

# APROXIMACIÓN A LA GEODESIA

*Material introductorio de cátedra*

---

José M. Ciampagna <sup>1</sup>(2026)

## Nota al docente

Este material está concebido como texto introductorio para la cátedra de Geodesia, con independencia del año de la carrera en que se use. Su estructura permite dos niveles de lectura:

- El estudiante de primer año encontrará en el texto continuo una introducción conceptual accesible, sin matemática, que contextualiza la disciplina y su relación con la agrimensura.
- El estudiante avanzado encontrará en las preguntas de reflexión y en los puntos clave al final de cada sección material para revisar fundamentos con mayor profundidad crítica.

El autor no es un especialista en geodesia en las fronteras científicas actuales: es un agrimensor con años de ejercicio profesional que ha practicado la geodesia y la ha enseñado. Esa perspectiva —la del profesional que conoce el terreno y mira los desarrollos recientes con curiosidad honesta— es deliberada y da al texto un tono distinto al del manual técnico.

## Presentación

La geodesia es, para muchos estudiantes de agrimensura, una de las materias que más les cuesta ubicar en el conjunto de su formación. Se sabe que es importante, que tiene que ver con la Tierra y con las coordenadas, pero no siempre queda claro por qué ocupa el lugar central que ocupa en la carrera.

Este texto busca responder esa pregunta antes de que el estudiante entre en los contenidos técnicos formales. No hay matemáticas aquí. Lo que hay es una invitación a comprender de qué se ocupa la geodesia, de dónde viene, qué problemas resuelve, y por qué cualquier agrimensor —sin importar en qué área se especialice— necesita conocer sus fundamentos.

La base conceptual de este material es el libro «Geodesy: The Concepts» de Petr Vanicek y Edward Krakiwsky (Elsevier, 1986), complementado con otras fuentes y con la experiencia personal del autor. A pesar de sus cuarenta años, ese libro conserva una claridad conceptual y una visión de conjunto que pocas obras posteriores igualan.

---

<sup>1</sup> El autor agradece el uso de la herramienta de IA (Claude) en la compilación y elaboración de este texto.

## 1. Una pregunta tan vieja como la humanidad

Antes de definir la geodesia conviene preguntarse por qué existe. La respuesta más directa es también la más antigua: porque los seres humanos necesitaron saber dónde estaban.

Desde que el ser humano cobró conciencia de su presencia sobre la Tierra, debió haberse cuestionado su ubicación en el territorio donde transcurría su vida. Esa necesidad no era abstracta: era práctica. La navegación, la agricultura, la delimitación de territorios, la construcción de monumentos, la predicción de fenómenos astronómicos: todas esas actividades requieren alguna forma de conocimiento sobre la forma, el tamaño y la posición de los objetos sobre la superficie terrestre.

Los monumentos de Stonehenge, las pirámides egipcias, los templos y ciudades de América Central, los calendarios astronómicos: todos revelan que las culturas antiguas tenían un conocimiento sofisticado —aunque no formalizado matemáticamente— de los ciclos celestes y de su relación con la geometría de la Tierra. Muchos de esos saberes estaban íntimamente ligados al tamaño, la forma y el campo gravitacional del planeta, y a sus cambios.

El problema de determinar la posición sobre la Tierra, junto al estudio de sus dimensiones, su forma y su campo de gravedad, constituye el núcleo fundador de la geodesia como disciplina científica.

### Puntos clave de esta sección

- La geodesia surge de una necesidad humana práctica y universal: saber dónde se está.
- Esa necesidad tiene expresiones en todas las culturas y épocas de la historia.
- Los problemas centrales de la geodesia —forma, tamaño y gravedad de la Tierra— son los mismos desde la antigüedad, aunque los métodos para resolverlos hayan cambiado radicalmente.

### Preguntas de reflexión

1. ¿Por qué la determinación de la posición es un problema tan antiguo? ¿Qué actividades humanas lo hacen necesario?
2. ¿Qué diferencia hay entre saber dónde estoy en relación a mi entorno inmediato y saber dónde estoy en relación a un sistema de referencia global? ¿Cuándo importa cada una?
3. ¿En qué sentido pueden considerarse los grandes monumentos de la antigüedad como expresiones tempranas de conocimiento geodésico?

