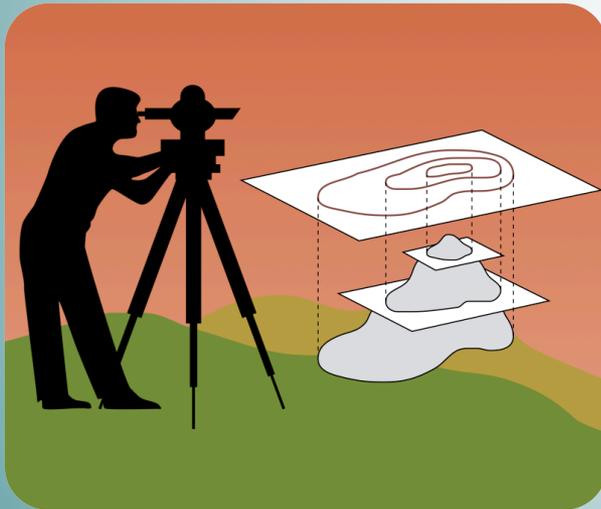


Topografía y Geodesia-G337

Bloque I. Tema 1. Topografía y Geodesia



Javier Sánchez Espeso

Raúl Pereda García

DPTO. DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



1.- Topografía y Geodesia.

▶ Geodesia

- ▶ Ciencia que estudia la forma y dimensiones de la tierra, incluyendo su campo gravitacional, en un espacio tridimensional que varia temporalmente.

▶ Topografía

- ▶ Métodos e instrumentos para definir y modelizar una superficie de terreno, con sus accidentes naturales y artificiales, “asumiendo” que la forma de la tierra es plana.

▶ *¿Y qué forma tiene la tierra?*

- ▶ Se trabaja con 2 tipos de superficies:
 - ▶ Superficies regulares con definición geométrica matemática precisa.
 - ▶ Superficies que responden a la observación de un parámetro físico, no tienen una forma regular.



1.1.- Superficies matemáticas de aproximación: Geodesia geométrica

▶ Superficies matemáticas de aproximación de la tierra:

- **Esfera** con un radio de ~ 6370 km.
Eratóstenes de Cyrena, 240 AC, 6267 km.

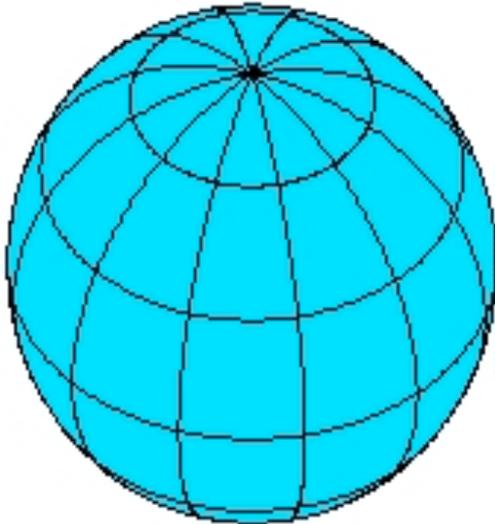
Si la Tierra fuese un planeta aislado, homogéneo, y la rotación uniforme:

- **Elipsoide** con un radio en el plano del ecuador (semieje mayor, a) de ~ 6378 km y un radio polar (semieje menor, b) de ~ 6357 km.

- La diferencia de ~ 21 km se denomina “**flattening-aplanamiento**” (α) del elipsoide:

$$\alpha = a-b/a = \sim 1/300 \text{ para la tierra}$$

- La posición y dimensiones de la superficie son convencionales.
- Permiten fijar la posición planimétrica de puntos en la superficie terrestre.



1.1.- Superficies matemáticas de aproximación: Geodesia geométrica

Elipsoide de aproximación: se obtiene como la superficie engendrada por una elipse rotando sobre el eje de la tierra.

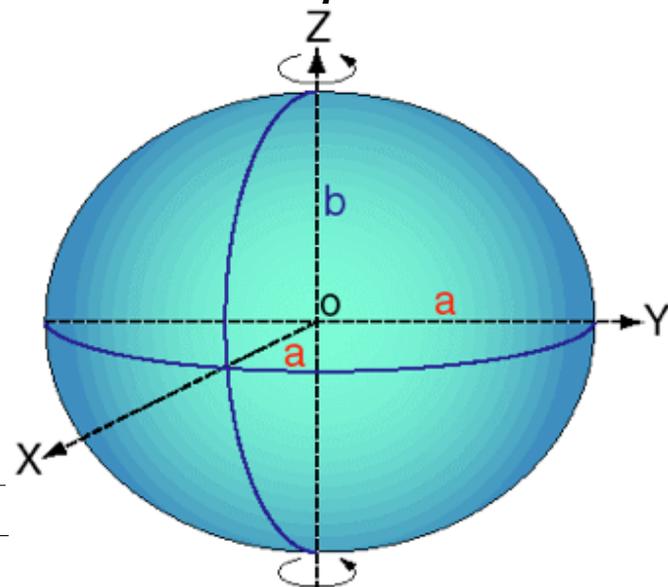
a -> Semieje mayor

b -> Semieje menor

α -> aplanamiento $\alpha = \frac{a-b}{a}$

e -> primera excentricidad $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$

e' -> segunda excentricidad $e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$



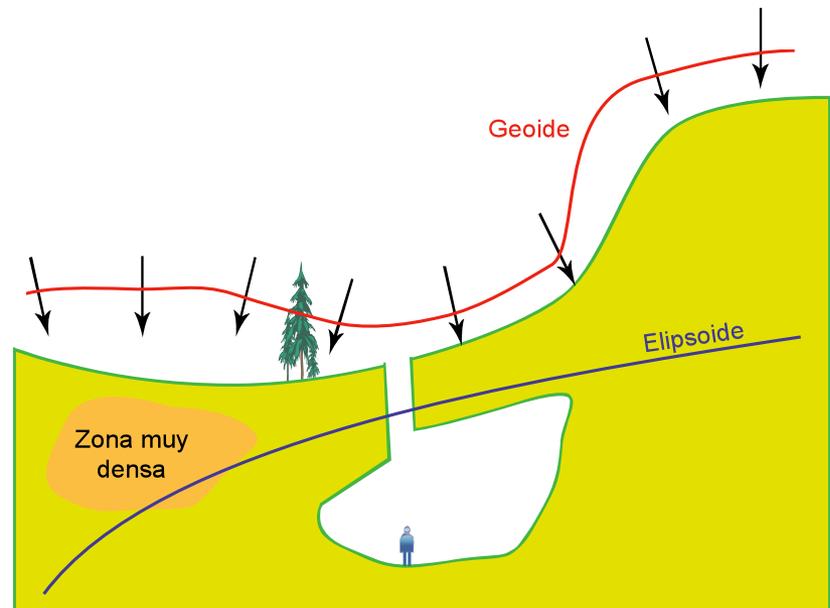
Han existido numerosos marcos / sistemas de referencia:

- Internacional (Hayford, ED1950).
- World Geodetic System 1984 (WGS84).
- **European Terreste Reference System 1989** (ETRS89).



