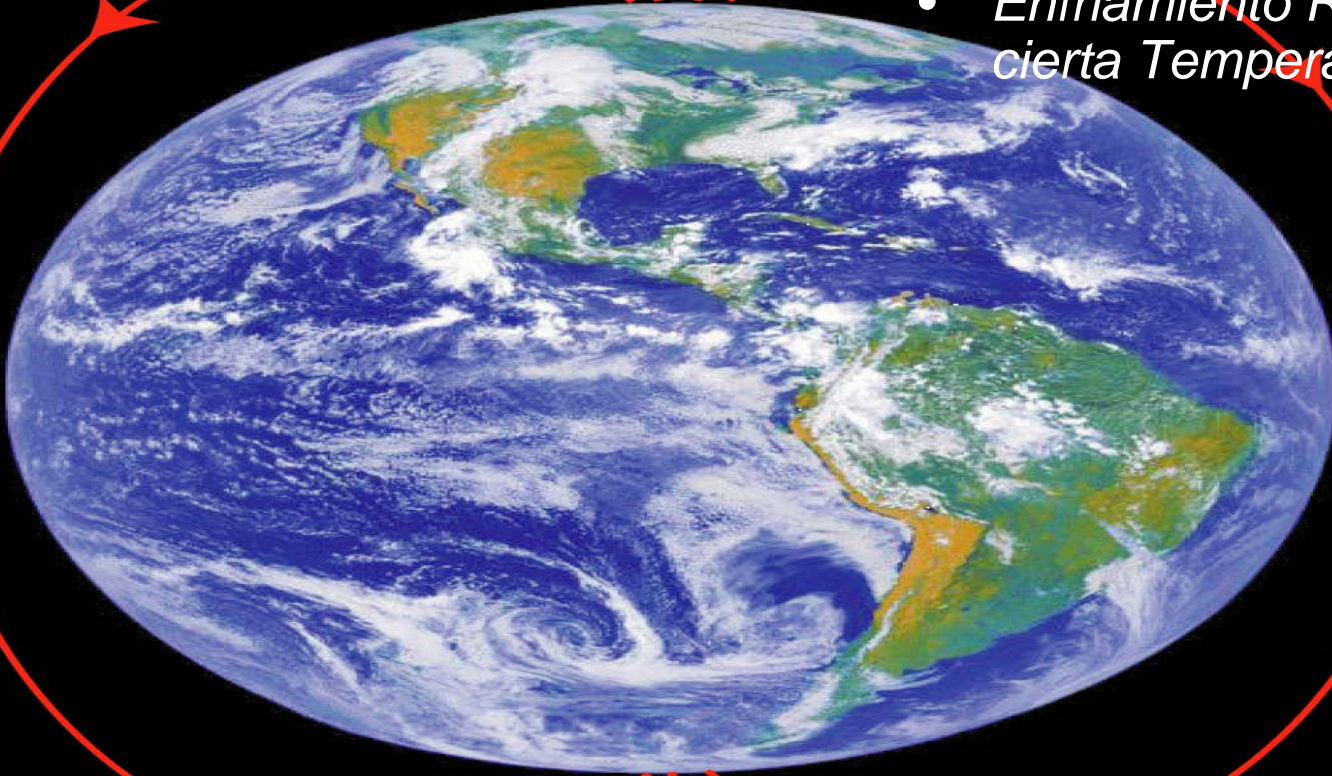


# *Paleomagnetismo: Que es?*

- *Magnetismo Antiguo de las rocas*
- *Enfriamiento Rocas bajo cierta Temperatura*

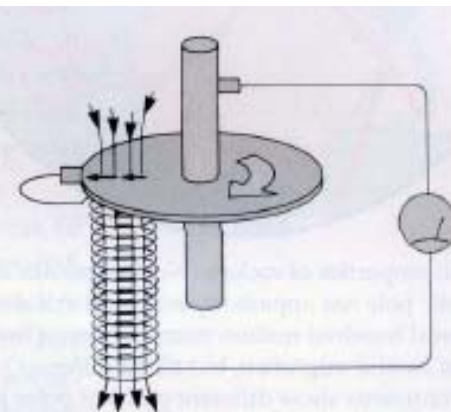
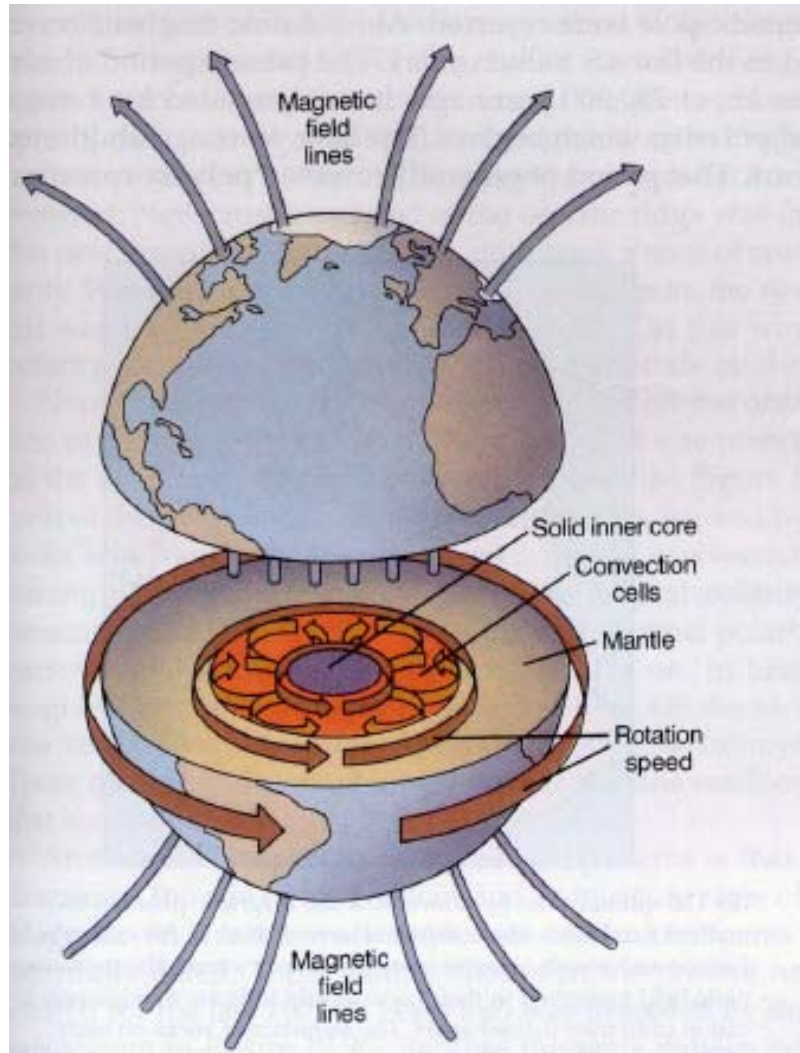


El paleomagnetismo es la disciplina que estudia el magnetismo retenido por las rocas, con el objetivo de obtener un registro de las configuraciones del campo geomagnético en el pasado.

