

## Geodesia

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | ¿Qué es la Geodesia?  | 3  |
| 2   | Historia y necesidad  | 4  |
| 3   | Sistemas Geodésicos de Referencia   | 6  |
| 3.1 | La figura de la Tierra  | 6  |
| 3.2 | Sistemas elipsoidales de referencia   | 6  |
| 3.3 | El European Datum 1950 (ED50)   | 7  |
| 3.4 | El World Geodetic System 1984 (WGS84)   | 7  |
| 3.5 | Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres: el International Terrestrial Reference Frame (ITRF) | 8  |
| 3.6 | Los sistemas European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) y REGCAN95                     | 9  |
| 4   | La Red Geodésica  | 10 |
| 4.1 | Las campañas IBERIA95 y BALEAR98  | 11 |
| 4.2 | La Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)                                     | 12 |
| 4.3 | REGENTE en Canarias: El Sistema REGCAN95  | 13 |
| 4.4 | La red geodésica nacional en ETRS89   | 13 |
| 5   | La Red de Nivelación  | 15 |
| 5.1 | Antecedentes  | 15 |
| 5.2 | El Proyecto REDNAP  | 15 |
| 5.3 | Cálculo y compensación REDNAP   | 16 |
| 5.4 | El modelo de Geoide EGM08-REDNAP  | 17 |
| 6   | La Red Gravimétrica   | 19 |
| 6.1 | Red Gravimétrica Fundamental  | 19 |
| 6.1 | Línea de calibración  | 19 |
| 6.2 | Red Gravimétrica auxiliar   | 19 |
| 6.3 | Red auxiliar de estaciones de gravedad absoluta   | 20 |
| 7   | La Red de Mareógrafos   | 20 |
| 7.1 | Historia  | 20 |
| 7.2 | Instalaciones y Sistemas de Medida  | 22 |
| 7.3 | Adquisición y Tratamiento de los Datos  | 23 |
| 7.4 | Análisis de los Datos   | 23 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 8     | La Red de Estaciones Permanentes GNSS (ERGNSS)   | 25 |
| 8.1   | La Red ERGNSS  | 25 |
| 8.2   | Servicios de la red ERGNSS   | 26 |
| 8.2.1 | Servicios post-proceso   | 26 |
| 8.2.2 | Servicios de posicionamiento en tiempo real  | 27 |
| 8.3   | El IGN como centro de análisis de datos GNSS   | 30 |
| 9     | El Centro de Análisis GNSS del IGN   | 31 |
| 9.1   | Centro Local de Análisis de EUREF  | 31 |
| 9.2   | Centro de Análisis E-GVAP  | 32 |
| 9.3   | IBERRED  | 33 |
| 10    | El Servidor de Datos Geodésicos (SERDAG)   | 34 |
| 10.1  | Datos Proporcionados   | 34 |
| 10.2  | Herramientas Disponibles   | 36 |
| 11    | Otras Actividades  | 39 |
| 11.1  | Red Geodésica de Observaciones Geodinámicas del Estrecho de Gibraltar (RGOG)                 | 39 |
| 11.2  | Enlace local entre la red geodésica y otros equipos de observación espacial en observatorios | 39 |
| 11.3  | Buzón de Consultas   | 41 |
| 12    | Enlaces de Interés   | 42 |
| 12.1  | Nacionales   | 42 |
| 12.2  | Internacionales  | 42 |
| 12.3  | Instituciones de otros países  | 43 |

## 1 ¿Qué es la Geodesia?

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio.

Una parte fundamental de la geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura). La materialización de estos puntos sobre el terreno constituyen las redes geodésicas, conformadas por una serie de puntos (vértices geodésicos o también señales de nivelación), con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras".

Los fundamentos físicos y matemáticos necesarios para su obtención, sitúan a la geodesia como una ciencia básica para otras disciplinas, como la topografía, fotogrametría, cartografía, ingeniería civil, navegación, sistemas de información geográfica, sin olvidar otros tipos de fines como los militares.

Desde el punto de vista del objetivo de estudio, se puede establecer una división de la geodesia en diferentes especialidades, aunque cualquier trabajo geodésico requiere la intervención de varias de estas subdivisiones:

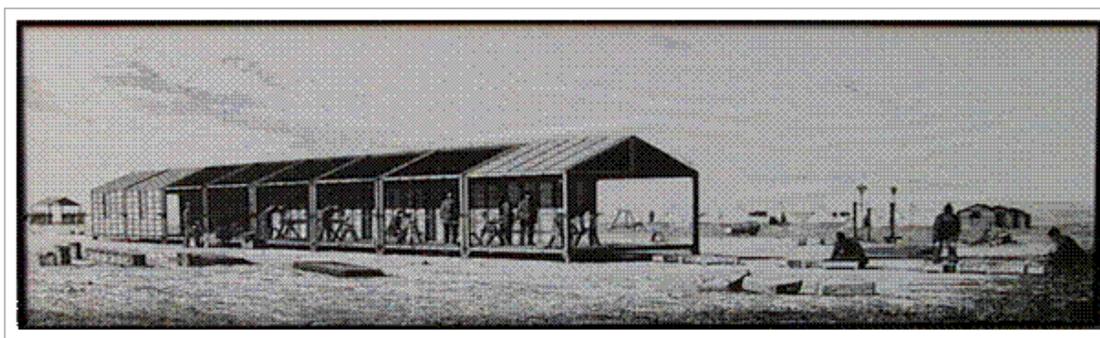
- Geodesia geométrica: determinación de la forma y dimensiones de la Tierra en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de puntos en su superficie.
- Geodesia física: estudio del campo gravitatorio de la Tierra y sus variaciones, mareas (oceánicas y terrestres) y su relación con el concepto de altitud.
- Astronomía geodésica: determinación de coordenadas en la superficie terrestre a partir de mediciones a los astros.
- Geodesia espacial: determinación de coordenadas a partir de mediciones efectuadas a satélites artificiales u otros objetos naturales o artificiales exteriores a la Tierra (GNSS, VLBI, SLR, DORIS) y relación con la definición de sistemas de referencia.
- Microgeodesia: medida de deformaciones en estructuras de obra civil o pequeñas extensiones de terreno mediante técnicas geodésicas de alta precisión.

## 2 Historia y necesidad

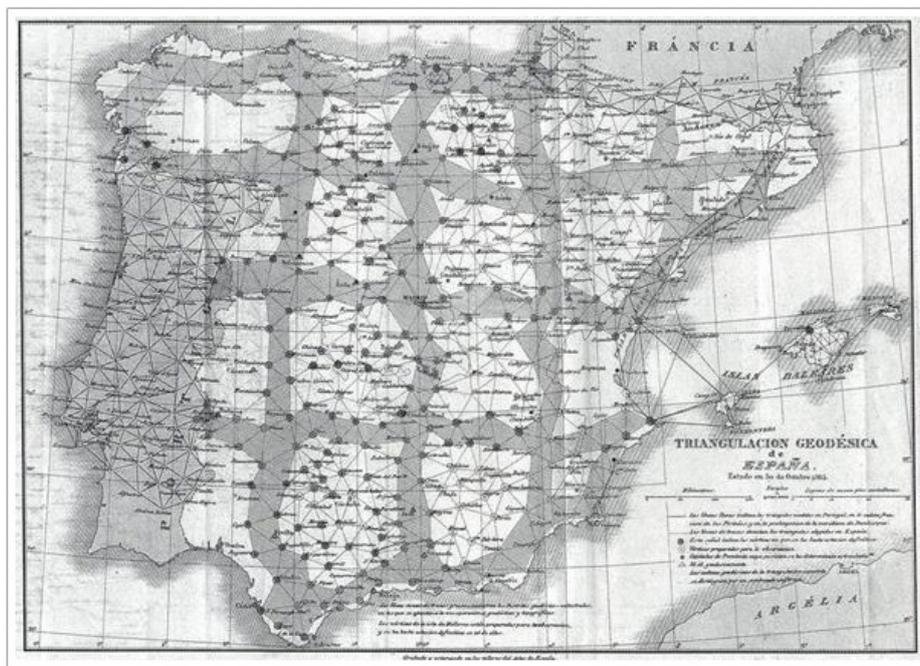
En 1853, con la creación de la Dirección de la Carta Geográfica de España y la Comisión del Mapa, se inician los trabajos para la triangulación geodésica.

Como Punto Fundamental o "datum" se tomó el Observatorio del Retiro en Madrid y se eligió como **elipsoide de referencia** el de Struve:

- En el Datum coincidían la longitud y latitud astronómica con la geodésica y por tanto, las desviaciones de la vertical eran nulas.
- Se consideró tangente el elipsoide y el geode.
- Como origen de longitudes se tomó el meridiano de Madrid.
- La orientación se tomó a partir del acimut Observatorio–Cabeza de Hierro.
- La escala de la red la definía la base central de Madrಿದೆjos.



*Medida de la Base Central de Madrಿದೆjos (1858)*



*Triangulación geodésica en la Península y Baleares en 1865.*

Con el fin de dotar de altitudes a los vértices, se instaló en 1870 en el puerto de Alicante, una regla de mareas, sustituida en 1874 por el primer mareógrafo, con el fin

de determinar un nivel medio del mar que sirviera como referencia común al sistema de altitudes. Así en 1872 se proyectaron las primeras líneas de nivelación de precisión, que transcurrían fundamentalmente por carreteras.

