

Magnetometría

- Dipolo magnético
- Materiales magnéticos naturales
- Campo magnético terrestre
- Remanencia magnética
- Técnicas de adquisición, procesamiento e interpretación

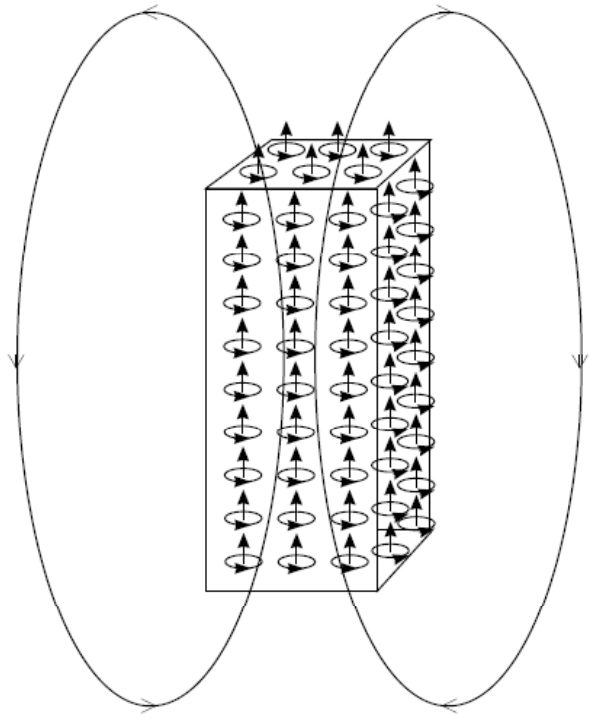
Unidades

Propiedad	cgs	SI	Factor de conversión	
B (inducción)	Gauss (G)	Tesla (T)	$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$	Propiedad que mide
H (campo)	oersted (Oe)	A/m	$1 \text{ A/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$	
K (suscept. vol.)	adimensional	adimensional	$1 \text{ (SI)} = 1/4\pi \text{ (cgs)}$	
M (momento)	emu = G cm³	A m²	$1 \text{ A m}^2 = 10^3 \text{ emu}$	
J (magnetización)	emu / cm³	A/m	$1 \text{ A/m} = 10^3 \text{ emu / cm}^3$	Propiedad que determina el contraste
P (intensidad de polo)	G cm²	A m	$1 \text{ Am} = 10 \text{ G cm}^2$	

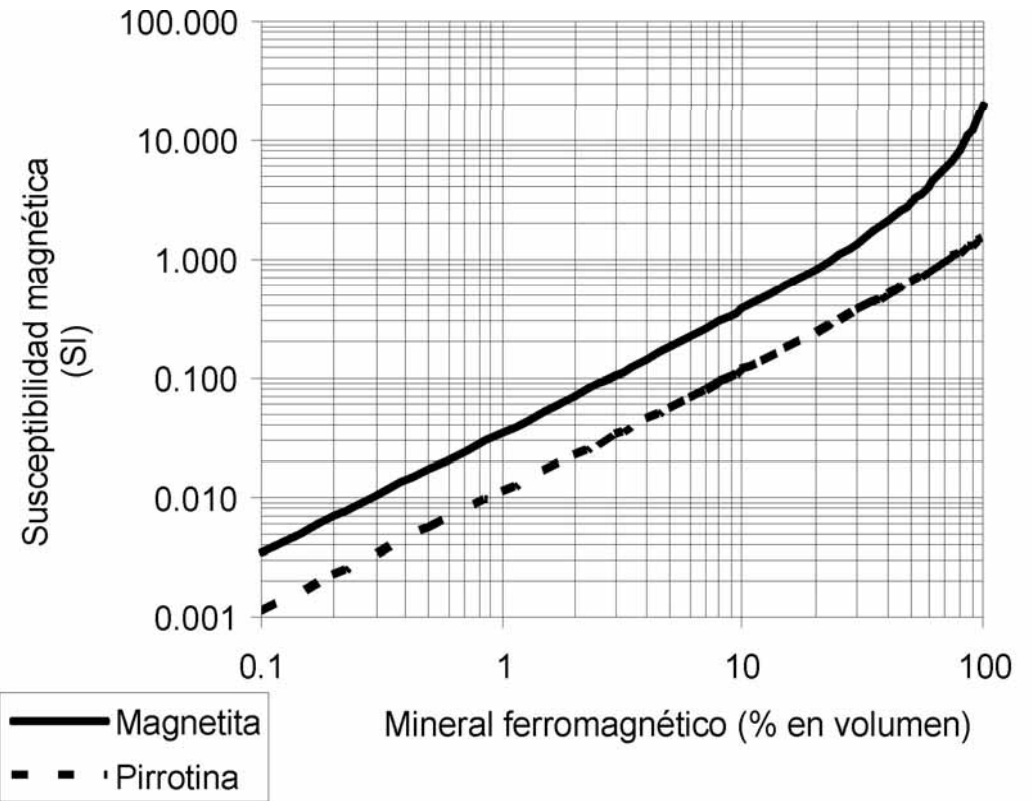
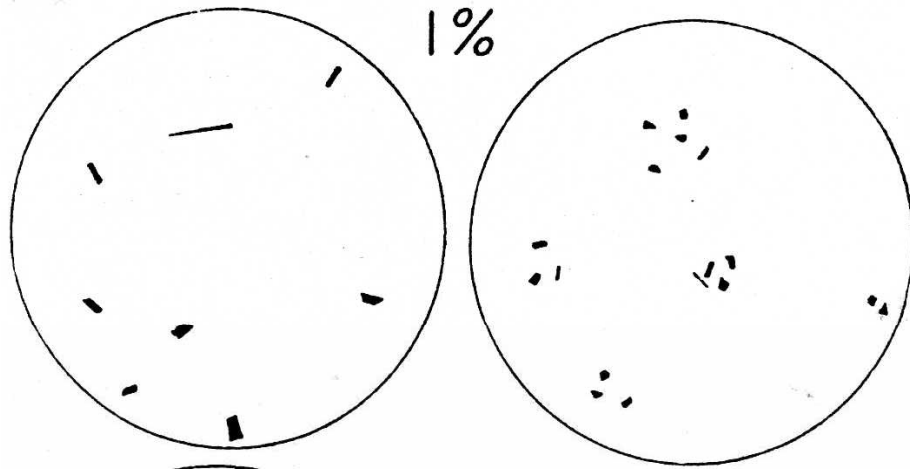
En relevamientos magnetométricos se usa la unidad de campo magnético:

gamma (γ) $1 \gamma = 10^{-5} \text{ Oe (cgs)}$ o nanotesla (nT) $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T (SI)}$
 $1 \gamma = 1 \text{ nT}$

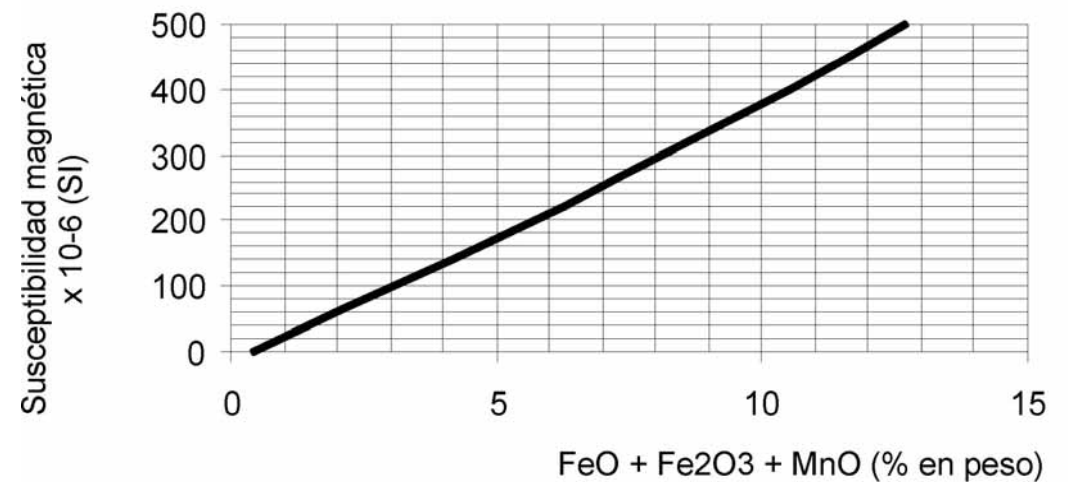
$$\Delta Z = 2\kappa \sin \delta \left[\begin{array}{l} (H_o \sin \alpha \sin \delta + Z_o \cos \delta) \log_e r_2 r_3 / r_1 r_4 \\ - (H_o \sin \alpha \cos \delta - Z_o \sin \delta)(\phi_1 - \phi_2 - \phi_3 + \phi_4) \end{array} \right]$$



(b)

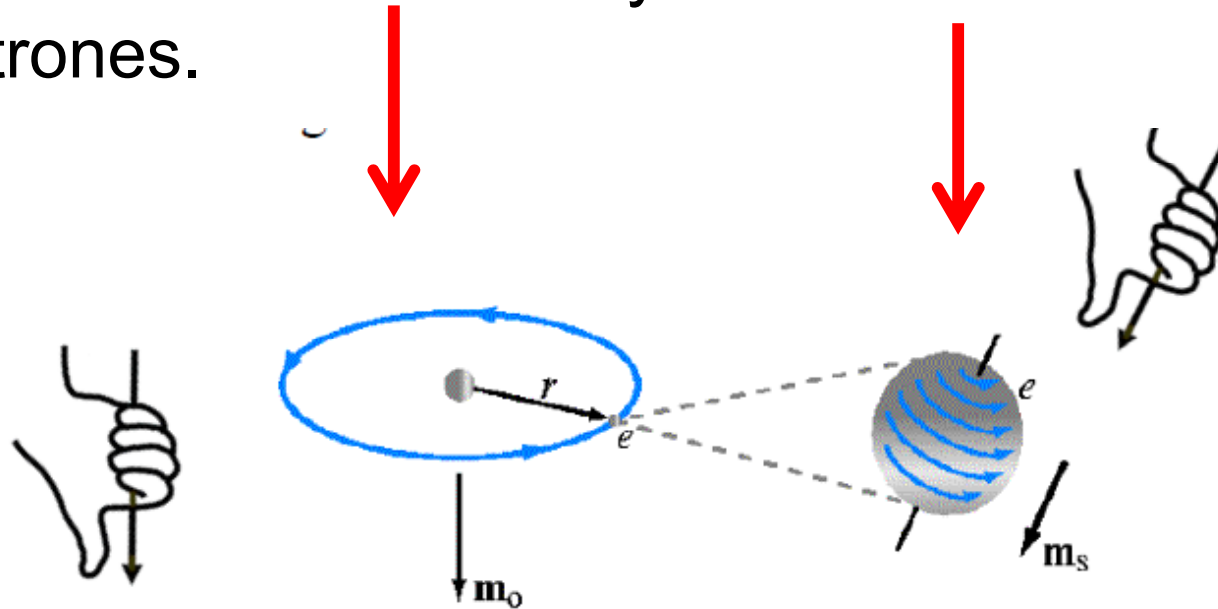


En ausencia de minerales ferromagnéticos



Relaciones teóricas aproximadas de acuerdo a Rochette et al. (1992) y Clark (1999). El gráfico superior asume un aumento gradual de la densidad de la roca con el aumento del contenido de Fe

Los átomos tienen momentos magnéticos atómicos debido al **movimiento orbital** y al **movimiento de espín** de sus electrones.



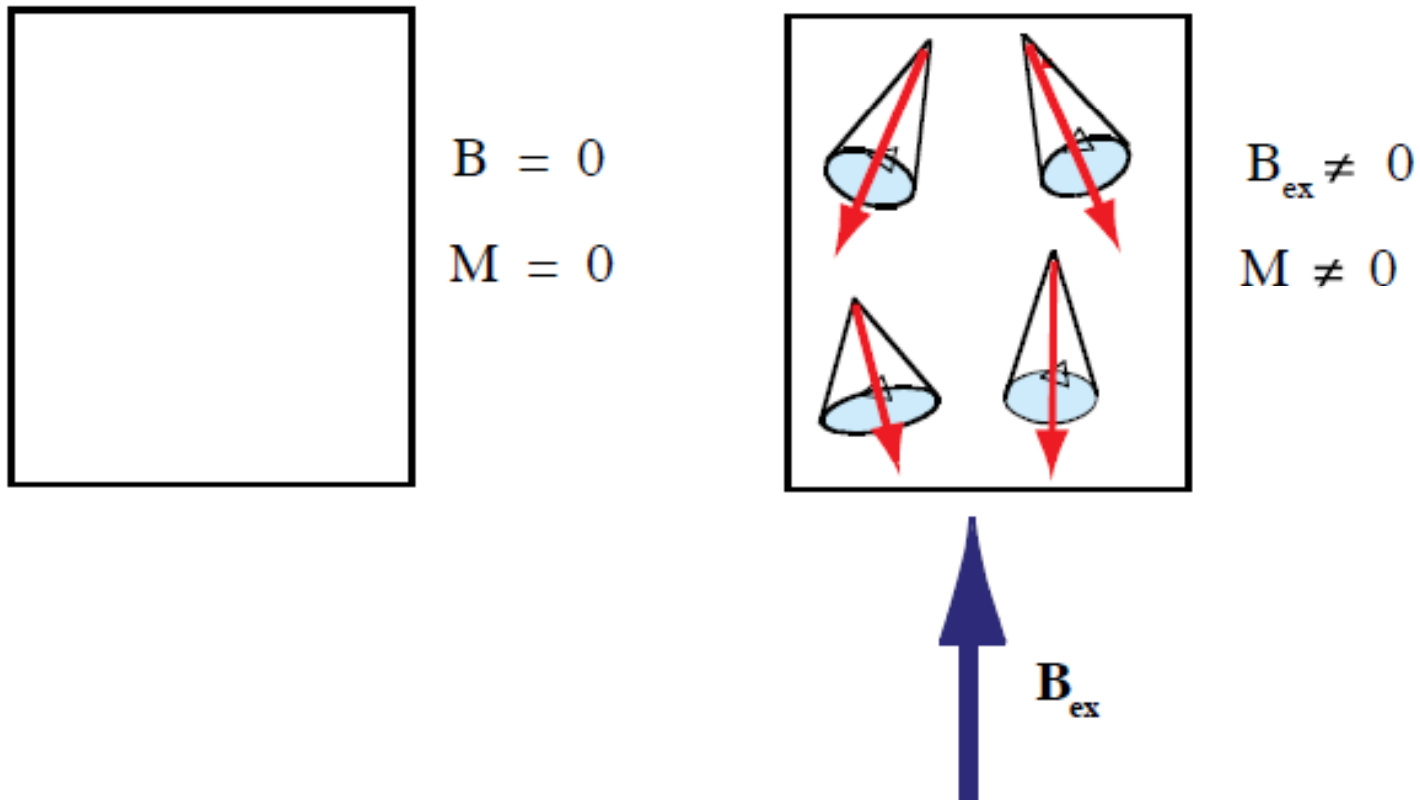
Los momentos están cuantizados. La unidad menor de momento magnético es el *magnetón de Bohr*.

$$M_B = 9,27 \times 10^{-21} \text{ G cm}^3 \quad \text{o} \quad 9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$$

Diamagnetismo

Se debe al momento orbital de los electrones. Todas las sustancias experimentan diamagnetismo en presencia de un campo magnético.

Las sustancias que no tienen momentos magnéticos atómicos, muestran sólo diamagnetismo.



$$\kappa = -(NZ\mu_0 e^2 \langle r^2 \rangle) / 6m_e$$

N: número de átomos por unidad de volumen; Z: número de electrones del átomo; $\langle r^2 \rangle$ radio medio de la órbita electrónica

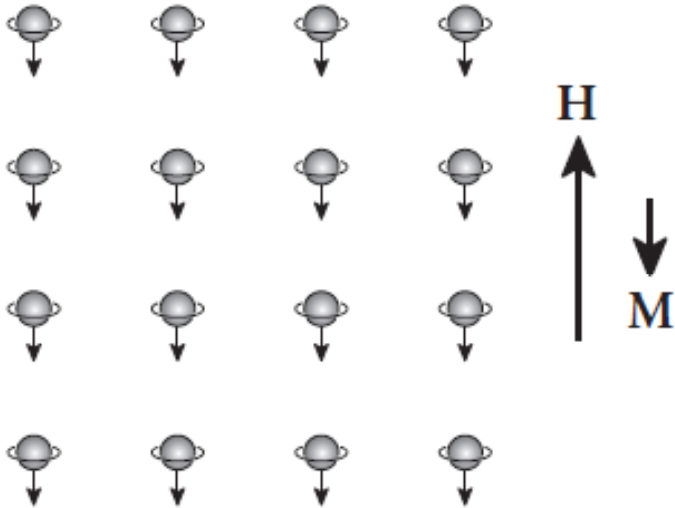
La contribución diamagnética a la susceptibilidad de una roca depende principalmente de la proporción de minerales diamagnéticos en la roca, siendo aproximadamente constante por unidad de volumen para todos los minerales.

-14 x 10⁻⁶ SI

El porcentaje en volumen de minerales diamagnéticos en la roca permitirá aproximar la contribución diamagnética en la κ de una roca
Sin embargo, esta contribución es fácilmente enmascarada en presencia de otros efectos más fuertes.

Diamagnetismo

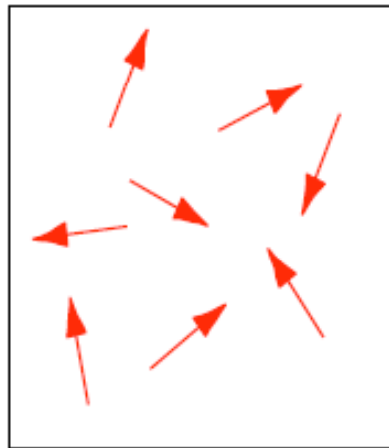
diamagnetism



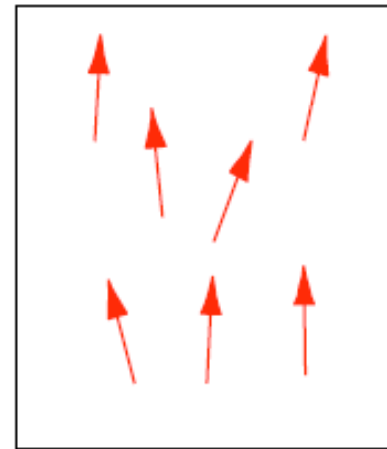
- Producido por la precesión electrónica en sus orbitas ante la presencia de un campo inductor
- κ negativa y muy pequeña: $\kappa < 10^{-5}$ SI
- κ constante
- κ invariante con T
- Minerales diamagnéticos:
Cuarzo, Feldespatos, olivinas magnesianas, calcita, halita, etc.

Paramagnetismo

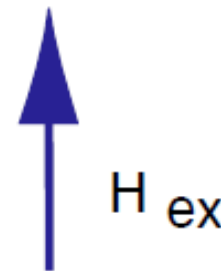
Es propio de materiales que contienen átomos que tienen un momento magnético, aunque con escasa interacción.



$$H = 0$$
$$M = 0$$



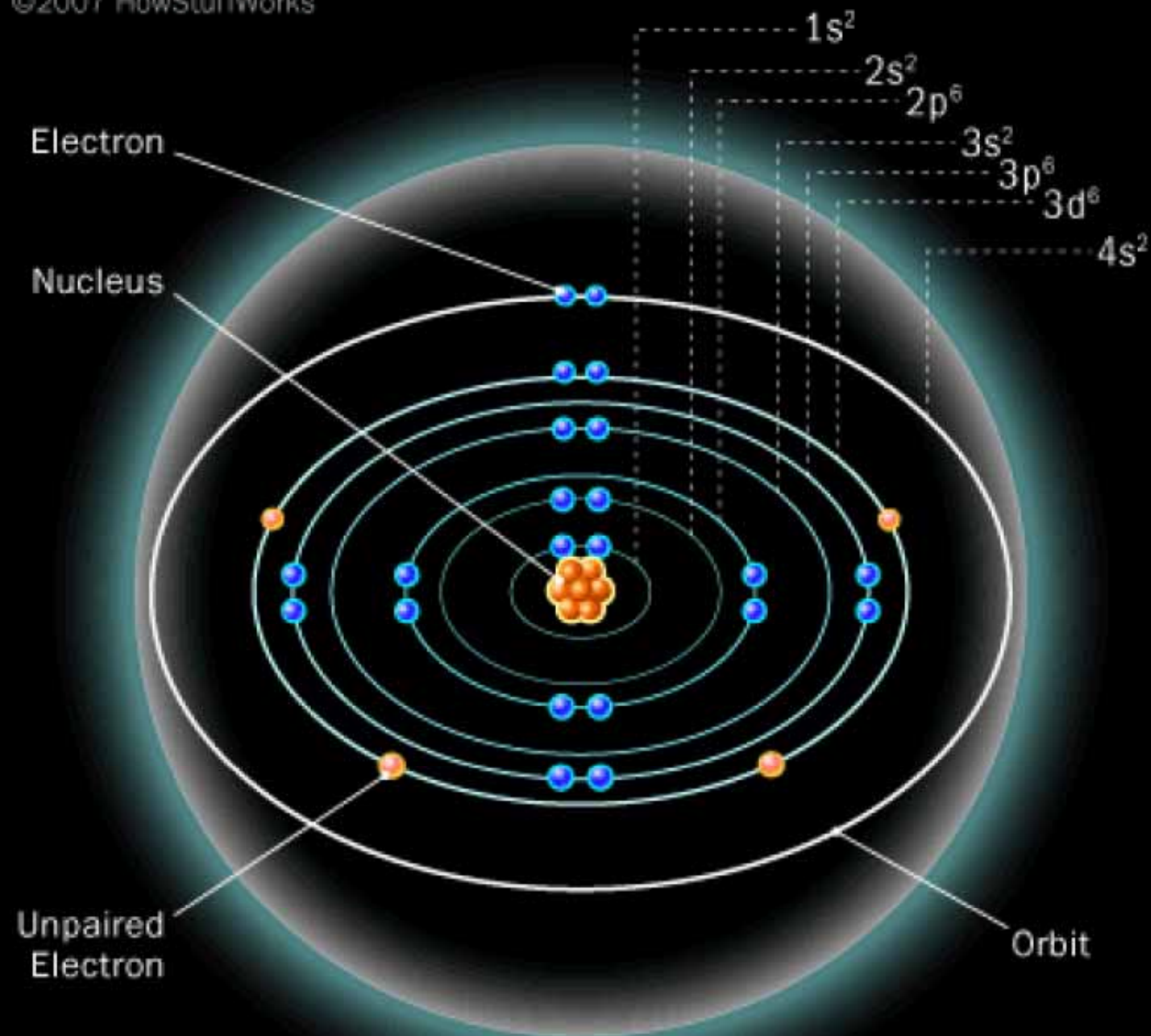
$$H_{\text{ex}} \neq 0$$
$$M \neq 0$$



H_{ex}

Inside an Atom Electron Shells

©2007 HowStuffWorks



Basic Arrangement of Electrons in Iron (Fe)

Element	n=0	n=1	n=2	n=3
			3s 3p 3d	4s
Na			↑	
Mg			↑ ↓	
Al			↑	
Si			↑	
P			↑ ↑	
S			↑ ↓	
Cl			↑ ↓	
Ar			↑ ↓	
K	1s ²	2s ² 2p ⁶		
Ca			↑	↑
Sc			↑	↑ ↓
Ti			↑	↑ ↓
V			↑	↑ ↓
Cr			↑	↑ ↓
Mn			↑	↑ ↓
Fe			↑ ↓	↑ ↓
Co			↑ ↓	↑ ↓
Ni			↑ ↓	↑ ↓
Cu			↑ ↓	↑ ↓
Zn			↑ ↓	↑ ↓

Energía térmica

Provoca agitación térmica en la estructura cristalina.

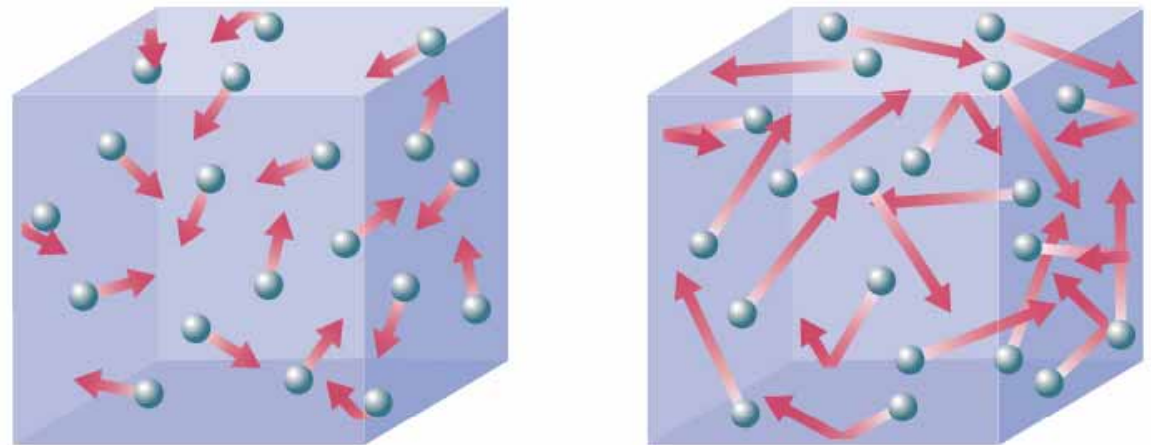
Agitación térmica: Movimiento aleatorio de átomos y moléculas en cualquier objeto que está a temperaturas por encima de cero absoluto

Debido a la energía térmica, las direcciones de los momentos magnéticos oscilan rápida y aleatoriamente

$$E = k T$$

Donde T = temperatura en grados Kelvin

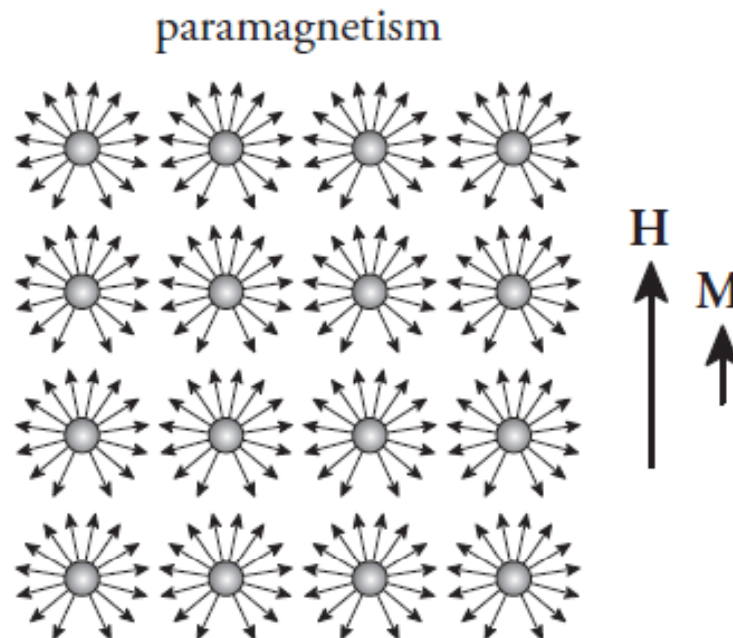
k = constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

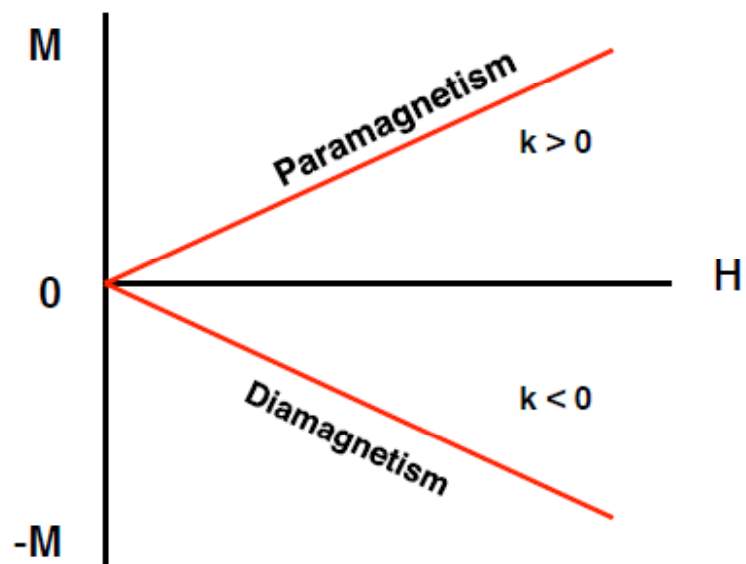


Longer arrows mean higher average speed.

