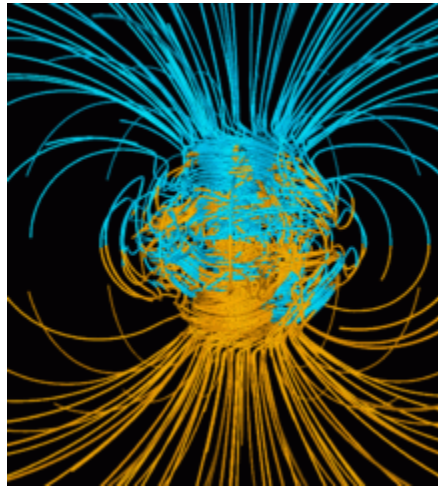


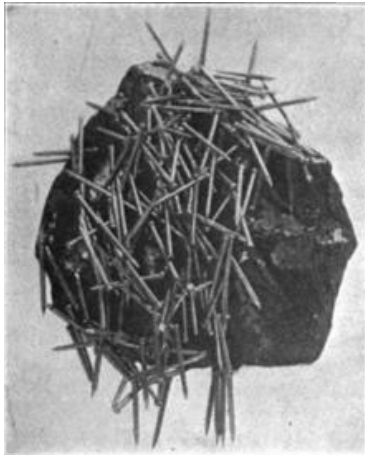
Campo magnético terrestre



Fenómenos magnéticos



Primer reporte sobre piedra *magneto* (proveniente de Magnesia, Anatolia). Atracción de hierro y otras piedras magneticas. Tales de Mileto (VI AC)



Aunqu e no lo veamos....



Primer compás magnético
Dinastia Han 206AC



Uso en navegación desde siglo XI

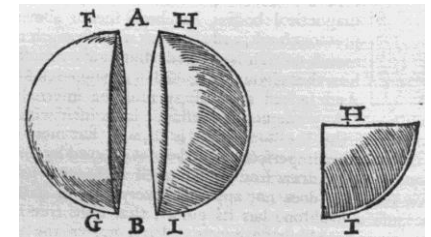
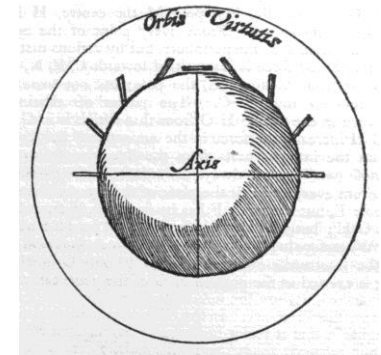
De Magnete



William Gilbert (1544-1603)

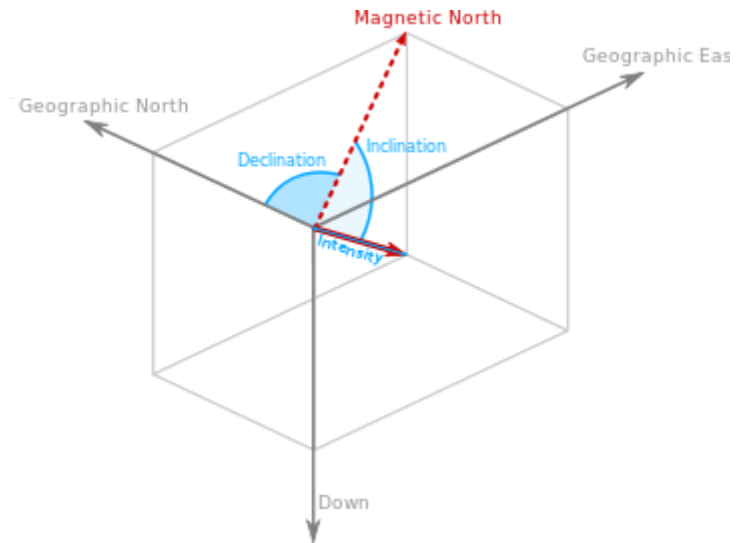
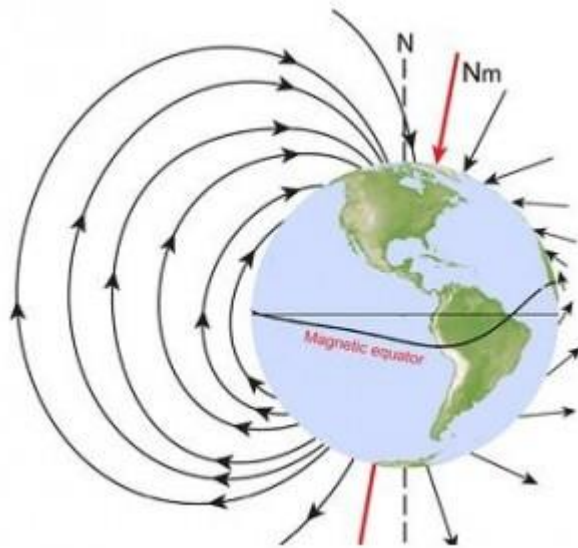


terrella

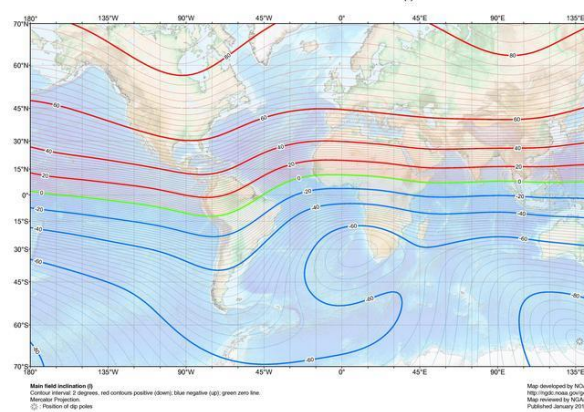


- ✓ Primero en proponer que la Tierra actúa como magneto
- ✓ Explica: agujas de compás magnético apuntan al norte (**declinación magnética**), y dirección respecto a la superficie (**inclinación magnética**)
- ✓ Propone que el centro de la tierra compuesto de *hierro*
- ✓ Notó que al cortar un imán se obtienen 2 imanes.
- ✓ Es el que sugiere el nombre de *electricus* para describir fenómenos relacionados con frotamiento del ambar.