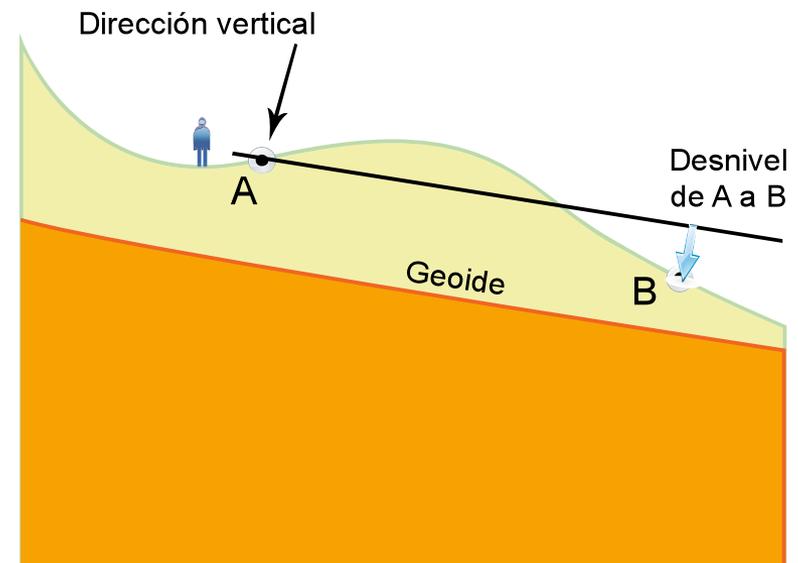
1.2.- Superficie física de aproximación: Geodesia física

- ▶ Superficie que supone una aproximación física: **Geoide**.
- ▶ Se define como la superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra que mejor se ajusta al nivel medio de los océanos en equilibrio.
- ▶ Por tanto es una superficie que caracteriza una propiedad física: el geoide siempre es perpendicular al vector gravedad en cada punto.



1.2.- Superficie física de aproximación: Geodesia física

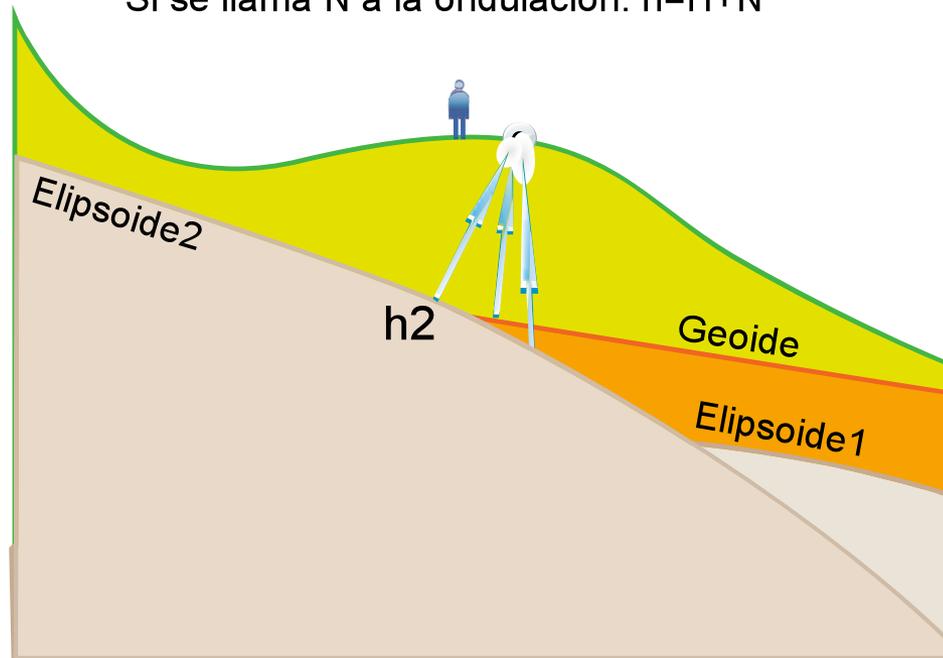
- ▶ Superficie que supone una aproximación física: **Geoide**.
 - ▶ Su utilidad está directamente relacionada con la observación y cálculo de desniveles de altitudes.
 - ▶ Estudiado por la Geodesia Física.
 - ▶ Lógicamente, para definir su forma se precisa referirla a una superficie regular, habitualmente un elipsoide.
 - ▶ La diferencia en altitud entre un elipsoide de referencia y el geoide se denomina ondulación del geoide.



1.2.- Superficie física de aproximación: Geodesia física

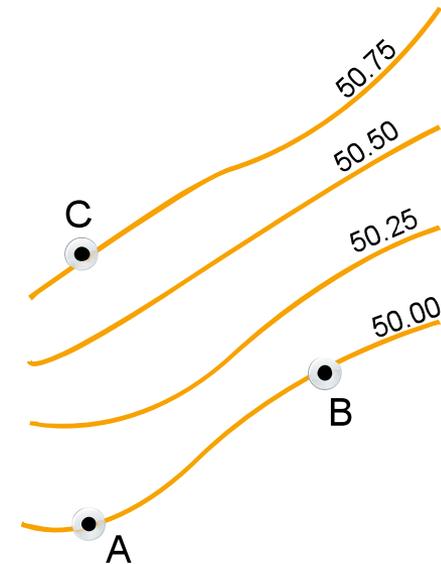
Ondulación del Geoide

H: altitud
 h_i : altitud elipsoidal referida a elipsoide
Si se llama N a la ondulación: $h = H + N$



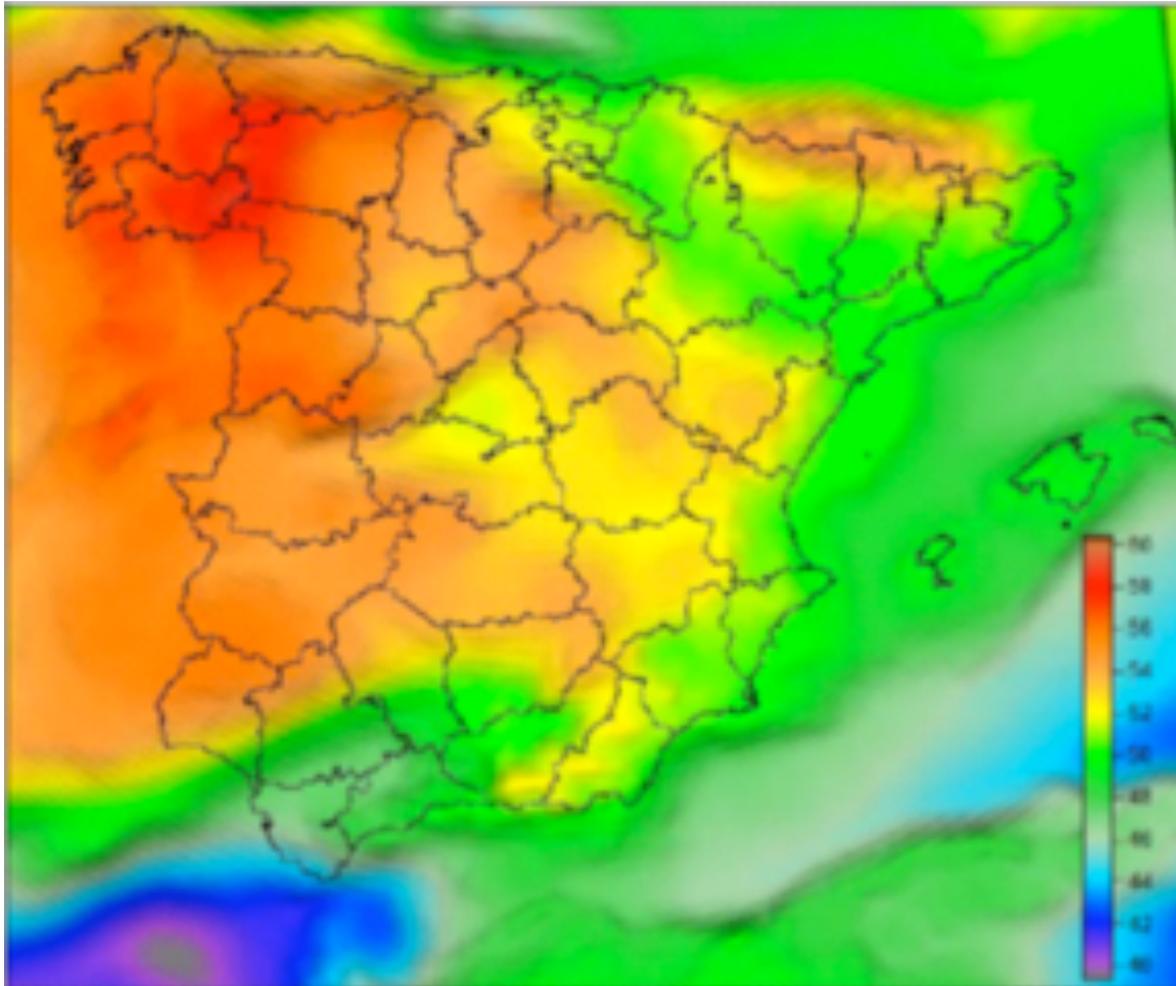
Ejemplo práctico:

$H_a = 10,50\text{m}$, $H_b = 10,0\text{m}$, $H_c = 10,0\text{m}$.
¿Pendiente entre AB y BC?



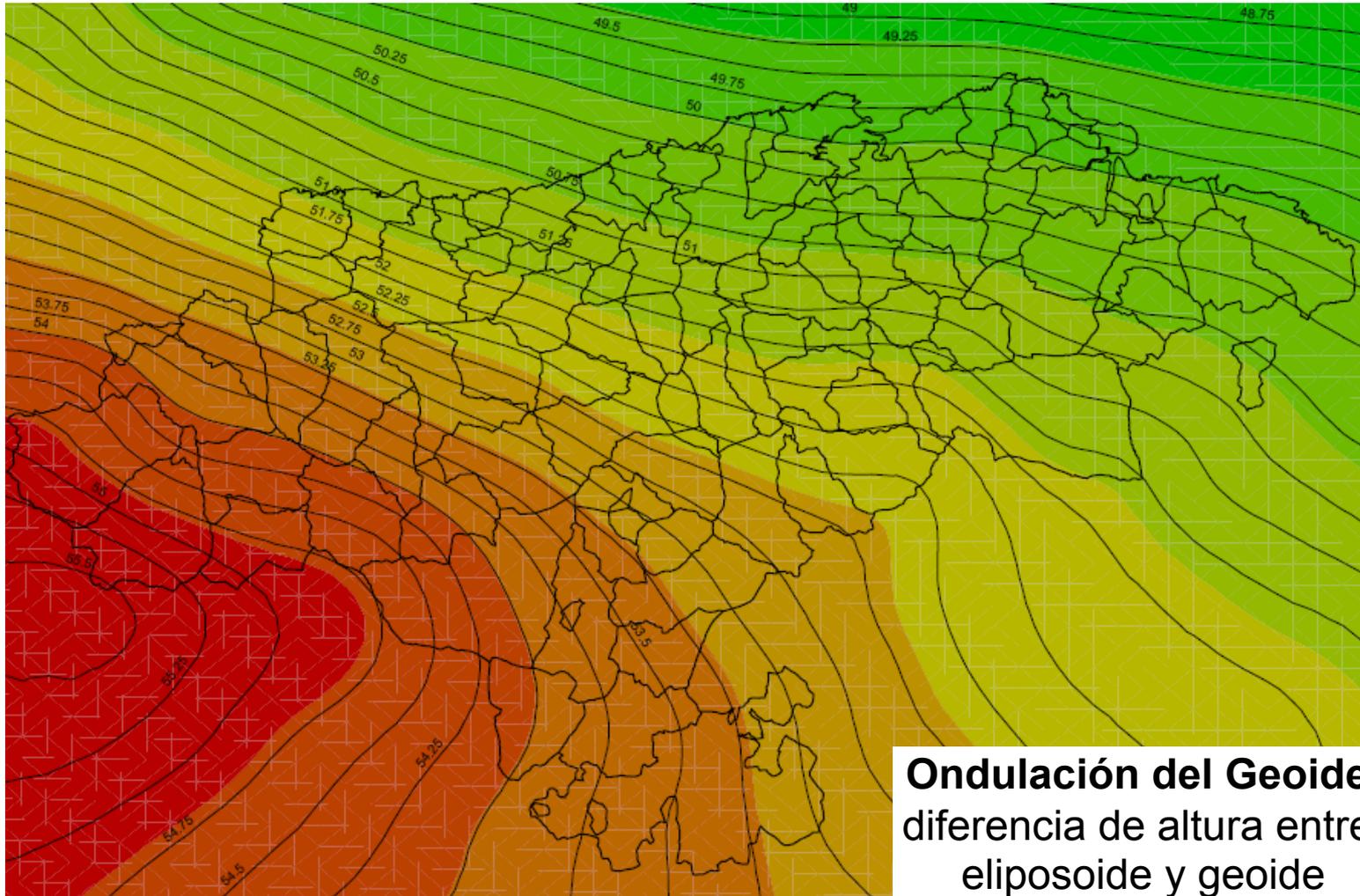
1.2.- Superficie física de aproximación: Geodesia física