## 2. ¿Qué es la geodesia? Tres definiciones en perspectiva histórica

Las definiciones de una disciplina científica no son solo descripciones: son síntomas del estado del conocimiento en el momento en que fueron formuladas. La geodesia tiene una historia larga y sus definiciones muestran cómo fue ampliando su objeto de estudio con el tiempo.

Presentamos tres definiciones en orden cronológico, no para que sean memorizadas, sino para que sean leídas como documentos históricos.

### 2.1 La definición geométrica clásica

«La Geodesia es la ciencia que trata las investigaciones de la forma y dimensiones de la superficie de la Tierra.» —George L. Hosmer, *Geodesy*, 1930.

Esta definición sitúa a la geodesia en el dominio de la geometría. Su objeto es la superficie terrestre: su forma y sus dimensiones. Es una definición que refleja bien el estado de la disciplina en la primera mitad del siglo XX, cuando los métodos fundamentales eran la triangulación y la nivelación geométrica, y el resultado principal era la determinación de coordenadas de puntos sobre una superficie de referencia.

Nótese lo que no aparece en esta definición: el tiempo. Para Hosmer, la Tierra es un objeto estático. Esa ausencia será significativa cuando comparemos con la definición más reciente.

## 2.2 La definición instrumental

«El significado literal de la Geodesia es dividir la Tierra, y su primer objeto es proveer un marco de referencia geométrico preciso para el control topográfico y otros levantamientos.» —Brigadier Bomford, *Geodesy*, 1966.

La definición de Bomford es más operativa. En lugar de describir el objeto de la disciplina, describe su función. La geodesia existe para proveer un marco de referencia que otros puedan usar. Esa función de infraestructura invisible es quizá la más importante de la geodesia para el ejercicio profesional cotidiano: sin redes geodésicas de referencia, los levantamientos no pueden ser consistentes entre sí ni con los de otros profesionales.

Bomford también recupera la etimología: «dividir la Tierra». Esa raíz griega (geo = tierra, daiein = dividir) nos recuerda que la disciplina nació del problema práctico de delimitar territorios.

## 2.3 La definición espacio-temporal moderna

«Geodesia es la disciplina que trata con las mediciones y representación de la tierra, incluido su campo de gravedad, en un espacio tridimensional variando en el tiempo.» —Petr Vanicek y Edward Krakiwsky, *Geodesy: The Concepts*, 1986.

Esta definición es la más completa y la más exigente. Incorpora tres elementos que las anteriores no tenían de manera explícita:

- **El campo de gravedad:** no solo la geometría de la Tierra, sino el campo físico que la rodea y que afecta todas las mediciones.
- **El espacio tridimensional:** la geodesia ya no trabaja solo sobre la superficie, sino en el espacio.
- **La dimensión temporal:** la Tierra cambia. Sus coordenadas, su campo de gravedad, su orientación en el espacio: todo varía con el tiempo. La geodesia debe dar cuenta de esas variaciones.

Esta definición fue formulada en 1986. No era una descripción del estado actual de la disciplina en ese momento: era una visión de hacia dónde iba. Resultó visionaria: la geodesia contemporánea trabaja exactamente en esos tres dominios.

### **Puntos clave de esta sección**

- Las definiciones de geodesia evolucionan desde lo puramente geométrico hacia lo espaciotemporal.
- La incorporación del campo de gravedad y de la dimensión temporal son los dos saltos conceptuales más importantes de la geodesia moderna.
- La función de «proveer un marco de referencia» para otros levantamientos es quizá la contribución más práctica e invisible de la geodesia.

### **Preguntas de reflexión**

1. ¿Qué implica para la práctica profesional que la Tierra sea un objeto que cambia en el tiempo? ¿Puede una coordenada ser «permanente»?
2. ¿Por qué la definición de Bomford —la más instrumental— podría ser la más útil para un agrimensor que trabaja en el campo? ¿Y cuándo resulta insuficiente?
3. ¿Qué diferencia hay entre medir en el espacio físico y medir en el espacio geométrico? ¿Por qué esa distinción importa?

## **3. Las tres funciones principales de la Geodesia**

Vanicek y Krakiwsky identifican tres funciones fundamentales de la geodesia. Conviene entenderlas no como categorías administrativas, sino como los tres grandes problemas que la disciplina se propone resolver.

### **3.1 El posicionamiento**

Posicionamiento es la determinación de coordenadas: la respuesta cuantitativa a la pregunta ¿dónde está este punto? Esas coordenadas pueden ser absolutas —referidas a un sistema de referencia global— o relativas —referidas a otros puntos cuya posición se conoce.

