



La geodesia y el GPS

MARIO ALBERTO REYES IBARRA

Para comprender cabalmente la geografía es necesario conocer algunos conceptos de las ciencias que la sustentan, como la geodesia. Por ello, en este artículo se ofrece una breve disertación sobre un método relativamente reciente para el uso civil: el posicionamiento geodésico por satélites (GPS,¹ por sus siglas en inglés).

Muchas personas consideran que tener un receptor GPS y usarlo de la manera en que lo dicta el instructivo es hacer geodesia, utilizar un GPS no es coincidente con los postulados fundamentales de la geodesia, ya que la simple obtención de coordenadas no garantiza que estén debidamente asociadas al sistema de referencia geodésico oficial, ni significa que dichas coordenadas cumplan con los requerimientos de exactitud suficientes.

La humanidad y su entorno

Todos los seres humanos ocupamos una posición en el planeta y, por lo tanto, existen vínculos naturales con el entorno, más fuertes con el cercano, pero no necesariamente inexistentes con el lejano.

Muestra de ello es que usted requiere conocer el entorno inmediato a su hogar, es decir, las vías de comunicación para trasladarse a su trabajo, la tienda donde realiza las compras de sus víveres, la escuela de sus hijos y hasta los centros de diversión.

La apreciación del espacio en que habitualmente se desenvuelve y su ubicación dentro de él, forman parte natural de su conocimiento personal. Pero, si por alguna necesidad familiar, de negocios o cualquier otra razón tiene que abandonar ese entorno y moverse a uno desconocido, ¿cuál sería su reacción?

Por ejemplo, si le piden en su trabajo que se desplace para cumplir una misión a una ciudad de la que nunca ha oído hablar, ubicada en un país lejano, lo más probable es que primero indague en qué lugar del planeta queda dicho país o tal ciudad, a qué distancia se encuentra, cuál medio de transporte debe utilizar, cuánto tiempo le tomaría llegar, o bien puede consultar un mapa tradicional impreso

o uno electrónico en internet. En cualquier caso, esta información relacionada con tiempos, movimientos y costos será determinante para sus planes de viaje. No es necesario conocer con exactitud de centímetros la distancia del origen al destino. Con algunos kilómetros de más o de menos no pasa nada.

O bien, puede ser un entusiasta turista ecológico que, en fines de semana, explora nuevas rutas para ciclismo de montaña. Entonces, equipado con un GPS, una carta topográfica o un ortofotomapa y mucha energía, se dirige a su destino inmediato. Perfecto, si la carta topográfica que tiene en su poder es escala 1:50 000, significa que cada milímetro en el papel representa 50 metros en el terreno, lo cual no está nada mal para que sirva de marco de referencia a las lecturas de latitud y longitud del GPS, que en este caso, pudiesen contar con una exactitud de 10 a 30 metros obtenida en cuestión de segundos.

Existen casos en los cuales los requerimientos de exactitud serán más altos. Tomemos como ejemplo su casa que se podría ubicar en un predio de diez metros de frente por veinte de fondo: esos 200 metros cuadrados representan una buena parte de su inversión personal. ¿Le importaría que estuviera unos metros más pequeña? o, peor aún ¿sería importante para usted que su vecino colindante, de pronto le reclamara, escrituras en mano, que ha invadido su propiedad y que la mitad de su casa no le pertenece a usted, sino a él? Ahora no hablamos de conocer la ubicación a nivel de kilómetros o decenas de metros. Necesitamos seguridad en las coordenadas a nivel de centímetros, ¿piensa usted lo mismo? ¿Aceptaría que por un error geodésico le despojara de lo que con tanto esfuerzo ha construido? Y digo geodésico porque eso es lo que siempre hace la geodesia: medir la Tierra.² En resumen, en todos los casos mencionados, de manera consciente o inconsciente, entró en contacto con la geodesia, pues ¿sabía usted que es la base para construir un mapa, ya sea local o un mapamundi, o que al determinar las coordenadas mediante un GPS está haciendo uso de conceptos y técnicas geo-



désicas? Ciertamente no estamos hablando sólo de aspectos técnicos. Trato de mostrarle la interrelación que existe entre la geodesia y la seguridad jurídica, los sistemas de propiedad, la generación de capital patrimonial individual y su impacto para generar el capital social y armonizar la organización de la vida en nuestro planeta.

