

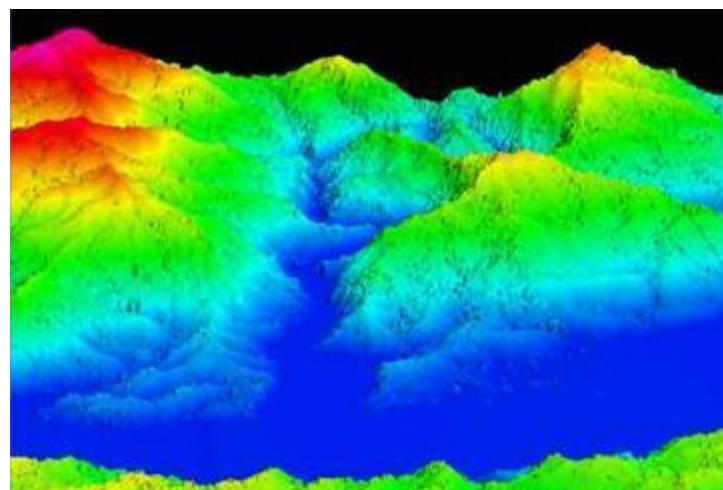
Modelos Digitales de Elevación (MDE) - Descripción

¿Qué es un modelo digital de elevación?

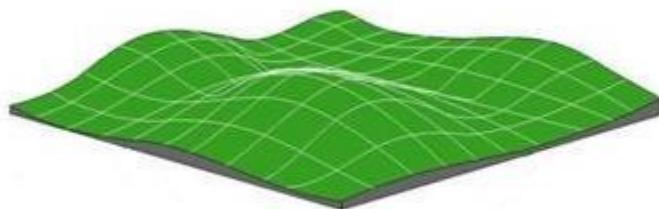
Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlo y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).



Modelo digital de elevación con vista en perspectiva



Representación de un modelo digital de elevación en formato raster

Modelos digitales de elevación para representar el relieve

Desde el siglo XVII la representación del relieve siempre ha tenido importancia relevante para conocer la información que existe acerca de los elementos en la superficie de la tierra, siendo de gran importancia para el análisis y estudios de muy diversa índole en los campos de ingeniería civil y ciencias de la tierra, en particular, el estudio de la forma del terreno y los elementos presentes en el mismo constituye un importante insumo para muchos usuarios como cartógrafos, geólogos, hidrólogos, ingenieros, militares y ahora en la actualidad para los sistemas de información geográfica (SIG).

El modelo digital de elevación desde su creación en la década de los 50 ha constituido un medio para el conocimiento y representación del terreno y para lograr análisis de los elementos presentes en el mismo mediante el uso de equipo y software especializado para tal fin. En la actualidad los modelos constituyen un medio para lograr la representación del relieve muy versátil y funcional ya que a partir del mismo se puede conocer la conformación o morfología del terreno (MDT) sino también los elementos de origen antrópico y la vegetación presente en el mismo (MDS).

Además es posible derivar o generar información a partir de los modelos digitales de elevación que nos posibilita que tengamos más datos de apoyo para el cumplimiento de objetivos, toma de decisiones y desarrollo de proyectos relacionados con el relieve, los datos de apoyo derivados pueden ser curvas de nivel, corrientes de agua, mapas de pendientes, redes irregulares de triángulos (TIN), imágenes del relieve sombreado o mapa de sombras, puntos acotados de altura, modelos vectoriales de la altura de los elementos presentes en el terreno, líneas estructurales, entre otros.

Hoy en día con los sistemas de información geográfica el modelo digital de elevación tiene un abanico de representaciones que permiten al usuario desarrollar mejores análisis de estos datos del relieve ya que permiten visualizar los mismos mediante tintas hipsométricas, realizar perfiles longitudinales, obtener vistas en 3D, modelamiento dinámico en 3D, gamas tradicionales de color, intervalos de color de acuerdo a la variación y rangos de la elevación, sobre posición de datos o información en formato vectorial o raster de diferentes ámbitos, temas y aplicaciones.

