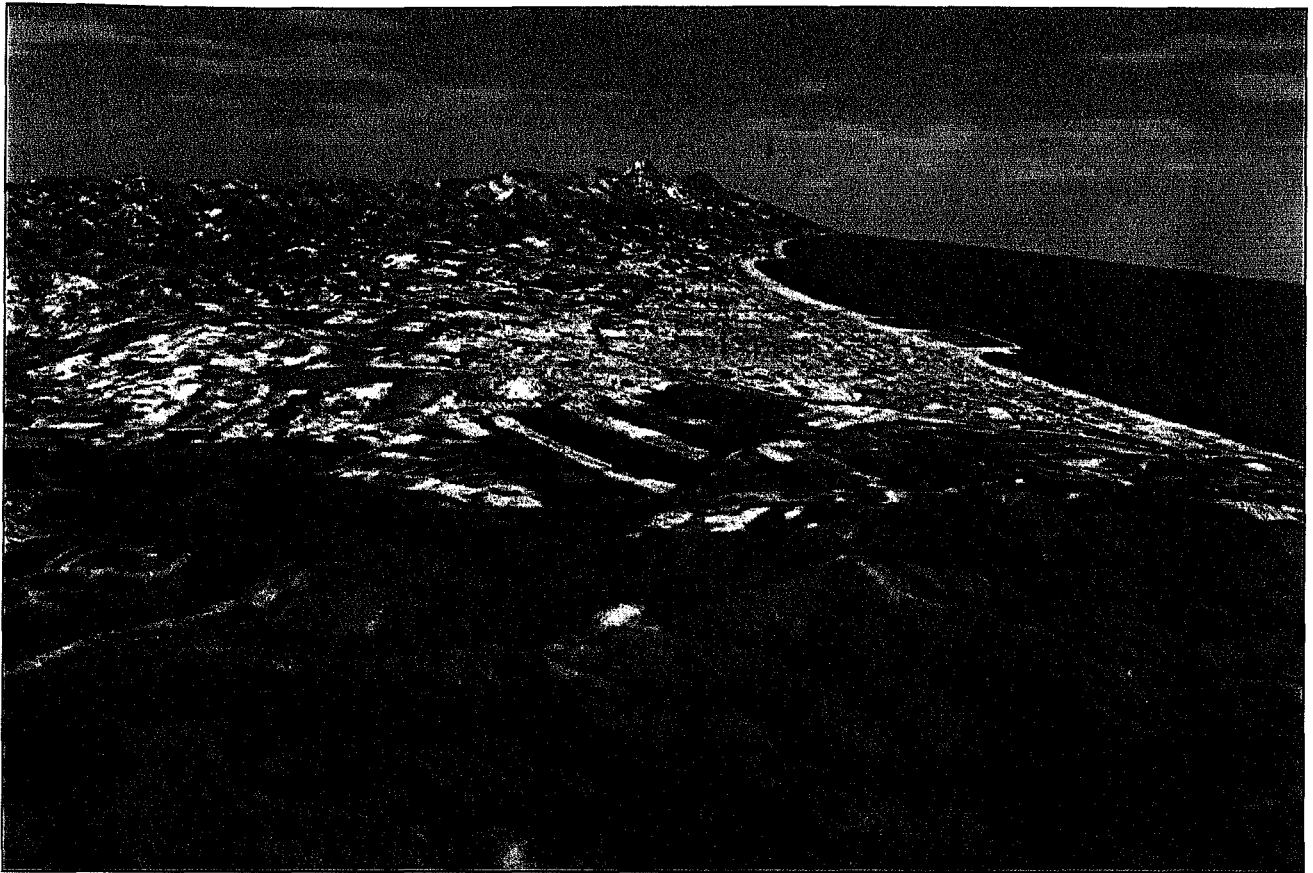
En BIN se ubica el formato binario, que es un archivo análogo al anterior pero en formato binario. Va acompañado de dos archivos ASCII, un archivo de cabecera de extensión *.hdr y del mencionado archivo *.prj. Este tipo de archivos es también bastante estándar y pueden servir como entrada al programa Wilbur (incluido en el CD-ROM) si se desea realizar el recorte de una zona.

