

Definición, división y objetivo de la Geodesia

1. ¿Qué es la Geodesia?

La palabra Geodesia literalmente expresa *división de la Tierra*, sin embargo, diversos autores notables establecen distintas definiciones de este concepto. Para unos existe una clara diferencia entre la Geodesia Teórica y la Geodesia Práctica, indicando que la primera *estudia la forma y dimensiones de la Tierra*, en cambio la segunda *establece los procedimientos para la medida de porciones terrestres*. Para otros autores esta diferencia no es tan clara, por ello se refieren a la Geodesia como una ciencia cuyo objetivo es el de *proporcionar un armazón o estructura geométrica precisa para el apoyo de los levantamientos topográficos*.

Actualmente la Geodesia se define brevemente como *la ciencia que resuelve los problemas relacionados con la figura y dimensiones de la Tierra*, y como veremos más adelante esta ciencia puede dividirse en varias disciplinas, atendiendo al método seguido para llevar a cabo este objetivo.

Podemos concluir este apartado diciendo que la Geodesia es una ciencia, que desde la antigüedad, se ha dedicado al estudio de la medida y forma del globo terráqueo, adaptándose a las necesidades de la época para aplicarse a problemas prácticos, como son básicamente la confección de mapas nacionales e internacionales, así como la preparación de cartas para aplicaciones específicas como las geológicas e hidrográficas, entre otras. Pudiendo afirmar que la Geodesia se ha necesitado y seguirá siendo necesaria mientras se proyecten obras humanas que requieran precisiones cada vez mayores.

2. Problemas de la Geodesia

Sabiendo que la principal tarea científica de la Geodesia es el estudio de la figura de la Tierra, podemos dividir los problemas *científicos* de la Geodesia en :

- Determinación del tipo de superficie matemática que represente suficientemente bien la figura de la Tierra en su totalidad. A este respecto se considera como tal superficie la de un elipsoide de revolución ligeramente aplanado, éste se denomina *elipsoide terrestre*.
- El estudio de la verdadera figura de la Tierra y su campo de gravedad, entendiendo por verdadera figura de la Tierra, la superficie física de la misma. El estudio de la verdadera figura de la Tierra consiste en determinar las magnitudes geodésicas, que caracterizan las desviaciones de ésta con respecto a la superficie establecida por el elipsoide terrestre. El estudio del campo de gravedad terrestre es fundamental, debido tanto a su influencia en la forma de la Tierra, como a la influencia que ejerce en las medidas que se llevan a cabo de la misma (por ejemplo mediante satélites artificiales).

Los problemas *científico-técnicos* derivados de los anteriores son múltiples, aquí citaremos sólo los más relevantes.

- Medición de la aceleración de la gravedad.

- Determinaciones astronómicas de las latitudes y longitudes terrestres.
- Observaciones de los satélites artificiales.
- Elaboración de modernos métodos e instrumentos para la ejecución de mediciones y observaciones de alta precisión.
- Desarrollo de métodos topográficos con los que se estudia detalladamente la forma de la superficie terrestre.
- Levantamiento cartográfico de grandes territorios, es decir, representación de la superficie terrestre sobre un plano.

Interpretados a grandes rasgos, los problemas científicos y científico-técnicos de la Geodesia, están recíprocamente enlazados, y por eso, la solución de los problemas científico-técnicos exige el control de requisitos deducidos de la solución de los problemas científicos. En el apartado siguiente veremos como la búsqueda de soluciones a los problemas fundamentales de la Geodesia, conduce a una división de la misma en tres ramas principales.

3. División de la Geodesia

De la definición de la Geodesia dada anteriormente, parece deducirse que la misma se dedica sólo a la solución de problemas de tipo geométrico, pero no debemos olvidar que para llegar a definir la forma de la Tierra, será preciso considerar a nuestro planeta en un contexto más general.

En efecto, dentro del marco de la Mecánica Clásica, la Tierra es un cuerpo inmerso en el sistema solar, que se encuentra sometido a una rotación diaria y a la atracción del Sol y de los demás cuerpos del sistema solar. En estas condiciones la Tierra describe una órbita que compensa en cierto modo tales atracciones, por ello, podemos considerar que un punto sobre la superficie terrestre queda sometido, casi exclusivamente, a la atracción de nuestro planeta y a la fuerza centrífuga derivada de su rotación. Así pues, idealizado el problema y prescindiendo del movimiento orbital terrestre, vemos que tiene sentido estudiar las figuras de equilibrio que adoptará una masa aislada, cuyas partículas se atraen según la ley de gravitación universal de Newton.