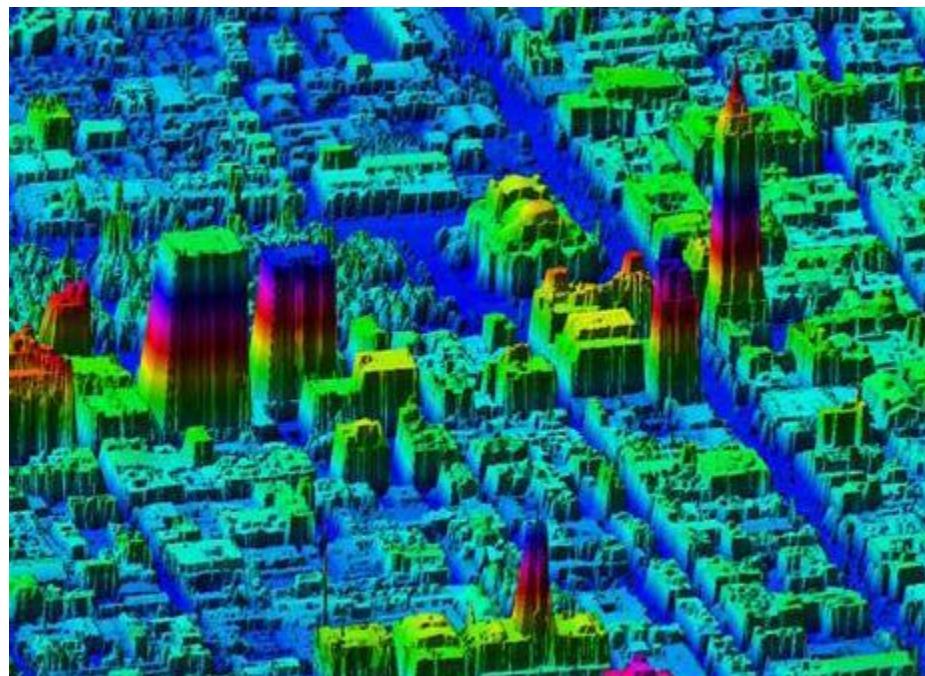
Tipos de modelos digitales de elevación

En la actualidad el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realiza la representación del relieve generando un modelo simplificado lo más cercano a la realidad, debido a que se cuenta con diferentes métodos y soluciones tecnológicas que permiten proporcionar un número infinito de puntos o de información geográfica para tal fin mediante el uso de sistemas computarizados con la finalidad de obtener y caracterizar las formas del terreno, dicho modelo se denomina “Modelo Digital de Elevación” (MDE), el cual es utilizado como una fuente de información digital para el estudio de la superficie del terreno de México.

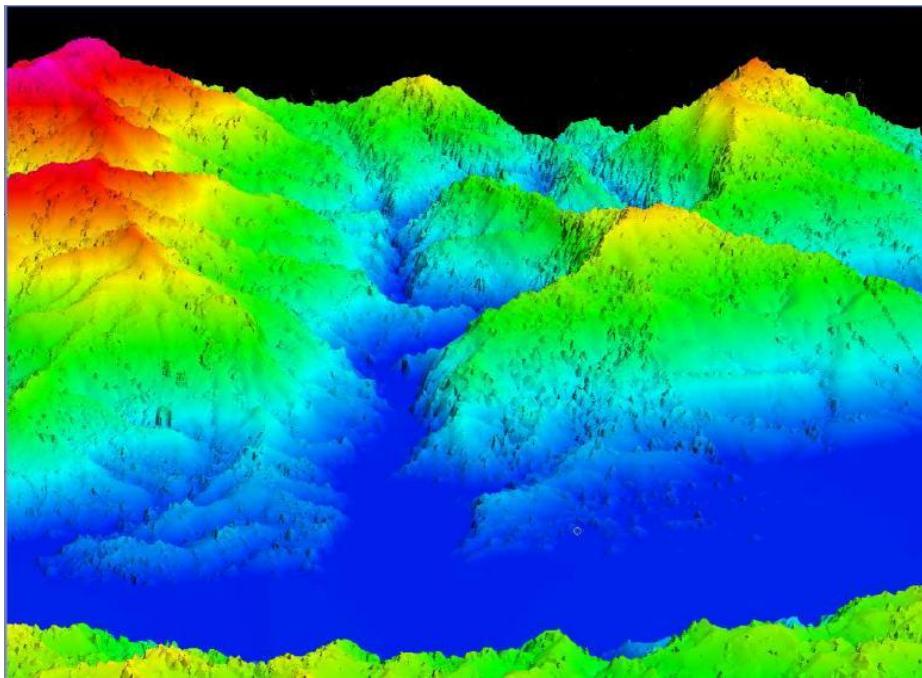
Al existir dos tipos, superficie y terreno, a través de los modelos digitales de elevación es posible conocer la existencia, disposición, forma y posición de los elementos que conforman un espacio geográfico y que pueden ser de origen natural o antrópico.

Los Modelos Digitales de Elevación que produce el INEGI son de dos tipos:

Modelo digital de superficie (MDS) que representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente).

