

MODELACIÓN DE SUPERFICIES TERRESTRE
Compilación

JARINSON ALBORNOZ RIVAS
HERMINSON ARBOLEDA ZULETA

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TOPOGRAFÍA
ARMENIA – QUINDÍO
2006

MODELACIÓN DE SUPERFICIES TERRESTRE
Compilación

JARINSON ALBORNOZ RIVAS
HERMINSON ARBOLEDA ZULETA

Proyecto de grado para optar al título de Tecnólogo en Topografía

Director
Gonzalo Jiménez Cleves
Top. Esp. Msc.

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TOPOGRAFÍA
ARMENIA – QUINDÍO
2006

AGRADECIMIENTOS

Con alegría y esperanza damos gracias a:

A DIOS, a nuestras familias que siempre nos apoyaron incondicionalmente.

Nuestro director Gonzalo Jiménez Cleves y asesor José Joaquín Vila por brindarnos sus conocimientos y guiarnos en la elaboración de este proyecto.

A la Universidad Del Quindío y al programa de Topografía por habernos brindado los conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto de compilación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

1	MODELO	11
1.1	TIPOS DE MODELOS	12
1.1.1	<i>Modelos Icónicos</i>	13
1.1.2	<i>Modelos Análogos</i>	14
1.1.3	<i>Modelos Simbólicos</i>	15
1.1.4	<i>Modelos Analógicos y Modelos Digitales</i>	15
1.1.5	<i>Modelos Híbridos</i>	17
1.1.6	<i>Modelos Derivados</i>	18
1.1.7	<i>Modelos de Caja Negra</i>	19
1.1.8	<i>Modelos de Caja Blanca</i>	19
1.1.9	<i>Modelos Raster</i>	19
1.1.10	<i>Modelos Vector</i>	21
1.2	CONVERSIÓN DE VECTOR- RASTER.....	23
1.3	CONVERSIÓN DE RASTER-VECTOR.....	23
1.4	MODELO FUNCIONAL.....	24
1.5	MODELO ESTOCÁSTICO.....	25
1.6	MODELO DETERMINÍSTICO.....	25
1.7	MODELO DINÁMICO	25
1.8	MODELO MATEMÁTICO	26
1.9	MODELO FÍSICO	27
1.10	SIMULACIÓN DINÁMICA	28
1.11	SIMULACIÓN DETERMINÍSTICA O ESTOCÁSTICA	28

1.12	SIMULACIÓN NUMÉRICA	29
1.13	ANÁLISIS NUMÉRICO	30
1.14	OPTIMIZACIÓN.....	31
2	MODELOS DIGITALES DE TERRENO (MDT).....	33
2.1	TOMA DE DATOS DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO.....	34
2.1.1	<i>Trabajo de Campo, Mediante Estaciones Topográficas o Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).</i>	34
2.1.2	<i>Técnicas Fotogramétricas.</i>	35
2.1.3	<i>Digitalización de Curvas de Nivel Contenidas en Mapas.</i>	35
2.2	GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO.....	36
2.3	PROCESO DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO	37
2.3.1	<i>El Procedimiento para la Extracción de Información</i>	37
2.3.2	<i>El Modo de Llevar a Cabo el Muestreo</i>	38
2.4	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	38
2.5	RESULTADOS DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO.....	39
2.6	APLICACIONES DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO	41
2.7	ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO	43
2.7.1	<i>TIN (red de triangulo irregulares)</i>	44
2.7.2	<i>Elementos Del TIN</i>	45
2.8	MODELOS DE MALLAS REGULARES	47
2.9	ELEMENTOS IMPORTANTES PARA UN MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	48
2.10	MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	49
2.11	ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	51
2.11.1	<i>Ventajas y Desventajas de los Modelos Raster y Vectorial</i>	53
2.12	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN.....	55
2.13	APLICACIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	56
3	MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO	58

3.1	RESEÑA HISTÓRICA.....	58
3.2	TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS.....	59
3.2.1	<i>Etapas de Producción</i>	60
3.2.2	<i>Generación</i>	60
3.3	MANIPULACIÓN.....	61
3.3.1	<i>Visualización</i>	61
3.4	APLICACIONES.....	62
3.5	EL MODELAJE NUMÉRICO DEL TERRENO.....	63
3.6	MUESTREO POR PUNTOS.....	66
3.7	MUESTREO EN TOPOGRAFÍA CLÁSICA.....	69
3.8	MUESTREO SISTEMÁTICO (REGULAR CUADRICULA).....	72
3.9	ANÁLISIS DE CURVAS DE NIVEL.....	74
3.10	MODELOS EXISTENTES.....	76
3.11	MODELOS DE DISEÑO.....	77
4	REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE TERRESTRE.....	79
4.1	REPRESENTACIÓN DE SUPERFICIES TERRESTRES.....	80
4.1.1	<i>Datos de Elevaciones</i>	81
4.1.2	<i>Utilidades de los Modelos Digitales de Elevación (MDE)</i>	84
4.1.3	<i>Pendiente</i>	85
4.2	LA REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA.....	87
4.2.1	<i>Las Coordenadas Geográficas</i>	87
4.2.2	<i>Los Sistemas de Proyección</i>	89
4.2.3	<i>Algunos Tipos de Proyecciones</i>	92
4.3	LA ESCALA.....	95

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Icónico.....	13
Figura 2 Modelo Análogo.....	14
Figura 3 Modelo Simbólicos.....	15
Figura 4 Modelo Híbrido.....	18
Figura 5 Vector - Raster.....	22
Figura 6 Conversión de Vector-Raster.....	23
Figura 7 Conversión de Raster-Vector.....	24
Figura 8 Modelos Digitales De Terreno.....	33
Figura 9 Proceso de los modelos digitales de terreno.....	37
Figura 10 Construcción del Modelo Digital de Terreno.....	38
Figura 11 Resultados de Los Modelos Digitales de Terreno.....	39
Figura 12 Aplicación de los Modelos Digitales de Terreno.....	41
Figura 13 Estructura de los Modelos Digitales de Terreno.....	43
Figura 14 Método TIN.....	44
Figura 15 Ejemplo de una malla cuadrada.....	47
Figura 16 Ejemplo de una malla triangular.....	48
Figura 17 Estructura de los Modelos Digitales de Elevación.....	51
Figura 18 Tipos De Modelos Numéricos.....	59
Figura 19 Aplicaciones.....	63
Figura 20 Modelaje Numérico De Terreno.....	66
Figura 21 Totalmente Irregular.....	66
Figura 22Aerolevantamiento.....	66
Figura 23 A partir del Drenaje.....	67
Figura 24 Regular.....	67
Figura 25 Análisis de curvas de nivel.....	76
Figura 26 Análisis de curvas de nivel.....	76

Figura 27 Mapa de curvas de nivel (contornos)	82
Figura 28 MDE derivado de las curvas de nivel de la figura 27	82
Figura 29 Modelo TIN derivado de las curvas de nivel de la figura 27.	83
Figura 30 MDE derivado de las curvas de nivel de la figura 27, en perspectiva	84
Figura 31 Pendiente.....	85
Figura 32 Latitud.....	88
Figura 33 Longitud	88
<i>Figura 34</i> Proyección cartográfica.....	90
Figura 35 Sistemas de Proyección.....	91
Figura 36 Sistemas De Proyección	91
<i>Figura 37</i> Proyección Cónica De Lambert	92
Figura 38 Proyección Polar	93
Figura 39 Sistema de Referencia Universal Transversal de Mercator.k.	94
Figura 40 La Escala	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Principales estructuras de modelos digitales de terreno.....	44
Tabla 2 Representación cómo texto de los valores numéricos.....	50

INTRODUCCIÓN

Este texto se realizó con el fin de compilar información actualizada, de **MODELACIÓN DE SUPERFICIES TERRESTRE**, destacando la relación que existe entre las ciencias básicas, la informática y su aplicación en el campo de la topografía.

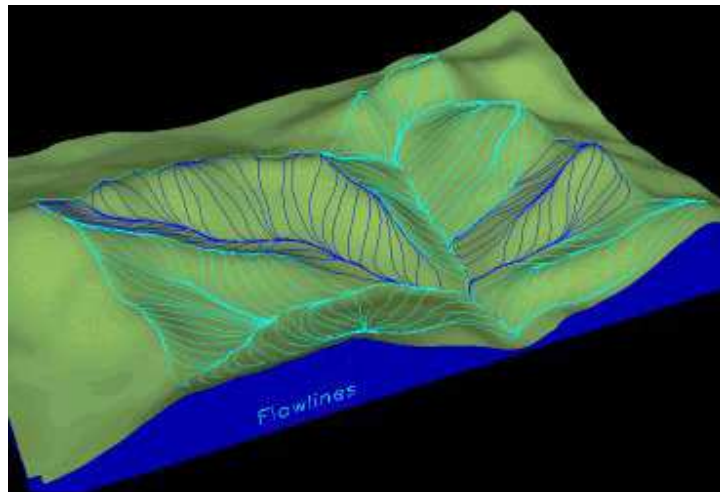
Con el objetivo de dar a conocer unos de los estados actuales de la topografía, el texto se estructura en cuatro capítulos, en el primer capítulo se describen los conceptos básicos de los modelos y sus tipos, posteriormente en el segundo capítulo se define y explica los modelos digitales de terreno y los modelos digitales de elevación.

El tercer capítulo trata del modelaje numérico de terreno en donde se encuentra su reseña histórica y sus diferentes definiciones. El texto concluye con la representación de la tierra en la modelación de superficie terrestre.

Es de gran importancia el contar con un documento lógico y estructurado que proporcione información útil para la consulta y aplicación práctica del tema en mención, ya que la información disponible hasta el momento se encuentra sumamente dispersa, en diferentes medios y formatos que no permiten estudiar y conocer el estado total del arte de una forma metodológicamente organizada.



CONCEPTOS BÁSICOS



1 MODELO

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.

Para que los modelos puedan decirnos algo sobre el objeto que representa, es necesario que se construyan estableciendo una relación con la realidad que debe ser simétrica, es decir, la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo debe ser al menos parcialmente reversible y debe permitir la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad.

La utilidad de los modelos para conocer o predecir está condicionada principalmente por una buena selección de los factores relevantes para el problema y una adecuada descripción de sus relaciones funcionales.

Así, cuando se construye un modelo, estamos construyendo un sistema cuyos componentes – partes e interrelaciones- se han reducido a una cantidad manejable para simplificar el sistema real. Para que los resultados sean aceptables es necesario una precisa selección de los componentes importantes, cada de los cuales debe, a su vez ser un modelo adecuado del componente real.

La calidad de las propiedades emergentes de un modelo puede valorarse sometiendo una parte de los resultados a una verificación experimental que, aunque sólo puede ser parcial, servirá de orientación sobre la magnitud de los errores derivados del modelo y puede permitir la introducción de correcciones.

El contraste experimental puede servir, por tanto, no sólo como método de control de calidad sino también como mecanismo de realimentación para realizar ajustes, tanto en los elementos que componen el modelo como en las relaciones que se establecen entre ellos.

Dado que el modelo representa la realidad con una cantidad menor de información, existe un error inherente al proceso de modelización que puede ser reducido pero no eliminado. La reducción del error puede hacerse por dos caminos complementarios:

- Mayor precisión en la medida y mejor selección de los componentes: no implica mayor complejidad del modelo.
- Mayor cantidad de componentes – partes e interrelación funcionales- : implica una mayor complejidad del modelo.

1.1 TIPOS DE MODELOS

Existen numerosas clasificaciones de los modelos, ninguna de las cuales permita establecer unas categorías estrictamente excluyentes. A continuación se comentan algunas clasificaciones relevantes para el tema de los modelos digitales de terreno MDT ya que contribuyen a aclarar el concepto básico.

Existen varias clasificaciones de modelos basados en diferentes criterios. En Turner (1970:364) se distinguen tres tipos básicos: Modelos icónicos, análogos y simbólicos, en función de las reglas de construcción del modelo, es decir, de la forma de establecer la relación de correspondencia.

También se encuentran otros tipos de modelos como lo son modelos analógicos y digitales, híbridos, etc.

1.1.1 Modelos Icónicos

En los modelos icónicos, la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas, habitualmente un cambio de escala con conservación del resto de las propiedades topológicas. Un ejemplo de modelo icónico es una maqueta, donde se ha establecido una reducción de tamaño conservando las relaciones dimensionales básicas. Sin embargo, este proceso de modelización tiene implicaciones menos obvias que, según los casos, pueden tener importancia. Por ejemplo en el caso de una maqueta del terreno, la rugosidad de la superficie es una propiedad que no se conservará ya que depende de la escala; por añadidura, su relación con la rugosidad real puede ser difícil de definir. Ver. fig. 1



Figura 1. Modelo Icónico

1.1.2 Modelos Análogos

Los modelos análogos poseen algunas propiedades similares a los objetos representados pero sin ser una réplica morfológica de los mismos. Normalmente, para su construcción se utiliza un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real para facilitar la “lectura” o interpretación de las mismas.

Un ejemplo de modelo análogo es un mapa impreso, que se construye mediante un conjunto de convenciones cartográficas relativamente complejas, que conducen a un resultado final claramente distinto del objeto representado. Mediante esta transformación se persigue hacer legibles las propiedades tales como las altitudes, distancias, localización física de objetos geográficos, sus relaciones e importancia, etc. Ver fig. 2.

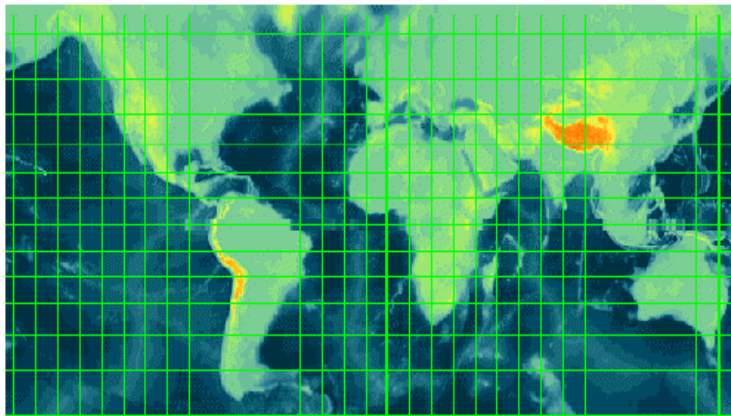


Figura 2 Modelo Análogo

1.1.3 Modelos Simbólicos

Los modelos simbólicos se construyen mediante reglas notablemente más abstractas ya que esta denominación suele aplicarse al caos en los que el objeto real se representa mediante una codificación matemática (geometría, estadística, etc.).

Un ejemplo de modelo simbólico es la representación de un edificio mediante la identificación y codificación en una estructura geométrica de sus elementos básicos. El modelo así construido permite la aplicación de algoritmos para, por ejemplo, la estimación de esfuerzos a los que está sometido. Ver fig. 3



Figura 3 Modelo Simbólicos

1.1.4 Modelos Analógicos y Modelos Digitales

La diferencia básica entre los modelos digitales y los modelos analógicos reside en que los primeros están codificados en cifras- lo que, entre otras cosas, permite

su tratamiento informático-. Los modelos digitales son, por tanto, modelos simbólicos y para construirlos es necesario un proceso de codificación de la información, que permite una representación virtual manejable por medios informáticos.

Los modelos analógicos son modelos físicos, como los ya mencionados de una maqueta como modelo icónico, o un mapa convencional como modelo análogo. Cabe hacer la salvedad de que no deben confundirse los conceptos de modelo análogo, mencionado unos párrafos atrás, y modelo analógico, que se opone al el modelo digital.

Los modelos digitales presentan unas propiedades inherentes a su naturaleza numérica que son especialmente interesante:

- **No Ambigüedad:** Cada elemento del modelo tiene unas propiedades y valores específicos y explícitos.
- **Verificabilidad:** Los resultados se construyen mediante pasos explícitos y concretos que puede ser analizados uno a uno y comprobados en todas las fases del proceso.
- **Repetibilidad:** Los resultados no están sometidos, a menos que diseñe expresamente, a factores aleatorios o incontrolados y pueden ser comprobados y replicados las veces que se desee.

Sin embargo, aunque la codificación en cifras permite una representación con una elevada precisión teórica, esto no garantiza la exactitud de los resultados. Es necesario no perder de vista que un modelo no es más que una descripción aproximada que, en último termino, se construye mediante la aplicación de unos

supuestos más o menos adaptados a la realidad pero que nunca puede ser exacto¹.