Este **sistema geodésico de referencia** estuvo vigente hasta 1970, en que por el decreto 2303/1970, se adopta el European Datum de 1950 (ED50), con elipsoide de referencia el internacional de Hayford y el meridiano de Greenwich como origen de longitudes y punto fundamental el observatorio de Potsdam (Alemania). Para la revisión y nueva formación del mapa topográfico Nacional a escala 1:50.000 y resto de escalas se adopta como reglamentaria la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), con la distribución de husos y zonas internacional.

## 3 Sistemas Geodésicos de Referencia

### 3.1 La figura de la Tierra

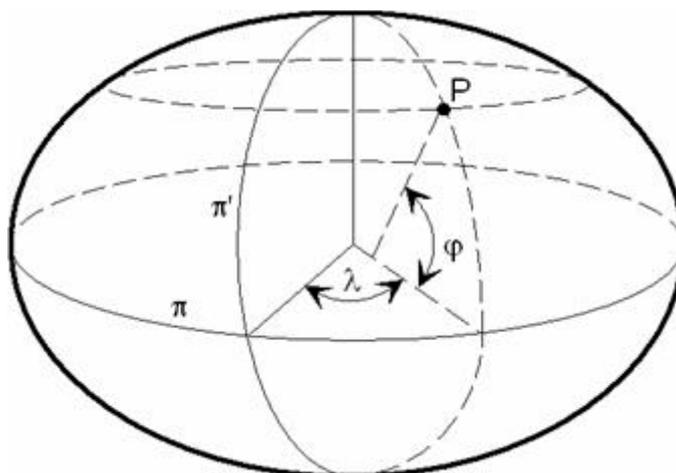
La figura "natural" de la Tierra, excluyendo la topografía o forma externa, se asemeja a la definición de **geoide**, definida como una superficie de nivel equipotencial del campo gravitatorio terrestre.

Esta superficie equipotencial o de nivel materializado por los océanos cuando se prescinde del efecto perturbador de las mareas (casi la superficie del nivel medio de los mares) es la superficie de referencia para la altitud.

### 3.2 Sistemas elipsoidales de referencia

Como la definición matemática del geoide presenta gran complejidad, así como su definición, la superficie de la Tierra puede representarse con mucha aproximación mediante un elipsoide de revolución, definiéndose este sistema con:

- Superficie de referencia: Estableciendo sus dimensiones (semiejes  $a$ ,  $b$ ).
- Ejes o líneas de referencia en la superficie.
- Sentidos de medida.



Coordenadas geodésicas en el elipsoide

Sobre esta superficie se definen las **coordenadas geodésicas**:

- Latitud geográfica ( $\phi$ ): ángulo medido sobre el plano meridiano que contiene al punto entre el plano ecuatorial y la normal al elipsoide en  $P$ .
- Longitud geográfica ( $\lambda$ ): ángulo medido sobre el plano ecuatorial entre el meridiano origen y el plano meridiano que pasa por  $P$ .

El elipsoide de revolución que mejor se adapte al geoide en la zona con un punto donde ambos coinciden o bien la normal a ambos es la solución adoptada, constituyendo el concepto de Sistema Geodésico de Referencia. A lo largo de la

historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país, de tal forma que se define aquel que mejor se ajuste al geoide.

En geodesia existirán dos Datum: el horizontal y el vertical, siendo este último la superficie de referencia respecto a la que se definen las altitudes. En este caso, lo más normal es que sea el geoide.

### 3.3 El European Datum 1950 (ED50)

Hayford propuso en 1924 en la Asamblea Internacional de Geodesia y Geofísica (Madrid) un Elipsoide Internacional de Referencia, con  $a = 6378388$  m y  $\alpha = 1/297$ . Este elipsoide fue utilizado ampliamente por la mayoría de países, no siendo perfeccionado hasta 1964, donde la **Unión Astronómica Internacional** en Hamburgo estableció unos nuevos valores de  $a = 6378160$  m y  $\alpha = 1/298,25$

En la orientación de este sistema se estipula:

- El eje menor del elipsoide de referencia es paralelo a la dirección definida por el origen internacional convencional (O.I.C.) para el movimiento del polo.
- El meridiano de referencia es paralelo al meridiano cero adoptado por el BIH para las longitudes (Greenwich).

En España se adoptó en 1970 el Sistema ED50 como sistema oficial, sustituyendo al antiguo con elipsoide de Struve y datum Madrid (Observatorio del Retiro), tomando como parámetros del elipsoide de Hayford los definidos en 1924 ( $a = 6378388$  m y  $\alpha = 1/297$ ).

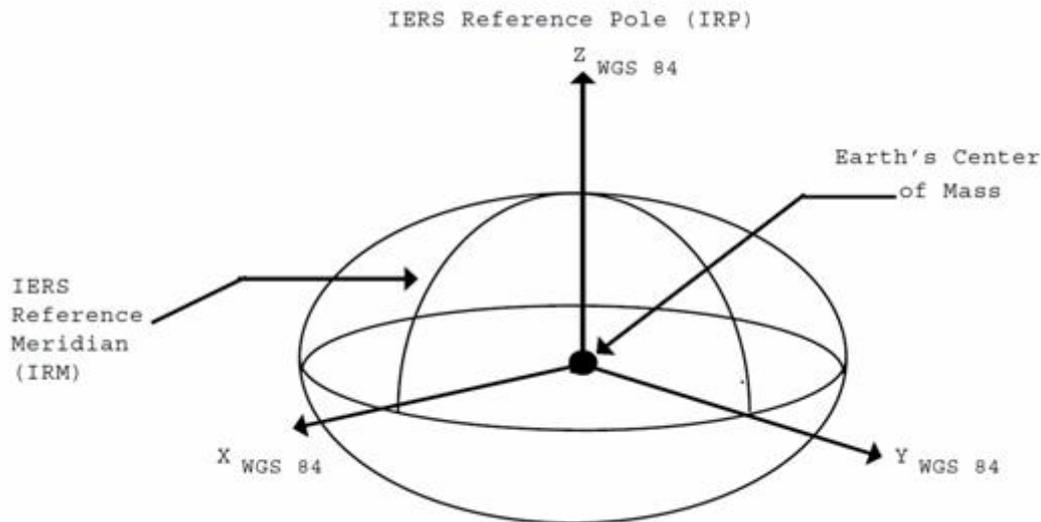
### 3.4 El World Geodetic System 1984 (WGS84)

Desde 1987, el GPS utiliza el World Geodetic System WGS-84, que es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se estableció este sistema utilizando observaciones Doppler al sistema de satélites de navegación GNSS o Transit, de tal forma que se adaptara lo mejor posible a toda la Tierra.

Se define como un sistema cartesiano geocéntrico del siguiente modo:

- Origen, centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera.
- Eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1984.0 con una precisión de 0,005".
- El eje X como la intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z. El meridiano de referencia coincide con el meridiano cero del BIH en la época 1984.0 con una precisión de 0,005". Realmente el meridiano origen se define como el IERS Reference Meridian (IRM).
- El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen.

- Terna rectangular dextrosum.



Definición de WGS84 (Fuente: NIMA)

### 3.5 Marcos y Sistemas de Referencia Terrestres: el International Terrestrial Reference Frame (ITRF)

Para conseguir una realización práctica de un marco geodésico global de referencia se tienen que establecer una serie de puntos con un conjunto de coordenadas. Un conjunto de puntos consistentes infieren:

- La localización de un origen.
- La orientación del sistema de ejes cartesianos ortogonales.
- Una escala.

En términos modernos, un conjunto de estaciones con coordenadas bien determinadas constituyen o representan una realización de un Marco de Referencia Terrestre (Terrestrial Reference Frame -TRF-).

Como consecuencia de estos efectos temporales se definen los sistemas y marcos de referencia terrestres.

El **International Terrestrial Reference Frame (ITRF)** es publicado cada cierto tiempo debido a la actualización o mejora de técnicas de medición, nuevos modelos o estándares utilizados o simplemente por el cambio de la posición de los puntos que lo conforman. Hasta ahora existen 13 realizaciones del ITRF publicadas por el IERS: ITRF88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, combinada 96+97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008 e ITRF2014.

Los ITRFyy consisten por tanto en una lista de estaciones con sus coordenadas en una época de referencia (definición del ITRFyy) y velocidades anuales.

### 3.6 Los sistemas European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) y REGCAN95

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) para el marco de referencia europeo (EUREF), recomendó que el Sistema de Referencia Terrestre para Europa que debía ser adoptado (Florencia, 1990), fuera el denominado **European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)**.

ETRS89 está definido en origen por la campaña **IBERIA95** y **BALEAR98** las cuales se calcularon a partir del ITRF96 época 1995,4 y época 1998,3 respectivamente.

El **Real Decreto 1071/2007** establece ETRS89 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, ya que ETRS89 sólo afecta a la parte estable de la placa eurasiática. La definición de REGCAN95 se hizo a partir de la estación ITRF de Maspalomas, con las coordenadas publicadas en el ITRF93 y trasladadas a la época de observación de REGENTE en Canarias, 1994,8.

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.

## 4 La Red Geodésica

Fundamentalmente en el decenio 1982-1992 se procedió a reconstruir la Red Geodésica Nacional construyendo nuevos monumentos de hormigón armado que sustituyeron a la Red Antigua (RA) y que ha constituido la materialización práctica del Sistema Geodésico de Referencia [European Datum 1950 \(ED50\)](#).

Este plan reorganizó la Red en dos partes:

- Red de Primer Orden (RPO), con unos 680 vértices y una longitud de lados de 30 - 40 km. Se observó mediante triangulación o trilateración, y su cálculo y compensación se realizó sobre el Sistema ED50.
- Red de Orden Inferior (ROI) con unos 11.000 vértices y una longitud media de lados de 7 km (densidad de un vértice por cada 45 km<sup>2</sup>). En su mayor parte se observó mediante triangulación por el método de vueltas de horizonte y se calculó constriñendo a la RPO y la red de nivelación.

