

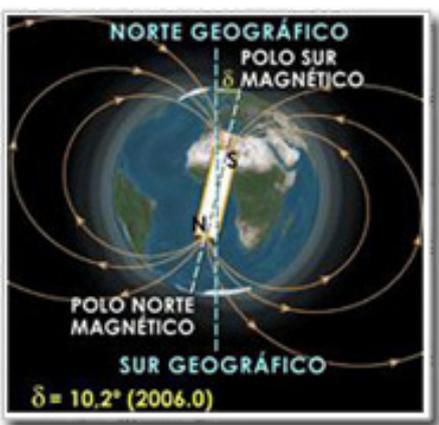
Geomagnetismo

1	¿Qué es el geomagnetismo?	2
2	El geomagnetismo en el IGN	3
3	Observatorios Geomagnéticos	4
4	Red de Estaciones de Repetición	6
5	Cartografía Geomagnética	8
6	Las tormentas geomagnéticas	10
7	Volcanomagnetismo	12
8	Aeropuertos y navegación aérea	14

1 ¿Qué es el geomagnetismo?

El geomagnetismo es la ciencia que estudia el origen, las propiedades y las variaciones del campo magnético terrestre.

El campo magnético que se observa en un punto de la Tierra tiene dos orígenes, uno interno y otro externo.

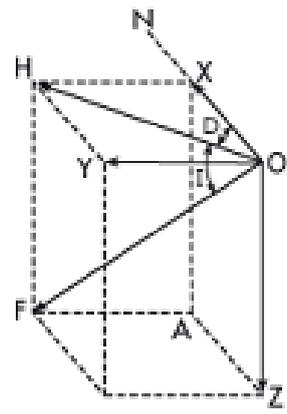


Esquema de dipolo magnético

El campo de origen interno es semejante al producido por un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra con una inclinación de 11,5º respecto al eje de rotación, y es el responsable de más del 90% del campo observado. Los polos geomagnéticos son los puntos en los que el eje del dipolo intersecta a la superficie terrestre, y el ecuador magnético es el plano perpendicular a dicho eje. Este campo de origen interno no es constante ni uniforme, sino que presenta una variación lenta en el tiempo que se conoce como variación secular.

El campo de origen externo es debido principalmente a la actividad del Sol sobre la ionosfera y la magnetosfera. Este campo externo presenta variaciones periódicas siendo la más importante la variación diaria con período de 24 horas; también son periódicas la variación lunar, la variación anual y la variación undecenal. Otras variaciones rápidas de origen externo son las pulsaciones magnéticas, las tormentas magnéticas, las bahías, los efectos cromosféricos, etc.

El campo magnético terrestre es una magnitud de carácter vectorial, por lo que para estudiar sus componentes se toma como referencia en un punto de la superficie de la Tierra un sistema cartesiano de coordenadas XYZ de ejes en dirección N-S, E-O y vertical. De esta forma, la intensidad total del campo (F) y sus proyecciones horizontal (H) y vertical (Z) están relacionadas a través del ángulo de declinación (D) que forma H con el norte geográfico, y del ángulo de inclinación magnética (I) que forman F y H.



Descomposición vectorial del campo geomagnético

Así, para expresar el campo geomagnético en un punto bastan tres cantidades, utilizándose normalmente una de las siguientes ternas: H-D-Z, X-Y-Z, o F-I-D.

2 El geomagnetismo en el IGN

El Servicio de Geomagnetismo del Instituto Geográfico Nacional tiene encomendada como misión principal el estudio y medición del campo magnético terrestre dentro del territorio nacional. Para ello dispone de **Observatorios Geomagnéticos** que registran de forma continua las variaciones del campo magnético. Los datos obtenidos en estos observatorios, una vez procesados, son utilizados para la elaboración de los **Anuarios Geomagnéticos**.



Esquema del campo magnético terrestre

Periódicamente se realizan medidas del campo magnético en las **Estaciones de Repetición o Seculares**, y con menor frecuencia se hacen densificaciones en los llamados puntos de mapa. También se dispone de valores obtenidos en vuelos aeromagnéticos de la Península Ibérica y Canarias. Todos estos datos sirven para la producción de la **Cartografía magnética** de las distintas componentes y del campo total para el territorio de la Península Ibérica y las Islas Baleares. No se elabora cartografía de las Islas Canarias, debido a que la fuerte influencia de su naturaleza volcánica hace inviable la cartografía a estas escalas.