El posicionamiento es la función más visible de la geodesia y la que más directamente se relaciona con la práctica de la agrimensura. Pero es importante entender que las coordenadas que obtenemos no son valores absolutos en ningún sentido metafísico: son valores referidos a un sistema de referencia que la comunidad geodésica ha convenido. Cambiar el sistema de referencia cambia las coordenadas. Este punto, que parece trivial, tiene consecuencias prácticas importantes cuando se trabaja con datos de distintos orígenes.

### **3.2 El campo de gravedad de la Tierra**

Todas las mediciones geodésicas se realizan en el espacio físico, que está afectado por la gravedad. Cuando un instrumento mide un ángulo o una distancia, lo hace en referencia a la vertical local —es decir, a la dirección del campo de gravedad en ese punto. Pero los cálculos geodésicos se realizan en un espacio geométrico, donde las posiciones están definidas por coordenadas en un elipsoide.

Para pasar del espacio físico al espacio geométrico —y viceversa— es necesario conocer con precisión la geometría del campo de gravedad. Esa es la razón por la que los geodestas estudian el campo de gravedad: no por interés gravitacional en sí mismo, sino porque es la llave que conecta lo que se mide con lo que se calcula.

El campo de gravedad no es uniforme ni estático. Varía de un punto a otro según la distribución de masas internas de la Tierra, y varía en el tiempo por efectos como las mareas, los movimientos de la corteza y la redistribución de masas superficiales. Conocer esas variaciones con precisión creciente es uno de los grandes desafíos de la geodesia contemporánea.

### 3.3 Las variaciones temporales

La Tierra no es un objeto rígido. Su superficie se deforma continuamente bajo la acción de múltiples fuerzas: las mareas terrestres (análogas a las mareas oceánicas, pero en la corteza sólida), las cargas sobre la corteza (el peso del agua, del hielo, de los sedimentos), las fuerzas tectónicas, los rebotes isostáticos posteriores a la fusión de glaciares. Todas estas deformaciones implican que las posiciones de los puntos sobre la superficie terrestre no son fijas: cambian con el tiempo.

La geodesia se ocupa de medir, modelar y predecir esas variaciones. Esa función, que en la geodesia clásica era ignorada por estar por debajo del umbral de detección, se volvió central a medida que la precisión de las mediciones aumentó. Hoy, con técnicas satelitales que detectan desplazamientos milimétricos, las variaciones temporales son una señal observable y significativa.

#### ■ Puntos clave de esta sección

- Las tres funciones —posicionamiento, campo de gravedad, variaciones temporales— son interdependientes: no puede hacerse una bien sin las otras dos.
- El campo de gravedad no es un tema de física separado: es parte constitutiva de la geodesia, porque afecta todas las mediciones.
- La dimensión temporal de la geodesia no es una complejidad adicional: es una consecuencia inevitable de medir con precisión suficiente.

#### ■ Preguntas de reflexión

1. ¿Por qué las coordenadas de un punto pueden cambiar con el tiempo sin que nadie mueva el hito que las materializa?
2. ¿Qué relación hay entre la precisión de las mediciones y la visibilidad de los efectos temporales? ¿Puede una medición ser simultáneamente más precisa y más compleja de interpretar?
3. ¿Qué consecuencias prácticas tiene para una mensura el hecho de que el campo de gravedad local no sea exactamente el del elipsoide de referencia?

## 4. El problema geodésico: tres superficies, un puente

El corazón conceptual de la geodesia clásica es lo que se llama el problema geodésico: la necesidad de relacionar lo que se mide con lo que se calcula. Para entenderlo, conviene visualizar tres superficies que la geodesia distingue cuidadosamente.

### 4.1 La superficie física

Es la primera y más obvia: la superficie real del terreno, con todos sus accidentes (montañas, valles, llanuras, fondos oceánicos). Es la superficie donde se realizan las mediciones. El problema es que esa superficie es geoméricamente muy compleja: no puede describirse con una función matemática sencilla, lo que la hace inconveniente como superficie de referencia para los cálculos.

## 4.2 El geoide

El geoide es una superficie equipotencial del campo de gravedad: aquella que coincide, en promedio, con el nivel medio del mar en reposo y que se extiende conceptualmente por debajo de los continentes. Se trata de la superficie a la que apunta la vertical en cualquier punto de la Tierra, y es la referencia natural para la altimetría (las alturas se miden respecto al geoide).