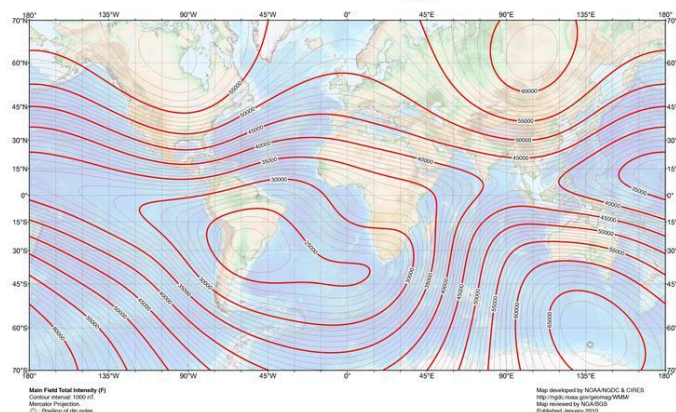
Descripción del **B** terrestre



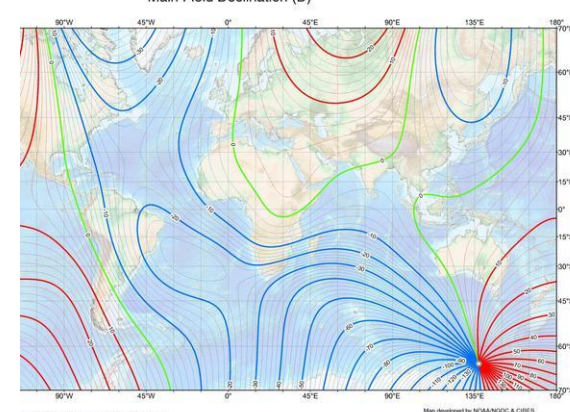
US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0
Main Field Inclination (I)



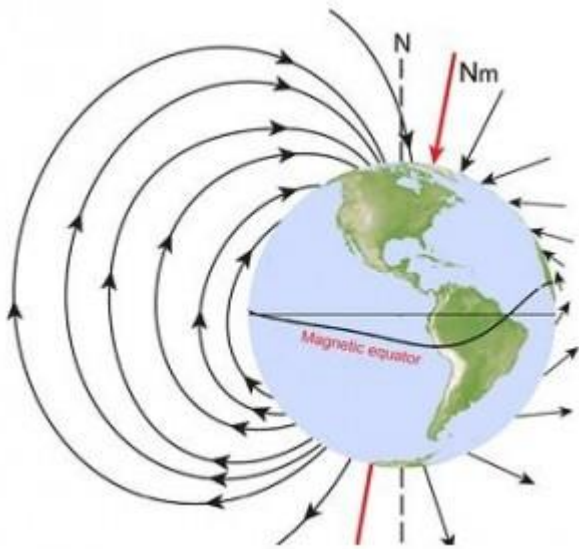
US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0
Main Field Total Intensity (F)



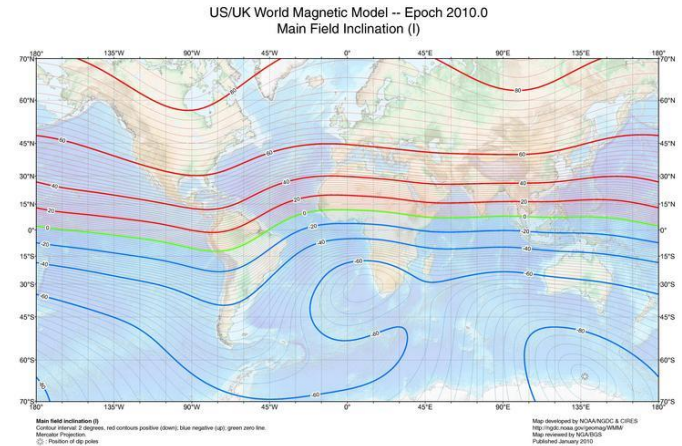
US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0
Main Field Declination (D)