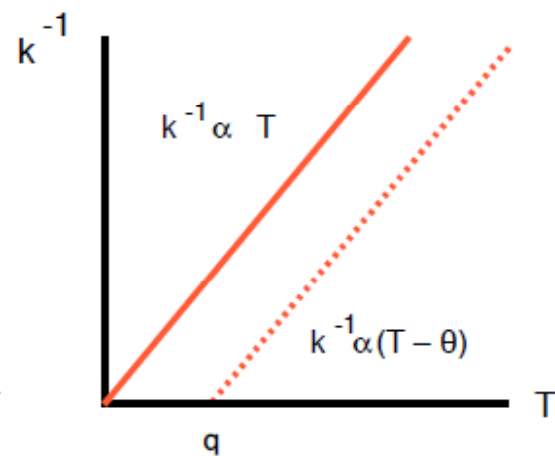
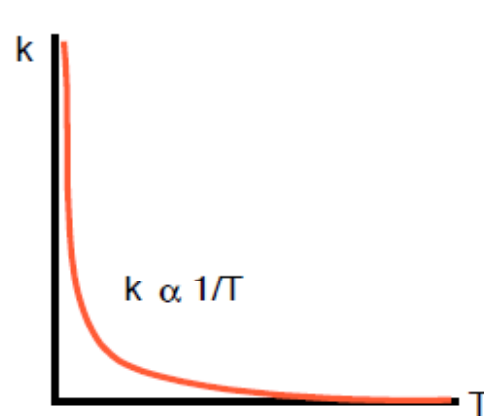
Algunos principios del Paramagnetismo

- La capacidad de alineación de los momentos magnéticos es en general muy baja: competencia con energía térmica:
- $E = -M H \cos \theta$
- **M**, momento magnético, **H**, campo magnético, θ , ángulo entre **H** y **M**
- $E_t = k T$ **k** : cte. Boltzmann, **T** : temp. Absoluta



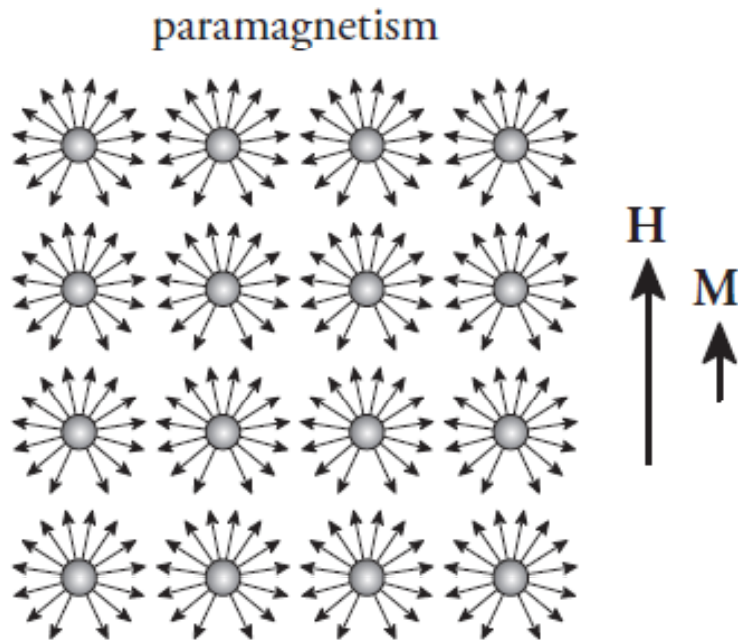


$$J = \kappa H$$



Paramagnetismo

- Producido en materiales con elementos con orbitales electrónicos incompletos
- Momento magnético resultante de spines no apareados



En presencia de un campo inductor:
momento magnético tiende a alinearse
con el campo: $\kappa > 0$

κ variable en diferentes materiales

κ constante pero dependiente de la
Temperatura

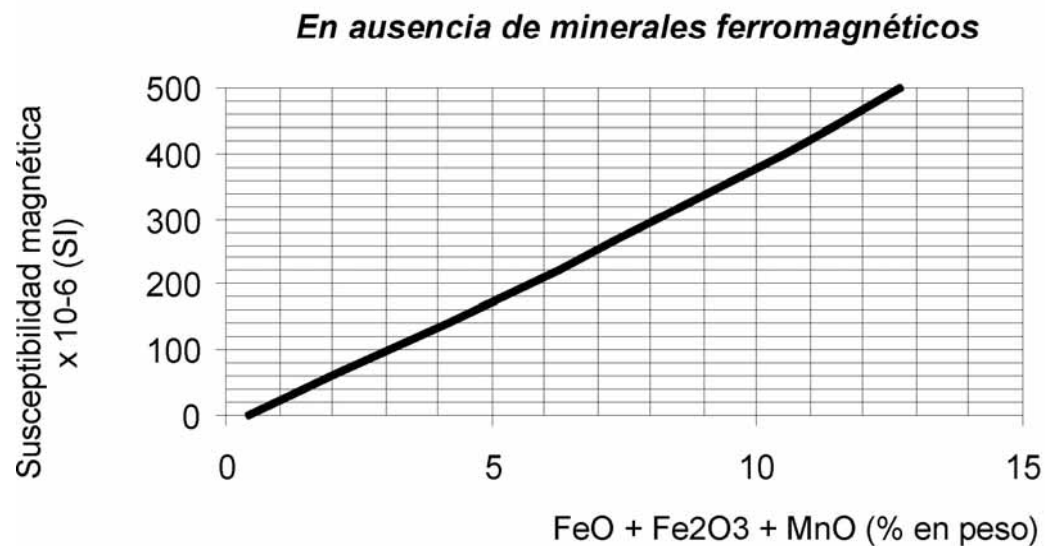
Minerales Paramagnéticos:

Olivinas con Fe (Fayalita), piroxenos,
anfíboles, biotita, ilmenita, varios
sulfuros, etc.

Susceptibilidad paramagnética de las rocas

$$K_{p\text{-theor}} = -14.6 + d \times [25.2 \times \text{Fe}^{2+} + 33.4 \times \text{Fe}^{3+} + 33.8 \times \text{Mn}^{2+}] \text{ in } 10^{-6}[\text{SI}]$$

depende del contenido de iones Fe y Mn



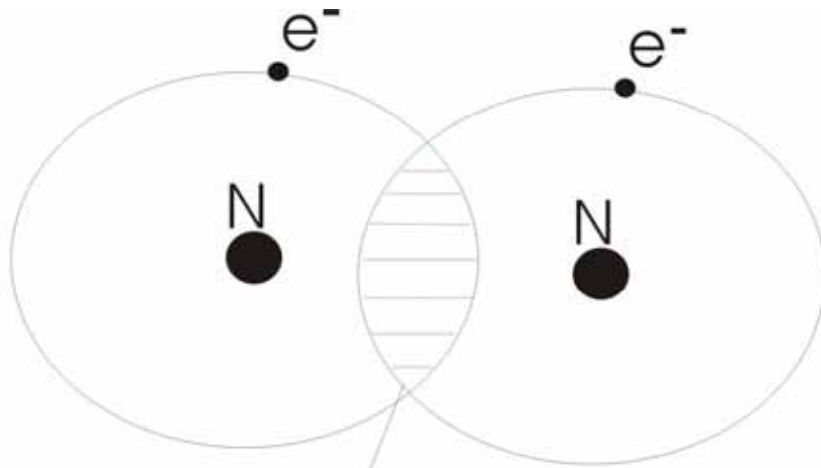
Relaciones teóricas aproximadas de acuerdo a Rochette et al. (1992) y Clark (1999).

d es la densidad
de la roca;
elementos en
porcentaje en
peso

Rochette et al. 1992

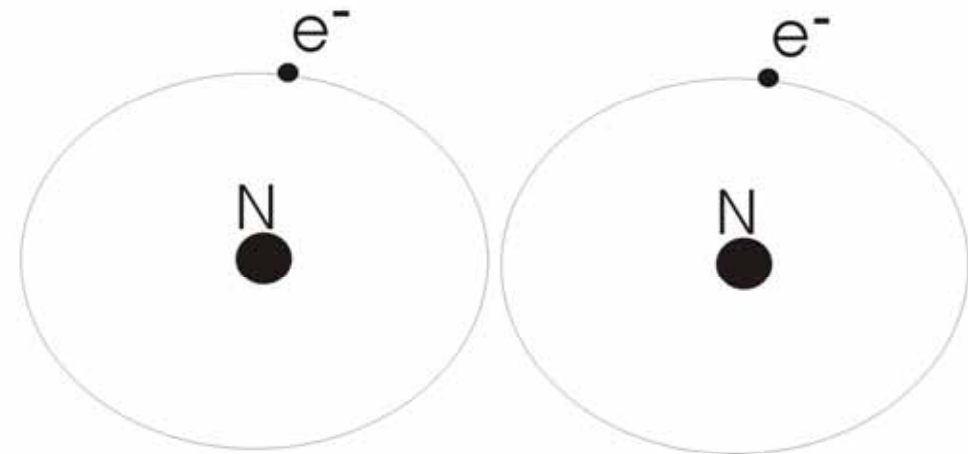
Ferromagnetismo

propiedad de cristales y no de átomos



Zona de superposición de órbitas
Principio de Pauli: acoplamiento entre
propiedades del spin de los electrones
INTERACCIÓN DE PERMUTA

MAGNETIZACIÓN ESPONTÁNEA



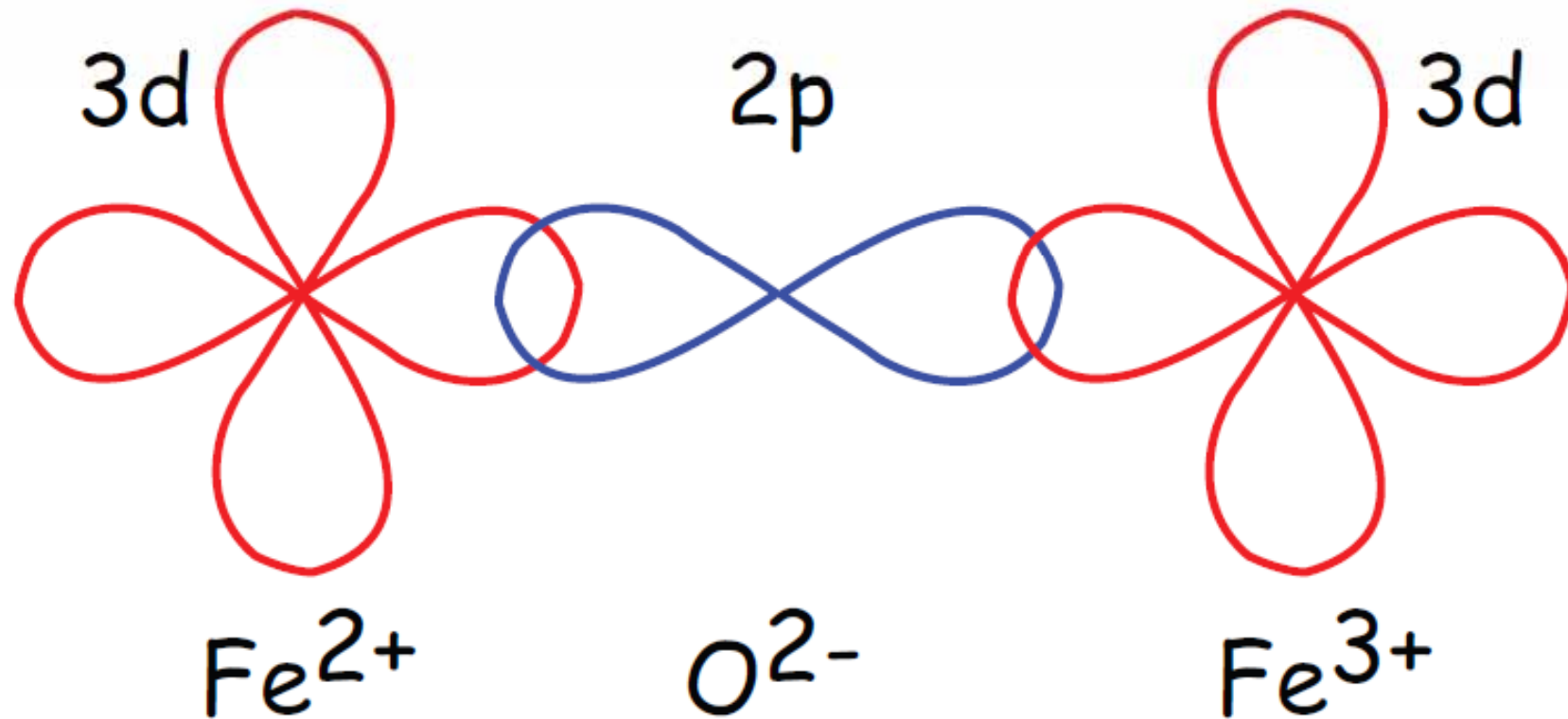
NO HAY INTERACCIÓN DE PERMUTA
PARAMAGNETISMO

El aumento de la distancia interatómica puede producirse
por energía térmica:

Temperatura de Curie: sustancia pasa de ferromagnética a
paramagnética

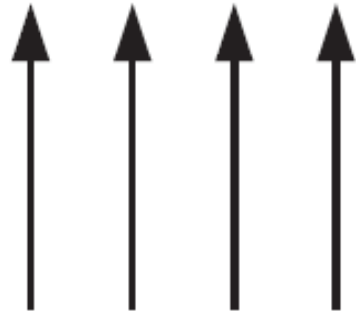
Element	n=0	n=1	n=2	n=3
			3s 3p 3d	4s
Na			↑	
Mg			↑ ↓	
Al			↑	
Si			↑	
P			↑ ↑	
S			↑ ↓	
Cl			↑ ↓	
Ar			↑ ↓	
K	1s ²	2s ² 2p ⁶		
Ca				↑
Sc				↑ ↓
Ti				↑ ↓
V				↑ ↓
Cr				↑ ↓
Mn				↑ ↓
Fe				↑ ↓
Co				↑ ↓
Ni				↑ ↓
Cu				↑ ↓
Zn				↑ ↓

Superintercambio

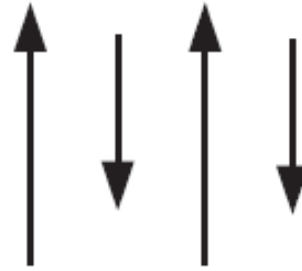


Por el principio de exclusión de Pauli, los electrones compartidos no pueden tener el mismo espín. Se produce un acoplamiento antiparalelo.

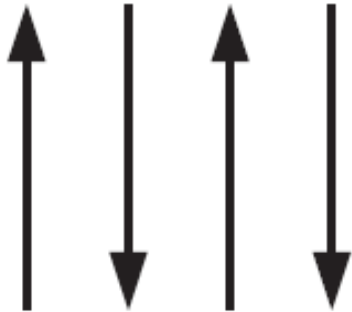
Tipos de alineamiento de espines



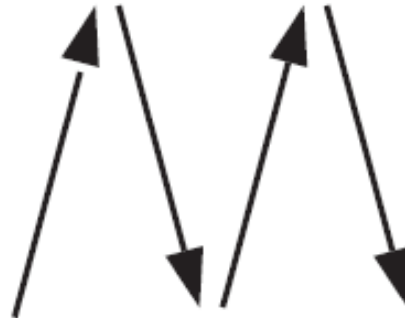
Ferromagnético



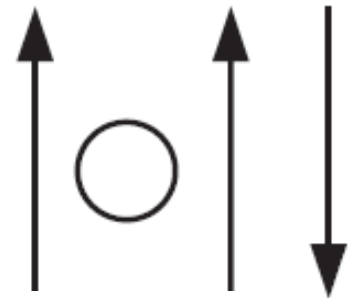
Ferrimagnético



Antiferromagnético

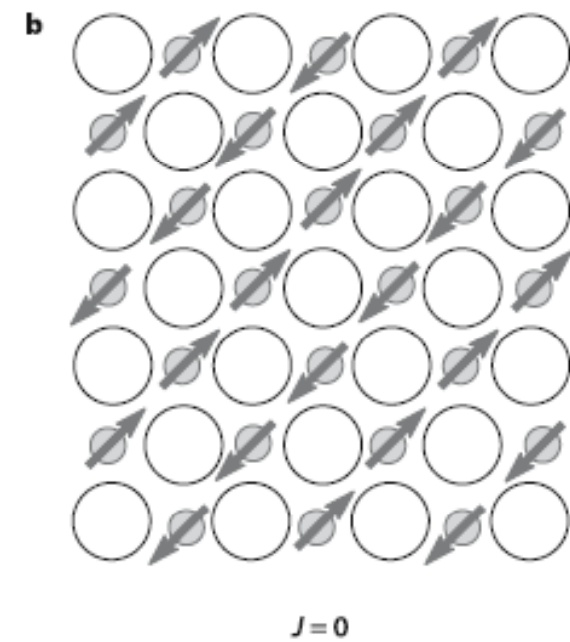
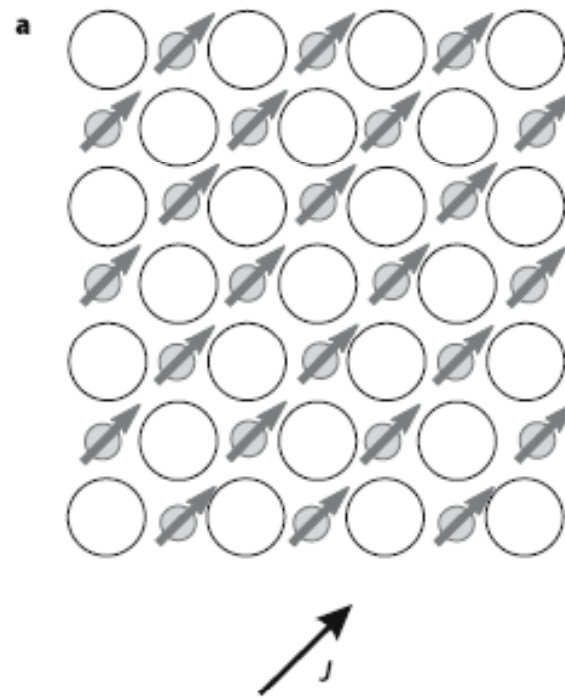


Antiferromagnético
canteado

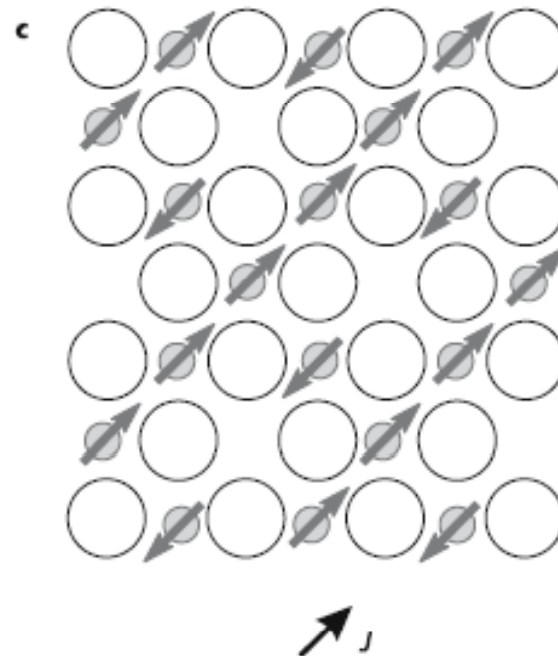


Por defectos

Estructuras cristalinas
que causan
ferromagnetismo
(i.e. acoplamiento de
los momentos
magnéticos atómicos)



c) magnetita,
intensidad de
magnetización fuerte



d) hematita, intensidad
de magnetización débil

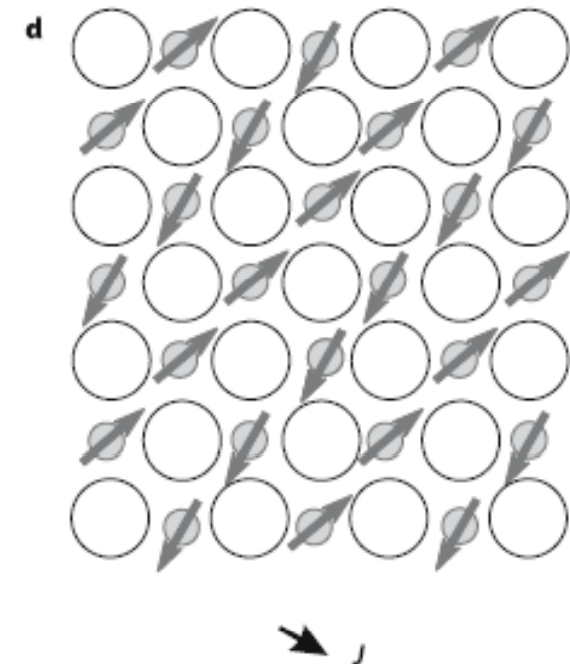
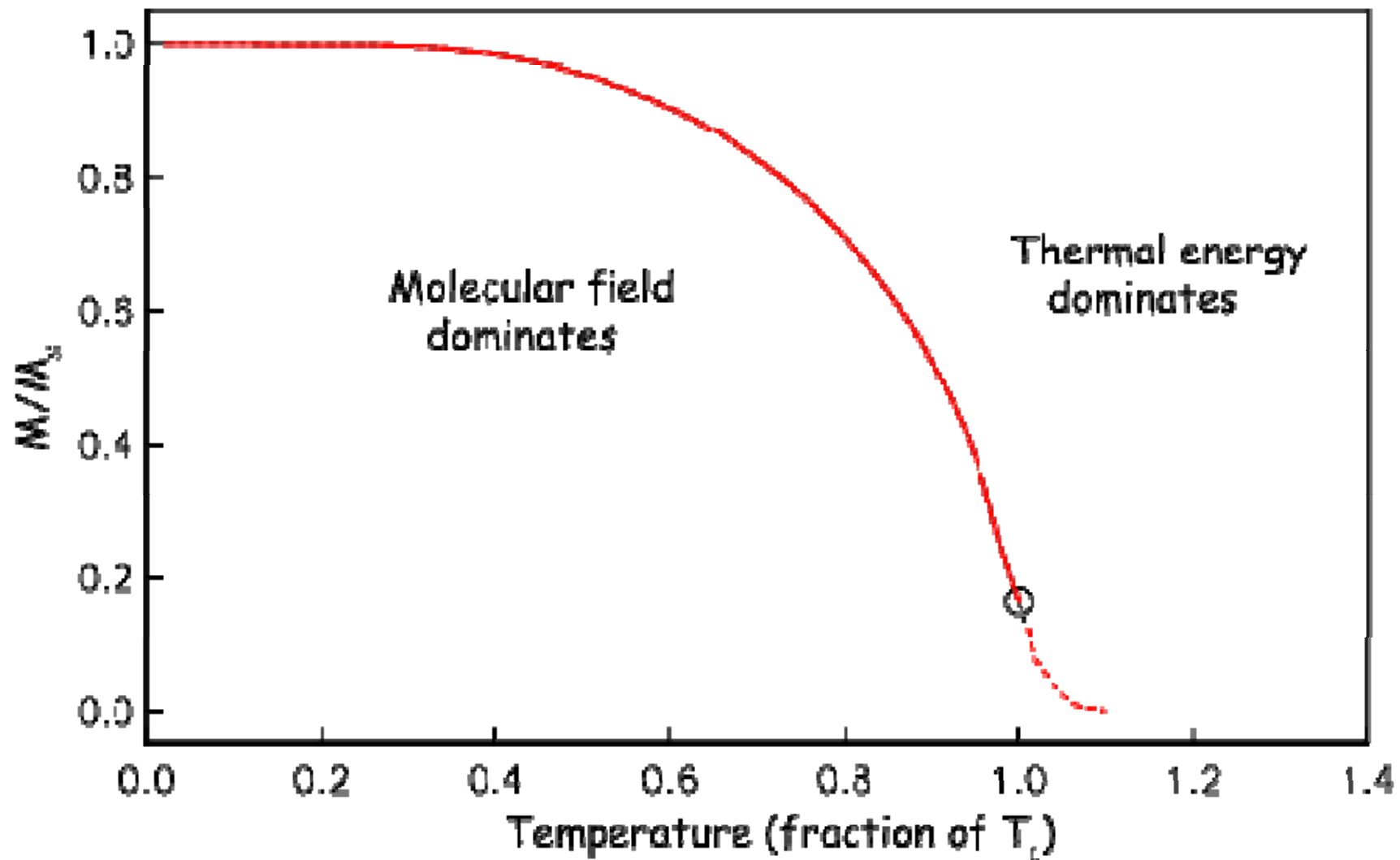
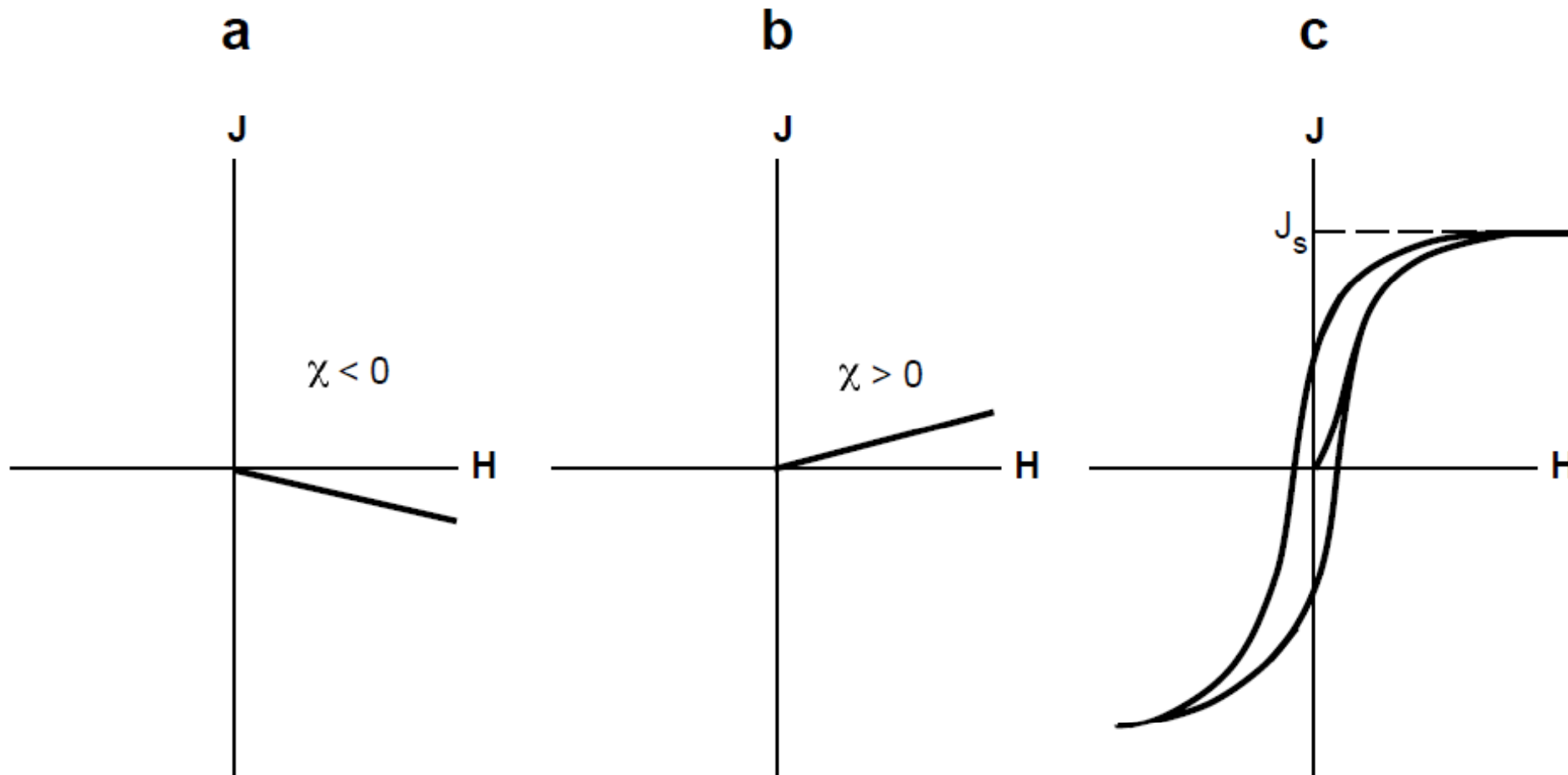


Fig. 2.6. Schematic picture of spin moment alignment in substances; **a** ferromagnetic s.s.; **b** antiferromagnetic; **c** ferrimagnetic; **d** canted antiferromagnetic (modified after O'Reilly 1984)



El aumento de la temperatura disminuye la posibilidad de interacción entre átomos vecinos y por lo tanto disminuye la magnetización espontánea.