En esta situación de aislamiento, sucede que la esfera es una figura de equilibrio para una masa homogénea en reposo, siendo el único movimiento posible para una masa homogénea que se mueve como un sólido, el de una rotación uniforme alrededor de uno de sus ejes principales de inercia. Ambas conclusiones, unidas al hecho de que una pequeña rotación produce un achatamiento de la forma esférica, nos lleva a considerar que la Tierra tiene una figura de equilibrio dada por un elipsoide de revolución, ligeramente achatado en los polos, que gira alrededor de un eje que pasa aproximadamente por los polos. Conviene sin embargo recordar, que la Tierra no es un cuerpo rígido y homogéneo, por tanto este modelo teórico está muy simplificado. Otra simplificación importante que se ha indicado consiste en ignorar los efectos gravitatorios de los demás cuerpos del sistema solar, incluido el Sol, sobre la superficie terrestre. Es un fenómeno bien conocido la existencia de mareas tanto oceánicas como terrestres y atmosféricas, todas éstas son debidas a la atracción gravitatoria que ejercen

sobre la superficie terrestre, principalmente el Sol por su gran masa y la Luna por su cercanía a la Tierra.

No obstante, en lo sucesivo vamos a considerar la superficie de equilibrio o equipotencial, la que determinan los océanos, prescindiendo del efecto perturbador de las mareas. Denominaremos entonces *geoide* a la superficie dada por el nivel medio de los océanos, siendo esta superficie la que utilizaremos como referencia para definir la altitud de un punto sobre la Tierra. Sin duda, la introducción del geoide como superficie de nivel tiene un gran sentido físico, aunque su determinación resulte ser uno de los problemas más complejos de la Geodesia.

Nos encontramos así con dos superficies fundamentales de referencia, el elipsoide y el geoide, las cuales provienen de dos concepciones distintas de la Geodesia, determinando en consecuencia la división de la Geodesia en dos ramas principales, Geodesia Geométrica o Elipsoidal y Geodesia Física o Dinámica.

Además de estas ramas y debido al desarrollo de la interferometría láser, las nuevas técnicas de radar y el lanzamiento de satélites artificiales, las cuales hacen posible determinar la posición de un punto sobre la Tierra, de forma independiente de cualquier modelo previo adoptado; nace una nueva rama de la Geodesia que incluye procedimientos de medida tan diversos, ésta se llama Geodesia Espacial o Geodesia por satélite.

Finalmente señalaremos, que atendiendo a su aspecto más operativo o práctico, la Geodesia puede dividirse en tres categorías :

- La *Geodesia Global*, que responde a la definición general citada al principio de este capítulo, y que necesita para su desarrollo la cooperación internacional.
- La *Geodesia Regional*, que es practicada por cada país con el fin de resolver los problemas planteados por la Cartografía y la Geografía, entre otras.
- La *Geodesia Topográfica*, que trata de precisar detalles de una cierta superficie de pequeñas dimensiones, para ello la considera una superficie plana o esférica según sean sus dimensiones.

4. Datos históricos y técnicos. La red geodésica española

Llegados a este punto, hay que recordar que desde la antigüedad el hombre se ha preocupado por la medida de la Tierra, pero es Aristóteles el primer autor que nos habla de la medida de la misma, indicando que los matemáticos de la época fijaron el perímetro de ésta en 400 000 estadios, siendo un estadio aproximadamente 166 m.

Sin embargo, es Eratóstenes el primer geómetra cuyo procedimiento de medida es conocido; su método, el cual es utilizado todavía en nuestra era, consiste en la medida lineal y angular de un arco terrestre; la medida lineal se realizaba de forma directa, a pasos, la medida angular se llevaba a cabo mediante métodos celestes. El procedimiento que este geodesta llevó a cabo 2 siglos a. C. es como sigue. Primero observó el día del año en que el Sol estaba en la vertical de la ciudad de Siene (actual Assuán). Al año siguiente el mismo día y a la misma hora observó la inclinación del Sol en Alejandría, tal como se indica en la figura 1,

obteniendo el valor $1/50$ parte de un círculo ($7^{\circ} 12'$). Entonces, dado que la distancia entre Alejandría y Siene era bien conocida en la época (5.000 estadios), pudo hallar el radio medio de la Tierra y el perímetro aproximado de la Tierra unos 252.000 estadios (1 estadio de esa época era aproximadamente 160 m actuales).