Modelo actual de Geoide: EGM2008-REDNAP en Península y Baleares



1.2.- Superficie física de aproximación: Geodesia física

Ondulación del Geoide EGM2008-REDNAP en la CCAA de Cantabria

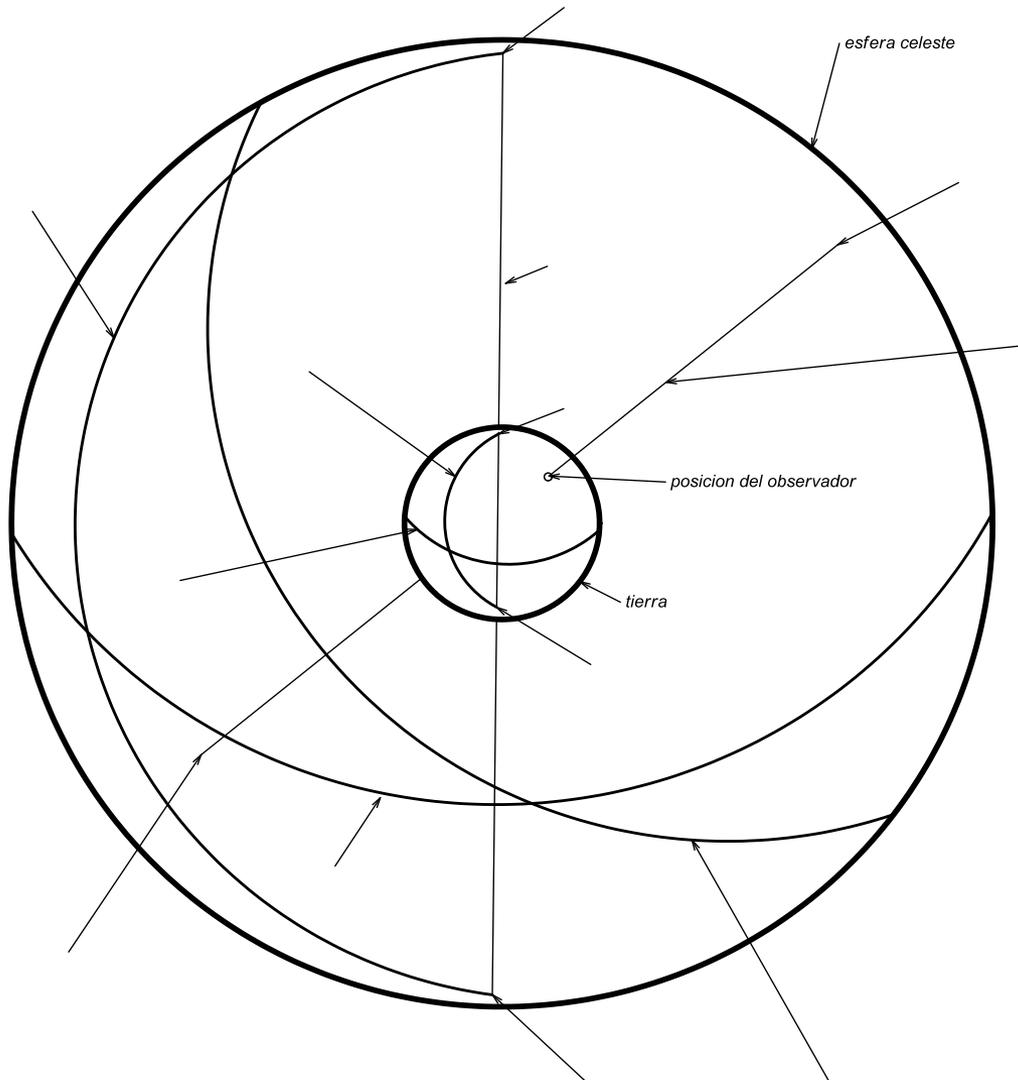


2.- Sistemas de referencia Geodésicos.

- ▶ Objetivo:
 - ▶ Conocer la **posición de un punto sobre la superficie terrestre**, empleando referencias exteriores / sobre la superficie terrestre.
 - ▶ Adicionalmente, establecer la **dirección del Norte Geográfico** y el **acimut** de una dirección.
 - ▶ La definición de los elementos participantes emplea habitualmente 2 superficies de referencia:
 - ▶ Superficie terrestre: en la que está el observador.
 - ▶ La esfera celeste: esfera de centro y radio arbitrario (unidad) en la que los elementos geográficos de referencia se suponen invariables.



2.1- Elementos geográficos básicos de referencia.



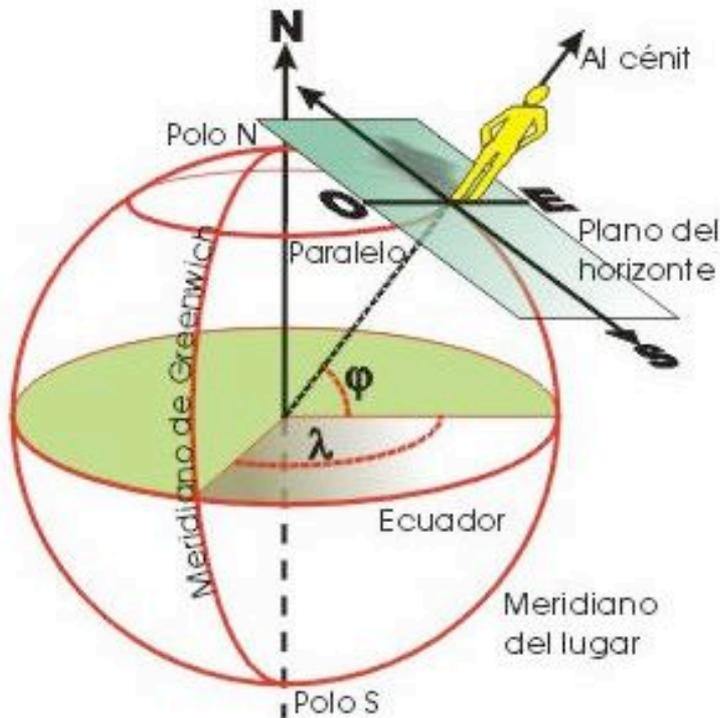
Básicos, de referencia:

- ▶ Eje terrestre, eje de rotación o eje del mundo.
- ▶ Polos terrestres (PTN,PTS) y Polos celestes (PCN,PCS).
- ▶ Plano meridiano.
 - ▶ Meridiano.
 - ▶ Meridiano Origen o principal.
 - ▶ Meridiano celeste.
- ▶ Plano paralelo.
 - ▶ Paralelo. Ecuador.
 - ▶ Paralelo celeste.

2.1- Elementos geográficos básicos de referencia.

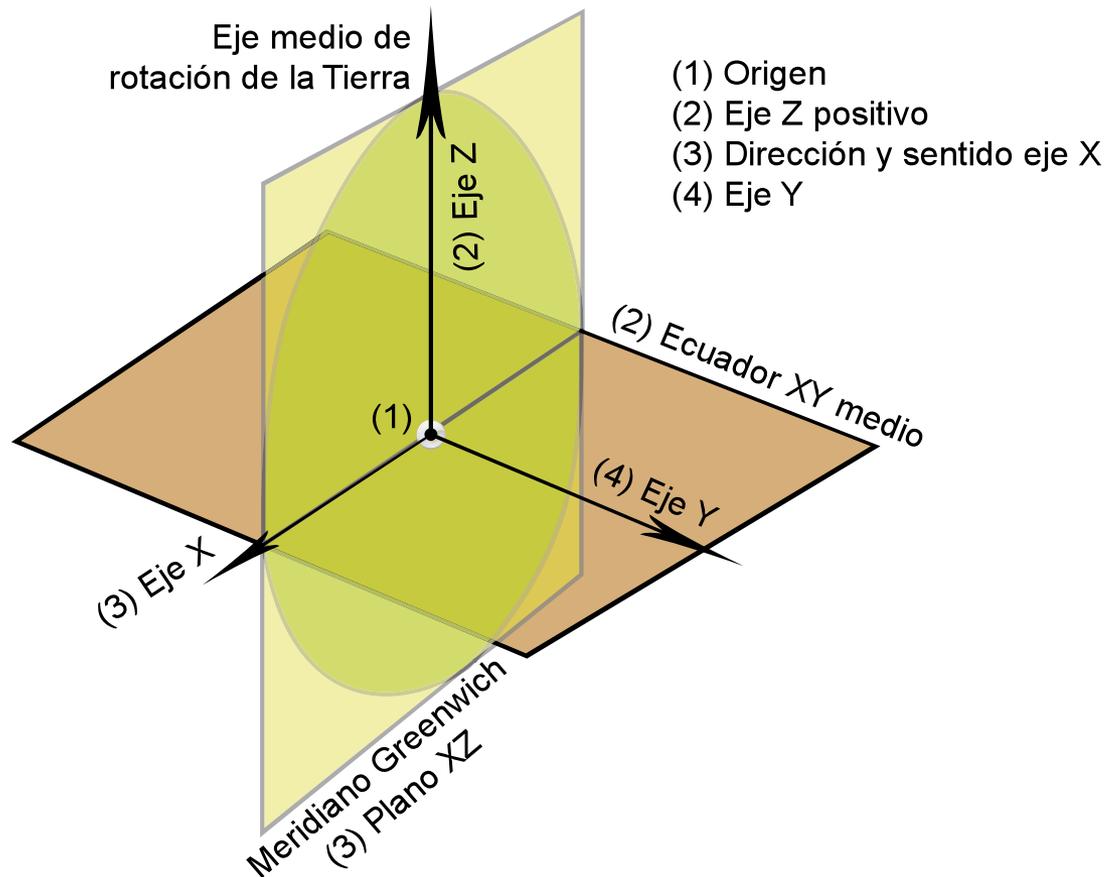
Asociados a la **posición de un observador**:

- Vertical del lugar, vertical astronómica o vertical.
 - Cenit y nadir.
 - Horizonte del lugar.
 - Meridiano de un lugar o meridiano Astronómico (*)
 - Meridiana.
 - Almicantarat



2.2.- Sistemas geodésicos de referencia.