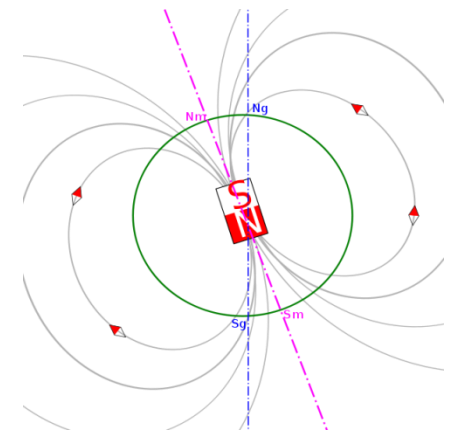
Polos Magnéticos



Definición local:
Inclinación = 90



Definición global: a
partir de modelo
dipolar magnético

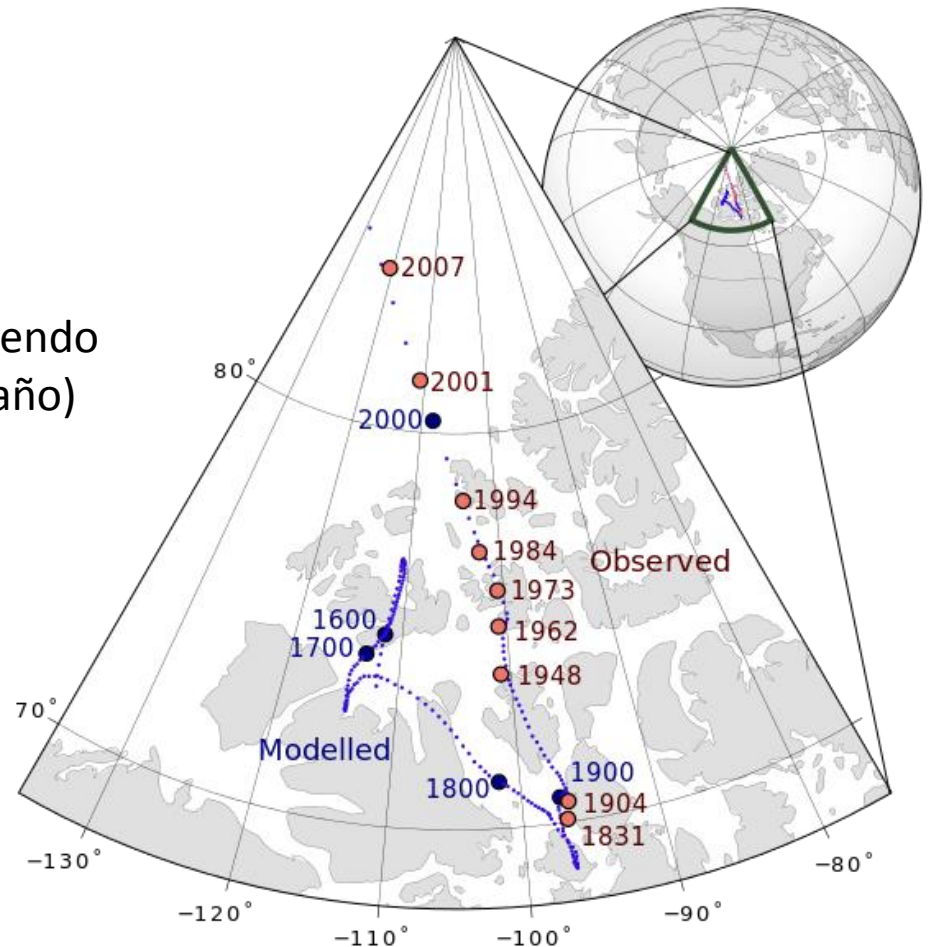


La localización de los polos de ambas definiciones no suelen coincidir

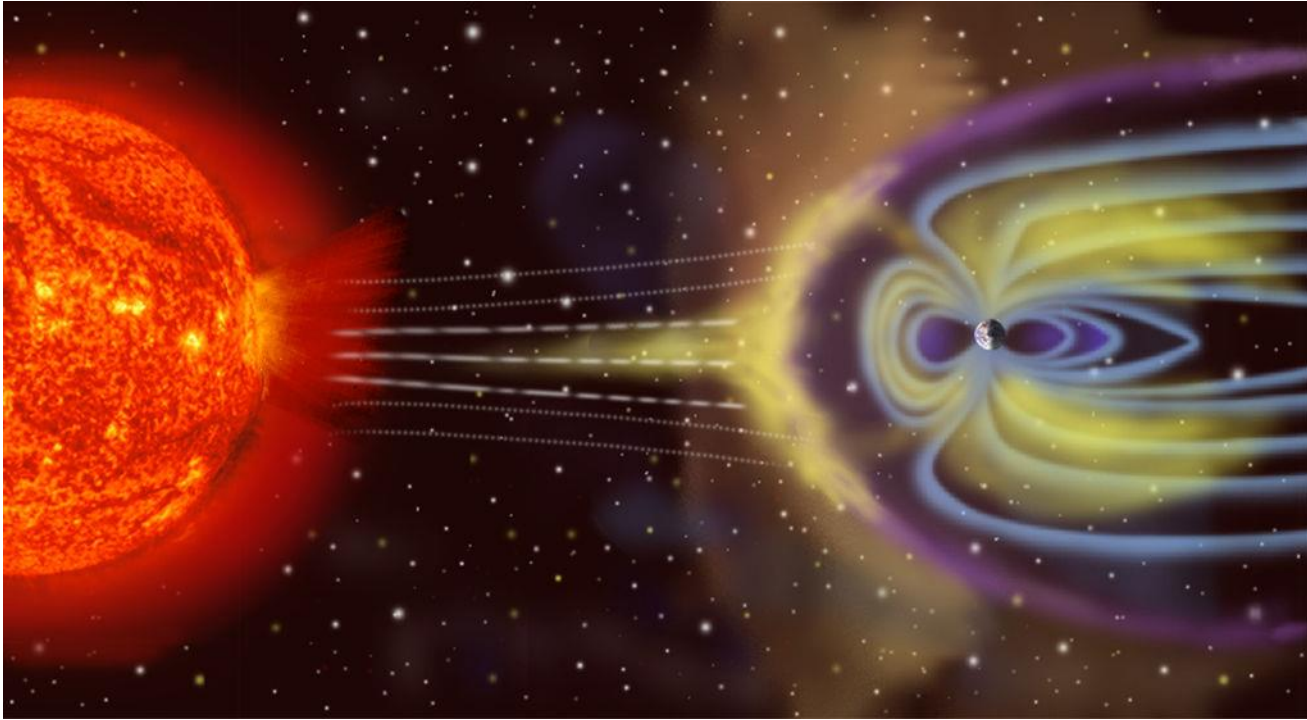
Polos Magnéticos

Los polos magnéticos **se mueven**, y lo hacen de manera independiente.

El polo norte por ejemplo se está moviendo por el ártico Canadiense (hasta 40km/año)



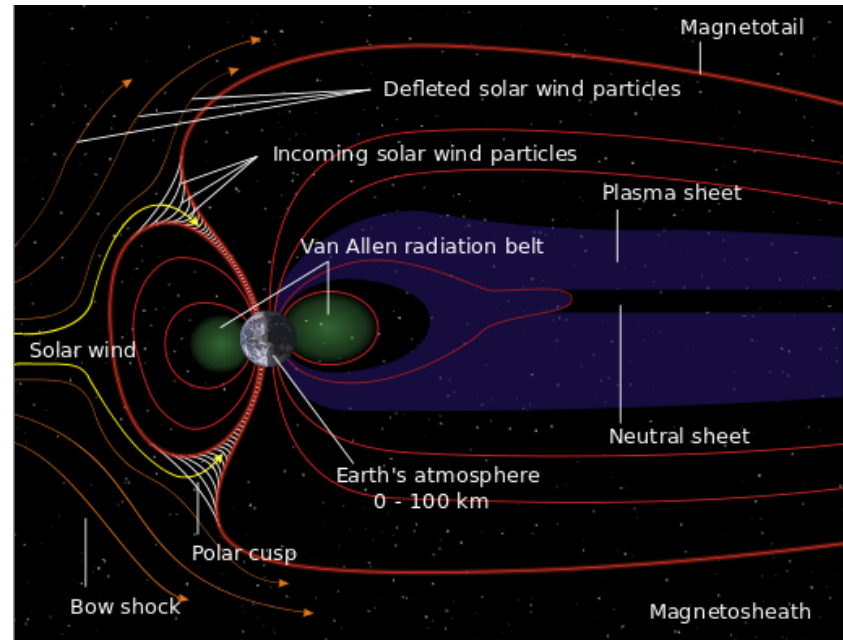
Magnetósfera



- ✓ Área del espacio, cercana a un objeto astronómico, en la cual partículas cargadas interactúan con el campo magnético del objeto.
- ✓ Partículas cargadas de alta energía ($\sim 200\text{-}1000\text{ km/s}$) son emitidas desde el Sol dando lugar al **viento solar**, que deforma al campo magnético terrestre.
- ✓ Proceso involucra: flujos de masa + flujos de carga + fluidos conductores + campos electromagnéticos: **magnetohidrodinámica**