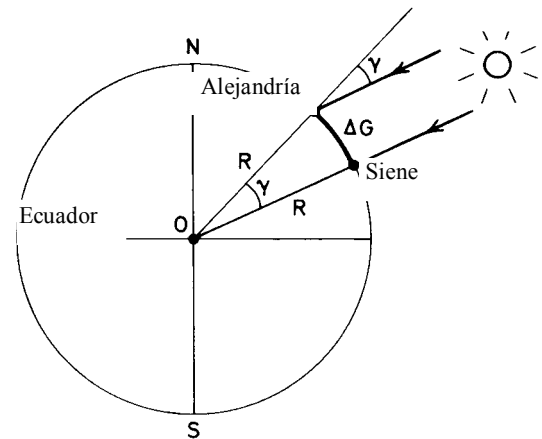


Fig. 1. Método usado por Eratóstenes para medir el perímetro de la Tierra.

Durante siglos Francia mantuvo su primacía en asuntos geodésicos, pero desde principios del siglo XIX es Alemania el país que da a la Geodesia un empuje formidable, siendo Estados Unidos, durante el siglo XX, el país en el que se llevan a cabo los trabajos geodésicos de más relevancia. Las medidas francesas de los siglos XVII y XVIII sirvieron para calcular los elipsoides de Bessel y de Clarke, mientras que las medidas Norteamericanas se utilizaron para calcular el elipsoide de Hayford.

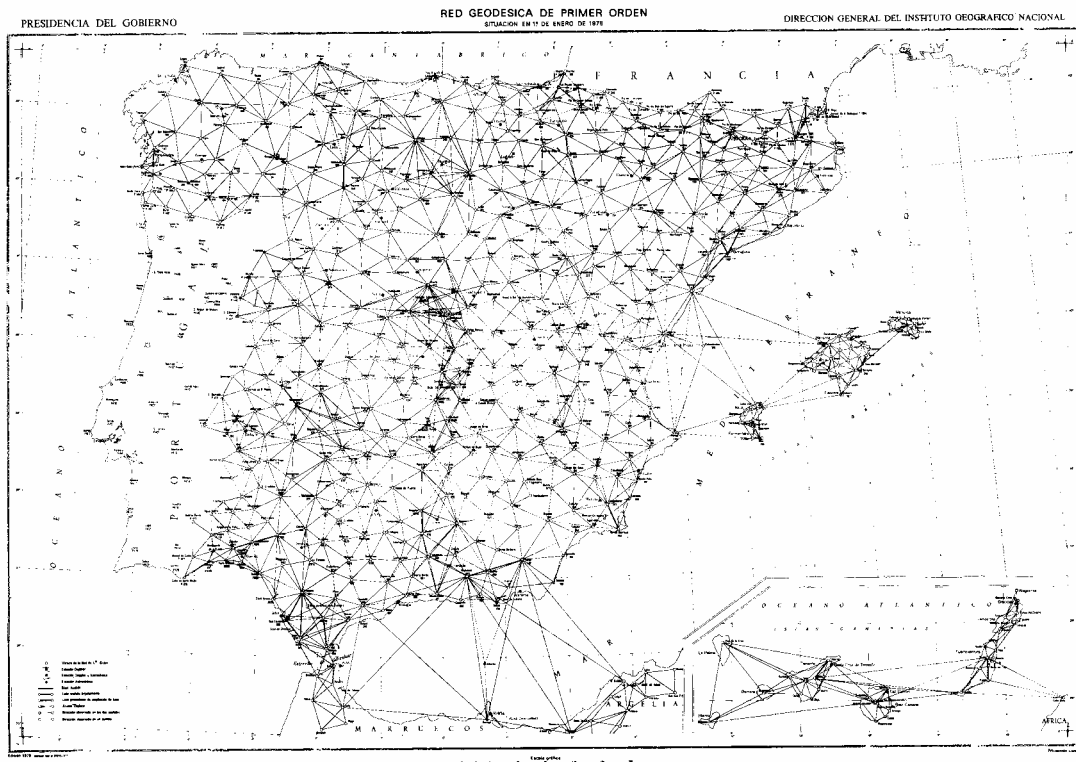


Fig. 2. Mapa de la Red Geodésica Nacional.