La monumentación de la Red Geodésica Nacional está formada generalmente por una base prismática cuadrada de altura variable y de 1 m de lado para los vértices de la ROI y de 3 m para los vértices de la RPO. Sobre esta base existe un pilar cilíndrico de 1,20 m de altura y 0,3 m de diámetro para los vértices de la ROI y 0,4 m de diámetro para los vértices de la RPO.



*Vértice geodésico.*

Todas las reseñas con los datos de la Red Geodésica Nacional (datos generales, localización, coordenadas, acceso, fotografía, croquis, etc.) pueden encontrarse en [Datos y Servicios Geodésicos](#).

A esta información también se puede acceder desde el [Programa de Aplicaciones Geodésicas \(PAG\)](#).

## 4.1 Las campañas IBERIA95 y BALEAR98

El IGN de España y el [Instituto Portugués de Cartografía e Cadastro](#) acordaron llevar a cabo una nueva campaña GPS que, bajo la denominación IBERIA 95, abarcase un total de 39 estaciones (12 portuguesas y 27 españolas), homogéneamente distribuidas por el territorio peninsular.

La observación se realizó simultáneamente durante cinco días consecutivos, con una sesión diaria única de 12 horas, intervalo de registro de 30 segundos, máscara de elevación de 15 grados y receptores TRIMBLE 4000SSE.



*Vértices de la campaña IBERIA95.*

En abril de 1998 el IGN y el Servicio Geográfico del Ejército (SGE) llevaron a cabo la observación de la campaña BALEAR98 con dos objetivos primordiales:

- Densificación de [ETRF89](#) en el Archipiélago Balear.
- Mejora de las precisiones de la campaña GPS EUREF89 en las islas.
- De este modo se estableció una red geodésica tridimensional de alta precisión similar a la constituida en la Península con IBERIA95

La observación se realizó simultáneamente durante cinco días consecutivos, con una sesión diaria única de 12 horas, intervalo de registro de 30 segundos, máscara de elevación de 15 grados sobre el horizonte y seis receptores TRIMBLE 4000SSE.

## 4.2 La Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)

En 1994, la decisión de implementar en España el **European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)**, llevó a plantear la necesidad de su materialización física mediante un marco de vértices geodésicos con la densidad suficiente y precisión garantizada mejor que 5 cm.

La densidad media quedó fijada en una estación por Hoja del Mapa Topográfico Nacional (MTN) escala 1:50.000, lo cual equivale a una densidad de una estación por cada 300 km<sup>2</sup>, de tal forma que los futuros usuarios podrían disponer de un vértice geodésico en un entorno inferior a los 20 km. REGENTE está constituida por 1029 vértices en la Península y Baleares y 72 vértices en Canarias.

Los 27 vértices peninsulares de **IBERIA95** y los 6 vértices de **BALEAR98** forman parte de REGENTE, y Canarias, se apoya, como estación de referencia, en la estación VLBI/GPS de Maspalomas, incluida en el **International Terrestrial Reference Frame (ITRF)**.



*Vértices de la red REGENTE*

La observación de la red comenzó en 1994 y finalizó en 2001, utilizando en todas las campañas los mismos receptores, antenas y basadas de estacionamiento, con la finalidad de que todas las fases de observación fueran homogéneas en cuanto a material y evitar problemas de alturas de antena, diferentes calibraciones de antena, etc.



*Observación GPS de REGENTE.*

### 4.3 REGENTE en Canarias: El Sistema REGCAN95

REGENTE Canarias y por tanto el marco determinado por el mismo, REGCAN95, está constituido por 72 vértices repartidos entre las siete islas con un máximo en Tenerife de 21 y un mínimo de 5 en cada una de las islas menores de El Hierro y La Gomera.

Las observaciones REGENTE Canarias sirvieron como base fundamental para el establecimiento de la nueva Red Geodésica Canaria, datum REGCAN95, sustitutoria de la anterior definida en el datum PICO DE LAS NIEVES. En el caso de Canarias, la densidad de vértices REGENTE es superior a la de la Península, obteniéndose en el caso más desfavorable, Islas de Gran Canaria y Fuerteventura, una distancia media entre puntos de trece kilómetros.

### 4.4 La red geodésica nacional en ETRS89

Como consecuencia de la publicación del [Real Decreto 1071/2007](#) por el que se establece el cambio del Sistema Geodésico de Referencia al [European Terrestrial Reference System 1989 \(ETRS89\)](#), se llevó a cabo una compensación de la Red Geodésica Nacional en dicho sistema.

Las observaciones utilizadas para el ajuste fueron los ángulos acimutales y cenitales de las vueltas de horizonte observadas en la ROI y vectores GPS disponibles en algunas regiones. El marco sobre el que se ajustó la red fue el definido por [REGENTE](#). El ajuste global contiene 100.899 observaciones angulares acimutales, 72.615 observaciones cenitales y 6.490 vectores GPS.

Información más detallada puede encontrarse en los artículos "[Ajuste de la Red Geodésica de España \(ROI\) en ETRS89](#)" y "[Nuevo ajuste de la red geodésica de España \(ROI\) en altitudes ortométricas](#)".

Un listado completo con coordenadas en ED50 y ETRS89, altitudes elipsoidales, ortométricas y regiones de confianza puede encontrarse en el documento "[Coordenadas de la Red de Orden Inferior \(ROI\) en ETRS89 y ED50](#)".

## 5 La Red de Nivelación

### 5.1 Antecedentes

El primer proyecto de red de nivelación de precisión en España se remonta al último tercio del siglo XIX y se enmarca en los trabajos para la formación del Mapa Topográfico Nacional como el apoyo necesario para la obtención de la altimetría de dicho mapa. Los trabajos de nivelación de precisión dieron comienzo en 1871 y se prolongaron hasta 1922. Las líneas de nivelación discurrían a lo largo de carreteras o del ferrocarril. Se observaron desniveles geométricos entre puntos exclusivamente, sin tomar datos gravimétricos a lo largo de las líneas.

En 1928, siguiendo las recomendaciones de la **Unión Internacional de Geodesia y Geofísica** (Hamburgo, 1912), se proyecta una nueva red de nivelación de alta precisión (NAP) con medidas del valor de la gravedad. En esta nueva red las líneas discurren a lo largo de carreteras o del ferrocarril y su observación finalizó en 1972.

Con las observaciones de la red NAP (1928-72) y la densificación realizada entre 1975 y 1988, se realizó en 1998, la compensación denominada RNAP98 que comprende toda la red de nivelación peninsular.



*Red de Nivelación de Precisión antigua.*

### 5.2 El Proyecto REDNAP

La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) fue comenzada en 1999 y finalizada en 2007 en la Península y un año después en Baleares. REDNAP peninsular

tiene una longitud de aproximadamente 16.500 kilómetros. En Baleares la red cubre una longitud de algo más de 600 kilómetros. Todas las líneas discurren a lo largo de carreteras, autopistas y autovías, con señales espaciadas aproximadamente 1 kilómetro.

La red peninsular ha sido compensada en bloque en 2008, obteniéndose el ajuste REDNAP-2008, referenciado al "datum" común de las dos redes antiguas (1871-1922 y 1928-1972).

En las islas, el "datum" es local y está relacionado con el nivel medio del mar (n. m. m.) en cada una de ellas. Para la obtención de datos de las líneas y señales ir al [Servidor de Datos Geodésicos](#).



La nueva Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP).

A partir de 2008, con el objetivo de reducir los polígonos de REDNAP a una longitud máxima de 400 kilómetros y mejorar la precisión de la carta del geode en aquellas zonas con poca densidad de líneas de nivelación, se procedió a establecer líneas complementarias hasta un total de 3.200 kilómetros, lo cual ha extendido la red peninsular hasta más de 20.000 kilómetros.

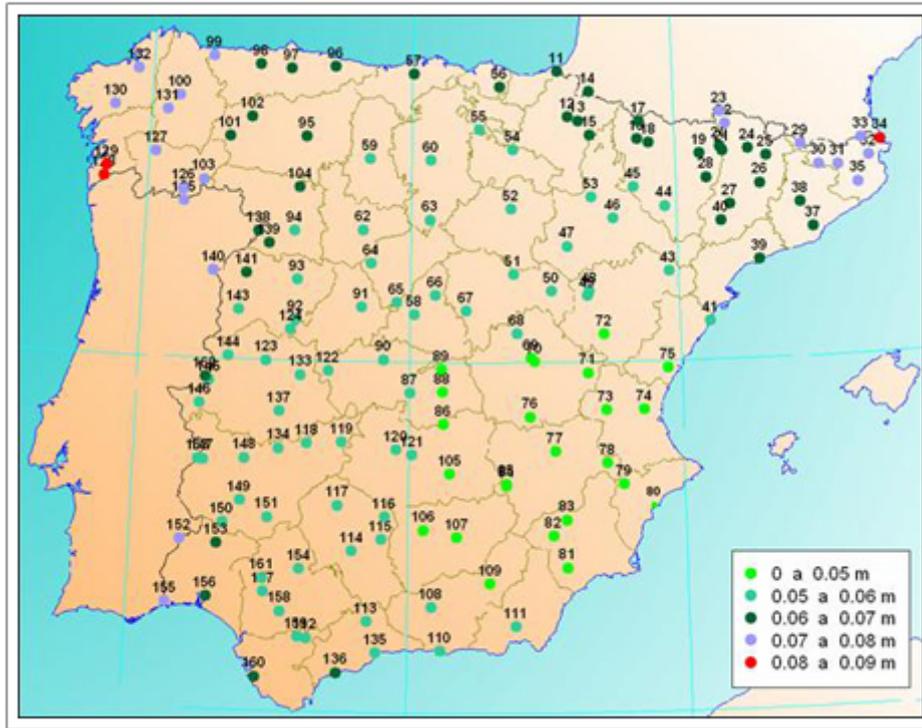
Actualmente (enero 2017) se están llevando a cabo los enlaces mediante nivelación de precisión entre REDNAP y las estaciones permanentes de la red ERGNSS y los mareógrafos.