El geoide es más suave que la superficie física, pero sigue siendo irregular: refleja las variaciones de la distribución de masas internas de la Tierra. No puede describirse con una fórmula matemática cerrada: debe ser determinado empíricamente mediante mediciones de gravedad. Esta irregularidad lo hace, a su vez, inconveniente como superficie de cálculo para el posicionamiento planimétrico.

## 4.3 El elipsoide de referencia

El elipsoide de revolución es una figura geométrica regular obtenida al rotar una elipse alrededor de su eje menor. Se utiliza como aproximación matemática de la forma de la Tierra: es lo suficientemente parecido al geoide como para que las diferencias entre ambos sean tratables como correcciones, y lo suficientemente simple como para que los cálculos sobre él sean manejables.

A lo largo de la historia de la geodesia se han definido múltiples elipsoides de referencia, ajustados a distintas regiones del mundo. Con la llegada de los sistemas satelitales globales se impuso la necesidad de un elipsoide único de validez mundial, que es el que se utiliza hoy en los sistemas de referencia geocéntricos.

## 4.4 El puente entre las tres superficies

El problema geodésico consiste en construir ese puente: transformar las observaciones realizadas sobre la superficie física, referidas a la vertical local (que apunta al geoide), a coordenadas sobre el elipsoide de referencia. Ese puente requiere conocer con precisión la relación entre el geoide y el elipsoide en cada punto —lo que se llama la ondulación del geoide— y las desviaciones de la vertical.

Esta tarea, que en la geodesia clásica se realizaba con mediciones de gravedad sobre el terreno y complejos cálculos numéricos, hoy se apoya en modelos globales del geoide derivados de misiones satelitales específicas. La precisión lograda ha mejorado notablemente, pero el problema conceptual sigue siendo el mismo: medimos en un mundo físico, calculamos en un mundo geométrico, y la geodesia es el puente entre los dos.

### Puntos clave de esta sección

- La geodesia distingue tres superficies: la física (donde se mide), el geoide (referencia altimétrica) y el elipsoide (referencia de cálculo).
- El problema geodésico es relacionar lo que se mide sobre la superficie física con coordenadas sobre el elipsoide.
- El geoide es una superficie física determinada empíricamente; el elipsoide es una construcción matemática. Confundirlos tiene consecuencias prácticas.

### Preguntas de reflexión

1. ¿Por qué no se usa directamente la superficie física como referencia para los cálculos geodésicos?
2. ¿Qué ocurriría si en un levantamiento se confundiera la altura sobre el geoide con la altura sobre el elipsoide? ¿En qué tipo de trabajo tendría consecuencias prácticas significativas?

3. ¿Por qué la definición de un elipsoide único de referencia global fue necesaria con la llegada de los sistemas satelitales? ¿Qué problema resuelve?

## 5. La evolución histórica de la Geodesia

Entender cómo evolucionó la geodesia ayuda a comprender por qué es lo que es hoy. No se trata de historia por la historia: cada salto tecnológico o conceptual respondió a un problema real y modificó la práctica profesional.

### 5.1 La geodesia clásica: ángulos, distancias y triangulación

Los trabajos pioneros de Snell, Picard y las expediciones francesas de los siglos XVII y XVIII demostraron que era posible determinar la forma de la Tierra mediante mediciones terrestres sistemáticas. Las redes de triangulación —conjuntos de puntos con posiciones horizontales determinadas por medición de ángulos— se extendieron primero por Europa y luego por todo el mundo, sirviendo de soporte a los programas cartográficos y catastrales.

Durante siglos, los ángulos fueron preferidos a las distancias: los instrumentos para medir ángulos —teodolitos— alcanzaron precisiones muy altas con relativa facilidad, mientras que la medición de distancias largas con precisión suficiente era extremadamente laboriosa. Esa asimetría definió los métodos clásicos de la geodesia.

### 5.2 La revolución tecnológica del siglo XX

La Segunda Guerra Mundial aceleró desarrollos tecnológicos que la geodesia incorporó rápidamente. La invención del radar y sus derivados permitió la medición electrónica de distancias con precisiones antes impensables. Los instrumentos de medición electrónica de distancias que usaron primero luz polarizada, luego ondas de radio y finalmente láser, cambiaron por completo los esquemas del posicionamiento geodésico: la ventaja histórica de los ángulos sobre las distancias quedó superada.