Esto se basa en la propiedad que poseen los minerales magnéticos de retener la dirección del campo magnético respecto a algunos momentos dentro de la historia de la roca.

Los orígenes de esas magnetizaciones son variados, pudiendo relacionarse a la formación y enfriamiento de una roca, así como a eventos posteriores a este que involucren reacciones químicas como alteración hidrotermal/ supérgena, diagénesis y metamorfismo. También se puede generar debido a la exposición por largos periodos a campos magnéticos débiles o la caída de rayos

El campo geomagnético de la Tierra tienen su origen en el núcleo líquido externo terrestre, compuesto mayoritariamente de hierro-níquel. Dentro, la dinámica de estos fluidos eléctricamente conductores generan un *dínamo magnetohidrodinámico*, fuertemente controlado por el movimiento rotacional de la tierra. Para que funcione se necesita una alta cantidad de energía, que se obtiene principalmente del enfriamiento gradual del núcleo de la Tierra

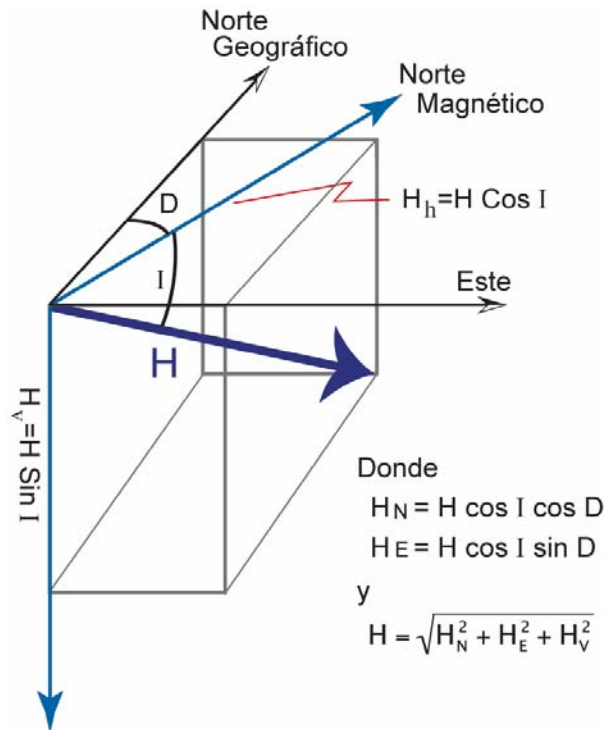


# Representación física del campo magnético

Usualmente el campo magnético en la superficie de la Tierra es definido por dos parámetros: la Declinación e Inclinación Magnética.

La Declinación Magnética (D) corresponde al ángulo azimutal entre la componente horizontal del campo magnético (H) y el norte geográfico.

La Inclinación Magnética (I) es el ángulo que forma la componente vertical del campo magnético (H) y el plano horizontal.

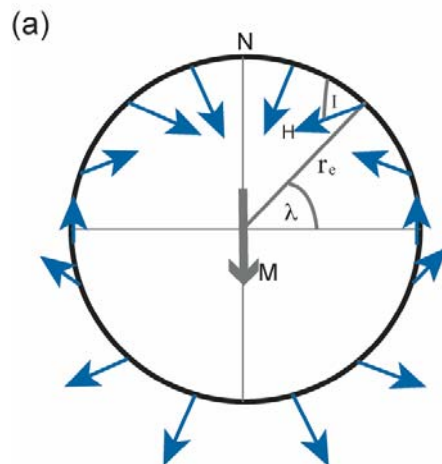


Descomposición del vector asociado al campo geomagnético. Donde  $D$  es el ángulo entre el norte geográfico y el norte magnético e  $I$  es el ángulo entre el norte magnético y el vector de campo magnético

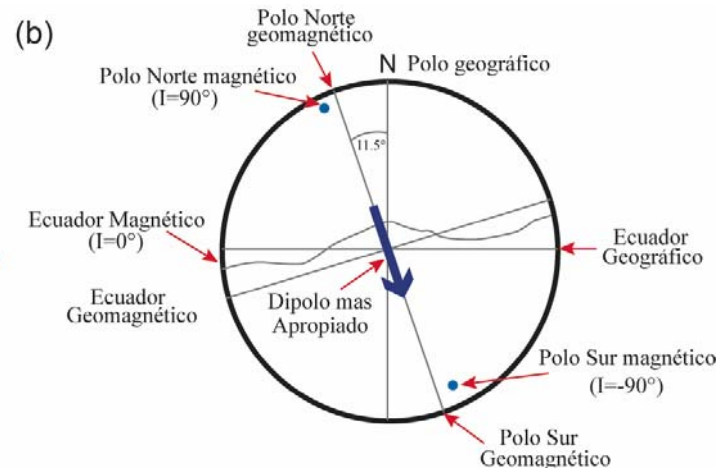
La declinación magnética en la actualidad es de  $11^\circ$ . El polo norte magnético está desplazándose por la zona norte canadiense en dirección hacia el norte de [Alaska](#).