### 5.3 Cálculo y compensación REDNAP

En noviembre de 2007 finalizó la observación de REDNAP en la Península, de tal forma que se procedió a realizar, en cotas geopotenciales, un ajuste mínimos cuadrados de la red compuesta por los 136 nodos que constituyen el bloque peninsular y los 14 falsos nodos situados en los puntos fronterizos.

Para la compensación se adoptó un único punto fundamental: el nodo de Alicante, materializado por la señal NP1, que ha sido la señal fundamental en todos los cálculos de la red altimétrica española realizados hasta la fecha y cuyo valor geopotencial es de 3,34142 u. g. p. referido al nivel medio del mar en el puerto de Alicante.

El promedio de todas las líneas arroja un residuo promedio de 0,16 ppm, lo cual indica la gran calidad de las observaciones en su conjunto. Como se puede ver en la figura, los vectores de error van aumentando a medida que los nodos se alejan de Alicante.



Vectores de error (95% confianza) del ajuste de nodos REDNAP.

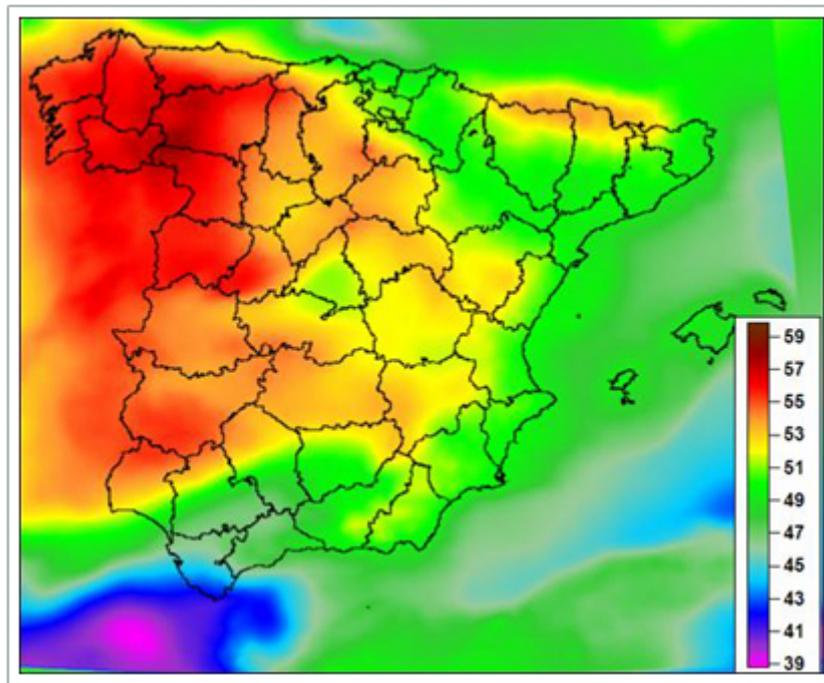
A medida que se vayan haciendo más líneas dentro del proyecto de densificación de REDNAP, se tendrán nuevos nodos, de tal forma que cuando este proyecto concluya, será necesaria una nueva compensación de la red con estos datos.

#### 5.4 El modelo de Geoide EGM08-REDNAP

El Área de Geodesia publicó en 2009 el modelo de geoide EGM08-REDNAP, adaptando el modelo gravimétrico mundial [Earth Gravitational Model 2008 \(EGM08\)](#) al marco de referencia vertical dado por la [Red Española de Nivelación de Alta Precisión \(REDNAP\)](#).

Las fuentes de datos que se han utilizado para la creación de una superficie de corrección a la ondulación gravimétrica han sido señales de REDNAP (con altitud ortométrica) en donde se ha determinado la altitud elipsoidal mediante GPS (casi 14.000 señales).

Las diferencias entre los valores observados y los calculados por el modelo generaron una superficie de corrección y adaptación a REDNAP del modelo original EGM2008 gravimétrico. Para la generación de la superficie de corrección se eligió el algoritmo de superficie de mínima curvatura.



*Modelo de geoida EGM08 - REDNAP.*

El modelo EGM08-REDNAP se ha dispuesto en el servidor FTP de Geodesia en una carpeta denominada “[geoida](#)” donde se pueden encontrar en formato ASCII los dos modelos para [Península](#) y [Canarias](#) y en otros formatos de casas comerciales ( [Leica](#) , [Topcon](#), [Ashtech](#) y [Trimble](#)) para su utilización directa en receptores GPS RTK, así como en formato [GeoLab](#) para su utilización con este software de ajuste de redes geodésicas. También está disponible para otro tipo de software como ArcGIS o GlobalMapper.

Así mismo, a través del [Programa de Aplicaciones Geodésicas \(PAG\)](#) el usuario puede obtener los datos de ondulación del geoida y desviación de la vertical en toda España.

Una información más detallada de este modelo puede verse en el documento “[El nuevo modelo de geoida para España EGM08-REDNAP](#)”.

## 6 La Red Gravimétrica

Durante las últimas décadas del siglo XIX y durante la primera mitad del siglo XX, el Instituto Geográfico Nacional realizó diversas mediciones gravimétricas, tanto absolutas como relativas, en distintas zonas del territorio nacional.

### 6.1 Red Gravimétrica Fundamental

La parte española de la red gravimétrica de 1973 está constituida por 79 estaciones repartidas uniformemente por todo el territorio peninsular español y las islas Baleares. Para el cálculo se utilizaron como puntos de control tres estaciones de la red IGSN 71 (Red Internacional Standard de Gravedad 1971) localizados en Madrid (C), Barcelona (J) y Lisboa (A), cuyos valores de la gravedad permanecieron fijos en la compensación de las observaciones.

El cálculo fue llevado a cabo por la Agencia Cartográfica del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. La precisión de los valores ajustados de la gravedad obtenidos tras la compensación, resultó mejor que  $\pm 0.02$  miligales en 9 puntos de la red y mejor que  $\pm 0.01$  miligales en los 68 puntos restantes.

Con el paso de los años, esta red se ha ido ampliando y en la actualidad consta de unas 144 estaciones. Esta red gravimétrica proporciona a los usuarios de la misma una referencia altamente fiable por su homogeneidad y por los indicadores estadísticos obtenidos tras la compensación de la red. Por otra parte, el tiempo transcurrido (casi cuarenta años) y la localización de las bases (la mayoría en edificios públicos de las principales ciudades del país) han ocasionado la desaparición de al menos quince de ellas, hasta el momento.

### 6.1 Línea de calibración

En 1975 y tras el establecimiento de la Red Fundamental se procedió a observar y calcular una línea de calibración para la contrastación de gravímetros. Esta línea sigue la dirección dominante Norte Sur en la casi totalidad de su recorrido y está compuesta por 53 estaciones repartidas a lo largo del eje Santander-Madrid-Motril-Málaga, de las cuales 8 pertenecen también a la Red Fundamental.

La precisión de "g" obtenida para el conjunto de puntos de esta línea de calibración es de  $\pm 0.01$  miligales. Hay que reseñar que, por las mismas razones que en el caso de la Red Fundamental, el deterioro y la desaparición de puntos de la línea es muy amplio y está prevista una reobservación con gravímetros absolutos.

### 6.2 Red Gravimétrica auxiliar

Desde el año 1999, y para apoyar los trabajos de nivelación de REDNAP se han establecido un total de 168 bases auxiliares enlazadas cada una de ellas con bases de la Red Fundamental por medio de, al menos, cuatro itinerarios observados con un mínimo de dos gravímetros diferentes.

Los valores de "g" obtenidos como promedio de dichas observaciones tienen una precisión del orden de  $\pm 0.05$  miligales. Estas 168 bases conforman la Red Gravimétrica Auxiliar.

## 6.3 Red auxiliar de estaciones de gravedad absoluta

Asimismo, y con el objetivo principal de dar apoyo a REDNAP se han establecido 29 más de 50 puntos de gravedad absoluta en la Península y Baleares, 4 de ellos en las Baleares (2 en Mallorca, 1 en Menorca y 1 en Ibiza) y el resto en la Península, observados con el gravímetro absoluto A-10. Otros 46 puntos se establecieron en Canarias en 2014 con el objetivo de servir de referencia a diferentes estudios geofísicos y geodésicos.

La precisión de los valores de la gravedad así obtenidos es superior a  $\pm 0.01$  miligales. A partir de las bases de la **Red Fundamental**, Red Auxiliar y Bases Absolutas (A 10) se han desarrollado los itinerarios gravimétricos que, observados con gravímetros de relativas Lacoste & Romberg, han permitido obtener los valores de "g" en cerca de 20.000 señales de la **Red Fundamental** con una precisión del orden de  $\pm 0.1$  miligales en promedio. Asimismo las bases pertenecientes a estas redes gravimétricas sirven como referencia para determinaciones rápidas y fiables de "g" en laboratorios de organismos públicos o privados (universidades, factorías, aeropuertos, refinerías, etc.) o cualquier otra entidad donde sea necesario conocer el valor de la gravedad con alta precisión.

