

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Modelos Digitales del Terreno: herramientas para la planificación agrícola

Sergio López Casares
M^º Jesús Montero Parejo
Julio Hernández Blanco
Centro Universitario de Plasencia. Universidad de Extremadura

Un Modelo Digital del Terreno (en adelante, MDT) es una herramienta fiable, precisa y de calidad que permite realizar análisis espaciales del terreno, proporcionando el conocimiento y la comprensión necesaria de los ciclos hidrológicos de una determinada zona. La aplicación de las nuevas tecnologías de las que hoy se dispone sobre un MDT como partida, facilitan la planificación de los periodos de riego y construcción de obras hidráulicas, lo que, en definitiva, puede ayudar a mejorar los sistemas de explotación agroganaderos.

Tradicionalmente, la cartografía en formato papel con trazado de las curvas de nivel ha sido el elemento más utilizado para representar la topografía del terreno, y su utilización para la realización de operaciones analíticas sobre el relieve exigía complicados cálculos que requerían de un gran esfuerzo de trabajo y tiempo. La necesidad de facilitar los estudios del terreno dieron origen al desarrollo de una nueva forma de representar el relieve: los Modelos Digitales del Terreno (MDT).

¿QUÉ ES UN MDT?

Se trata de una representación en formato digital de la orogra-

fía del terreno de forma simplificada y basada en un sistema estructurado numéricamente de datos continuos. Los orígenes de los MDT se relacionan principalmente con las necesidades de dotar de información analítica a los Ejércitos en Estados Unidos a los cuales les resultaba muy útil disponer de datos topográficos detallados y fácilmente utilizables. Posteriormente, estas tecnologías se liberalizaron y fueron acogidas por la ingeniería civil, que encontraba de gran utilidad el conocimiento de esta información para el desarrollo y cálculo de obras públicas.

De forma genérica, los Modelos Digitales de Elevación son construidos a partir de una fuen-

te de datos de partida lo más fiable posible, pues de ello dependerá su precisión y la consecuente calidad de los resultados de estudio. Estos datos que constituyen la información base de los MDTs pueden proceder del mapa topográfico, bien en su versión digital, bien de forma analógica con su digitalizado previo o de la restitución fotogramétrica mediante pares de fotografías aéreas del terreno a modelizar. Así, generalmente, las curvas de nivel constituyen el origen del modelado tridimensional del terreno que será obtenido tras un proceso de interpolación espacial, es decir, un análisis que permite extraer la localización o cota de un punto conociendo los valores de puntos adyacentes del terreno.

APLICACIONES

Hoy día, los MDT se han extendido de forma que son la base de partida de proyectos ejecutados en una gran variedad de ciencias. En relación con la ingeniería agrícola, aparece la necesidad de realizar estudios que predigan el comportamiento de los sistemas hidrológicos con el fin de cubrir las demandas hídricas de cultivos, siendo aquí donde los Modelos Digitales del Terreno juegan un papel importante en la realización de predicciones acerca de la disponibilidad del agua puesto que la gestión de la hidrología agrícola es esencial para la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, puesto que el destinado a la agricultura posee un mayor grado de escorrentía.



En cultivos localizados con fuertes pendientes, el control de los procesos hídricos supone un aumento en la calidad de la gestión del suelo y agua disponible

Gracias a la utilización de estas potentes tecnologías de análisis y cálculo, es posible la solución de ecuaciones provenientes de complejos modelos hidrológicos que han permitido medir y parametrizar muchos de los procesos hídricos con el fin de facilitar la toma de decisiones en los trabajos agrícolas.

