



**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA
DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA**

“EL GEOIDE EN MÉXICO”

DIRIGIDO A:

**PÚBLICO EN GENERAL INTERESADO
EN EL MANEJO DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA.**

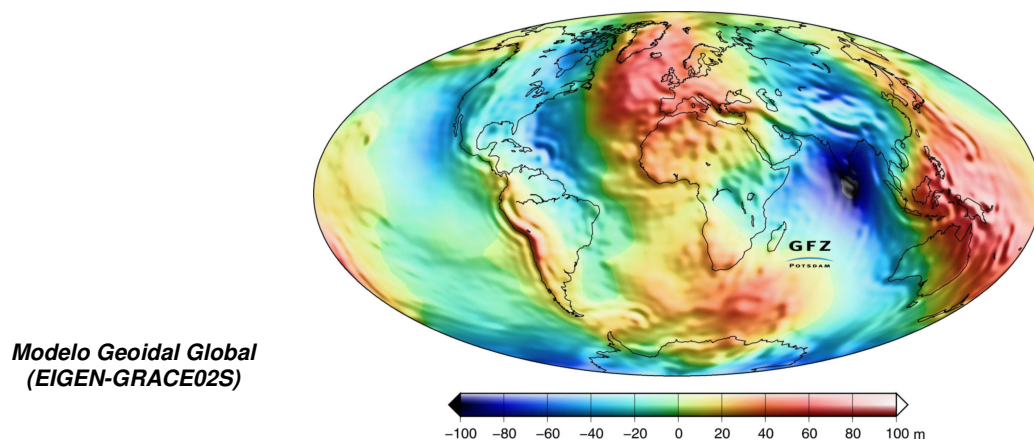
Abril de 2005

EL GEOIDE EN MÉXICO

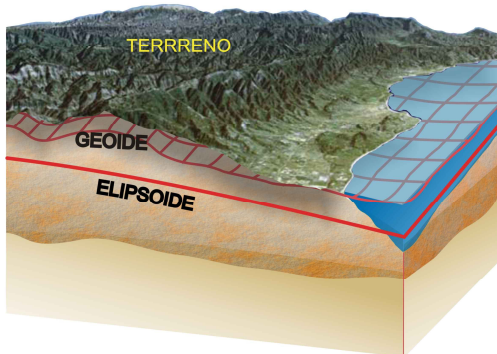
GEOIDE

Es una superficie de nivel que se aproxima al nivel medio del mar, la cual se prolonga por debajo de los continentes y cubre a la Tierra en su totalidad. Puede ser imaginada como la superficie del mar libre de los efectos de rotación de la Tierra y mareas, siendo en todo punto perpendicular a la línea de plomada o dirección de la gravedad. Entonces el geoide es un modelo físico que busca representar la verdadera forma de la Tierra calculándola como una superficie de potencial de gravedad constante.

Es importante señalar que debido a los efectos de variación en la densidad y distribución de masas de la Tierra, la forma del geoide es irregular; obedece de manera directa a los cambios en el campo de gravedad.



Esta superficie irregular se utiliza convenientemente como la referencia para determinar la altura o elevación del terreno. La distancia vertical entre un punto cualquiera sobre el terreno y el geoide se denomina altura ortométrica y puede ser entendida como altura sobre el nivel medio del mar (H). En este sentido el geoide es parte fundamental del sistema de alturas. Sin embargo cabe aclarar que la definición formal de altura o elevación del terreno es algo mucho más completo que debe ser consultado en un documento dedicado a la descripción detallada del sistema de alturas.



Por otra parte la masificación del uso de los equipos GPS, los cual permiten determinar de manera ágil los valores de latitud, longitud y altura geodésica definidos a partir de una superficie de referencia como es el elipsoide, que es un concepto matemático de la forma de la Tierra.

APLICACIONES

La utilidad principal del geoide es establecer la superficie de referencia para obtener la altura ortométrica que se aplica prácticamente en cualquier proyecto de ingeniería civil, topográfica, cartografía, GPS aerotransportado, apoyo terrestre para fotografía aérea y como un insumo para la generación de modelos digitales de elevación.

Cuando se dispone de un modelo geoidal es posible calcular datos de altura ortométrica con rapidez y a un bajo costo, ya que al combinarlo con observaciones de un sistema de posicionamiento satelital se deriva de forma inmediata la distancia vertical entre el lugar de observación y el geoide.