- ▶ La definición correcta y completa de un sistema de referencia supone concretar los siguientes valores:



2.2.- Sistemas geodésicos de referencia.

Concepto de **Datum**: modelos que definen un sistema de referencia. Se han usado distintos tipos de Datum:

- ▶ Datum local planimétrico:
 - ▶ Definición del sistema ED50 (sistema oficial hasta 2007):
 - ▶ Elipsoide: ED50 (Hayford, Internacional).
 - ▶ Punto fundamental: Postdam, torre Helmert.
 - ▶ Meridiano origen: Greenwich.
- ▶ Datum local vertical:
 - ▶ Altitudes referidas al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA).



2.2.- Sistemas geodésicos de referencia.

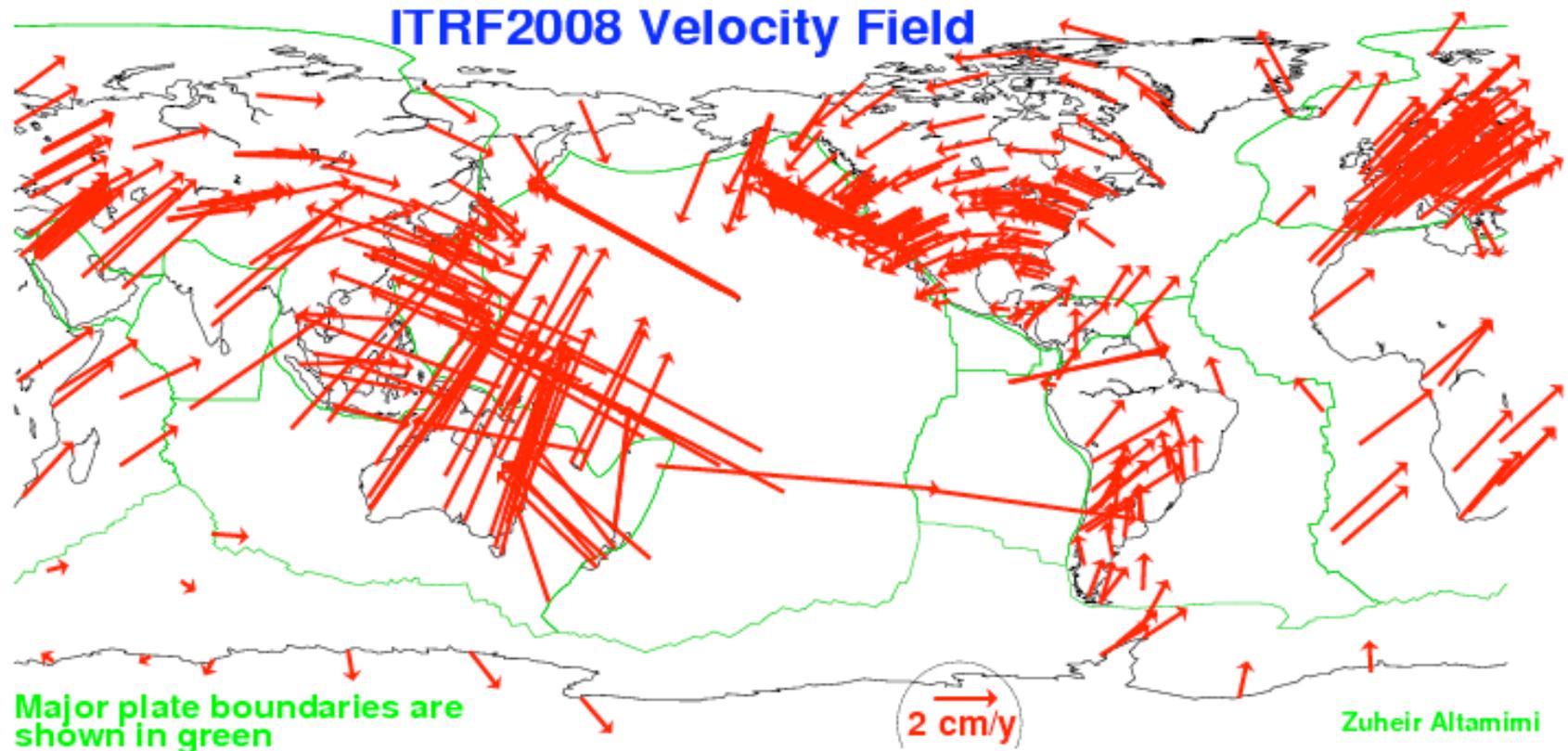
Concepto de **Datum**: modelos que definen un sistema de referencia. Se han usado distintos tipos de Datum:

- ▶ Datum global.
 - ▶ International Terrestrial Reference System: ITRS
 - ▶ Origen: centro de masas de la Tierra.
 - ▶ Escala: metro.
 - ▶ Orientación: fijadas por el BIH, en la época 1984.0.
 - ▶ La materialización práctica de un ITRS constituye un marco de referencia: ITRF. Hasta la época, han existido 12 marcos: de ITRF89 a ITRF2008 (el actual).



2.2.- Sistemas geodésicos de referencia.

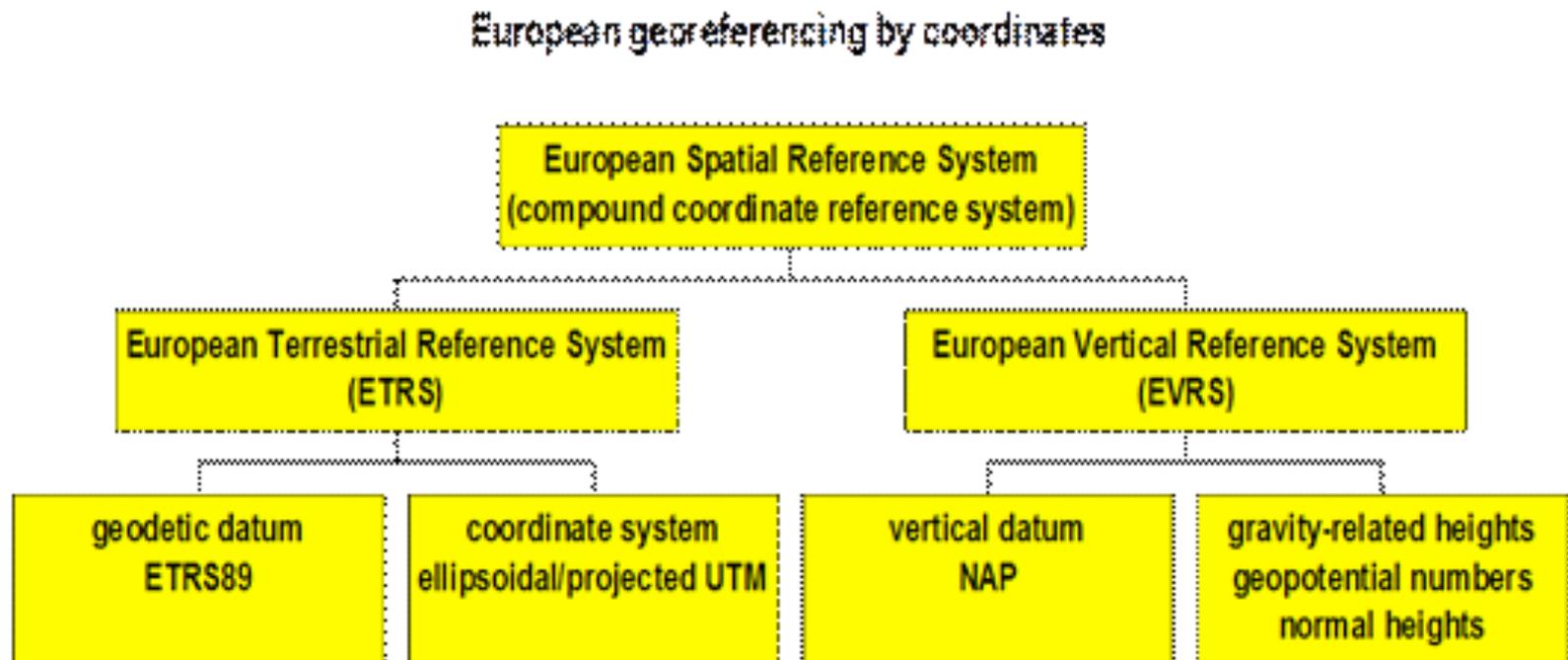
Campo de velocidades para el marco ITRF2008



¿Es útil en cartografía e Ingeniería un sistema de referencia con coordenadas distintas a lo largo del tiempo para la materialización del mismo?