Otro ejemplo: cuando usted se levanta por la mañana para iniciar la diaria jornada, al mover un interruptor espera que se encienda la lámpara. Claro que si esto no ocurre por cualquier razón, puede haber cierta molestia. Después se dirige al baño y requiere que el inodoro desagüe, pero ¡no hay agua! De molestia, puede pasar al disgusto. Bien, tomémoslo con sabiduría, nos aparamos lo mejor que podemos y pasamos al desayuno, pero en ese momento, nuestra pareja nos comenta que el microondas no enciende porque no hay energía eléctrica y, ¡otra sorpresa!, está suspendido el servicio de la red de gas. Bueno, tomamos algún alimento frío y nos dirigimos al auto para ir al trabajo; avanzamos unas cuadras y nos damos cuenta que ayer no repusimos combustible. Nos dirigimos a la gasolinera y, ¡vaya!, no han surtido porque hubo un problema logístico derivado del intenso tránsito que existe en la ciudad. Creo que ya no sentiremos molestia, ni coraje, mucho menos comprensión, sino que estaremos francamente irritados, por decirlo con suavidad.

¿Percibe usted el grado de interdependencia que existe en las redes humanas con nuestro entorno? Imagine lo que hay que hacer detrás de la acción de mover un interruptor para que se encienda el foco. Hay que recordar que la energía eléctrica se genera de diversas maneras. Puede ser de origen geotérmico, hidroeléctrico o termoeléctrico. En cualquier caso, tratemos de dimensionar las acciones que se requieren para que al mover el interruptor se disponga de energía eléctrica en la casa.

Pero en este conjunto de elementos hay una variable en común: la necesidad de ubicar o posicionar geodésicamente a cada uno de ellos. Algunos con alta exactitud y otros que no necesariamente lo requerirán así.

Lo que hasta aquí se ha destacado es la estrecha relación que existe entre la compleja interacción de las redes humanas y la naturaleza. En pocas palabras, el conocimiento del territorio que compartimos es vital para nuestra subsistencia y parte

importante de ello es la ubicación de los recursos, su transformación y la conducción de los bienes hasta el consumidor final, que es usted, yo, somos todos.

Necesidad de exactitud en las mediciones geodésicas

Similar a la enorme oferta tecnológica de los últimos años en el campo de la investigación sobre la Tierra, existe una especie de fiebre por el uso, a veces indiscriminado, de métodos de obtención de coordenadas terrestres: latitud, longitud y altitud.

Hasta hace algunos años, para conocer dónde estábamos ubicados sobre nuestro planeta con razonable exactitud, era necesario un extenso bagaje de conocimientos técnicos y científicos, un equipamiento altamente especializado y, sobre todo, una gran paciencia, porque se requería mucho tiempo, preparativos, observación, cálculos, prueba y error y finalmente confianza en los resultados. Esta situación se ha modificado, en parte, por la influencia del desarrollo tecnológico, principalmente en el campo de las mediciones geodésicas derivadas de la popularidad del GPS que, mediante su constelación nominal de 24 satélites, transmite señales de acceso libre y restringidas que permiten proveer un servicio de posicionamiento al usuario que utiliza receptores ubicados sobre la superficie terrestre.

Este sistema, sin embargo, no es el único en su tipo. Actualmente existe una versión rusa denominada Glonass y están desarrollándose sistemas similares por parte de la Unión Europea, China e India.

Como suele ocurrir con las modas, incluso con las científicas, el término GPS ha creado el vocablo “gepesear”, asociado a la acción de “georeferenciar” o “georreferir”, cuyo origen específico está vinculado al sistema mencionado.

¿Qué sabemos de latitud, longitud y altitud?

En principio, el GPS fue diseñado para obtener posiciones en la superficie terrestre que, en términos prácticos, equivale a obtener los valores de latitud, longitud y, eventualmente, altitud.

Para hablar en un lenguaje común, es necesario acudir a las definiciones que la Real Academia de la Lengua Española ha establecido para estos términos. *Latitud*: distancia que hay desde un punto



de la superficie terrestre al Ecuador, contada en grados de meridiano; *longitud*: distancia, expresada en grados, entre el meridiano de un punto y otro tomado como referencia en el Ecuador; *altitud*: distancia vertical de un punto de la Tierra respecto al nivel del mar.

