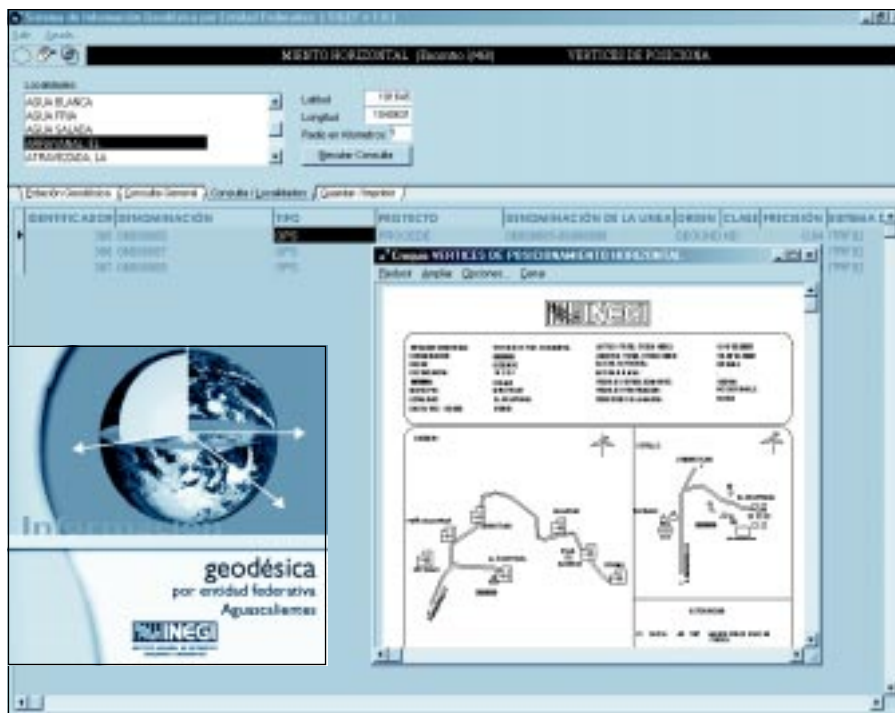


La Base de Datos Geodésicos del INEGI

Héctor Onchi Zalapa / Benigno Montalvo Melo*



Este artículo destaca la importancia de la Base de Datos Geodésicos (BDG) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), y enfatiza la disponibilidad oportuna de los datos geodésicos para su aplicación, tanto en proyectos cartográficos de la Dirección General de Geografía como en trabajos de usuarios externos que requieran datos precisos. Asimismo, ofrece una perspectiva general de la forma en que está constituida esta base de datos, además de su utilidad y posibles usos.

Introducción

La geodesia es la "...ciencia de medir y cartografiar la superficie terrestre"¹ —o por definición etimológica, F. R. Helmert A (1880), es ge (gh): Tierra y daisa

(dasw): divido—; en un sentido más amplio, tiene como objetivo fundamental determinar la forma, figura y dimensiones de la Tierra, así como el campo de gravedad asociado a ella, por lo cual está estrechamente ligada al

conocimiento del medio.² Casi toda medida geodésica depende fundamentalmente del campo de gravedad de la Tierra. Por consiguiente, el estudio de las propiedades físicas del campo de gravedad y su aplicación geodésica

* Personal adscrito al Departamento de Información Geodésica, Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Teléfono: 01 (449) 916 16 96. Correo electrónico: Honchi@inegi.gob.mx y Bmontalvo@inegi.gob.mx.

¹ Torge, Wolfgang. *Geodesia*. Distrito Federal, México, Diana, 1983, p.13.

² Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). *Información geodésica del territorio nacional en la SPP*. Distrito Federal, México, SPP, 1981, p. 3.

son de vital importancia en la determinación del geoide³ (figura 1).

En su aspecto práctico, los levantamientos geodésicos conducen a las mediciones precisas y cálculos necesarios para la determinación de coordenadas geográficas (geodésicas) de puntos convenientemente elegidos y situados sobre la Tierra, así como alturas y datos de gravedad que sirven para la investigación de la figura y medición de áreas de grandes porciones de la superficie terrestre, además del estudio de las variaciones de la gravedad terrestre y la aplicación de estas variantes.⁴

Los levantamientos geodésicos, por tanto, se definen como el conjunto de procedimientos y operaciones de campo y gabinete destinados a determinar las coordenadas geodésicas, alturas sobre el nivel medio del mar y valores de gravedad de puntos convenientemente elegidos y demarcados sobre el terreno.⁵

Toda la información generada por estas actividades se integra en una base de datos, esto es, un conjunto de información interrelacionada, por lo general, en un sistema electrónico de almacenamiento masivo. Así, se puede decir que la Base de Datos Geodésicos del INEGI es

el conjunto de información revisada, depurada, organizada y estructurada de tal forma que pueda satisfacer las necesidades actuales y futuras de datos geodésicos a nivel nacional.