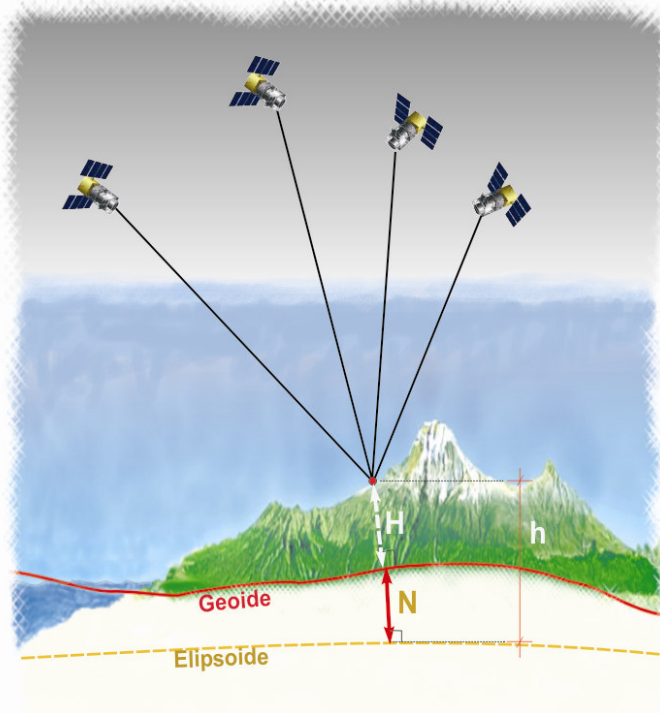
GPS Y SU RELACIÓN CON EL MODELO DE ALTURAS GEOIDALES.

La tendencia a la baja de precios en software y hardware de los sistemas de navegación por satélite ha convertido a GPS en el sistema de posicionamiento por excelencia y en la actualidad el público en general realiza un uso cotidiano de la constelación de satélites NAVSTAR con el fin de obtener coordenadas latitud (ϕ), longitud (λ) y altura geodésica (h), relativas al elipsoide geodésico de referencia.

El parámetro h definido como la distancia vertical desde un punto de la superficie terrestre al elipsoide de referencia, determina un dato de altura o elevación para cada lugar sobre el terreno. Sin embargo, la altura geodésica obtenida a partir de observaciones con equipos GPS, carece de sentido físico para ser considerada como referencia o parámetro de elevación y por lo general es desechada ya que en la práctica, cuando se asocian datos de elevación a la información geográfica se prefiere utilizar la altura sobre el nivel medio del mar o altura ortométrica (H).

Lo que hace un modelo geoidal es precisamente proveer la distancia vertical (N) que separa al geoide y elipsoide siguiendo la línea de plomada para cada punto de la superficie terrestre. De modo que el valor de altura geodésica que proporciona un receptor GPS puede transformarse fácilmente en altura ortométrica restando el valor de altura geoidal (N).

$$H \equiv h - N$$



Relación de altura geoidal y altura geodésica

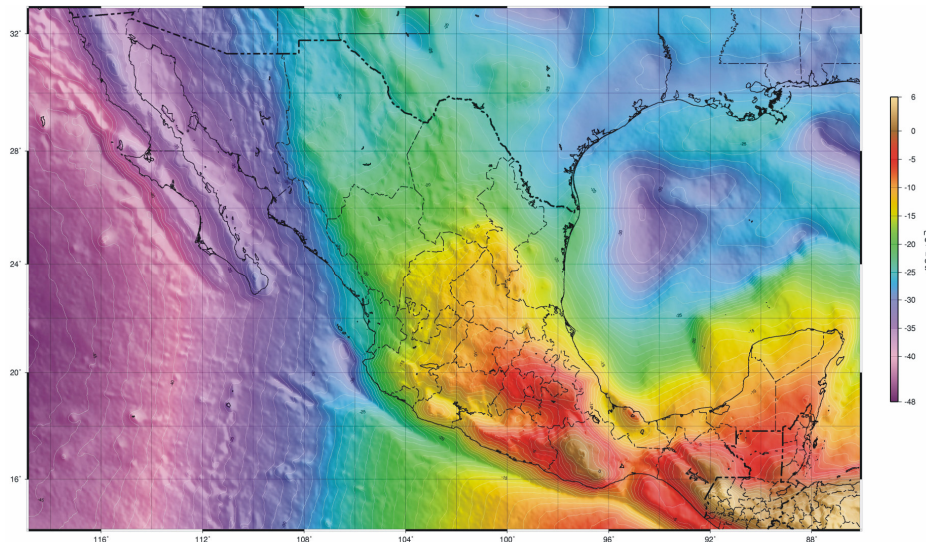
EL MODELO GEOIDAL MEXICANO

La Dirección General de Geografía del INEGI, pendiente de las necesidades de información para actividades geodésicas, trabajó durante casi dos años en el proyecto de determinación de la solución geoidal con error submétrico para el área mexicana. Obteniendo por resultado un modelo que se ubica como la mejor alternativa de cobertura nacional.