Los datos obtenidos en Observatorios Geomagnéticos, Estaciones de Repetición y demás campañas se utilizan también para la ejecución de trabajos de investigación y colaboraciones con diversos organismos internacionales.

3 Observatorios Geomagnéticos

Los Observatorios Geomagnéticos tienen como objetivo registrar de forma continua y precisa los valores de las componentes del campo magnético terrestre y del campo total.

Para realizar la medida del campo magnético terrestre cuentan con instrumentación de dos tipos. Un primer grupo lo forman los variómetros, que registran de forma continua y automática los elementos del campo geomagnético y que requieren de una instalación en entornos controlados térmicamente y sobre una plataforma completamente estable. Un segundo grupo lo forman los instrumentos de absolutas, que se utilizan para medir el campo magnético terrestre con observaciones periódicas por parte de un observador, y que permiten dar escala a los valores medidos por los variómetros.

Procesando los datos obtenidos en los observatorios se pueden determinar los índices de actividad geomagnética, los valores medios horarios, diarios, mensuales y anuales, así como la variación anual de los elementos geomagnéticos y confeccionar con ellos los **Anuarios Geomagnéticos**.

El Instituto Geográfico Nacional cuenta en la actualidad con dos observatorios. Uno de ellos está situado en el término municipal de [San Pablo de los Montes \(Toledo\)](#) y el otro en [Güímar \(Tenerife\)](#). Igualmente existe otro observatorio en [Roquetes \(Tarragona\)](#) cuya estación variométrica se halla en Horta de Sant Joan, en el que el IGN participa a través de la [Fundación Observatorio del Ebro](#).



Mapa de Observatorios Geomagnéticos

Históricamente el IGN ha tenido operativos otros cinco observatorios: [Toledo \(1934-1981\)](#), [Almería \(1955-1989\)](#), [Logroño \(1958-1976\)](#), [Moca \(1959-1971\)](#), y [Las Mesas \(1961-1992\)](#). Los observatorios de Toledo y Las Mesas fueron trasladados respectivamente a San Pablo de los Montes (1981) y Güímar (1993).

En la página web del IGN se pueden consultar los valores producidos en los Observatorios Geomagnéticos del IGN, tanto en tiempo real como los de los últimos días, así como datos definitivos en forma de Valores medios anuales y Anuarios Geomagnéticos.

Los Observatorios Geomagnéticos de San Pablo de los Montes y Güímar están integrados desde 1997 en la Red Mundial de Observatorios Geomagnéticos ([INTERMAGNET](#)), cumpliendo con los requisitos definidos en dicha red en cuanto a la calidad de la instrumentación, calidad de los datos, operatividad del Observatorio y remisión de datos en diferentes formatos y revisiones.

4 Red de Estaciones de Repetición

El objetivo principal de las Estaciones de Repetición o Seculares es el de poder determinar la Variación Secular en el mayor número posible de puntos y durante un periodo de tiempo lo más grande posible.

La Variación Secular es la variación media anual de las componentes geomagnéticas. Esta variación depende del tiempo y del lugar, y su valor es necesario para mantener vigente un mapa geomagnético, es decir, para su conservación.

La densidad media de estaciones en la Península es de una estación por cada 12.500 km², mientras que en las Islas Baleares hay al menos una estación en cada isla. La distancia media entre estaciones, en la Península, es de aproximadamente unos 150 km, mejor que la recomendada por la IAGA (200 km), para poder detectar rasgos geomagnéticos con longitudes de onda mayores de 400 km y así poder estudiar la relación del núcleo de la Tierra con la variación secular verdadera.

A lo largo del tiempo, algunas estaciones han quedado fuera de servicio debido al ruido cultural (urbanizaciones, autopistas, vallas metálicas, etc.), y han sido sustituidas por otras, en las cercanías de las eliminadas.

En la actualidad el IGN mantiene una red de 42 Estaciones de repetición, 39 de ellas situadas en la Península y 3 en las Islas Baleares.



Mapa de la Red de Estaciones de Repetición

Las Estaciones de Repetición sirven para densificar los Observatorios geomagnéticos con menor coste, aunque menor precisión, utilizándose también para la realización de la cartografía geomagnética, tanto nacional como internacional.

A nivel europeo los datos son enviados al proyecto [MagNetE](#) (Red Europea de Estaciones Seculares Magnéticas), por ejemplo, para la elaboración del mapa europeo de declinaciones magnéticas del 2006 y a nivel mundial son enviados al [WDC](#) (World Data Center) para la realización de modelos del campo geomagnético globales como el del [IGRF](#) (International Geomagnetic Reference Field). Este modelo permite calcular el valor de las componentes del campo geomagnético en cualquier lugar de la Tierra. Dicho modelo es revisado cada 5 años por expertos de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía ([IAGA](#)).