Casi simultáneamente, las primeras computadoras electrónicas transformaron la manera de trabajar de los geodestas. Problemas que antes eran abordables en teoría, pero impracticables por el volumen de cálculo que requerían —ajustes de grandes redes, modelados del campo de gravedad— se volvieron rutinarios.

### 5.3 La geodesia satelital

El lanzamiento de los primeros satélites artificiales en la segunda mitad del siglo XX fue el tercer gran salto. Los satélites ofrecieron algo que ningún método anterior podía dar: la posibilidad de determinar posiciones precisas en cualquier punto de la Tierra, sin necesidad de intervisibilidad entre los puntos medidos.

La baja altitud de los primeros satélites también permitió estudiar directamente la geometría del campo de gravedad a través del análisis de las perturbaciones orbitales. Por primera vez, la distribución de masas internas de la Tierra podía ser inferida de observaciones en el espacio.

El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es el resultado más visible de ese desarrollo. Comenzó como un sistema militar estadounidense en la década de 1970 y se abrió al uso civil en los años posteriores. Hoy, junto a sistemas equivalentes de otros países —GLONASS ruso, Galileo europeo, BeiDou chino— configura lo que se llama GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite): una infraestructura de posicionamiento que usamos cotidianamente sin siquiera pensarlo, desde la navegación de un automóvil hasta la sincronización de redes de comunicaciones.

## 5.4 La geodesia contemporánea: dinámica y global

La creciente precisión de las mediciones trajo consigo un hallazgo paradójico: a medida que se medía mejor, aparecían efectos que antes estaban por debajo del umbral de detección. Los movimientos de las placas tectónicas, las deformaciones de la corteza, las variaciones del nivel del mar, los cambios en la distribución de masas de agua y hielo: todos estos fenómenos comenzaron a ser detectables mediante técnicas geodésicas.

La geodesia pasó así de ser una disciplina estática —que determina posiciones— a ser una disciplina dinámica —que monitorea cambios. Esa transformación la puso en contacto estrecho con la geofísica, la oceanografía, la climatología y las ciencias del espacio.

Hoy existen misiones satelitales dedicadas específicamente a la medición del campo de gravedad —como las misiones GRACE y GOCE— que han permitido modelar el geode global con una precisión y una resolución sin precedentes, con aplicaciones que van desde la hidrología hasta el monitoreo de reservas de agua subterránea. Las técnicas de geodesia espacial —VLBI (interferometría de muy larga base), SLR (telemetría láser de satélites), DORIS— permiten determinar posiciones con precisión milimétrica a escala global y mantener los marcos de referencia terrestres que todo sistema de coordenadas necesita como fundamento.

Esta geodesia rejuvenecida excede ampliamente la imagen que teníamos hace cincuenta años. Ya no es solo la ciencia que mide la Tierra: es la que la observa cambiar.

### Puntos clave de esta sección

- La geodesia clásica se basó en la triangulación y la nivelación; la moderna incorpora medición electrónica de distancias, satélites y sistemas globales de referencia.
- Cada salto tecnológico respondió a un problema concreto: la necesidad de mayor precisión, mayor cobertura o velocidad de determinación.
- La geodesia contemporánea es dinámica: no solo mide posiciones, sino que monitorea sus cambios en el tiempo.

### Preguntas de reflexión

1. ¿Por qué la posibilidad de medir distancias con alta precisión cambió los métodos fundamentales de la geodesia? ¿Qué ventaja tenían los ángulos que las distancias no tenían?
2. ¿Qué significa que la tectónica de placas sea «detectable mediante técnicas geodésicas»? ¿Qué tipo de mediciones lo permiten?
3. Un receptor GNSS en manos de quien no comprende los fundamentos geodésicos: ¿qué tipos de errores puede cometer que el instrumento no detecta?

## 6. Aplicaciones de la Geodesia

La geodesia no es una disciplina de laboratorio: sus resultados son infraestructura sobre la que se apoya un conjunto amplio de actividades profesionales y científicas. Por siglos, su rol principal fue servir a la cartografía. Hoy sus aplicaciones se han multiplicado hasta abarcar dominios que los geodestas clásicos no habrían imaginado.

A continuación, se presentan las principales áreas de aplicación, con una descripción de la función que la geodesia cumple en cada una.