En lo que se refiere a nuestro país, desde la mitad del siglo XIX hasta la mitad del siglo XX, se fueron desarrollando los trabajos destinados a extender una red geodésica formada por cadenas de triángulos, los cuales corren sensiblemente a lo largo de los meridianos, paralelos y costas (ver figura 2). Forman parte de esta red las cadenas de enlace del Archipiélago Balear con la Península, así como los grandes cuadriláteros que ligan nuestra costa con Argelia y Marruecos. El Archipiélago Canario posee su propia red que liga las islas entre sí, y éstas con el continente africano (ver figura 2). Los trabajos geodésicos cuyo objetivo fue la formación del mapa nacional en escala 1:50.000, se iniciaron en 1858 finalizándose en su conjunto hacia 1930. El punto fundamental de la red geodésica nacional o *dátum* está en el *Observatorio Astronómico de Madrid*, cuyo meridiano ha sido utilizado también como origen de longitudes. Sin embargo, la red geodésica de las Canarias por ser independiente tiene su propio *dátum*, el cual se halla en el vértice denominado *Pico de las Nieves*, en la isla de Gran Canaria.

Más recientemente y gracias al desarrollo de nuevas tecnologías como GPS, todas las redes europeas se han podido unificar para formar una sola red de precisión. Esta unificación ha permitido unir toda el área ibérica con Europa, mediante una red de *alta precisión* que nos proporciona actualmente medidas de gran precisión para ciertos puntos, que pueden usarse como *vértices de referencia* para realizar tareas científicas o técnicas. Esta unificación ha sido posible gracias al desarrollo de la red [EUREF](#) (ver figura 3), la cual está formada por estaciones GPS *permanentes*. Esta red de estaciones permanentes proporciona coordenadas de *alta precisión* para diversas aplicaciones tanto científicas como técnicas.

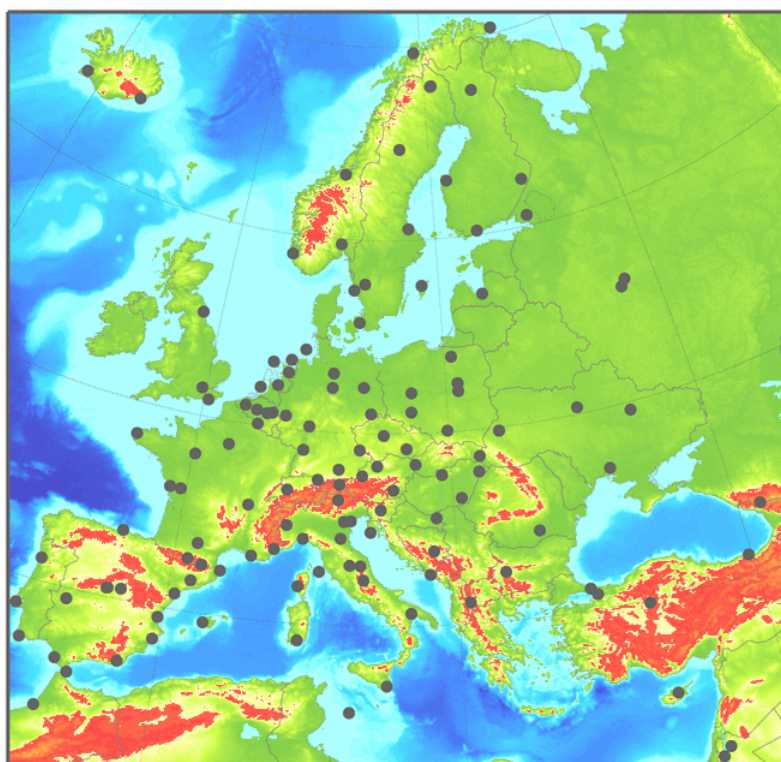


Fig. 3. Mapa de la red de estaciones GPS permanentes que forman la red EUREF.

Con el desarrollo de la red EUREF y la realización de otros trabajos geodésicos, desarrollados con la financiación de proyectos europeos, en los cuales cada país de Europa ha colaborado aportando sus medidas y realizando nuevas y más precisas mediciones, se ha conseguido unificar las redes de nivelación europeas, para formar una única red de nivelación

con una precisión centimétrica. Esta red de nivelación que recibe el nombre de [UELN](#) (United European Levelling Network) está representada en la figura 4a.