2.2.- Sistemas geodésicos de referencia.

- ▶ Marco de referencia continental para Europa, fijada por la comisión EUropean REference Frame (EUREF): ETRS89. Coincidente con ITRS en la época 1989.0, fijo a la parte estable de la placa euroasiática.



2.3.- Sistema de coordenadas básico en un elipsoide.

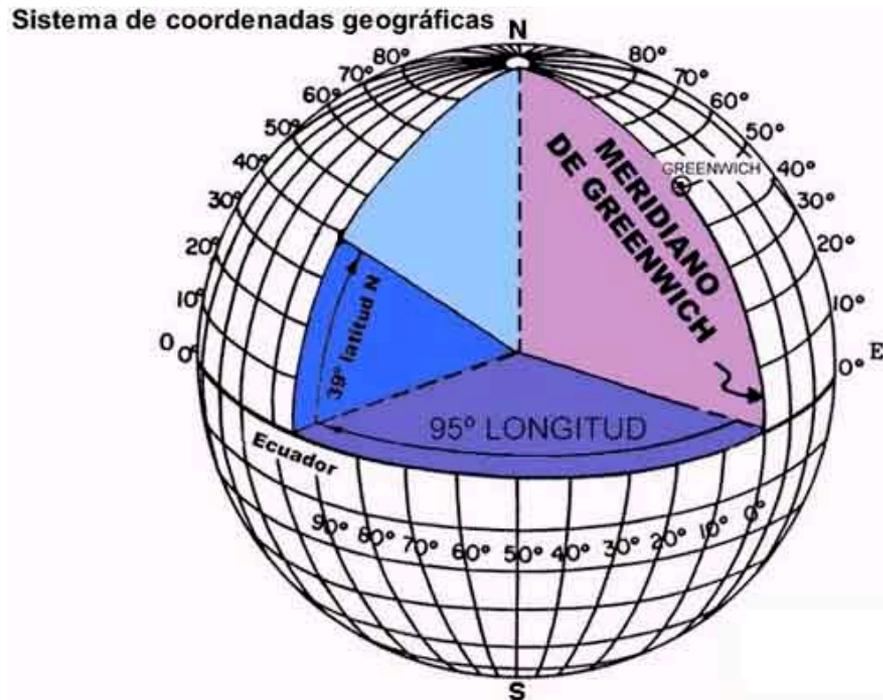
Definición de la posición de un punto sobre la superficie del elipsoide:

Latitud geodésica (φ'):

Ángulo que forma el plano ecuatorial con la perpendicular al elipsoide desde un punto dado, se toma positiva hacia el norte.

Longitud geodésica (λ'):

Ángulo que forma el plano meridiano principal con el plano meridiano de un punto dado, se toma positiva hacia el este.



2.4- Glosario de términos de uso frecuente.

- ▶ El alumno deberá conocer los términos geográficos habituales, según se definen en el documento denominado “Términos y definiciones de la ISO 19111”. En particular:
 - ▶ Altitud elipsóidica (h) y Altitud (H).
 - ▶ Datum geodésicos. Datum usados.
 - ▶ Sistema de coordenadas geodésicas. Latitud y longitud geodésicas.
 - ▶ Proyección cartográfica. Sistema de coordenadas cartesianas.
 - ▶ Sistema de coordenadas de una proyección. Norte y Este.
 - ▶ Sistema de coordenadas compuesto.



3.- Sistema de referencia Geodésico vigente

REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de Julio, regula el sistema geodésico de referencia oficial en España

- ▶ Establece como sistema de referencia geodésico global ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), compatible con los sistemas de navegación por satélite.
- ▶ Sustituye al sistema de referencia regional ED50, actualmente vigente.
- ▶ Establece un periodo de transición entre ambos sistemas: hasta el 2015.
- ▶ Es de obligado uso para toda la cartografía oficial en el ámbito de la península Ibérica (en las islas canarias, se establece REGCAN95).
- ▶ Se sigue manteniendo como sistema de representación cartográfico la proyección UTM (Decreto 2303/1970, de 16 de Julio), en cartografía terrestre de escala mayor de 1:500.000.
- ▶ Afecta únicamente a la obtención de posiciones planimétricas: (φ, λ) , o las coordenadas equivalentes (X, Y) .



3.- Sistema de referencia Geodésico vigente

Artículo 2. Ámbito subjetivo de aplicación.

Este real decreto será de aplicación a la producción cartográfica e información geográfica oficiales referida a todo o parte del territorio español.

Artículo 3. Sistema de Referencia Geodésico.

Se adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95. Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE, y sus densificaciones.

Artículo 4. Sistema de Referencia Altimétrico.

1. Se tomará como referencia de altitudes los registros del nivel medio del mar en Alicante para la Península y las referencias mareográficas locales para cada una de las islas. Los orígenes de las referencias altimétricas serán definidos y publicados por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
2. El sistema está materializado por las líneas de la Red de Nivelación de Alta Precisión.



3.- Sistema de referencia Geodésico vigente

....

3. El datum hidrográfico al que están referidas las sondas, cero hidrográfico, será definido y publicado por el Instituto Hidrográfico de la Marina y representará la referencia altimétrica para la cartografía náutica básica.

Artículo 5. Representación planimétrica de cartografía oficial.

1. Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escala igual o menor de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Cónica Conforme de Lambert.

2. Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escalas mayores de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Transversa de Mercator.

3. Para cartografía náutica se adopta la proyección Mercator.

Disposición transitoria primera. Método de transformación.

El Consejo Superior Geográfico deberá facilitar, a través de su página web ubicada en el portal www.fomento.es, el método de transformación entre los sistemas de referencia nuevos y antiguos, su forma de utilización y la información técnica asociada.



4.- Redes Geodésicas y Topográficas.

- ▶ **Redes Geodésicas.** Concretan en hitos físicos el sistema de referencia vigente en cada momento. Dependen del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Tienen 2 objetivos básicos:
 - ▶ Ser el marco de referencia de otras redes menos precisas.
 - ▶ Obtener los observables que modelizan los sistemas de referencia.



- ▶ **Redes topográficas.**
 - ▶ Densificaciones para usos Cartográficos, Ingeniería,...
 - ▶ Pueden estar enganchadas a las redes geodésicas o ser locales.



4.1.- Redes geodésicas.

- ▶ Red de estaciones permanentes GNSS. Materialización de la red de orden cero, clase A.



4.1.- Redes geodésicas.

- ▶ Red REGENTE. Materialización de la red de orden cero, clase C. Materializa el sistema de referencia oficial en España, ETRS89.