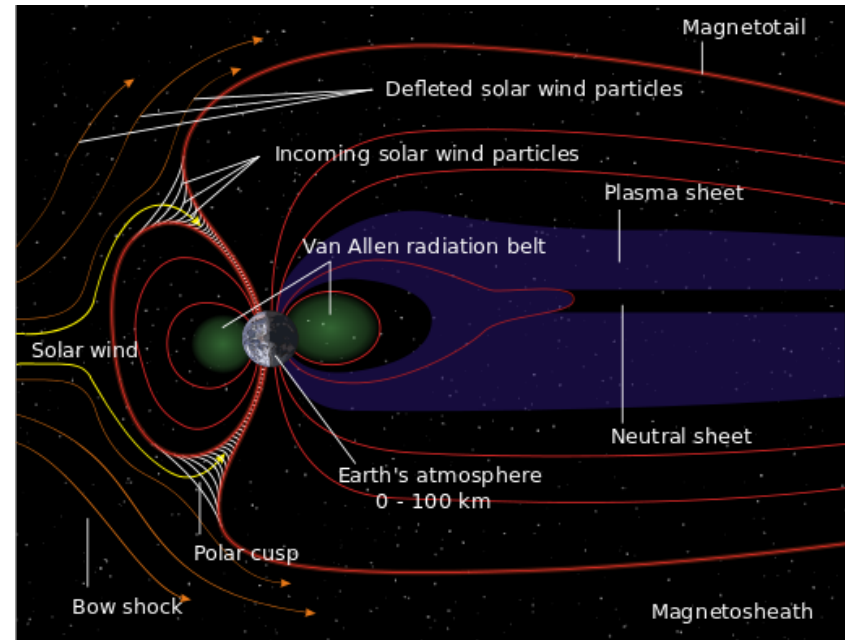
Magnetósfera

- ✓ En ausencia de **B** terrestre, el viento solar y rayos cósmicos erosionarían la atmósfera.
- ✓ Se distinguen varias zonas de acuerdo a las características de la interacción entre viento solar y campo magnético.
 - ✓ *Bow shock*: zona de frenado del viento.
 - ✓ *Magnetopause*: zona donde se igualan presiones.
 - ✓ *Magnetotails*: zona de *sombra* muy extendida opuesta al Sol
 - ✓ *Plasmasphere*: zona tipo dona desde 60km de altura hasta 3-4 radios terrestres. Esta región rota con la Tierra, incluye a la *ionosphere*

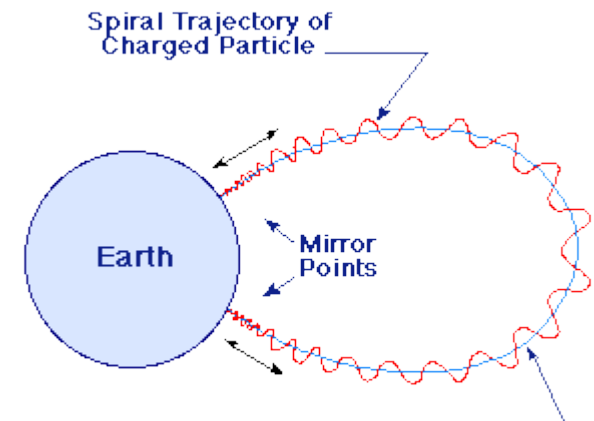
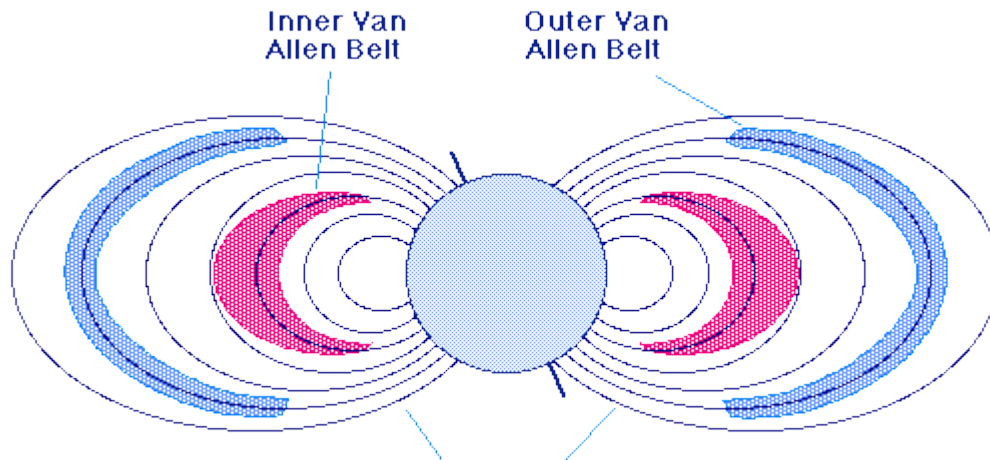


Magnetósfera

- ✓ Se distinguen varias zonas de acuerdo a las características de la interacción entre viento solar y campo magnético.

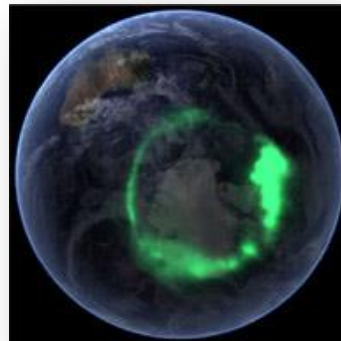
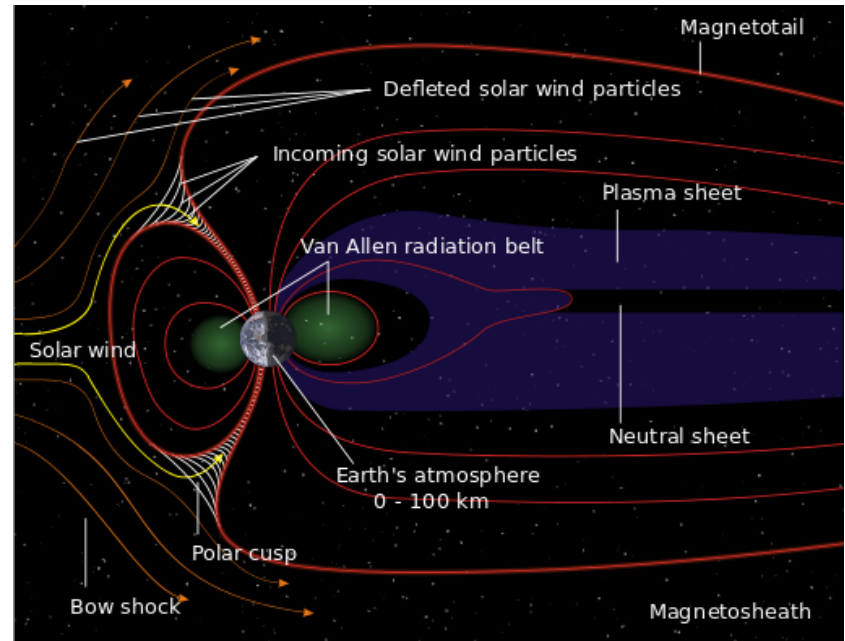
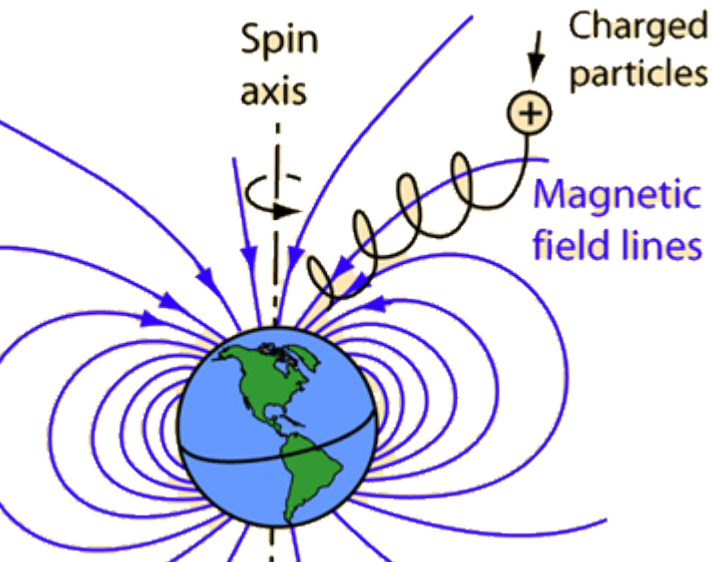