Antecedentes

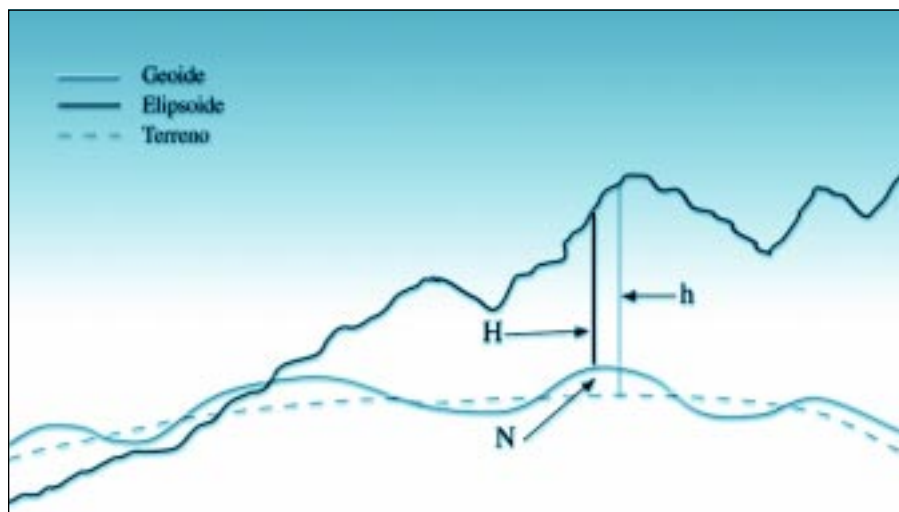
En la actualidad, dudamos de que nuestros ancestros se interesaran en conocer la forma exacta de la Tierra.

Su marco de referencia era limitado: su horizonte visual, el cual, aun colocándose en el pico más alto, abarcaba unos pocos cientos de kilómetros. Han transcurrido más de dos milenios (500 años a.C.) desde que se reconoció que el planeta era curvo y en el 250 a.C. Eratóstenes calculó su radio y circunferencia, estimando el primero en 6 267 km y la segunda en 46 250 km, tan sólo 15% más larga que los cálculos actuales. Hacia el siglo XV, se aceptó la noción de una Tierra esférica.

Posteriormente, Newton hizo notar que, debido a la rotación terrestre, las partes más alejadas de su eje debían sufrir un efecto centrífugo de mayor magnitud; por lo tanto, su forma era parecida a la de una esfera oblonga (achata en los polos), o sea, se reconoció que no era redonda y se le supuso elíptica, pues al girar sobre sí misma se achata en los polos por el efecto de la fuerza centrífuga,

Figura 1

Superficies de referencia



Estos sistemas de alturas se relacionan por medio de la ecuación $h = H + N$, donde: h = altura geodésica, N = altura geoidal, H = altura ortométrica.

³ Se define como la superficie equipotencial que mejor se aproxima al nivel medio del mar, siendo una superficie equipotencial aquella de potencial de gravedad constante. El geoide juega un papel muy importante en el sistema de alturas. Cfr. Heiskanen, A. Weikko y Helmut Moritz. *Geodesia física*. Madrid, España, Instituto de Astronomía y Geodesia, 1985. // Cfr. Cazenave, Anny y Hélène Le Meur. "Las deformaciones de la Tierra. Los satélites revelan las sorprendentes irregularidades del planeta", en: *Mundo científico*. Núm. 188, marzo. Madrid, España, La Recherche, 1998, pp. 48-51. // Torge, Wolfgang. *Op. cit.*, p. 64.

⁴ Cfr. Instituto Cartográfico Valenciano. *Glosario*. www.gva.es/icv/marco2.htm // Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Geodesia*. www.inegi.gob.mx.

⁵ Poder Ejecutivo Federal. "Normas técnicas para levantamientos geodésicos", en: *Diario Oficial de la Federación*. Distrito Federal, México, Secretaría de Programación y Presupuesto, 1 de abril de 1985, pp. 13-43.

desarrollando, en compensación, un ensanchamiento en el Ecuador.

Hoy en día, se conoce que, de acuerdo con la escala de los tiempos geológicos, el planeta se comporta como un fluido en rotación. Por ello, en geodesia, la figura matemática tridimensional (formada al girar una elipse sobre su eje menor, parecida al objeto Tierra) es claramente un elipsoide de referencia⁶, aunque una nueva visión de las formas de nuestro planeta, derivada de nuevas observaciones e investigaciones, empiezan a hacer dudar de su forma elipsoidal y algunos especialistas, incluso, sostienen que es irregular.⁷

Antecedentes de la BDG en el INEGI

En México, el papel más relevante de la geodesia consiste en el establecimiento, operación y mantenimiento de la Red Geodésica Nacional (RGN), constituida por puntos cuyas coordenadas se han obtenido por medio de diversos levantamientos integrados de tal forma que relacionan todas las porciones del territorio nacional en una sola estructura. Es decir, el principal uso está en integrar una red unificada que sea el marco fundamental de referencia para elaborar la cartografía de México, determinar la forma, ubicación y tamaño del país, así como de sus recursos naturales y obras de

Figura 2

Estructura de la RGN



infraestructura que se asientan en éste. Todo ello, se logra al ofrecer las coordenadas horizontales y verticales de los puntos del terreno y, en su caso, los datos gravimétricos de los puntos del terreno que se integran en redes de posicionamiento extendidas por todo México.⁸