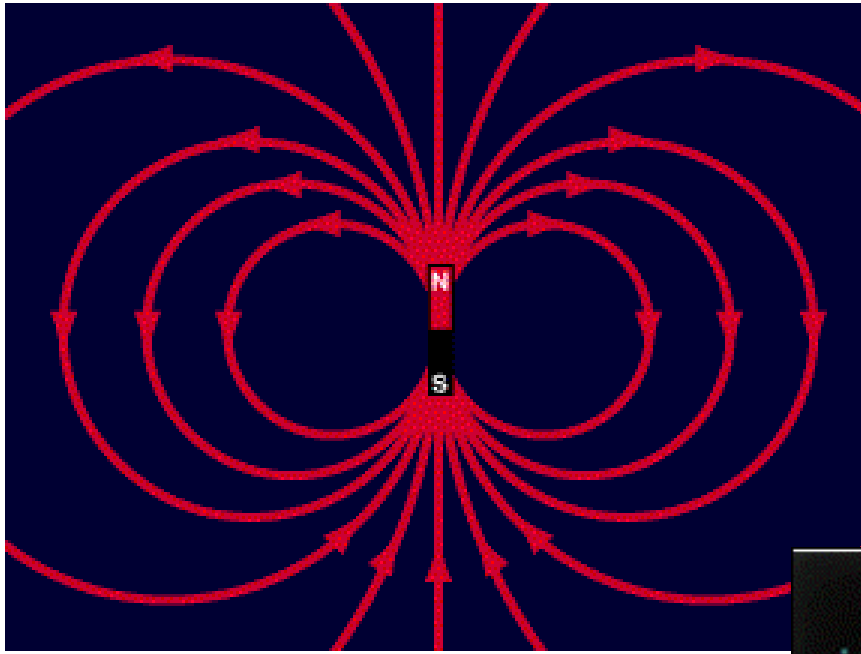


(a) Modelo del dipolo geocéntrico axial. El dipolo magnético  $M$  está ubicado en el centro de la tierra y alineado con su eje de rotación. El campo magnético en su superficie es esquemáticamente ilustrado por las flechas.  $\lambda$  es la latitud;  $r_e$  el radio medio de la tierra;  $I$ , la inclinación y  $N$ , el norte geográfico.

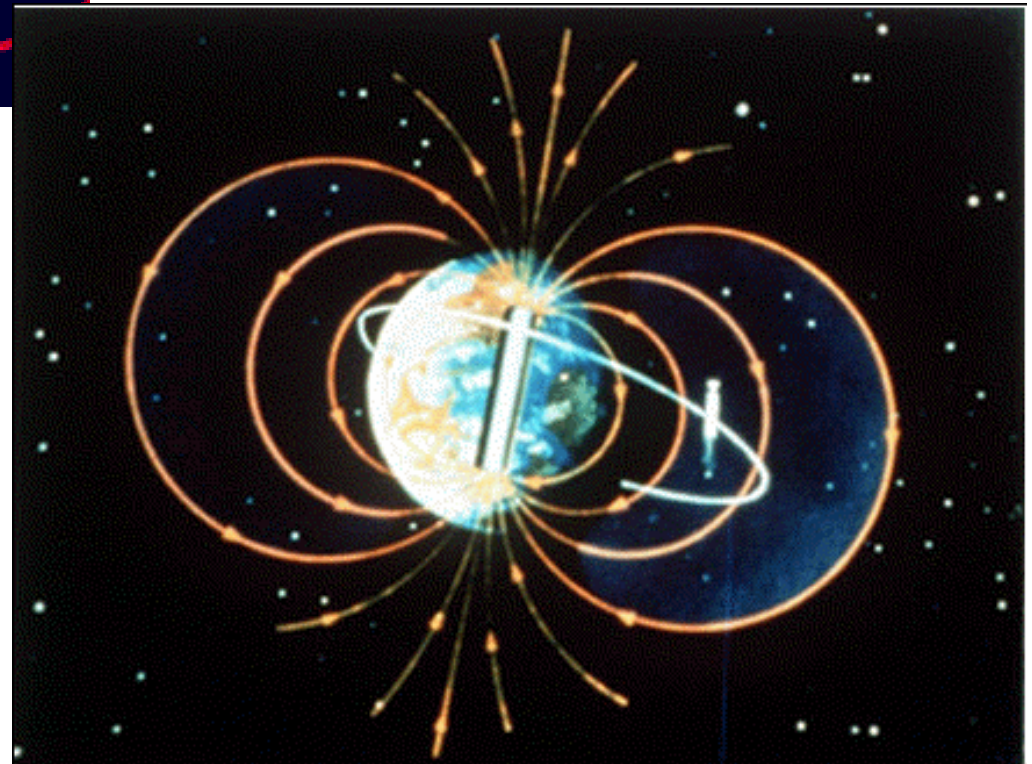


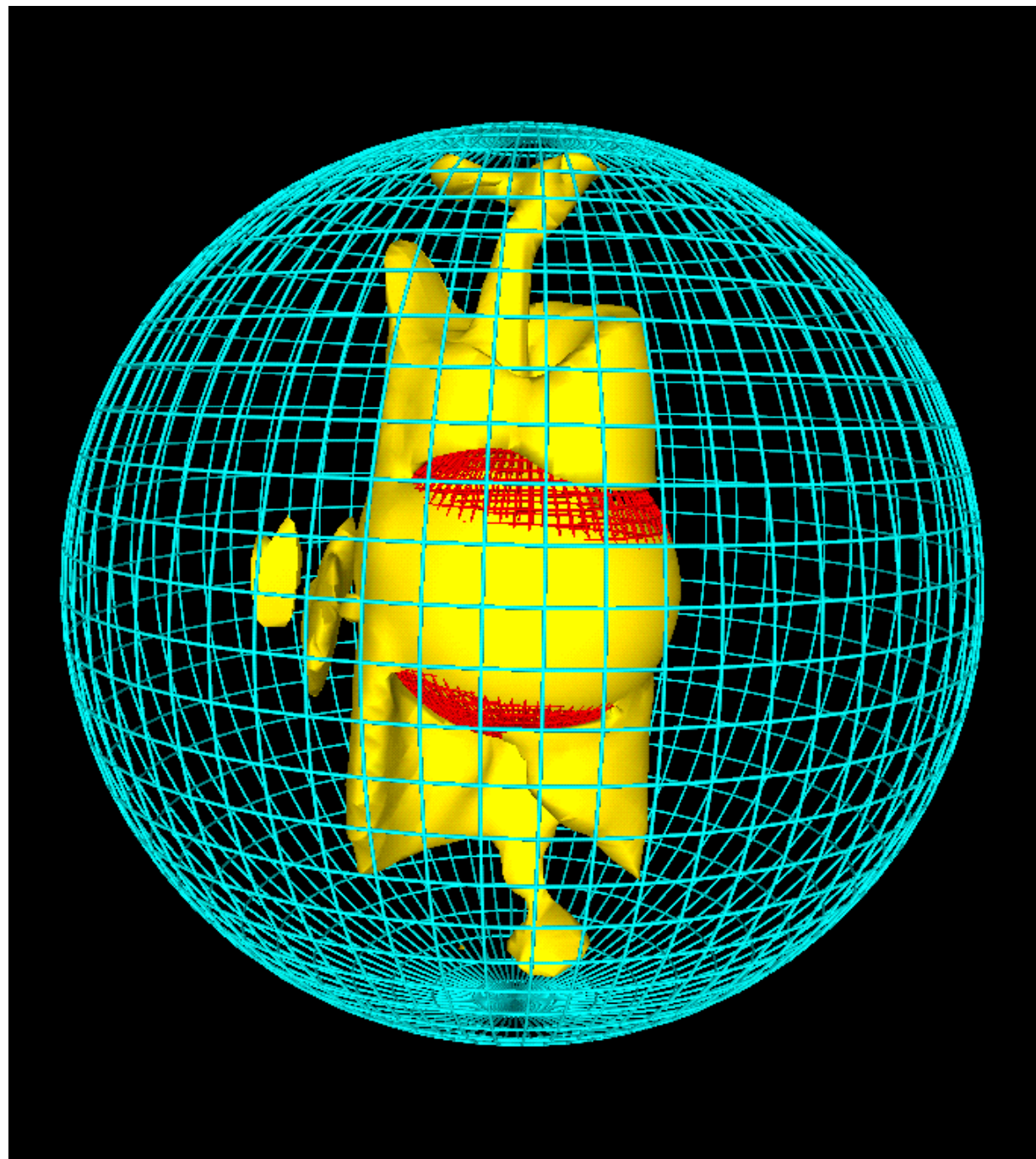
(b) Modelo del dipolo geocéntrico inclinado. Una comparación entre polos magnéticos y geomagnéticos, así como Ecuador magnético y geomagnético es también ilustrada. Modificado de McElhinny (1973)