El punto crítico en que la sustancia deja de ser ferromagnética se denomina ***temperatura de Curie***



Diamagnetismo

Paramagnetismo

Ferromagnetismo

$$\kappa = J/H$$

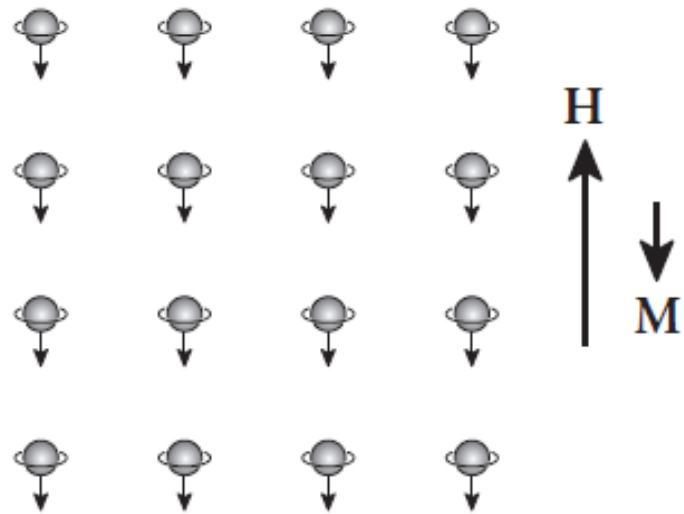
$$J = \kappa H$$

Histéresis

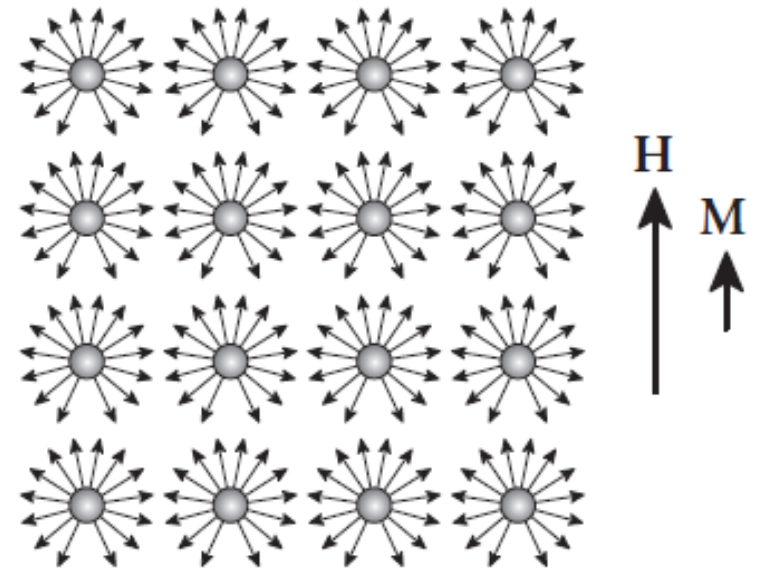
Ferromagnetismo

- Variante particular del Paramagnetismo.
- Se produce en elementos de la serie del Fe (1a serie de transición)
- Momento magnético producido por el spin de los electrones no apareados en el orbital 3d
- Determinado por distancia interatómica entre cationes (ej. Fe)
- Magnetización acoplada entre electrones de átomos vecinos debido a Principio de Exclusión de Pauli (4 números cuánticos que definen al electrón no pueden repetirse)
- Electrones comparten órbitas de átomos vecinos: se condicionan mutuamente ==> acoplamiento magnético
- **Magnetización Espontánea**

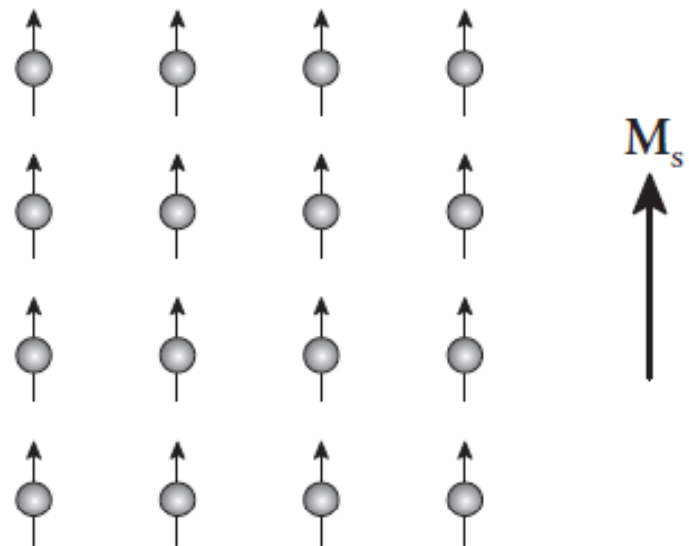
(a) diamagnetism



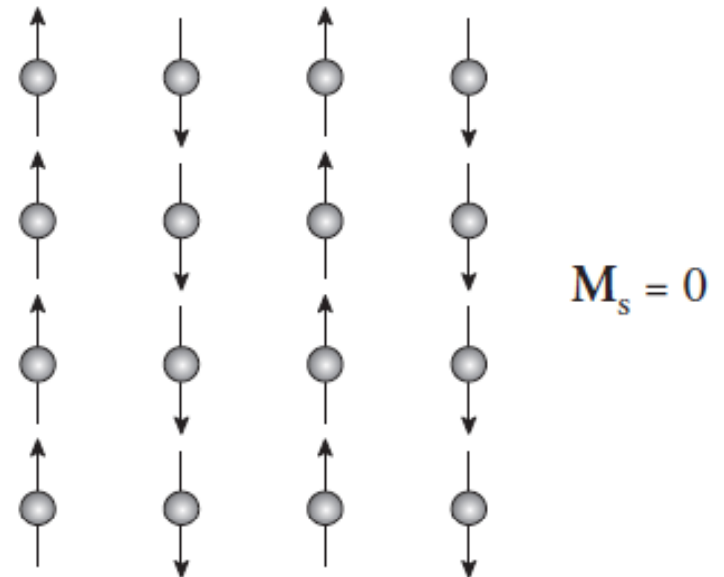
(b) paramagnetism



(c) ferromagnetism

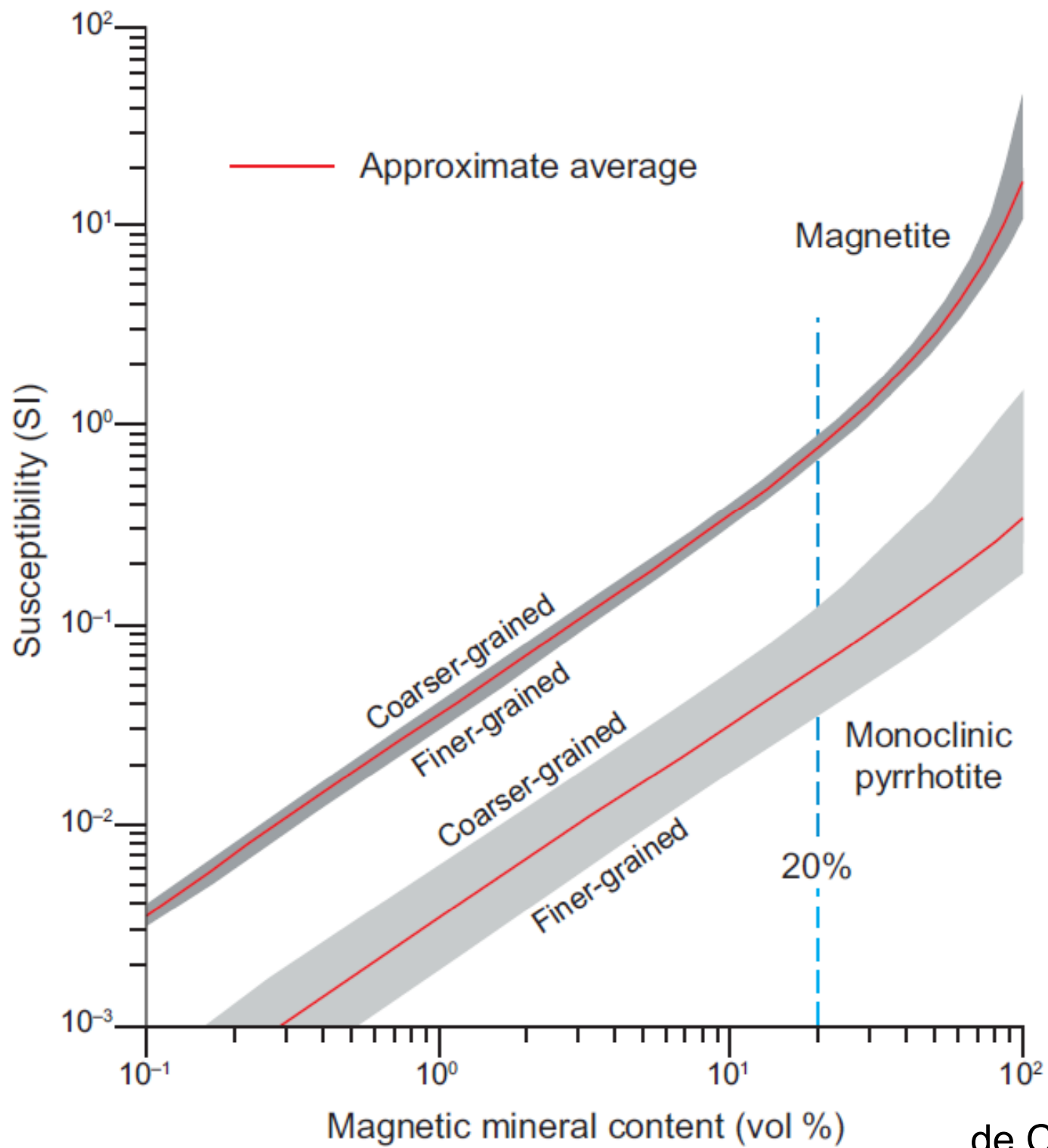


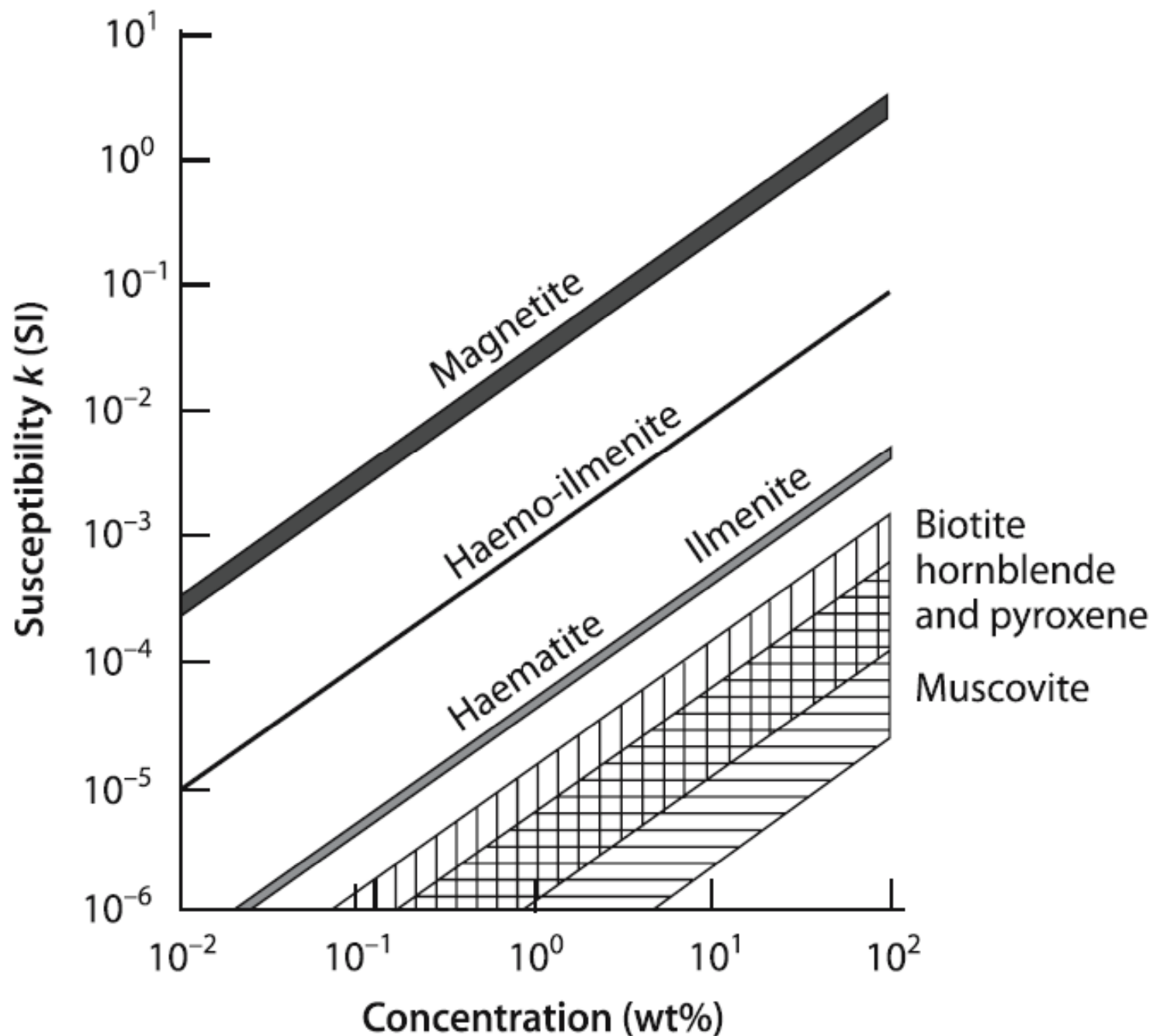
(d) antiferromagnetism



Minerales ferromagnéticos (s.l.)

Oxides		Sulfides	oxyhydroxides
Fe/Ti-oxide	Fe/Mn Oxides	Fe-sulfides	Fe-oxyhydroxides
(titano)-magnetite (titano)-maghemite (titano)-hematite	Jacobsite, Magnesioferrite	Pyrrhotite Greigite Troilite	Goethite Lepidocrocite Feroxyhyte
abundant in all types of recorders	sediments	sediments volcanic	soils sediments baked clay



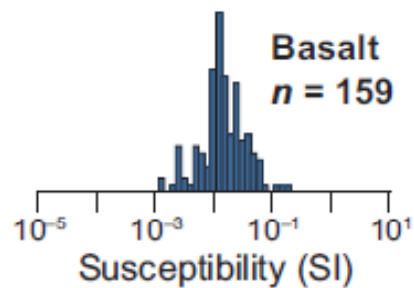
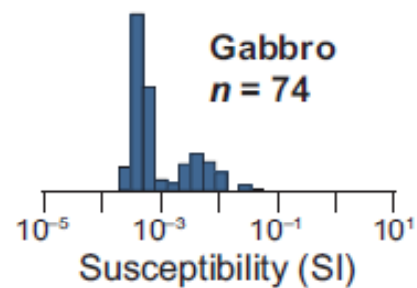
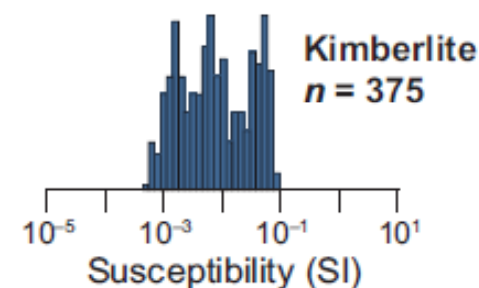
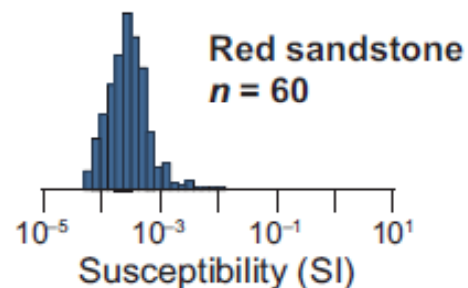
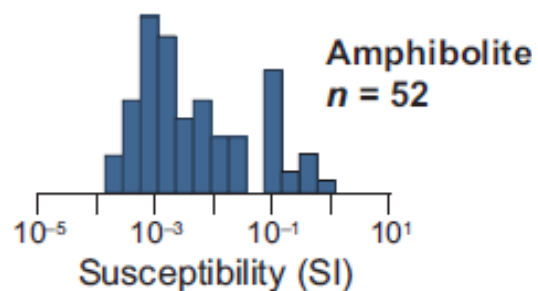
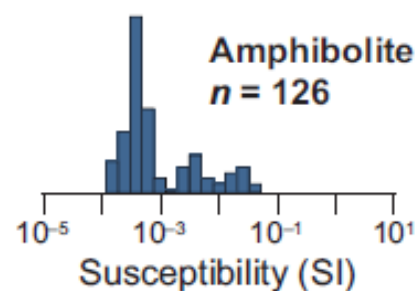
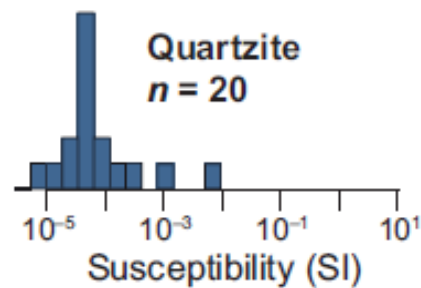
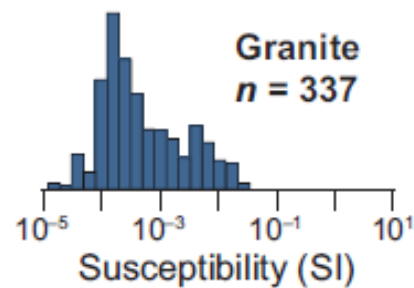
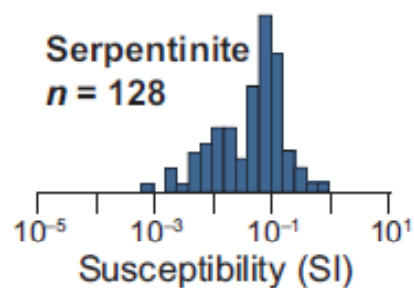
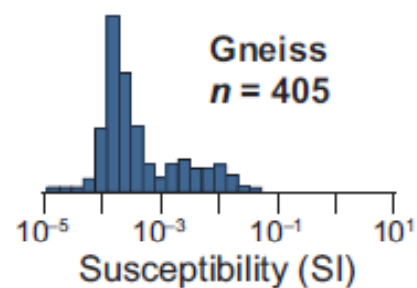
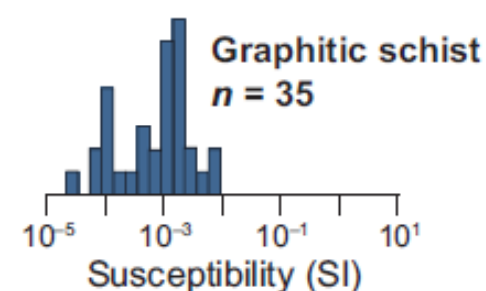
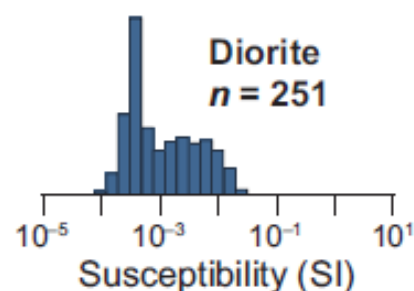
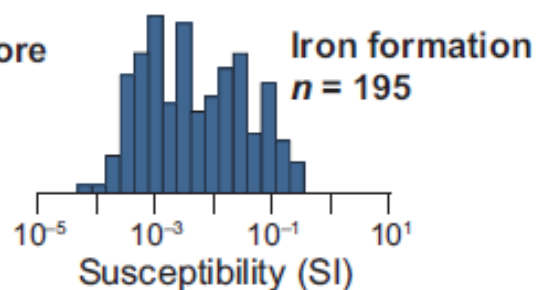
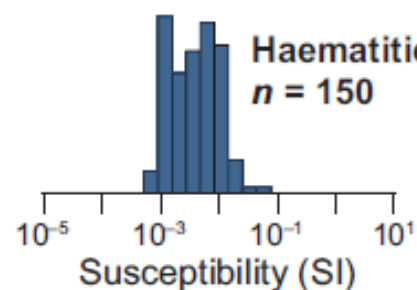


Las rocas son conjuntos de minerales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos.

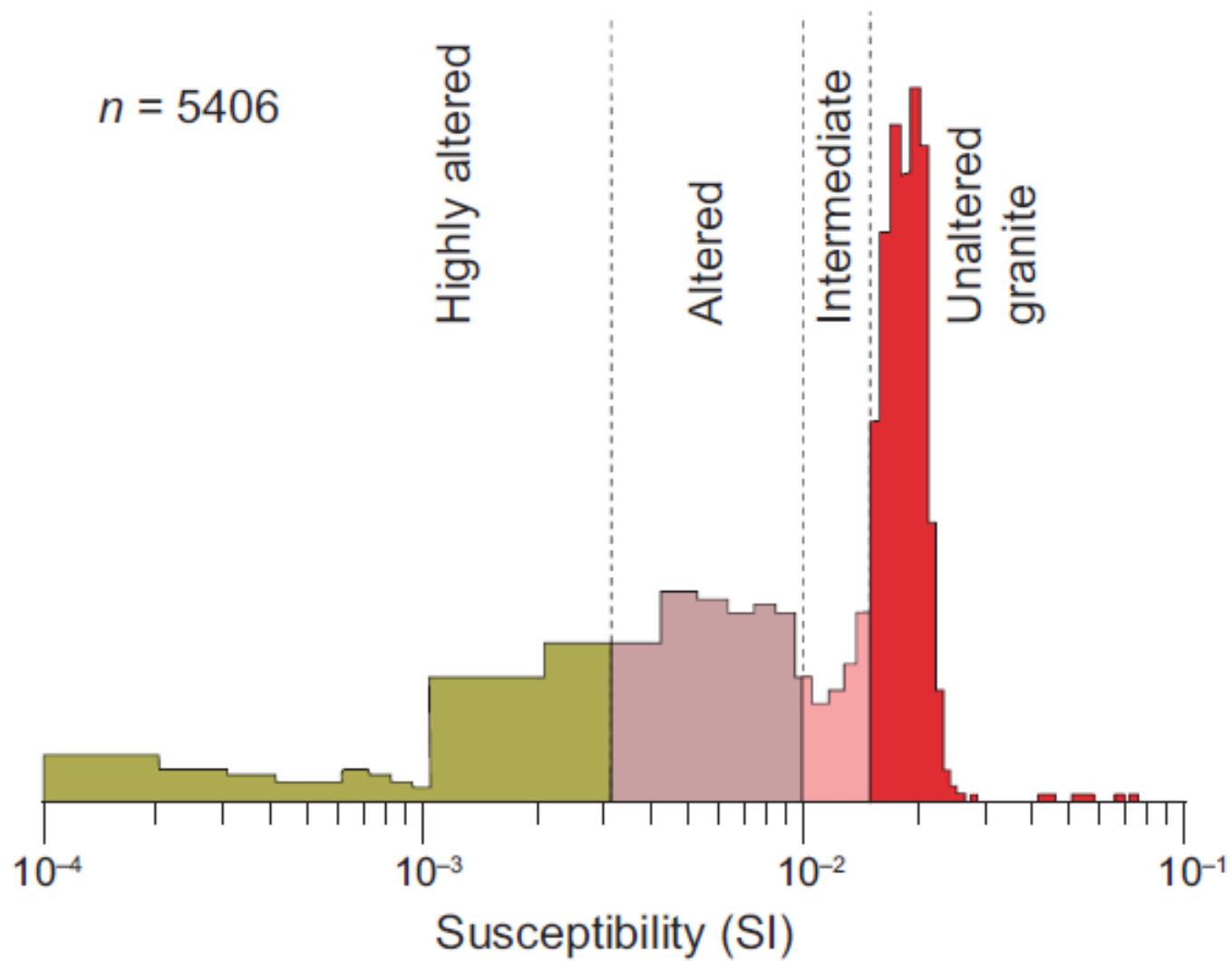
La concentración de minerales ferromagnéticos generalmente es muy pequeña ($< 1\%$).

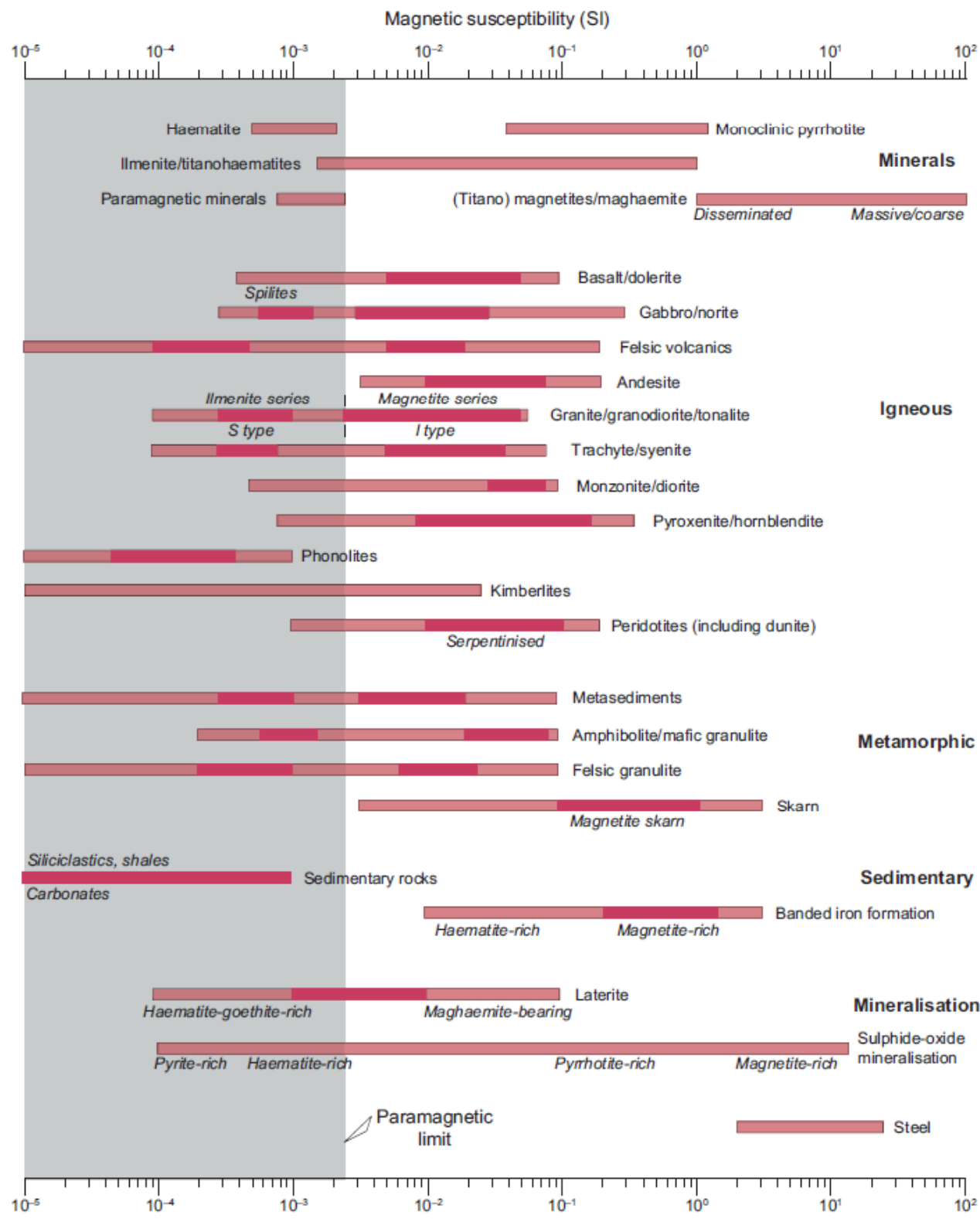
La susceptibilidad magnética de la roca estará determinada por la de sus minerales constituyentes, y sus proporciones relativas:

- En ausencia de minerales paramagnéticos y ferromagnéticos, κ será la de los minerales diamagnéticos (aprox. -14×10^{-6})
- La presencia de 5-10% en peso de Fe (en silicatos y otros minerales no ferromagnéticos) aporta una susceptibilidad que es más de un orden mayor que la de los minerales diamagnéticos
- A su vez la presencia de 0,1 % en volumen de magnetita, aporta una susceptibilidad que es más de un orden mayor que la de los paramagnéticos



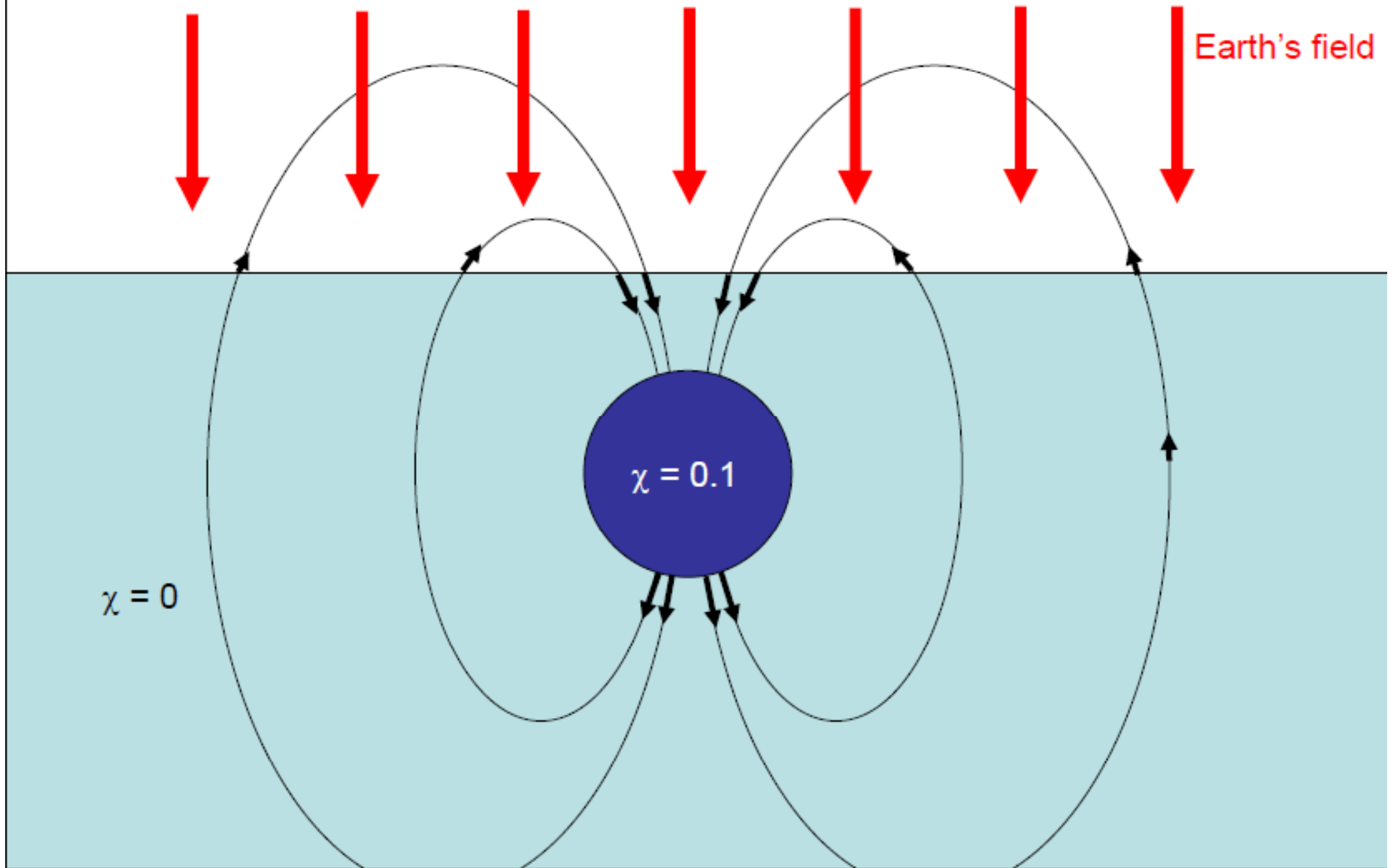
$n = 5406$





Magnetometría

- Dipolo magnético
- Materiales magnéticos naturales
- Campo magnético terrestre
- Remanencia magnética
- Técnicas de adquisición, procesamiento e interpretación

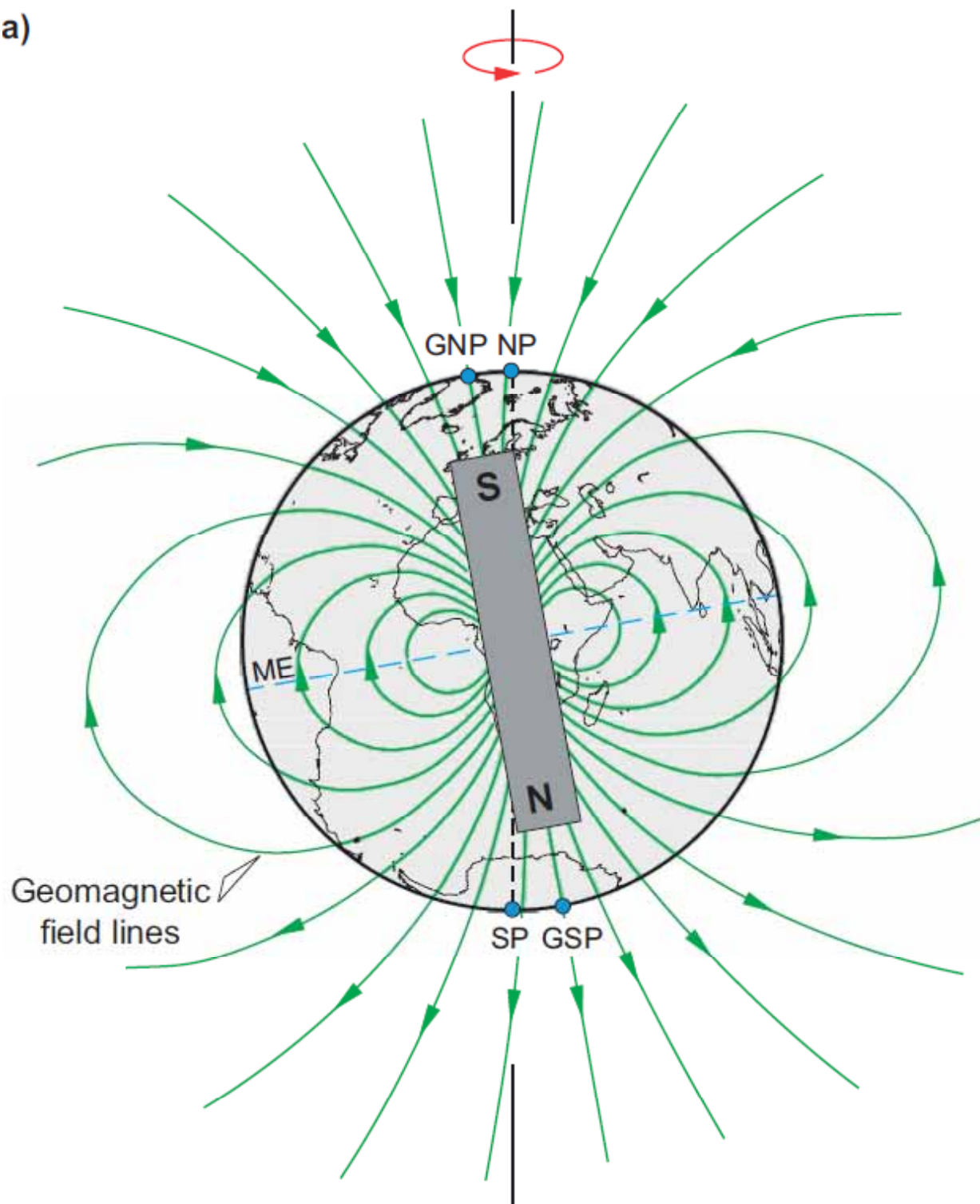


El CMT puede no ser homogéneo a lo largo del relevamiento.