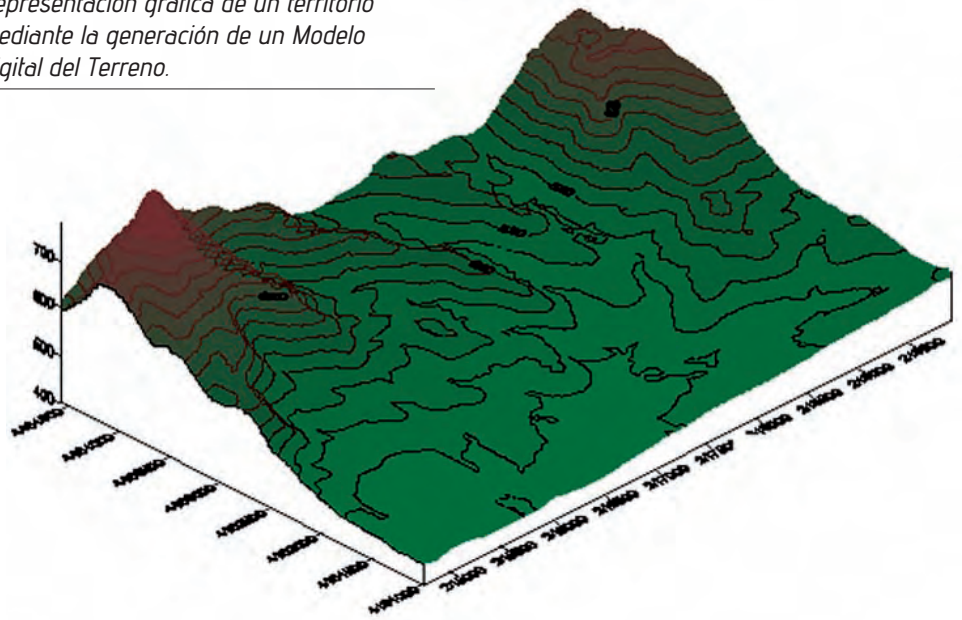
Actualmente, la aplicación de la hidrología como herramienta de gestión, tomando como unidad de estudio la cuenca o subcuenca, está dando lugar al establecimiento de planes integrales de manejo que incluyen la conservación de la calidad del medio ambiente, tratamiento y el manejo sostenible de los residuos agrícolas y ganaderos.

HERRAMIENTAS DE GENERACIÓN DE UN MDT

Existen una gran cantidad de desarrollos informáticos capaces de modelizar extensiones de terreno con mayor o menor precisión e incorporando datos orográficos, hidrológicos y todas aquellas variables que pudiesen ofrecer información a la