En la página web del IGN se puede consultar más información sobre la Red de Estaciones de Repetición, incluyendo las reseñas de dichas estaciones.

5 Cartografía Geomagnética

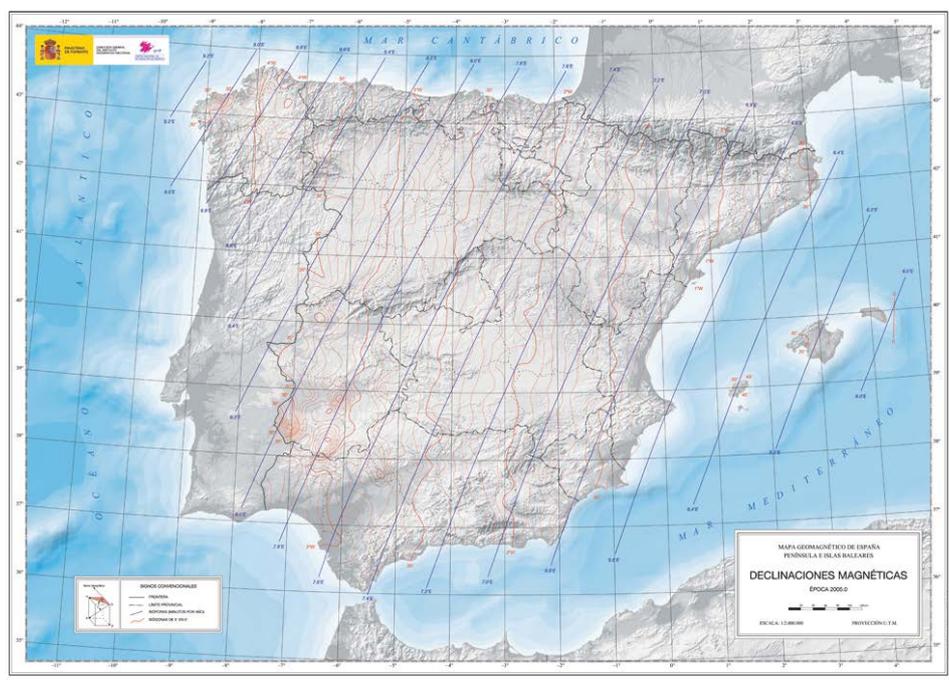
Los antecedentes de la cartografía geomagnética en España datan del siglo XIX.

La primera cartografía geomagnética de España de la que se tienen noticias se remonta a 1858, y fue realizada por el Dr. Lamont de la Universidad Luis-Maximiliano de Baviera. Años después, el oceanógrafo D. Rafael Pardo de Figueroa confeccionó un nuevo mapa de declinaciones referidas a las fechas de 1887 y 1893.

El IGN (por entonces Instituto Geográfico y Catastral) realiza por primera vez el Mapa Magnético de España de 1924 compuesto por tres hojas con las curvas de isógonas, isóclinas e isodinámicas horizontales, siendo el mapa de isógonas transportado posteriormente a la fecha de 1939,5 y más tarde a la Carta Nacional de Declinaciones Magnéticas de 1942,5.

En 1960 se publica conjuntamente por el Servicio de Geomagnetismo del Instituto Geográfico y Catastral de España y el Servicio Meteorológico Nacional de Portugal el Mapa Geomagnético de la Península Ibérica compuesto por las hojas de isógonas, isodinámicas horizontales, isodinámicas verticales, isodinámicas totales e isóclinas. El mapa de isógonas también fue transportado a la época 1970,0 para obtener el Mapa de Declinaciones Magnéticas de la Península Ibérica.

Siguiendo las recomendaciones de la [IAGA](#), el Servicio de Geomagnetismo del IGN publica desde 1975 el Mapa Geomagnético de España cada diez años, y el Mapa de Declinaciones Magnéticas cada cinco años.