Campo magnético terrestre (CMT)

- Campo magnético instantáneo (actual)
- Variación temporal
- Origen: modelo de geodínamo
- Reversiones de polaridad

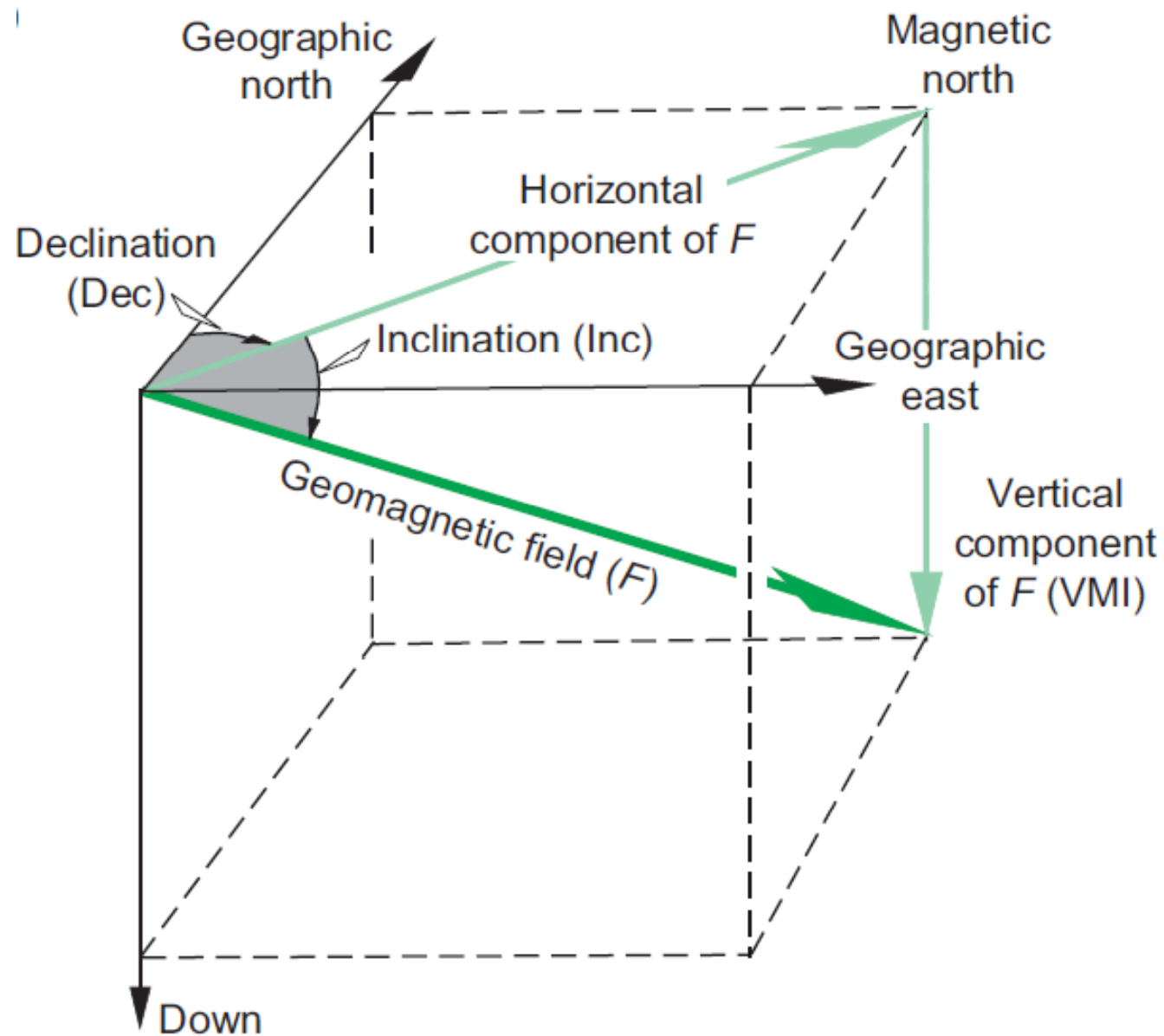
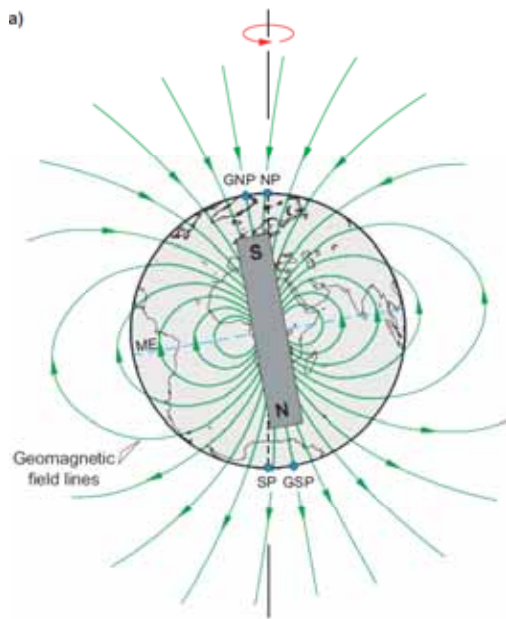
a)



Momento
magnético $7,8 \times 10^{22} \text{ A m}^2$

B en la superficie,
en el ecuador
 $\sim 30000 \text{ nT}$, en los
polos $\sim 65000 \text{ nT}$

a)



En el hemisferio sur:

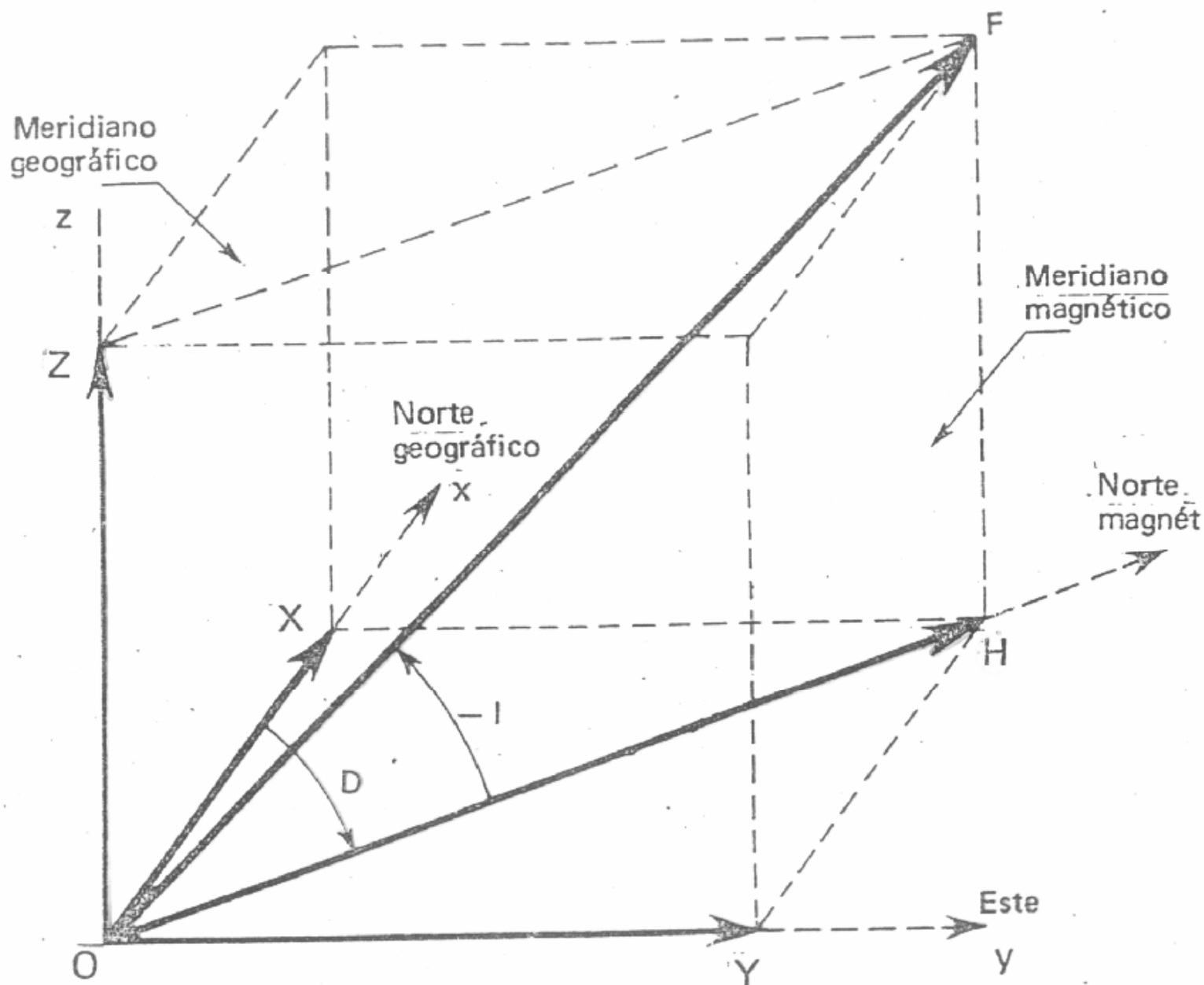


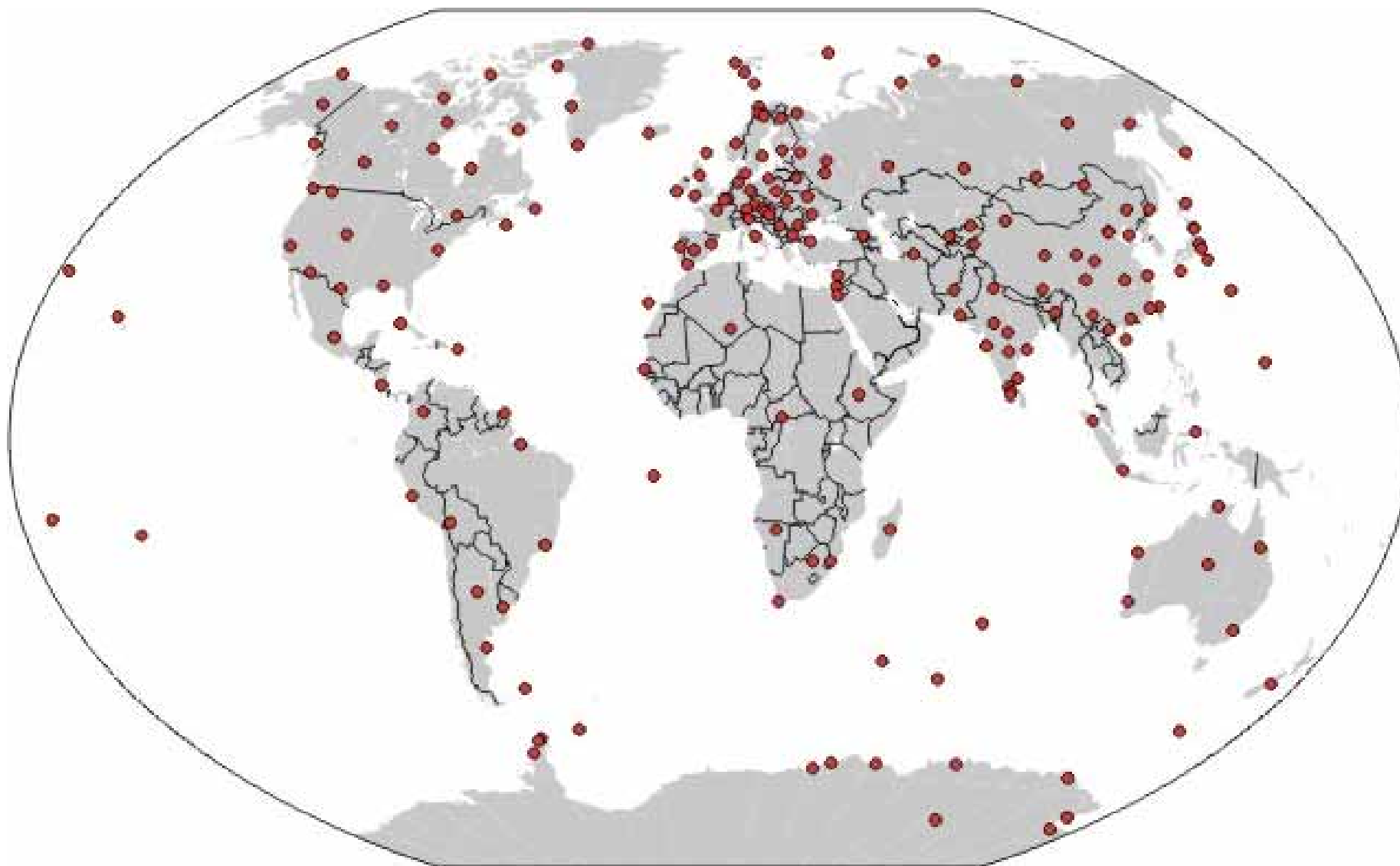
Fig. 1.1. Componentes del vector representativo del campo magnético terrestre.

Fuentes de información sobre el campo magnético terrestre

Variaciones en espacio y tiempo registradas por:

- Datos en observatorios geomagnéticos
- Datos en relevamientos terrestres
- Datos de satélites
- Análisis matemático de las observaciones
- Magnetismo remanente de las rocas

Distribución mundial de observatorios geomagnéticos permanentes



Medición del CMT por satélites

- MagSat (1979-1980)
(USA)

350-550 km de altura

- Oersted (Dinamarca).
Puesto en órbita en
1999, aún en operación.
Órbita a 500-850 km de
altura (resol. 0,5 nT).
Desde 2005 mide sólo
intensidad (no
componentes)

- CHAMP (Alemania)
(2000-2010). Órbita
circular, originalmente a
450 km (resol. 0,1 nT)

**Base de datos
«CHAOS-3»,
2000-2010**



SAC-C (Satélite
de aplicaciones
científicas,
CONAE, NASA).
Con
magnetómetro
Oersted. 2000-
2010 (perdió
contacto en
2013)



SWARM (Agencia
Espacial Europea,
ESA)
Lanzado en noviembre
2013, operando desde
mayo 2014

Campo geomagnético de referencia internacional (IGRF, International Geomagnetic Reference Field)

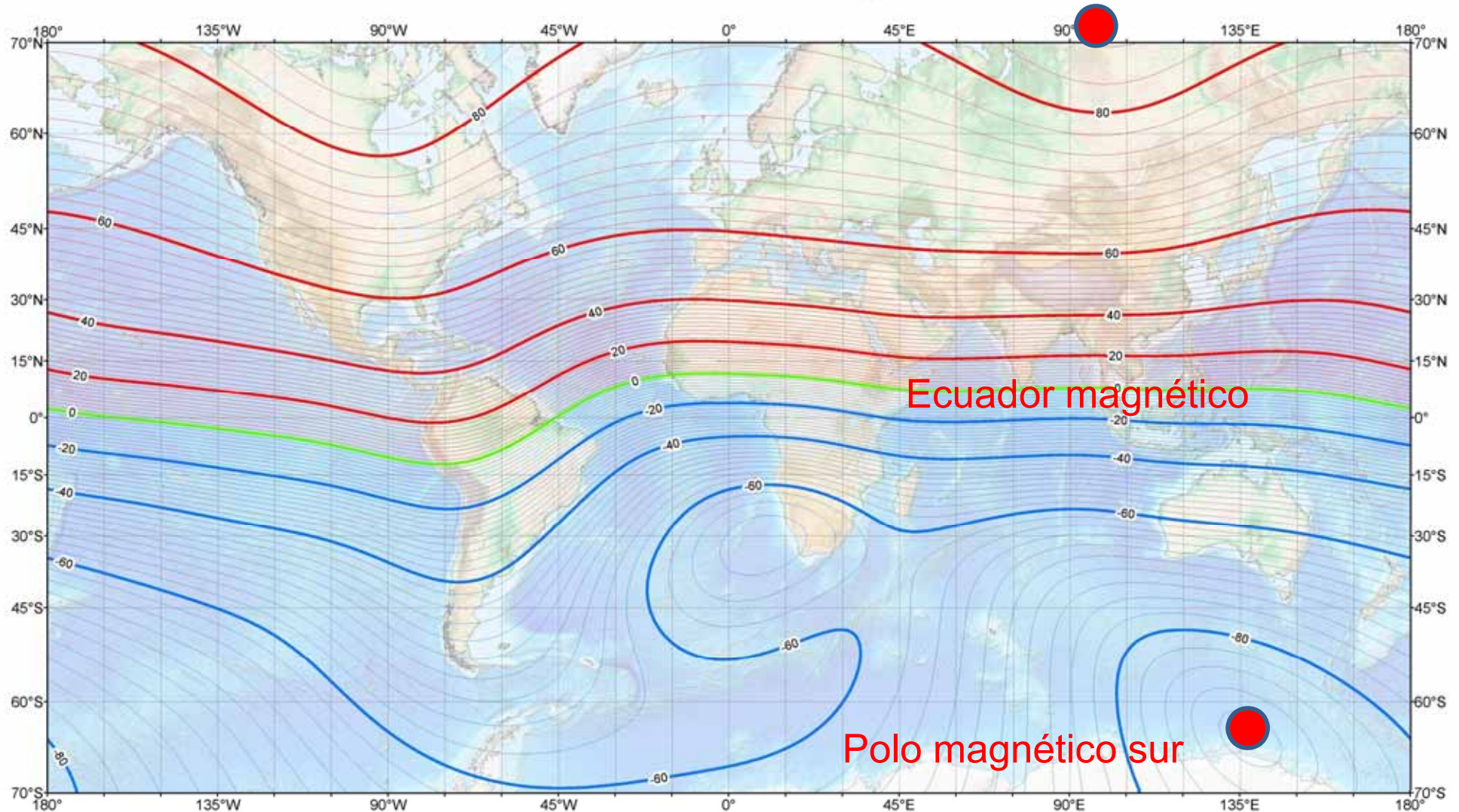
Es una descripción matemática del campo magnético terrestre a nivel global, basada en los datos medidos a través de las diversas fuentes.

El modelo se revisa cada 5 años.

Carta isoclina (IGRF, 2010)

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0
Main Field Inclination (I)

Polo magnético norte



Ecuador magnético

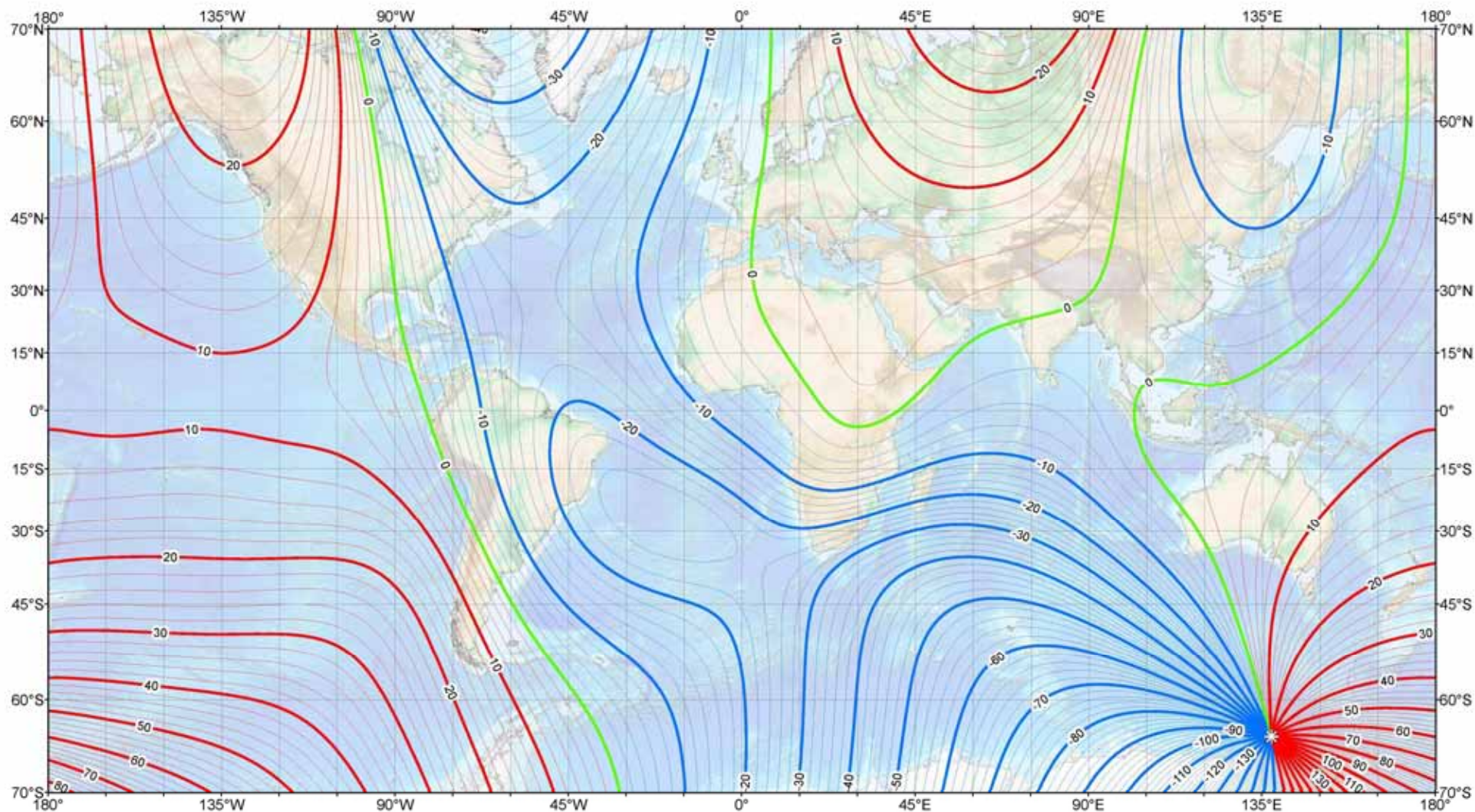
Polo magnético sur

Main field inclination (I)
Contour interval: 2 degrees, red contours positive (down); blue negative (up); green zero line.
Mercator Projection.
☉ : Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010

Carta isogona (IGRF, 2010)

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0 Main Field Declination (D)

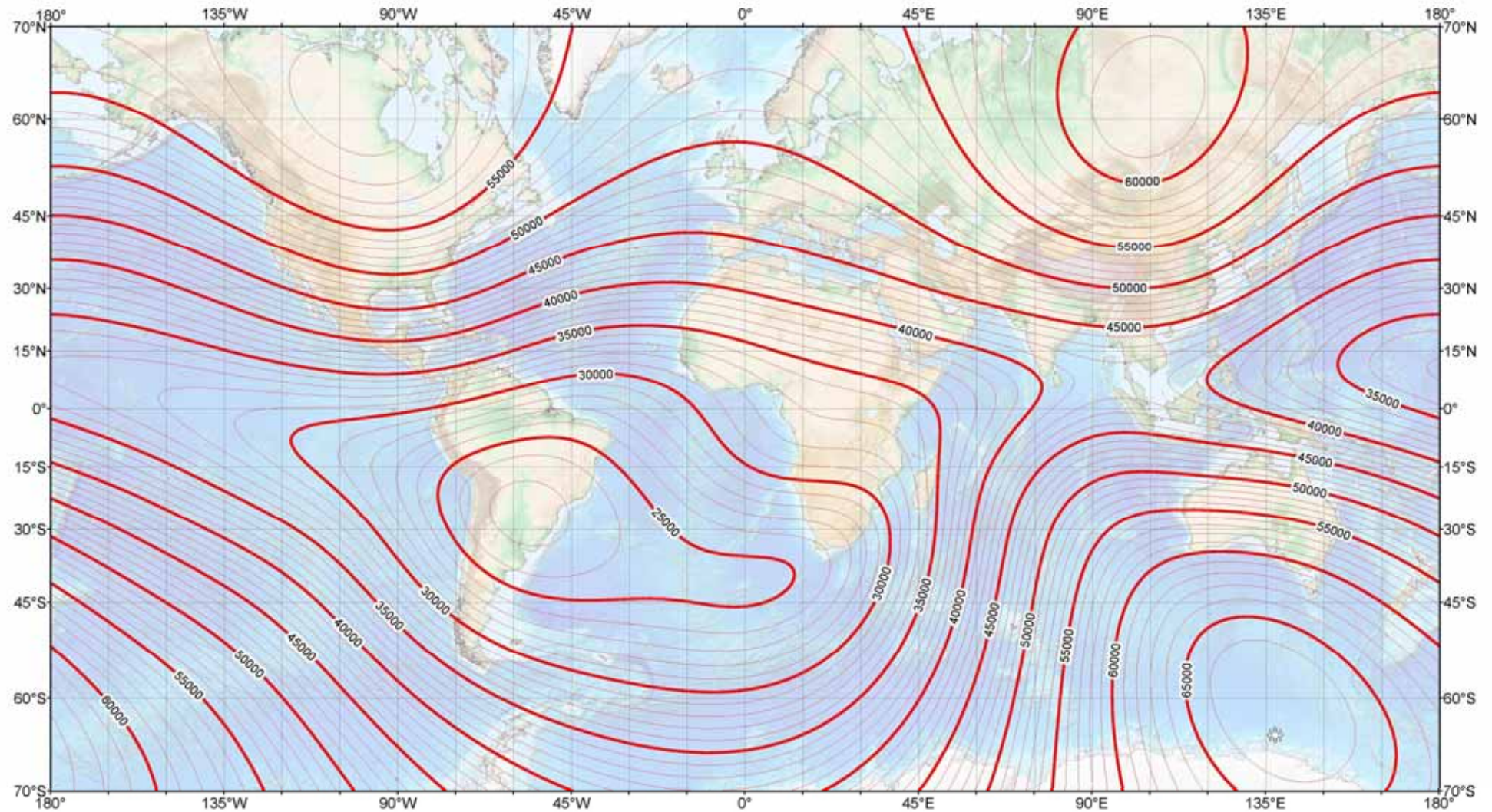


Main field declination (D)
Contour interval: 2 degrees, red contours positive (east); blue negative (west); green (agonic) zero line.
Mercator Projection.
★ : Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010

Carta isodinámica (IGRF, 2010)

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0 Main Field Total Intensity (F)



Main Field Total Intensity (F)
Contour interval: 1000 nT.
Mercator Projection.
☉ : Position of dip poles