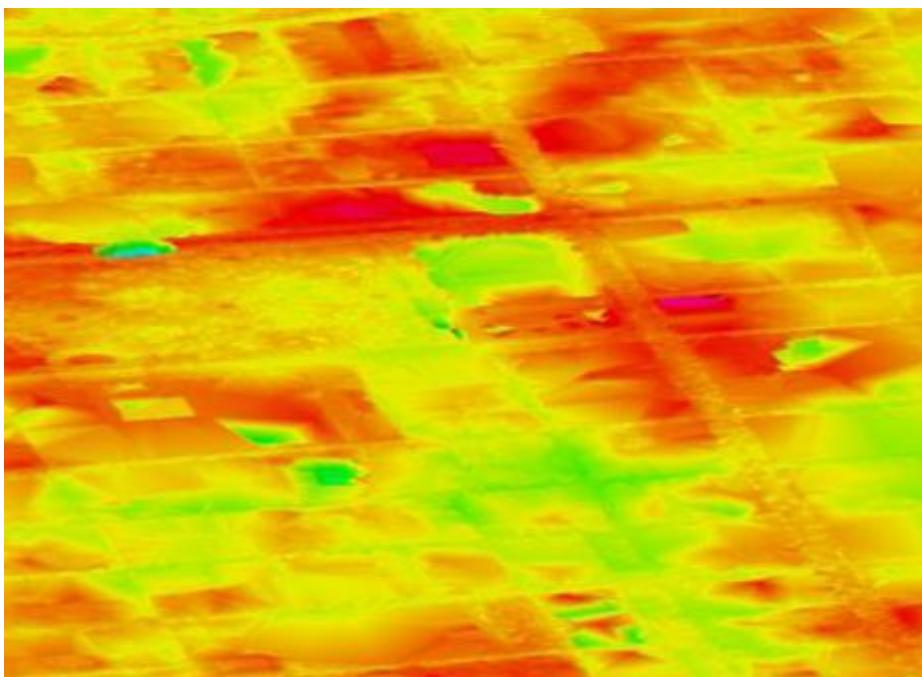


Modelo Digital de Superficie LIDAR del Distrito Federal

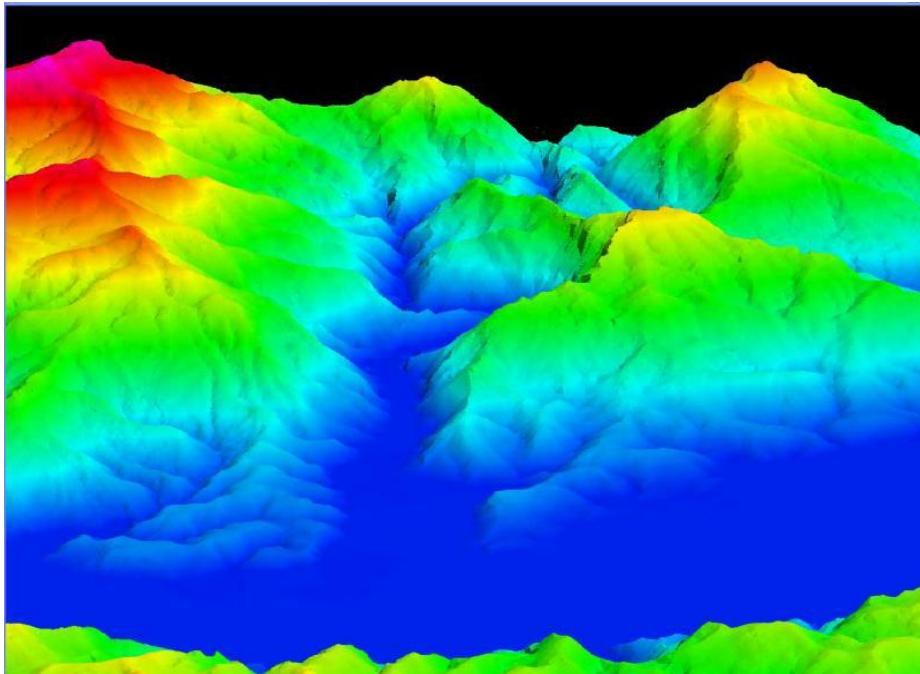


Modelo Digital de Superficie LIDAR de Chiapas

El modelo digital del terreno (MDT) recrea la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno.



Modelo Digital de Terreno LIDAR del Distrito Federal



Modelo Digital de Terreno LIDAR de Chiapas

Ambos tipos de modelos digitales de elevación se realizan utilizando una variedad de fuentes de datos y mediante el uso de técnicas especializadas o métodos de obtención, así como el empleo de soluciones tecnológicas y cuya elección depende de la aplicación que se le va a dar al modelo resultante, además del objetivo que se pretende alcanzar y de la exactitud que se requiere del modelo.