1.1.5 Modelos Híbridos

Llegados a este punto, es importante mencionar que uno de los requisitos indispensables para generar MDT de alta calidad es la introducción de líneas de ruptura o estructurales así como puntos singulares que ayuden a una mejor definición de la superficie. Se asume normalmente que estas líneas son definidas y capturadas interactivamente. El tratamiento de estas líneas por parte de los formatos TIN (triangulated irregular network - red de triángulos irregulares), es bastante sencillo ya que estas líneas constituyen caras de los triángulos. Sin embargo el formato basado en mallas regulares, puede ser diseñado para manejar tanto las características estructurales mencionadas anteriormente así como mallas regulares de diferente densidad. Esta propiedad permite dotar al método de mallas regulares de más aplicabilidad.

Las líneas de ruptura deben ser modeladas adecuadamente dentro de la malla e interceptadas con las líneas de la cuadrícula, para lo cual se utilizan operaciones similares las del TIN.

Esto es lo que nosotros llamamos formato híbrido de MDT. La Fig. 4 muestra un ejemplo que sugiere que las mallas regulares parecen dar una mejor percepción visual intuitiva del terreno que los triángulos irregulares.

¹ Ángel Manuel Felicísimo; conceptos básicos, modelos y simulación capítulo

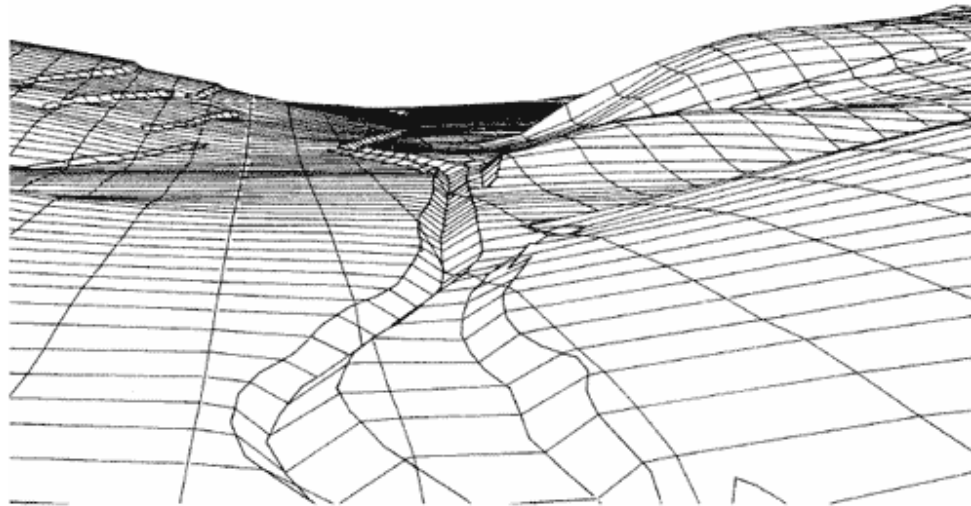


Figura 4 Modelo Híbrido

Los autores han realizado tales desarrollos de MDT híbrido desde 1970, sin embargo algunos casos complejos tuvieron que ser manejados por un software mas sofisticado (véase Köstil y Sigle 1986)².

1.1.6 Modelos Derivados.

Son los modelos creados a partir de un modelo básico. Por ejemplo: de un modelo de altitudes (MDE) se puede crear el modelo digital de pendientes. Los modelos derivados se construyen a partir de un modelo digital básico, mediante algoritmos especiales. Cuando se realizan modelos derivados, puede verificarse el modelo derivado con el objeto real y se hace mediante métodos de análisis de

² Prof. Friedrich Ackerna, Prof. Kart Kraus; pasado y futuro de los Modelos Digitales del Terreno: Mallas Regulares y Formato Híbrido. (21-11-2004)

error que, se basan en la comparación de una muestra extraída del modelo derivado con medidas empíricas tomadas sobre el terreno. Los resultados del análisis de error permiten efectuar ajustes en el algoritmo, aumentando su confiabilidad y su capacidad de predicción.

1.1.7 Modelos de Caja Negra

La caja negra se utiliza para representar a los sistemas cuando no sabemos que elementos o cosas componen al sistema o proceso, pero sabemos que a determinadas entradas corresponden determinadas salidas y con ello poder inducir, presumiendo que a determinados estímulos, las variables funcionaran en cierto sentido.

1.1.8 Modelos de Caja Blanca

La caja blanca se utiliza para representar a los sistemas cuando sabemos que elementos o cosas componen al sistema o proceso.

1.1.9 Modelos Raster

Los formatos raster son ampliamente utilizados en diferentes formas; Cuando se abre una imagen digital, como una fotografía por ejemplo, y se amplía la imagen, hasta que se distorsiona, se pueden ver pequeños “cuadritos” de diferente color, sí la imagen es en color, o en diferentes tonalidades de grises, sí la imagen es en blanco y negro; Esos “cuadros regulares” se denominan píxeles o celdas.

El formato matricial o raster, se constituye como un conjunto de celdas o píxeles, de forma cuadrada y tamaño idéntico, localizados de forma contigua, constituyendo un sistema de referencia de coordenadas; la matriz que constituyen

es bidimensional. Cada celda, es referenciada por índices de línea y columna y contiene un número que representa el valor del atributo mapeado.

Los valores de los píxeles en la matriz, pueden estar dentro de un intervalo numérico dado, como por ejemplo, de 0 a 255 para imágenes de 8 bits, o bien, pueden ser valores asignados según una categoría definida para la identificación del elemento o pueden ser resultados de modelamientos numéricos que representan el comportamiento de una determinada variable a una condición dada.

Cada píxel, por ser parte de una matriz, representa una ubicación geográfica única que se identifica ya sea en una esquina o en el centroide (centro) del píxel, y además, cuenta con un atributo discreto asignado que representa las características adicionales del elemento.

La resolución de los datos raster depende del tamaño del píxel y puede variar desde valores submétricos hasta kilómetros.

Por ser una información bidimensional, el SIG (sistema de información geográfica) guarda varios tipos de información como coberturas vegetales, tipos de suelos, usos de la tierra y otras capas temáticas de información (layers). Las capas temáticas son funcionalmente relacionadas con atributos del mapa. Generalmente la información raster requiere menos procesamiento que la información vector, pero consume mucho más espacio en disco. Los sensores remotos que toman imágenes satelitales guardan inicialmente la información en formato raster, que luego puede ser convertida y almacenada en formato vector. Los Modelos

Digitales de Terreno DTM y Modelos de Elevación Digital DEM son otros ejemplos de información tipo raster³.

1.1.10 Modelos Vector

Un vector se define como una cantidad con una coordenada de inicio y una dirección y desplazamiento asociados. En el modelo Vectorial los objetos son representados por los puntos y líneas que definen sus límites. La posición de cada objeto se define por su ubicación en un mapa espacial que se organiza por un sistema de referencia coordinado. Los puntos son almacenados como líneas de longitud cero, las áreas o polígonos constituyen líneas con puntos comunes de inicio y final. Los modelos vectoriales más comunes son: la estructura de polígono completa y el modelo topológico.

Estructura de Polígono Completo, cada polígono se codifica en la base de datos como un registro lógico y se define por una cadena de coordenadas X-Y representando un área cerrada. Las principales desventajas de este modelo son:

1. Las líneas entre polígonos adyacentes deben ser digitalizados dos veces.
2. No hay medios explícitos de referenciar las relaciones espaciales entre polígonos.
3. Las islas solo son construcciones gráficas.
4. Es muy difícil mantener la base de datos no corrupta a momento de la edición y actualización.

³ Fuentes de Geodatos. Formatos para los sistemas de información geográficos

El Modelo Topológico, en este modelo las relaciones espaciales entre entidades son explícitamente almacenadas en lo que se conoce como modelo topológico.

Se define a la topología como el estudio matemático de las relaciones y transformaciones de configuraciones geométricas. La idea básica de este modelo radica en segmentos de línea continua que empieza y termina en la intersección con otra línea o a la curvatura en la línea.

Entre los modelos topológicos tenemos: Modelo codificado independiente dual, estructura Arc-nodo, Estructura relacional, Estructura gráfica de línea digital⁴.

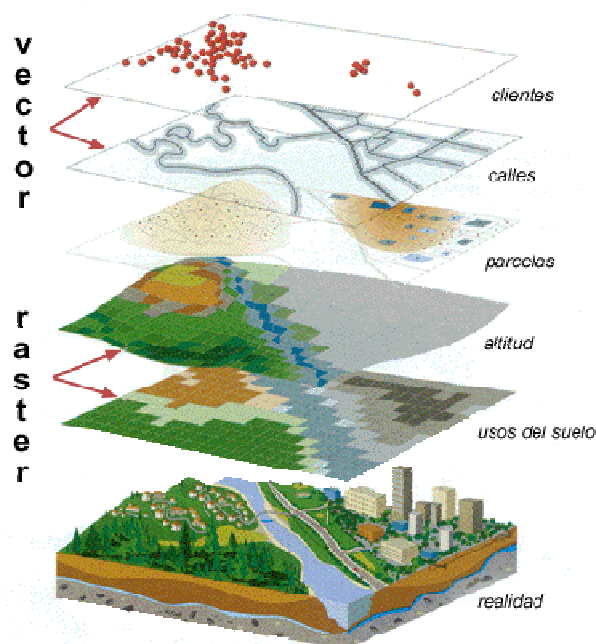


Figura 5 Vector - Raster

⁴ Sistema de Información Geográfica como herramienta ; 8/03/06; Pág.

1.2 CONVERSIÓN DE VECTOR-RASTER

La mayoría de las veces la conversión vector-raster se "ve bonita" pero algunas celdas pueden terminar no representando lo que originalmente eran ya que siempre aparecerá el efecto de "escalitas". Ver fig. 6.

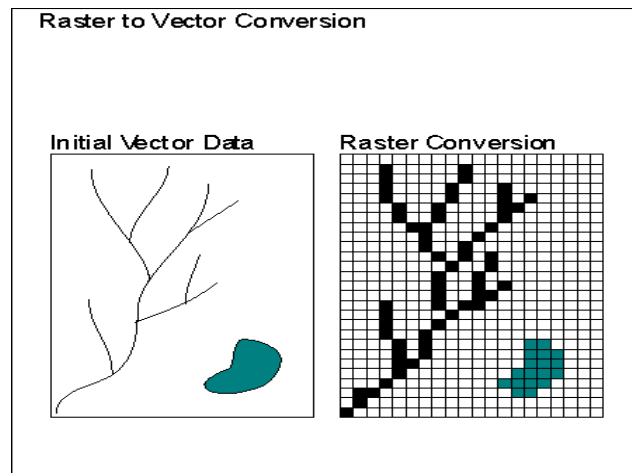


Figura 6 Conversión de Vector-Raster

El tamaño que se seleccione de las celdas para realizar la conversión es el factor determinante para eliminar el efecto de escalitas⁵.

1.3 CONVERSIÓN DE RASTER-VECTOR

Convertir datos raster a vector es bastante más complicado. Este trabajo se hace generalmente con software especializado.

La clave del software de conversión de raster a vector se centra en el manejo avanzado de los filtros que se pueden aplicar sobre las imágenes y en las

⁵ Fuentes de Geodatos. Formatos para los sistemas de información geográficos

clasificaciones temáticas (o de colores). Por ejemplo en el mapa escaneado de la imagen de abajo, es obvio que el software solo tiene que diferenciar el color verde del café y convertir el café a líneas. Aunque parece sencillo, no lo es.

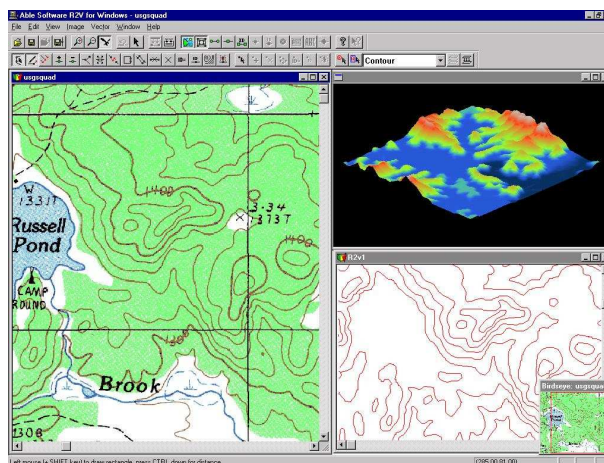


Figura 7 Conversión de Raster-Vector

1.4 MODELO FUNCIONAL

El modelo funcional describe las características geométricas o físicas del problema de estudio.

Por ejemplo la suma de los ángulos internos de un triángulo es 180° (modelo funcional) las propiedades estadísticas de cada ángulo observado (modelo estocástico)⁶.

⁶ Gilberto Gómez Gómez, Gonzalo Jiménez Cleves; Topografía Analítica Quinta edición. Armenia, 2006, Pág. 10.

1.5 MODELO ESTOCÁSTICO

El modelo estocástico es la parte del modelo matemático que describe las propiedades estadísticas de los elementos relacionados con el modelo funcional.

1.6 MODELO DETERMINÍSTICO

Es decir, un modelo determinístico puede proporcionar información para relacionar las emisiones de las fuentes con el impacto de éstas sobre los receptores, con lo cual apoya el planteamiento e implantación de estrategias de control de emisiones.

1.7 MODELO DINÁMICO

Algunos principios fundamentales del modelado son los siguientes:

- Un modelo constituye una abstracción de la realidad.
- Dado que los modelos omiten los detalles no esenciales, resulta más sencillo manipularlos a ellos que a la entidad original.
- Un modelo puede expresarse a diferentes niveles de precisión.

A partir de estas consideraciones, se desprende que al Modelo Dinámico no le resultan ajenos los requisitos expuestos, la importante responsabilidad de describir aquellos aspectos de un sistema que cambian con el tiempo. Es decir, que el Modelo Dinámico se utiliza para especificar e implementar los aspectos del control del sistema, colaborando de ésta manera en describir las secuencias de

operaciones que se producen, sin tener en cuenta lo que hagan éstas operaciones, aquello a lo que afecten o la forma en que las mismas estén implementadas.

Cabe aclarar, que el modelado del aspecto dinámico de un sistema no constituye una característica exclusiva del paradigma orientado a objetos, dado que también puede ser abordado a través del enfoque del Análisis Estructurado.

En el caso que nos ocupa, nuestro Modelo Dinámico operará sobre el Modelo de Objetos que resulta ser el más importante, dado que bajo el enfoque de orientación a objetos, la construcción de nuestro sistema se hará en torno a ellos y no a la funcionalidad del mismo.

Y será precisamente la identificación de los objetos procedentes del dominio de la aplicación, el principal centro de atención del analista, para luego ajustarle a dichos objetos los procedimientos⁷.

1.8 MODELO MATEMÁTICO

Un modelo matemático se define como una descripción desde el punto de vista de las matemáticas de un hecho o fenómeno del mundo real, desde el tamaño de la población, hasta fenómenos físicos como la velocidad, aceleración o densidad. El objetivo del modelo matemático es entender ampliamente el fenómeno y tal vez predecir su comportamiento en el futuro.

El proceso para elaborar un modelo matemático es el siguiente:

⁷ Maestrando : Ing. Alejandro Hossian; Modelo Dinámico en orientación a objetos

1. Encontrar un problema del mundo real.
2. Formular un modelo matemático acerca del problema, identificando variables (dependientes e independientes) y estableciendo hipótesis lo suficientemente simples para tratarse de manera matemática.
3. Aplicar los conocimientos matemáticos que se posee para llegar a conclusiones matemáticas.

Comparar los datos obtenidos como predicciones con datos reales. Si los datos son diferentes, se reinicia el proceso.

Es importante mencionar que un modelo matemático no es completamente exacto con problemas de la vida real, de hecho, se trata de una idealización⁸.

1.9 MODELO FÍSICO

La física intenta entender el mundo haciendo modelos de la realidad, usados para racionalizar, explicar y predecir fenómenos físicos a través de una teoría. Hay tres tipos de teorías físicas: teorías aceptadas, teorías propuestas y teorías no aceptadas.

Algunas teorías físicas son desechadas por la observación mientras que otras no. Una teoría física es un modelo de eventos físicos y no puede ser probado por axiomas básicos. Una teoría física es diferente a un teorema matemático. Los modelos de teorías físicas son la realidad y una declaración de lo que se observa así como la predicción de nuevas observaciones.