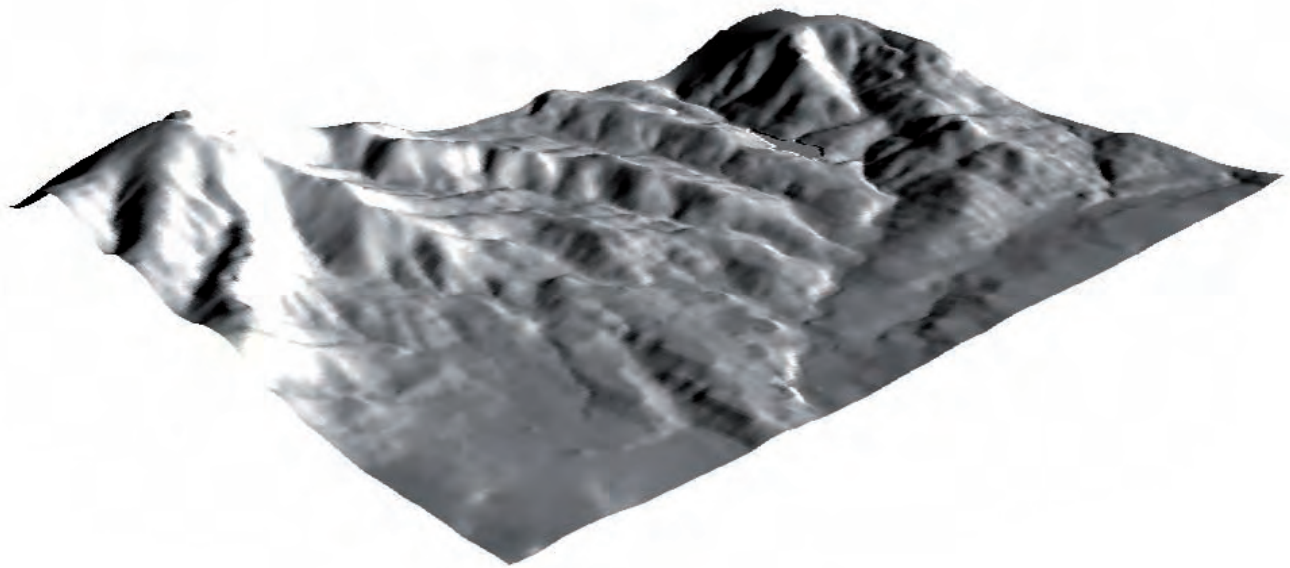


Representación gráfica de un territorio mediante la generación de un Modelo Digital del Terreno.



CUADRO 1 / Programas para la creación de MDTs

<p>ARCVIEW GIS v.3.2 de ESRI</p>	<p>La generación de MDT utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcView está basada en el método vectorial de interpolación por triángulos irregulares (TIN) que por medio de una triangulación de Delaunay se desarrolla una red irregular de polígonos triangulares de carácter vectorial con valores de altitud. ArcView permite incluir información complementaria a la hora de crear el TIN como son coberturas de hidrología, red viaria, etc. a modo de líneas de rotura cuyo fin es ajustar el proceso de interpolación. Ante la imposibilidad de analizar con una estructura vectorial la bondad y el posterior contraste con los restantes MDEs se procedió a rasterizar el TIN obteniendo de este modo un grid o grilla de elevaciones.</p>
<p>ARCGIS 9.x de ESRI</p>	<p>ArcGis posee la capacidad de desarrollar MDTs a través de su comando Topo to Raster, que ha sido diseñado para la creación de modelos hidrológicamente correctos. Topo to Raster adquiere las ventajas de la interpolación en función de la inversa de la distancia (interpolación local), sin perder la continuidad de una superficie obtenida por el krigado global (Torrecillas, 2000). Al igual que el software ArcView, este comando integrado en ArcGis permite complementar la información con otro tipo de datos sin valor de altitud para minimizar el error y obtener precisión hidrológica. Posee la capacidad de suavizar la superficie mediante tolerancias referidas a los errores de los datos de entrada con el fin de crear simulaciones con mayor realidad.</p>
<p>SURFER v.8 de Golden Software, Inc.</p>	<p>La utilización del software SURFER también es recomendada gracias al potencial que presenta en la estimación de variables mediante la interpolación con algoritmos de regresión lineal por mínimos cuadrados, denominados krigado, apropiados para los datos que sólo tengan en cuenta el valor continuo que se desee estimar (Moral <i>et al.</i> 2003). Este método geoestadístico se basa en la existencia de una correlación espacial entre la dirección y la distancia de los puntos de la muestra que es utilizada para justificar la variación de la cota sobre la superficie, ponderando el peso del punto muestral en la estimación del valor de un punto no muestral a través de una curva de análisis, denominada variograma, que relaciona las distancias con la media de las diferencias de cotas al cuadrado, de un punto al resto de los medidos.</p>
<p>qvSIG v.1.1.</p>	<p>Es un Sistema de Información Geográfica de libre distribución desarrollado por la Generalitat Valenciana, donde uno de sus potenciales es el módulo de análisis ráster SEX-TANTE. El módulo que presenta para realizar análisis geoestadísticos dispone de varios métodos de interpolación como la inversa de la distancia y el krigado entre otros, además de otros de estructura vectorial como triangulaciones por polígonos Thiessen. El proceso de interpolación elegido con este software para este estudio fue el krigado ordinario en su opción local que emplea determinadas funciones para ciertas regiones del área experimental, es decir la eliminación de un dato sólo afecta a los puntos próximos al mismo (Moral, 2003). Para el krigado se tomó el variograma que por defecto proporciona SEXTANTE.</p>



Virtualización de un Modelo Digital del Terreno a través de técnicas de sombreado

hora de generar el Modelo Digital del Terreno.