Métodos de generación de modelos digitales de elevación

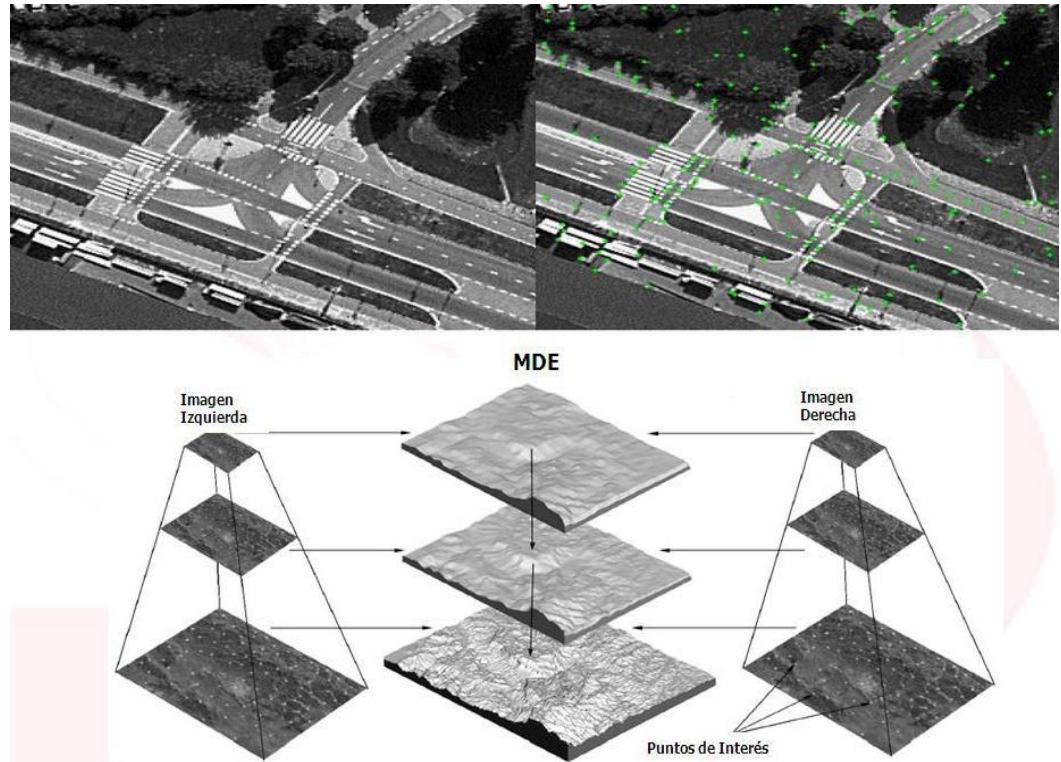
Los métodos para la generación de los Modelos Digitales de Elevación pueden dividirse en dos grupos:

1. Métodos directos. Estos se obtienen a partir de mediciones que se realizan directamente sobre el terreno real, en los cuales podemos citar:
 - La toma directa de datos por medio de levantamientos topográficos con estación total o con GPS.
 - Uso de altímetros transportados desde una plataforma aérea como el radar o láser.
2. Métodos indirectos. Cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente para generar un modelo digital de elevación, en los cuales podemos citar:
 - La digitalización de curvas de nivel y puntos de altura de la cartografía topográfica realizada mediante procesos

- convencionales de conversión automática (mediante escáner y vectorización) o manual (uso de tableta digitalizadora o en pantalla).
- Restitución fotogramétrica numérica, analítica y digital (procesos fotogramétricos).

Los métodos que emplea actualmente el INEGI para la generación de los Modelos Digitales de Elevación son:

1. **Generación a partir del método fotogramétrico de correlación cruzada:** La técnica de correlación cruzada de imágenes se fundamenta en la comparación de imágenes digitales a partir de pares estereoscópicos de fotografías aéreas digitalizadas. En este método se extraen sub-imágenes homólogas digitales de ambas fotografías, izquierda y derecha, que subsecuentemente se correlacionan por medio de su información radiométrica (los valores de la escala de grises), para así determinar áreas homólogas. De esta manera el proceso de correlación proporciona el ajuste necesario del cual proporcionará valores de elevación para una serie de puntos de densidad irregular. Los modelos generados por este método pueden ser del tipo superficie y del terreno con una resolución de 15 metros, exactitud de 3 metros y la cobertura territorial representada en el modelo es la correspondiente a la escala cartográfica 1:20,000.