⁸ Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006

En la ingeniería Se denominan modelos físicos, por contraposición a los modelos matemáticos y a los modelos analógicos, a construcciones en escala reducida de obras de ingeniería para estudiar en ellos su comportamiento, y permitir así perfeccionar los diseños, antes de iniciar la construcción de las obras reales. Por ese motivo, a este tipo de modelo se le suele llamar también modelo reducido⁹.

1.10 SIMULACIÓN DINÁMICA

La simulación dinámica permite representar sistemas y simular sus comportamientos pasados y futuros. Un sistema es una percepción de la realidad que el simulador quiere representar, y ésta puede ser diferente dependiendo de los fines que desee satisfacer. Una vez definido el sistema se construye un modelo que reproduzca su comportamiento global mediante el funcionamiento interrelacionado de la multiplicidad de mecanismos parciales que lo componen, para así disponer de una herramienta que permita simular el impacto de distintas estrategias sobre las variables de interés¹⁰.

1.11 SIMULACIÓN DETERMINÍSTICA O ESTOCÁSTICA

Una simulación determinística es aquella que utiliza únicamente datos de entrada determinísticos, no utiliza ningún dato de entrada aleatorio. En cambio un modelo de simulación estocástico incorpora algunos datos de entrada aleatorios al utilizar distribuciones de probabilidad¹¹.

⁹ Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006

¹⁰ Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006

¹¹ Mimesis soluciones; preguntas frecuentes

1.12 SIMULACIÓN NUMÉRICA

Una simulación numérica es una recreación matemática de un proceso natural. Mediante el uso de simulaciones numéricas se estudian procesos físicos, de ingeniería, económicos e incluso biológicos. El campo de las simulaciones numéricas constituye por lo tanto un nutrido campo de investigación interdisciplinario. Algunos problemas científicos son estudiados primariamente mediante el uso de simulaciones numéricas como los problemas de caos, fractalidad o de complejidad y en general todos aquellos campos de la naturaleza gobernados por sistemas de ecuaciones no lineales o no reproducibles fácilmente en el laboratorio.

El uso de simulaciones numéricas para estudiar un problema requiere normalmente un cuidadoso estudio de los métodos numéricos y algoritmos a utilizar y de los procesos fundamentales a incluir en la simulación.

Una simulación numérica difiere de un modelo matemático en que el primero constituye una representación en cada instante del proceso a simular mientras que el modelo constituye una abstracción matemática de las ecuaciones fundamentales necesarias para estudiar dicho fenómeno. Normalmente la utilización de una simulación numérica para estudiar un problema dado requiere una cuidadosa planificación del modelo matemático a utilizar y de los algoritmos necesarios para resolver dicho modelo¹².

¹² Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006

1.13 ANÁLISIS NUMÉRICO

El Análisis numérico es una rama de las matemáticas cuyos límites no son del todo precisos. De una forma rigurosa, se puede definir como la disciplina ocupada de describir, analizar y crear algoritmos numéricos que nos permitan resolver problemas matemáticos, en los que estén involucradas cantidades numéricas, con una precisión determinada.

En el contexto del cálculo numérico, un algoritmo es un procedimiento que nos puede llevar a una solución aproximada de un problema mediante un número de pasos finitos que pueden ejecutarse de manera lógica. En algunos casos, se les da el nombre de métodos constructivos a estos algoritmos numéricos.

El análisis numérico cobra especial importancia con la llegada de los computadores. Los computadores son útiles para cálculos matemáticos extremadamente complejos, pero en última instancia operan con números binarios y operaciones matemáticas simples.

Desde esta perspectiva, el análisis numérico proporcionará toda la estructura necesaria para llevar a cabo todos aquellos procedimientos matemáticos susceptibles de expresarse algorítmicamente, basándose en algoritmos que permitan su simulación o cálculo en procesos más sencillos empleando números¹³.

¹³ Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006

1.14 OPTIMIZACIÓN

La optimización (también denominada programación matemática) intenta dar respuesta a un tipo general de problemas donde un vector representa variables de decisiones. En algunas veces es posible expresar el conjunto de restricciones como solución de un sistema de igualdades o desigualdades.

Un problema de optimización trata entonces de tomar una decisión óptima para maximizar (ganancias, velocidad, eficiencia, etc.) o minimizar (costos, tiempo, riesgo, error etc.). Un criterio determinado. Las restricciones significan que no cualquiera decisión es posible¹⁴.

¹⁴ Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006



MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN



2 MODELOS DIGITALES DE TERRENO (MDT)



Figura 8 Modelos Digitales De Terreno

Un modelo digital del terreno es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Los Modelos digitales de terreno MDT son digitales, es decir, están codificados en cifras — lo que, entre otras cosas, permite su tratamiento informático.

Los MDT toman la forma de estructuras de datos, lo que significa que no son sólo una acumulación o listado de cifras sino que su construcción debe realizarse de acuerdo con una estructura interna. Esta estructura se refleja en la forma lógica en el sentido informático de almacenar y vincular las unidades de información datos entre sí, que debe representar de alguna forma las relaciones espaciales entre los datos.

Los MDT representan la distribución espacial de una variable; lo que acota claramente su ámbito de actuación a la modelización de fenómenos geográficos.

La variable representada en el MDT es cuantitativa y de distribución continua, es decir, se representan campos; esta definición permite separar conceptualmente los mapas temáticos de los MDT: se excluyen las variables nominales y, de forma general, las variables representadas por entidades lineales o puntuales¹⁵.

2.1 TOMA DE DATOS DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO

La era de la informatización nos ha obligado a modificar la concepción actual del mundo de la enseñanza y del procesamiento de los datos, permitiendo de esta manera hacer llegar a otros la posibilidad de elegir entre las variantes tan amplias que se ofrecen a partir de simples datos como base del resultado de los análisis.

2.1.1 Trabajo de Campo, Mediante Estaciones Topográficas o Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Normalmente, este tipo de métodos se emplean en casos particulares en que se requiere una alta precisión, en superficies pequeñas, o para complementar otros métodos de adquisición como los fotogramétricos. La información adquirida puede ser grabada directamente en formato digital, y después transferida a un computador para procesarla.

¹⁵ Ángel Manuel Felicísimo; La utilización de los MDT en los estudios del medio físico; (abril 1999; Pág. 1).

2.1.2 Técnicas Fotogramétricas.

Este método se basa en el análisis estereoscópico de fotografías aéreas o pares estereoscópicos de imágenes de satelitales, mediante instrumentos fotogramétricos o programas de computador capaces de realizar estero correlaciones a partir de fotografías digitalizadas.

A partir del análisis estereoscópico de imágenes, y en base a las diferencias de paralaje, se puede llegar a determinar la altura relativa de puntos de muestreo.

Estas alturas se pueden convertir en altitudes si se georeferencia de forma absoluta la base del modelo estereoscópico mediante puntos de control de coordenadas x , y , z exactas conocidas.

2.1.3 Digitalización de Curvas de Nivel Contenidas en Mapas.

Es el método más habitual de obtener los datos requeridos para la construcción de MDT, ya que los mapas topográficos son fáciles de adquirir y contienen la información necesaria: puntos con cota conocida a lo largo de las curvas de nivel, cotas en las cimas y líneas significativas como la red de drenaje.

La precisión que se podrá alcanzar en los MDT generados por estos procedimientos es limitada, y depende en gran medida de la calidad de los datos originales del mapa utilizado, así como también del método de interpolación aplicado.

2.2 GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO

Un modelador digital del terreno es un simulador matemático de la representación física del terreno, en definitiva es lo que en otras ramas de la ciencia y la técnica se conoce con el nombre de modelo matemático. Básicamente, consiste en utilizar una metodología y un algoritmo matemático que permita realizar las dos funciones principales:

- a. Calcular la cota en cualquier punto del terreno.
- b. Generar las curvas de nivel.

El resto de funcionalidades, que a menudo aportan estos sistemas, están desarrolladas basándose en las actividades indicadas anteriormente. Los datos de partida para que el modelador digital del terreno MDT pueda realizar sus funciones son los puntos del terreno que se hayan levantado por cualquiera de los métodos topográficos habituales (topografía, fotogrametría, etc.). La calidad de estos datos será fundamental para conseguir un modelo matemático del terreno aceptable, sirva como indicación que la distribución de los puntos levantados deberá ser, en general uniforme y con mayor densidad en aquellas zonas del terreno donde se puedan producir mayores indeterminaciones¹⁶.

¹⁶ Análisis de las metodologías habituales para la generación de modelos digitales del terreno; Julio de 2006.

2.3 PROCESO DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO

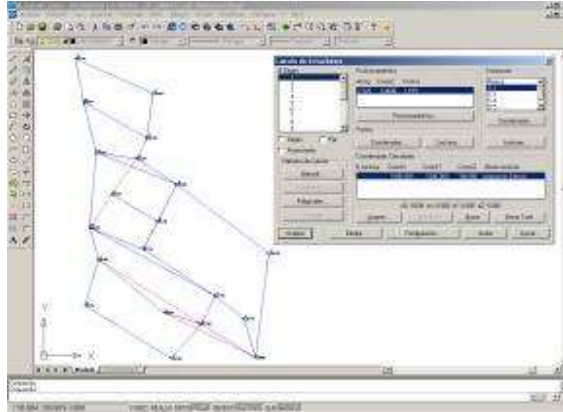


Figura 9 Proceso de los modelos digitales de terreno

Los procesos de modelos digitales de terreno se realizan de forma casi análoga en las aplicaciones de procesamiento en las que se tiene en cuenta por la distribución de los datos.

2.3.1 El Procedimiento para la Extracción de Información

El proceso para esta información puede ser:

- Manual.
- Restitución analógica por medio de estereo-plotters.
- Restitución digital por medio de estero-correlación digital en computadores.

2.3.2 El Modo de llevar a Cabo el Muestreo

Puede ser según un patrón regular:

- Según un patrón progresivo o estratificado, con mayor densidad de muestreo en zonas más complejas.
- Según un muestreo selectivo, a lo largo de líneas.
- Según un modelo compuesto.

2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO

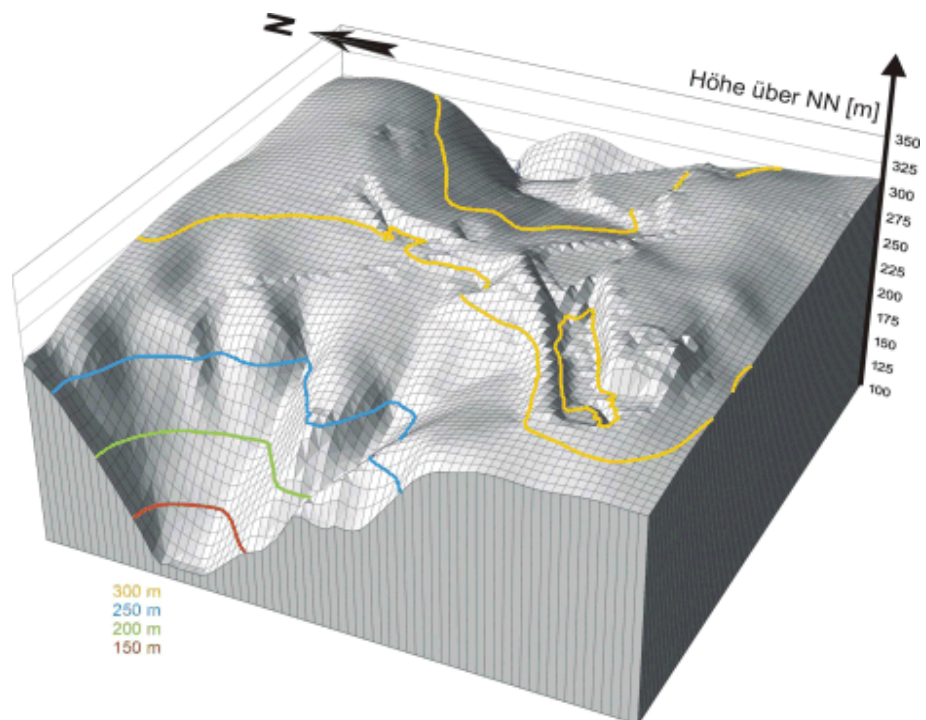


Figura 10 Construcción del Modelo Digital de Terreno

Los MDT son fundamentales para la construcción y evaluación de tierras en áreas montañosas, ya que muestran la elevación de cada celda sobre el nivel del mar, la cual afecta directamente su altitud agro climatológica para varios usos. Del MDT el Sistema de Información Geográfica (SIG) puede calcular el grado de pendiente de cada celda, que es otra variable que por supuesto influye sobre los usos posibles de la tierra además de los factores físicos tales como las tasas de escurrimiento y erosión hídrica. Del MDT el SIG también puede calcular la orientación (el azimut) de cada celda y de ahí la delineación de las cuencas hidrográficas¹⁷.

2.5 RESULTADOS DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO



Figura 11 Resultados de Los Modelos Digitales de Terreno

La era de la informatización nos ha obligado a modificar la concepción actual del mundo de la enseñanza y del procesamiento de los datos, permitiendo de esta manera hacer llegar a otros la posibilidad de elegir entre las variantes tan amplias

¹⁷ David G. Rossiter y Maria Fernanda Rodríguez; Construcción de modelos digitales de terreno para la evaluación de tierras.

que se ofrecen a partir de simples datos como base del resultado de los análisis. (Manual de usuario del Surfer y Help On LINE).

La aplicación de los métodos entre los que se pueden incluir el desarrollo de los MDT y la introducción de los mismos en el proceso de enseñanza. En su concepción básica se puede clasificar en tres tipos por su forma de entrada de los datos para su simulación virtual y funciona bajo el principio (elementalmente hablando) de la aplicación de funciones matemáticas complejas para la conformación de una malla tridimensional del área o territorio que se representa en función de tres ejes matemáticos (X,Y,Z) permitiéndose así la visualización en diferentes ángulos e interactuar con la misma en dependencia de la aplicación para la manipulación del elemento en 3D¹⁸.

¹⁸ Oscar Paz Gómez, Raimundo Márquez Gurri, Oscar Brown Manrique, y Larisa Semionvna Babiy; las maquetas y los modelos tridimensionales como auxiliares didácticos para la enseñanza de la topografía y el riesgo. Mayo 02 Pág. 15

2.6 APLICACIONES DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO



Figura 12 Aplicación de los Modelos Digitales de Terreno

Una de las más representativas aplicaciones de los Modelos Digitales es la parte ambiental, donde sus posibilidades de análisis son amplias y abarcan campos muy diversos.

En primer lugar estarían los que podríamos denominar aspectos topográficos. Así el Modelo Digital nos ayudará a hallar la variación de altitud, la orientación, la pendiente, calculo de perfiles topográficos, etc.

Generando modelos digitales sin límite de puntos de datos utilizando el algoritmo de Delaunay para su composición, permite respetar líneas de ruptura de manera rápida y eficaz.

Entre las aplicaciones de explotación de los modelos digitales están las siguientes:

- Generación automática de curvas de nivel, pudiendo elegir equidistancias, rotulación de curvas y delimitaciones de zonas a curvar.
- Cálculo de cubicaciones, con salida de resultados de las superficies y volúmenes de desmonte y terraplén.
- Cálculo de perfiles, longitudinales y transversales, pudiendo definir taludes laterales y peraltes; permite además calcular la cubicación de la traza y obtener resultados de los perfiles en formato TopCal.
- Proyección de cartografía sobre el modelo digital, para calcular su cota sobre el terreno, o poder comparar entre la cota almacenada en el fichero y la calculada sobre el modelo digital.
- Comprobación de la altimetría de un modelo digital, útil para modelos estereoscópicos de fotogrametría, pudiendo encontrar posibles errores en curvas de nivel o puntos acotados.
- Generación de modelos basados en rejilla regular.
- Generación de mapas hipsométricos.
- Generación de sombreados del terreno.

2.7 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DIGITALES DE TERRENO

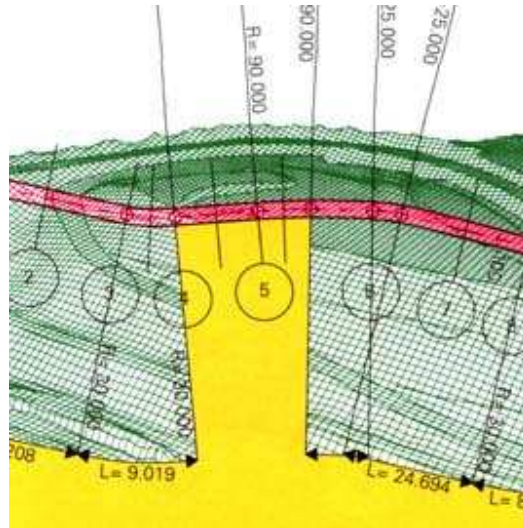


Figura 13 Estructura de los Modelos Digitales de Terreno

La información adquirida, excepto en el caso de la adquisición por métodos sistemáticos de muestreo en mallas regulares y en formato digital, no constituye en si misma un MDT.