- ✓ Anillos de Van Allen:



Magnetósfera

- ✓ Se distinguen varias zonas de acuerdo a las características de la interacción entre viento solar y campo magnético.
- ✓ Partículas que logran atravesar la ionósfera son las responsables de la aparición de auroras boreales/australes

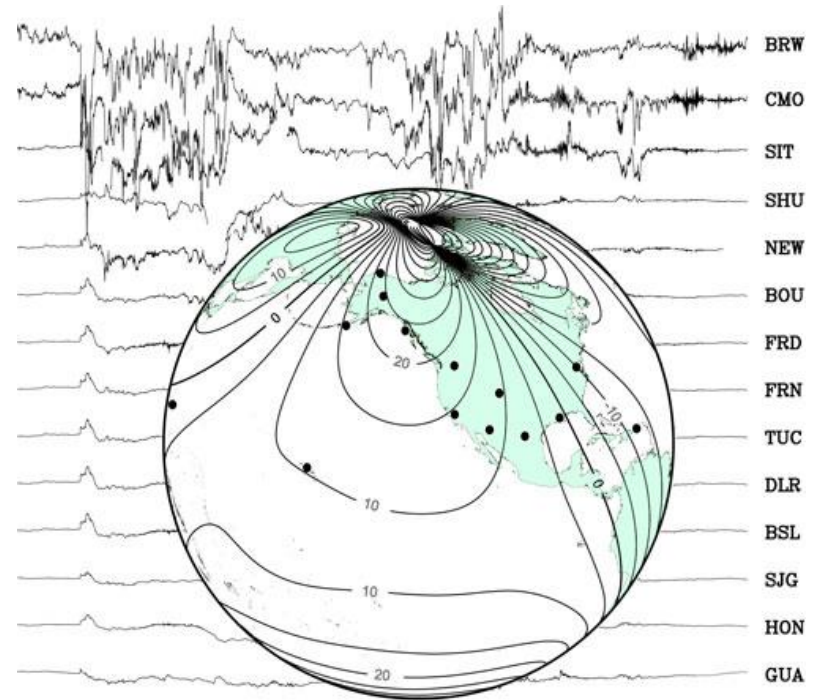


El **B** terrestre varía en el tiempo

Variaciones rápidas (10^{-3} s - 10^7 s)

- ✓ Corrientes en la magnetósfera / ionósfera ($\tau \sim$ seg)
- ✓ Tormentas magnéticas ($\tau \sim$ hora)
- ✓ Cambios en el núcleo terrestre ($\tau < \sim$ año)

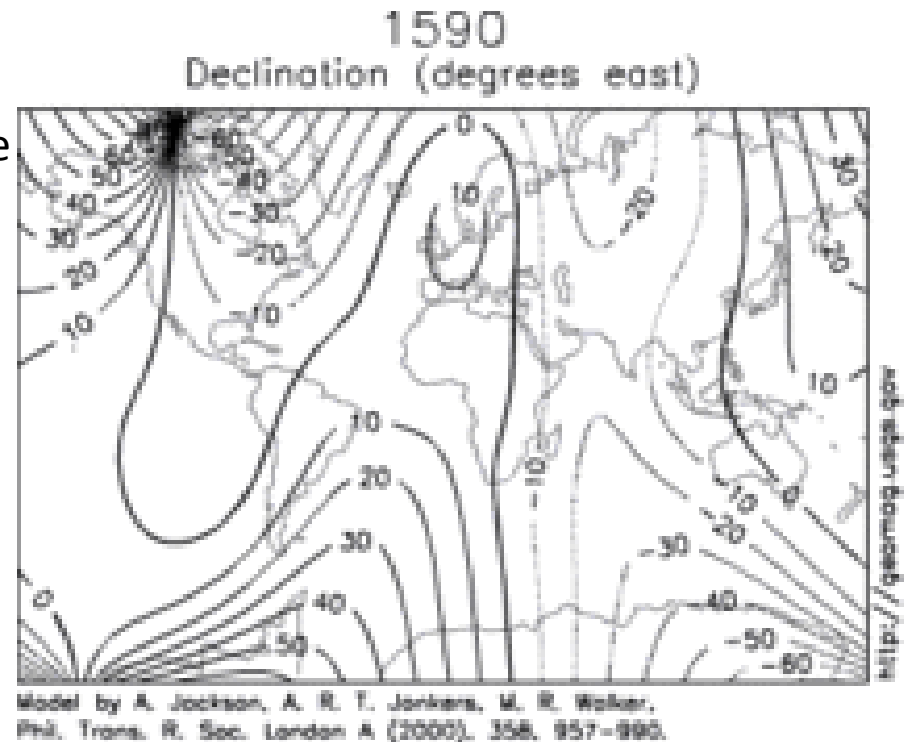
Registros de tormenta magnética (2000)



El **B** terrestre varía en el tiempo

Variaciones seculares ($\tau > \text{año}$)