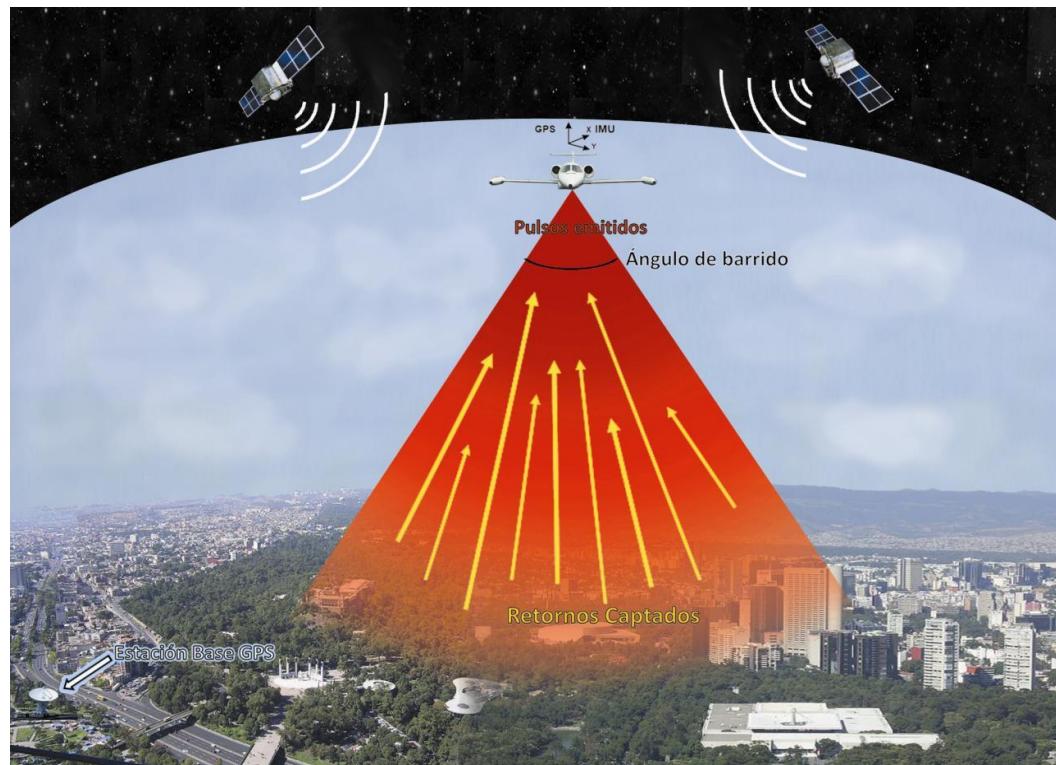


2. **Tecnología LiDAR (acrónimo en el idioma inglés de Light Detection and Ranging”, esto es, “Deteción y Medición a través de la Luz”):** LiDAR es la combinación de tecnologías diseñadas para la obtención de coordenadas tridimensionales (X, Y, Z), de puntos del terreno mediante un telémetro láser montado en un avión. A partir de estos datos llamados “[Nube de puntos LiDAR ajustada al terreno](#)” se pueden elaborar modelos digitales de elevación de alta resolución sub-métricos, tanto del terreno como de la superficie del mismo (objetos naturales o artificiales).

Comparado con los métodos tradicionales la exactitud, mejor detalle y los tiempos de respuesta en la obtención de los resultados (oportunidad) son variables a considerar al momento de elegir la tecnología LiDAR como fuente de obtención de datos de elevación. Los modelos generados mediante esta tecnología tienen una cobertura territorial disponible correspondiente a la escala cartográfica 1:10,000 y 1:20,000 y pueden tener una resolución de 1 a 15 metros, con exactitud de 15 a 90 centímetros dependiendo de las características de planeación y ejecución del vuelo para la captación de los datos.

Los modelos digitales de elevación de superficie (MDS) y de

terreno (MDT) LiDAR, resultan particularmente útiles en el análisis de las áreas susceptibles de inundación, en virtud del gran nivel de detalle que ofrecen.