La construcción de un MDT implica el paso de los valores de altitud tomados en puntos de muestreo a una estructura continua de datos, proceso que se consigue mediante interpolación, de manera que se estiman valores de altura en puntos donde no se dispone de datos.

Las principales estructuras de datos susceptibles de representar un modelo de terreno en formato digital, y de ser útiles en el análisis del terreno de forma automatizada se resumen en la tabla 1:

Tipo de estructura	Estructura	MDT
Vectorial	Triángulos	Redes Irregulares de Triángulos (TIN)
Raster	Matrices	<i>Matrices regulares:</i> Cotas sobre una malla cuadrada de filas y columnas equidistantes
		<i>Matrices escalables:</i> Cotas sobre submatrices jerárquicas y de resolución variable

Tabla 1 Principales estructuras de modelos digitales de terreno.

2.7.1 TIN (red de triangulo irregulares)

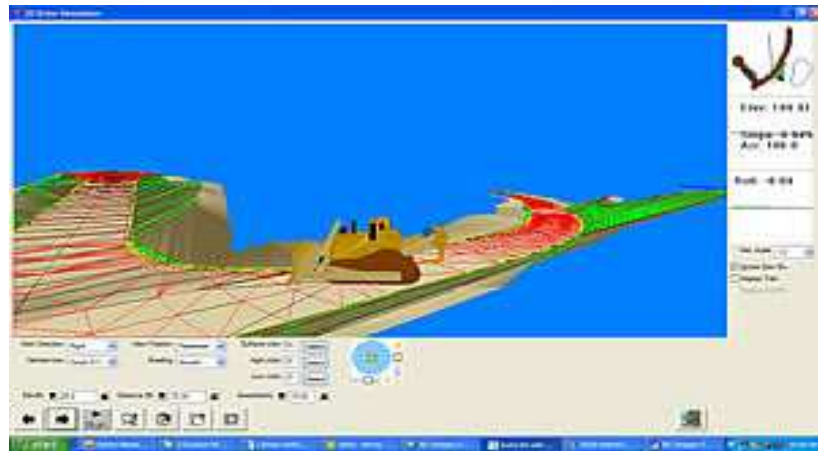


Figura 14 Método TIN

Las redes irregulares de triángulos (TIN) consisten en un conjunto de triángulos irregulares adyacentes y sin solape. Los triángulos se construyen a partir de los puntos de muestreo con coordenadas x , y , z conocidas, de modo que dichos puntos constituyen los vértices de los triángulos.

A cada triángulo se puede asociar un valor de pendientes y de orientación, que es el ángulo que define la dirección del plano del triángulo. Visto en 3 dimensiones, cada triángulo viene a representar una cara de una porción de la superficie terrestre.

Una característica de los TIN es que el tamaño de los triángulos se puede ajustar a la complejidad del terreno, de modo que los triángulos serán más pequeños en zonas con mayor variación de relieve, y más grandes en zonas con menor variación. Esto hace que el número de datos que se deben almacenar sea más reducido¹⁹.

2.7.2 Elementos del TIN

El modelo de información TIN está compuesto de los nodos, bordes, triángulos y topología:

Nodos: Son fundamentales para la construcción de bloques en el TIN, los nodos son originados por los puntos y son vértices contenidos en las fuentes de datos de entrada. Cada nodo es incorporado en la triangulación TIN, cada nodo en la superficie del modelo TIN tiene un valor en la variable Z.

Bordes: Cada nodo es unido con sus vecinos cercanos para formar triángulos que satisfagan el criterio de Delaunay. Cada borde tiene dos nodos, pero un nodo puede tener dos o más bordes porque los nodos tienen un valor de Z, esto es posible para calcular la pendiente de la ladera el borde desde un nodo hacia el otro.

¹⁹ José Antonio Martínez Casasnovas: Estructuras de datos y aplicaciones en análisis de formas del terreno y en edafología. (junio 1999; Pág. 55).

Triángulos: Cada cara del triángulo describe el comportamiento de una porción de la superficie TIN. Los valores de las coordenadas X, Y, Z de un triángulo, tres nodos lo pueden usar para derivar información acerca de las caras, como la ladera, aspectos, área de superficie y longitud de la superficie. Considerando el conjunto entero de triángulos como uno solo, esto es posible para derivar información adicional acerca del volumen, perfiles de la superficie, visibilidad, análisis y vistas de la superficie.

Porque cada cara resume la información de la superficie, esto es importante para asegurar que los puntos probados son aceptables para encontrar la mejor superficie posible. El modelo TIN puede tener resultados pésimos si una importante región de la superficie está por debajo de la muestra.

Topología: La estructura topológica de TIN se define manteniendo información que define cada nodo del triángulo, número de bordes y el tipo, adyacentes a otros triángulos. Para cada triángulo, los registros de TIN son:

- El número del triángulo.
- El número del triángulo adyacente.
- Los tres nodos que definen el triángulo.
- Las coordenadas (X, Y) de cada nodo.
- El valor de la superficie Z en cada nodo.

2.8 **MODELOS DE MALLAS REGULARES**

Los modelos basados en estructuras regulares se construyen superponiendo una retícula sobre el terreno y extrayendo la altura media de cada celda. Normalmente, la retícula es una red regular de malla cuadrada, siendo la localización espacial de cada dato determinado de forma explícita en su situación en la matriz.

La matriz vendrá simplemente definida por un origen y un valor de intervalo entre filas y columnas. Al estar los datos estructurados en una malla, la relación topológica entre ellos está en la propia definición de esta, implicando una falta de flexibilidad en el modelo; presenta la ventaja de ser una estructura muy simple, en general, la relación costo- precisión no es buena, excepto en terrenos uniformes. Las principales aplicaciones de este tipo de modelo residen en el área de la fotogrametría digital, donde se aplican a procesos automáticos de rectificación diferencial para obtener ortofotografías.

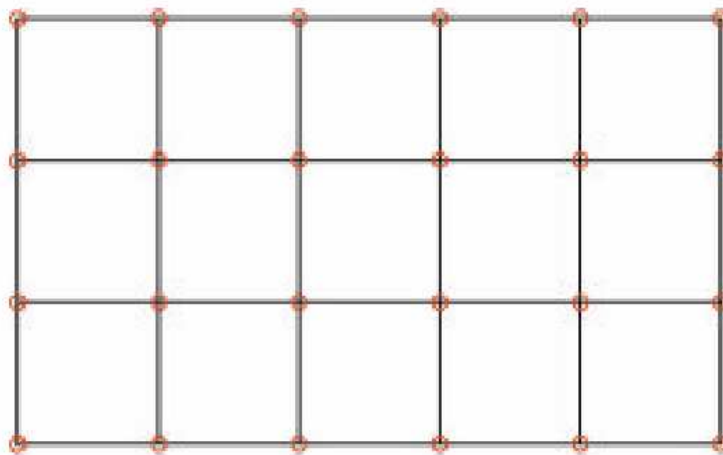


Figura 15 Ejemplo de una malla cuadrada

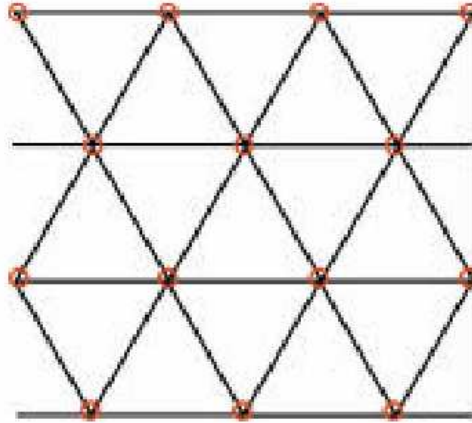


Figura 16 Ejemplo de una malla triangular

2.9 ELEMENTOS IMPORTANTES PARA UN MODELO DIGITAL DE TERRENO

Los elementos necesarios para la construcción de un Modelo Digital de Terreno son importantes para la definición altimétrica de una zona. Así, se podrán incorporar curvas de nivel, puntos acotados y datos auxiliares de diversos tipos.

En general, las entidades pueden ser:

- Curvas de nivel.
- Puntos acotados singulares: cumbres de picos, collados, fondos de depresiones, etc.
- Líneas de ruptura (Breaklines), que definen la posición de elementos lineales sin valores de altitud explícitos que rompen la continuidad de la superficie.

- Zonas de altitud constante: polígonos que encierran una superficie de altitud única, por ejemplo, lagos.
- Líneas que definen los límites externos del MDT o zonas donde no se desea tener información, por ejemplo, zonas inhibidas o anegadas²⁰.

2.10 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

El nombre de modelo digital de elevación o MDE implica una representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos, generalmente esta representación es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno. Consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas referenciadas a un sistema de coordenadas bidimensionales, a las que se les asocia un valor de elevación.

En otras palabras, un modelo digital de elevación es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la elevación. Se ha convenido que los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, de acuerdo con un patrón que corresponde a una cuadrícula.

El nombre de modelo digital de elevación, crea la idea automática de que necesariamente el grupo de valores numéricos deba visualizarse como un "modelo" de tercera dimensión cuando se usa un equipo de cómputo. Tal grupo de valores numéricos puede ser conceptualizado como un arreglo matricial o tabular de los valores de "X", "Y" y "Z" para cada punto. Para una mejor idea de esto, la

²⁰ FELICISIMO Ángel. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. Oviedo: Pentalfa. 1994

siguiente es una manera de representar como texto los valores numéricos. Como lo muestra la tabla 2:

X	Y	Z
277800	2178550	1996
277800	2178500	1995
277800	2178450	1993
277800	2178400	1992
277800	2178350	1991
277800	2178300	1990
277800	2178250	1990
.....
277850	2178550	1996
277850	2178500	2000
277850	2178450	2007

Tabla 2 Representación cómo texto de los valores numéricos.

2.11 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

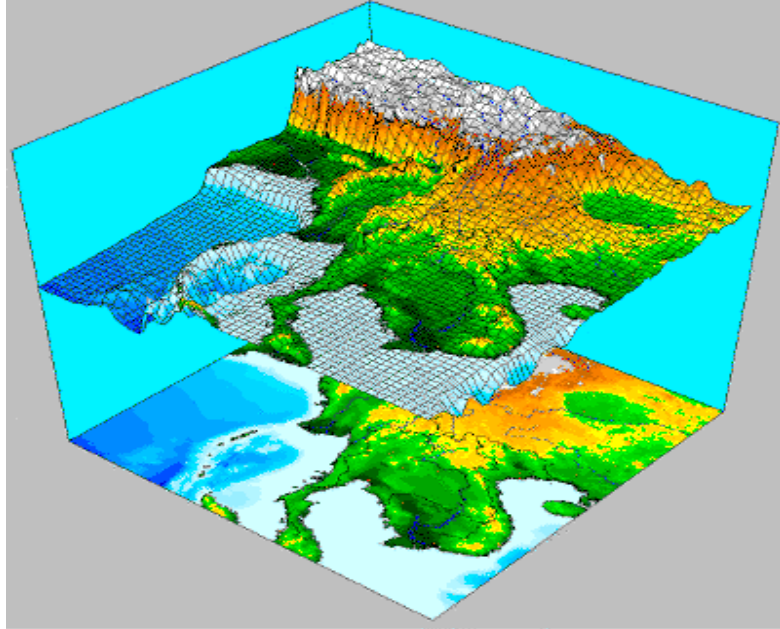


Figura 17 Estructura de los Modelos Digitales de Elevación

La unidad básica de información en un MDE es un punto acotado, definido como una terna compuesta por un valor de altitud, z , al que acompañan los valores correspondientes de x e y .

Las variantes aparecen cuando estos datos elementales se organizan en estructuras que representan las relaciones espaciales y topológicas.

Mientras que los mapas impresos usan casi exclusivamente una única convención — las curvas de nivel— para la representación de la superficie del terreno, en los MDE se han utilizado alternativas algo más variadas.

Históricamente, las estructuras de datos en los sistemas de información geográfica y, por extensión, en los modelos digitales del terreno, se han dividido en dos modelos de datos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster.

El Modelo de Datos Vectorial está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

El Modelo de Datos Raster está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

En el modelo vectorial los atributos del terreno se representan mediante puntos acotados, líneas o polígonos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de altitud, las líneas mediante un vector de puntos — de altitud única o no— y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

En el modelo raster, los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada.

Dentro de estos dos modelos básicos, son posibles diversas variantes de organización de la información, denominadas estructuras de datos. La práctica y el tiempo han reducido las potenciales variantes de a unas pocas; las más utilizadas son una estructura vectorial: la red irregular de triángulos — **TIN**, triangulated irregular network— y una estructura raster: la matriz regular.

Modelo Vectorial: Red de Triángulos Irregulares (TIN).

Esta estructura de datos se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados y que suele identificarse por las siglas de su denominación inglesa: triangulated irregular network, TIN. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve.

Modelo Raster: Matriz Regular

Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda. La retícula adopta normalmente la forma de una red regular de malla cuadrada. En esta estructura, la localización espacial de cada dato está determinada de forma implícita por su situación en la matriz, una vez definidos el origen y el valor del intervalo entre filas y columnas.

2.11.1 Ventajas y Desventajas de los Modelos Raster y Vectorial

En los últimos años la mayor parte de los SIG comerciales han ido integrando en sus programas los módulos adecuados para poder utilizar las mejores cualidades de cada uno de los modelos. A pesar de esto, aún, muchos usuarios de SIG se plantean este dilema en el momento de adquirir un software concreto.

- **Estructura de Datos:** Por un lado la estructura raster es más simple y por tanto más sencilla de comprender pero por otro lado la vectorial es más compacta y permite unas capacidades de análisis mayores.

- **Introducción de Datos:** De igual modo cada una adquiere diferente dificultad en función del origen de los datos. El modelo raster admite mejor la información procedente de las imágenes satélites o la información adquirida a través de un barreador digital. Por otro lado la información de pantalla o la recogida a partir de mesas digitalizadoras se adaptan mejor al modelo vectorial. La introducción directa alfanumérica es mucho más pesada en el modelo raster.
- **Almacenamiento:** A pesar de las mejoras alcanzadas en el modelo raster, sus necesidades de espacio de almacenamiento son mayores que para el vectorial. A un mismo número de entidades geográficas el espacio ocupado por la información raster puede doblar a la vectorial. Debido a ello la operatividad y versatilidad de los programas vectoriales es bastante mayor.
- **Gestión de Datos:** En el modelo vectorial las características de las entidades pueden ser consultadas como objeto individual o en conjunto. En el raster sólo se pueden consultar las características de cada celdilla y no las entidades en su conjunto.
- **Representación Topológica.** En el raster, a veces, algunas relaciones topológicas son difíciles de representar mientras que el vectorial genera una codificación eficiente de la topología.
- **Integración de Imágenes Satélites.** El formato en bit de las imágenes satélites hace más eficiente al raster a la hora de integrar estas imágenes como información geográfica y su facilita el análisis posterior.

- **Análisis de Redes.** Como ya se expuso anteriormente el modelo vectorial es más eficaz a la hora de asumir algunas de las relaciones topológicas y por ello esta estructura es la más adecuada para trabajar en el análisis de redes.
- **Análisis Poligonal.** Por el contrario la regularidad de la celdilla del modelo raster favorece el análisis poligonal. Por ejemplo la superposición de mapas es una tarea que cumplen con mayor rigor los programas cuyo modelo es el raster.
- **Análisis Estadístico.** La estructura raster facilita en alguna medida el análisis estadístico y gráfico, sobre todo el poligonal.
- **Salida Cartográfica.** Parece consensuado que las capacidades de salida cartográfica son mayores en los programas vectoriales que en los raster. Los mapas generados por formatos vectoriales se asemejan en gran medida a los realizados manualmente.

2.12 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

La captura de la información hipsométrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDE, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos. Se trata de una fase de gran trascendencia porque la calidad de los datos es el principal factor limitante para los tratamientos que se realicen posteriormente.