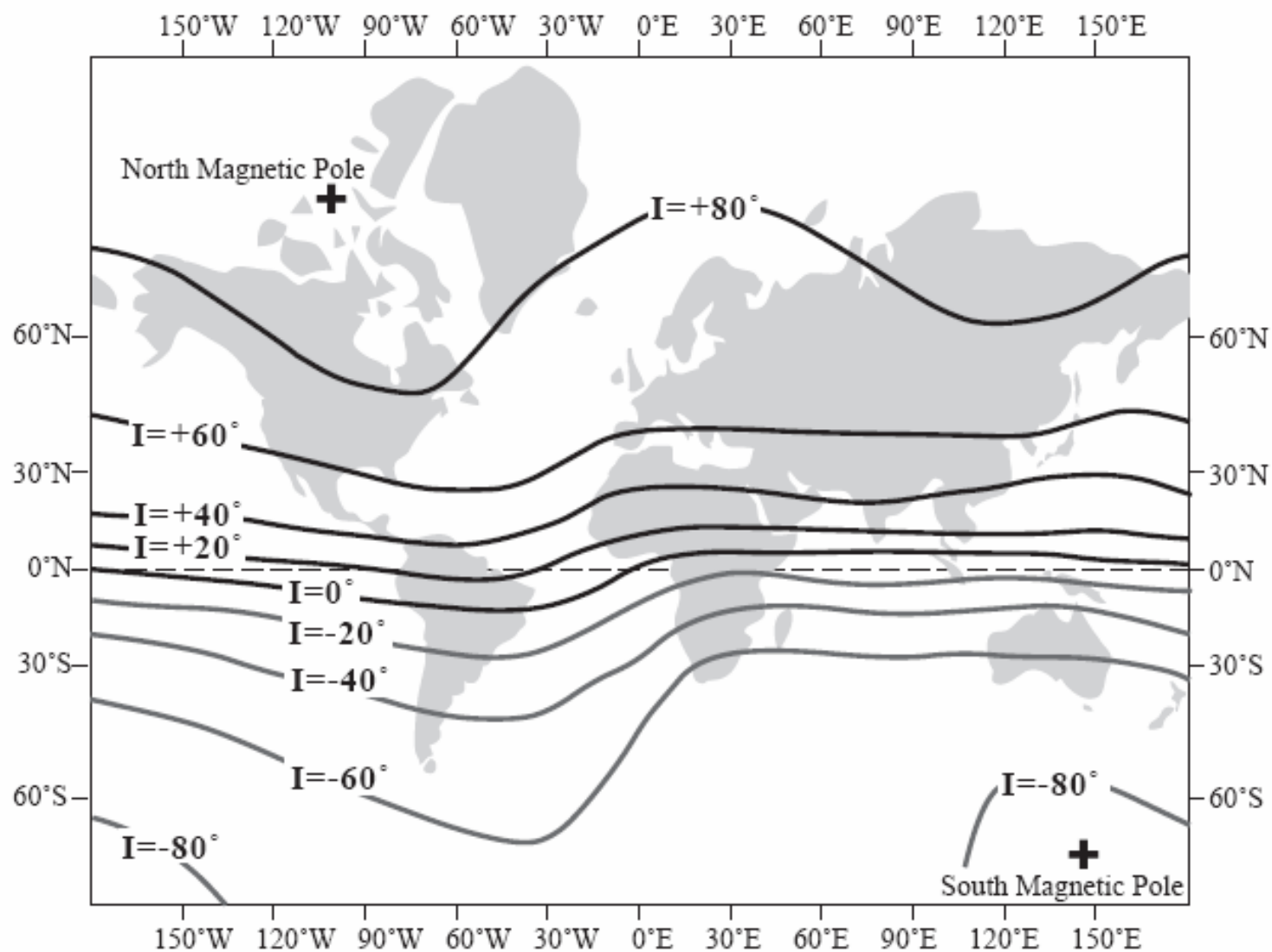




El [Polo Norte Magnético](#) se encuentra a 1800 [kilómetros](#) del [Polo Norte Geográfico](#). En consecuencia, una [brújula](#) no apunta exactamente hacia el Norte geográfico; la diferencia, medida en grados, se denomina declinación magnética. La declinación magnética en la actualidad es de  $11^\circ$ .







**Figure 1.4** Isoclinic chart of the Earth's magnetic field for 1945. Contours are lines of equal inclination of the geomagnetic field; the locations of the magnetic poles are indicated by plus signs; Mercator map projection. Redrawn after McElhinny (1973).





## Variación secular

Corresponden a variaciones del campo magnético de la tierra de origen interno. Poseen órdenes de magnitud entre 1 y 105 años y en algunos casos pueden ser rápidas. A través de observaciones realizadas para el núcleo terrestre, se deduce que estas variaciones son importantes en periodos de 2 o 3 siglos. Este tipo de variaciones pueden ser estudiadas por medio del paleo y arqueomagnetismo; rocas volcánicas Holocenas y sedimentos post-glaciales.