Mapa de Declinaciones Magnéticas

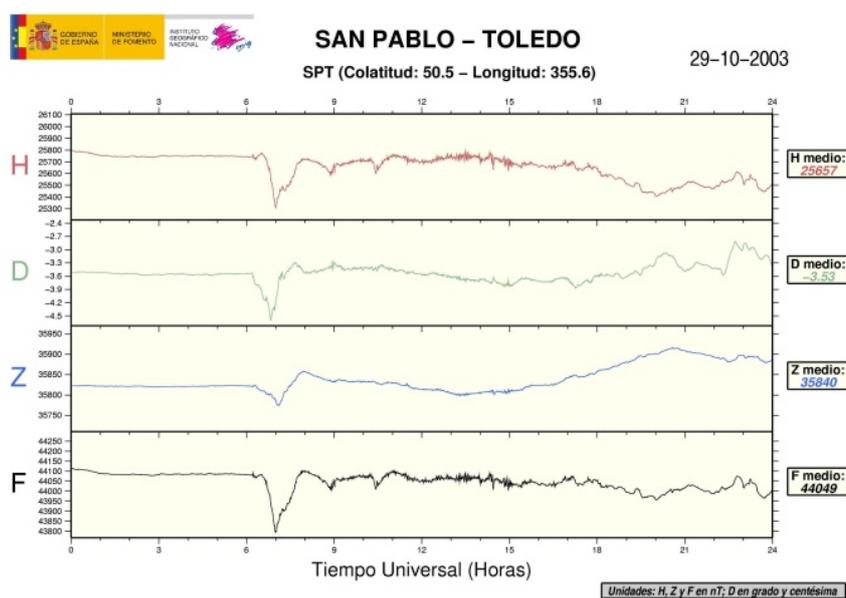
En 1987 se publicaron los primeros mapas aeromagnéticos de España Peninsular y en 1995 el del Archipiélago Canario. También se ha publicado el mapa aeromagnético del Golfo de Cádiz.

En la página web del IGN es posible consultar y descargar la cartografía magnética que se ha publicado hasta la fecha.

6 Las tormentas geomagnéticas

Las tormentas geomagnéticas son perturbaciones del campo magnético de la Tierra, que duran desde varias horas hasta incluso algunos días. Su origen es externo y se producen por un aumento brusco de las partículas emitidas en las erupciones solares que alcanzan la magnetosfera, produciendo alteraciones en el campo magnético terrestre.

Las tormentas geomagnéticas tienen un carácter global, comenzando simultáneamente en todos los puntos de la Tierra. No obstante, las amplitudes con que se observan las tormentas en distintos lugares son diferentes, siendo mayores cuanto más altas son las latitudes.



*Magnetograma de la tormenta geomagnética del 29-10-2003
(Tormenta de Halloween)*

La frecuencia con que se producen las tormentas geomagnéticas está relacionada con los periodos de la actividad solar, de unos 11 años de duración y que se conoce como “ciclo solar”. El número de [manchas solares](#) permite cuantificar la actividad solar en cada momento.

El índice K es un índice geomagnético de tipo cuasi-logarítmico que indica la perturbación del campo geomagnético a nivel local, tomando como referencia la curva de variación diaria de un día en calma del observatorio geomagnético en el que se mide, durante intervalos de tres horas. A nivel planetario se define el [índice Kp](#) que se obtiene por el cálculo de la media ponderada de los índices K observados en una red de observatorios geomagnéticos repartidos por el mundo.

La [agencia NOAA de Estados Unidos](#) ha definido una [escala](#) para cuantificar la intensidad y los efectos de las tormentas geomagnéticas. Consta de cinco posibles

valores (G1 a G5) relacionados con los valores del índice Kp alcanzado, e indica la frecuencia promedio con que aparecen en cada ciclo solar.

La Meteorología Espacial se ocupa del estudio de las condiciones en el conjunto Sol-Tierra como consecuencia de la actividad solar y de los riesgos derivados para las personas y los sistemas eléctricos y electrónicos, los satélites y las telecomunicaciones. Las Auroras son las manifestaciones más agradables de las tormentas geomagnéticas y se producen al interactuar las partículas solares con la atmósfera terrestre.

7 Volcanomagnetismo

Una de las técnicas utilizadas para detectar variaciones en el estado y la actividad de los sistemas volcánicos es la medida del campo magnético terrestre (campo geomagnético). Para ello se deben emplear magnetómetros permanentes de medida continua situados en y alrededor del sistema volcánico. Estas medidas deben contrastarse con los valores del campo geomagnético medidos en una estación más alejada del sistema, que sirve de referencia. En las áreas volcánicas, diversos fenómenos físicos pueden hacer variar el campo magnético a escala local: variaciones en el estado de esfuerzos de los materiales de la corteza, que pueden ser causadas tectónicamente o por la intrusión de nuevos cuerpos magmáticos en el sistema (efecto *piezomagnético*); emplazamiento y enfriamiento de cuerpos magmáticos, que adquieren imanaciones remanentes e inducidas que afectan al campo magnético local (efecto *termomagnético*); modificaciones del flujo térmico y del sistema hidrotermal, que hacen variar las anomalías eléctricas del sistema, afectando a los valores de campo magnético (efecto *electrocinético*); etc. Todos estos fenómenos pueden proporcionar información muy importante para determinar el estado del sistema y por tanto para la vigilancia volcánica.