Los métodos básicos para conseguir los datos de altitudes pueden dividirse en dos grupos: directos cuando las medidas se realizan directamente sobre el terreno

real, e indirectos cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente²¹.

2.13 APLICACIÓN DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

La utilización de los Modelos Digitales de Elevación, permite una visión integral de la distribución de las diversas geoformas y sistemas de fracturamiento/fallamiento que configuran el paisaje de nuestro país.

La congruencia con el formato cartográfico, ofrece la posibilidad de un análisis comparativo directo entre los fenómenos cartografiados y la realidad detectada en los sombreados.

Esta cualidad permite que las imágenes se conviertan en insumos de primera importancia para una gran variedad de paquetes y programas de cómputo, capaces de efectuar con ellas operaciones tales como²²:

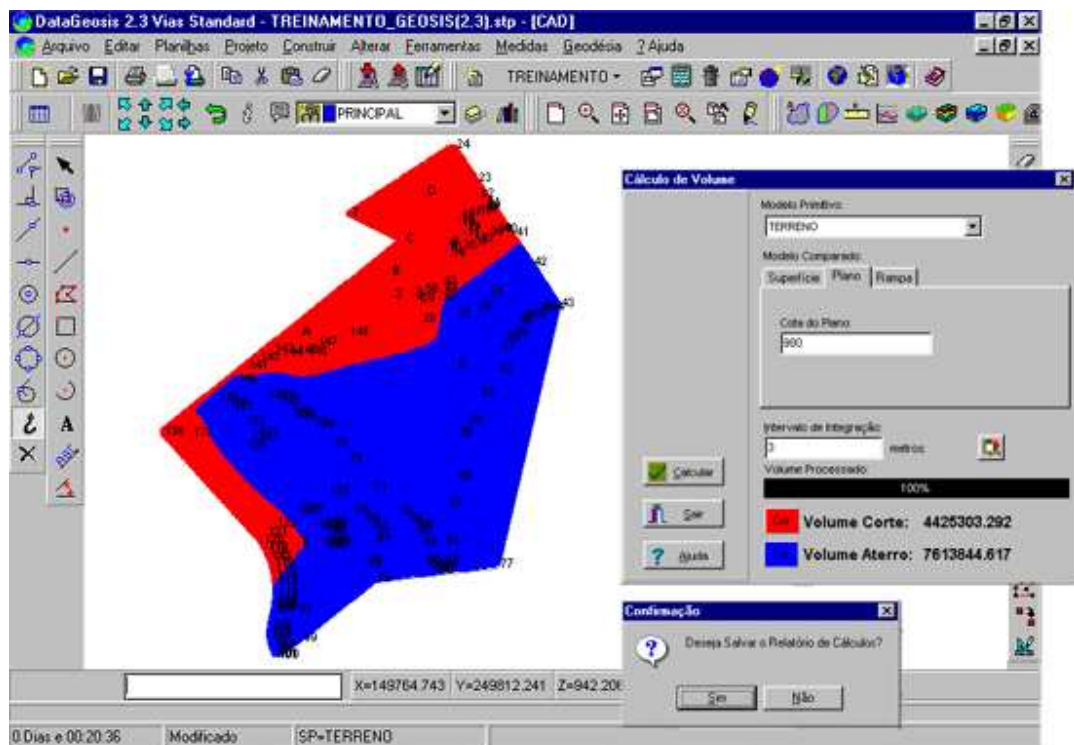
- Combinarlas con otros datos digitales georreferidos, provenientes de múltiples fuentes.
- Realizar representaciones graficas diversas.
- Posibilidades para graficar cualquier mapa del conjunto o alguna región de interés específico.

²¹ Ángel Manuel Felicísimo; La utilización de los MDT en los estudios del medio físico; (abril 1999; Pág. 2 y 3).

²² Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Información (INEGI); Sombreados de los modelos digitales de elevación. México 2006.



MODELAJE NUMÉRICO DE TERRENO



3 MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

3.1 RESEÑA HISTÓRICA

Sus primeros usos se remontan a los años 50 con Miller y La Flamme, dos ingenieros americanos que los utilizaban para definir secciones del terreno.

Posteriormente existen hechos que han influido en la evolución de los SIG y, por consiguiente, en la evolución de los (MNT), algunos de estos hechos son:

- 1959: Inicio de la cartografía asistida por computador.
- Años 80, trabajos en US Geological Survey, estandarizan la información en un modelo digital de elevaciones para EEUU en un formato matricial.
- La llegada de computadores potentes ha aportado rapidez y precisión en los cálculos numéricos.
- El posicionamiento satelital (GPS) y la Teledetección han mejorado la adquisición y la calidad de los datos de terreno.

La definición de (MNT) coincide entre los diversos autores, entre ellas, se puede mencionar algunas como:

MNT: Para Miller y Laflamme,(1958) es una “Representación estadística de la superficie continua del suelo, para un gran número de puntos conocidos elegidos en X,Y y Z en un sistema de coordenadas arbitrario”.

MNT: Según Geuzaine, 1997, es una “Representación numérica tridimensional de una porción de la superficie terrestre”.

MDT: Según Felicísimo 1994, es una “Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua”.

Dentro de este trabajo se considera la definición realizada por parte de Miller y Laflamme, como la definición más representativa.

3.2 TIPOS DE MODELOS NUMÉRICOS

Existen distintos tipos de modelos numéricos: (MNT) o modelos numéricos de terreno, considerado como su nombre genérico (Felicísimo, 1994), (MNS) o modelos numéricos de superficie y (MNA) o (MDE) llamados modelos numéricos de altitud o modelos digitales de elevación. Su diferencia radica principalmente en las derivaciones obtenidas a partir de ellos, aunque las variables que se utilizan en cada uno son las mismas.

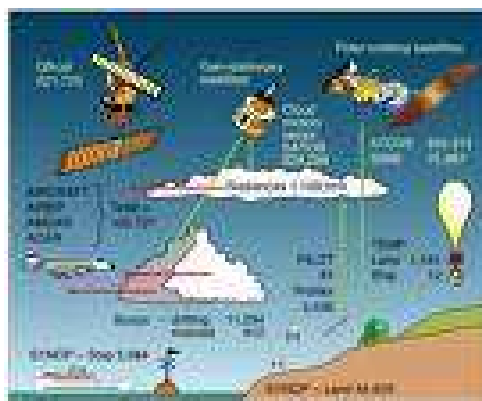


Figura 18 Tipos De Modelos Numéricos

3.2.1 Etapas de Producción

Para producir un MNT se puede distinguir varias etapas, estas son: Generación, Manipulación, Visualización e Interpretación, además de sus distintas aplicaciones.

3.2.2 Generación

La generación de un MNT, implica el muestreo de datos y la formación de relaciones entre ellos para su representación. Para adquirir dichos datos existen diversas fuentes como: documentos cartográficos convencionales con topografía, cartografía, fotogrametría y teledetección.

La elección del método de muestreo está determinada por la resolución y precisión deseada versus el costo de dicha elección. Además, la calidad del MNT dependerá del método de muestreo elegido y de la calidad de los elementos utilizados en él.

Para representar un MNT se puede utilizar: Curvas de nivel, Grillas o TIN. Las curvas de nivel son las más fáciles de obtener y su precisión depende de la fuente de datos, en donde de acuerdo a la equidistancia existente entre ellas puede perderse información.

Las Grillas son mallas cuadradas o rectangulares, en donde el valor de altitud se atribuye a un nodo. Es la estructura más fácil de manipular y se puede determinar rápidamente en qué lugar cae un punto cualquiera. Se caracteriza por describir todo el terreno con la misma densidad de información.

Los TIN, corresponden a una malla triangular, que tienen la ventaja de poder ajustar el tamaño de los triángulos según los detalles del terreno, y la densidad de puntos puede variar según la pendiente. Presenta una estructura más compleja y su manipulación es también compleja. Están formados por nodos, triángulos y sus bordes.

3.3 MANIPULACIÓN

La manipulación consiste en la modificación o refinamiento y obtención de modelos intermedios. Incluye:

Edición: Implica añadir, eliminar, corregir errores o modificar los puntos.

Filtraje: Implica el alisado y mejora de la calidad del modelo. Eliminar ciertos detalles y aplanar la superficie del modelo.

Integración: Implica fusionar datos para cubrir sectores más grandes. (Requiere precisión y coherencia)

Conversión: Implica convertir entre diferentes estructuras de datos (grilla a TIN o viceversa) o cambiar la resolución.

3.3.1 Visualización

Existen varias formas de visualización de un (MNT):

Visualización Tradicional: Se proyectan verticalmente los elementos representativos sobre un plano, las curvas de nivel son la forma más común. (2D)

Visualización por Método Hillshading (sombreamiento): Se usa iluminación de la superficie por una fuente de luminosidad hipotética. (3D)

Según Geuzaine, 1997, las formas de visualización son:

Visualización Ortográfica: Aquí se encuentra la representación de las curvas de nivel, rangos de sombra o sombra proyectada (que usa el principio de aclaraje o iluminación del modelo), y la combinación de otros datos 2D (imágenes satelitales, datos temáticos, ortofotografías, etc.).

Visualización en Perspectiva: Que entrega mejores resultados, pero debe resolver el problema de proyección de una superficie tridimensional en un medio 2D y eliminar elementos ocultos. (3D)

3.4 APLICACIONES

Hoy en día los MNT se aplican en distintos campos de estudio, por ejemplo:

Topografía: Para cálculo de terraplenes, construcción de rutas, vías férreas, cálculo volumétrico, modelos de estructuras particulares, etc.

Ciencias de la Tierra: Para producción de modelos de fondos marinos, estudio de redes de drenaje, cuencas, cartografía geológica, mapas de pendiente y orientación.

Aplicaciones Militares: Principales productores y utilizadores de (MNT), para conocer el terreno, determinar posición óptima de radares y equipos, optimizar desplazamientos, simulación de combate, etc.

Gestión de Recursos Naturales: Clasificación e interpretación, inventarios de recursos, etc.

En general, en cualquier área que se utilicen permitirán: Medir, planificar, analizar terreno, visualizar, simular y tomar decisiones.

En el presente estudio su aplicación está orientada al ámbito forestal, a través del análisis de las variables derivadas: exposición y pendiente, utilizando simulación.

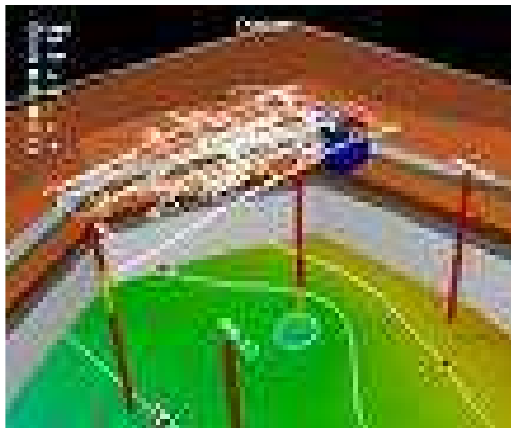


Figura 19 Aplicaciones

3.5 EL MODELAJE NUMÉRICO DEL TERRENO

La generación y análisis de arreglos numéricos que representan las irregularidades de la superficie de la tierra, en un conjunto de técnicas conocidas como modelaje numérico del terreno, se perfila como un elemento crucial en la comprensión de los espacios geográficos. Así, los modelos del terreno revelan, en primera instancia, la disposición general del relieve en un territorio dado. Pueden,

asimismo, revelarse la disponibilidad de espacio por niveles altitudinales, la disponibilidad de espacios según rango de pendiente y la disponibilidad de espacios por orientación de vertientes. Las potencialidades y restricciones a la ocupación humana vinculadas a estos aspectos (expansión de áreas urbanas, expansión de espacios agrícolas, conexiones viales etc.) son susceptibles de valoración y análisis.

Los modelos numéricos de terreno MNT, modelos digitales de terreno MDT o modelos digitales de elevación MDE son descripciones objetivas y computarizadas de la superficie terrestre, las mismas ofrecen por lo tanto un potencial para la evaluación cuantitativa y computarizada de los recursos de la tierra.

La mayoría de los MNT se generan por varios métodos digitales: mediante la conversión de curvas de nivel de mapas topográficos por el método fotogramétrico o teledetección, o bien, por topografía clásica.

Para el caso de MNT derivados de curvas de nivel vectorizadas, la exactitud depende de su origen así como los procedimientos empleados para la vectorización. La vectorización con software seguidor de línea para curvas de nivel en formato "raster" obtenidas de positivos fotomecánicos dará mayor exactitud que la digitalización con tableta a partir de mapas impresos en papel.

Un modelo numérico de terreno MNT, es una representación matemática de la distribución espacial de una determinada característica vinculada a una superficie real. La superficie es en general continua y el fenómeno que representa puede ser variado. Entre algunos usos del MNT se pueden citar (Burrough, 1986):

- a. Almacenamiento de datos de altimetría para crear mapas topográficos

- b. Análisis de corte y lleno para el trazado de carreteras y diques

- c. Elaboración de mapas de pendiente como apoyo al análisis de la geomorfología y de la erosión

- d. Análisis de variables geofísicas y geoquímicas

- e. Presentación tridimensional (en combinación con otras variables).

Para la representación de una superficie real en la computadora es indispensable la elaboración y creación de un modelo digital, que puede estar representado por ecuaciones analíticas o por una red (retícula) de puntos, de tal modo que transmita al usuario las características espaciales del terreno. Un MNT es creado en la manera de una retícula de puntos regulares e irregulares.

La creación de un modelo numérico de terreno corresponde a una nueva manera de enfocar el problema de la elaboración e implantación de proyectos.

A partir de los modelos (retículas) se pueden calcular directamente volúmenes, áreas, visualizar perfiles y secciones transversales, generar imágenes sombreadas o en niveles de gris, generar mapas de declividad y aspecto, dividir en intervalos deseados y para tener perspectivas tridimensionales.

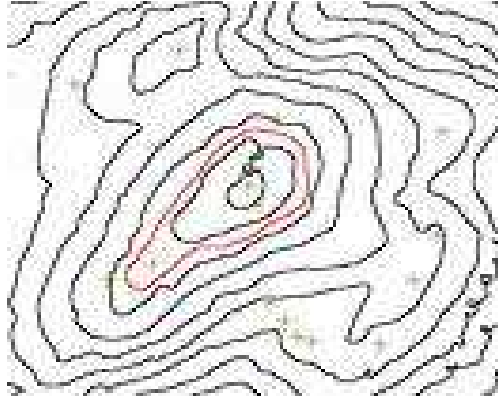


Figura 20 Modelaje Numérico De Terreno

3.6 MUESTREO POR PUNTOS

De acuerdo con el tipo de adquisición existen distintas distribuciones de muestras, como puede observarse en las figuras siguientes:

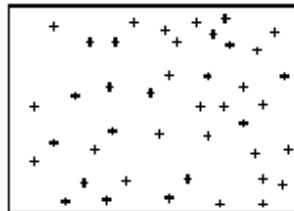


Figura 21 Totalmente Irregular

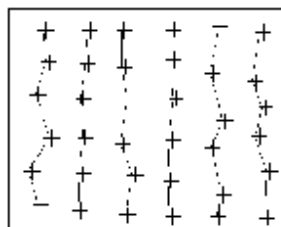


Figura 22 Aerolevantamiento

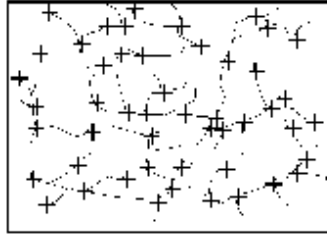


Figura 23 A partir del Drenaje

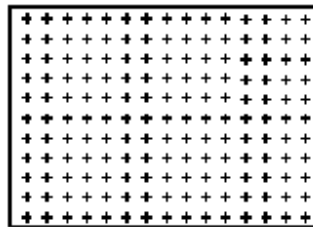


Figura 24 Regular

El cuidado en la elección de los puntos y la cantidad de datos muestreados están directamente relacionados con la calidad del producto final de una aplicación sobre el modelo. Para aquellas aplicaciones en las que se requiere un grado de realismo mayor, la cantidad de puntos muestreados, como también el cuidado en la elección de esos puntos, o sea, la calidad de los datos, es decisiva. Cuanto mayor sea la cantidad de puntos representantes de la superficie real, mayor será el esfuerzo computacional para que estos sean almacenados, recuperados y procesados, hasta alcanzar el producto final de la aplicación.