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010

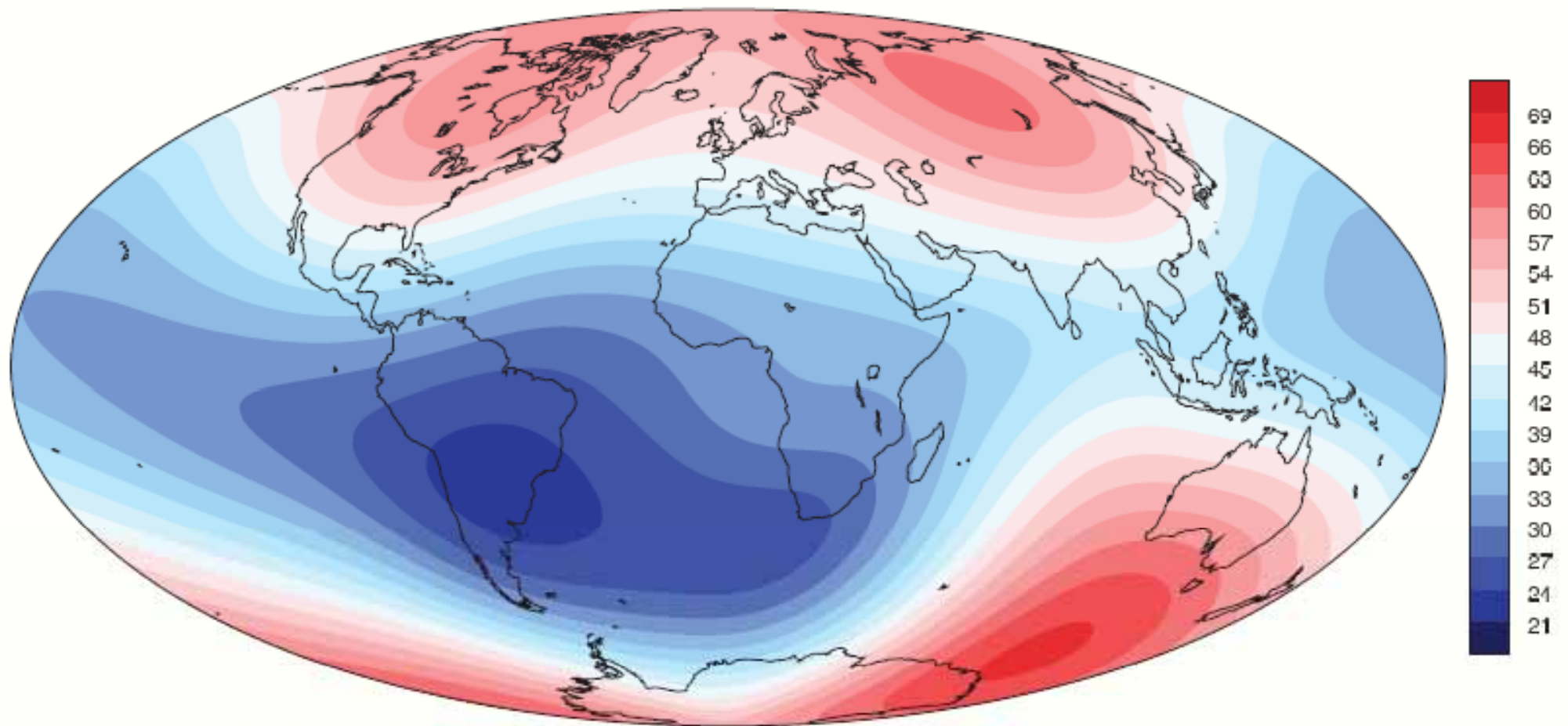
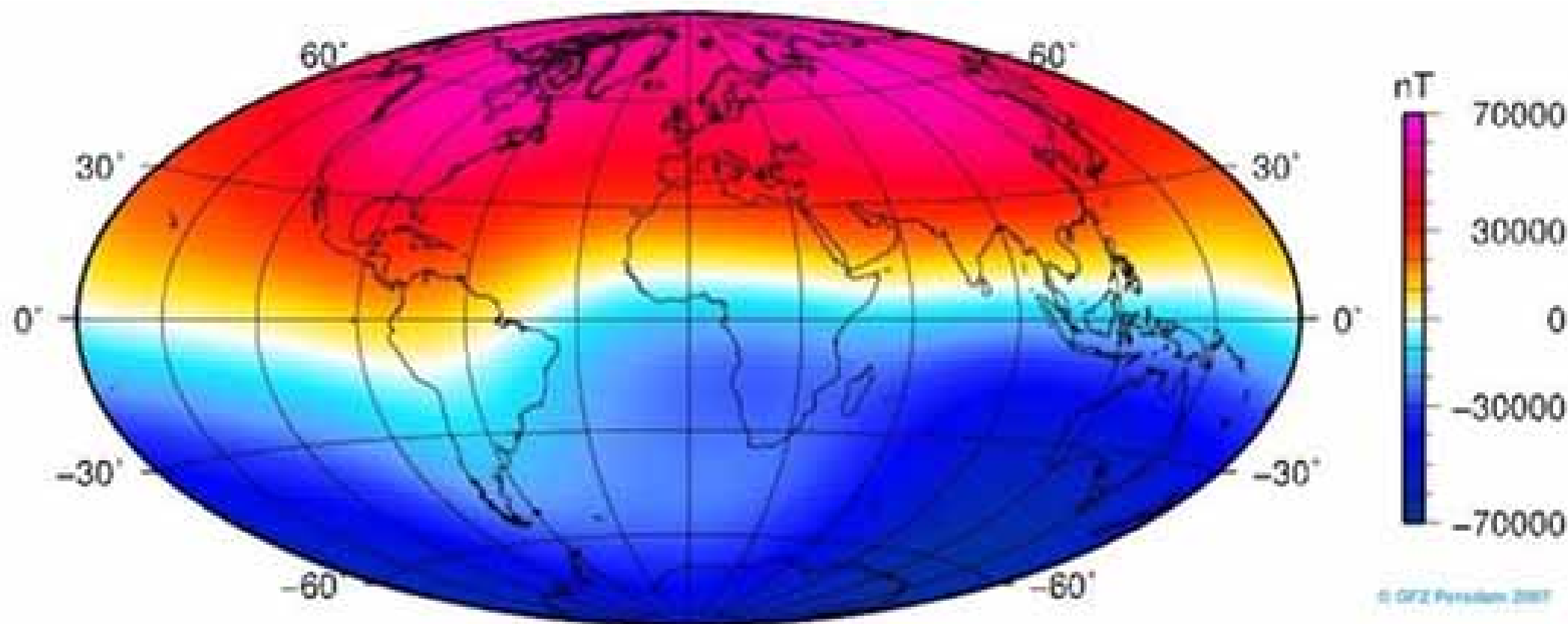
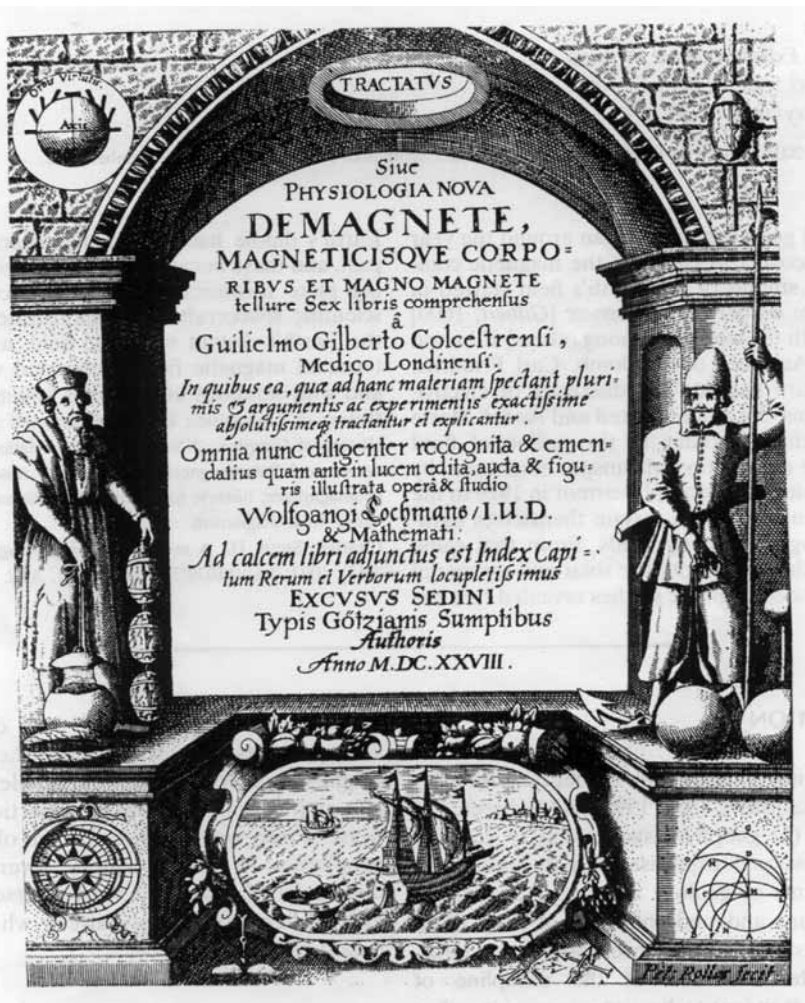


Fig 4: Field intensity (F)at Earth's surface in 2010 : units micro Tesla.

La simetría axial del CMT está perturbada por la presencia de la anomalía del Atlántico Sur

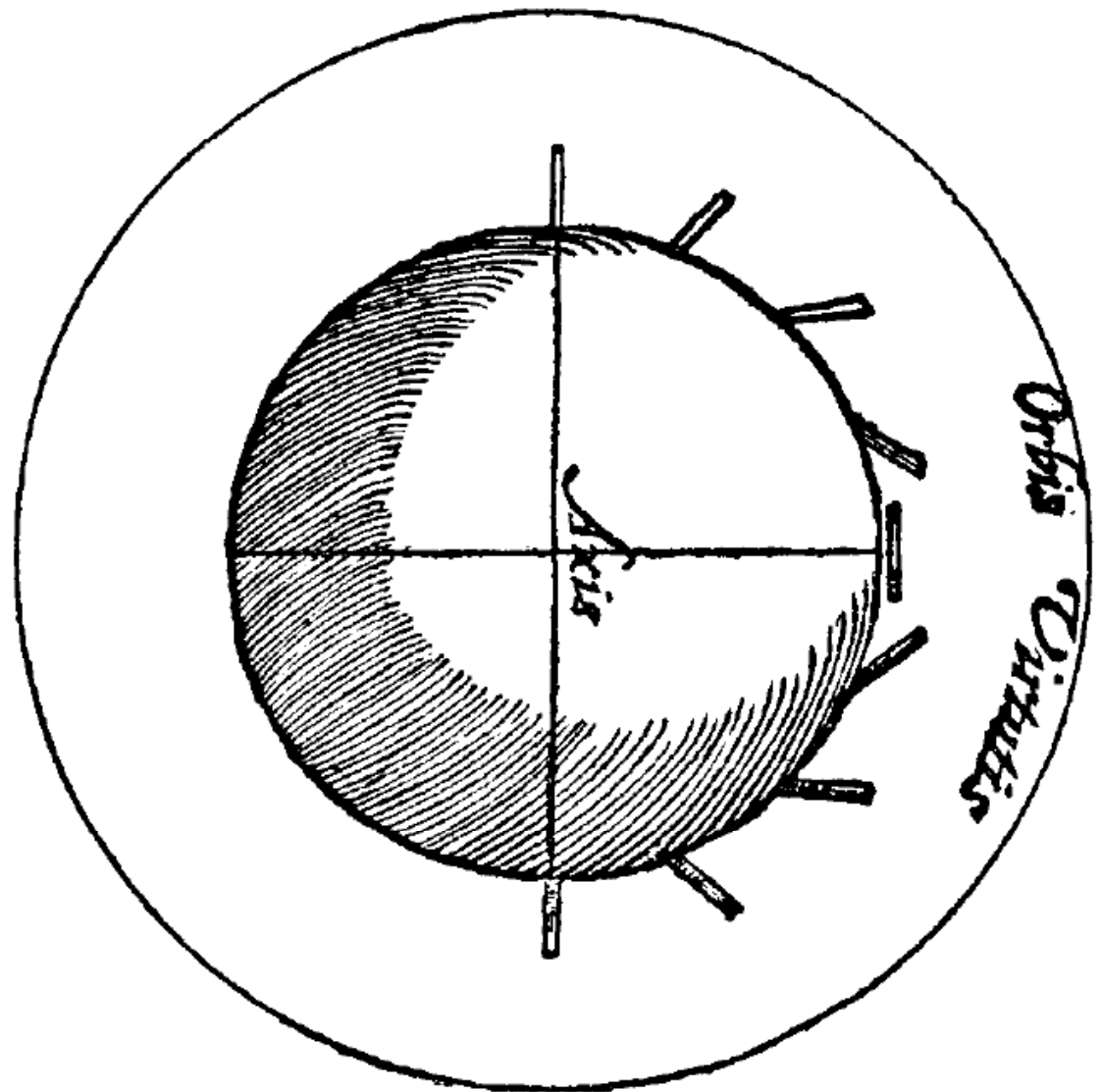


Componente vertical del campo magnético en la superficie terrestre
(entrante es positivo)



“De Magnete” (1600)

Sir William Gilbert
(1544-1603)



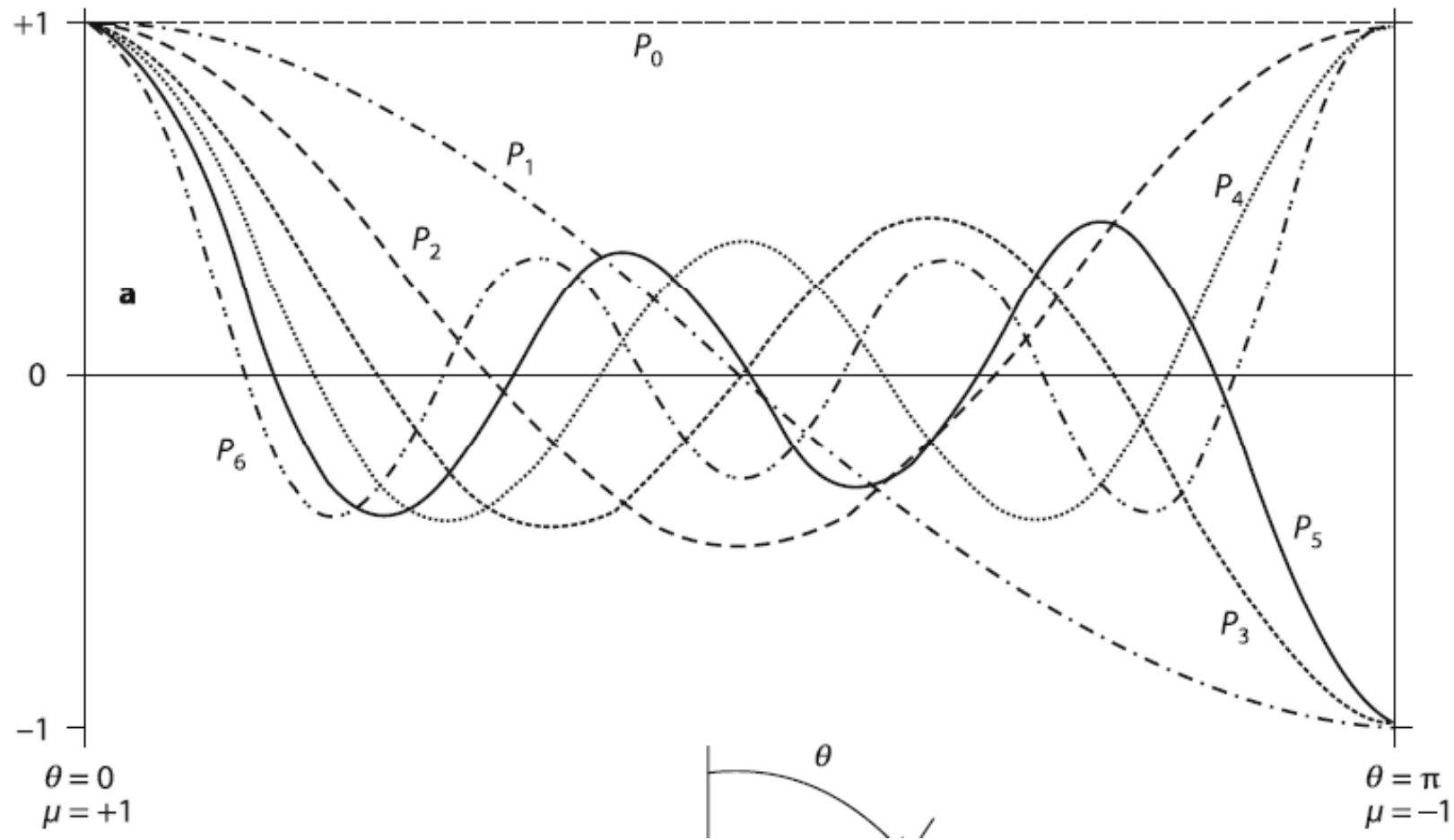
Gilbert (1600) *relaciona inclinación magnética con latitud geográfica*

Descripción matemática del CMT: análisis de armónicos esféricos

Carl Friedrich Gauss
(1777-1855)

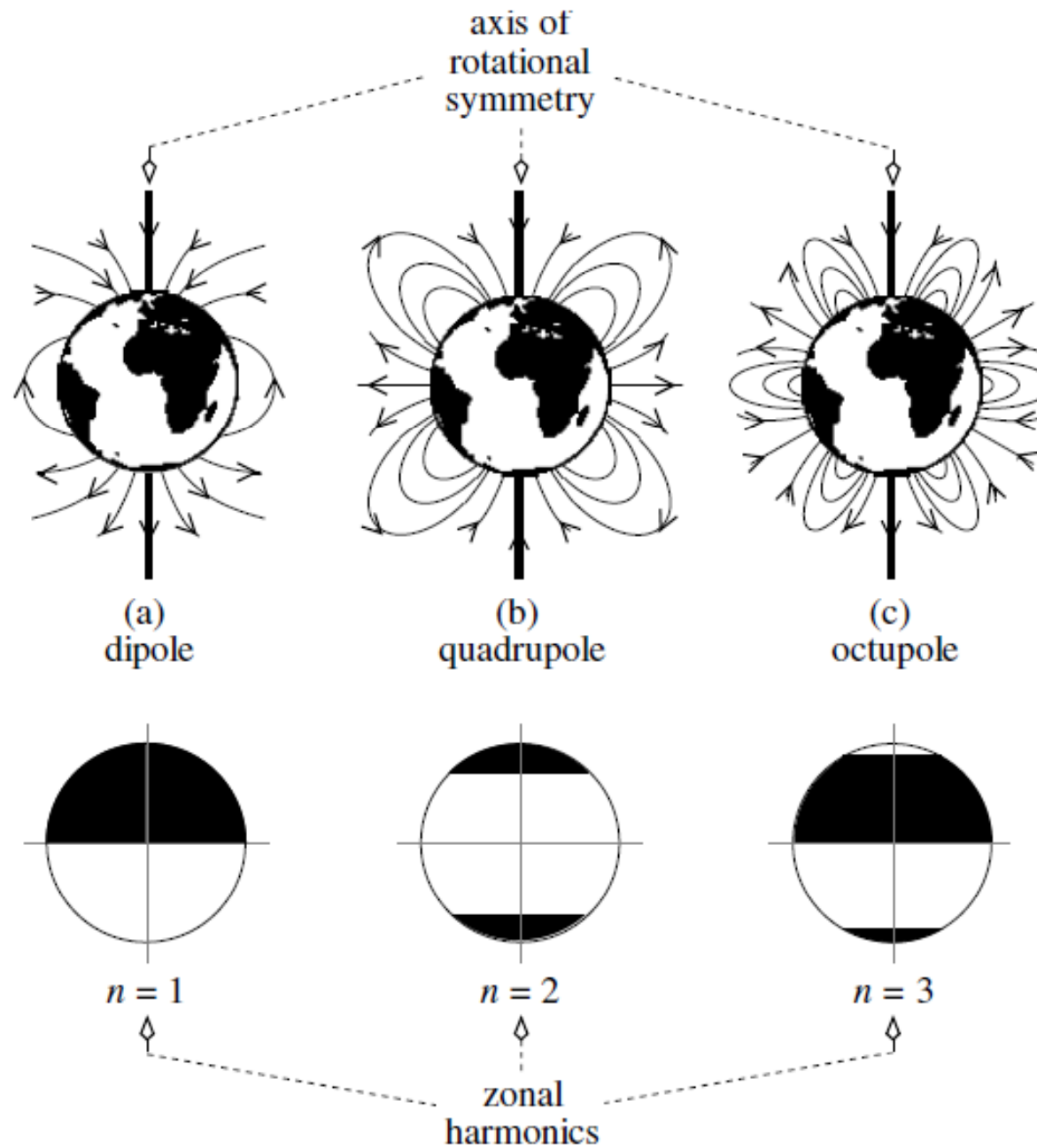


Representación analítica de una función arbitraria definida sobre la superficie de una esfera. El primero en aplicarlo fue Gauss (1839).



Armónicas
zonales en la
superficie
terrestre

Los primeros tres armónicos:



Descripción matemática del CMT: análisis de armónicos esféricos

$$V = a \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{r}{a} \right)^n T_n^e + \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} T_n^i \right)$$

Potencial magnético. Superíndices e, i representan la contribución externa e interna, respectivamente. n y m son grado y orden del armónico.

$$T_n = \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\theta)$$

A partir del registro del CMT en superficie, se calculan los coeficientes g y h (coeficientes de Gauss) que mejor ajustan los distintos armónicos.

En los armónicos de menor orden, la contribución externa es despreciable.

<i>g/h</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	2000.0	2005.0	SV
<i>g</i>	1	0	−29619.4	−29556.8	8.8
<i>g</i>	1	1	−1 728.2	−1 671.8	10.8
<i>h</i>	1	1	5 186.1	5 080.0	−21.3
<i>g</i>	2	0	−2 267.7	−2 340.5	−15.0
<i>g</i>	2	1	3 068.4	3 047.0	−6.9
<i>h</i>	2	1	−2 481.6	−2 594.9	−23.3
<i>g</i>	2	2	1 670.9	1 656.9	−1.0
<i>h</i>	2	2	−458.0	−516.7	−14.0
<i>g</i>	3	0	1 339.6	1 335.7	−0.3
<i>g</i>	3	1	−2 288.0	−2 305.3	−3.1
<i>h</i>	3	1	−227.6	−200.4	5.4
<i>g</i>	3	2	1 252.1	1 246.8	−0.9
<i>h</i>	3	2	293.4	269.3	−6.5
<i>g</i>	3	3	714.5	674.4	−6.8
<i>h</i>	3	3	−491.1	−524.5	−2.0
<i>g</i>	4	0	932.3	919.8	−2.5
<i>g</i>	4	1	786.8	798.2	2.8
<i>h</i>	4	1	272.6	281.4	2.0
<i>g</i>	4	2	250.0	211.5	−7.1
<i>h</i>	4	2	−231.9	−225.8	1.8
<i>g</i>	4	3	−403.0	−379.5	5.9
<i>h</i>	4	3	119.8	145.7	5.6
<i>g</i>	4	4	111.3	100.2	−3.2
<i>h</i>	4	4	−303.8	−304.7	0.0
<i>g</i>	5	0	−218.8	−227.6	−2.6
<i>g</i>	5	1	351.4	354.4	0.4
<i>h</i>	5	1	43.8	42.7	0.1
<i>g</i>	5	2	222.3	208.8	−3.0
<i>h</i>	5	2	171.9	179.8	1.8
<i>g</i>	5	3	−130.4	−136.6	−1.2

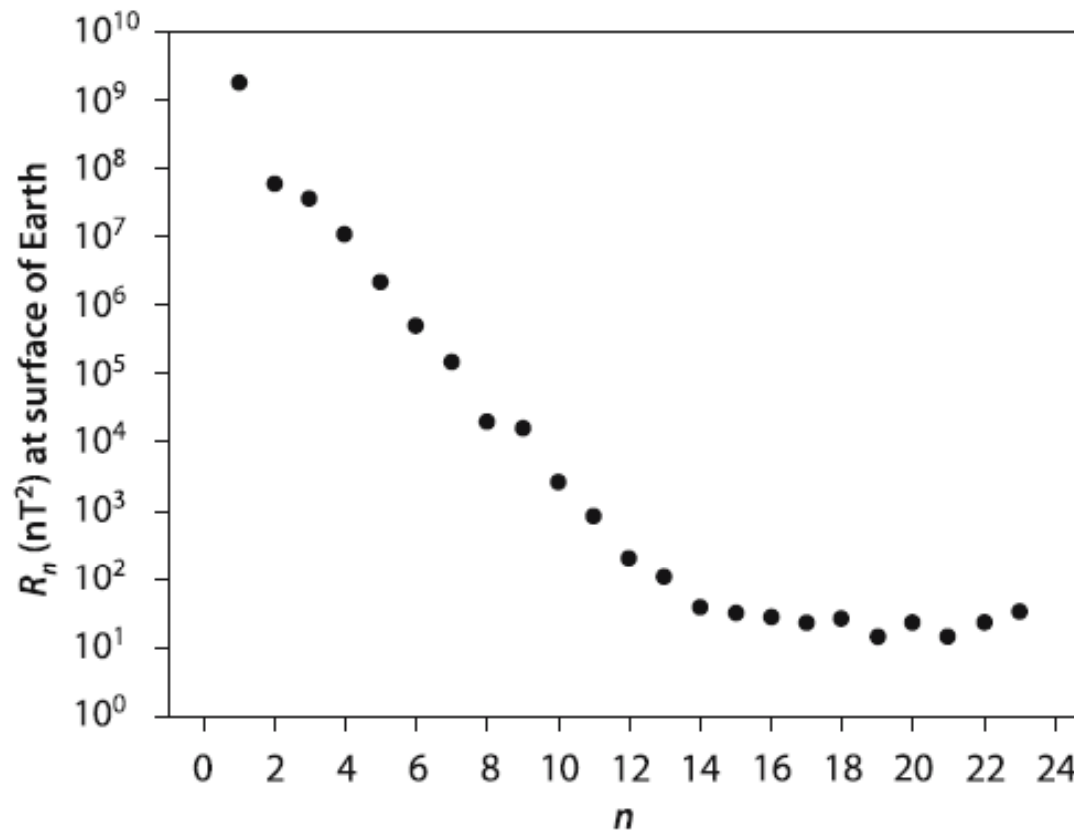
Dipolo

Cuadрупolo

Octupolo

***La armónica de grado
uno es dominante***

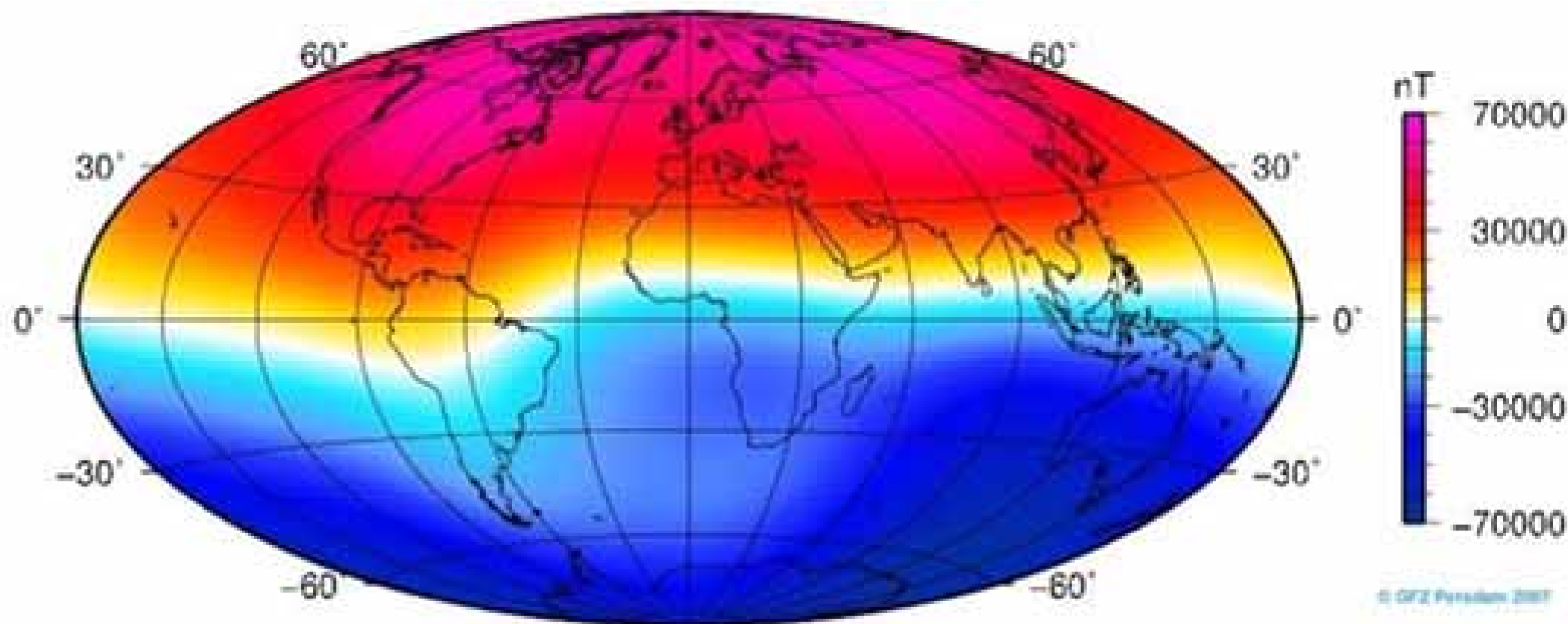
Coeficientes de
armónicos esféricos
Grado *n*, orden *m*



Espectro de energías del CMT en la superficie terrestre para los primeros 23 grados de armónicos esféricos.

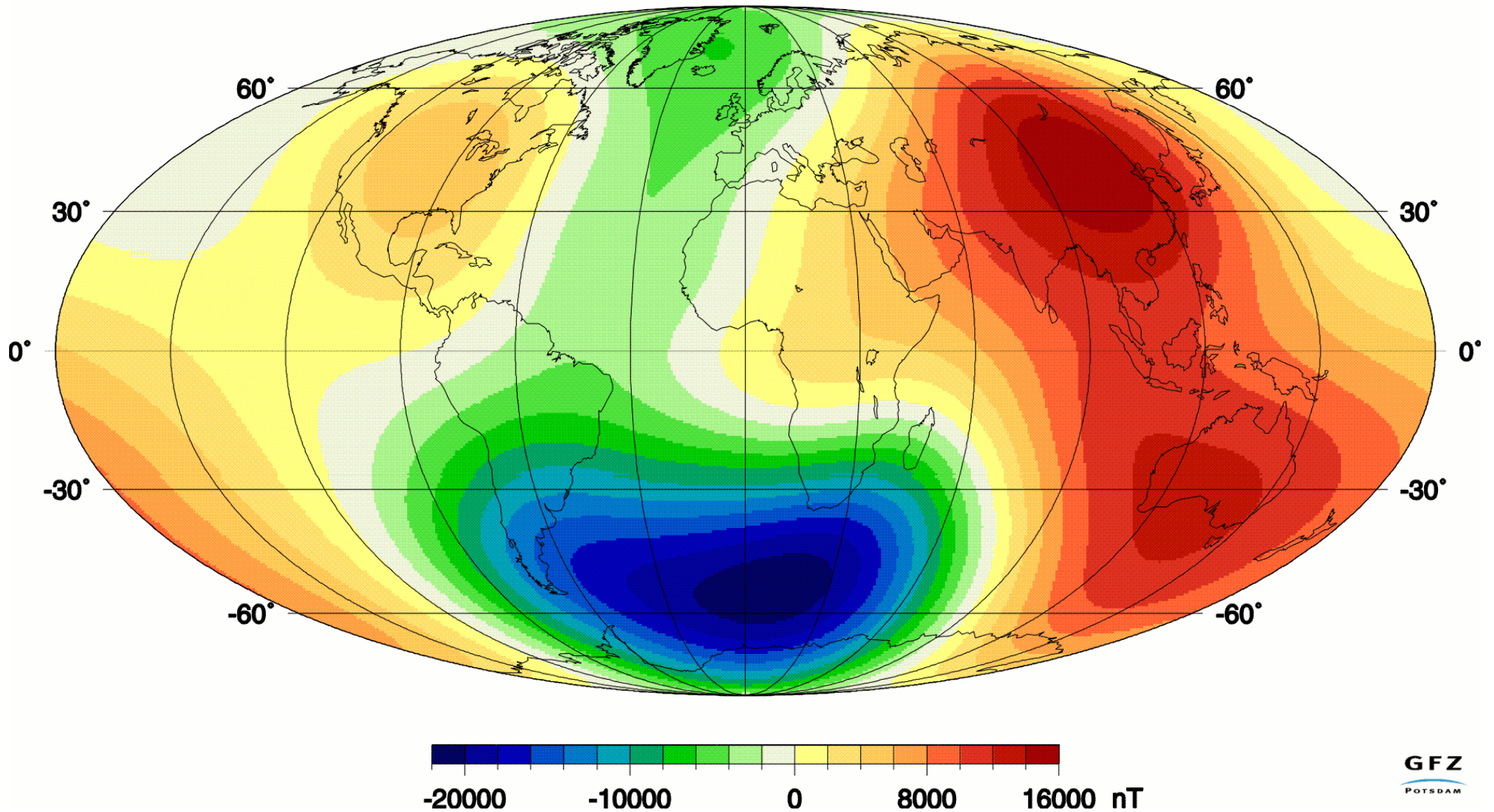
Grado 2 a 13 corresponden a fuentes profundas, en el núcleo fluido hasta el límite manto-núcleo.