- **Cartografía:** La producción de mapas en todas las escalas requiere redes de control geodésico: conjuntos de puntos con posiciones horizontales y verticales conocidas y

homogéneamente distribuidos sobre el territorio. Sin esa infraestructura, los mapas no pueden ser consistentes entre sí.

- **Catastro y gestión territorial:** La definición, demarcación y documentación de límites de propiedad, concesiones y jurisdicciones requiere coordenadas referidas a sistemas geodésicos de referencia. En ausencia de esa referencia común, los trabajos de distintos profesionales no pueden integrarse.
- **Proyectos de ingeniería:** La construcción de grandes estructuras —puentes, represas, túneles, plantas industriales— requiere sistemas de coordenadas preestablecidos en el terreno y monitoreo de deformaciones durante y después de la construcción. En obras donde los componentes se fabrican en distintos lugares para ensamblarse in situ, la precisión del posicionamiento geodésico es crítica.
- **Demarcación de límites:** La definición rigurosa de límites nacionales, provinciales y de concesiones de recursos naturales tiene implicaciones administrativas y políticas. La geodesia provee el marco de referencia en el que esos límites pueden ser definidos con precisión y reproducidos en el tiempo.
- **Monitoreo ambiental y geofísico:** La detección de movimientos del terreno causados por extracción de recursos del subsuelo, acumulación de residuos, actividad sísmica o cambios climáticos es un problema geodésico con consecuencias ambientales directas. Las técnicas de geodesia satelital permiten detectar desplazamientos centimétricos o milimétricos en amplias regiones.
- **Sistemas de información geoespacial:** Toda base de datos territorial necesita una referencia geodésica para que la información posicional sea consistente y combinable con otras fuentes. Los sistemas de información geográfica (SIG) y los servicios de mapas digitales dependen de esa infraestructura, aunque sus usuarios raramente la vean.
- **Navegación:** Los sistemas de navegación —aérea, marítima, terrestre— dependen de los marcos de referencia geodésicos y de los sistemas GNSS para determinar posiciones y trayectorias con la precisión requerida.
- **Ciencias de la Tierra:** La geodesia provee a la geofísica, la sismología, la oceanografía y la climatología datos de posicionamiento y gravimetría que ninguna otra disciplina puede obtener. La detección del movimiento de las placas tectónicas, las variaciones del nivel del mar y los cambios en la criósfera son ejemplos de aplicaciones que han surgido de la interacción entre la geodesia y otras ciencias.
- **Planetología:** Los métodos geodésicos se aplican, con las adaptaciones necesarias, al estudio de la forma, el campo de gravedad y la deformación de otros planetas y cuerpos del sistema solar. La geodesia terrestre es el modelo conceptual del que parte la geodesia planetaria.

### Puntos clave de esta sección

- Las aplicaciones de la geodesia se han multiplicado con la tecnología satelital: ya no se limitan a cartografía y catastro.
- En muchas de esas aplicaciones, la geodesia opera como infraestructura invisible: su contribución es real, pero no siempre reconocible para quien la usa.
- La interdisciplinariedad de la geodesia contemporánea es uno de sus rasgos más distintivos.

### Preguntas de reflexión

1. ¿En cuáles de las aplicaciones mencionadas la geodesia opera de manera más visible para el usuario final? ¿En cuáles es más invisible?

2. ¿Por qué la falta de un sistema de referencia geodésico común hace que los datos de distintos levantamientos no puedan integrarse? Piensa en un ejemplo concreto.
3. ¿Qué nuevas aplicaciones podrían surgir en el futuro próximo a partir de las técnicas de geodesia satelital de alta precisión?

## 7. Geodesia y agrimensura: una relación constitutiva

De todas las relaciones de la geodesia con otras disciplinas, ninguna es más cercana —y en ocasiones más confundida— que la que tiene con la agrimensura.

En muchos idiomas no existe una distinción clara entre «geodesia» y «agrimensura»: la palabra inglesa *surveying*, por ejemplo, abarca ambas actividades y no tiene una traducción única. Esa ambigüedad lingüística refleja una confusión conceptual que conviene resolver desde el inicio de la formación profesional.

La distinción propuesta por Vanicek y Krakiwsky es clara y útil: la agrimensura (en su sentido de levantamiento, *surveying*) es la práctica del posicionamiento; la geodesia es su fundamento teórico. Son disciplinas distintas pero inseparables, en la misma relación que existe entre la física y la ingeniería eléctrica, o entre la química y la ingeniería química. El ingeniero electricista que no conoce los fundamentos de la física del electromagnetismo puede operar equipos, pero no puede diseñar sistemas ni comprender sus límites. Del mismo modo, el agrimensor que no conoce los fundamentos geodésicos puede manejar instrumentos, pero no puede evaluar la calidad de sus mediciones ni resolver problemas que se salgan de los procedimientos rutinarios.