Componentes que intervienen en la Tecnología LiDAR

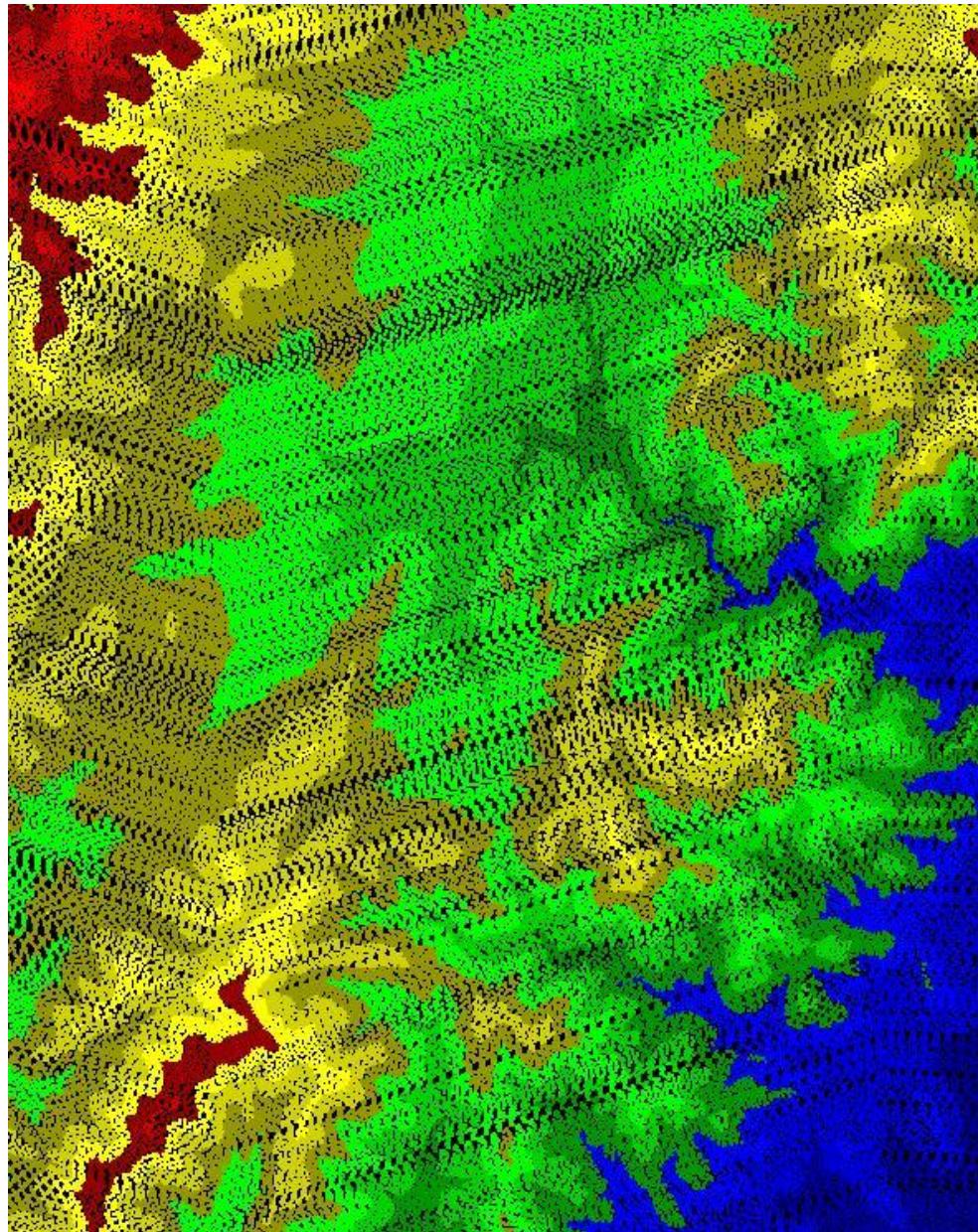
Nube de puntos LiDAR ajustada al terreno

Es un conjunto de puntos con posición tridimensional obtenidos a través de tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging - detección por luz y distancia). Adicionalmente a las coordenadas X, Y, Z, contiene información característica de este tipo de sistemas que corresponde a los atributos de intensidad, clasificación, número de retorno y tiempo de Componentes que intervienen en la Tecnología LiDAR captura GPS, entre otros. La nube de puntos es un insumo para la generación de Modelos Digitales de Elevación (MDE).

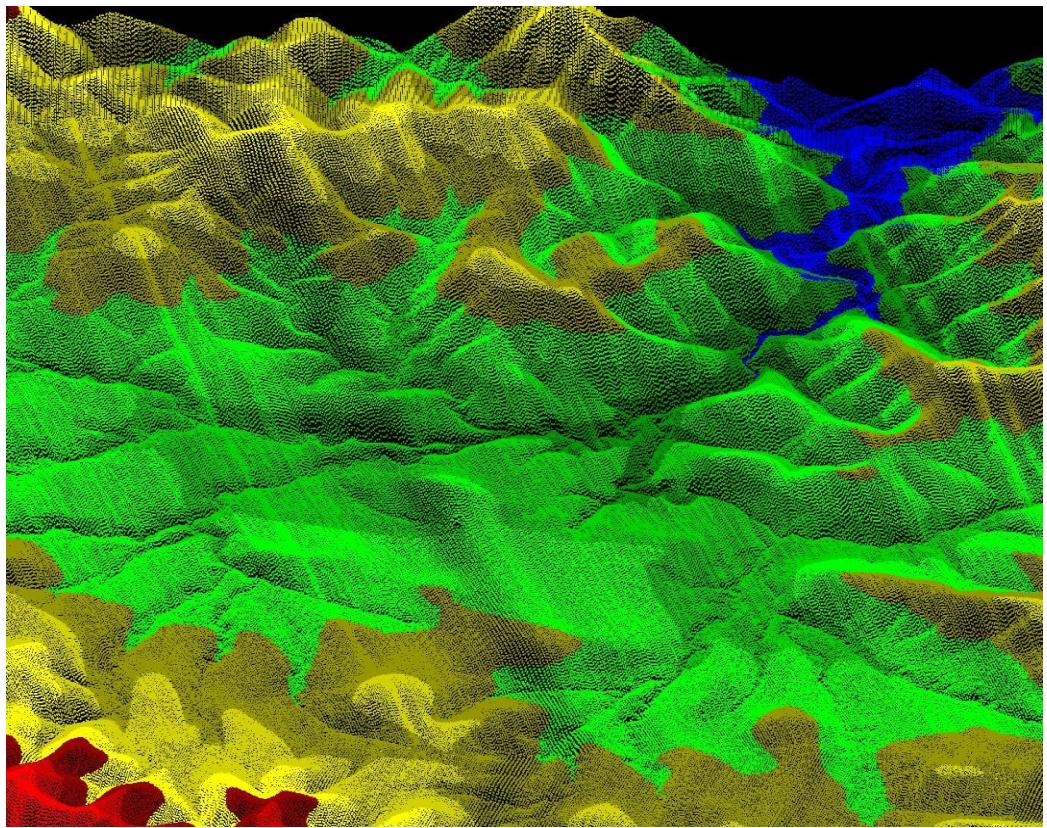
El LiDAR aerotransportado, es un sensor activo que consta de un telémetro emisor de luz láser y de un espejo que desvía el haz perpendicularmente a la trayectoria del avión, generando una serie de pulsos de luz que al entrar en contacto con los objetos o el terreno, se refleja al sensor parte de la energía del