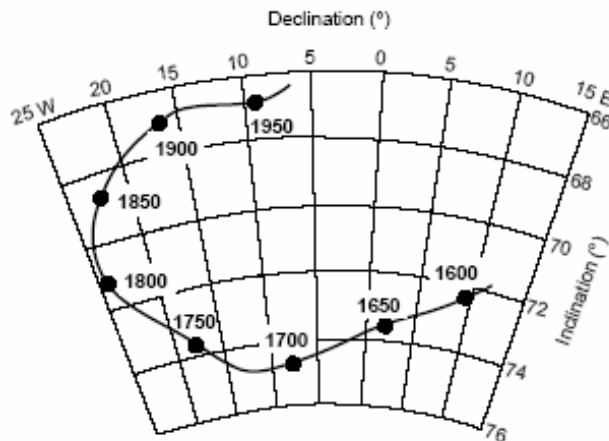
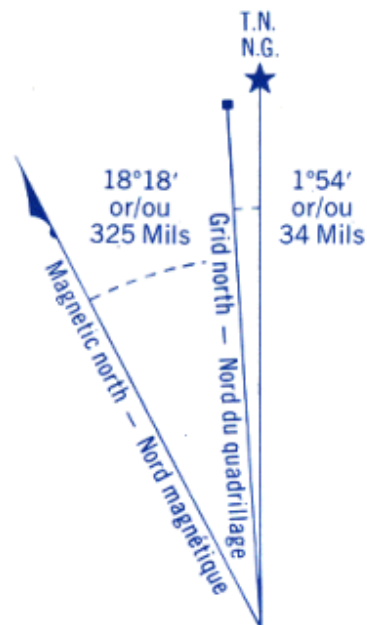


Figure 1.7 Historic record of geomagnetic field direction at Greenwich, England. Declination and inclination are shown; data points are labeled in years A.D.; azimuthal equidistant projection. Redrawn after Malin and Bullard (*Phil. Trans. Roy. Soc. London*, v. A299, 357–423, 1981.)





Use diagram only to obtain numerical values  
 APPROXIMATE MEAN DECLINATION 1975  
 FOR CENTRE OF MAP  
 Annual change decreasing 1.4'

N'utiliser le diagramme que pour obtenir les valeurs numériques  
 DÉCLINAISON MOYENNE APPROXIMATIVE  
 AU CENTRE DE LA CARTE EN 1975  
 Variation annuelle décroissante 1.4'

ONE THOUSAND METRE  
 UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR GRID  
 ZONE 20  
 QUADRILLAGE DE MILLE MÈTRES  
 TRANSVERSE UNIVERSEL DE MERCATOR

Dónde se encuentra el magnetismo?

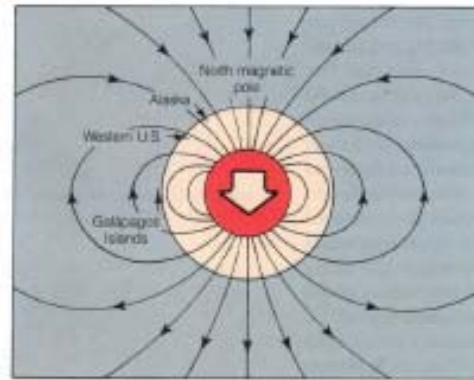
EL MAGNETISMO DE UNA ROCA SE ENCUENTRA EN LOS MINERALES INDIVIDUALES, Y PUEDE O NO PUEDE CONCORDAR CON LA ORIENTACIÓN ACTUAL DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE.

EL MAGNETISMO LO ADQUIERE LA ROCA CUANDO EL MATERIAL, EN ESTADO DE FUSIÓN, SE ENFRÍA BAJO LA TEMPERATURA DE CURIE. LA ROCA REGISTRA Y FOSILIZA LA ORIENTACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO EXISTENTE EN EL MOMENTO DE SU CRISTALIZACIÓN, PRESERVANDO UN REGISTRO DE PALEOMAGNETISMO

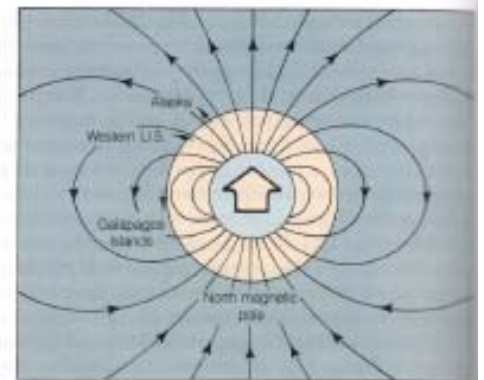


ALGUNAS ROCAS, COMO EL BASALTO, RICAS EN MINERAL DE HIERRO, SE MAGNETIZAN RÁPIDAMENTE POR EL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE AL ENFRIARSE EL MATERIAL. SIMILARMENTE, EL HIERRO DE LOS GRANOS DE UNA ARENISCA ROJA, SE ORIENTARÁN SEGÚN EL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE EN EL MOMENTO EN QUE SE DEPOSITA EL MATERIAL.

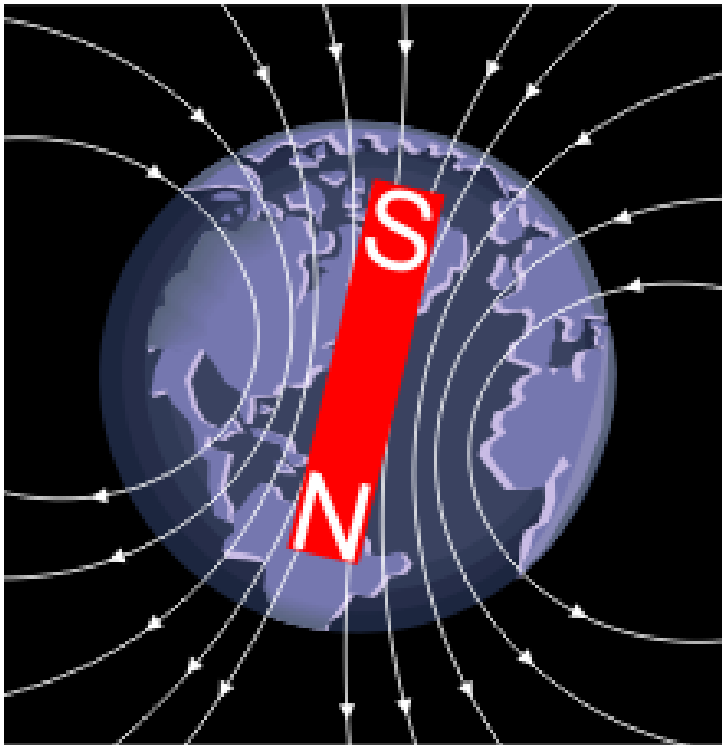
EMPÍRICAMENTE, SE SABE QUE LOS POLOS PALEOMAGNÉTICOS SE AGRUPAN MAS BIÉN ALREDEDOR DEL POLO GEOGRÁFICO MODERNO QUE DEL POLO GEOMAGNÉTICO PRESENTE. EN UN PROMEDIO APROXIMADO DE 2.000 AÑOS, LA DISCREPANCIA ENTRE LOS POLOS MAGNÉTICO Y GEOGRÁFICO DESAPARECE.