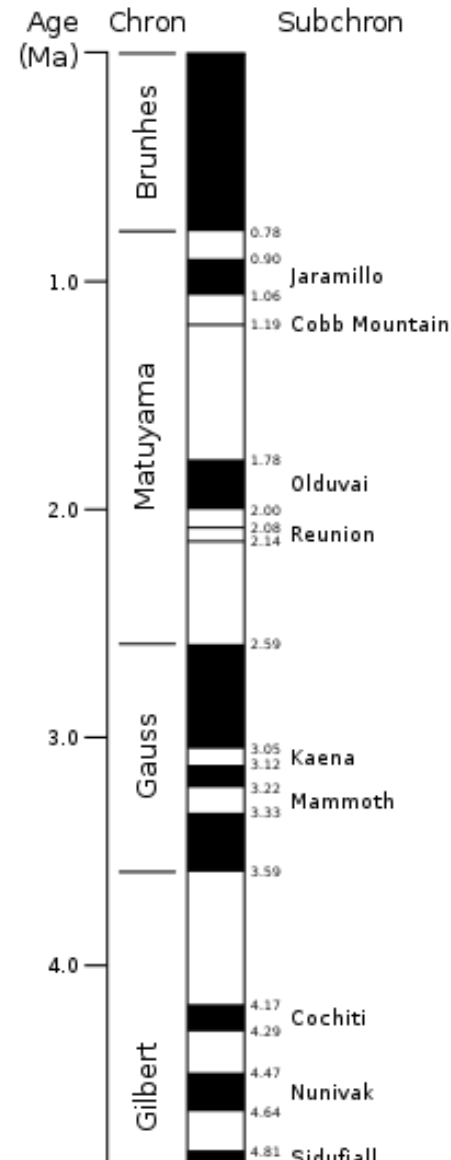
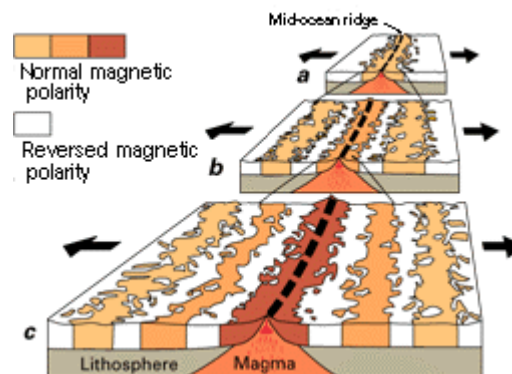
- ✓ Cambio continuo de intensidad y orientación del *dipolo magnético* terrestre
- ✓ El campo viene disminuyendo en intensidad un 6-10% los últimos 200 años
- ✓ Evidencia geológica de **inversión de polaridad!**



Reversión del campo B

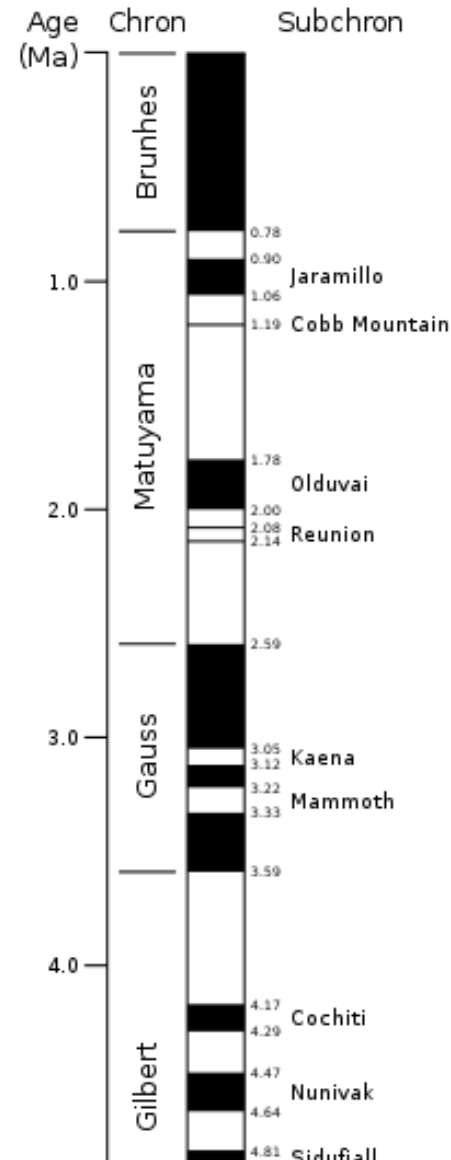
- ✓ Evidencia geológica de reversión del campo: basaltos, suelos de fondos marinos.
- ✓ Campos magnéticos 'registrados' en orden magnético de
 - ✓ materiales ferromagnético como la *magnetita*,
 - ✓ Flujos de lava donde al enfriarse pequeñas partículas magnéticas quedan alineadas al **B** del momento: ***magnetización termo-remanente***
 - ✓ Sesgo de alineamiento de partículas magnéticas en sedimentos ***detrital remanent magnetization***
- ✓ Evidencia **fundamental** para sostener la teoría de tectónica de placas

Tiras magnéticas



Reversión del campo B

- ✓ Evidencia geológica de reversión del campo: basaltos, suelos de fondos marinos.
- ✓ Campos magnéticos 'registrados' en orden magnético de
- ✓ Evidencia fundamental para sostener la teoría de tectónica de placas
- ✓ Reversiones parecen ocurrir aleatoriamente. La más reciente: Brunhes–Matuyama, ocurrió ~780,000 años.
- ✓ Se desconoce cuánto dura el período de reversión en sí.
 - ✓ Steens Mountain, Oregon (6 grados/día)
 - ✓ Battle Mountain, Nevada (53grados/año) Lava enfriada, recalentada y vuelta a enfriar (Bogue, *Geophysical Research Letters*, 2010)
- ✓ No hay registros fósiles de eventos 'raros' ligados a las reversiones. Sabemos poco sobre los posibles efectos concretos de no tener campo (especies ancestrales muy resistentes a mutaciones??)



Origen del **B** terrestre

Ingredientes para generar (y sostener) un campo **B**

Núcleo interno:

- ✓ De hierro sólido
- ✓ Muy caliente (5000K)
- ✓ Gira a su propio ritmo (0.2° /año más rápido que la sup.)

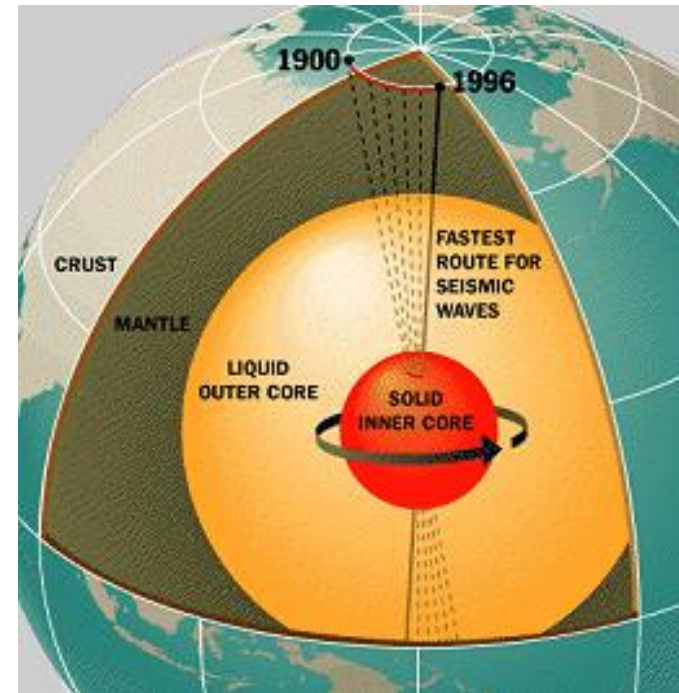
Núcleo externo:

- ✓ mar de hierro líquido (3800K)
- ✓ Convección, turbulencia...