pulso emitido. Para la generación de la nube de puntos, se eliminan los retornos que presentan anomalías altimétricas (puntos altos y bajos); enseguida los puntos de la nube se comparan con puntos de control terrestre con el objeto de reducir errores sistemáticos en altura; finalmente, se aplica un proceso de ajuste entre líneas que permite reducir otros errores a fin de procurar la redundancia en áreas de sobre posición.

La nube de puntos tiene una amplia utilidad para la clasificación automática y manual, así como del filtrado de puntos del terreno y los ubicados por encima de éste; es útil para la generación de imágenes de intensidad. Es el insumo principal para la generación de MDE LiDAR en formato vectorial como el TIN (Triangulated Irregular Network) o en raster como una malla regular de datos de elevación.



Nube de puntos LiDAR ajustada al terreno en formato .LAS de la
clave F14A36d3 - Nuevo León

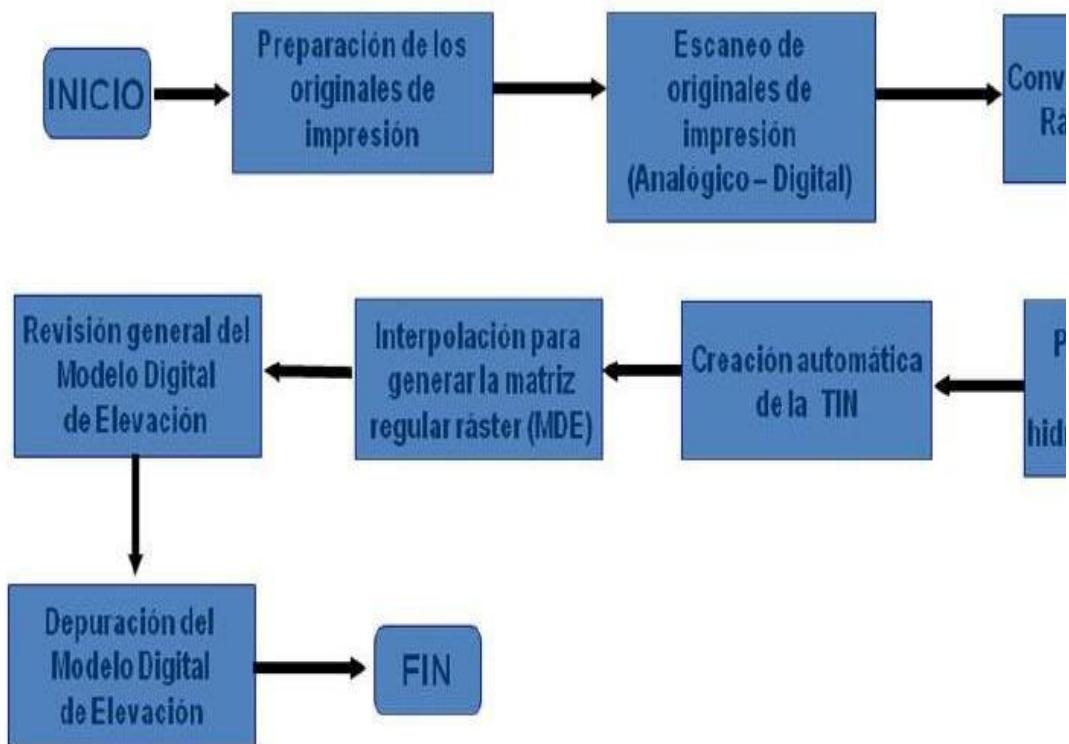


Nube de puntos LiDAR ajustada al terreno vista con un software de datos en 3D de la clave F14A36d3 - Nuevo León