A partir del grado 13, las contribuciones son de fuentes someras (corteza) y ruido.

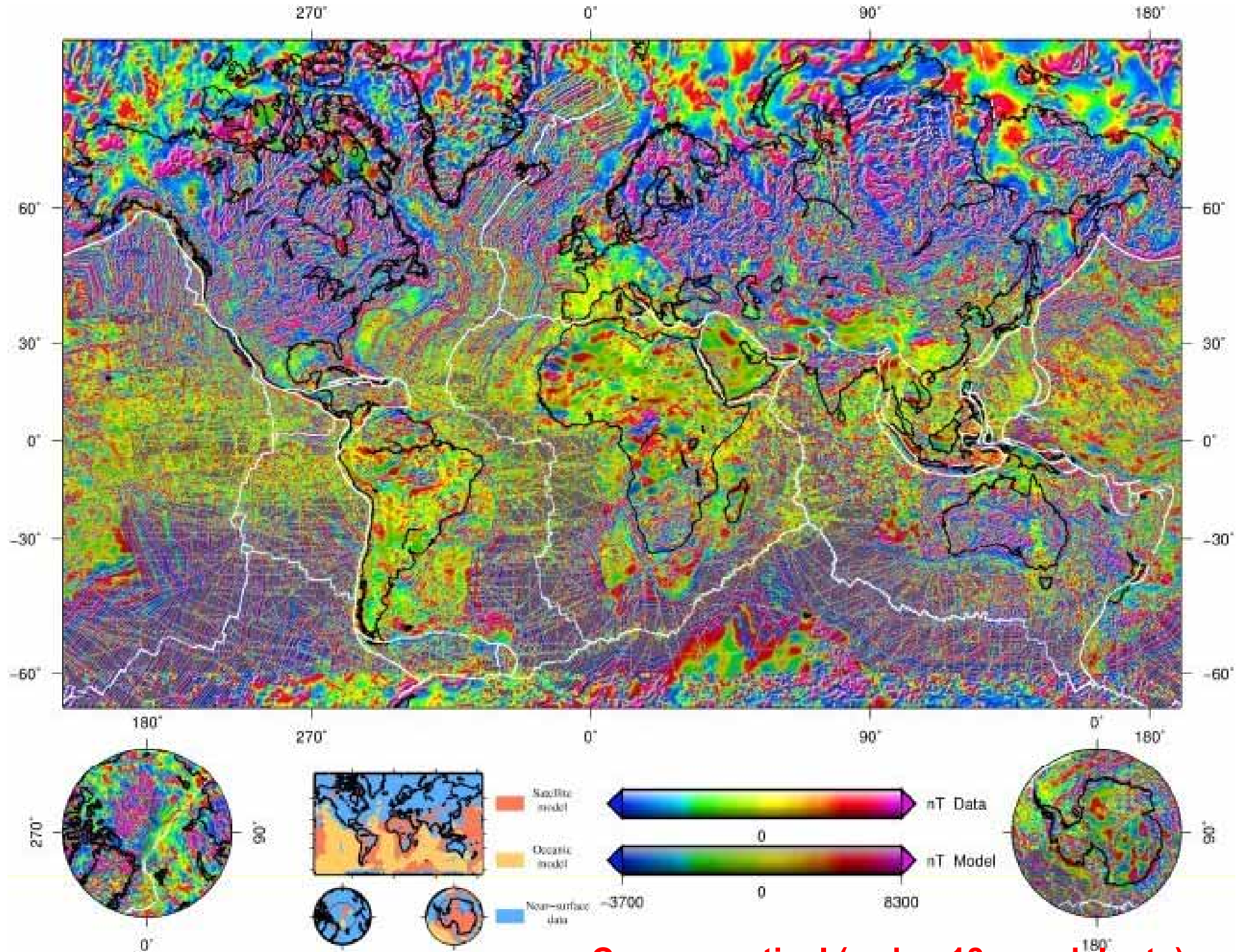


Campo magnético total en la superficie terrestre, compuesto por la suma de contribuciones de: dipolo (predominante) y órdenes mayores (campo no dipolar)

Magnitude of the nondipole field (1995.0)



Armónicos de grado mayor a 1, eliminado el grado 1 (dipolo)

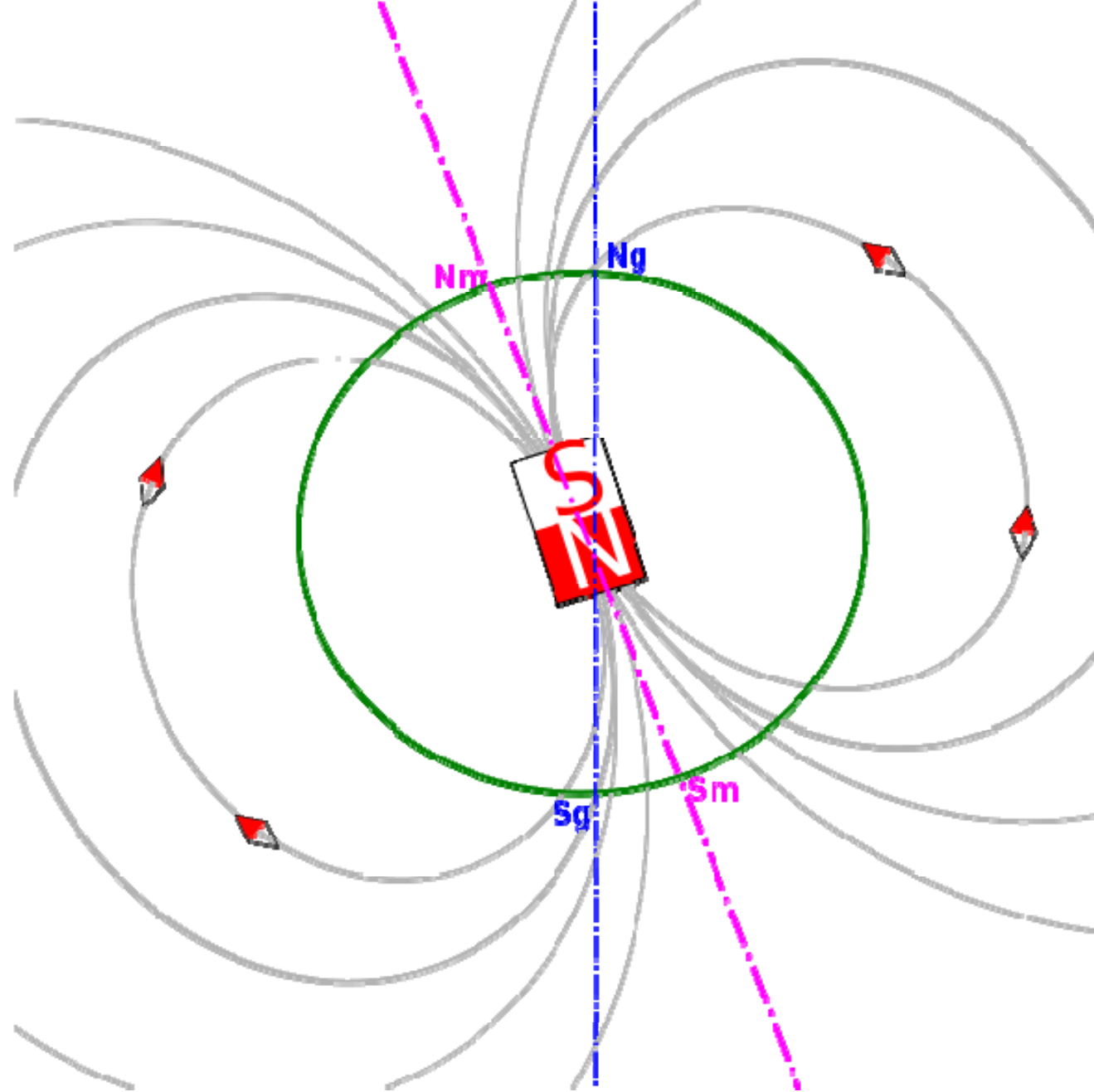


Campo cortical (orden 13 en adelante)

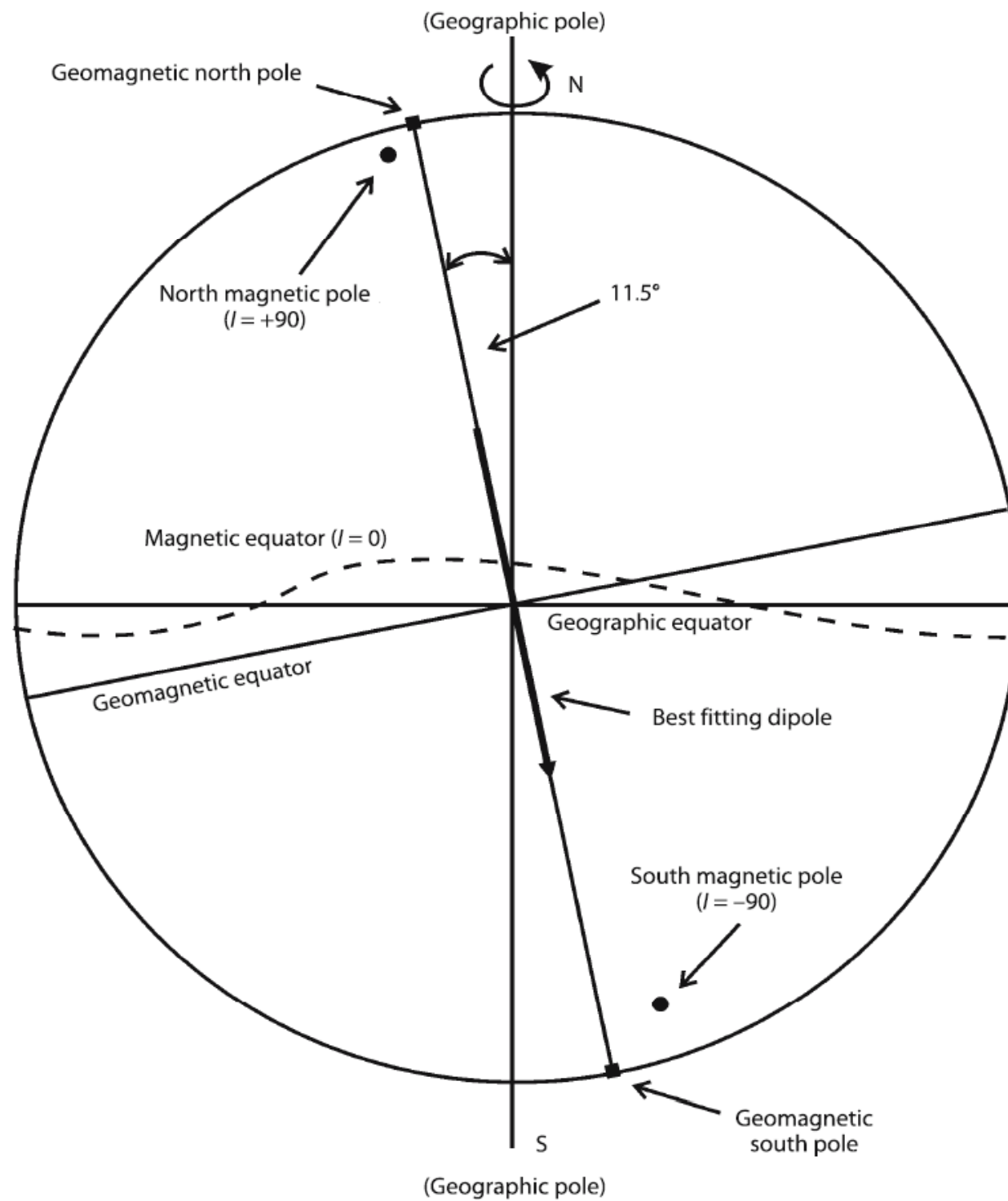
Descripción matemática del CMT: análisis de armónicos esféricos

El cálculo de los coeficientes de los distintos armónicos permitió determinar que el CMT de origen externo es casi despreciable, especialmente para los armónicos de menor grado.

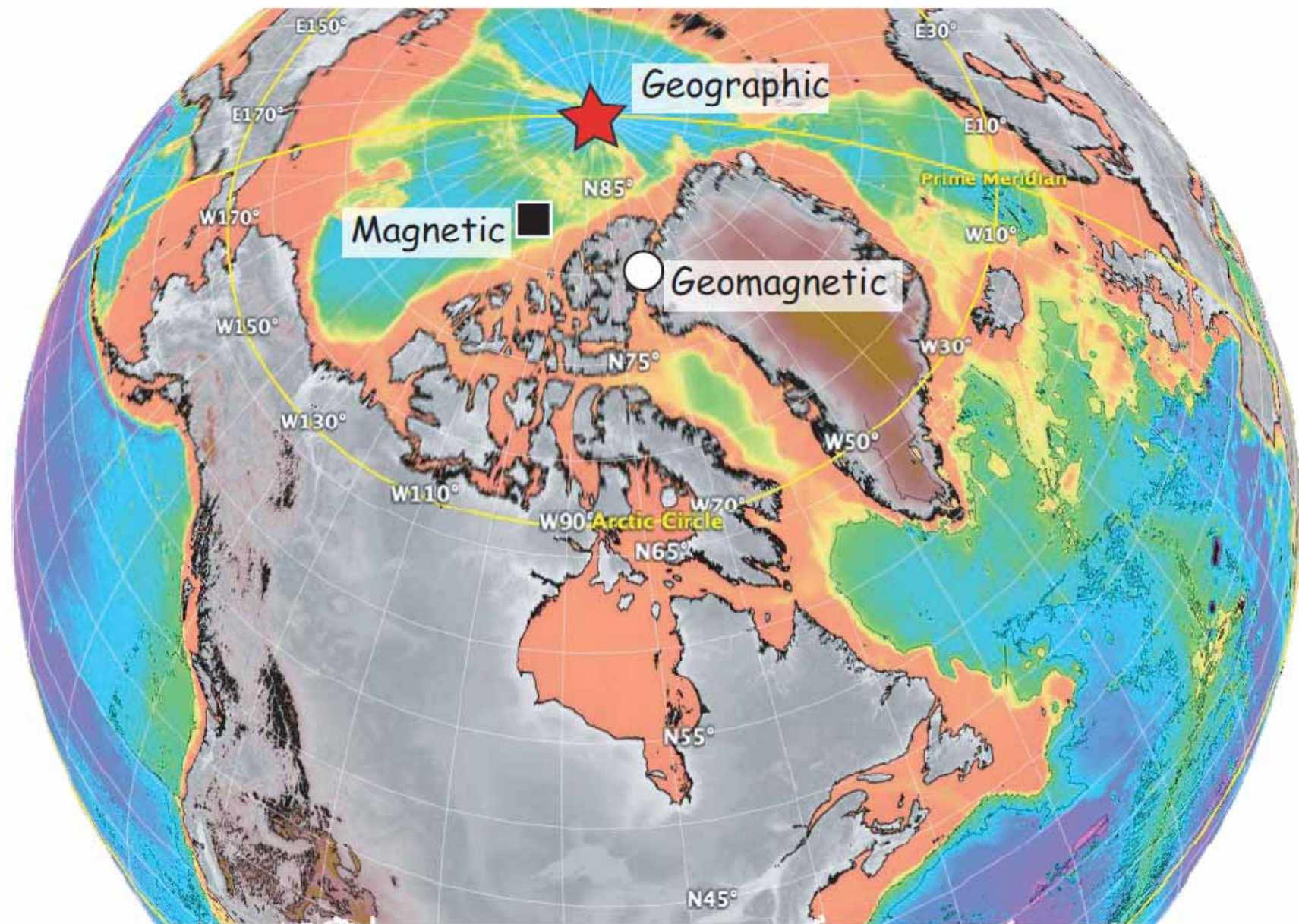
El armónico de grado 1 (dipolo) es dominante.



En una primera aproximación, el CMT podría describirse como el producido por un dipolo geocéntrico inclinado



Lanza y
Meloni,
2006



Polo geográfico: intersección del eje de rotación con la superficie terrestre.

Polo magnético: punto de inclinación magnética vertical

Polo geomagnético: intersección del eje del dipolo magnético con la superficie terrestre.

Campo magnético terrestre (CMT)

- Campo magnético instantáneo (actual)
- Variación temporal
- Origen: modelo de geodínamo
- Reversiones de polaridad

Variaciones temporales del CMT

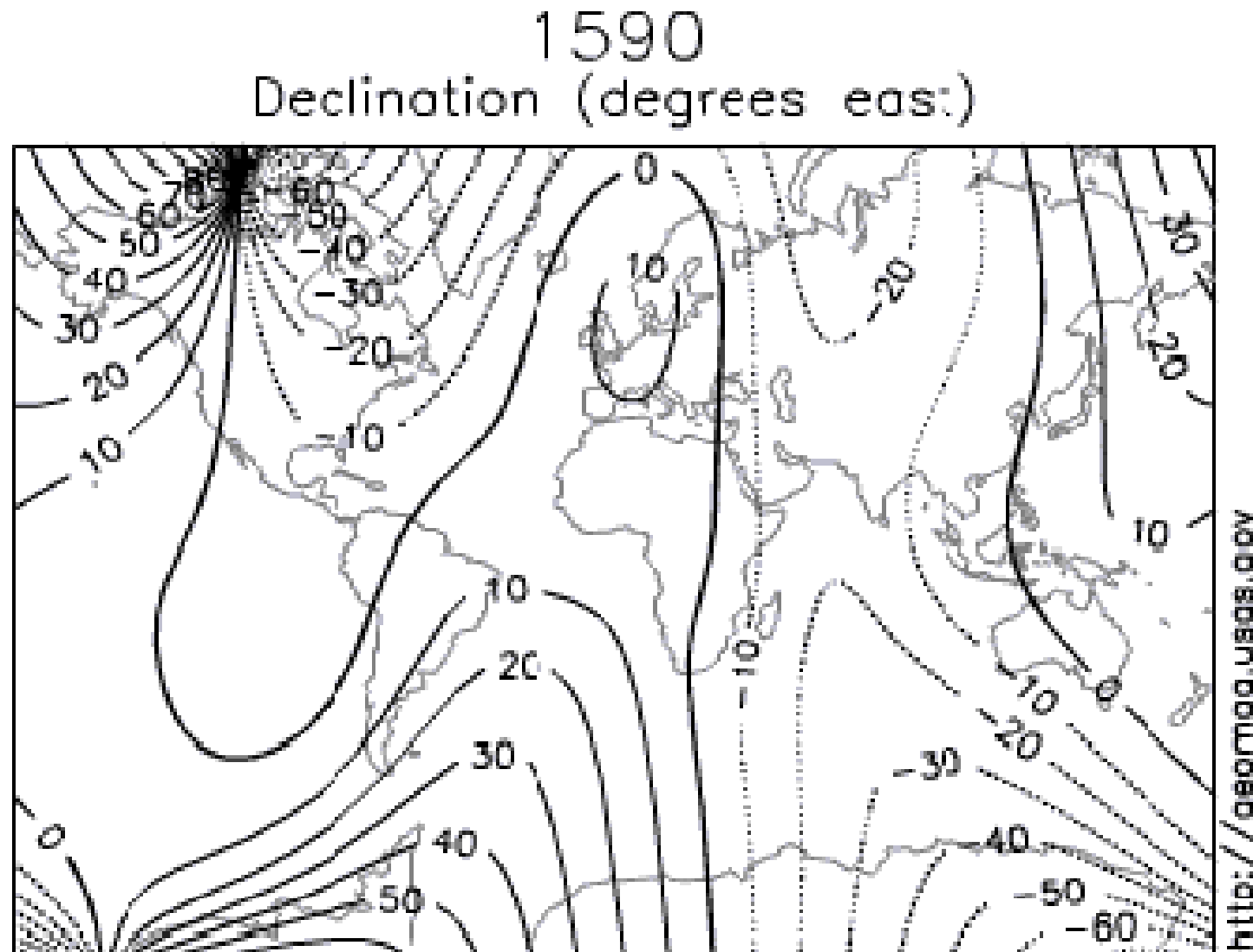
El examen del modo en que varían los coeficientes del IGRF a lo largo de los años permite separar dos rangos de variación:

- De origen externo: de plazo más corto (usualmente menor a 5 años)
- De origen interno: lentas y continuas a lo largo de los años (en períodos de polaridad estable).

Variaciones seculares

$$V = a \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{r}{a} \right)^n T_n^e + \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} T_n^i \right)$$

Variación secular en tiempos históricos



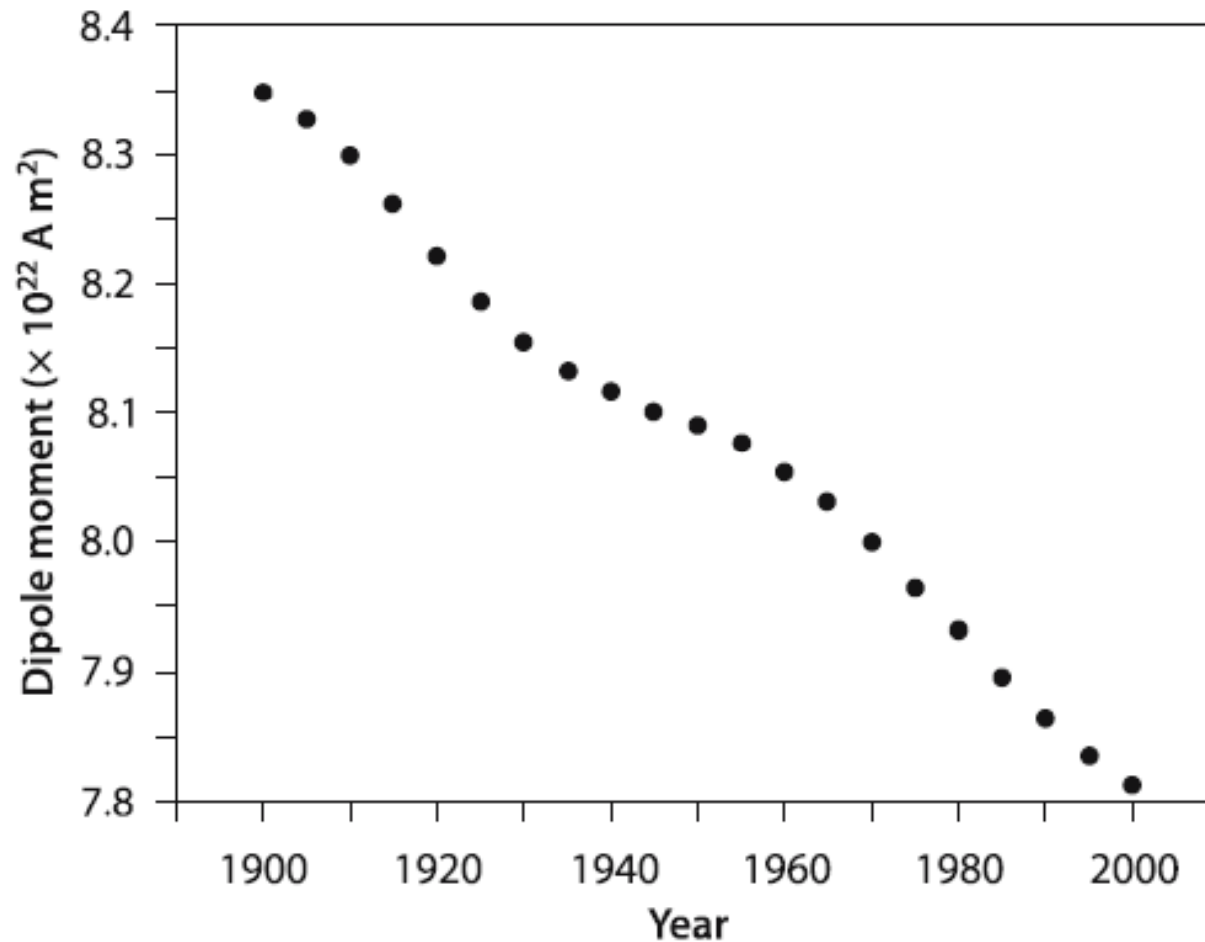
Model by A. Jackson, A. R. T. Jonkers, M. R. Walker,
Phil. Trans. R. Soc. London A (2000), 358, 957–990.

Promedio
0,11°/año

3500 años:
vuelta
completa

Deriva al oeste de la declinación del CMT (Jackson, 2000)

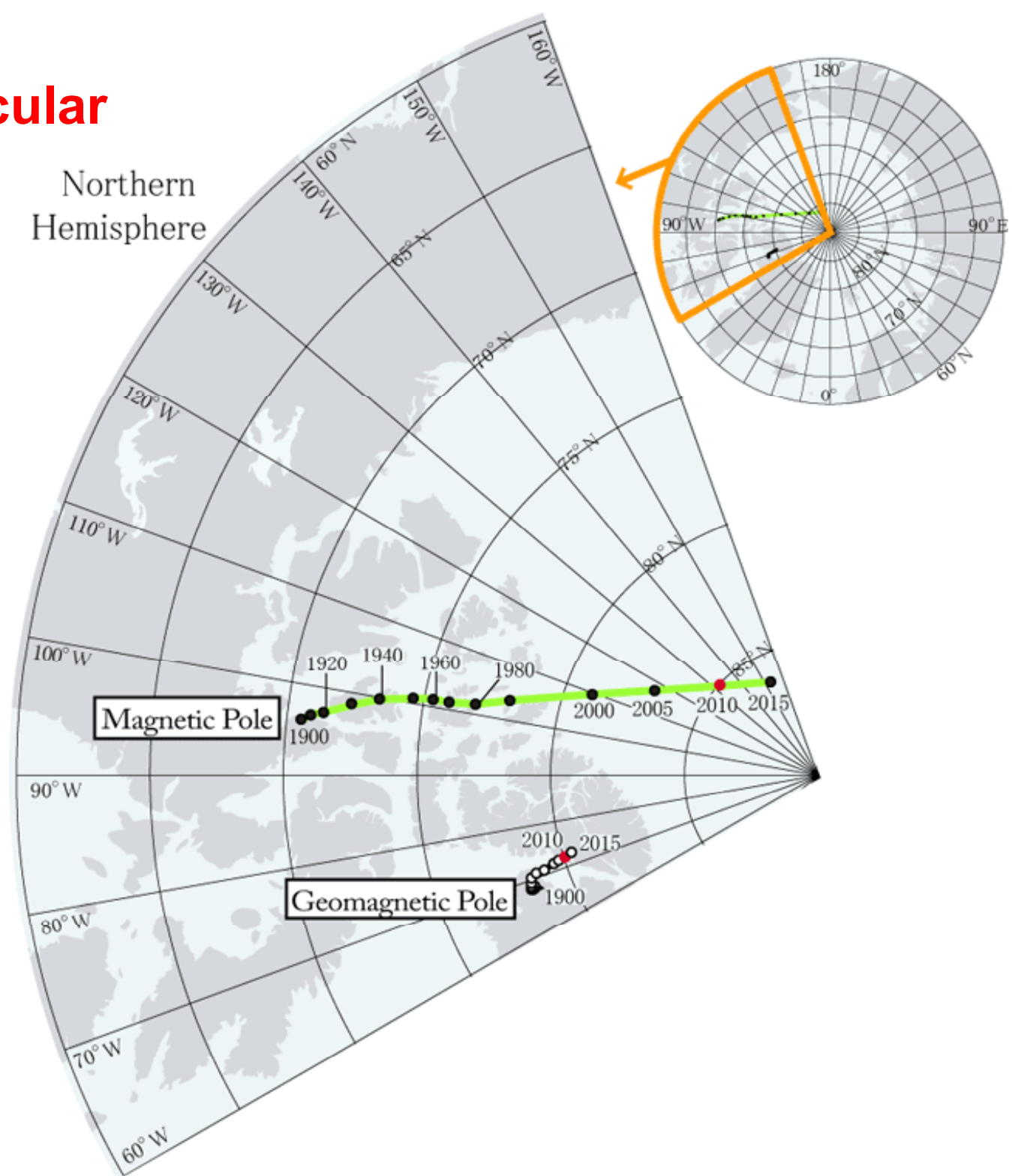
Variación secular en tiempos históricos



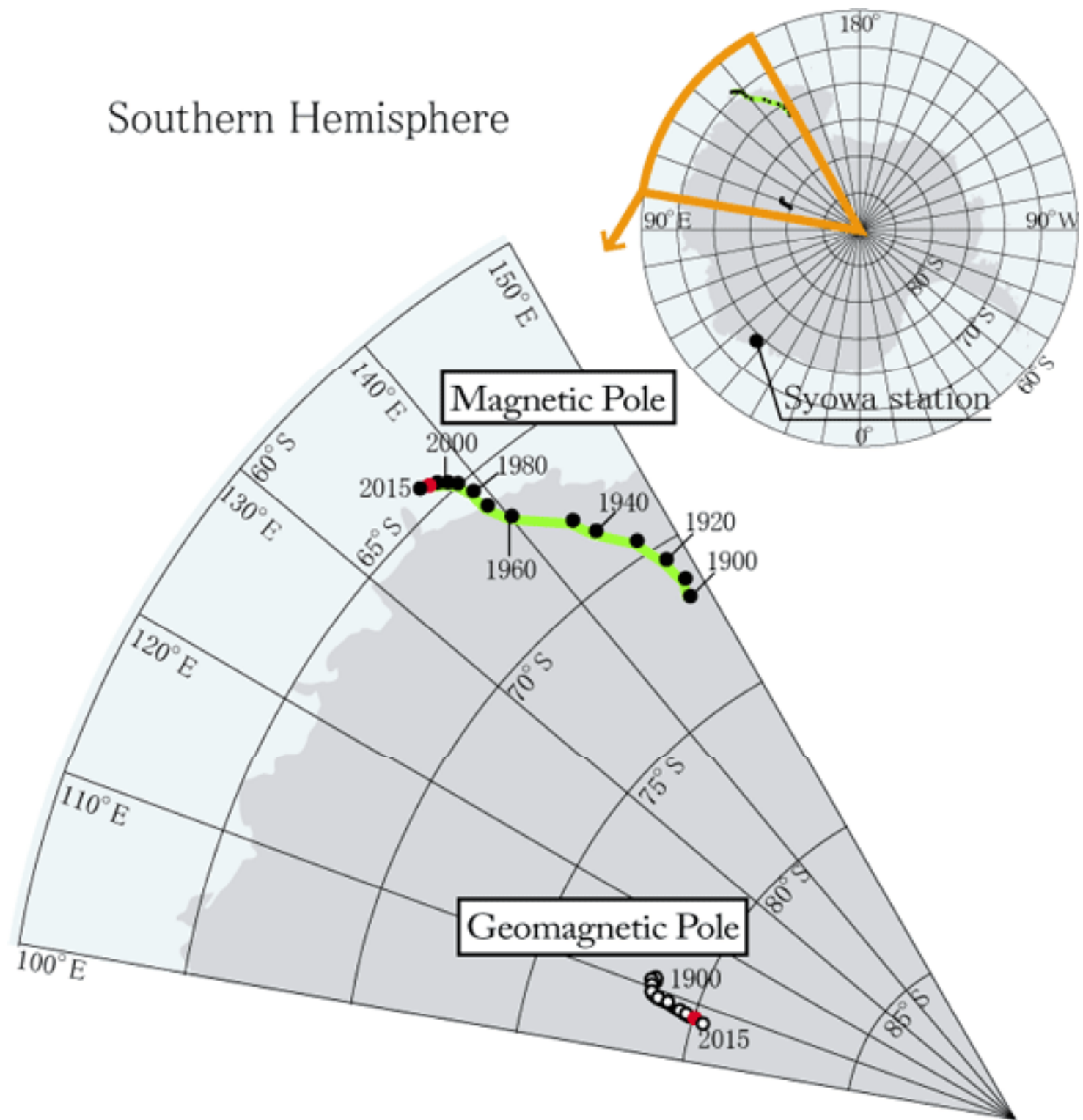
Disminución de la intensidad del campo dipolar