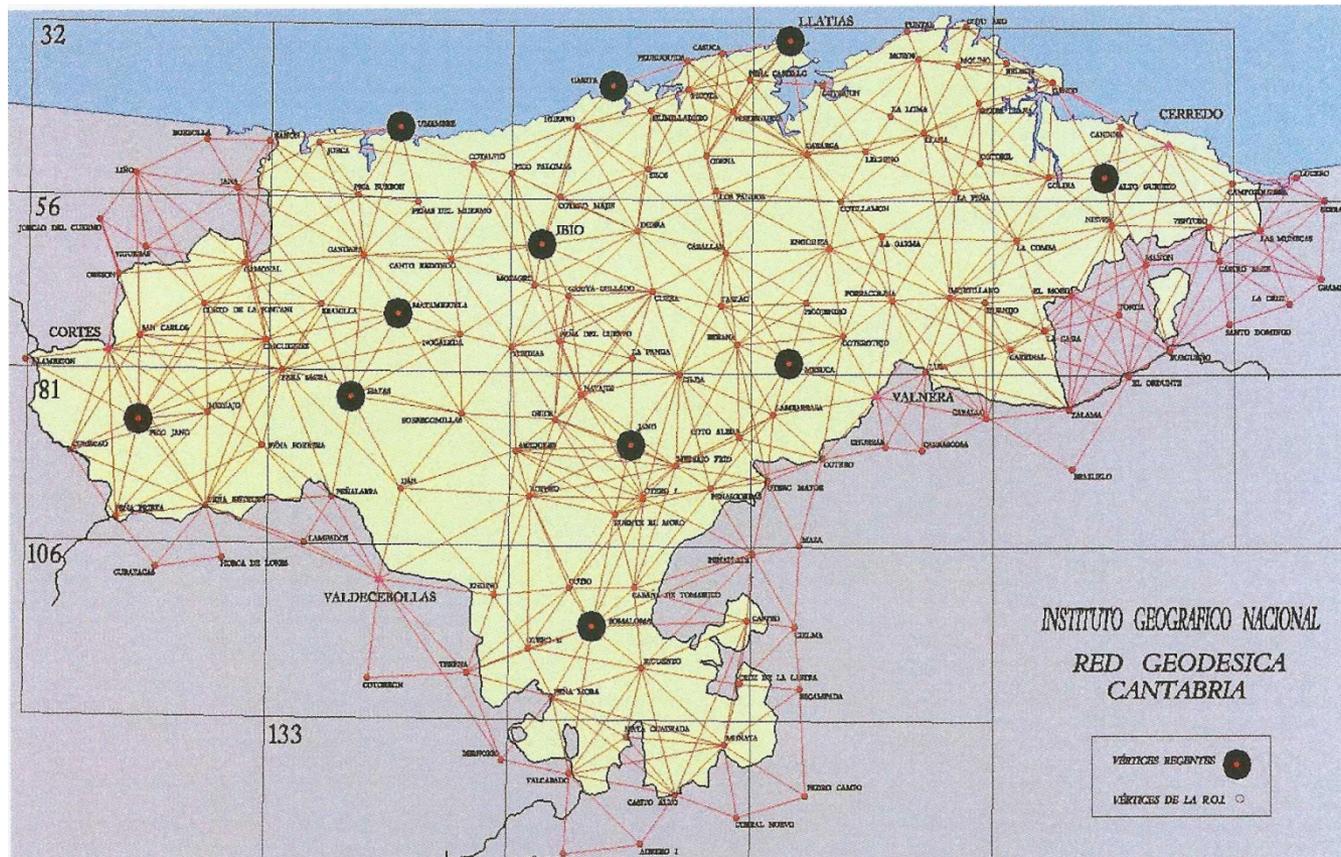


1029 vértices geodésicos, pertenecientes a la ROI, uno por hoja del Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 (integra IBERIA95)



4.1.- Redes geodésicas.

- ▶ Red Geodésica Nacional en ETRS89. Apoyándose en REGENTE, dota de coordenadas al resto de vértices de la ROI. Aproximadamente 11.000 vértices, separados ± 8 km.

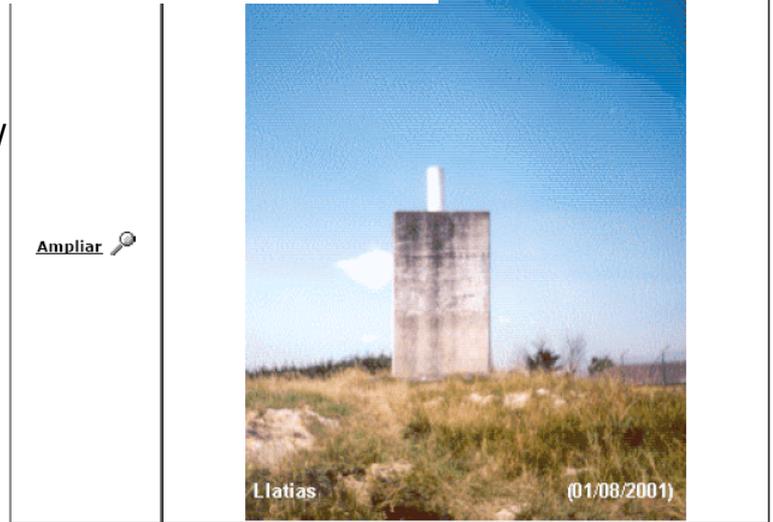


4.1.- Redes geodésicas.

Ejemplo de una reseña de un vértice REGENTE

3519 - Llatias	
Municipio:	Santander
Provincia:	Santander
Situación	
Situado en un prado en las últimas casas del pueblo de Cueto, en el barrio de Bellavista.	
Observaciones	
REGENTE. Existía señal antigua, por ser vértice de primer orden. La nueva señal coincide exactamente con la antigua.	

35



<http://www.ign.es/ign/layoutIn/geodesiaVertices.do>; ftp://ftp.geodesia.ign.es/Red_Geodesica o PAG

4.1.- Redes geodésicas.

Ejemplo de una reseña de un vértice REGENTE

3519 - Llatias

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Sistema de Ref.:	ED50	ETRS89
Longitud	-3° 48' 6,74390"	-3° 48' 11,55008"
Latitud:	43° 29' 18,26700"	43° 29' 14,40628"
Alt. Elipsoidal:		(CF) 122,673 m.
Compensación:	01/10/1987	01/01/2005

COORDENADAS UTM. HUSO 30

Sistema de Ref.:	ED50	ETRS89
X UTM:	435157,590 m.	435051,473 m,
Y UTM:	4815453,640 m.	4815248,135 m,
Factor de escala:	0,9996517134	0,999651864
Convergencia:	-0° 33' 6,74867"	-0° 33' 10,01740"

Altitud sobre el nivel medio del mar (referida a):	(BP) 72,20 m.
---	---------------

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.



4.1.- Redes geodésicas.

Ejemplo de una reseña de un vértice ROI.

Número.....:	3555
Nombre.....:	La Loma
Municipio..:	Ribamontán al Monte
Provincia..:	Cantabria
Fecha de Construcción.....:	01 de julio de 1984
Pilar sin centrado forzado..:	1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....:	1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....:	1 de 1,00 m de alto.