### 7.1 Lo que la geodesia aporta al agrimensor

La geodesia aporta al agrimensor, al menos, tres cosas fundamentales:

- **El marco de referencia:** Sin un sistema de referencia geodésico, las coordenadas que determina el agrimensor son locales e inconsistentes con las de otros profesionales. La geodesia define ese marco y lo materializa en redes de puntos de control.
- **La comprensión del error:** Toda medición contiene errores. La geodesia enseña a clasificarlos (errores sistemáticos, accidentales, groseros), a modelarlos y a minimizarlos mediante el diseño adecuado de los levantamientos y el ajuste por mínimos cuadrados.
- **La referencia altimétrica:** la determinación de alturas correctas requiere conocer la relación entre el elipsoide y el geoide en la zona de trabajo. Sin esa corrección, las alturas determinadas con GNSS —que son alturas elipsoidales— no son directamente utilizables en la mayoría de las aplicaciones prácticas.

### 7.2 La formación geodésica como condición de la calidad profesional

La tecnología GNSS ha democratizado el acceso al posicionamiento de alta precisión. Un receptor puede determinar coordenadas con precisión centimétrica en segundos, sin que el operador necesite conocer casi nada de geodesia. Esa facilidad de uso es un logro tecnológico notable, pero también una fuente de riesgos.

Los errores más frecuentes en el uso profesional de los sistemas GNSS no son errores de instrumento: son errores de comprensión. Confundir alturas elipsoidales con alturas sobre el geoide, trabajar con sistemas de referencia distintos sin saberlo, ignorar los errores

sistemáticos en zonas de geometría satelital desfavorable, no controlar la calidad de la solución: todos estos problemas son invisibles para el instrumento y solo detectables para quien comprende los fundamentos de lo que está midiendo.

La falta de formación geodésica no convierte al agrimensor en un profesional peligroso en todos los contextos. Pero lo hace vulnerable en lo que más importa: los trabajos donde la precisión tiene consecuencias legales, técnicas o económicas significativas. Y es exactamente en esos trabajos donde se pone a prueba la calidad profesional.

### **Puntos clave de esta sección**

- Geodesia y agrimensura son complementarias, pero distintas: la primera es el fundamento teórico de la segunda.
- La facilidad de uso de los instrumentos modernos no reemplaza la comprensión de los fundamentos geodésicos.
- Los errores más graves en el uso profesional de GNSS son errores conceptuales, no instrumentales.

### **Preguntas de reflexión**

1. ¿Por qué la facilidad de uso de un instrumento puede ser simultáneamente una ventaja y un riesgo? ¿En qué situaciones el riesgo es mayor?
2. ¿Cuál es la diferencia entre altura elipsoidal y altura sobre el geoide? ¿En qué tipo de trabajo es esa diferencia irrelevante, y en cuál es crítica?
3. ¿Qué significa que dos levantamientos estén referidos a sistemas de referencia distintos? ¿Cómo puede detectarse ese problema y cómo se resuelve?

## **8. Reflexión de cierre: ¿Por qué estudiar geodesia?**

Al comenzar este texto, señalamos que la geodesia es, para muchos estudiantes, una materia difícil de ubicar en el conjunto de la carrera. Confiamos en que, al llegar aquí, esa dificultad sea menor.

La geodesia no es un conjunto de técnicas para determinar coordenadas: es la disciplina que pregunta cómo se puede conocer con rigor la posición de un punto sobre la Tierra, y responde esa pregunta desde sus fundamentos matemáticos, físicos e históricos. Esa diferencia entre técnica y disciplina es la que separa al profesional del operador.

La geodesia ha sido siempre una ciencia de frontera: sus desarrollos han estado en el límite de lo que la tecnología disponible podía hacer. Por eso ha cambiado tanto a lo largo de la historia, y por eso sigue cambiando. Lo que aprendemos hoy es, inevitablemente, una fotografía de un estado en movimiento. Pero los fundamentos conceptuales —la distinción entre las tres superficies, las tres funciones de la disciplina, la relación entre el espacio físico y el geométrico— son estables. Son los que permiten entender los cambios cuando ocurren, en lugar de quedar desconcertados por ellos.