Los modelos digitales del terreno MDT son representaciones de la distribución espacial que presenta una cualidad, natural o no, en un formato numérico de datos susceptible de ser tratado mediante ordenador. Esa cualidad o variable debe ser cuantitativa y continua, pudiendo ser de diversa naturaleza, aunque la más

frecuente es la elevación o cota de los puntos sobre un nivel de referencia, denominándose en este caso modelos digitales de elevación del terreno MDE.

Las diversas posibilidades que ofrece la cartografía analítica permiten explotar estos MDE para obtener información cuantitativa y cualitativa de gran interés, siendo ampliamente utilizados en análisis hidrológicos, gestión de recursos naturales, planificación de transportes, determinación del impacto ambiental de una actividad, cálculo del riesgo de inundaciones en zonas urbanas, aplicaciones militares, análisis de la erosión potencial del suelo agrícola.

Para conseguir un buen MDE necesitamos tratar de una manera especial dos fases bien diferenciadas. Por una parte el método de adquisición de puntos muestrales que, en general, dependerá de la escala del modelo real y de la densidad muestral requerida.

En segundo lugar debemos ser cuidadosos con la selección del método de interpolación empleado para rellenar la malla de puntos iniciales, puede incidir sensiblemente en la calidad del MDE generado. Aunque se pueden encontrar en literatura revisiones muy completas sobre los diferentes métodos de interpolación existentes, son menos abundantes los trabajos relacionados con la eficacia de los interpoladores aplicados a un mismo conjunto de datos, pudiendo destacar.

Por otra parte, tal y como se indica en la morfología de la superficie modelizada y la densidad muestral empleada pueden influir notablemente en la precisión del MDE correspondiente. De hecho, algunas variables derivadas de la morfología como la pendiente media del terreno parecen estar correlacionadas positivamente con el incremento del EMC (Error Medio Cuadrático) de la superficie modelizada.

El objetivo de esta comunicación es evaluar, desde un punto de vista exclusivamente estadístico, la influencia en la calidad del MDE generado de las siguientes variables: morfología de la superficie topográfica original, método de interpolación empleado para el relleno de la malla original y densidad de la propia malla original.

3.7 MUESTREO EN TOPOGRAFÍA CLÁSICA

Muestreo Aleatorio Simple (Totalmente Irregular)

Es el método más directo, que consiste en relevar (observar-censar-levantar) puntos al azar. (Ver Figura 21)

Pero al no disponerse de un marco que encierre nuestro trabajo, es muy frecuente tomar puntos fuera de la zona, o no llegar hasta los límites, o quedar muy desplazado con la nube de puntos observados. Como tampoco es fácil ubicarse en el terreno, es bastante común que el observador deje muchos puntos sin levantar, y a su vez que concentre los puntos observados en un sector. Especialmente cuando el terreno no está limpio sino que está cubierto de monte. En los vacíos, no existe información, como tampoco datos que reflejen la forma del relieve del terreno. A su vez existen zonas en que hay una mayor concentración de puntos.

Métodos de Levantamiento Lineal (Perfilometría)

En lugar de generar un modelo digital a partir de un levantamiento superficial, se hace una planimetría general abarcando el ancho de la faja de estudio, (es decir la zona de ocupación de la futura obra), representando en la misma la información a transmitir; Mientras que el relieve del terreno se presenta en planos verticales, dibujando perfiles en coincidencia con la dirección longitudinal del futuro trazado y perfiles transversales perpendiculares al mismo.

Suele ser de uso frecuente, en algunos levantamientos superficiales, además de representar el relieve curvas de nivel, agregar perfiles como complemento y para una mejor visualización de los cambios de pendientes.

Es común también, realizar dibujos de perfiles a partir de curvas de nivel, estos pueden ser de gran ayuda en la descripción y explicación de las formas del terreno.

Hemos definido el perfil: Como la intersección de un plano vertical, con la superficie del terreno, es decir se trata de una línea quebrada.

Muestreo Estratificado (Drenaje Colectoras y Partidoras)

Los objetos a ser representados, o censados; se agrupan por sectores o clases (estratos), tomando en cuenta las características mas relevantes. La gran virtud de este método, es que la generación queda acotada o encerrada dentro del entorno de los límites que fijamos.

Esta claro que éste método, a diferencia de los anteriores, requiere de una considerable información previa sobre el objeto a estudiar.

En los levantamientos topográficos, la información previa requerida consiste, en la recopilación de documentos gráficos y literales que existan como antecedentes, pero fundamentalmente importante resulta la vista al terreno, a fin de realizar un minucioso reconocimiento del mismo, y la confección del croquis.

En primer lugar, separamos las zonas altas (sectores muy movidos), de los valles y la zona llana (sectores donde la variación de la pendiente es prácticamente uniforme). A su vez, en las zonas altas identificamos las partidoras (divisoras de agua) principales, luego las secundarias, las ramificaciones, las sillas, las partes bajas de las lomas, las cimas de las grandes pendientes y de los taludes, etc.

* En los valles:

Primero las colectoras principales de agua (ríos, arroyos) y luego las colectoras secundarias (cursos de agua temporarios). El pié de las grandes pendientes y de los taludes, los puntos más elevados de los valles y de las depresiones cerradas.

* En las zonas que la variación de la pendiente es muy uniforme o suavemente ondulada, definimos los límites que la encierran.

Sabemos que las curvas de nivel son perpendiculares a las líneas de máximo escurrimiento de las aguas, y también son a las partidoras y colectoras, de tal modo que identificando claramente estas líneas divisoras en el terreno y en el croquis, habremos ya dado un valioso paso en la identificación de la forma del terreno. (Ver Figura 23)

Estas líneas croquizadas, serán las que separarán las áreas de trabajo y serán muy útiles a la hora de confeccionar el plano con curvas de nivel, y el modelo digital, de elevaciones (línea de rotura, líneas de inclusión, etc), ya que sabemos que en toda interpolación de altura, no pueden adoptarse puntos separados por una línea divisora.

3.8 MUESTREO SISTEMÁTICO (REGULAR CUADRICULA)

La región a observar, se divide en unidades de igual superficie y se toma un muestreo a intervalo regulares. Esta forma de proceder, es generalmente el más usado y quizás sea unos de los métodos más antiguos de los cambios topográficos en obras, a éste método de muestreo, en la jerga de obra, se le conoce con el nombre de “cuadrícula”.

Si lo que se busca es la construcción de un modelo que se ajuste lo mas posible a la realidad, este método tampoco es fiable, ya que deja muchos espacios sin información (en el interior de la cuadrícula).

Una solución sería, reduciendo el tamaño de la cuadrícula, pero esto trae unido un mayor aumento para solucionar este problema, los proyectistas recomiendan a sus topógrafos densificar de trabajo y por consiguiente de tiempo y costos. Téngase presente, que muchas veces que se encarga un levantamiento, la tarea consiste en el relevamiento de una zona virgen, cubierta de monte y malezas. Replantear y demarcar en el terreno estas cuadrículas, implica la apertura de costosas trochas.

Por el contrario, cuando el terreno es prácticamente llano y está limpio, el MDT generados es excelente ya que la forma de los triángulos es uniforme y la malla resultante es la óptima.

Este método es muy sencillo por que no requiere conocer coordenadas ni trigonometría, ni cálculos matemáticos complicados, solo es necesario saber replantear un ángulo de 90° y conocer elementos de nivelación diferencial.

Para el replanteo de la malla, se colocan estacas numeradas, alineadas con un teodolito o estación total a distancia constante medidas con cinta (por ejemplo: cada 50 m). Luego, estacionándonos en cada uno de estos piquetes, levantamos 90° respecto al eje y repetimos el piqueteo, a la misma distancia, no olvidándose enumerar las estacas.

Cuando el terreno es llano o suavemente ondulado, los vértices de cada cuadrado son nivelados, tomando lectura de varios de ellos desde una sola estación de nivel. Si el terreno es muy quebrado, o se encuentra cubierto de malezas o monte, se nivela línea por línea, como si fuesen perfiles transversales.

Este método, es el más utilizado por la topografía tradicional dada su extrema sencillez, ya que como se sabe no requiere de cálculos complicados, solo simples sumas y restas, y brinda puntos uniformemente distribuidos sobre toda la superficie a representar. Sin embargo, al generalizar para obtener curvas de nivel, o para construir un modelo digital de elevaciones, se pueden cometer errores groseros²³.

²³ Armando Del Bianco; Topometría y Microgeodesia; 2001 PAG 159-165

3.9 ANÁLISIS DE CURVAS DE NIVEL

El análisis de curva de nivel es un mecanismo para comparar dos superficies, para determinar la profundidad y la distribución de materiales. También proporciona un mecanismo inestimable en este caso para determinar la línea de intersección entre dos superficies.

Utilizado originalmente en geología y minería, una curva de nivel o un contorno grueso puede ser derivado fácilmente sobreponiendo dos dibujos del contorno. El contorno de curvas de nivel es una línea de profundidad idéntica derivada, ensamblando puntos en las intersecciones de los contornos que son la misma distancia en la elevación aparte.

Una triangulación de curvas de nivel es un modelo TIN creado y triangulado por puntos en X, Y dZ, donde dZ es la diferencia de la altura entre las dos superficies bajo análisis en el punto X, Y. La opción de puntos a triangular en tal análisis es obviamente fundamental e importante y varía extensamente entre los programas:

* En el más simple de los niveles podemos tomar todos los puntos a partir de uno o ambos modelos y calcular un modelo de curvas de nivel de diferente altura en estas posiciones. El modelo resultante será del tamaño de la suma de los dos modelos introducidos. Este no arroja resultados muy exactos cuando hay cambios significativos en los valores de ambos modelos introducidos, pues lenta la introducción del modelo de curvas de nivel, la salida de estos modelos es rápida.

* Un segundo y más satisfactorio método, es utilizar todos los puntos de la entrada y, además de esto, para incluir con rapidez bases de datos en ambos modelos de la entrada. Así, donde quiera que una restricción lineal o una línea de quiebre

ocurra en cualquier modelo, se utiliza para formar una sección a través del otro modelo y una restricción se agrega a la curva de nivel basado en la diferencia, en la elevación entre la línea de quiebre original y la sección derivada. Este acercamiento resuelve satisfactoriamente cualquier cambio de grado descrito por líneas de quiebre en cualquier modelo aunque aumentara perceptiblemente el tamaño del modelo resultante de la curva de nivel.

* Un final más exacto del método, es tratar cada borde del triangulo en ambos modelos como restricciones según lo descrito arriba. La curva de nivel resultante modela finalmente cada cambio del grado en ambas superficies sin importar si está o no descrito por una línea de quiebre, es decir ninguna pérdida de exactitud ocurrirá con el análisis de la curva de nivel. Este método también crea el modelo más grande de la salida, dónde estará cuatro veces el modelo final de la salida típicamente del tamaño de la suma de los modelos de entrada.

Según lo mencionado, el modelo de la superficie es un modelo que describe la diferencia de altura, el grueso, entre las superficies, y los contornos de las curvas de nivel son líneas del grueso igual del material entre esas superficies. Así, el contorno de 1 m en el modelo de las curvas de nivel indicaría una línea donde estamos en corte en una profundidad de 1 m y el contorno de 1m indicaría 1 m del terraplén.

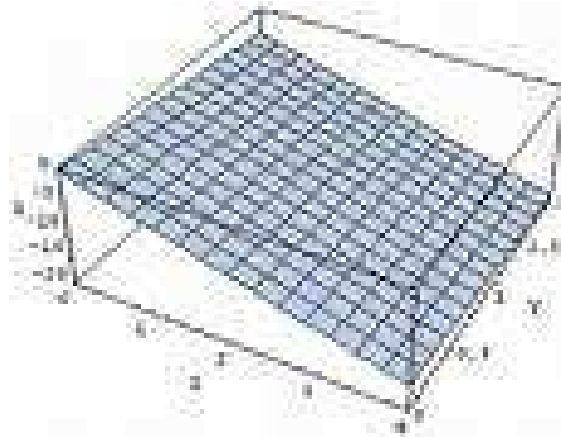


Figura 25 Análisis de curvas de nivel

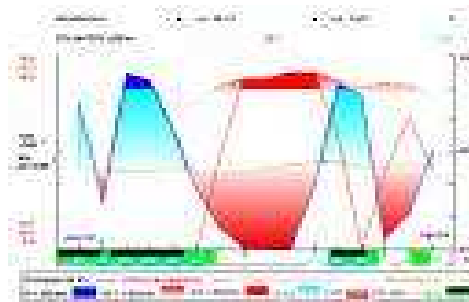


Figura 26 Análisis de curvas de nivel

3.10 MODELOS EXISTENTES

El modelo topográfico generalmente es desarrollado utilizando medidas fotogramétricas. Debido a limitaciones intrínsecas de la exactitud, por ejemplo la altura del vuelo, etc, es siempre recomendable ajustar estos datos con una información de nivelación más exacta recopilada durante la etapa de la investigación del sitio. Estas elevaciones de tierra bien espaciadas de la perforación se pueden utilizar globalmente para corregir las elevaciones de las medidas fotogramétricas y producir un modelo superficial topográfico final.

Los modelos geológicos del sitio son desarrollados generalmente por ingenieros geólogos o geotécnicos reporte basado en la interpretación y el análisis de la información del sitio de investigación. Esto proporciona los modelos para todas las superficies geofísicas, ejemplo sobrecargas, arcillas, rocas, etc.

3.11 MODELOS DE DISEÑO

Los modelos de diseño incluyen generalmente una base del diseño de superficie y una superficie de restauración. El diseño base incluye el alcantarillado, cuestas del diseño, muros de contención, las vías de acceso periféricas, y la disposición de la célula y de la fase. Estos modelos de diseño se pueden generar directamente en el paquete que modela superficies, generando conjuntamente con un paquete del CAD (Diseño Asistido por Computador) o importar de un sistema de diseño de la ingeniería. Una vez que estén generados estos modelos se pueden combinar con nuestros modelos superficiales existentes para los propósitos del análisis de las curvas de nivel, del análisis volumétrico y del diseño del interfaz superficie a superficie.

Las cuestas internas en el diseño bajo fueron formadas generando una superficie del tamaño arbitrariamente grande y del dato, basados en seis puntos que formaban las cuestas de intersección deseadas. Una sección entonces fue generada a lo largo de una línea polar describiendo la forma de dos dimensiones del plan de la base, y esta sección fue reintroducida en el diseño como polígono del truncamiento²⁴.

²⁴ Applications of surface modelling in land fill design; Shane Mac Laughlin and Eamon Hendrick; Survey Ireland-1977 PAG 38,40



LA REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA



4 REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Debido a que la forma del relieve de la superficie terrestre, no responde a una fórmula matemática conocida se debe recurrir a varios métodos para representar este fenómeno en los mapas. Se recomienda hacer uso de las isolíneas y del método de símbolos, en el caso de mapas geomorfológicos se recomienda emplear el método de fondos de calidad y polígonos de tonos.

Para poder representar el relieve en los mapas se debe tener en cuenta que el método a emplear responda a estas tres características.

1. Metricidad del Dibujo: Quiere decir que la representación del fenómeno (relieve) debe permitir en lo máximo obtener las alturas absolutas y los desniveles entre ellos, además de las pendientes entre otras, con base en el dibujo representado en el mapa.

2. Plasticidad del Dibujo: Es decir se deben transmitir claramente las irregularidades del relieve, permitiéndole al lector del mapa obtener una imagen clara y concisa del relieve de lugar.

3. Concordancia Morfológica del Dibujo: Esto se nota en que se busca resaltar las características topológicas de las formas del relieve y su estructura fundamental.

Para poder lograr lo anterior, el relieve se puede representar por diferentes métodos tales como:

A. Isolíneas: Quiere decir líneas con un mismo valor de altura o de cualquier otra magnitud. De esta manera en los mapas el relieve se representa a través de las curvas de nivel.

B. Escalas Isométricas: Para poder transmitir una buena representación del relieve a demás de las curvas de nivel, se emplean escalas de colores, llamadas escalas isométricas de colores, las cuales pueden ser de una solo color que se va degradando o de diferentes colores. Existen varios principios para construir estas escalas uno de ellos es, entre más alto más oscuro el color, también puede ser al revés entre más alto más claro el color o el tono²⁵.

4.1 REPRESENTACIÓN DE SUPERFICIES TERRESTRES

La superficie terrestre es un fenómeno continuo. Hay varias formas de representar dicha superficie en formato digital empleando una cantidad finita de espacio de almacenamiento.