Rotación de la Tierra

- ✓ Fzas de Coriolis para la dinámica del núcleo externo. Formación de vorticidad, efectos tipo columnas de Taylor.
- ✓ Notar que Venus (día de 243 días terrestres) no tiene **B**
- ✓ Notar que Marte (mas frio) tampoco (10^{-4} veces el terrestre)

Campo Magnético Interplanetario

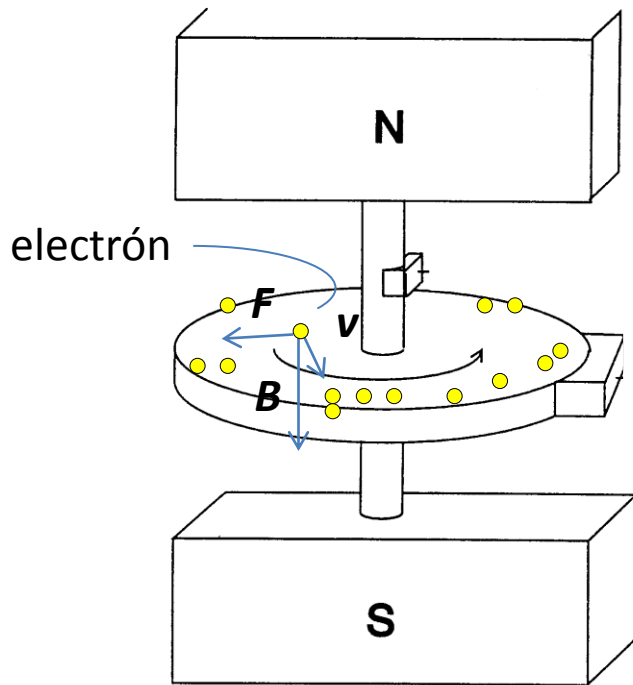


Modelo magnetohidrodinámico: el geodínamo

Efecto Dínamo

Disco de Faraday

Generación de corrientes a partir de **B** y conductor en movimiento



$$F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

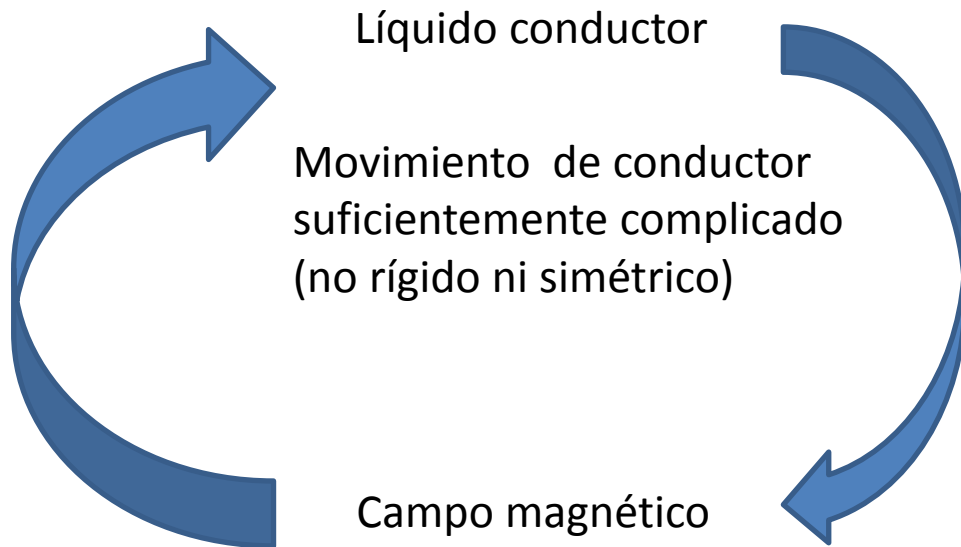


Dos ingredientes para generar corriente:

- ✓ conductor en movimiento
- ✓ campo magnético (fijo y externo)

Podría ser que la corriente generada fuera la que creara el **B** necesario para seguir generando más corriente? (el huevo y la gallina)

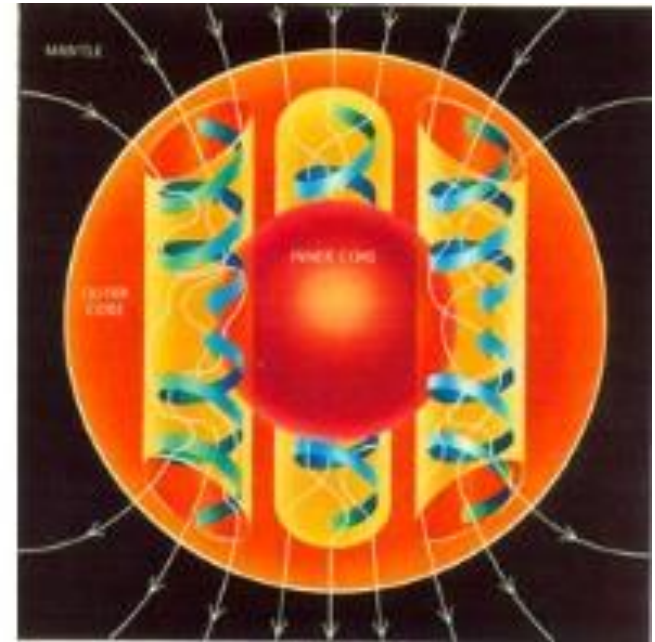
Geodínamo



- Corrientes generan **B**
- **B(t)** genera **E** (ley de Faraday)
- **E** y **B** actúan sobre cargas en movimiento (Fza Lorentz)

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \eta \nabla^2 \mathbf{B} + \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B})$$

Ecuación de inducción magnética



Esquema de generación de **B** por el movimiento de fluido organizado en columnas de Taylor (efecto de Coriolis)