A continuación se exponen los hechos más relevantes en la materia, como parte del proyecto de integración, densificación y conservación de la actual RGN (figura 2) —de la cual se hablará más adelante—, donde se inserta

el proyecto que involucra la construcción y mantenimiento de la Base de Datos Geodésica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. En 1968 se creó la Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación (CETENAP), que en 1970 pasó a ser la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL) y en 1976 cambió a Dirección de Estudios del Territorio Nacional (DETENAL); posteriormente, en 1981 se llamó Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DGGTN); en 1982, Dirección General del Territorio Nacional

⁶ Para elaborar mapas precisos debe ser usada una superficie de referencia geométrica regular; la figura matemática (modelo) más cercana tanto al geoide como a la superficie terrestre es un elipsoide de revolución, producida por una elipse al girar alrededor de su eje menor. Este modelo es la superficie de referencia a la cual corresponden los datos geodésicos. Hay dos cantidades que definen un elipsoide de referencia: la longitud del semieje mayor (a) y el achatamiento (f), $f(a-b)/a$, donde b es la longitud del semieje menor. Cfr. Robinson, H. Arthur, et. al. *Elements of Cartography*. 5ª Edición. Nueva York, EE.UU. John Wiley & Sons, 1984, p. 58 // Instituto Cartográfico Valenciano. *Op. cit.*

⁷ Cfr. Cazenave, Anny y Hélène Le Meur. *Op. cit.*, p. 48 // Robinson, H. Arthur, et. al. *Op. cit.*, p. 58.

⁸ Cfr. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). *Op. cit.* p. 3.

(DGETENAL) y desde 1983 pasó a ser la Dirección General de Geografía (DGG).

Hacia 1969 se iniciaron los levantamientos de posicionamiento vertical⁹, formando líneas de nivelación geodésica de primero y segundo orden, referidas al nivel medio del mar, las cuales fueron ajustadas mediante las observaciones en estaciones mareográficas, ubicadas en los principales puertos del país, y utilizando las elevaciones de algunos bancos de nivel (BN)¹⁰ de la frontera norte, pertenecientes a la red de los Estados Unidos de América (figuras 3 y 4).

También, en ese mismo año, se iniciaron los levantamientos de posicionamiento (geodésicos) horizontal¹¹, por medio de poligonales de primero y segundo orden ligadas a los arcos de triangulación y trilateración¹² para construir el caneavá (red) de puntos. Además, se establecieron

estaciones *doppler*¹³, donde cada punto se encuentra referido al *datum* norteamericano de 1927¹⁴ (figuras 5 y 6). Otro hecho importante tuvo lugar en 1970 con el inicio de los levantamientos gravimétricos¹⁵ regionales que se

ligaron a la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN71, por sus siglas en inglés). En 1974 inició el inventario físico y numérico de las marcas geodésicas¹⁶ establecidas en el territorio nacional; esto permitió

Figura 3

Líneas de nivelación de primer orden



- ⁹ Consiste en determinar la elevación de puntos convenientemente elegidos y demarcados en el terreno, sobre una superficie de referencia como el nivel medio del mar. Cfr. SPP. *Manual técnico de posicionamiento vertical*. Distrito Federal, México, SPP, 1983, p. 9.
- ¹⁰ Punto en el terreno donde se han efectuado mediciones geodésicas para determinar su elevación con respecto a una superficie de referencia. Cfr. INEGI. *Diccionario de datos geodésicos (alfanumérico)*. Sistema Nacional de Información Geográfica. Aguascalientes, México, INEGI, 1998, p. 1.
- ¹¹ Consiste en determinar las coordenadas geográficas (geodésicas) horizontales de puntos situados sobre la superficie terrestre con respecto a un sistema geodésico de referencia. Cfr. Poder Ejecutivo Federal. "Normas técnicas para levantamientos geodésicos", en: *Diario Oficial de la Federación*. Distrito Federal, México, Talleres Gráficos de la Nación, 27 de abril de 1998, p. 4.
- ¹² Se les denomina arcos porque son líneas arqueadas que toman en cuenta la curvatura de la Tierra para formar triángulos sobre la superficie terrestre. La triangulación constituye el método clásico para el desarrollo de los levantamientos geodésicos horizontales, mediante un procedimiento que determina las longitudes de los lados de un sistema de triángulos interconectados, con base en la medida de algunos lados y de todos los ángulos; una vez que se ha medido el primero; sus lados servirán de base para construir más. En la trilateración, la situación se invierte para medir directamente los lados y de ahí derivar los valores angulares sólo que, para efectos de control de la dirección, se requiere la medida de algunos ángulos para determinar su acimut, es decir, se miden los lados de los triángulos y conocer así la posición. Cfr. *Ibid.*, p. 15. // Puyol, Antolín R. "La representación cartográfica", en: *Geografía general I*. Madrid, España, Taurus, 1984, pp. 20-21.
- ¹³ Tipo de estación establecida por medio de una técnica radioeléctrica que proporciona una medida de la velocidad relativa del satélite respecto a la estación en Tierra. Basada en el desplazamiento de frecuencia entre la señal emitida y la señal recibida, funciona con todo tipo de tiempo. Cfr. Cazenave, Anny y Hélène Le Meur. *Op. cit.*, p. 48.
- ¹⁴ En este caso, el *datum* es el vértice de origen o punto de partida; se usó, originalmente, en los Estados Unidos de América (en Meades Ranch, Kansas), y se basa en el elipsoide de Clark de 1866, desde el cual se ligaron las redes horizontales de México. Cfr. INEGI. *La nueva Red Geodésica Nacional. Una visión hacia el futuro*. Aguascalientes, México, INEGI, 1995, p. 30.
- ¹⁵ Levantamientos que se realizan con gravímetros para medir los valores absolutos o relativos del valor de la gravedad sobre puntos situados en la superficie terrestre, cuyo propósito consiste, fundamentalmente, en determinar el campo gravimétrico existente y su relación e influencia con los tipos de levantamiento geodésico horizontal y vertical. Cfr. Torge, Wolfgang. *Op. cit.*, pp. 265-268. // Poder Ejecutivo Federal. *Op. cit.*, p. 4.
- ¹⁶ Es la representación física del punto geodésico que consiste en una placa empotrada en un monumento de concreto.