Los modelos digitales de elevaciones se utilizan como método de representación de superficies. Un DEM es un modelo cuantitativo digital de la superficie topográfica.

Con frecuencia, el término Modelo Digital de Elevaciones o MDE se utiliza para referirse a cualquier representación digital de la topografía del terreno, sin embargo, la mayoría de las veces se utiliza para referirse de forma específica a una malla regular o raster de puntos de altitud.

²⁵ AM Berlina Cartografía Moscú ED Aspect press 2002 PAG 97 - 111

El término Modelo Digital del Terreno MDT se utiliza también para referirse a cualquier representación digital de la superficie topográfica.

El MDE es la forma más simple de representación digital de la topografía, y la más común. La resolución, o distancia entre dos puntos adyacentes de la matriz, es un parámetro crítico de cualquier MDE. Por lo general, la mejor resolución disponible es de 30m, aunque esto está cambiando rápidamente con los avances de la tecnología.

Los conjuntos de datos deberían visualizarse como superficies continuas. Los operadores de los que trataremos aquí están diseñados para trabajar sobre cualquier superficie de tipo continua por ejemplo: Mapa de elevaciones, gradientes de temperatura o superficies de coste.

4.1.1 Datos de Elevaciones

Los datos de elevación se utilizan para generar MDE. Las figuras en la parte inferior representan información de la topografía. La primera muestra los contornos como una serie de líneas que conectan puntos de igual altitud.

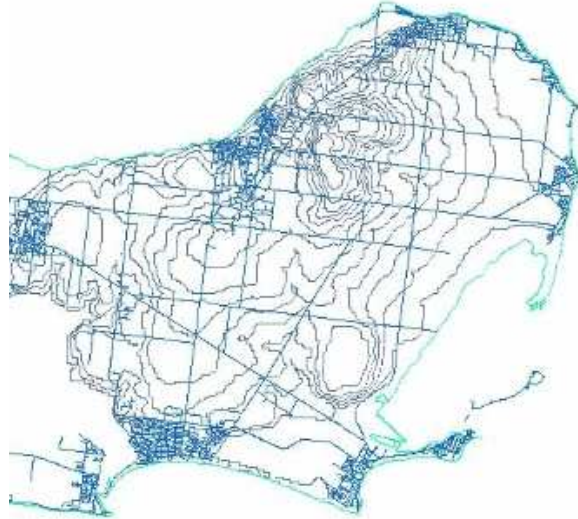


Figura 27 Mapa de curvas de nivel (contornos)

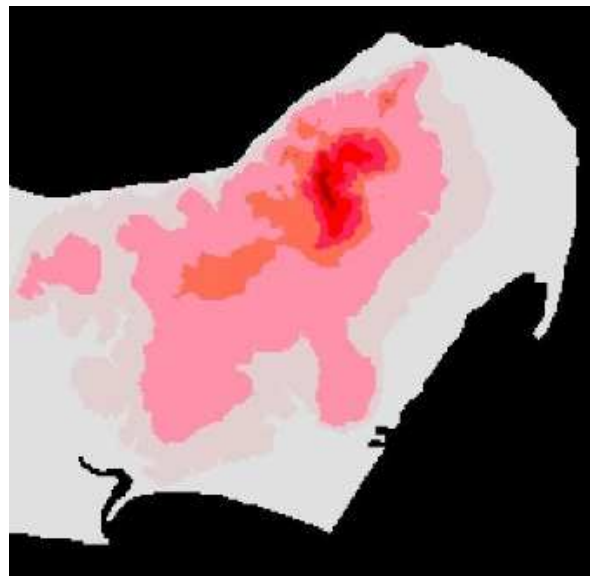


Figura 28 MDE derivado de las curvas de nivel de la figura 27

Los modelos del terreno se guardan por lo general bien en formato TIN o bien en formato de celdas raster.

Un modelo TIN (Red de Triángulos Irregulares) es una red de triángulos. Dichos triángulos varían en tamaño en función de la rugosidad del terreno. Los triángulos grandes son valiosos en el caso de terrenos planos o de pendientes muy suaves. Los triángulos pequeños pueden modelar terrenos muy accidentados. Esto hace que el modelo TIN sea muy preciso y eficiente. Las pendientes y las orientaciones se pueden calcular directamente a partir de este tipo de modelos.

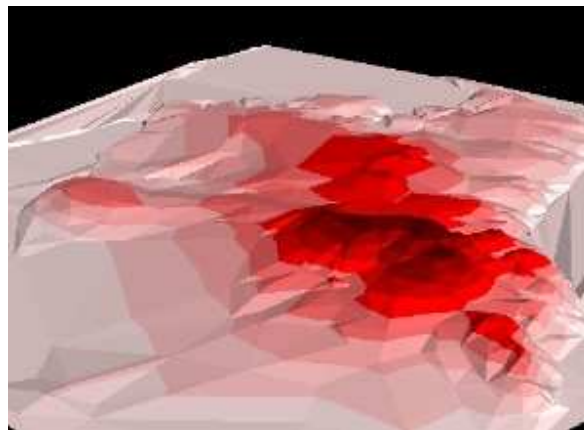


Figura 29 Modelo TIN derivado de las curvas de nivel de la figura 27.

Los modelos del terreno basados en celdas son como otros modelos de datos de tipo raster. Los valores de altitud se almacenan en una malla o grid regular. Esta estructura permite algoritmos sencillos para modelar pendientes, orientaciones, análisis de intervisibilidad, etc.

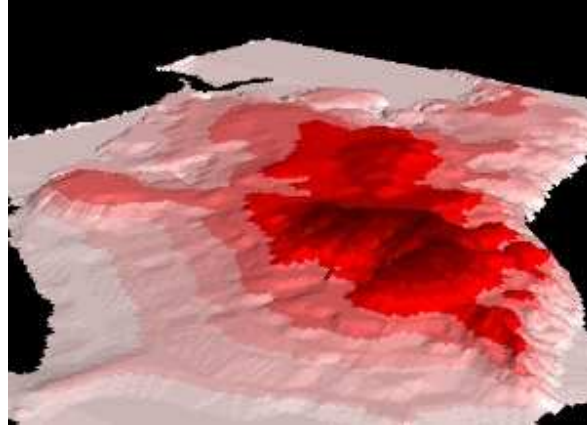


Figura 30 MDE derivado de las curvas de nivel de la figura 27, en perspectiva

4.1.2 Utilidades de los Modelos Digitales de Elevación (MDE)

Los MDE se pueden utilizar para:

- Determinar atributos del terreno, como es el caso de la altitud en cualquier punto, la pendiente o la orientación.
- Encontrar elementos del terreno tales como cuencas de drenaje, divisorias de agua, redes de drenaje y canales, cumbres y depresiones, y otros accidentes del terreno.
- Modelar funciones hidrológicas, flujos de energía o fuegos forestales.

4.1.3 Pendiente

Uno de los conceptos con el que la mayoría de los profesionales de la planificación del paisaje o de la topografía están familiarizados es el de medir pendientes. La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. Si visualizáramos la superficie en sección transversal, podríamos ver un triángulo rectángulo:

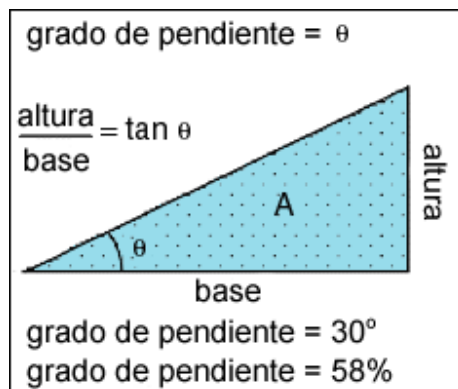


Figura 31 Pendiente

Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100.

$$\text{Porcentaje de Pendiente} = \text{Altura} / \text{Base} * 100$$

Esta forma de expresar la pendiente es muy común, aunque puede ser algo confusa porque por ejemplo un valor de pendiente del 100% se corresponde con un ángulo de 45 grados ya que la altura y la base de un ángulo de 45 grados coinciden y al dividirlos da como resultado 1 que si se multiplica por 100 es igual a

una pendiente del 100%. De hecho el porcentaje de pendiente tiende al infinito en tanto en cuanto la pendiente se aproxime a una superficie vertical (la distancia base se aproxima a 0). En la práctica esto es imposible en una base de datos de tipo raster porque la base nunca es menor que el valor del ancho de la celda (píxel).

Otra forma de expresar la pendiente es en grados. Para calcular los grados se utiliza el valor de arco tangente de la pendiente:

Pendiente en Grados = Arc tangente (Altura / Base)

Nota: ArcView calcula la pendiente en grados.

Lo importante es que podemos medir la pendiente de cualquier superficie, en términos de topografía, temperatura, coste u otras variables. Podemos tomar la pendiente de una superficie definida en unidades de presión de aire en un mapa meteorológico para buscar las zonas donde se producen rápidos cambios de presión, esto nos revela la localización de los frentes meteorológicos. Si tomamos el valor de un mapa de pendientes, nos indicará cómo de rápido varía dicha pendiente. Es el equivalente a calcular la segunda derivada de la superficie. En un mapa topográfico es una medida de la rugosidad de la superficie, factor importante a la hora de estimar los efectos de enfriamiento de las brisas en los microclimas. (Superficies rugosas crean turbulencias y mezcla de masas de aire de temperaturas diferentes. Esto genera mayor efecto de enfriamiento sobre el suelo). Analizando estos ejemplos vemos la utilidad de considerar la pendiente como una medida del cambio en una superficie.

4.2 LA REPRESENTACIÓN DE LA TIERRA

4.2.1 Las Coordenadas Geográficas

Uno de los principios de la cartografía consiste en establecer sobre la superficie de la tierra un sistema de coordenadas, al que se pueda referir cualquier punto sobre la tierra” (Raisz, 1965).

Para determinar la localización de un punto sobre la esfera terrestre, los griegos idearon un sistema de coordenadas geográficas basado en la rotación de la tierra. Esta compuesto por una red de líneas imaginarias trazadas sobre la superficie de la tierra denominadas paralelos (círculos paralelos al Ecuador y meridianos (círculos que pasan por los polos). (IGAC. El Uso de Mapas y Fotografías Aéreas, 1990).

El meridiano cero o Meridiano de Greenwich divide la tierra en dos hemisferios iguales, el occidental y oriental y sirve de referencia a los demás meridianos.

Latitud (ϕ). Es la distancia angular (grados, minutos y segundos) que hay entre un punto de la superficie terrestre y el Ecuador. Se mide en dirección Norte o Sur de 0° a 90 °grados.

Latitud

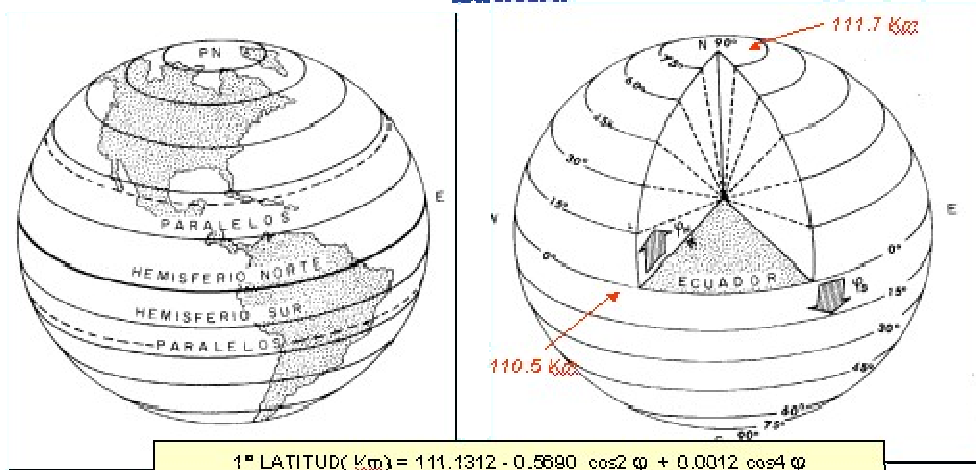


Figura 32 Latitud

Longitud (λ). Es la distancia angular (grados, minutos y segundos) entre un punto sobre la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich. Se mide en dirección Este u oeste, desde 0° a 180° grados. (IG AC. El Uso de Mapas y Fotografías Aéreas, 1990).

Longitud

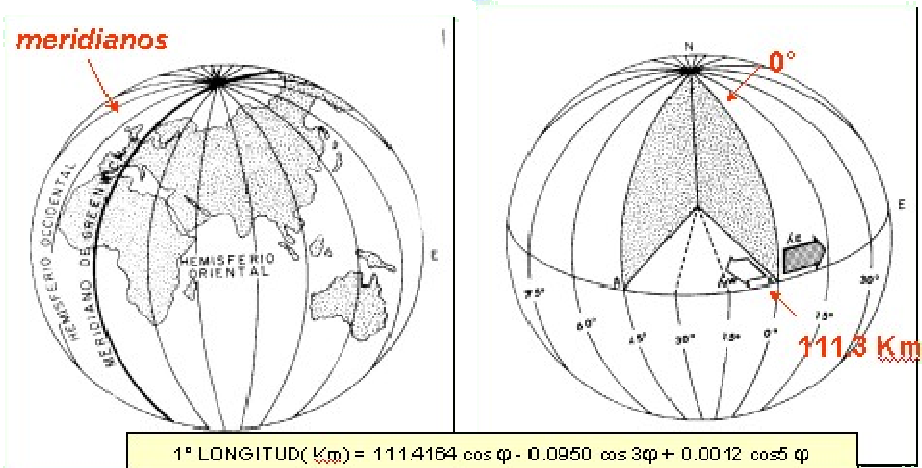


Figura 33 Longitud

El globo terráqueo es la manera más exacta de representar la Tierra, pero es menos práctico que un mapa. Por esta razón los cartógrafos utilizan distintos sistemas matemáticos denominados proyecciones, que son redes de meridianos y paralelos dibujadas sobre una superficie plana para intentar trasladar una realidad esférica a una superficie plana, el mapa.

Otro problema al que se enfrentan los geógrafos es representar la gran extensión de la tierra en el limitado espacio de un mapa, resuelto mediante la utilización de una escala, que permite ampliar o disminuir una superficie respetando sus proporciones.

4.2.2 Los Sistemas de Proyección

Cualquier representación de la tierra sobre un mapa contiene ciertas deformaciones de la superficie que reproduce, ya que la forma esférica es una superficie geométrica no desarrollable. Por este motivo existen diversos sistemas de proyección o métodos de correspondencia entre los puntos del globo terráqueo y el plano. Se diferencian tres tipos básicos:

Proyección Cartográfica

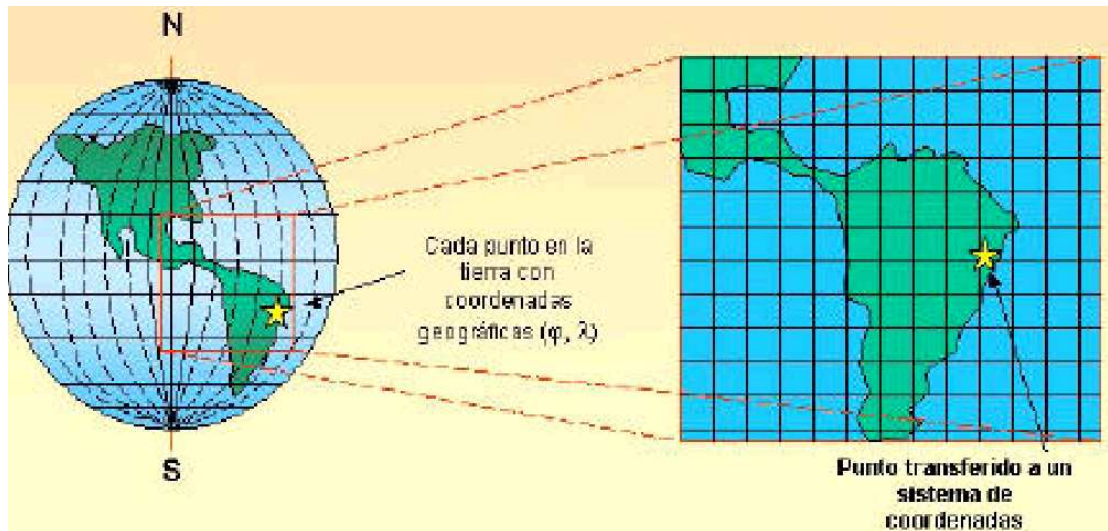


Figura 34 Proyección cartográfica

Proyecciones Conformes: Son aquellas proyecciones que representan la esfera no deformado la forma, pero no el tamaño.