Modelo GGM04

A partir de agosto de 2004 México cuenta con el modelo geoidal GGM04 (Geoide Gravimétrico Mexicano de 2004) desarrollado por el INEGI para proporcionar los valores de la altura geoidal (N) sobre el territorio nacional con precisión submétrica. Tanto la cantidad y calidad de los datos utilizados como el método de cálculo elegido para procesarlos han producido la representación más exacta del geoide sobre el territorio nacional entero. Esto representa una mejora significativa respecto a los modelos anteriores y beneficia directamente a la actividad geodésica en nuestro país.

Este esfuerzo ayuda a los usuarios de Sistemas de Navegación por Satélite en la obtención de la altura ortométrica para sus levantamientos sin necesidad de acudir a las costosas técnicas topográficas de nivelación diferencial para propósitos cartográficos.



GGM04: Modelo digital de alturas geoidales para el área Mexicana

Previo a este modelo geoidal, en el país se utilizó el modelo geopotencial local MEX97 elaborado conjuntamente por OSU-NIMA-NASA, el cual ayuda a obtener la altura geoidal con error medio cuadrático de 3 metros. Sin embargo a partir de agosto de 2004 se recomienda a los usuarios de información geodésica en México utilizar el modelo GGM04 que cuenta con las siguientes características:

Cobertura	14° a 33° de latitud norte y 86° a 119° en longitud oeste
Resolución	2.5' x 2.5'
Error medio cuadrático	58 cm.
Marco de referencia	ITRF92 época 1988.0
Elipsoide de referencia	GRS80
Unidades	Metros

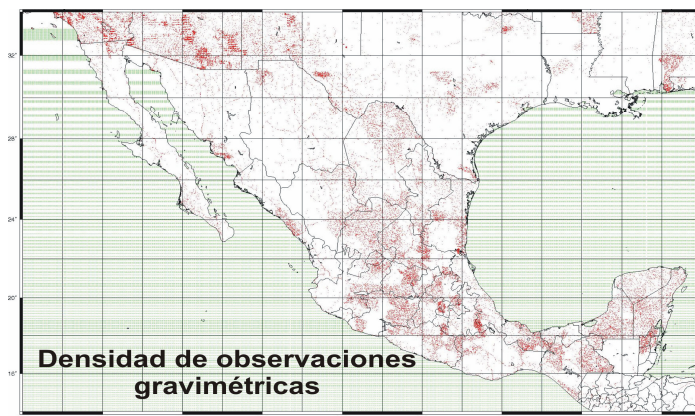
METODOLOGÍA

La búsqueda de una solución geoidal propia para la República Mexicana que cubra los estándares de calidad acordes a los requerimientos que demandan los usuarios en la actualidad y a la implementación cada vez más generalizada de la medición por satélite, además de la búsqueda de un mayor rendimiento de esta técnica y mejorar la precisión de soluciones anteriores ha sido prioritario para el INEGI por ello, se encomendó a la Dirección General de Geografía dar inicio a las actividades necesarias para llegar a este fin:

- Lo primero fue elegir el método que se adecuara a las condiciones de México, tanto en los insumos existentes como en la solidez teórica, eligiéndose determinar un geoide basado en datos de aceleración de la gravedad bajo el esquema Stokes-Helmert, desarrollado por la Universidad de New Brunswick, Canadá, bajo el liderazgo del Dr. Petr Vanicek.
- Se dio inicio a la capacitación del personal responsable de la determinación del modelo geoidal sobre la teoría e implementación práctica de la técnica de cálculo seleccionada.
- Recolección de datos:

Para llevar a cabo el cálculo de N en un punto determinado es necesario proveer de datos no sólo locales, sino regionales e incluso globales que describan la topografía y el campo de gravedad circundantes.

Los valores de gravedad medidos a lo largo del territorio mexicano se convirtieron en un insumo indispensable y por ello fue impulsada actividad gravimétrica en el INEGI. Al momento de dar principio al proceso de cálculo geoidal, los datos recolectados



por el Instituto llegaron a ser cerca de 30,000 puntos con valor de gravedad medido sobre el territorio nacional. Sin embargo, al añadir la información gravimétrica cedida por otras Instituciones como Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Agencia Nacional de Mapeo e Imágenes (NIMA) de los Estados Unidos de América, se logró reunir un total de

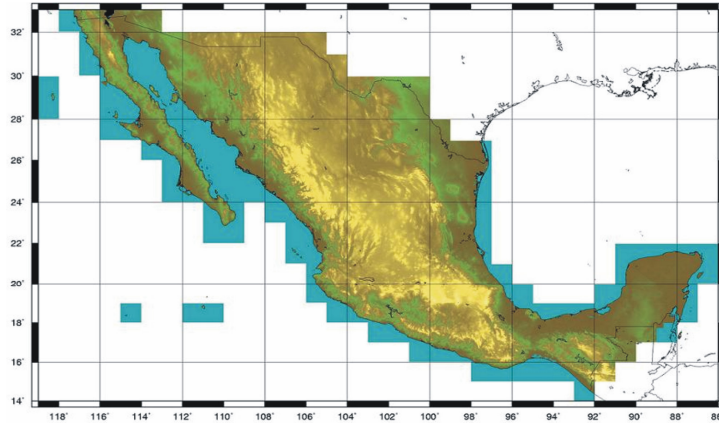
531,855 datos sobre el área continental. Por otra parte, se obtuvieron datos gravimétricos que cubren la parte marina del área mexicana, derivándolos de mediciones por satélite de la misión TOPEX/POSEIDON.