En base tanto a estimaciones teóricas como a observaciones experimentales, en general se espera que los efectos *volcanomagnéticos* anteriores produzcan variaciones pequeñas en la intensidad del campo geomagnético local, de unos pocos nanoteslas (nT) o a lo sumo pocas decenas de nT. Estos valores son muy inferiores al valor medio del campo magnético terrestre en superficie, que es de aproximadamente 38000 nT en las Islas Canarias y 44000 nT en el centro de la Península Ibérica, y son también mucho menores que las variaciones debidas a fenómenos no volcánicos (ionosféricos y magnetosféricos), que pueden alcanzar hasta varios cientos de nT. El efecto volcanomagnético esperado es, por tanto, muy pequeño. Esto, junto con la pluralidad de fenómenos que potencialmente pueden afectar al campo magnético local, hace que la interpretación de las señales volcanomagnéticas conlleve un alto grado de dificultad e incertidumbre. Esta incertidumbre se reduce durante el tratamiento de los datos al comparar las medidas obtenidas en las estaciones situadas en el sistema volcánico bajo estudio con una estación de referencia alejada del mismo. Adicionalmente, la correcta interpretación de los datos volcanomagnéticos requiere comparar los resultados con los proporcionados por el resto de técnicas de vigilancia volcánica, especialmente los datos geoelectrónicos, sísmicos y de deformación del terreno (GPS, inclinómetros, etc.).

Como estación de referencia de alta calidad, en Canarias el IGN dispone del Observatorio Geomagnético de Güímar (en la vertiente oriental de Tenerife), operativo desde 1993 y que en su día sustituyó al Observatorio Geomagnético de Las Mesas (operativo entre 1961 y 1992). En el Observatorio se realiza un registro continuo del campo geomagnético en tiempo real, tanto de su intensidad total como de sus componentes direccionales. Estos datos son de acceso público y se envían regularmente tanto a la **Web de IGN** como a [INTERMAGNET](http://www.intermagnet.org). Además, la Red de Vigilancia Volcánica del IGN cuenta con varios magnetómetros Overhauser de medida continua de la intensidad total del campo geomagnético distribuidos en distintos

puntos de las diferentes islas del archipiélago canario. Estas estaciones registran, típicamente, un dato por minuto, lo que permite seguir las variaciones de la intensidad total del campo geomagnético en distintas localizaciones.



Estación magnetométrica en la Isla de El Hierro

8 Aeropuertos y navegación aérea

El Servicio de Geomagnetismo del IGN, a través del CNIG, realiza tareas de instalación y actualización de Rosas de los Vientos, en los aeropuertos que lo solicitan. En los últimos años se han hecho este tipo de instalaciones en el Helipuerto de la base aérea de Cuatro Vientos (Madrid), o en el helipuerto de Los llanos (Albacete).

Los trabajos realizados constan de las siguientes fases:

- Obtención del Norte geográfico y coordenadas UTM de la ubicación elegida, apoyándose en la red de estaciones permanentes GPS.
- Medición de la declinación magnética en la ubicación elegida y su variación anual.
- Replanteo y señalización de las direcciones geográficas y magnéticas de la Rosa de los Vientos, mediante placas y clavos amagnéticos sobre una plataforma circular de hormigón.
- Estudio de anomalías magnéticas de la zona.



Detalles de la instalación de una Rosa de los Vientos

Además, el Instituto Geográfico Nacional es fuente oficial de datos de geomagnetismo para [ENAIRE](http://www.enaire.es), para el cumplimiento de la actual normativa internacional aeronáutica. Según el Reglamento Comunitario EU 73/2010, ENAIRE debe publicar los datos de

declinación magnética y la variación anual existente para los aeródromos, radioayudas y puntos de notificación del espacio aéreo español.

De este modo, el Servicio de Geomagnetismo del IGN proporciona cada cinco años los datos actualizados de estos elementos según el formato de intercambio de datos acordado entre IGN y ENAIRE. Igualmente proporciona los datos puntuales para un nuevo aeródromo, radioayuda o punto de notificación que se publique por primera vez.