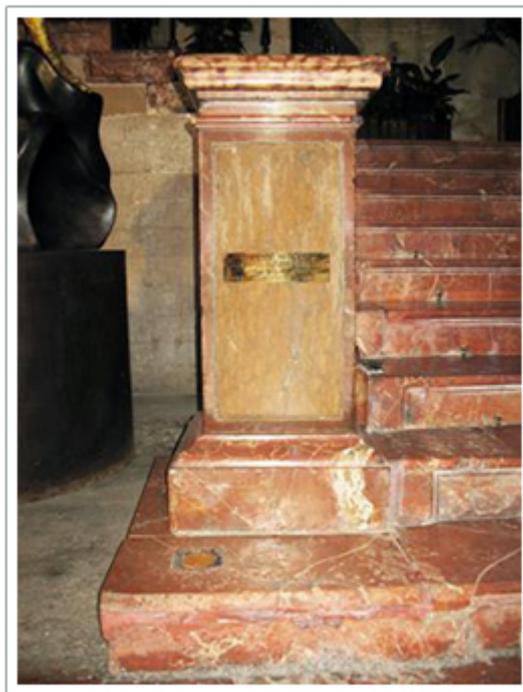
También se ha establecido una red de orden cero, observada con el gravímetro absoluto FG5, para servir de referencia a diferentes estudios geofísicos y geodésicos. Actualmente consta de más de 30 estaciones en la Península y una en Canarias. La precisión de los valores de la gravedad obtenidos con este gravímetro es superior a  $\pm 0.005$  miligales.

## 7 La Red de Mareógrafos

### 7.1 Historia

El origen de la red de mareógrafos surge de la necesidad de determinar la altitud de una señal principal que serviría como origen de altitudes para el Mapa Topográfico Nacional.

Con este fin se eligió el puerto de Alicante como lugar para obtener el Nivel Medio del Mar, cuyo valor determinó el datum de altitud para la **Red de Nivelación de Alta Precisión**.



*Señal NP1 en el Ayuntamiento de Alicante.*

En marzo de 1874 se interrumpieron las observaciones sobre la regla de mareas y se iniciaron las medidas del primer mareógrafo de registro continuo que funcionó en España.

Mediante los itinerarios de nivelación de precisión se fueron trasladando valores de altitud a las líneas que formaron la primera Red de Nivelación de Precisión del país. Durante estos años también se incrementó el número de mareógrafos al instalar estaciones en Santander, Cádiz y Santa Cruz de Tenerife. Los dos primeros se ubicaron al final de sendas líneas de nivelación y que los unía con la señal **NP1** de Alicante.

En 1950 se instala en La Coruña otra estación mareográfica, ampliándose la red en años sucesivos con una segunda estación en Alicante, y nuevas ubicaciones en Almería, Cartagena, Puerto del Rosario (Fuerteventura) y más reciente, en Puerto de la Cruz y Los Cristianos (Tenerife).

En la actualidad, la red de mareógrafos del IGN consta de nueve estaciones operativas a lo largo de toda la costa peninsular e Islas Canarias: **Alicante 1, Alicante 2, Cartagena, Almería, La Coruña, Santa Cruz de Tenerife, Puerto de la Cruz, Los Cristianos, Los Cristianos y Puerto del Rosario.**



Red de mareógrafos del IGN.

## 7.2 Instalaciones y Sistemas de Medida

Un mareógrafo es un registrador que mide los niveles momentáneos que experimenta la superficie del mar, considerando ésta como una lámina de agua cuando está exenta de oleaje, o sea, de movimientos de corto periodo.

El mar abierto es un agente altamente corrosivo del que debe resguardarse cualquier instalación que se construya con ánimo de perdurar por largo tiempo. Debido a ello la mayoría de las estaciones mareográficas se encuentran en el interior de los puertos.

La mayoría de las estaciones constan de una caseta dentro de la cual se encuentra un pozo que conecta con el mar, ya sea directamente o a través de un sistema de filtrado del oleaje. Sobre el pozo se sitúa el sistema de medida.

El movimiento del mar se detectaba de forma mecánica a través de un sistema de flotador almacenándose los datos en forma de:

- Registro gráfico: Se dibujaba el movimiento de forma continua sobre una banda de papel.
- Registro digital: Se registra el movimiento del mar mediante un codificador angular que transforma los movimientos del flotador en información numérica digital.

En la actualidad se han incorporado en las estaciones sensores radar que permiten la medición sin contacto con el medio. Toda la información digital se recibe periódicamente y queda almacenada los servidores del Instituto Geográfico Nacional.



*Mareógrafos de Alicante, Santa Cruz de Tenerife y Puerto del Rosario.*

### 7.3 Adquisición y Tratamiento de los Datos

Hasta principios del siglo XXI, la información recogida de cada una de las estaciones operativas consistía en las gráficas de papel con registro continuo. Desde la incorporación de los codificadores digitales, los valores se registran a intervalos de diez o un minutos, dependiendo del sensor de que provengan.

La sustitución de los mareógrafos mecánicos de banda por los nuevos sensores radar permite tener toda la información en forma digital. Con dos sensores redundantes trabajando simultáneamente en la mayoría de las estaciones, el codificador angular configurado para obtener datos cada diez minutos y el radar cada minuto, permite asegurar series temporales continuas de datos de fácil y rápida administración. A día de hoy, todas las estaciones de la red se encuentran trabajando ya con sensores radar.

Toda la información se recibe en tiempo casi real, se gestiona y almacena en la sede central del Instituto Geográfico Nacional y se incorpora al sistema de análisis de la red NEAMTWS (Sistema de Alerta Temprana de Tsunami en el Atlántico Noreste y el Mediterráneo).

### 7.4 Análisis de los Datos

El análisis se realiza con un conjunto de programas desarrollados por el [Centro de Nivel del Mar de Hawaii](#) (UHSLC: University of Hawaii Sea Level Center) en colaboración con el [National Oceanographic Data Center](#) (NODC), basados en programas de análisis armónico y previsión de marea de Foreman. Este paquete deriva de unas rutinas existentes usadas para el procesamiento en el [Tropical Ocean Global](#)

**Atmosphere (TOGA)** y en el **Sea Level Center (TSLC)** y contiene tres tareas principales: análisis armónico y predicción de marea, control de calidad y filtrado.

El programa de análisis emplea el método de ajuste de mínimos cuadrados para calcular los constituyentes armónicos. El resultado del análisis es el conjunto de constantes armónicas que permite obtener la predicción de marea para cualquier año.

## 8 La Red de Estaciones Permanentes GNSS (ERGNSS)

El Área de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional viene desarrollando desde 1998 una red de estaciones permanentes GNSS (Global Navigation Satellite System) que cubre todo el territorio nacional de forma homogénea.

La red de estaciones permanentes del IGN constituye la referencia básica que da acceso al sistema ETRS89 de forma directa. Los objetivos de dicha red se pueden resumir en:

- Obtención de coordenadas muy precisas y campo de velocidades en todos los puntos de la red.
- Contribución a la definición de los nuevos **Sistemas de Referencia Globales (ITRF)** en el territorio nacional.
- Ser puntos fundamentales de la **Red Europea EUREF de estaciones permanentes (EPN)** para la densificación de los marcos globales y definición del sistema ETRS89.
- Utilización de los registros de datos continuos para estudios de Geodinámica, troposfera, ionosfera, meteorología, etc.
- Definir una red fundamental como apoyo para aplicaciones en tiempo real de correcciones diferenciales (DGNSS) y RTK.
- Proporcionar a los usuarios de GNSS, públicamente, los datos para trabajos geodésicos, cartográficos, topográficos y de posicionamiento en general.

### 8.1 La Red ERGNSS

Actualmente (enero 2017) unas 80 estaciones conforman la red, de las cuales 24 están integradas en la red europea de **EUREF** y 3 (YEBE, MELI y LPAL) en la red mundial del IGS (**International GNSS Service**).

Las estaciones están equipadas con:

- Receptores geodésicos multifrecuencia, con capacidad de recepción de diferentes constelaciones, como GPS, GLONASS, GALILEO y BeiDou, fundamentalmente.
- Antenas geodésicas en su mayoría de tipo "Choke Ring" y con calibración de la variación del centro de fase (parte de ellas con calibraciones individuales realizadas en laboratorios competentes).



Estaciones de la ERGNSS (enero 2017).

Las estaciones ERGNSS instaladas se encuentran en diferentes ubicaciones, normalmente instalaciones en edificios o recintos públicos. En este [enlace](#) se pueden consultar las fichas descriptivas de las estaciones con todos los datos útiles para los usuarios públicos.

Con el fin de hacer una gestión más eficiente del gasto y con vistas de tener una adecuada densidad de estaciones en todo el territorio nacional algunas de las estaciones de la red ERGNSS son compartidas por el IGN y otros organismos. Las instituciones que comparten estas instalaciones son fundamentalmente Comunidades Autónomas y Puertos del Estado mediante acuerdos o convenios de colaboración.

## 8.2 Servicios de la red ERGNSS

Los diferentes servicios públicos que ofrece la red ERGNSS se pueden dividir fundamentalmente en dos grupos bien diferenciados:

- Servicios post-proceso
- Servicios de posicionamiento en tiempo real

### 8.2.1 Servicios post-proceso

Este servicio se ofrece públicamente mediante la disposición de ficheros RINEX de todas las estaciones, con diferentes intervalos (horarios a 1, 5, 10 y 30 segundos o diarios a 30 segundos), accesibles por los usuarios de diferentes formas:

- Directamente a través del servidor [FTP del Área de Geodesia](#)
- A través la página web del IGN en la utilidad "[Datos Geodésicos](#)"
- A través del [Programa de Aplicaciones Geodésicas \(PAG\)](#).