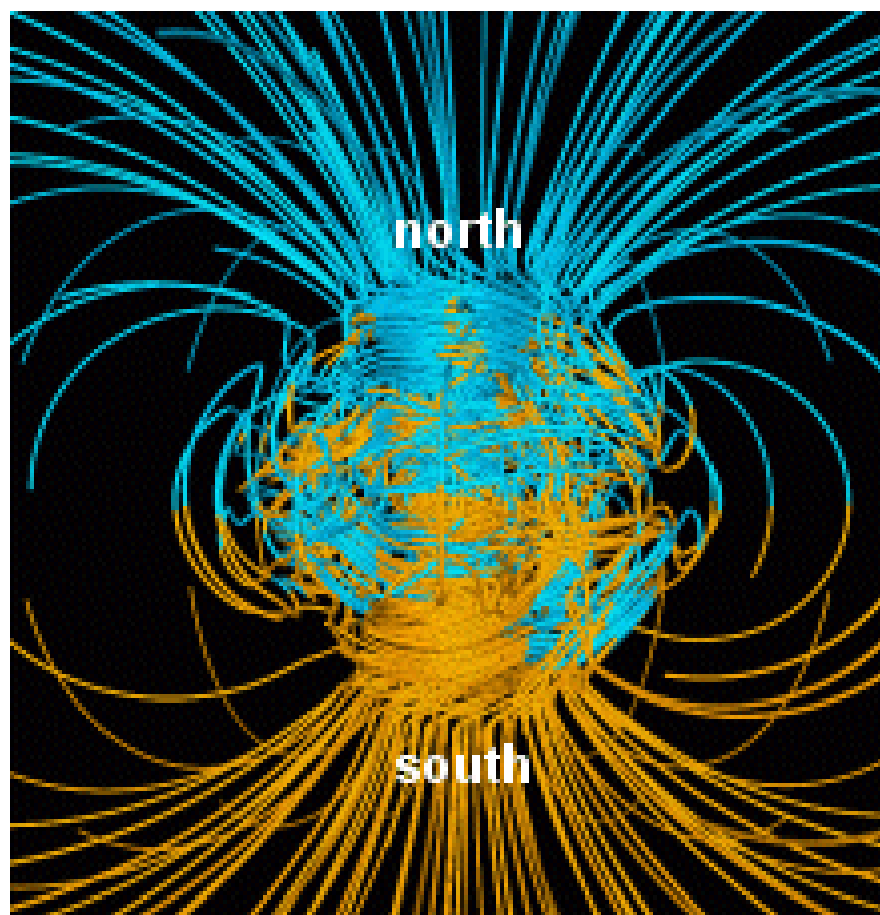
A Normal polarity



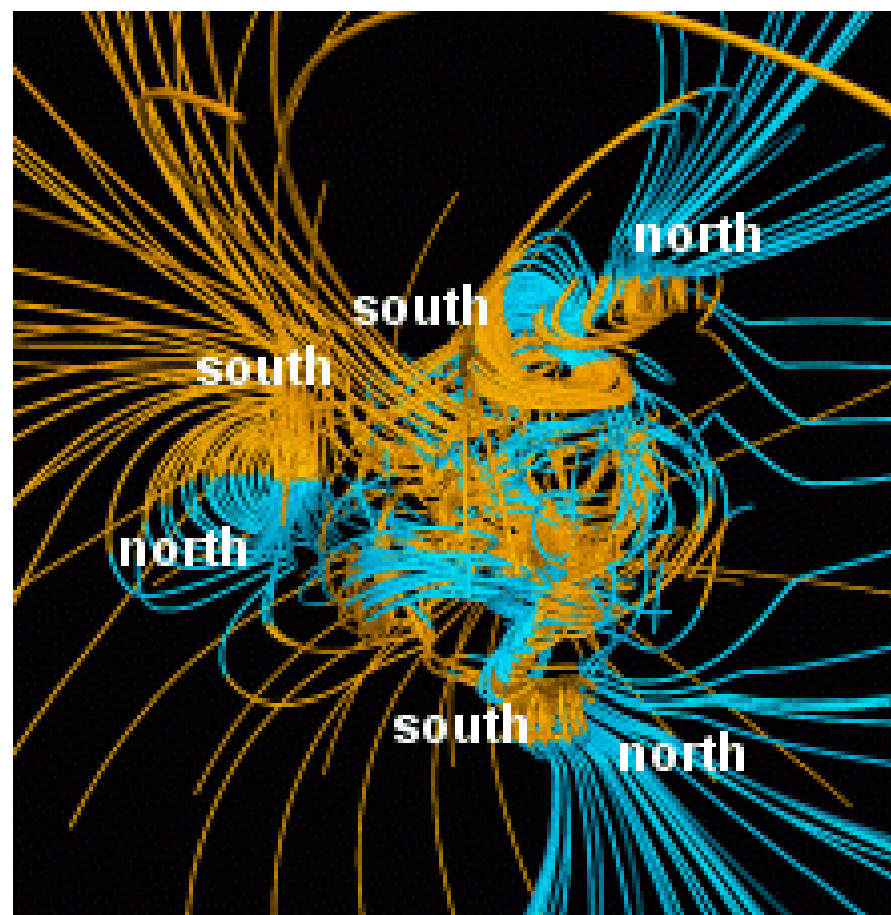
B Reverse polarity



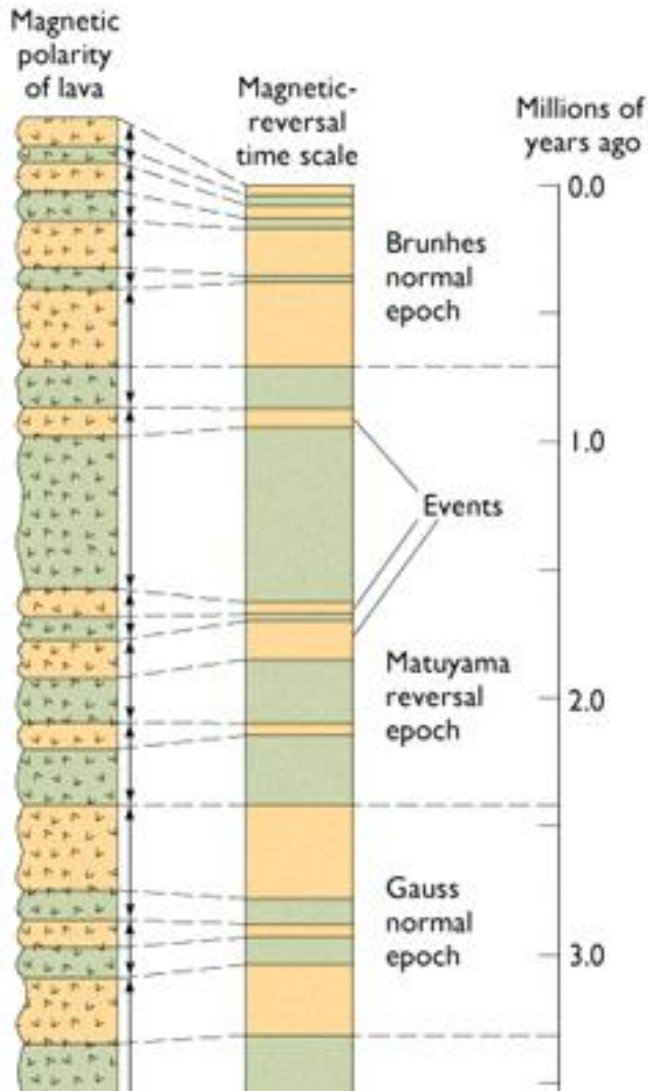
ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE NUMEROSAS MUESTRAS DE BASALTOS, DE MUCHOS LUGARES DEL MUNDO, HAN DEMOSTRADO QUE LA POLARIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE HA CAMBIADO MUCHAS VECES DURANTE LOS ÚLTIMOS 70 U 80 MILLONES DE AÑOS.



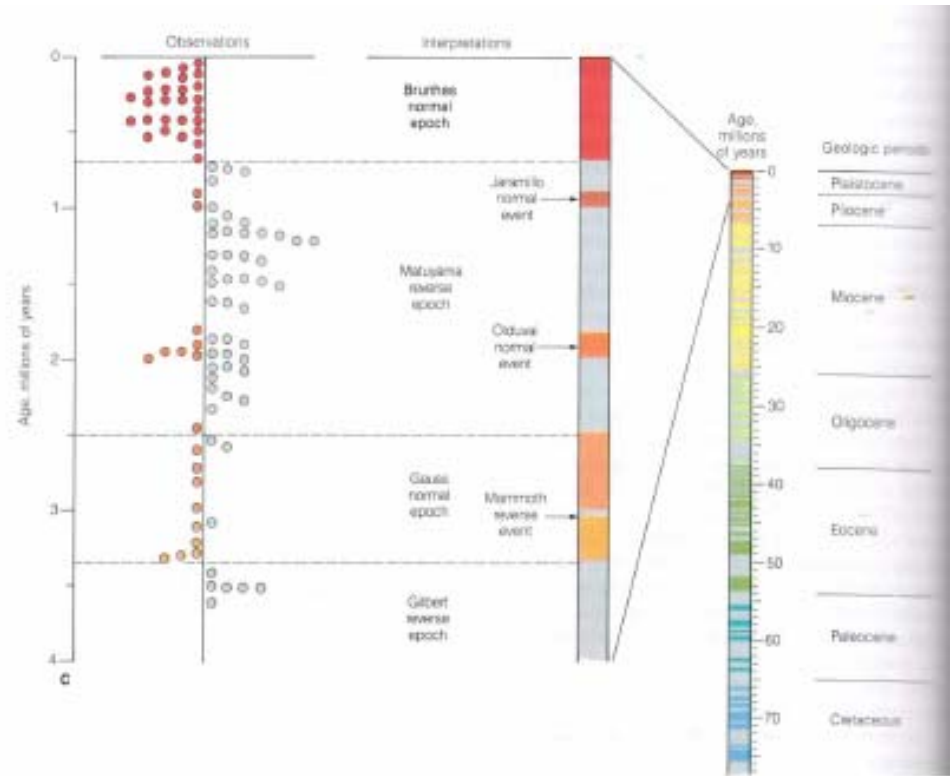
**between reversals**



**during a reversal**



Polaridad magnética en distintos pulsos de lavas.