Es inevitable definir un concepto sin depender de otros. En este caso, habría que estar seguros de saber qué es el Ecuador, qué un meridiano, cómo se expresa una distancia en grados y aunque parezca obvio, tener cierto conocimiento sobre cuál es el nivel del mar. En este último, ¿se ha fijado cuando va a la playa que el mar no permanece quieto? Entonces, ¿dónde ubicamos el nivel del mar?

Temas como estos y otros de mayor complejidad ocupan el campo de atención de la geodesia. Se requiere comprender el espacio físico, modelarlo geométrica y matemáticamente para establecer marcos de referencia. Así, la medición toma sentido y cuando hagamos referencia a la posición de un lugar expresada por su latitud, longitud y altitud, realmente imaginaremos un espacio comprensible.

Definir por ejemplo el Ecuador o los meridianos obliga a pensar en geometría. Una primera aproximación es considerar a la Tierra esférica a partir de imágenes tomadas desde el espacio.

Claro que no es totalmente esférica pero, mentalmente, tenemos que crear un modelo comprensible para estudiarla. Asumirla como esfera conduce a fuertes errores de medición, ya que a lo largo de la historia, la investigación científica nos ha enseñado que la figura geométrica regular que más se le parece es un elipsoide de revolución.

En geodesia, es necesario referirnos a tres superficies de referencia: *terreno*: superficie que podemos “ver” si quitamos lo que hay sobre el suelo, es decir, vegetación, construcciones, etc.; *elipsoide*: lo hemos tratado como la figura geométrica que más se adapta como sistema de referencia para definir y medir coordenadas; *geoide*: se define como una superficie equipotencial que coincide con el nivel medio del mar. Equipotencial significa que el producto de la fuerza de atracción local de la gravedad por la distancia al centro de la Tierra se mantiene constante y es donde reposarían las aguas marinas si no existieran otras fuerzas que las tuvieran en movimiento.

Con estos elementos ya se tiene una idea de la composición de los modelos de referencia, pero hay que decir ahora que las técnicas de medición

conllevan sus propios elementos complejos y dependen de muchos factores que tienen que ver, incluso, con el desarrollo científico y tecnológico.

Entonces, para la obtención de una posición geográfica, además de los modelos geométricos, intervienen fenómenos físicos como la fuerza de gravedad, la presión atmosférica y la temperatura; también los instrumentos de medición utilizados, la metodología y el manejo matemático de los cálculos, ya que no es posible medir directamente la latitud, longitud y altitud, sino que siempre hay que calcularlas a partir de otras cantidades físicas y geométricas que se pueden simplificar en ángulos y distancias. Y, por supuesto, la variable “tiempo” es otra muy importante a considerar.

¿Se imagina cómo medir directamente la distancia vertical entre el nivel del mar y el punto más alto del Pico de Orizaba? Obviamente no es posible, hay que hacerlo por partes. Es decir, primero convenir dónde está el nivel medio del mar y luego, con instrumentos geodésicos sujetos a variables físicas como la fuerza de gravedad local, la temperatura, las imperfecciones de la propia instrumentación y los errores humanos, efectuar una nivelación diferencial.

En otras palabras, es necesario utilizar métodos de estimación indirectos basados en modelos geométricos y matemáticos altamente complejos ¡sólo para saber la altura del punto más alto del Pico de Orizaba!

Hasta hace algunas décadas, obtener latitud y longitud sólo era factible por métodos astronómicos, con exactitudes del orden de varios metros, solución inaceptable en tiempo y calidad para la mayoría de los usuarios de hoy. Por esta razón era común simplificar el método de levantamiento al referir todos los trabajos a un plano, esto es, considerar la Tierra como plana y referir la ubicación a sistemas de referencia locales.

Pero, ¿qué efecto tiene la consideración anterior en la necesidad de integrar el conocimiento de nuestro territorio en un solo sistema? Simplemente, la diferencia entre los conceptos de Tierra plana o elipsooidal crea una anarquía en la descripción geométrica de los elementos geográficos que existe en nuestro país. Esto afecta rubros tan importantes como el estudio y explotación de los recursos naturales, el registro de la propiedad inmobiliaria, la prestación de servicios en las ciudades, entre muchos otros.