Variación secular

Deriva del polo geomagnético (bamboleo del dipolo) y del polo magnético



Southern Hemisphere



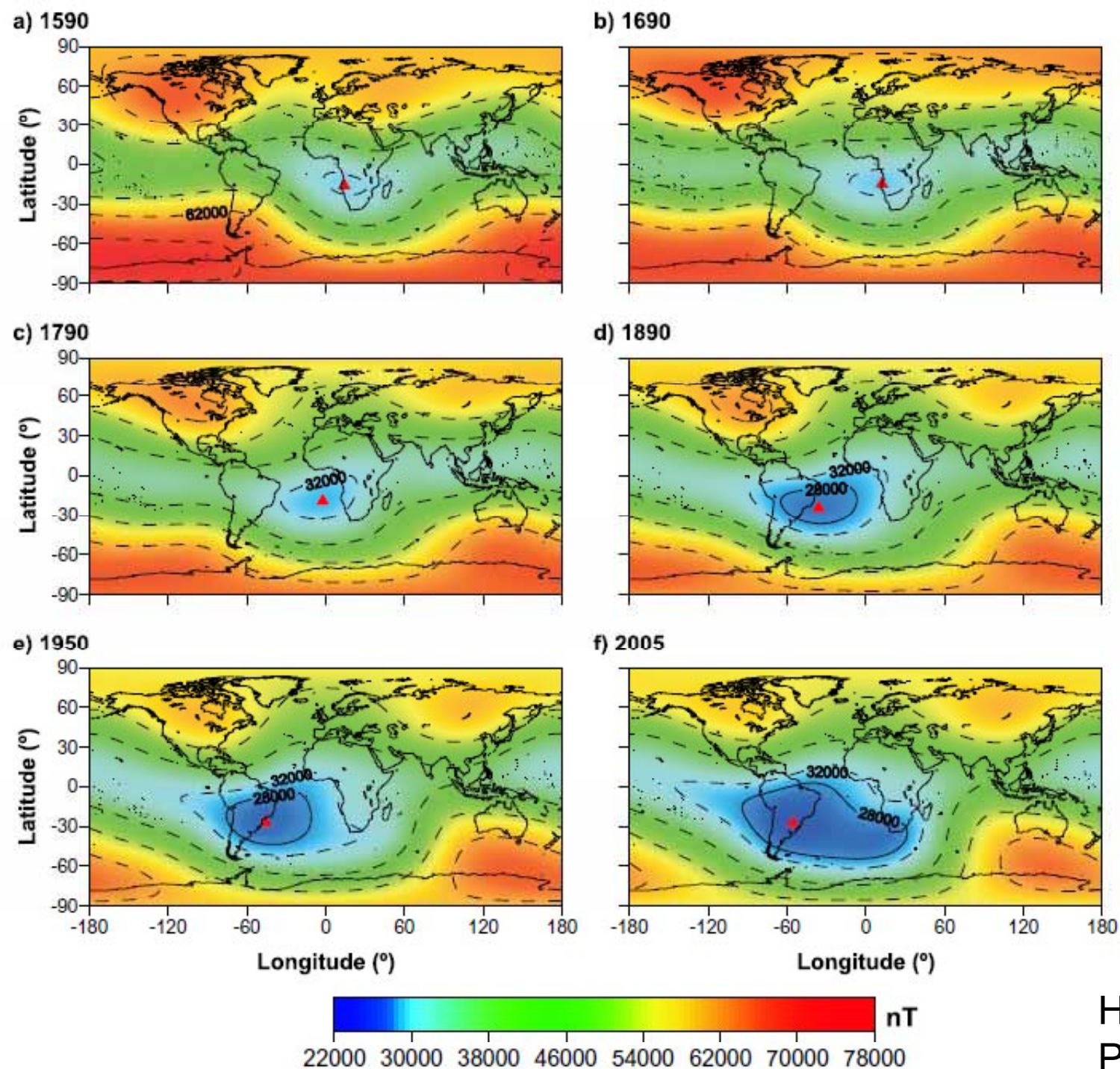
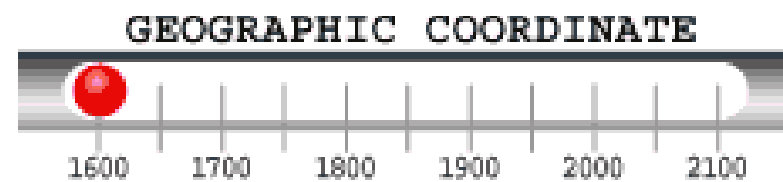
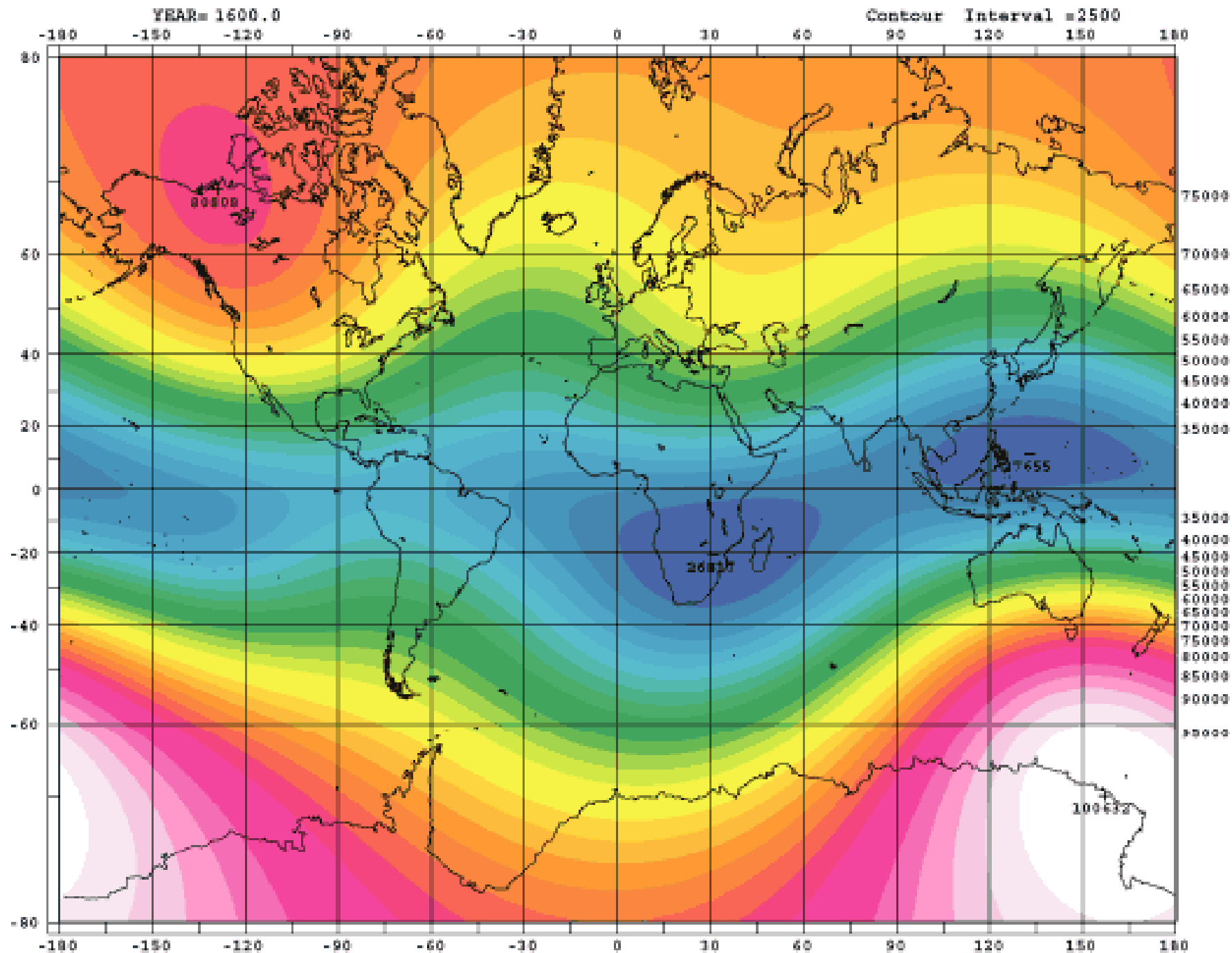


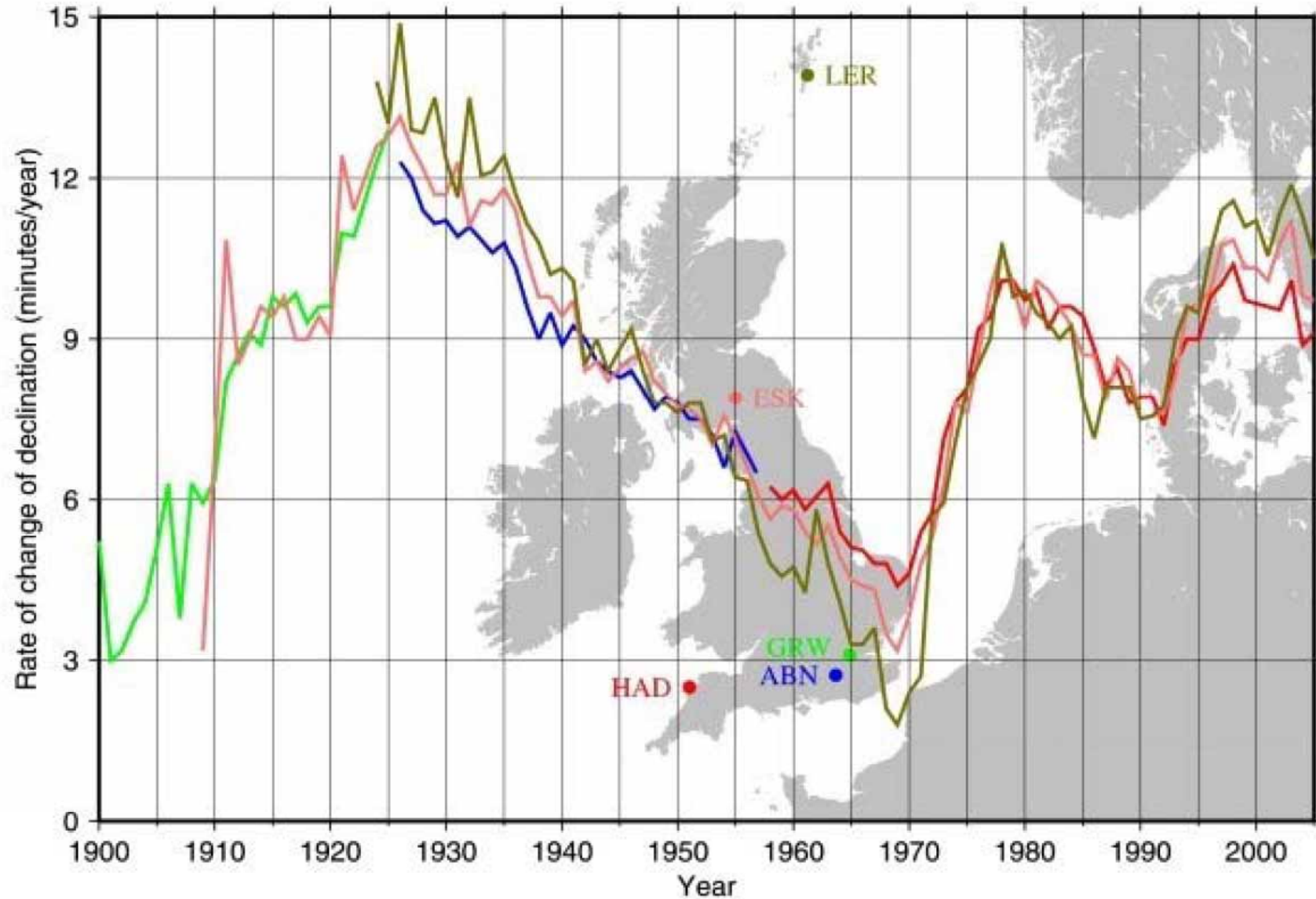
Fig. 1 – Examples of geomagnetic field total intensity maps obtained with GUFM1 and IGRF models. The red triangle indicates the SAMBA center, and the 28000nT contours shows the SAMA range influence area.

Hartmann y
Pacca,
2009



World Data Center
for Geomagnetism,
Kyoto

Jerks geomagnéticos



Son cambios abruptos (en meses o pocos años) de la tendencia (2da derivada) de la variación secular. Son las perturbaciones más rápidas del CMT de origen interno

Variación secular:

-variación del dipolo



Fuente muy profunda en el núcleo terrestre

- deriva al oeste de una parte del campo no dipolar

- variación de intensidad del campo no dipolar fijo



Fuente menos profunda, corrientes eléctricas en el límite manto-núcleo

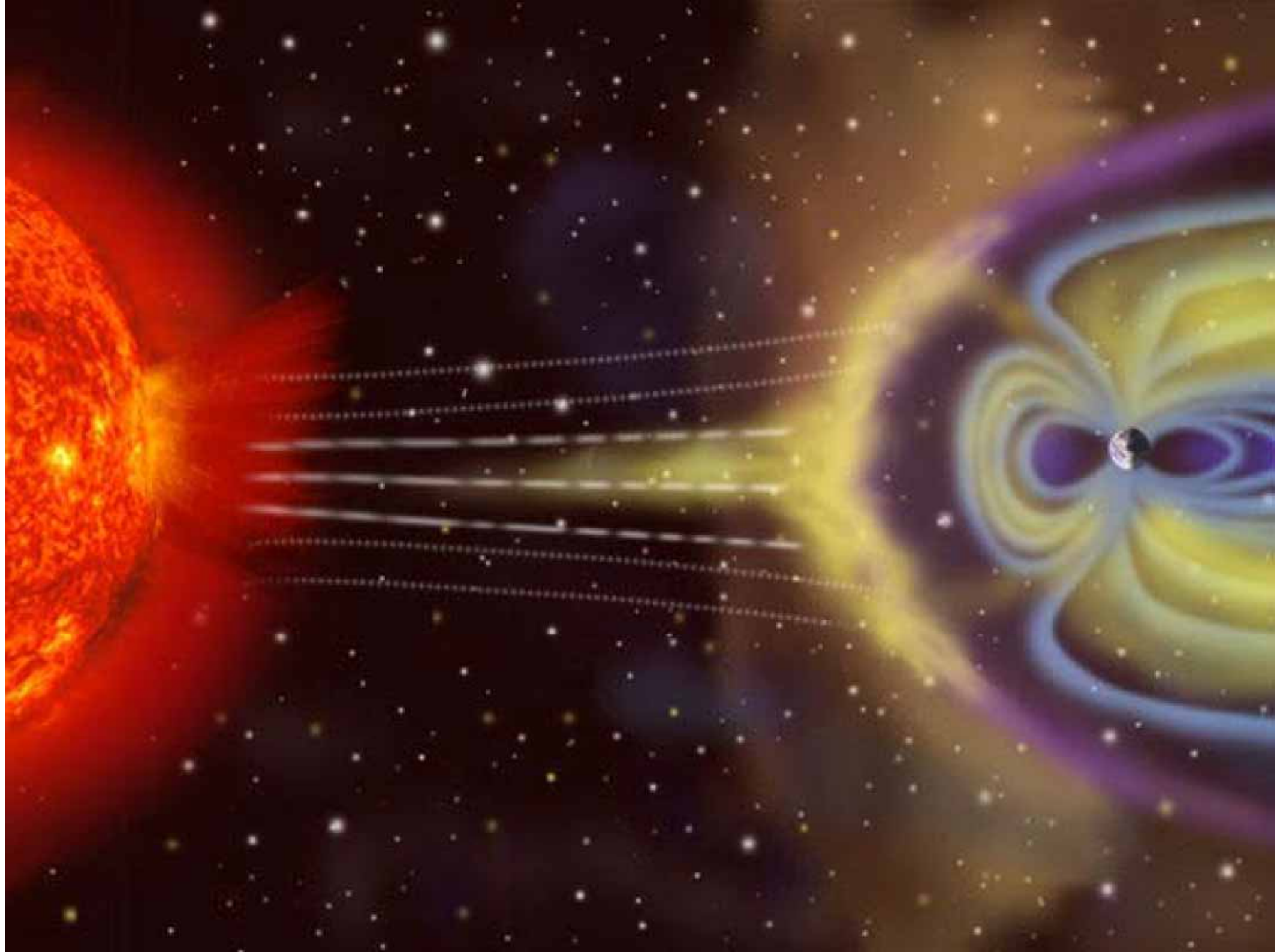
Variaciones temporales del CMT

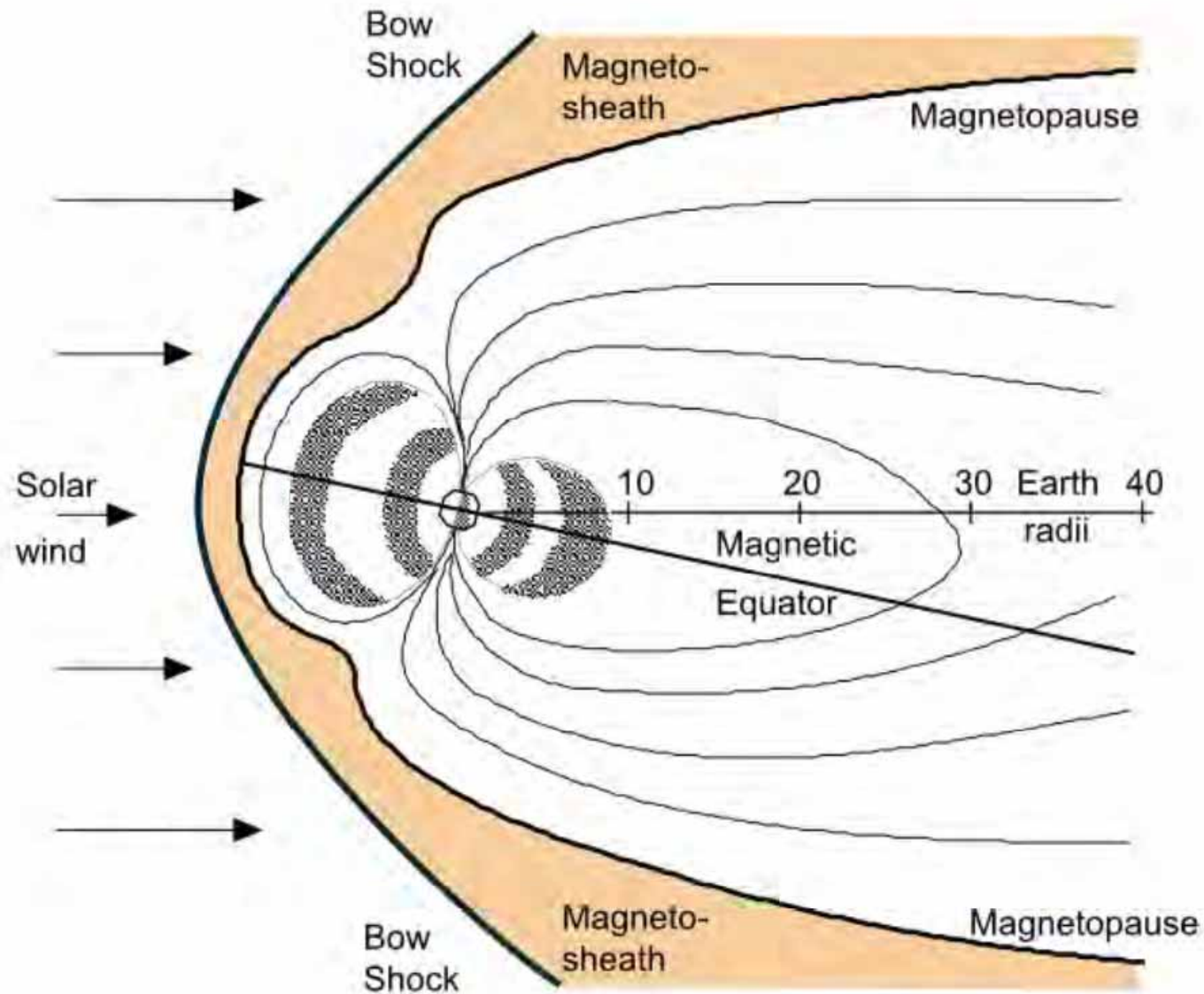
El examen del modo en que varían los coeficientes del IGRF a lo largo de los años permite separar dos rangos de variación:

- De origen externo: de plazo más corto (usualmente menor a 5 años)
- De origen interno: lentas y continuas a lo largo de los años (en períodos de polaridad estable).

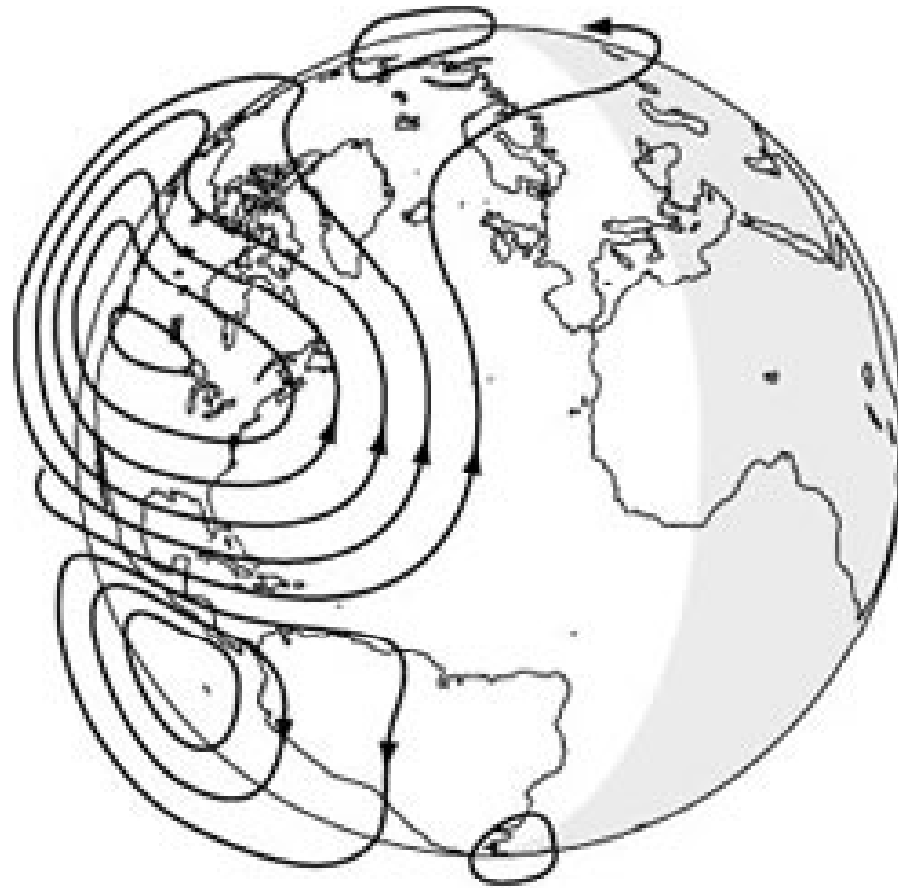
Variaciones seculares

$$V = a \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(\frac{r}{a} \right)^n T_n^e + \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} T_n^i \right)$$





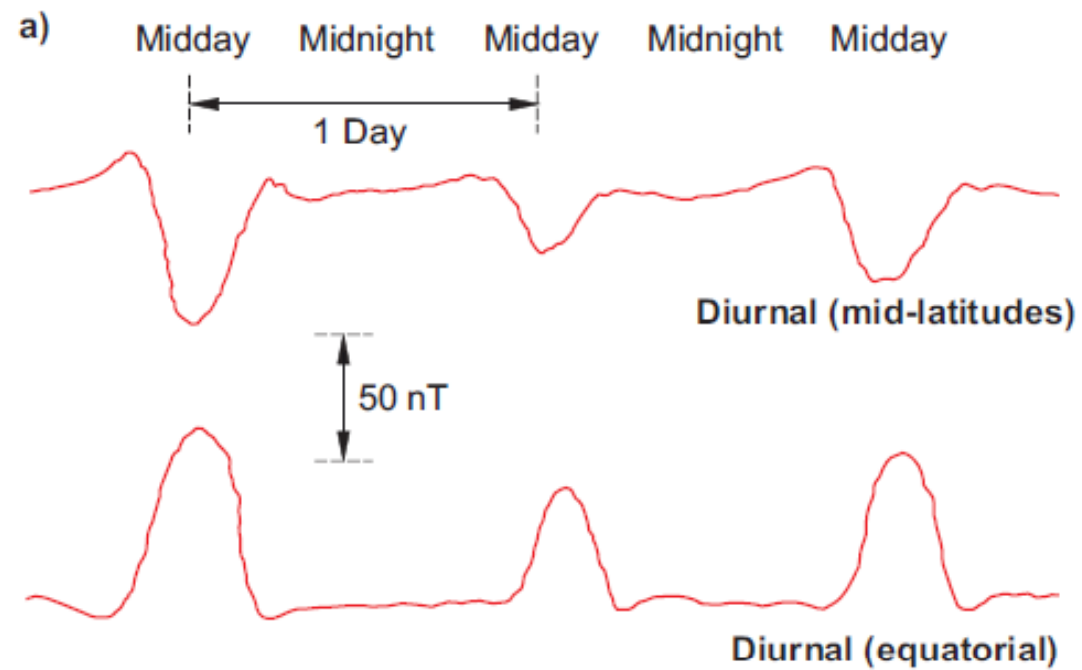
La emisión solar de radiación electromagnética es acompañada por gas ionizado. La magnetopausa es el paraboloide en el que el viento solar se equilibra con la presión magnética de la magnetosfera terrestre. Dentro de la magnetosfera se generan fajas de radiación de partículas.



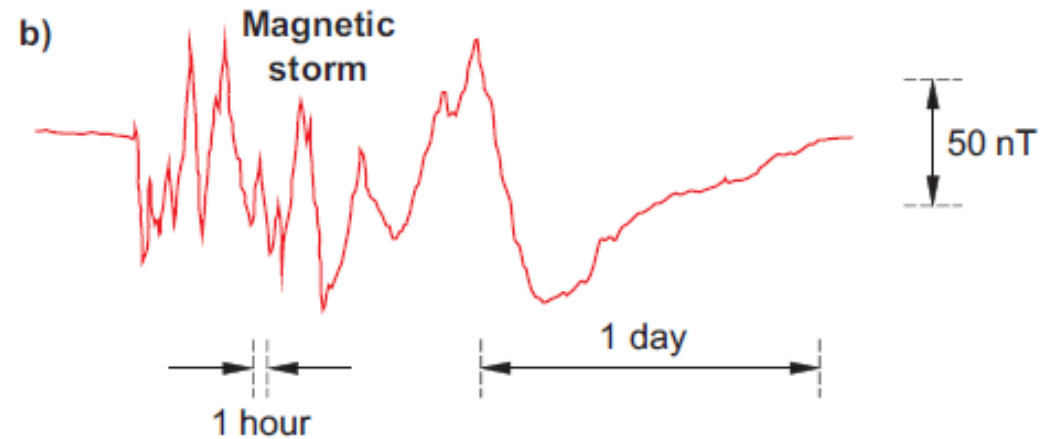
En el límite inferior de la magnetosfera se sitúa la ionosfera, entre 50 y 1500 km de la superficie terrestre.
Capa ionizada por la radiación solar, de la que dependen las telecomunicaciones.