Actualmente son muchas las instituciones nacionales e internacionales con interés en el procesamiento continuo de datos RINEX para aplicaciones geodésicas y geodinámicas, meteorológicas y científicas en general, así como usuarios particulares para el posicionamiento preciso.

## 8.2.2 Servicios de posicionamiento en tiempo real

Existen diferentes tipos de servicio de posicionamiento en tiempo real a través de la conexión a los diferentes "stream" de datos disponibles. Toda la información relativa a este servicio así como los datos de conexión pueden verse en este [enlace](#).

El IGN ofrece dos tipos de servicios de posicionamiento diferencial en tiempo real para toda España: de solución de red o de punto simple.

### 8.2.2.1 Solución con el conjunto de la red

Las Comunidades Autónomas y el Instituto Geográfico Nacional proporcionan conjuntamente un servicio de posicionamiento diferencial GNSS en tiempo real para toda España.

Para generar este servicio se utilizan las estaciones permanentes de las redes GNSS de las Comunidades Autónomas con las que existe un acuerdo de colaboración y de la [Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS \(ERGNSS\)](#). La utilización de un mayor número de estaciones distribuidas por el territorio aumenta la fiabilidad del sistema al incrementarse la integridad del mismo.

Las redes autonómicas que actualmente integran este servicio junto a la ERGNSS son:

- ARAGEA: Red de Geodesia Activa de Aragón
- ERVA: Red de Estaciones de Referencia GNSS de Valencia
- ITACYL: Red de estaciones GNSS de Castilla y León
- RAP: Red Andaluza de Posicionamiento
- REGAM: Red Geodésica Activa de Murcia
- REP: Red Extremeña de Posicionamiento
- RGAC: Red GNSS Activa de Cantabria
- RGAN: Red de Geodesia Activa de Navarra
- RGAPA: Red GNSS Activa del Principado de Asturias
- RGE: Red GNSS de Euskadi
- Red GPS de la Comunidad de Madrid
- RIOJA: Red de estaciones permanentes GNSS de La Rioja
- XGAIB: Xarxa de Geodèsia Activa de les Illes Balears

Este servicio ofrece diferentes tipos de soluciones, todas ellas se basan en generar correcciones diferenciales a partir de las estaciones que forman el conjunto de la red. Estas soluciones tienen en común que el sistema usa como punto de partida la posición inicial del usuario, que previamente tiene que transmitirla al sistema (comunicación bidireccional).

Actualmente este servicio se ofrece en la Península, Baleares, Ceuta y Melilla.

- **Acceso al servicio**

El acceso al servicio es gratuito previo registro para la obtención de usuario y contraseña en este [enlace](#).

URL: [ergnss-tr.ign.es](http://ergnss-tr.ign.es) (puerto 2101)

- **Modelos de correcciones disponibles**

Para la utilización de este tipo de soluciones es necesario que, por un lado, el receptor del usuario conozca su posición aproximada (posición de navegación) y, por otro, que el usuario envíe esta posición al sistema. Los puntos de montaje que ofrece este servicio con diferentes tipos de solución son:

- **VRS:** estación virtual de referencia (VRS), GPS + GLONASS, RTCM 3.
- **MAC:** solución basada en Master Auxiliary Concept (MAC), GPS + GLONASS, RTCM3.
- **FKP:** solución basada en parámetros de corrección zonales (FKP), GPS + GLONASS, RTCM3.
- **FKP2:** solución basada en parámetros de corrección zonales (FKP), GPS + GLONASS, RTCM2.3.
- **CMR:** Solución de correcciones diferenciales en formato CMR+.
- **CERCANA:** solución basada en la estación más cercana, RTCM 3. El sistema calcula cual es la estación más próxima al usuario entre el conjunto de estaciones conforman la red y genera para él correcciones diferenciales de la estación asignada.

En estos modelos de correcciones se anula la antena (ADNULLANTENNA). Al anular la antena no es necesario que el equipo del usuario conozca el modelo de corrección de la antena de la estación de referencia.

Los servicios con el conjunto de red del tipo FKP, MAC y VRS permiten un posicionamiento automatizado y su precisión es homogénea en todo el territorio, mientras que en los servicios de punto simple la precisión será menor cuando más lejano esté el usuario respecto a la estación de referencia.

Con el fin de mejorar el sistema les agradeceríamos nos comentasen sus experiencias en el uso de los diferentes servicios dirigiéndose a [buzon-geodesia@fomento.es](mailto:buzon-geodesia@fomento.es).

## 8.2.2.2 Solución con estación única (punto simple)

En este tipo de servicios no es necesaria una comunicación bidireccional con el sistema, siendo sólo necesaria la elección de un *stream* de una estación de referencia, normalmente la más cercana al usuario.

Se ofrecen dos tipos de solución, en función de cómo se trate la calibración de la antena de la estación de referencia.

En ambos casos el servicio se ofrece con las estaciones de la [Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS \(ERGNSS\)](#) pero en el primero de ellos adicionalmente se suman las estaciones de las redes propias de las Comunidades Autónomas citadas anteriormente.

### 1. Solución con antenas anuladas 'ADNULLANTENNA'

Esta es la manera más sencilla de trabajar. Al anular la antena no es necesario que el equipo del usuario conozca el modelo de corrección de la antena de la estación de referencia.

Actualmente este servicio se ofrece en la Península, Baleares, Ceuta y Melilla.

Estos servicios se proporcionan de manera conjunta entre [la Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS \(ERGNSS\)](#) y las redes de estaciones permanentes de las Comunidades Autónomas con las que existe un acuerdo de colaboración.

- **Acceso al servicio**

El acceso al servicio es gratuito previo registro para la obtención de usuario y contraseña en este [enlace](#) (el mismo usuario y contraseña de la solución de red también es válido para este servicio).

**URL:** [ergnss-tr.ign.es](http://ergnss-tr.ign.es) (puerto 2102)

### 2. Solución sin antenas anuladas

La [Red Geodésica Nacional de Referencia de Estaciones Permanentes GNSS \(ERGNSS\)](#), donde algunas de las estaciones son compartidas entre el IGN y otras instituciones como Puertos del Estado y Comunidades Autónomas, también proporciona un servicio de posicionamiento diferencial en tiempo real a través del protocolo [NTRIP](#) (Network Transport of RTCM via Internet Protocol).

Este protocolo es un estándar diseñado para diseminar datos GNSS a través de Internet, especialmente correcciones diferenciales para posicionamiento preciso. La mayor parte de los receptores GNSS cuentan con software con un cliente NTRIP para usar estas correcciones diferenciales.

En el caso de no anular la antena es necesario aplicar un modelo de calibración de antena de la estación de referencia. Por lo tanto, es necesario disponer del fichero de calibración de la estación de referencia, que define la distancia desde el Centro de Fase de la Antena (APC) al Punto de Referencia de la Antena (ARP).

En las correcciones diferenciales que se envían desde el caster se incluye el nombre estándar de la antena de la estación de referencia. Este nombre está formado por veinte caracteres que definen de manera única cada modelo de antena.

Es importante que el equipo que va a utilizar las correcciones tenga en su listado de antenas la de la estación de referencia que va a utilizar. Normalmente, si el equipo no tiene esta información, se puede actuar de dos maneras: cargar una base de datos con las antenas existentes o crear una antena de forma manual.

En las [reseñas de las estaciones de referencia GNSS](#) aparece la descripción detallada de cada antena así como su nombre estándar.

El tipo de correcciones diferenciales que se ofrece es a través de un caster [NTRIP](#). El usuario ha de seleccionar manualmente la estación más cercana de la que desea recibir las correcciones diferenciales. Las correcciones diferenciales se distribuyen en las versiones:

- RTCM 2.3 (con mensajes 18 y 19).
- RTCM 3 (se aconseja utilizar éste si el equipo lo soporta).
- **Acceso al servicio**

El acceso al servicio es gratuito sin previo registro, aunque con usuario y contraseña:

- **URL:** [ergnss-ip.ign.es](http://ergnss-ip.ign.es) (Puerto: 2101)
- **Usuario:** ign
- **Contraseña:** ergnss

### 8.3 El IGN como centro de análisis de datos GNSS

Asimismo el Área de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional es un [Centro de Análisis de datos GNSS](#) que realiza para varios proyectos un procesamiento continuo de datos procedentes, tanto de las estaciones permanentes de la red ERGNSS, como de otras redes, además de ser [Centro de Análisis Local de EUREF](#) (acrónimo IGE) desde septiembre de 2001.

Los diferentes procesos continuos de cálculo para estos proyectos se realizan en *Bernese 5.2*, están automatizados y pueden verse con más detalle en el siguiente apartado.

## 9 El Centro de Análisis GNSS del IGN

Actualmente son varios los proyectos tanto a nivel internacional como nacional en los que está colaborando el Área de Geodesia a través del Centro de Análisis de datos GNSS. Este tipo de proyectos tienen como característica común la continuidad en los cálculos (se procesan estaciones permanentes GNSS), así como la necesaria celeridad a la hora de aportar la solución final.

Los proyectos más relevantes en los que se está colaborando actualmente son:

- **EUREF**: procesando una subred de la red de estaciones permanentes EUREF (EPN), con fines geodésicos mediante soluciones diarias y semanales de una subred de ésta.
- **IBERRED**: procesando todas las estaciones ibéricas y del entorno circundante con fines geodésicos y geodinámicos.
- **EGVAP** : procesando todas las estaciones ibéricas y del entorno circundante en tiempo casi-real, con fines meteorológicos.