saber con cuántas se contaba y cómo se encontraban, por lo que fue necesario realizar trabajos de recuperación de las que estaban destruidas, las cuales, primero, se reportaban y se planeaba volver a establecerlas en levantamientos geodésicos posteriores.

Con la adquisición de equipo de cómputo para el Área de Geodesia de la DGG en 1981, se realizaron actividades con el fin de almacenar y manejar en un banco de datos; fue el primer intento de manejar grandes volúmenes de información geodésica en formato digital, que hizo más fácil y rápido su manejo, control y mantenimiento; se puede decir que éste fue el origen para la creación de la actual BDG. En 1990, el INEGI inició levantamientos con el Sistema de Posicionamiento Global¹⁷ (GPS, por sus siglas en inglés), adoptando el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF92, por sus siglas en inglés) –del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS, por sus siglas en inglés)–, época 1988, asociado al elipsoide Sistema de Referencia Geodésico 1980 (GRS80, por sus siglas en inglés).¹⁸

En 1992, con el Programa de Modernización Institucional se llegó al acuerdo que los datos geodésicos formarían parte del modelo de datos alfanuméricos, por

lo que el INEGI elaboró, en 1993, la primera versión del *Diccionario de datos geodésicos*, el cual muestra cómo la información geodésica se ha estructurado y descrito de manera conceptual para ser ingresada a la BDG. Las *entidades* definidas en esta publicación tienen una referenciación geográfica precisa que permite representarlas

Es en 1993 cuando, también, la cartografía (que hasta ese momento sólo estaba disponible en formato analógico, es decir, cartas impresas) se empezó a manejar en formato digital. Otros trabajos destacados son los relativos a los levantamientos para obtener las coordenadas de los puntos de control geodésico²⁰, que sirvieron

Figura 4

Líneas de nivelación de segundo orden



en forma puntual, por medio de sus coordenadas. Para una mejor comprensión de las entidades, se da una definición de su nombre, así como de sus atributos y valores, cuando es necesario.¹⁹

para crear el marco de referencia de los productos cartográficos ITRF92, asociado al elipsoide GRS80. Otro hecho sobresaliente se realizó el 19 de febrero de 1993, cuando el INEGI puso en operación

¹⁷ Tecnología que nos permite determinar el posicionamiento de puntos con datos satelitales por medio de la constelación NAVSTAR.

¹⁸ Es el elipsoide de referencia propuesto por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG, por sus siglas en inglés) y adoptado por el INEGI como base y superficie de referencia para la elaboración de los mapas del territorio nacional del marco ITRF92, el cual define un marco geocéntrico de referencia, lo que constituye el sistema natural para un posicionamiento realizado por métodos satelitales; es decir, está definido en forma dinámica, donde el centro geométrico del elipsoide coincide con el centro de masa de la Tierra. Cfr. INEGI. *La nueva Red Geodésica Nacional. Tecnología de vanguardia*. Aguascalientes, México, INEGI, 1994, p. VI // Robinson, H. Arthur, et. al. *Op. cit.* pp. 58-59.

¹⁹ INEGI. *Diccionario de datos geodésicos (alfanumérico)*, op. cit.

²⁰ Puntos en el terreno donde se han hecho mediciones geodésicas; pueden ser bancos de nivel, vértices de posicionamiento horizontal y estaciones GPS de la Red Geodésica Nacional Activa. *Ibid.*, pp. 1, 5, 8 y 14.

la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA)²¹, que actualmente se compone por 15 estaciones GPS de rastreo permanente llamadas estaciones fijas (EF)²² (figura 7).

Objetivos de la BDG

Se pueden mencionar los siguientes:

- Integrar de manera organizada la totalidad de los datos obtenidos de los levantamientos geodésicos realizados por el INEGI y otras instituciones.
- Tener datos geodésicos actualizados y homogéneos.
- Evitar duplicidad de datos geodésicos.
- Proporcionar información geodésica confiable y oportuna a usuarios internos y externos.
- Contar con datos completos y precisos para que se puedan aprovechar en proyectos de ingeniería, educación e investigación.