Las moléculas ionizadas liberan nubes de electrones que forman corrientes horizontales en anillo, más intensas en el lado diurno, fuente de las variaciones de origen externo del CMT

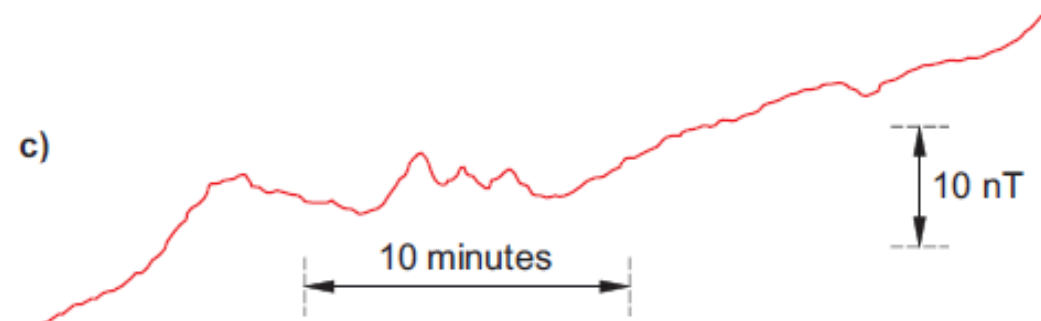
Variación diurna normal
(decenas de nT)

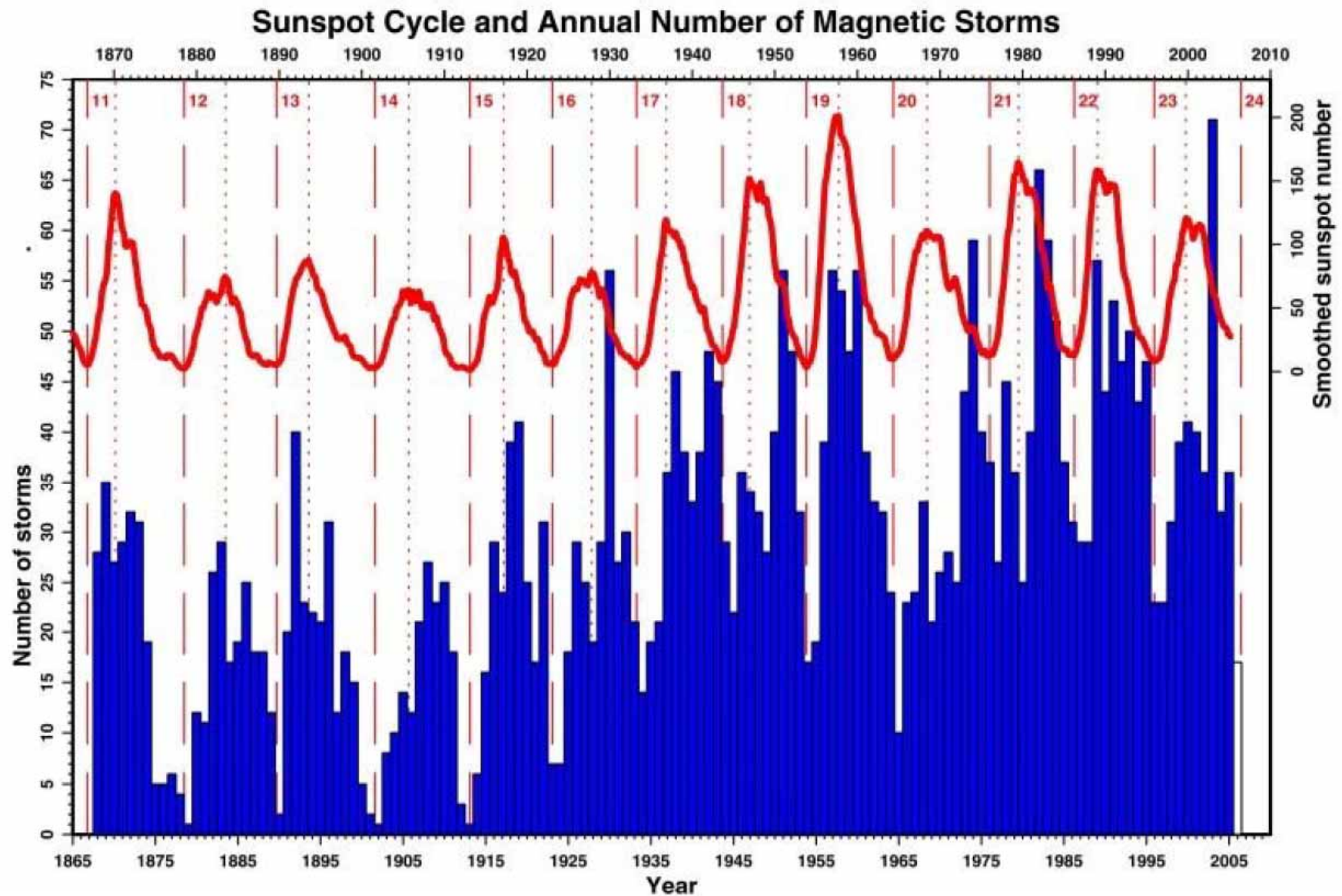


Tormentas magnéticas
(hasta 1000 nT)



Micropulsaciones





Variaciones irregulares se producen por tormentas y disturbios magnéticos. Su frecuencia tiene relación con los picos de actividad solar.

Campo magnético terrestre (CMT)

- Campo magnético instantáneo (actual)
- Variación temporal
- Origen: modelo de geodínamo
- Reversiones de polaridad

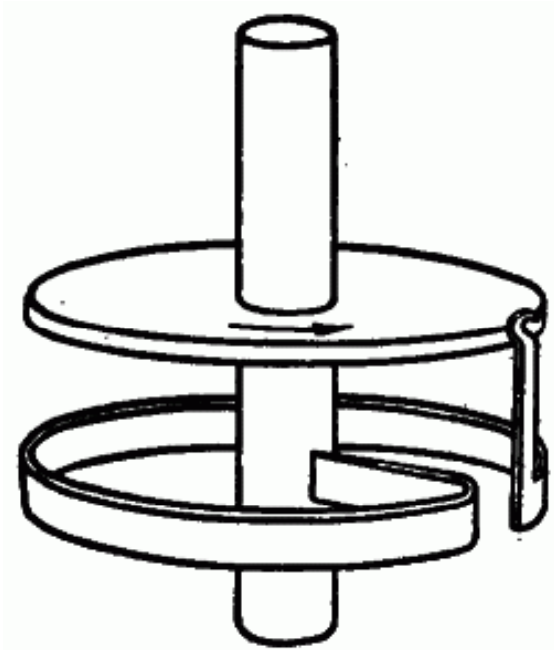
Causas (fuentes) del CMT

- Campo principal, generado en el núcleo fluido por un mecanismo de geodínamo
- Campo cortical, generado por las rocas magnetizadas en la corteza

Más estable

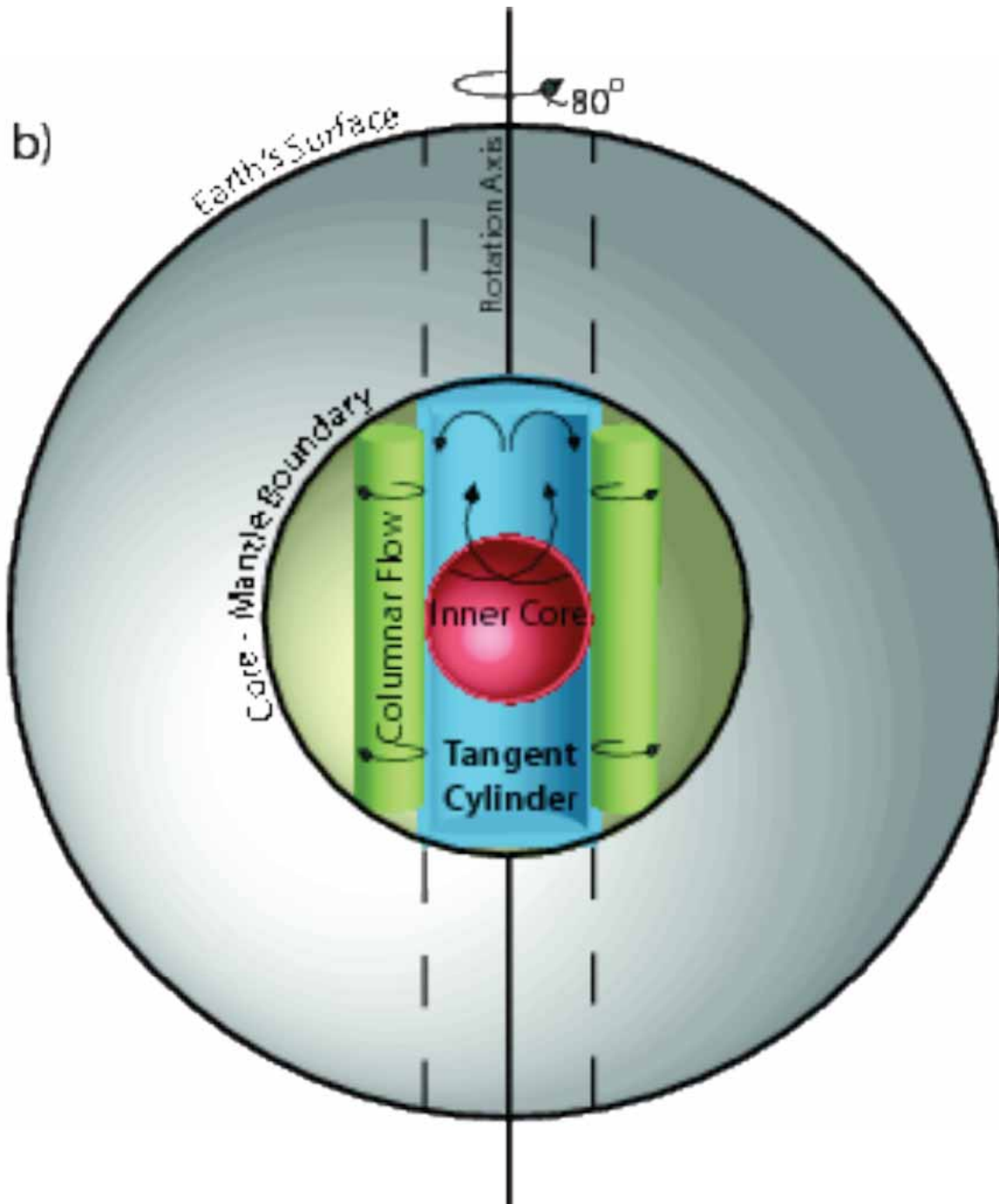
- Campo externo, producido por corrientes eléctricas que fluyen en la ionosfera y magnetosfera
- Campo resultante de la inducción electromagnética en la corteza y manto, por las variaciones del campo magnético externo

Variable



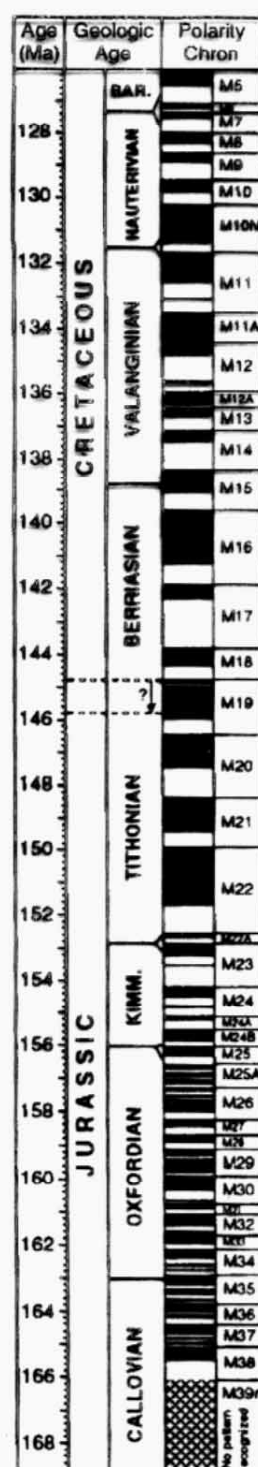
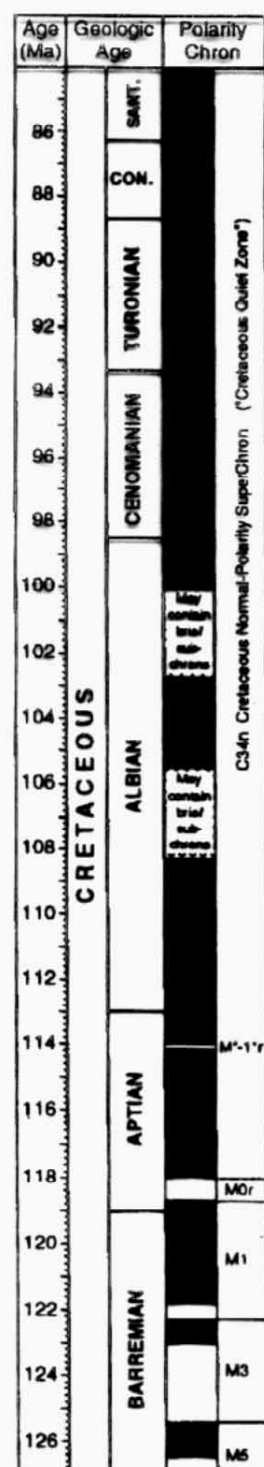
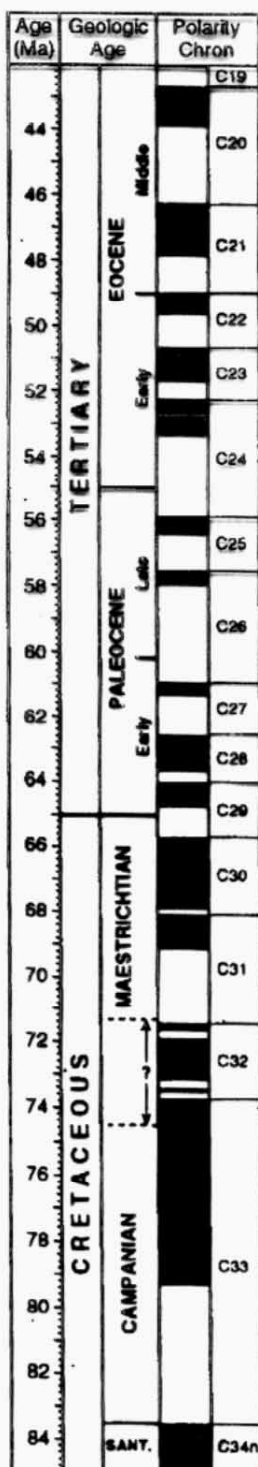
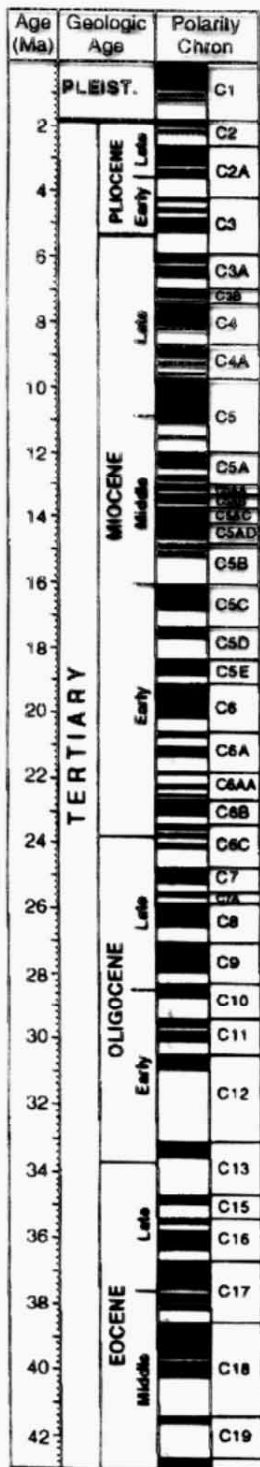
Dínamo: convierte rotación mecánica en energía, por el movimiento de un cuerpo conductor en un campo magnético estático.

Geodínamo



- Núcleo externo fluido compuesto de hierro (con Ni y otros elementos livianos), posiblemente a más de 3000°C . A esas temperaturas aún es un buen conductor de electricidad.
- Convección térmica y composicional
- Efecto Coriolis organiza el flujo helicoidalmente en columnas tangenciales

No debería haber polaridad preferencial

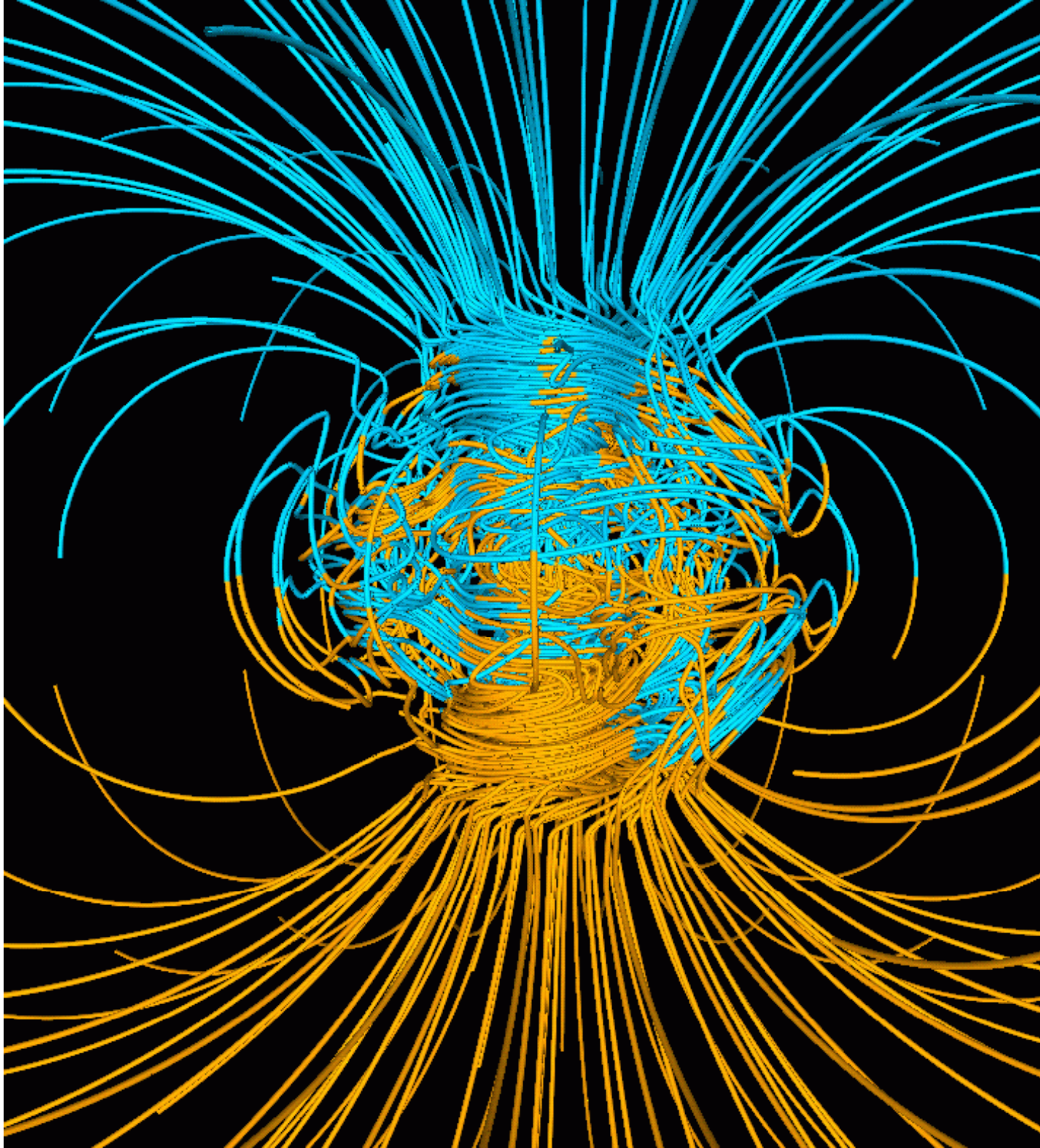


Cuadro patrón de reversiones de polaridad del CMT

4-5 reversiones por m.a. en los últimos 10 m.a.

Períodos largos sin reversiones (ej. Cretácico)

Ogg, 1997



Azul: líneas de
campo entrantes
Amarillo: salientes

Modelo de geodinamo
de Glatzmaier-Roberts
(1995), basado en
ecuaciones de
magnetohidrodinámica

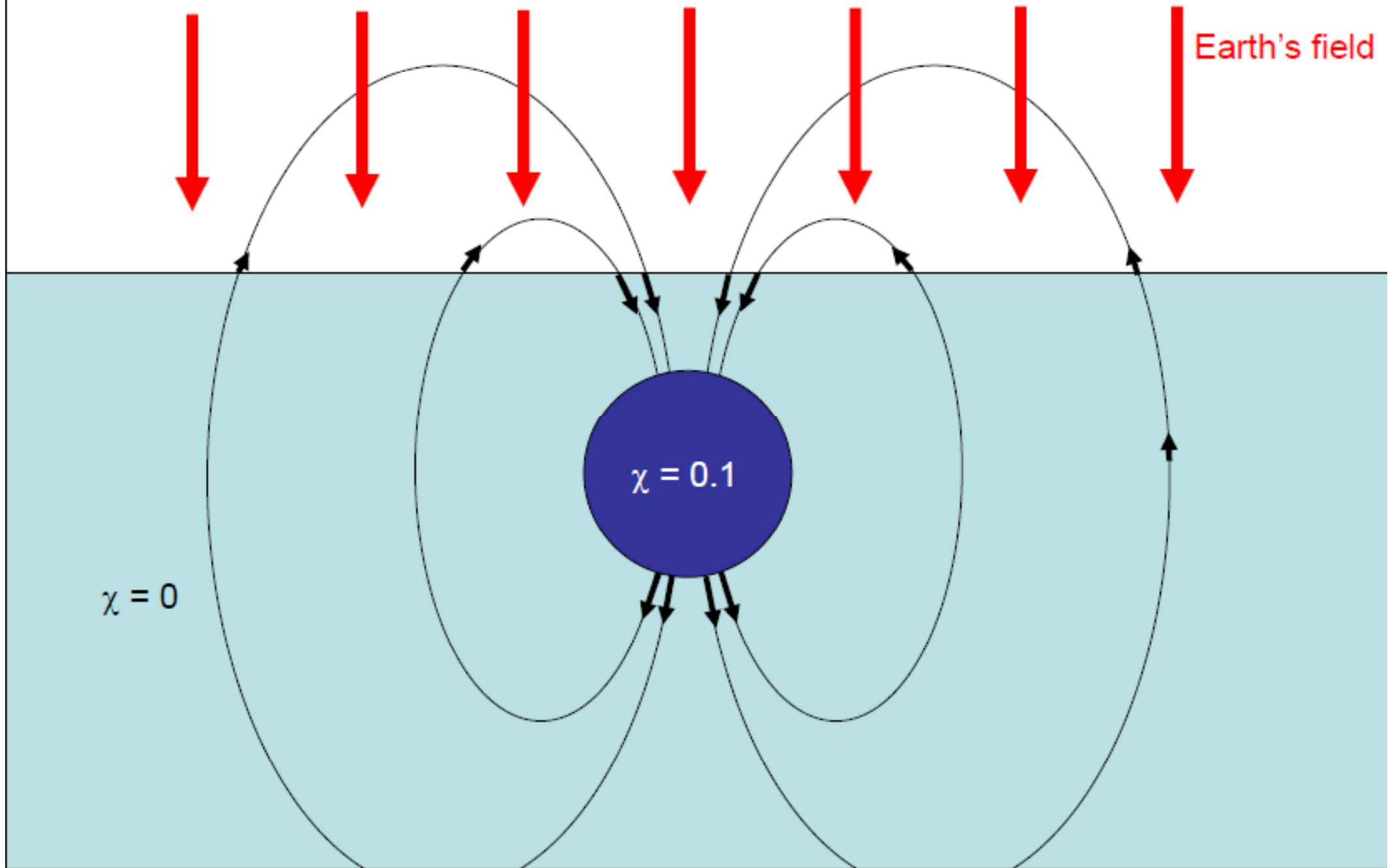
A partir del comportamiento observado en tiempos geológicos e históricos para el CMT, y de los modelos matemáticos, puede suponerse que:

- El acoplamiento electromagnético entre el núcleo externo (fluido) y el núcleo interno (sólido) tiende a estabilizar la polaridad del CMT (inhibiendo las reversiones)
- Las condiciones necesarias para que el campo revierta su polaridad, se verían favorecidas por inhomogeneidades en el flujo térmico en el límite manto-núcleo.
- Las reversiones de polaridad se producen espontáneamente de un modo no periódico.

Fuentes de variación de la intensidad del campo magnético

Nos interesan las variaciones que se puedan registrar en el relevamiento geofísico:

- Variación regional debida a la inhomogeneidad del campo principal
- Variación temporal rápida del campo magnético terrestre
- Variación local debida a la presencia de cuerpos magnetizados en el subsuelo



El CMT puede no ser homogéneo a lo largo del relevamiento.

De las variaciones temporales, sólo influirá la variación diurna, que se debe corregir, para lo cual es necesario registrarla

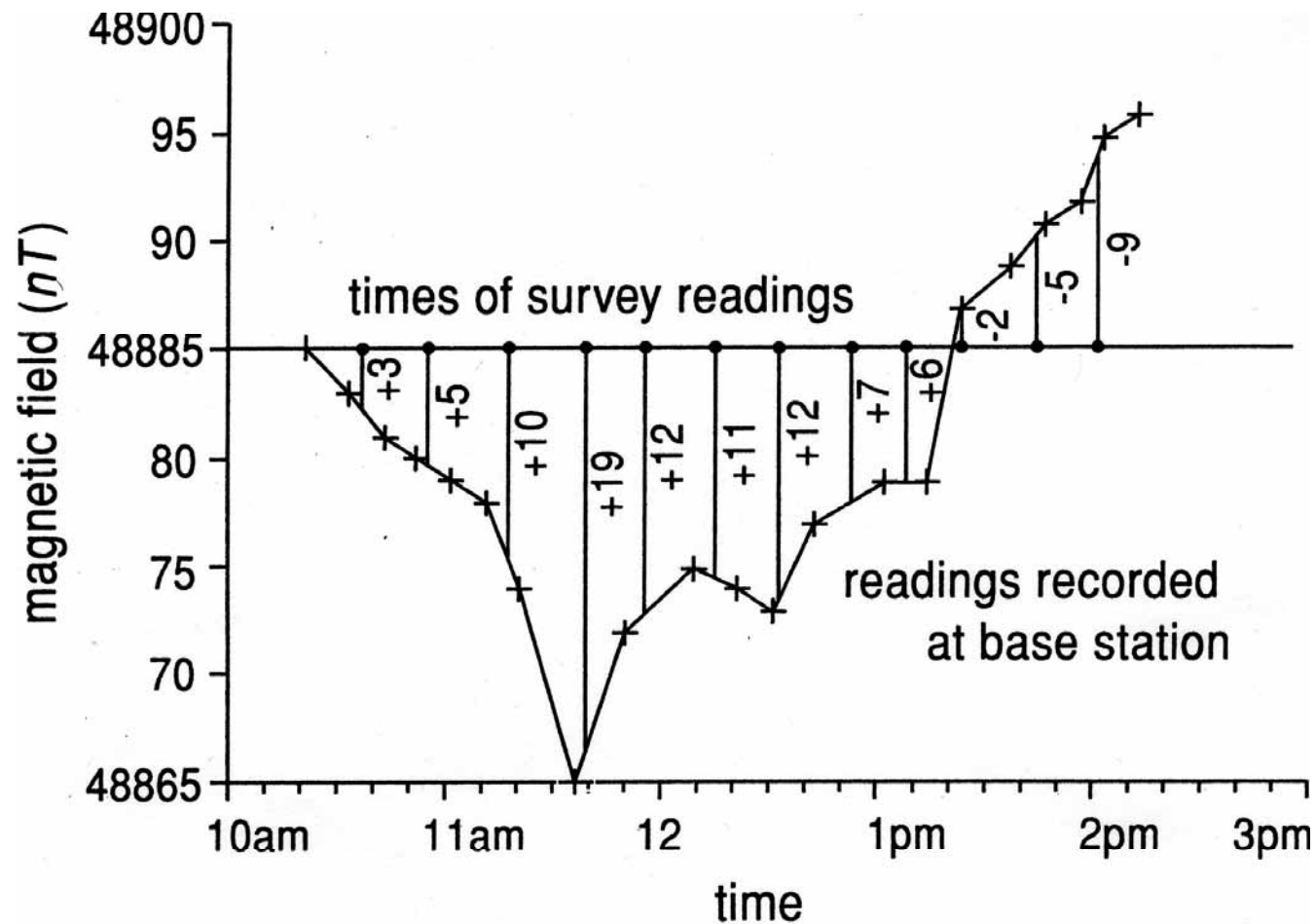


Figure 11.6 Correcting for diurnal variation.

Las variaciones regionales del CMT que no sean debidas a fuentes corticales, están contempladas en el IGRF. El cálculo del IGRF es posible en numerosos sitios de acceso público



Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada

Canada

Français	Contact us	Help	Search	Canada site
ESS Home	Priorities	Products & services	About the Sector	Site map



Geomagnetism Magnetic field calculator

Geomagnetism

► Home

Earth's magnetic field

► Introduction

► Magnetic components

► Generation of the Earth's magnetic field

► Secular variation

► Magnetic declination

► Calculator

► Arctic regions

► Using a compass

► Magnetic field reference models

► Canadian Geomagnetic Reference Field (CGRF)

This calculator may be used to calculate values of all [seven magnetic components](#): D, I, H, Z, F, X, Y. The [Canadian Geomagnetic Reference Field](#) is used to compute values within Canada and adjacent area. The [International Geomagnetic Reference Field](#) is used elsewhere in the world.

Enter latitude & longitude or choose a city:

Year: Month: Day:

Latitude: degrees, minutes (☒ North ☐ South)

Longitude: degrees minutes (☒ West ☐ East)

Year: 2008 10 06 Latitude: 43 ° 39' North Longitude: 79 ° 23' West

Calculated magnetic field components:

[explain](#) D,I,H,Z,F,X,Y

D (°)	I (°)	H (nT)	Z (nT)	F (nT)	X (nT)	Y (nT)
-10.608	70.508	18317.	51750.	54897.	18004.	-3372.