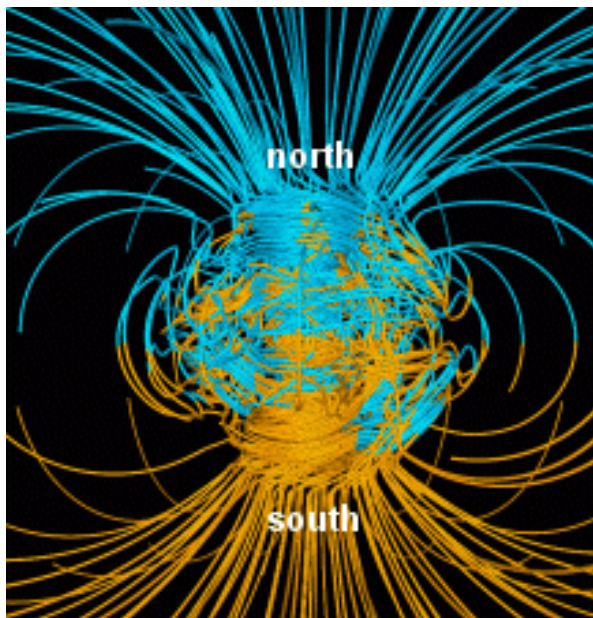
Geodínamo

Rotation and Magnetism of Earth's Inner Core

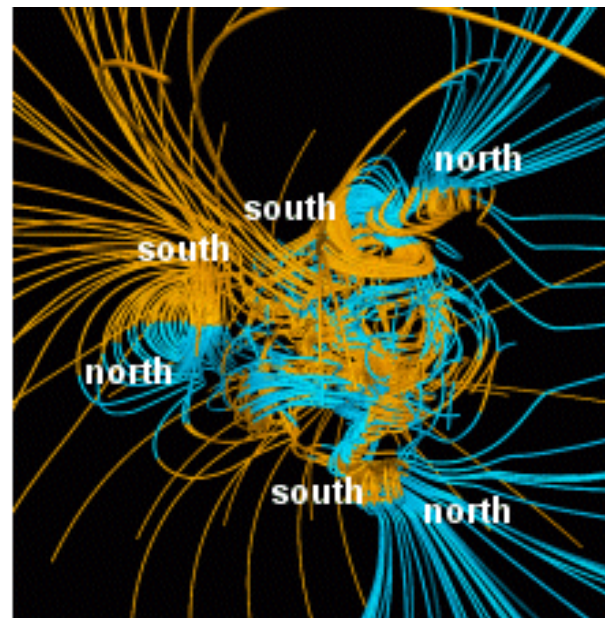
Gary A. Glatzmaier* and Paul H. Roberts

Three-dimensional numerical simulations of the geodynamo suggest that a super-rotation of Earth's solid inner core relative to the mantle is maintained by magnetic coupling between the inner core and an eastward thermal wind in the fluid outer core. This mechanism, which is analogous to a synchronous motor, also plays a fundamental role in the generation of Earth's magnetic field.

Science 1996



between reversals



during a reversal

Magnetismo animal

- ✓ Existe evidencia de especies animales sensibles al **B**. Utilización para orientación y navegación.



Petirrojo europeo

Science 7 April 1972:
Vol. 176 no. 4030 pp. 62-64
DOI: 10.1126/science.176.4030.62

REPORTS

Magnetic Compass of European Robins

Wolfgang Wiltschko¹, Roswitha Wiltschko¹

NATURE | LETTER

[日本語要約](#)

Anthropogenic electromagnetic noise disrupts magnetic compass orientation in a migratory bird

[Svenja Engels](#), [Nils-Lasse Schneider](#), [Nele Lefeldt](#), [Christine Maira Hein](#), [Manuela Zapka](#), [Andreas Michalik](#), [Dana Elbers](#), [Achim Kittel](#), [P. J. Hore](#) & [Henrik Mouritsen](#)

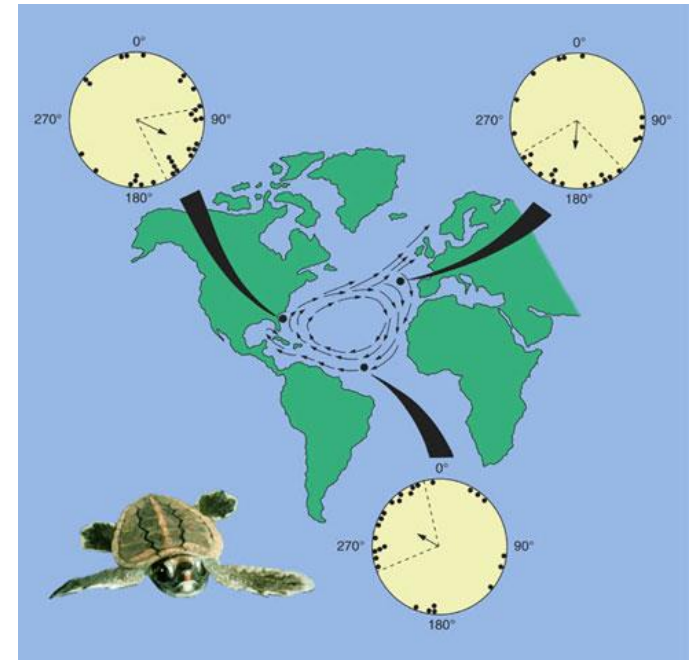
[Affiliations](#) | [Contributions](#) | [Corresponding author](#)

Nature **509**, 353–356 (15 May 2014) | doi:10.1038/nature13290

Received 28 January 2014 | Accepted 28 March 2014 | Published online 07 May 2014

Magnetismo animal

- ✓ Existe evidencia de especies animales sensibles al **B**. Utilización para orientación y navegación.



The Journal of Experimental Biology 199, 75-81 (1996)
Printed in Great Britain © The Company of Biologists Limited 1996
JEB01110

ORIENTATION AND OPEN-SEA NAVIGATION IN SEA TURTLES

KENNETH J. LOHMANN AND CATHERINE M. F. LOHMANN

Department of Biology, University of North Carolina, Chapel Hill, NC 27599-3280, USA

Magnetismo animal

- ✓ Existe evidencia de especies animales sensibles al **B**. Utilización para orientación y navegación.



ARTICLE

Received 6 Apr 2014 | Accepted 19 May 2014 | Published 24 Jun 2014

DOI: 10.1038/ncomms5164

OPEN

A magnetic compass aids monarch butterfly migration

Patrick A. Guerra¹, Robert J. Gegear² & Steven M. Reppert¹

Magnetismo animal

- ✓ Existe evidencia de especies animales sensibles al **B**. Utilización para orientación y navegación.



Joe Kirschvink (~1990) sugiere que ballenas navegan por 'canales' de bajo **B** que atraviesan el oceano. Encontro que los puntos donde encallan se corresponden con líneas de campo de valores mínimos de **B** que penetran a la costa. **OJO**

Terminamos !