3. **Digitalización de cartografía topográfica:** Los mapas topográficos proporcionan información acerca del relieve del terreno, dicha información viene en forma de curvas de nivel y puntos de altura (elevaciones de las puntas de los cerros o puntos bajos en los valles), la opción de digitalizar las curvas y aplicar un algoritmo de interpolación produce un Modelo Digital de Elevación de tipo terreno con buena calidad si se tiene la precaución de asegurarse que la digitalización de las curvas ha sido realizada de buena manera y cuidando que los valores de altura asignados a las curvas sean correctos, a este proceso se le conoce como “Conversión de Curvas de Nivel”, ya que se pasa de altimetría analógica (en papel) a una de formato digital mediante el uso de un seguidor de línea semiautomático que utiliza como fondo una imagen raster de las curvas de nivel y la hidrografía. Los modelos generados por este método tienen una resolución de 10 a 100 metros con exactitudes de 8 a 100 metros, tanto la resolución como la exactitud depende de la

escala cartográfica de la información fuente utilizada para generar el modelo y la cobertura territorial representada en este tipo de modelos es la correspondiente a la escala cartográfica a 1:50,000, 1:250,000, 1:1'000,000.

Diagrama de flujo del proceso de generación de modelos digitales de elevación de curvas de nivel digitalizadas



Para qué sirven los Modelos Digitales de Elevación y quién los puede utilizar

Los Modelos Digitales de Elevación son ampliamente utilizados en aplicaciones relacionadas con el uso y manejo de recursos naturales, de las cuales pueden distinguirse grandes categorías de aplicaciones que utilizan los modelos como son geodesia y fotogrametría, ingeniería civil, planeación y manejo de recursos naturales, ciencias de la tierra, en aplicaciones militares, cartografía especializada, prevención y atención a desastres naturales, entre otras.

Geodesia y fotogrametría.- En éstos campos, el propósito principal es el de producir modelos de alta calidad para otras aplicaciones como ingeniería civil, y cartografía, además de emplearse en la captura de datos fotogramétricos, determinación del geoide, métodos de control de calidad, como fuente de comprobación de mediciones del terreno,

edición de datos del terreno, producción de ortofotografías, cartografía topográfica.

Ingeniería civil.- Los Modelos Digitales de Elevación pueden ser usados, en ingeniería civil, en aplicaciones tales como en el diseño para la construcción de infraestructura diversa, minas a cielo abierto, el cálculo de perfiles (secciones de perfil) y los cálculos de volúmenes (llamado también de “corte y relleno”). Son usados en aplicaciones tales como diseño de carreteras, presas y otro tipo de infraestructura.

Manejo y planeación de recursos naturales.- Este campo, el de mayor uso de los Modelos Digitales de Elevación, involucra disciplinas tales como planeación urbana y ambiental, teledetección, ciencias del suelo, agricultura, meteorología y climatología. Aplicaciones típicas serían, entre otras: estudios de impacto ambiental, prevención de desastres, localización de sitios industriales, corrección geométrica y auxiliar en la clasificación de imágenes de satélite, estudios de rentabilidad, desarrollo de estrategias de cosecha, modelos de flujo de viento y dispersión de contaminantes.

Ciencias de la tierra.- Las aplicaciones en Ciencias de la Tierra (geología, hidrología, geomorfología, glaciología) requieren de funciones específicas para el modelaje de las discontinuidades del terreno, principalmente redes de drenaje, de las que se requiere una representación muy precisa de ellos. Algunas aplicaciones serían: monitoreo de cuencas de drenaje para monitoreo de inundaciones y control de contaminantes, modelamiento de flujos hidrológicos, simulaciones para la creación de cuencas hidrológicas, interpretación y cartografía geológica.

Aplicaciones militares.- El terreno es uno de los componentes más importantes en el análisis del ambiente militar en escala local y mediana. Los usos militares de los modelos incluyen operaciones de planeación de sitio similares a la de ingeniería civil: análisis del terreno para manejo de campo de batalla, intervisibilidad entre puntos, análisis de tráfico, guía de misiles y redes de comunicación y animación para simuladores de vuelo para entrenamiento de pilotos.

Aplicaciones cartográficas.- A partir de un Modelo Digital de Elevación se genera el Relieve Sombreado, con esta variante la visualización es un importante componente para comprender, analizar o explicar la distribución de fenómenos en la superficie de la tierra. El análisis del relieve sombreado es una técnica que se utiliza para generar de forma automática mapas de relieve sombreados.

El sombreado estima valores de reflectancia de la superficie a partir de

la posición del sol a cualquier altitud y en cualquier azimut, en el que se puede variar la orientación de la iluminación para dar énfasis a las estructuras en direcciones particulares para visualizar detalles de modelos de drenaje, infraestructura y otros rasgos.