En todos los casos se utiliza el software *Bernese 5.2* en un entorno automatizado, ya que el procesamiento es continuo en el tiempo, incluso en el último caso, con una frecuencia de cada hora.

### 9.1 Centro Local de Análisis de EUREF

Desde la semana GPS 1130, en Septiembre del 2001, el IGN ha estado colaborando ininterrumpidamente en EUREF como Centro Local de Análisis de la red de estaciones permanentes GNSS europea (EPN). Para ello se procesa una subred de aproximadamente 75 estaciones con la distribución que se observa en la siguiente figura.



Estaciones procesadas por el IGE para EUREF

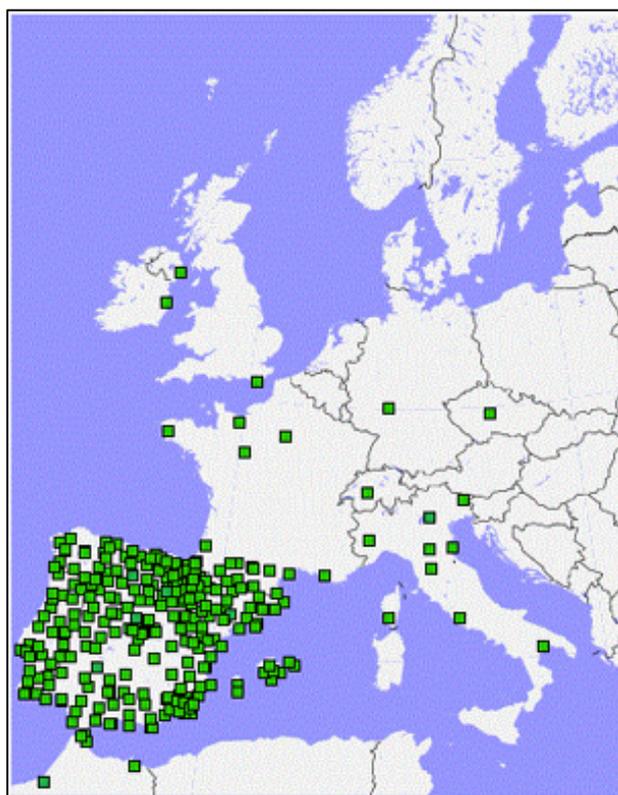
Se realizan cálculos de posiciones de forma diaria y semanal de observaciones GPS y GLONASS, tanto con efemérides precisas (cálculo semanal) como con efemérides rápidas (cálculo diario). Con estos cálculos se obtienen las **series de coordenadas y vectores velocidad**, además de los retrasos troposféricos de la señal en el cenit (ZTD).

## 9.2 Centro de Análisis E-GVAP

La **Agencia Estatal de Meteorología**, AEMET solicitó la colaboración del centro de análisis GNSS de Geodesia para el cálculo del contenido de vapor de agua de la atmósfera. Esta colaboración se inscribe dentro del proyecto europeo (**E-GVAP**) para el cálculo del contenido de vapor de agua de la atmósfera a partir de datos de estaciones permanentes GNSS en Tierra.

El interés de la meteorología en las mediciones GNSS tiene su origen en la sensibilidad que tienen éstas respecto al contenido de vapor de agua en la atmósfera. El vapor de agua es de importancia fundamental en la predicción meteorológica y en la investigación del clima.

Por parte del IGN, el Centro de Análisis realiza el proceso de cálculo de los retrasos totales del zenit (ZTD) en tiempo casi real de ficheros horarios, enviando los datos a un servidor común europeo, con un retraso que nunca debe exceder a la hora y media desde el momento de la última observación. El IGN participa, actualmente, procesando un total de unas 340 estaciones aproximadamente en el área ibérica.

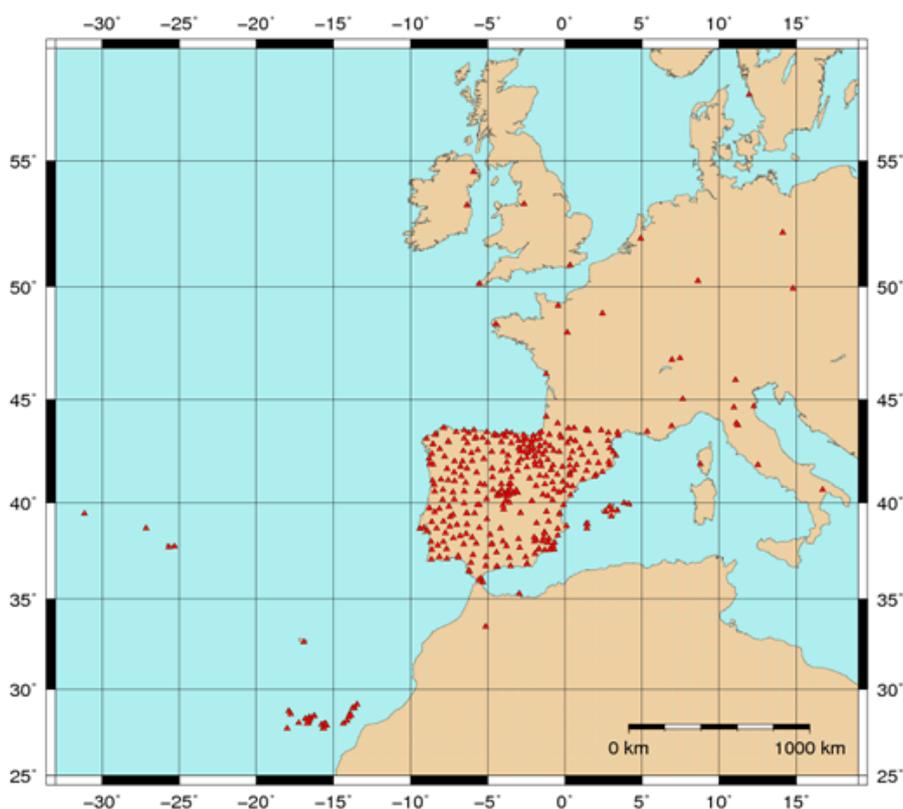


*Estaciones procesadas por el IGN para E-GVAP*

### 9.3 IBERRED

En los últimos años son cada vez más las redes de estaciones permanentes instaladas por distintos organismos, tanto pertenecientes a la administración como a empresas en España y en los países vecinos. El objetivo del proyecto IBERRED es el cálculo de todas las estaciones permanentes posibles para diferentes fines, como son el de calcular las velocidades de todas las estaciones en los distintos sistemas de referencia, y estudiar cómo se adecuan estos a lo largo del tiempo, así como el uso de estas coordenadas para fines meteorológicos (E-GVAP).

Asimismo, este procesamiento sirve para la elaboración de un campo de velocidades más denso llevado a cabo por EUREF, y enmarcado en el proyecto de **Densificación de EUREF**.



*Red procesada en el proyecto IBERRED*

## 10 El Servidor de Datos Geodésicos (SERDAG)

El Servidor de Datos Geodésicos (SERDAG) surgió en un principio como una aplicación vía web para facilitar el trabajo al personal del IGN, poniendo a su disposición toda la información disponible en el Área de Geodesia sobre sus redes.

Debido a la gran demanda desde el exterior sobre toda esta información, se ha hecho necesaria exportar esta aplicación a Internet, completándola con muchas más herramientas.

Hoy en día este servidor ha crecido hasta convertirse en una serie de aplicaciones Web, programas informáticos y almacenes de datos que intentan poner a disposición de todo el público la gran cantidad de datos e información generados por las distintas redes geodésicas.

### 10.1 Datos Proporcionados

#### Red Geodésica

La información de cada una de las señales que componen esta red con una descripción física y posicional (incluyendo las coordenadas en [ED50](#) y [ETRS89 / REGCAN95](#)), mediante una ficha en formato PDF.

#### Red de Nivelación

La información proporcionada para cada una de las señales de esta red es del estilo y características de las de la Red Geodésica.

Estas reseñas, al igual que las de la Red Geodésica, se generan automáticamente una vez por semana en el servidor del IGN, con lo que se mantienen lo más actualizadas posibles.



## Modelo del Geoide

Se proporciona el modelo de geoide [EGM08-REDNAP](#) en diferentes formatos: ASCII, Leica, Trimble, Topcon, GeoLab.

## Documentación

Diversos documentos para comprender y utilizar toda la información proporcionada y su gestión o descarga a través de las herramientas disponibles.

## 10.2 Herramientas Disponibles

### Servidor Web

Está formado por un conjunto de páginas que facilitan mediante buscadores gráficos y consultas, el acceso a la información de las distintas señales que componen las redes geodésicas.

- [Visor gráfico](#) : permite encontrar sobre la cartografía del Estado la ubicación de las distintas señales que componen las Redes Geodésicas dando acceso a la información detallada de cada una de ellas.
- [Buscador de Fichas](#) para la [red geodésica](#) , y para la [red de nivelación](#), dan la posibilidad de encontrar las señales de las Redes discriminando dicha búsqueda según alguna de sus características.
- [Descarga de datos RINEX de la ERGNSS](#) a diferentes intervalos de toma de datos.
- [Descarga de datos de la red de mareógrafos](#).