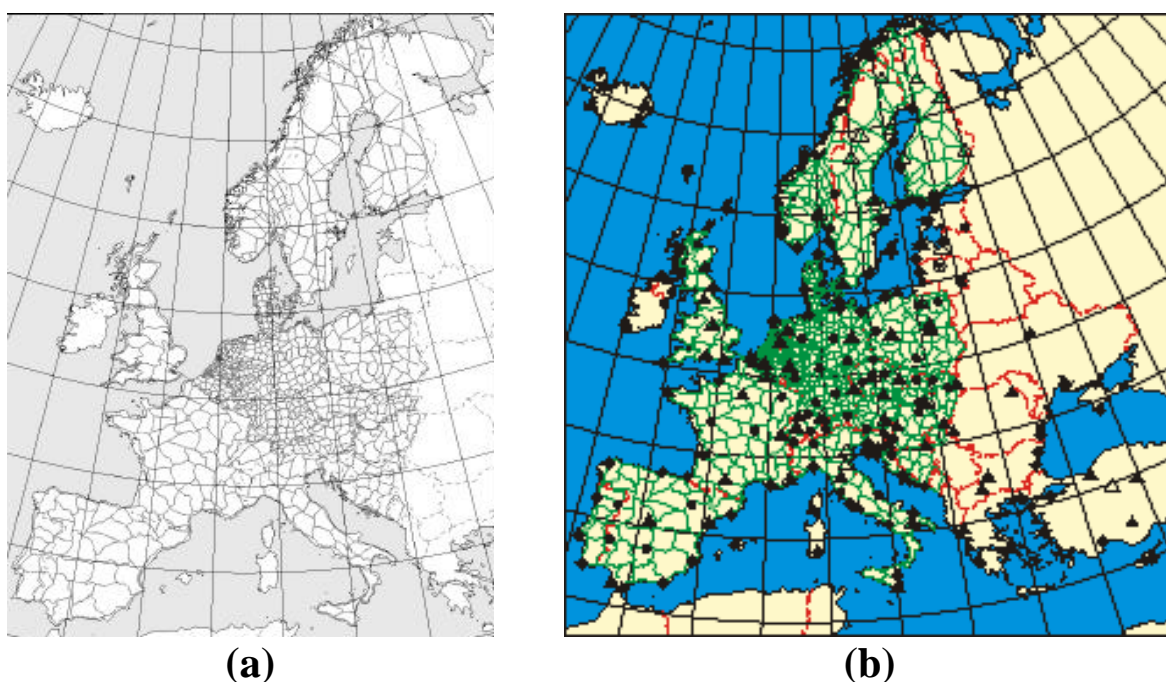


Fig. 4. (a) Mapa de la red de UELN formada por la unificación de todas las redes de nivelación europeas. (b) Mapa de la red vertical europea EVRS (European Vertical Reference System).

Durante la realización de esta red de nivelación unificada para toda Europa (la red UELN), formada por todas las redes de nivelación de los países europeos, se puso también de manifiesto la necesidad de unificar estas redes de nivelación no sólo entre ellas sino también con la red EUREF, de tal forma que se pudiera disponer de una red GPS-nivelación unificada para toda Europa. Esta nueva red conseguida como consecuencia de todos los esfuerzos y proyectos anteriores, cuyo nombre es [EVRS](#) (European Vertical Reference System), está representada en la figura 4b. Esta red constituye un marco de referencia fundamental para la medición de alturas con precisión centimétrica.

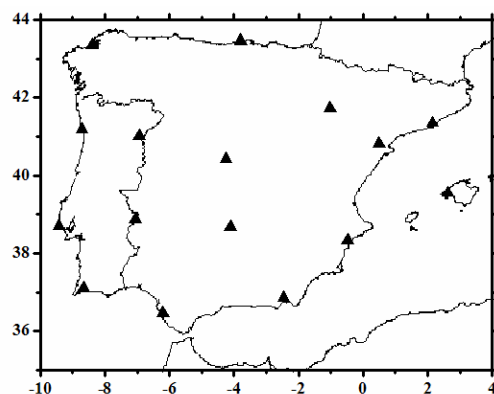


Fig. 5. Mapa con los vértices de la red vertical europea EVRS en Iberia.

En el [área ibérica](#) esta red posee los vértices de precisión mostrados en la figura 5. Las coordenadas y alturas de estos puntos, junto con los datos de los otros puntos situados por toda Europa, pueden descargarse desde internet en la dirección:

http://crs.bkg.bund.de/evrs/tabelle_neu.html

BIBLIOGRAFÍA

Bomford G. (1971). *Geodesy*. Oxford University Press.

Cid R. y Ferrer S. (1997). *Geodesia Geométrica, Física y por Satélites*. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento.

Martín Asín F. (1983). *Geodesia y Cartografía Matemática*. Instituto Geográfico Nacional.

Torge W. (1991). *Geodesy, 2nd Edition*. Walter de Gruyter.

Vanicek P. and Krakiwsky E. (1986). *Geodesy : The Concepts*. Elsevier Science Publishers.