La Red Geodésica Nacional y estructura de la BDG

La RGN es un conjunto de puntos coordenados situados sobre el territorio nacional, establecidos físicamente en monumentos permanentes, de los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura, así como el campo gravimétrico asociado en relación con un sistema de referencia dado.²³ La RGN está formada por la Red Geodésica Horizontal (RGH), Red Geodésica Vertical (RGV) y Red Geodésica Gravimétrica (RGG) (ver figura 2).

La información geodésica se obtiene y controla por medio de estas redes. La Red Geodésica Horizontal Pasiva (tradicional) está constituida por los vértices de posicionamiento horizontal (VPH)²⁴, donde se llevan a cabo mediciones con equipo GPS, principalmente usando el método relativo de modo estático, con el fin de obtener las coordenadas geodésicas de puntos situados sobre la superficie terrestre, referidos al ITRF 92.

En la BDG cada VPH contiene los siguientes atributos:

Figura 5

Poligonales geodésicas



²¹ En este caso, nos referimos a una nueva Red Geodésica Nacional que está compuesta por una serie de estaciones fijas de operación continua, distribuidas en todo el territorio nacional, cuya base operativa es el Sistema de Posicionamiento Global. Es por el papel activo que juegan las estaciones de la Red que ésta recibe el calificativo de activa. Las coordenadas de un punto cualquiera se pueden obtener al referenciar los datos observables a una o más estaciones fijas. Cfr. INEGI. *La nueva Red Geodésica Nacional, Tecnología de Vanguardia, op. cit., passim.* // INEGI. *La Nueva Red Geodésica Nacional. Una visión hacia el futuro, op. cit., passim.*

²² Es una estación de rastreo permanente u ocupada de operación continua, que tiene la ventaja de estar al servicio de cualquier usuario, quien en el momento de planear y ejecutar cualquier levantamiento con equipamiento GPS sabrá que cuenta, como mínimo, con los datos de una estación. *Ibid.*, p. 17.

²³ Como ya se dijo, en el caso de México es el ITRF92 ligado al elipsoide GRS80 para su posición, y en cuanto al campo gravimétrico es el de la Red Internacional de Estandarización de la Gravedad de 1971 (IGSN71, por sus siglas en inglés) y para el vertical, se toma en cuenta el nivel medio del mar.

²⁴ Puntos donde se han efectuado mediciones geodésicas para determinar sus coordenadas con respecto a un sistema de referencia horizontal. INEGI. *Diccionario de datos geodésicos, op. cit.*, p. 8.

1. Coordenadas geodésicas, alturas geodésicas y desviaciones estándar.
2. Lugar, municipio y clave de la carta escala 1:50 000 en que se encuentra cada punto.
3. Orden de clasificación del VPH, de acuerdo con la metodología del levantamiento, equipo utilizado y resultados estadísticos obtenidos.
4. Fecha de establecimiento.
6. Croquis para la localización de la marca geodésica y su descripción correspondiente.

La RGNA capta información satelital a través de sus estaciones fijas durante 23 horas al día y utiliza una hora para respaldarla. Los datos son integrados y guardados desde la fecha de inicio del funcionamiento de las estaciones, de tal forma que pueden ser utilizados por personas que dispongan de equipo GPS para realizar trabajos de posicionamiento y que deseen efectuar levantamientos diferenciales. Además de los archivos de los datos satelitales,

está formada por bancos de nivel, formando líneas o circuitos cerrados de nivelación²⁵ que pueden ser de precisión o topográficos, y son resultado de los levantamientos realizados con métodos de nivelación diferencial.²⁶ Los bancos de nivel de precisión (BNP) se han establecido a lo largo de las vías de comunicación, en promedio cada 2 km, aproximadamente; los bancos de nivel topográficos (BNT) están ligados a los de precisión, establecidos casi cada 4 km en promedio, en regiones con bajo desarrollo, con poca población o zonas montañosas, donde se ha necesitado el control vertical y se considera suficiente una menor precisión.

Figura 6

Triangulación geodésica



En la BDG, cada banco de nivel contiene los siguientes atributos:

1. Alturas referidas al nivel medio del mar.
 2. Clave de la carta escala 1:50 000 en que se encuentra ubicado el BN.
 3. Orden de clasificación del BN de acuerdo con la metodología del levantamiento, equipo utilizado y resultados estadísticos obtenidos.
 4. Coordenadas geográficas obtenidas gráficamente de la cartografía escala 1:50 000.
 5. Fecha de verificación y condición de la marca geodésica (en caso de haberse realizado una comprobación).
- se cuenta con las coordenadas respectivas de las estaciones, así como con la altura vertical de la antena. La Red Geodésica Vertical

²⁵ Comienzan con una línea generalmente comprendida entre dos bancos de nivel de liga integrada por un número determinado de secciones de nivelación. Se entiende por *sección* la distancia entre dos bancos de nivel. Cfr. SPP. *Manual técnico de posicionamiento vertical*, op. cit. p. 10.

²⁶ Determinación del desnivel entre dos puntos por diferencia de lecturas obtenidas con un nivel de anteojo sobre miras colocadas en los mismos. *Ibid.* p. 10.