Proyecciones Equivalentes: Son aquellas proyecciones que mantienen las dimensiones de las áreas pero no sus formas.

Proyecciones Equidistantes: Son aquellas proyecciones que mantienen la distancia real entre los distintos puntos del mapa.

Ninguna proyección puede ser de todos los tipos a la vez. Las distintas utilidades de cada tipo de mapa determinan la elección de uno u otro sistema, aunque normalmente se prefiere el conforme por ser el que mejor representa la forma real de los continentes.

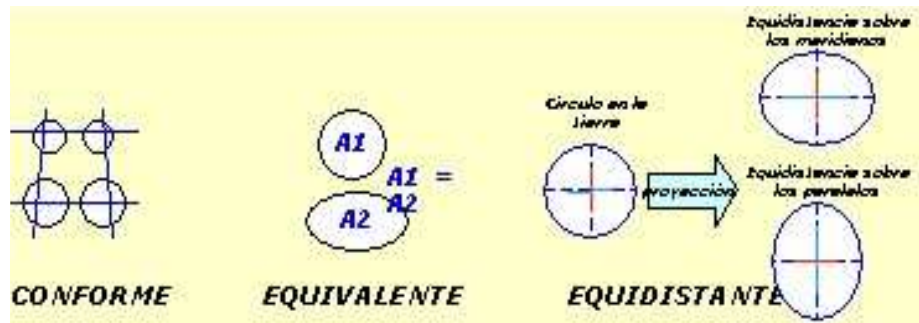


Figura 35 Sistemas de Proyección

Proyección Cónica: La proyección se realiza sobre la superficie desarrollable de un cono tangente a la esfera.

Proyección Azimutal. La proyección se hace sobre un plano tangente a la esfera.

Proyección Cilíndrica: La superficie de la esfera se proyecta sobre la superficie desarrollable de un cilindro tangente a la esfera.

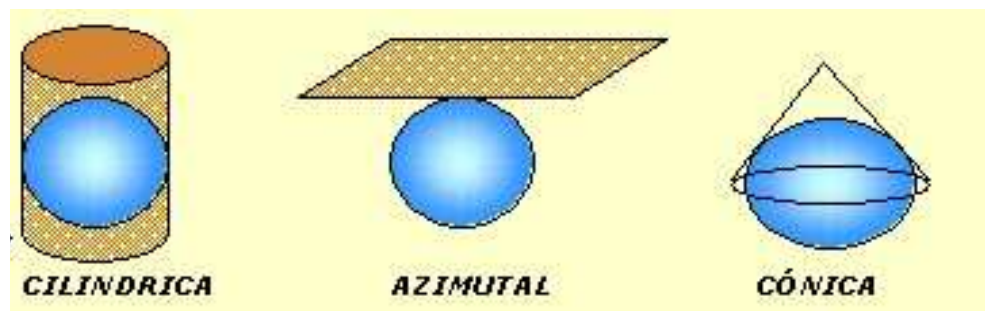


Figura 36 Sistemas De Proyección

4.2.3 Algunos Tipos de Proyecciones

Proyección Cónica De Lambert: Esta proyección es una proyección cónica conforme, tangente a la superficie terrestre y su eje coincide con el eje de la tierra. Los meridianos son líneas rectas concurrentes y los paralelos arcos concéntricos centrados en el punto de intersección de los meridianos.



Figura 37 Proyección Cónica De Lambert

Proyección Polar: Utiliza un plano tangente a los polos. En este caso son acertadas las dimensiones en torno al Polo, pero se distorsionan conforme nos alejamos de él.

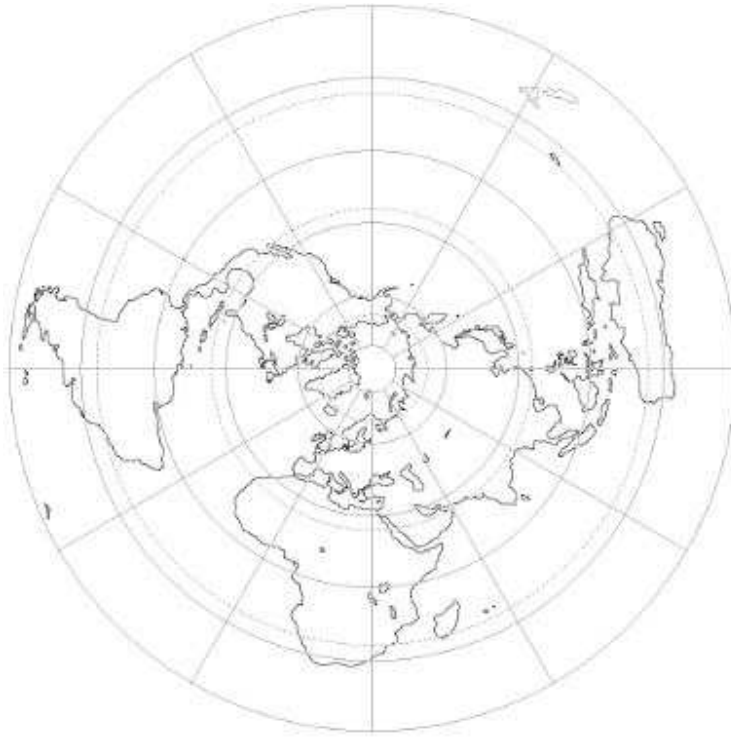


Figura 38 Proyección Polar

Proyección Cilíndrica de Mercator: En ella la superficie cilíndrica es tangente a la tierra por el ecuador. Los meridianos se representan por rectas paralelas y equidistantes, mientras que los paralelos, representados por rectas perpendiculares a los meridianos, son tanto más próximos entre sí cuanto mayor sea la latitud. Representa fielmente las zonas cálidas, pero deforma y aumenta las distancias en las zonas templadas y más aún en las frías, por lo que es una proyección conforme.

Sistema de Referencia Universal Transversal de Mercator.k.

Es uno de los sistemas más utilizado para los mapas de gran escala en todo el mundo. Se basa en una proyección transversal cilíndrica (Mercator Transversal)

donde el cilindro toca la esfera terrestre a lo largo de un meridiano. Se selecciona un meridiano "local" diferente para las distintas partes del mundo. Las distorsiones de escala, tamaño y distancia a lo largo de esta tangente. El sistema consta de 60 zonas, cada una de seis grados de longitud, tres grados en cada longitud del meridiano tangente.

Este método divide a la esfera terrestre en 60 secciones, cada una de las cuales abarca una franja de 6° de longitud. Las zonas se e numeran comenzando con 1 para zona que cubre los 180 °O y 174° O. Además la s zonas se subdividen en filas, con una altura de 8°, a las que se les asigna letras de sur a norte, empezando con la letra C a los 80° Sur. (ONU. Sistemas de Información Geográfica y Cartografía Digital, 2002).

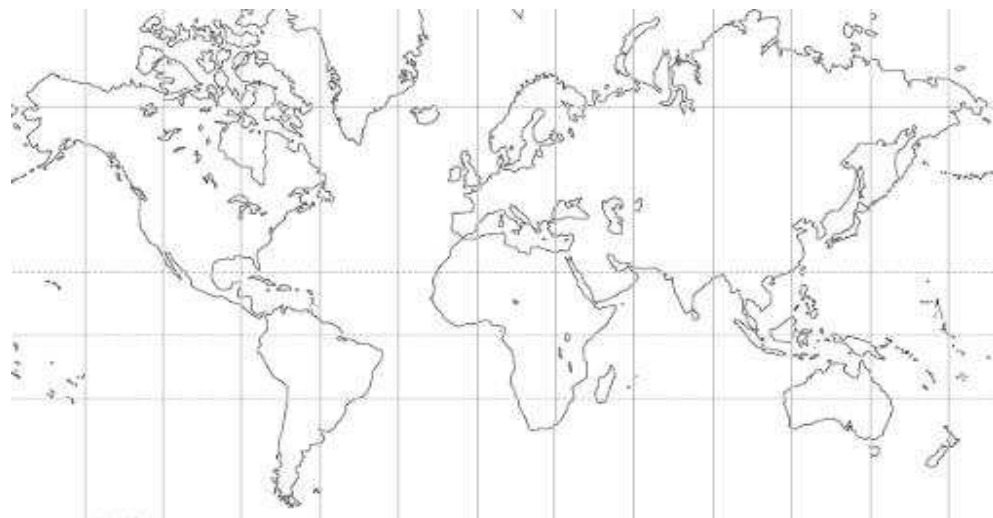


Figura 39 Sistema de Referencia Universal Transversal de Mercator.k.

4.3 LA ESCALA

Se llama escala de un plano o mapa a la proporción que existe entre una distancia cualquiera medida en el mapa y la correspondiente medida sobre el terreno. Así, por ejemplo, la escala numérica 1:50.000 significa que cada centímetro del mapa corresponde a 50.000 centímetros en la realidad.

La escala se puede representar también de forma gráfica, mediante un segmento dividido en partes iguales que permite medir directamente las distancias en el mapa, como si se tratara del propio terreno



Figura 40 La Escala

En relación con la escala podemos distinguir dos tipos básicos de mapas:

Mapas a Gran Escala: Hasta 1:100.000, representan con gran detalle la realidad, al representar en una superficie cartográfica relativamente grande una reducida zona de la superficie terrestre.

Mapas a Pequeña Escala: Superiores a 1:100.000, representan zonas muy extensas de la Tierra en superficies cartográficas muy pequeñas.

La tierra se ha definido como un sólido elipsoidal, aplastado en los polos y abultado en el Ecuador, que gira sobre sí mismo alrededor del sol. Su longitud de circunferencia es de 40.000 Km. en el Ecuador y su diámetro medio es de aproximadamente 12.740 Km. (IGAC. El Uso de Mapas y Fotografías Aéreas, 1990)²⁶.

²⁶ Fuente: IGAC; representación del tierra 1990

GLOSARIO

Algoritmo: Método de resolución de problemas que emplean una secuencia mecánica de pasos.

Axiomas: Es una verdad evidente sobre la cual descansa el resto del conocimiento o sobre la cual se construyen otros conocimientos. En matemáticas un axioma no es necesariamente una verdad evidente, sino una expresión lógica utilizada en una deducción para llegar a una conclusión.

Azimut: Dirección y sentido de una línea medido a partir de la norte

Aerolevantamiento: Es la elaboración de mapas o el establecimiento de la forma, tamaño y dimensiones de los objetos con base en fotografía aérea.

Codificación: Transformar mediante las reglas de un código la formulación de un mensaje.

Código: Conjunto de normas legales sistemáticas que regulan unitariamente una materia determinada.

Complejidad: Es el conjunto de propiedades que exhiben algunas veces la cantidad de información de un sistema.

Determinístico: Teoría que supone que la evolución de los fenómenos está completamente establecida por las condiciones iniciales.

Empírica: Forma de deducir las cosas sin fundamento científico, se basa netamente en la experiencia.

Estructura de Datos: Es una forma de organizar un conjunto de datos elementales (un dato elemental es la mínima información que se tiene en el sistema) con el objetivo de facilitar la manipulación de estos datos como un todo o individualmente.

Estereoscópico: Se refieren a cualquier técnica de grabación de la información tridimensional visual o a la creación de la ilusión de profundidad en una imagen.

Estereo-Plotters: Es un equipo fotogramétrico especializado para el dibujo de fenómenos con base en modelos estereoscópicos.

Fiabilidad: Probabilidad de buen funcionamiento de algo.

GPS: Siglas de Global Positioning System, es un sistema de navegación basado en 24 satélites, que proporcionan posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas.

Geomorfología: Es la ciencia que estudia el origen, las transformaciones y la evolución de las formas del relieve terrestre. Encontramos dos factores fundamentales que intervienen en el origen y en los cambios del relieve: factores tectónicos y factores climáticos.

Morfología: Geografía: Estudio de la forma y origen del relieve.

Meridianos: Son los círculos máximos sobre la esfera terrestre que pasan por los polos. Por extensión, son también los círculos máximos que pasan por los polos de cualquier esfera o esferoide de referencia, en particular, la esfera celeste.

Matriz: Una matriz es una tabla rectangular de números. Una de las principales aplicaciones de las matrices es la representación de sistemas de ecuaciones de primer grado con varias incógnitas

M.D.E: Siglas de Modelo Digital de Elevaciones.

M.D.T: Siglas de Modelo Digital de Terreno.

Nodo: Cada uno de los puntos que permanecen fijos en un cuerpo vibrante. En una cuerda vibrante son siempre nodos los extremos, y puede haber varios nodos intermedios.

Píxel: Superficie homogénea más pequeña de las que componen una imagen, que se define por su brillo y color.

Poliédrica: Es la porción de espacio determinada por varias (tres o más) semirrectas con origen común, dadas en un cierto orden. Las semirrectas se llaman aristas del ángulo poliédrico y el punto común es su vértice. Cada dos aristas consecutivas forman un ángulo que se llama cara

Proyección: Figura que resulta, en una superficie, de proyectar en ella todos los puntos de un sólido u otra figura.

Paralaje: Es la desviación angular de la posición aparente de un objeto, dependiendo del punto de vista elegido.

Paralelos: Se denomina paralelo al círculo formado por la intersección de la esfera terrestre con un plano imaginario perpendicular al eje de rotación de la tierra.

S.I.G: Siglas de sistemas de información geográfica

Sistemático: Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Topología: Rama de las matemáticas que estudia ciertas propiedades de las figuras geométricas.

Teselan: Nombre de las piezas cúbicas de mármol, piedra, etc. Que emplean los antiguos para formar los pavimentos de mosaico

Teledetección: Es la observación remota de la superficie terrestre. Este vocablo es una traducción latina del término inglés remote sensing, ideado a principios de los 60 para designar cualquier medio de observación remota, si bien se aplicó fundamentalmente a la fotografía aérea, principal sensor en aquel momento.

Urbanístico: Conjunto de conocimientos relativos a la planificación, desarrollo, reforma y ampliación de los edificios y espacios de las ciudades.

BIBLIOGRAFÍA

Ángel Manuel Felicísimo; conceptos básicos. Modelos y simulaciones. Oviedo; Pentalfa. 1994

Armando del Bianco; Topometría y Microgeodesia; 2001 Págs. 350

Ángel Manuel Felicísimo; La utilización de los MDT en los estudios del medio físico; Universidad de Extremadura España abril 1999; Págs. 380.

Applications of surface modelling in land fill design; Shane Mac Laughlin and Eamon Hendrick; Survey Ireland-1977 Págs. 250

Análisis de las metodologías habituales para la generación de modelos digitales del terreno; julio de 2001.

Ángel Manuel Felicísimo; La utilización de los MDT en los estudios del medio físico; (abril 1999; Pág. 2 y 3).

AM Berlina Cartografía Moscú ED Aspect press 2002 Págs. 226

David G. Rossiter y Maria Fernanda Rodríguez; Construcción de modelos digitales de terreno para la evaluación de tierras.

FELICISIMO Ángel. Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales. Oviedo: Pentalfa. 1994.

Fuentes de Geodatos. Formatos para los sistemas de información geográficos

Fuente: IGAC; representación del tierra 1990 <www.igac.com>

Gilberto Gómez Gómez, Gonzalo Jiménez Cleves; Topografía Analítica Quinta edición. Armenia, 2006, Págs. 289

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Información (INEGI); Sombreados de los modelos digitales de elevación. México 2006.

José Antonio Martínez Casasnovas: Estructuras de datos y aplicaciones en análisis de formas del terreno y en edafología. (Junio 1999; Pág. 55).

Maestrando: Ing. Alejandro Hossian; Modelo Dinámico en orientación a objetos.

Mimesis soluciones; preguntas frecuentes. <www.mimesissoluciones.com>

Oscar Paz Gómez, Raimundo Márquez Gurri, Oscar Brown Manrique, y Larisa Semionvna Babi; las maquetas y los modelos tridimensionales como auxiliares didácticos para la enseñanza de la topografía y el riesgo. Mayo 02 Págs. 450

Prof. Friedrich Ackerman, Prof. Kart Kraus; pasado y futuro de los Modelos Digitales del Terreno: Mallas Regulares y Formato Híbrido. (21-11-2004)

Sistema de Información Geográfica como herramienta; 8/03/06; Págs. 150

Wikipedia. La enciclopedia libre; 11/sep/2006 <www.wikipedia.com>