### Programa de Aplicaciones Geodésicas (PAG)

Se trata de una aplicación informática para sistema operativo Windows de libre distribución que consta de seis utilidades distribuidas en dos menús:

#### Menú Calculadora geodésica

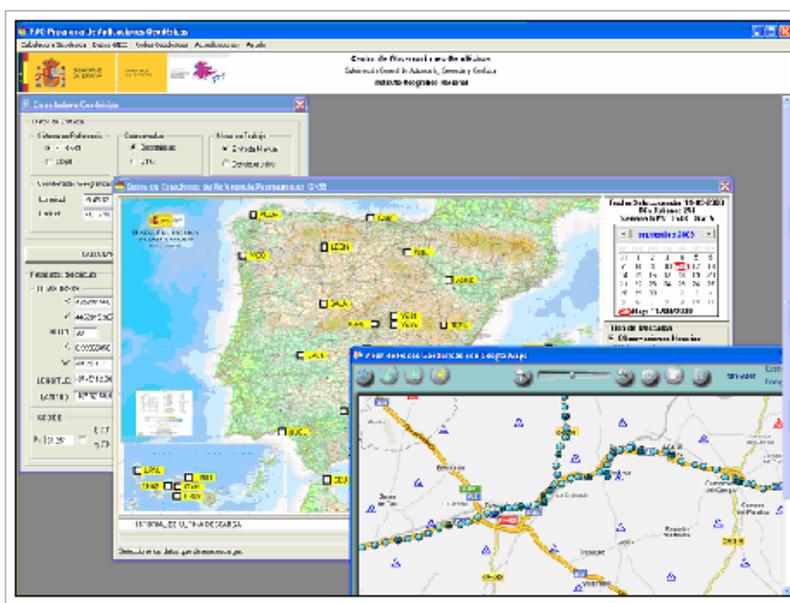
- Transformaciones Datum: Permite la transformación de Coordenadas Geográficas, UTM o Lambert, entre los [sistemas geodésicos de referencia](#) oficiales [ETRS89](#), [ED50](#) o Datum Madrid (Struve), de un punto o un conjunto de ellos vía fichero de texto, calculando también la ondulación del geoide (en el Datum Oficial de España, Datum Alicante y en el Datum altimétrico EVRS) y la desviación de la vertical.
- Problema directo / inverso de la geodesia.

- Transformación entre coordenadas Geográficas y Cartesianas Geocéntricas: permite la transformación de puntos individualmente o mediante un fichero de entrada.

## Menú Redes Geodésicas

- Visor de Redes: Da acceso a un navegador Web que conecta vía Internet con el servidor Google Maps, IGN o PNOA para poder representar sobre cartografía los distintos elementos (estaciones permanentes GNSS, vértices geodésicos y señales de nivelación) que componen las redes geodésicas de España.
- Datos GNSS: Seleccionando la fecha y la estación, permite descargar datos GNSS de la **red de estaciones permanentes GNSS** del Instituto Geográfico Nacional vía Internet en cualquiera de sus formatos disponibles.
- Información sobre redes: mediante unos formularios los usuarios pueden enviar información sobre el estado de las señales de las redes al IGN para ayudar al IGN a mantener actualizada la información de las mismas.

Desde el programa también se pueden solicitar actualizaciones del estado de las redes vía FTP. Estas actualizaciones son generadas periódicamente por el servidor principal del Instituto Geográfico Nacional.



Programa de Aplicaciones Geodésicas (PAG).

## Fichero KMZ para Google Earth

Este fichero se genera mensualmente y permite representar gráficamente con el programa Google Earth todas las señales que componen las redes geodésicas. A su vez, cada señal da acceso a su reseña o ficha (con la descripción de la misma) vía FTP.

## Servidor FTP

Es la manera más directa de acceder a todos los datos generados por las redes geodésicas. Hasta ahora se han descrito herramientas que facilitan la búsqueda y acceso a los datos, siendo el servidor FTP el almacén donde se guardan dichos datos. Puede utilizar este servidor para informar al IGN sobre cualquier incidencia que observe en alguna de las señales que componen las redes geodésicas a través de unos sencillos formularios en formato PDF:

- <ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf> para la Red Geodésica
- <ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRN.pdf> para la Red de Nivelación.

## 11 Otras Actividades

### 11.1 Red Geodésica de Observaciones Geodinámicas del Estrecho de Gibraltar (RGOG)

Desde los años ochenta, el Instituto Geográfico Nacional viene desarrollando con regularidad trabajos de observación geodésica en una red específica en el Estrecho de Gibraltar mediante convenio con la [Sociedad Española de Estudios para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar \(SECEG\)](#) y sus homólogos marroquíes, la [Société Nationale d'Etudes du Détroit \(SNED\)](#).

La RGOG consta en la actualidad de:

- Red geodésica no permanente: once vértices en territorio español y otros tantos en Marruecos, con diversas campañas de observación clásica y GPS.
- Red de estaciones permanentes GNSS con sistema de detección de deformaciones en tiempo real.
- Red de nivelación de alta precisión a ambos lados del Estrecho y conexiones con la red marroquí y vértices de la RGOG.

### 11.2 Enlace local entre la red geodésica y otros equipos de observación espacial en observatorios

Se entiende por "enlace local" o "local-tie" el vector o vectores 3D entre la fina marca que determina la posición de uno o más vértices geodésicos y el punto invariante (IVP) al que se refieren las observaciones de aquellos instrumentos de seguimiento espacial, situados en un observatorio, que emplean una técnica específica diferente a la usada habitualmente para la red geodésica.

Todos estos puntos se encuentran ubicados en un entorno próximo y la determinación de los vectores de enlace entre todos ellos ha de realizarse con la mayor exactitud posible, buscando precisiones del orden del milímetro. Estos enlaces locales son esenciales para la determinación de las diversas realizaciones del [Sistema Internacional de Referencia Terrestre \(ITRS\)](#).

La definición de los marcos o realizaciones permite combinar los resultados de diferentes técnicas de observación espacial (VLBI, GNSS, SLR, Doris), haciendo posible la unificación de las correspondientes redes internacionales de observación espacial (IVS, ILRS, IGS, IDS). A este respecto, los trabajos se coordinan por el [International Earth Rotation and Reference Systems Service \(IERS\)](#).

El IGN ha adquirido gran experiencia a lo largo de los años en la determinación de "enlaces locales" entre vértices GPS y antenas o equipos ubicados en diversos observatorios, como son:

- [Estación de Seguimiento del JPL de Robledo de Chavela](#)

- Estación Espacial de Maspalomas.
- Estación de Seguimiento de Satélites en Villafranca del Castillo de la ESA
- Centro Astronómico de Yebes
- Real Observatorio de la Armada (ROA).



*Observación del "local tie" GPS-SLR del Observatorio de San Fernando.*



*"Local tie" GPS - VLBI del Observatorio Astronómico de Yebes.*

Más información en:

- International Earth Rotation and Reference System Service
- IERS Working Group on Site Survey and Co-location
- Formato IERS para el informe de medidas de "local ties"

## 11.3 Buzón de Consultas

Para cualquier consulta sobre los servicios de geodesia que presta el Instituto Geográfico Nacional y la Red de Estaciones Permanentes GNSS, el contacto es [buzon-geodesia@fomento.es](mailto:buzon-geodesia@fomento.es).

## 12 Enlaces de Interés

### 12.1 Nacionales

- Instituto Cartográfico de Cataluña
- Instituto Cartográfico Valenciano
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía
- Instituto Español de Oceanografía
- Instituto de Geociencias
- Instituto Hidrográfico de la Marina
- Red de Estaciones de Referencia de la Región de Murcia (Meristemum)
- Red de Estaciones GNSS de Castilla y León
- Red de Estaciones GPS de Madrid
- Red de Estaciones Permanentes de Canarias
- Red de Estaciones Permanentes GNSS del Gobierno de La Rioja
- Red Extremeña de Posicionamiento
- Red de Geodesia Activa de Aragón
- Red de Geodesia Activa de las Islas Baleares
- Red de Geodesia Activa de Navarra
- Red GNSS Activa del Principado de Asturias
- Red GNSS Activa de la Comunidad de Cantabria
- Red GPS/GNSS de Euskadi
- Red GPS Activa de la Región de Murcia
- Real Instituto y Observatorio de la Armada

### 12.2 Internacionales

- Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)
- European Reference Frame (EUREF)
- EUREF Permanent Network (EPN)
- IERS Terrestrial Reference Frame (ITRF)
- International Association of Geodesy (IAG)
- International DORIS Service
- International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)
- International Geoid Service (IGeS)
- International GNSS Service (IGS)
- International Laser Ranging Service (ILRS)
- International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)
- International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS)
- Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL)
- Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas (SIRGAS)
- University NAVSTAR Consortium (UNAVCO)

## 12.3 Instituciones de otros países

### Alemania

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, antiguo IfAG)  
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)  
GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)

### Australia

Geoscience Australia

### Canadá

Geodetic Survey Division, Natural Resources

### Dinamarca

Kort- og Matrikelstyrelsen National Survey and Cadastre

### Estados Unidos

National Geodetic Survey (NGS)  
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)  
U.S. Naval Observatory (USNO)  
MIT Geodesy and Geodynamics Laboratory  
Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC)  
Southern California Earthquake Center  
MIT Geodesy and Geodynamics Laboratory (JPL)

### Francia

Institut Géographique National  
Laboratoire de Recherche en Géodésie

### Gran Bretaña

Ordnance Survey

### Holanda

Department of Earth Observation and Space Systems (DEOS) Delft University of Technology

### Italia

Agenzia Spaziale Italiana / Italian Space Agency

### Noruega

Division of Geomatics Norwegian University of Science and Technology

### Suecia

Onsala Space Observatory  
Space Geodesy and Geodynamics

### Suiza

Astronomical Institute, University of Bern  
Federal Office of Topography Swisstopo