- | | | | |
|----|--|---|--|
| 5. | Fecha de establecimiento. | estaciones gravimétricas (EG) donde se realizan mediciones | anomalías de aire libre y anomalías de Bouguer. |
| 6. | Fecha de verificación y condición de la marca geodésica (en caso de haberse realizado una comprobación). | en puntos, por lo regular no materializados (marcas físicas), con la finalidad de obtener valores de gravedad, anomalías de gravedad ²⁷ , aire libre ²⁸ y de Bouguer. ²⁹ | 2. Clave de la carta escala 1:50 000 en que se encuentra ubicada la estación gravimétrica. |
| 7. | Croquis para la localización de la marca geodésica y su descripción correspondiente. | En la BDG cada EG contiene los siguientes atributos: | 3. Orden de clasificación de la estación gravimétrica de acuerdo con la metodología del levantamiento, equipo utilizado y resultados estadísticos obtenidos. |
| | La Red Geodésica Gravimétrica se conforma por las | 1. Valores de gravedad referidos al IGSN71, | 4. Coordenadas geográficas obtenidas gráficamente de la cartografía escala 1:50 000. |

Figura 7

Red Geodésica Nacional Activa



Una vez que ha sido revisada y validada por las áreas encargadas de realizar los levantamientos geodésicos y procesos de cálculo, se lleva a cabo el ordenamiento y la clasificación de los datos alfanuméricos, de los croquis y las descripciones correspondientes de cada punto geodésico³⁰, se verifica que la información esté completa y que no haya discrepancias y, finalmente, se integra a la BDG. Los datos alfanuméricos están almacenados y organizados en archivos *data base file* (DBF)³¹ y están contenidos en tres estructuras diferentes (ver figura 2).

²⁷ Aceleración con que caen los cuerpos hacia la superficie de la Tierra (si se descarta la resistencia del aire). Fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos que están sobre ella; es la resultante de la atracción gravitacional y la fuerza centrífuga debida a la rotación terrestre, se simboliza por g y se mide en gals (en honor a Galileo), donde 1 gal = 1 cm/seg². Se denomina anomalía a toda desviación de la uniformidad o valores normales; es el resultado de comparar los valores de la gravedad observados con los valores de la gravedad teórica. Cfr. Garduño, René. "Pormenores terrestres", en: *La ciencia para todos*. Distrito Federal, México, Fondo de Cultura Económica, p. 112. // Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). *La Geodesia al alcance de todos*. Buenos Aires, Argentina, núm. 291, Comisión de Cartografía, IPGH, 1962, pp. 31-37. // Diccionarios Rioduero. *Diccionario de Geografía*. Versión y adaptación por José Sagredo., 2a edición. Lima, Perú, Rioduero, 1979. // Instituto Geofísico del Perú, www.igp.gob.pe/glosgen.htm // Gravity/Magnetic Glossary, www.igcworl.com/gm-glos.html.

²⁸ Es el cambio de la gravedad con respecto a la elevación; está conectada al cambio en distancia entre el centro de masa de la estación gravimétrica (elevación de la estación) y el centro de masa de la Tierra. Después de las correcciones de la anomalía aire libre se obtiene la gravedad. Gravity/Magnetic Glossary. *Op. cit.*

²⁹ Es el vector llamado campo de gravedad Bouguer y es la gravedad obtenida después de correcciones del terreno, Bouguer, altitud y latitud, que han sido aplicadas a los datos de gravedad medidos. Está causado por densidad lateral por discrepancias dentro de una sección sedimentaria, subcorteza o corteza terrestre, es decir, es causada por la masa de estructuras del interior de la Tierra. INEGI. *Diccionario de datos geodésicos*, *op. cit.*, p. 6.

³¹ Tipo de archivos más comunes en las bases de datos comerciales.

Inventario de puntos de la RGN

Dirección regional	Entidad federativa	Estaciones GPS en BDG	Bancos de nivel	Estaciones gravimétricas
I Noroeste	Baja California	1 297	1 649	1 238
	Baja California Sur	539	1 047	1 283
	Sonora	2 312	2 783	2 136
	Sinaloa	2 569	993	724
	Subtotal regional	6 717	6 472	5 381
II Norte	Chihuahua	2 860	2 623	2 349
	Durango	3 717	2 063	1 407
	Zacatecas	1 934	1 634	333
	Subtotal regional	8 511	6 320	4 089
III Noreste	Coahuila de Zaragoza	602	2 320	2 148
	Nuevo León	1 982	1 547	766
	Tamaulipas	449	2 136	649
	Subtotal regional	3 033	6 003	3 563
IV Occidente	Jalisco	2 576	2 047	1 021
	Nayarit	825	648	542
	Colima	485	367	174
	Michoacán de Ocampo	2 991	1 569	175
	Subtotal regional	6 877	4 631	1 912
V Centro-Norte	San Luis Potosí	1 436	1 620	517
	Querétaro de Arteaga	1 003	431	50
	Guanajuato	1 967	1 529	24
	Aguascalientes	681	223	96
	Subtotal regional	5 087	3 803	687
VI Centro-Sur	Morelos	582	421	31
	México	3 616	779	100
	Guerrero	2 291	1 672	1 302
	Subtotal regional	6 489	2 872	1 433
VII Oriente	Hidalgo	1 498	503	123
	Tlaxcala	933	147	55
	Puebla	1 255	791	220
	Veracruz-Llave	6 315	1 661	1 461
	Subtotal regional	10 001	3 102	1 859
VIII Sur	Chiapas	2 000	1 893	1 529
	Tabasco	1 558	558	432
	Oaxaca	1 537	2 211	1 986
	Subtotal regional	5 095	4 662	3 947
IX Sureste	Campeche	817	891	667
	Yucatán	1 939	1 231	272
	Quintana Roo	626	487	576
	Subtotal regional	3 382	2 609	1 515
X Centro	Distrito Federal	121	471	12
	Subtotal regional	121	471	12
Total nacional		55 313	40 945	24 398