Estudiar geodesia es aprender a pensar con precisión sobre la posición. Y eso, para un agrimensor, es constitutivo de la profesión.

---

## **Glosario de términos fundamentales**

## Coordenada

Valor numérico que define la posición de un punto en un sistema de referencia dado. Las coordenadas no son absolutas: dependen del sistema de referencia en que se expresan.

## Datum geodésico

Conjunto de parámetros que define un sistema de referencia geodésico: el elipsoide utilizado, su posición y orientación respecto a la Tierra. Dos levantamientos realizados con datums distintos producen coordenadas que no son directamente comparables.

## Deflexión de la vertical

Ángulo entre la dirección de la vertical local (normal al geoide) y la normal al elipsoide en el mismo punto. Es uno de los parámetros que relacionan el geoide con el elipsoide.

## Elipsoide de referencia

Figura geométrica regular —obtenida al rotar una elipse alrededor de su eje menor— utilizada como aproximación matemática de la forma de la Tierra. Sobre él se realizan los cálculos geodésicos.

## Geoide

Superficie equipotencial del campo de gravedad que coincide en promedio con el nivel medio del mar en reposo. Es la referencia natural para la medición de alturas. No puede expresarse con una fórmula matemática cerrada: debe determinarse empíricamente.

## GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite)

Conjunto de sistemas satelitales de posicionamiento global. Incluye el GPS (EE. UU.), GLONASS (Rusia), Galileo (Europa) y BeiDou (China), entre otros. Permiten determinar posiciones con precisión variable (desde métrica hasta milimétrica) en cualquier punto de la Tierra.

## Marco de referencia terrestre

Materialización práctica de un sistema de referencia mediante un conjunto de puntos con coordenadas conocidas y precisas, distribuidos sobre la superficie terrestre. Es la «red» sobre la que se apoyan todos los levantamientos.

## Ondulación del geoide

Distancia vertical entre el geoide y el elipsoide de referencia en un punto dado. Puede ser positiva (geoide sobre el elipsoide) o negativa. Su conocimiento permite convertir alturas elipsoidales en alturas sobre el geoide.

## Posicionamiento absoluto

Determinación de la posición de un punto respecto a un sistema de referencia global. Se obtiene, por ejemplo, mediante GNSS.

## Posicionamiento relativo

Determinación de la posición de un punto respecto a otro u otros puntos de posición conocida. Es el fundamento de la triangulación clásica y del posicionamiento diferencial GNSS.

## Sistema de referencia

Marco matemático en el que se definen las posiciones. Un sistema de referencia geodésico incluye un elipsoide de referencia, un origen, una orientación y una escala.

## Superficie equipotencial

Superficie sobre la cual el potencial gravitacional tiene el mismo valor. La vertical es perpendicular a las superficies equipotenciales en cada punto. El geoide es una superficie equipotencial particular.

## Triangulación

Método clásico de geodesia que determina posiciones mediante la medición de ángulos en una red de triángulos. Si se conoce la longitud de al menos un lado (base), pueden calcularse las longitudes de todos los demás y las posiciones de todos los vértices.

### **Vertical local**

Dirección de la fuerza de gravedad en un punto dado. Coincide con la dirección del hilo a plomo. No es paralela al eje de rotación de la Tierra ni a la normal al elipsoide, salvo en los polos y en el ecuador.

---

## **Bibliografía**

Hosmer, George L. (1930). Geodesy. Wiley and Sons, London.

Bomford, Brigadier (1966). Geodesy. 4ª edición. Oxford University Press, London.

Vanicek, Petr y Krakiwsky, Edward (1986). Geodesy: The Concepts. 2ª edición. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Arinci, Rodolfo F. (2013). ¿Dónde estoy? Del gnomon al GPS. La larga epopeya de la humanidad para determinar su posición sobre la Tierra. Edición personal.

### **Nota terminológica**

*La palabra inglesa surveying no se traduce correctamente siempre como «agrimensura». En sentido amplio, equivale a «levantamiento». En distintos países hispanohablantes, las funciones de levantamiento geodésico y topográfico las ejercen ingenieros topógrafos, cartógrafos, geomensores o ingenieros geodestas. La distinción fundamental entre topografía y geodesia radica en si se considera la Tierra como plana (topografía) o como un cuerpo curvo (geodesia).*