Métodos de medición con GPS

Existen, básicamente, dos tipos de equipos GPS: el conocido como navegador y el geodésico. Si nos referimos a la calidad general, el segundo supera al primero y se usa en trabajos que requieren altas exactitudes, mientras que el navegador se utiliza con fines de excursionismo o para localizaciones rápidas.

En todo caso, para conocer las coordenadas de un lugar específico, es necesario ubicar el equipo GPS en el sitio y dejar que los satélites y el receptor hagan su trabajo. El tiempo que toma puede ir de unos segundos a varias horas y depende del tipo de receptor, el método y, por supuesto de la exactitud deseada. En cuanto a los métodos a utilizar, se dividen fundamentalmente en dos:

A) *Método absoluto*. Consiste en ubicarse en el sitio deseado y obtener las coordenadas directamente a través de estimaciones redundantes de distancias satélite-punto, sin correcciones mayores, por lo que, no obstante la calidad y costo del receptor no se pueden esperar muy buenos resultados.

En este momento la pregunta sería ¿qué tan buenos son estos resultados? En términos simples no existe una respuesta única, pues la variación de las coordenadas depende de factores físicos y geométricos que cambian con el tiempo. De acuerdo con las especificaciones del servicio de posicionamiento GPS, los errores en coordenadas horizontales alcanzan hasta unos 33 metros usando este método.

Respecto a la exactitud altimétrica, las diferencias pueden superar los 70 metros, que lo hace inútil para trabajos de posicionamiento vertical en proyectos de ingeniería.

Esto es motivo de reflexión, sobre todo en la actualidad, cuando se ha puesto de moda la “georreferenciación” de objetos sobre el territorio.

Así que volvemos al punto inicial. Vemos que es necesario normalizar la información posicional con base en el conocimiento científico, las técnicas y los métodos geodésicos para estandarizar el lenguaje y la concepción de precisión de la georreferencia en los elementos de interés del territorio.

Entonces, ¿cuál es la verdadera? En realidad no lo sabemos. Es necesario elegir con base en modelos estadísticos que comprueben la mejor calidad del resultado y la homogeneidad en el comportamiento dentro del entorno de estudio.

Las coordenadas obtenidas con GPS son las que tienen mejor consistencia a nivel global en cuanto a cobertura, pero es necesario que se haga un uso adecuado de ellas, dependiendo de la precisión requerida que puede ir desde las redes de control activas, y el uso de métodos directos para determinación puntual, hasta el apoyo a la generación de cartografía a partir de imágenes.

En el caso concreto de la georreferencia absoluta directa, existe un comportamiento aleatorio que no depende del equipo ni del método empleado. ¿Por qué la exactitud es baja sin importar los tiempos de observación y la diferencia de calidad en los equipos? En esencia, porque el método depende de los elementos disponibles de la transmisión del satélite en tiempo real, de tal modo que así pasemos meses midiendo el mismo punto, no será posible elevar la calidad debido al nivel de exactitud con que el satélite nos informa de su posición en el espacio en un instante determinado, que es precisamente al nivel de los metros.

Para resolver este problema se han diseñado métodos conocidos generalmente como relativos, los cuales se apoyan para la determinación de las coordenadas de un punto en una red geodésica de alta exactitud establecida con ese objetivo.

B) *Método relativo*. Se basa en redes preestablecidas donde se conocen con exactitud las coordenadas y sirven de referente para calcular nuevas posiciones con niveles de calidad similares. En el caso de la República mexicana, el INEGI brinda un servicio gratuito de referencias geodésicas para posicionamiento satelital a través de la denominada Red Geodésica Nacional Activa, que consta de 17 estaciones de monitoreo continuo a las cuales se pueden ligar nuevos levantamientos. Este método tiene a su vez otras variantes, de las que a continuación se mencionan algunas.