Fuente: Elaboración propia con resultados de la Base de Datos Geodésica.

Utilidad de la BDG

La información geodésica integrada a la BDG es un insumo básico para cumplir con diferentes proyectos del INEGI, como la producción y actualización de la cartografía topográfica del país, la realización

del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE), la definición de límites nacionales e internacionales, el desarrollo del geoide³², para escalar y orientar mapas, trazar las curvas de nivel de la cartografía y de los modelos

digitales del terreno, así como hacer los levantamientos para apoyo cartográfico y de procesos fotogramétricos.

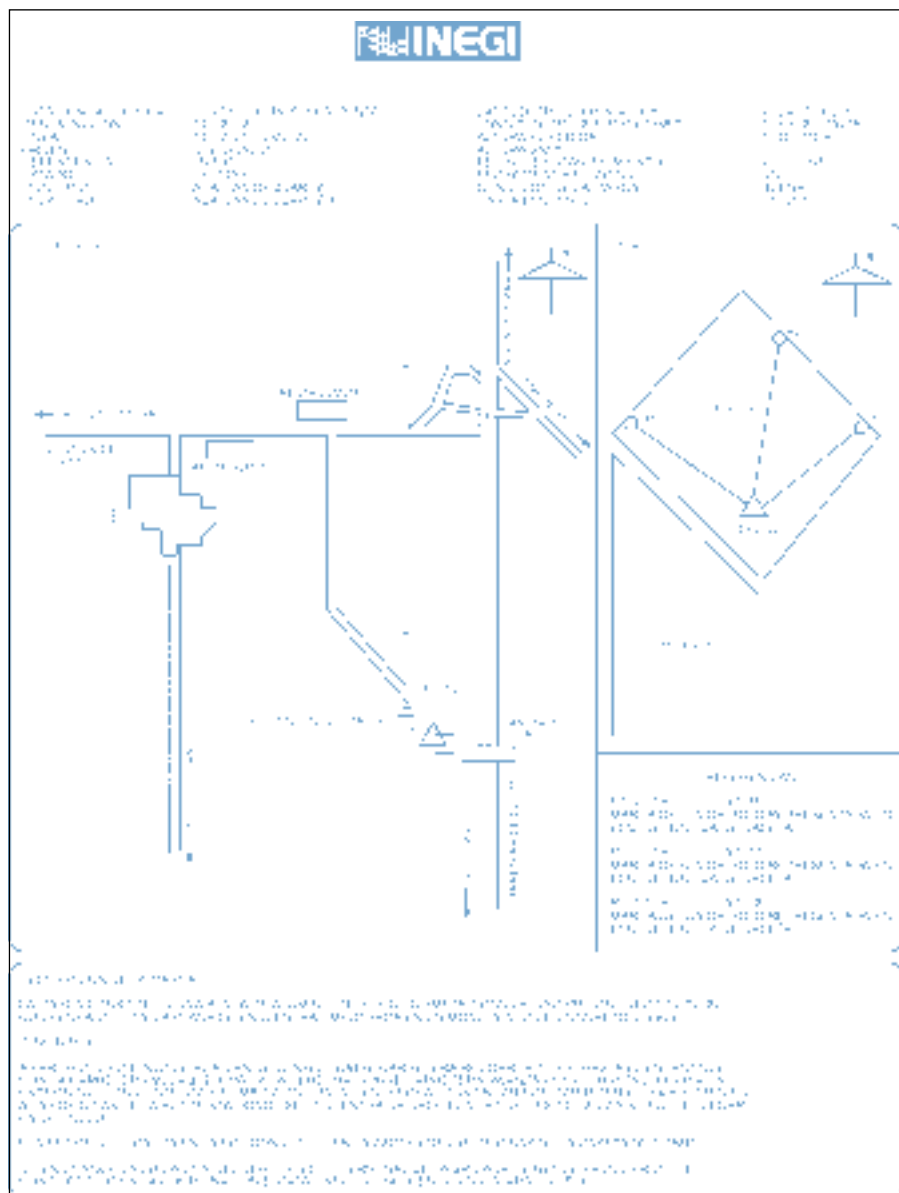
A medida que aumenta la densificación de puntos geodésicos –y dada la precisión obtenida de los procesos–, los sectores público y privado los han utilizado para realizar trabajos de catastro urbano, rural y ejidal; además, son un valioso apoyo para el desarrollo de proyectos de ingeniería (puentes, presas, carretera, minas, etc.) y trabajos de prospección geofísica, por ejemplo.