En el **Cuadro 1**, se muestran los resultados en la comparación de la precisión de cuatro *softwares* o programas que presentan esta capacidad y que, por medio de unos algoritmos u otros, permiten la creación de MDTs y la utilización de los mismos para realizar análisis espaciales que ofrezcan soluciones a cuestiones planteadas en el mundo agroforestal. Para ello, se confeccionó un MDT de 10 metros de resolución, 1.900 hectáreas de extensión real y tomando como datos fuente la cartografía digital sectorizada a escala 1:10.000 obviando los errores sistémicos inherentes en la propia digitalización.

PRECISIÓN DE LOS MDT

Puesto que los Modelos Digitales del Terreno son recreaciones de la realidad obtenidas por mecanismos de generalización, presentan cierto grado de imprecisiones aunque su representación puede realizarse con mayor o menor exactitud. Los errores que presentan una mayor problemática son los referentes a los atributos, es decir, a la altitud asignada a cada

punto pues la localización queda definida en la propia estructura del modelo. La calidad de un MDT depende de la magnitud de este error en el atributo representado, así, su medición se basa en la comparación del atributo altitud de una localización en el modelo generado respecto al valor que toma dicha localización en la "realidad", en los datos fuente. La evaluación objetiva de dicha calidad se lleva a cabo mediante la utilización de un índice estadístico denominado *Error Medio Cuadrático* (EMC).

Los EMC de los modelos creados con cada software descrito presentan diferencias significativas entre aquellos que modelan el terreno de forma vectorial (*ArcView*), con un error medio cuadrático de 8,39 m, respecto a los que lo realizan de forma matricial (*ArcGis*, *gvSIG* y *SURFER*), con ECM de 3,61; 3 y 2,56 m, respectivamente. Por tanto, es significativo comprobar que, de todos, el software *SURFER v.8 de Golden Software, Inc.* genera la estructura del modelo digital que mayor ajuste presenta en el área en el que se realizaron los estudios aunque no tiene en cuenta las propiedades hidro-

lógicas que otros presentan.

Así, el método de interpolación del krigeado se presenta como el más recomendable a la hora de crear MDTs, algoritmo que presentan la mayor parte de los Sistemas de Información Geográfica, y más aún cuando se dispone de la expresión del variograma.

► ¿Qué programa elegir?

Respecto a la utilización de un programa informático u otro para la generación y análisis de MDT, dependerá la finalidad que se le vaya a otorgar: capacidad hidrológica, análisis espaciales, simulaciones empíricas, etc. En general, todos ellos presentan un potencial específico referido al objeto para el que han sido desarrollados, sin embargo, para la obtención de modelos hidrológicamente adecuados se puede optar por el software *ArcGIS v.9.x de ESRI*, que incorpora un potente algoritmo de generación de Modelos Digitales del Terreno, como es el comando *Topo to Raster*, que, además de obtener errores relativamente aceptables, tiene gran capacidad para resolver ambigüedades en la continuidad de los da-

tos ofrecidos corrigiendo los sesgos debidos a la calidad de los datos de partida.

Cierto es que hoy día, el continuo desarrollo de Sistemas de Información Geográfica de código abierto, como es el caso de *gvSIG* con la implementación del módulo *Sextante*, está generalizando el uso de los mismos, tanto a nivel usuario como en administraciones, ofreciendo resultados de alta calidad y con las mismas posibilidades de cálculo y prestaciones que aquellos que se distribuyen de forma comercial, constituyendo una buena alternativa en cuanto a su utilización para calcular MDT y realizar análisis espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

Moral García, F.J. 2003. La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas. Geostatística Lineal. Universidad de Extremadura. Cáceres.

Torrecillas Lozano, C. 2000. El Modelo Digital de Andalucía de 100 m. *Mapping*, 59.

U.S.G.E. Department of the Interior. 1997. *Standards for Digital Elevation Models*. U.S. Geological Survey National Mapping Division.