SE HAN PODIDO RECONOCER ÉPOCAS DE POLARIDAD NORMAL, ES DECIR, PERÍODOS EN QUE EL NORTE MAGNÉTICO SE ORIENTA COMO HOY EN DÍA, HACIA EL NORTE Y MUY CERCA DE SU LOCALIZACIÓN ACTUAL, SEGUIDAS POR PERÍODOS EN QUE EL POLO MAGNÉTICO NORTE Y SUR HAN ESTADO INVERTIDO.



EN LOS ÚLTIMOS 4.5 MILLONES DE AÑOS, HAN OCURRIDO NUEVE INVERSIONES MAGNÉTICAS, REGISTRÁNDOSE QUE EL PERÍODO DE POLARIDAD NORMAL PRESENTE SE INICIÓ HACE 750.000 AÑOS ATRÁS, Y ESTUVO PRECEDIDO POR UNA POLARIDAD INVERSA MAYOR, QUE COMENZÓ HACE 2,5 MILLONES DE AÑOS ATRÁS Y QUE DURÓ APROXIMADAMENTE 1 MILLÓN DE AÑOS ( TAL PERÍODO O “ÉPOCA” DE POLARIDAD INVERSA, CONTIENE DOS CORTOS PERÍODOS O “EVENTOS” DE POLARIDAD NORMAL).