También, se puede mencionar el desarrollo, en 1995, de un sistema para digitalizar el croquis de marcas geodésicas (figura 8), llamado RCROQUIS, con el objetivo de automatizar su digitalización, y la aplicación, en 1998, del Sistema de Información Geodésica por Entidad Federativa (SIGEF), que permite consultar fácilmente las bases de datos y los gráficos correspondientes a los croquis digitalizados, así como desplegar, imprimir y respaldar los datos de uno o varios puntos geodésicos.

A partir del año 2000, se elaboran discos compactos que contienen información alfanumérica y los croquis de las marcas geodésicas de cada estado; para el manejo de esta información, el disco contiene el SIGEF y, por lo tanto, también le posibilita al usuario desarrollar las mismas funciones que el RCROQUIS.

Figura 8

Croquis de marcas geodésicas



³² Proyecto de los autores, cuyo objetivo general es obtener un geoide para la República Mexicana con valores de gravedad. Ver referencias 3, 27-30.

Hasta noviembre del 2001, se han elaborado los discos compactos de Aguascalientes, Colima, Baja California Sur, Querétaro de Arteaga, Quintana Roo, Morelos, Nayarit, Tlaxcala y San Luis Potosí. A corto plazo, se tiene contemplada la elaboración de los correspondientes a Jalisco, Oaxaca y el Distrito Federal; posteriormente, se realizarán los del resto de las entidades del país.

Otras posibles aplicaciones de la BDG son la elaboración de discos compactos por entidad federativa con datos geodésicos actuales en la BDG, estudios de movimientos de la corteza terrestre –investigación científica donde los datos geodésicos que se proporcionan son coordenadas geodésicas (latitud y longitud) y altitud–, trabajos de ordenamiento territorial, establecimiento de control primario en áreas metropolitanas, levantamientos detallados de zonas de alto desarrollo, levantamientos hidrográficos, elaboración de las cartas con la ubicación del número total de puntos geodésicos (por tipo), en escala 1:2 500 000, elaboración de cartografía geodésica, carta de isanómalas³³ de la gravedad y cartas de igual valor de la gravedad y de altura elipsoidal, entre otras.

Los principales beneficios para los usuarios es la aportación técnica y disciplinaria, su alta confiabilidad de la información, así como el significativo ahorro en los trabajos de campo y

levantamientos de alta precisión; tal es el caso de: el monitoreo de deformaciones en estructuras civiles masivas, como el movimiento de las fallas en la ciudad de Aguascalientes (para observar su desplazamiento vertical u horizontal), los movimientos de la corteza terrestre (para ver la velocidad de deriva en la separación de los continentes) o la separación de la península de Baja California y las investigaciones de geodesia básica y aplicada (por ejemplo, en la prospección petrolera o de minerales en el subsuelo mexicano), por medio de las mediciones gravimétricas, entre otros. Además, es el insumo básico para el desarrollo de cartografía y sistemas de información geográfica.

Conclusiones

Uno de los aspectos más importantes de la BDG es que integra no sólo información geodésica obtenida por el INEGI, sino de otras organizaciones, de ahí que sea la única fuente confiable de este tipo de datos a nivel nacional.

Una ventaja derivada de lo anterior, es que al estar centralizada esta actividad se proporciona información que evita la duplicidad de levantamientos geodésicos en el país, consiguiendo un ahorro considerable de recursos, ya que para estos trabajos se requiere una gran inversión económica. La BDG permite organizar la información geodésica alfanumérica y los croquis digitalizados de las marcas

correspondientes al punto geodésico, lo que posibilita capturar, actualizar, recuperar, procesar y desplegar datos. Aun cuando se ha aprovechado la información geodésica contenida en la BDG, es necesario continuar con su integración y actualización, y así tener datos geodésicos confiables en cualquier proyecto que pueda ser indispensable para el desarrollo del país.

Actualmente, se tiene contemplada la realización de una base de datos que homogeneice las existentes en el INEGI y que esté acorde con el desarrollo informático, por lo que se elaborará un modelo conceptual (que defina a la BD y su estructura) y un modelo físico (que contenga las vías de implementación y la normatividad de su administración).

Otras fuentes

- Dupuy, Michel y Henry-Marcel Dufour. *La Géodésie*. París, Francia, Col. Que sais-je?, Presses universitaires, 1969.
- Gobierno Federal. "Reformas y adiciones a las normas técnicas para levantamientos geodésicos", en: *Diario Oficial de la Federación*. Distrito Federal, México, INEGI, 27 de abril de 1998.
- INEGI. *Modelo de datos vectoriales*. Documento interno.
- Guía metodológica para la elaboración de los diccionarios de datos*. Documento interno.
- Acerca de los diccionarios de datos*. Aguascalientes, México, INEGI, 1999.
- Modelo de datos alfanuméricos*. Documento interno.
- SPP. *Normas, especificaciones y metodologías para gravimetría*. Distrito Federal, México, SPP, 1982.

³³ Líneas que unen puntos de igual anomalía de la gravedad.