El subdirectorio DTED contiene un formato denominado Muse DTED Surface (*.dte), que se ha incluido para que sirva como fichero de entrada principal del programa Wilbur. Este formato no se incluye para el modelo total y aunque su procedencia militar implicaría usarlo en coordenadas geográficas, el programa Wilbur permite importarlo en coordenadas cartesianas como ayuda a la exportación a otros programas.

El formato GRID se encuentra dentro del directorio de análogo nombre. Es propio de Esri, por lo que puede visualizarse en Arcview o Arc/Info si se disponen de los módulos adecuados.

El subdirectorio TIFF hace referencia a una imagen ráster salvada en 256 tonos de grises sin comprimir y puede usarse en cualquier programa de tratamiento de imágenes ráster. Se trata de ficheros denominados Geotiff pues se asocian con archivos ASCII de extensión *.tff que ubican la imagen en su lugar correspondiente.

Para disponer de otros formatos se han incluido una serie de programas de libre distribución y que el Instituto de Cartografía de Andalucía reproduce con permiso de sus autores y



Vista de Fuengirola según el MDE 100.

sin responsabilidad alguna sobre su funcionamiento. Estos Programas son: Wilbur, 3DEM y GLVIEW.

El programa WILBUR ofrece exportaciones a formatos como *.dxf, *.br3, *.raw, *.bmp, *.jpeg, etc. La entrada se recomienda que se haga por los archivos *.DTE, menos en el caso en que se desee realizar un recorte de la zona, para lo que se debe utilizar el formato Binario (*.bin). 3DEM importa el fichero ASCII y a partir de él es posible convertir a archivos VRML(*.Wrl), *.bmp, *.jpeg y simulaciones de vuelos de la zona seleccionada. El programa GLVIEW se incorpora como visualizador de ficheros VRML y *.dxf, aunque también permite la exportación a *.3dv, *.raw, etc.

Exportando la imagen ráster TIFF a otros formatos como el formato *.bmp, *.pcx, etc. es posible su lectura en programas tales como Vistapro, Bryce o el propio Wilbur. Solamente se ha de tener en cuenta la equivalencia en altura de cada tono de gris para poder visualizar a la escala adecuada.

A la hora de realizar un Modelo digital de elevaciones se han de tener en cuenta diversos factores, pero sobre todo el fin del producto y su escala de uso. No es lo mismo realizar un modelo para el trazado de una carretera local que realizar un modelo en el ámbito provincial para estudiar la insolación total de la región.

En el primer caso lo que prima es la precisión del modelo y en el segundo la de tener una idea global de la zona. El primer caso seguramente será tratado con la generación de una triangulación a partir de puntos GPS tomados en el terreno siguiendo el supuesto trazado de la carretera. El segundo, sin embargo, partirá de la digitalización de mapas a escala 1:50.000 o 1:100.000 (según la equidistancia del organismo al que pertenezca dicho producto), y se generará el MDE a partir de algún método GRID o de una triangulación que posteriormente pasará a GRID, dado que con este formato es posible realizar análisis espaciales, con variables diversas y multitemporales. El objetivo de este modelo se

englobaría dentro de este segundo ejemplo.

Por otra parte, dentro de los formatos GRID se tiene que tener en cuenta los datos con los que se parte para escoger el método de interpolación. Este estudio se decanta ampliamente por la técnica TOPOGRID de entre las técnicas disponibles, dada su gran diversidad de datos de entrada y la construcción de un modelo hidrológicamente correcto.

Se espera que el Instituto de Cartografía de Andalucía continúe con la generación de MDE a su escala más representativa: el 1:10.000. Este cambio de escala tan brusco (se pasa de curvas con equidistancia de 100 metros a curvas cada 10 metros) obligará a realizar otro estudio sobre los métodos de interpolación más adecuados para esta cartografía, aunque se espera que los resultados sean muy buenos debido a la gran riqueza de información altimétrica (existencia de una gran variedad de puntos acotados) disponible en esta serie.