Otro de los insumos fundamentales para el cálculo geoidal es el modelo digital de elevaciones del terreno (MDE) que describe con detalle la forma del terreno sobre el área mexicana. Por ello se elaboró el primer modelo continuo digital de elevaciones, que cubre por completo el área nacional con

características

homogéneas y resolución

de 1"x1", es decir, que proporciona datos de elevación sobre el nivel del mar de puntos espaciados a cada 30 metros aproximadamente.



Modelo Continuo de Elevaciones

Al igual que con otros insumos recolectados, como modelos globales o regionales de potencial terrestre y de elevaciones promedio, los datos gravimétricos y MDE fueron normalizados para calcular efectos y correcciones relativos al campo de gravedad.

- Se realizó el procesamiento de la información geodésica mencionada siguiendo los pasos básicos listados a continuación:
 1. Formulación del problema de valor de frontera sobre la superficie terrestre.
 2. Evaluación de las anomalías de gravedad de Helmert sobre la superficie terrestre.
 3. Continuación descendente de las anomalías de gravedad de Helmert hacia el geoide.
 4. Integración de Stokes (solución al problema geodésico de valor de frontera).
 5. Transformación de alturas geoidales del espacio de Helmert al espacio real.
- Por último se realizó una evaluación del modelo geoidal obtenido con el fin de estimar el nivel de precisión general alcanzado.

Software

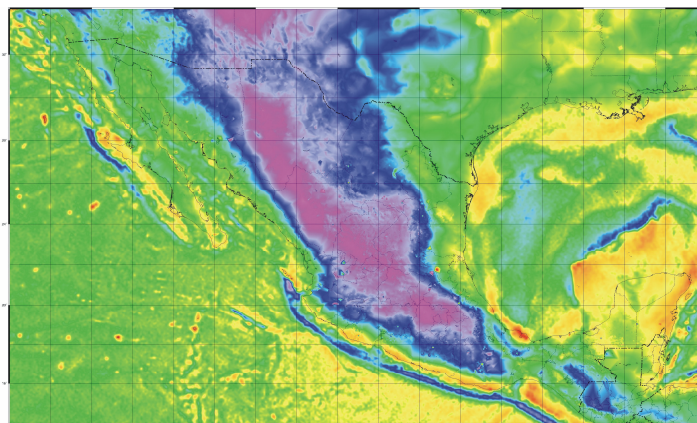
En general, la implementación computacional para la obtención del GGM04 estuvo basada en software gratuito como la plataforma LINUX (con herramientas comunes como Perl, awk, cups, gftp, bzip, entre otros), proj de NIMA, GMT de la Universidad de Hawaii, GhostView, Gimp y SHGEO.

Para los cálculos especializados se utiliza el software científico denominado SHGEO, que permite hacer análisis de datos en cada etapa del proceso y fue desarrollado por el Departamento de Geodesia y Geomática de la Universidad de New Brunswick. Los autores de los programas que conforman SHGEO son: M. Najafi, P. Novák, J. Janák, J. Huang y R. Tenzer. También deben ser mencionados los investigadores Z. Martinec, A.

Kleusberg, L.E. Sjöberg, W.E. Featherstone, W. Sun, quienes son autores de la teoría en la que fue basada la creación del SHGEO.

Valor agregado del proceso geoidal

Durante el procesamiento de datos para calcular la solución geoidal se obtuvieron datos y gráficas de una serie de efectos, correcciones y superficies de referencia requeridas para llegar al producto final. Estos datos representan productos que son de utilidad para apoyar proyectos de investigación de ciencias de la Tierra, por lo que son considerados como “valor agregado”.



**Carta gravimétrica de la República Mexicana
Anomalías de Gravedad de Bouguer Completa**

Visión a futuro

El modelo GGM04 se ubica actualmente como la mejor alternativa para obtener altura geoidal sobre el área mexicana y satisface holgadamente las exigencias técnicas de cualquier proyecto cartográfico. Sin embargo se continuará trabajando en la mejora de los datos de entrada, tanto en calidad como en cantidad, para refinar la solución geoidal y llegar a obtener un modelo de precisión centimétrica. Con ello será posible utilizarlo incluso en trabajos de alta precisión como los basados en técnicas geodésicas.