Posicionamiento estático. Se obtiene la mejor exactitud con este método, aunque se ocupan varias horas de medición con los equipos “estáticos” que registran información en tiempos comunes de un mínimo de cuatro satélites simultáneamente. El método requiere captar la señal GPS en los puntos cuyas coordenadas nos interesa obtener y al menos un equipo ubicado en una estación con coordenadas conocidas. Una vez concluido el levantamiento, se procesan los datos GPS de los equipos y se obtienen las coordenadas mediante programas elabora-



dos para tal fin. Generalmente el método estático se utiliza para el establecimiento de redes o subredes geodésicas o para determinar coordenadas de alta exactitud en estaciones o vértices identificados sobre el terreno. Una de sus características es que se puede aplicar a distancias considerables entre receptores, que van de algunas decenas hasta cientos de kilómetros, valor determinado por las particularidades técnicas de los receptores utilizados.

Posicionamiento cinemático. Es el más rápido de los métodos de levantamiento relativo y en él participan dos o más equipos GPS preferentemente con una separación máxima recomendable de un par de decenas de kilómetros. En este método, por lo menos uno de los equipos permanece fijo en una estación de referencia, registrando información satelital durante todo el levantamiento, en tanto que los equipos restantes, denominados móviles, se desplazan en el terreno visitando y realizando el posicionamiento de cada estación.

Al inicio del levantamiento es indispensable que el receptor móvil efectúe lo que se denomina inicialización con el objetivo de alcanzar la exactitud requerida y mantenerla estable durante el levantamiento. Para lograr lo anterior es necesario que el equipo registre datos durante un periodo que varía de unos minutos hasta algunas horas. Esto depende, principalmente, del tipo de receptor y de la cantidad de satélites disponibles sobre el horizonte de recepción. Después de la inicialización, el receptor se traslada registrando la señal y, al llegar a la siguiente estación, permanece en ella por algunos minutos; si durante el posicionamiento de algún vértice o durante el traslado el receptor recibe la señal de menos de cuatro satélites, la inicialización debe realizarse de nueva cuenta. Una vez concluido el levantamiento, se conjunta la información de la estación de referencia y de los equipos móviles para obtener las coordenadas mediante programas de procesamiento geodésico.

El método cinemático es exigente respecto a la obtención de datos, ya que es necesario contar con un mínimo de cuatro satélites durante toda la medición, o en su caso reinicializar. Cabe mencionar que, preferentemente se utilizan seis satélites para disminuir los tiempos de posicionamiento, mejorar la exactitud y minimizar las inicializaciones. Por lo común, este método se aplica en los levantamientos que requieren coordenadas con exactitudes de hasta cinco centímetros, por ejemplo en la determi-

nación de coordenadas de vértices, en parcelas, lotes y levantamientos de la propiedad en general. No obstante sus diferencias, con los dos tipos de posicionamiento se pueden alcanzar exactitudes altas de hasta 5 cm para cada punto posicionado.

Conclusiones

El sistema de posicionamiento global ha permitido obtener esta información de una manera sencilla y rápida; sin embargo la masificación ha traído como consecuencia cierto grado de confusión en cuanto a su alcance y forma de uso.

Probablemente la característica que haga la diferencia en el uso, equipo y conocimiento para un aprovechamiento pleno, sea la exactitud de las coordenadas, ya que el GPS en su modo actual nos permite obtener posiciones con una gran diversidad de exactitudes, que van desde poco más de treinta metros (suficientes para navegar y localizar vehículos) hasta las centimétricas (necesarias para ubicar y delimitar predios, entre otras cosas).

Si con estas reflexiones he logrado que el lector comprenda mejor los alcances de esta tecnología que es ya de uso cotidiano, creo haber cumplido mi objetivo de diferenciar lo que es hacer geodesia de sólo “gepesear” y, con ello, aportar un poco al conocimiento de estas metodologías emergentes, que, día con día, veremos incorporarse e influir en nuestra vida diaria.

- 1 El global positioning system o sistema de posicionamiento global es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una exactitud hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado e instalado por la fuerza aérea de Estados Unidos y actualmente es operado por el Ala Espacial Número 50 de dicho organismo.
- 2 Ciencia matemática que tiene por objeto determinar la figura y magnitud del globo terrestre o de gran parte de él, y construir los mapas correspondientes. Por su parte la Asociación Internacional de Geodesia la define como “la disciplina que trata con la medida y la representación de la Tierra y su campo de gravedad en un espacio que varía con el tiempo, que se extiende a los planetas y sus satélites”.