— Coordenadas Geográficas: —

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 3° 39' 42,43310"	- 3° 39' 47,20139" ±0.06 m
Latitud.....:	43° 25' 00,87620"	43° 24' 56,98138" ±0.048 m
Altitud.....:		254,746 m ±0.122 (BP)
Compensación.:	01 de octubre de 1987	01 de marzo de 2008

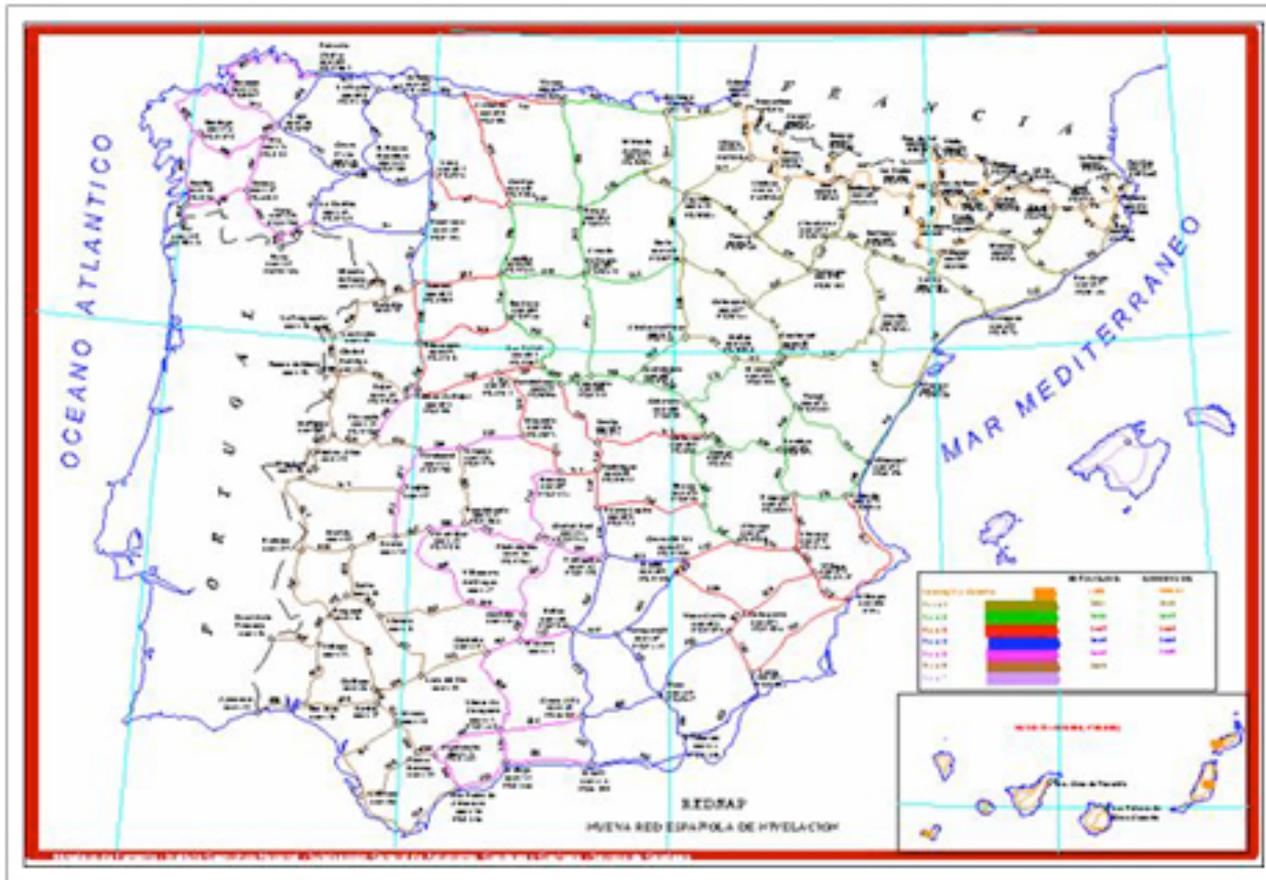
— Coordenadas UTM. Huso 30 : —

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	446422,430 m	446316,715 m
Y.....:	4807413,480 m	4807207,002 m
Factor escala....:	0,999635307	0,999635449
Convergencia...:	- 0° 27' 17,48968"	- 0° 27' 20,73000"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		204,400 m. (BP)



4.2.- Red de nivelación.

- ▶ RNAP. Más de 16.500 km nivelados, referidos al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA), origen altimétrico en la Península.



4.2.- Red de nivelación.

- ▶ Ejemplo de una señal de nivelación: puente de Treto en Colindres.



Ministerio de Fomento
Subsecretaría

General Ibañez de Ibero, 3
28003 MADRID

Dirección General del Instituto Geográfico Nacional
Subdirección General de Geodesia y Geofísica

Reseña de Señal de Nivelación

02-jun-05

Datos de la Señal

Número: **234124** Nombre: **NGJ910** Anterior: 234123 Posterior: 234125
Línea o Ramal: **234** Nombre: **Durango - Vargas**
Señal: **Principal** Agrupada con: 234125 - NGJ911.
En posición **Vertical**
Fechas Señalización: **01-jun-74** Nivelación: Cálculo: **01-feb-04**

Datos Geográficos

Longitud WGS84: **-3° 27' 51"** Altura ortométrica: **5,56831 m.**
Latitud WGS84: **43° 23' 37"** Geopotencial: **5,45970 u.g.p.**
Hoja MTN50: **36** Gravedad en superficie: **980494,26 mgals. Observada**
Provincia: **Santander** Municipio **Colindres**



4.2.- Red de nivelación.

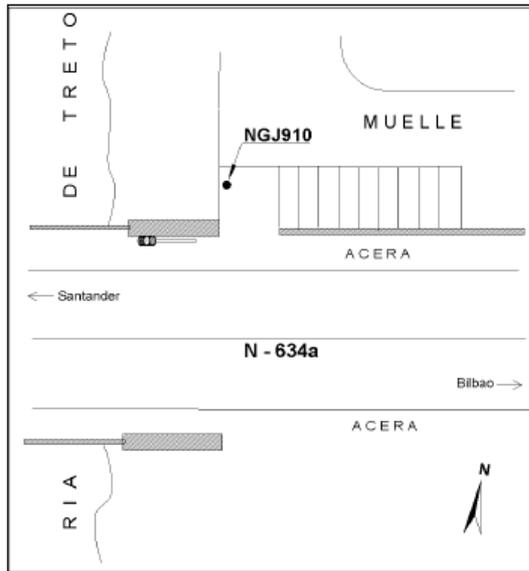
- ▶ Ejemplo de una señal de nivelación: puente de Treto en Colindres.

Reseña

Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 173,600 de la margen dcha de la Carretera N-634, en el rellano de la escalera de bajada al puerto en el extremo NE del puente sobre la Ría de Treto.

Observaciones

Es la misma NGJ910 de la antigua línea Málzaga - Torrelavega, folio 102.



4.- Redes geodésicas.

Programa de aplicaciones Geodésicas (PGA; ING).



4.3.- Redes topográficas

- ▶ Se consideran aquellas otras redes encuadradas en las redes geodésicas, con objetivos particulares:
 - ▶ Redes GNSS autonómicas.
 - ▶ Redes municipales.
 - ▶ Asociadas a servicios de infraestructuras.
 - ▶ Asociadas a proyectos de ingeniería.
 - ▶ Redes de control,
 - ▶ ...

RED DE VERTICES DEL MUNICIPIO DE SANTANDER

VERTICE: 7004 SENAL: Clavo reglamentario, sobre acera.

Coordenadas Planimétricas UTM
X: 435055,635 Y: 4813568,553
Coef. Reducción: 0,999994
Coef. Proyección: 0,999652

Altitud NMMA
T: 38,627
O: 38,645

SITUACION
Sobre acera en la Avda. Los Castros. Frente a un fotomatón en la Universidad de Cantabria, Facultad de Derecho-Filosofía y Letras en el edificio Facultativo.

VERTICE	AZIMUT (gr)	Distancia reducida horizontal + elevación
7003	84,6362	335,239
7005	289,7321	361,737

Referencias
a: 3,14
b: 0,54
c: 10,48

VERTICES VISIBLES

Parola 56

7004

7004