DE LA SECUENCIA DE ANOMALÍAS MAGNÉTICAS Y SUS EDADES RADIOMÉTRICAS, SE HA LOGRADO ESTABLECER UNA CONFIABLE CRONOLOGÍA DE INVERSIONES MAGNÉTICAS PARA LOS ÚLTIMOS 4 MILLONES DE AÑOS. ADICIONALMENTE, SE EXTRAPOLARON HACIA ATRÁS 76 MILLONES DE AÑOS, REVELANDO LA SECUENCIA DE LAS ÚLTIMAS 171 INVERSIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO.



GEOLOGICAL SOCIETY  
OF AMERICA



CENOZOIC						MESOZOIC						PALEOZOIC						PRECAMBRIAN							
AGE (Ma)	MAGNETIC POLARITY	PERIOD	EPOCH	AGE (Ma)	PICKS (Ma)	AGE (Ma)	MAGNETIC POLARITY	PERIOD	EPOCH	AGE (Ma)	PICKS (Ma)	UNCERT. (m.y.)	AGE (Ma)	PERIOD	EPOCH	AGE (Ma)	PICKS (Ma)	UNCERT. (m.y.)	AGE (Ma)	EON	ERA	BDY. AGES (Ma)			
0.01		QUATERNARY	HOLOCENE			66.4							260	PERMIAN	LATE	TATARIAN	245	20		PROTEROZOIC	LATE	570			
1.6			PLEISTOCENE			74.5										KAZANIAN	253	20							
3.4						84.0										UFIMIAN	258	24							
5.3						87.5										KUNGURIAN	263	22							
6.5						88.5										ARTINSKIAN	268	12							
		NEOGENE	PLIOCENE	E	MESSINIAN			LATE						EARLY	ASSELIAN					MIDDLE	900				
	L			TORTONIAN																					
			MIOCENE	M	SERRAVALLIAN				EARLY						LATE	MOSCOWIAN						1600			
					LANGHIAN																				
		OLIGOCENE	E	BURDIGALIAN				NEOCOMIAN						EARLY	WISEAN					EARLY	1500				
				AQUITANIAN																					
			L	CHATTIAN					LATE						MIDDLE	FRASNIAN						1750			
		Eocene	E	RUPELIAN				LATE						EARLY	SIEGENIAN					2000	2500				
			L	PRIABONIAN					MIDDLE						LATE	CARADOCIAN						2750	LATE		
		Paleocene	M	BARTONIAN				EARLY						LATE	LLANDEILAN					3000	3400				
			E	LUTETIAN					LATE						MIDDLE	LLANVIRNIAN						3750	EARLY		
		Paleocene	E	YPRESIAN				EARLY						LATE	TREMPEALEAUAN					3250	MIDDLE				
		Paleocene	L	SELANDIAN	THANETIAN			LATE						MIDDLE	FRANCONIAN					3500	EARLY				
					UNNAMED																				
		Paleocene	E	DANIAN				EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E					EARLY						LATE	DRESBACHIAN					3750	EARLY				
		Paleocene	E</																						

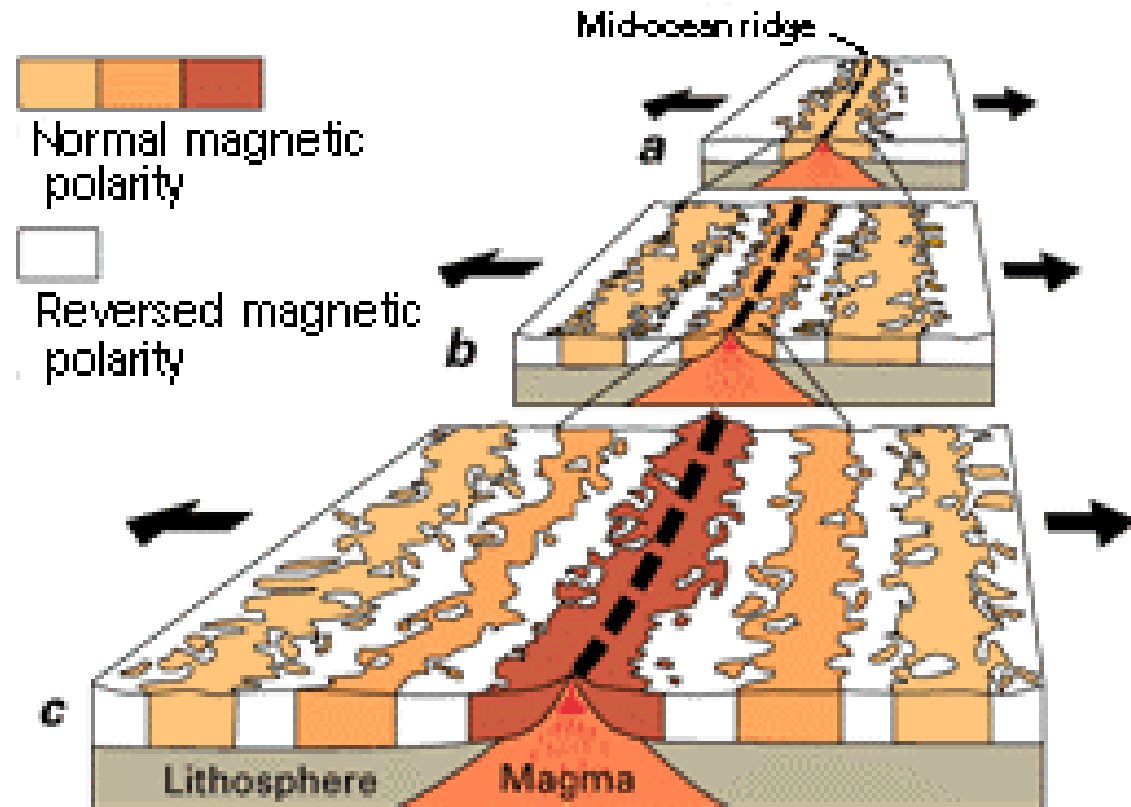


Arriba: *The Glomar Challenger was the first research vessel specifically designed in the late 1960s for the purpose of drilling into and taking core samples from the deep ocean floor. Al costado: The JOIDES Resolution is the deep-sea drilling ship of the 1990s (JOIDES= **J**oint **O**ceanographic **I**nstitutions for **D**eep **E**arth **S**ampling). This ship, which carries more than 9,000 m of drill pipe, is capable of more precise positioning and deeper drilling than the Glomar Challenger. (Photographs courtesy of Ocean Drilling Program, Texas A & M University.)*

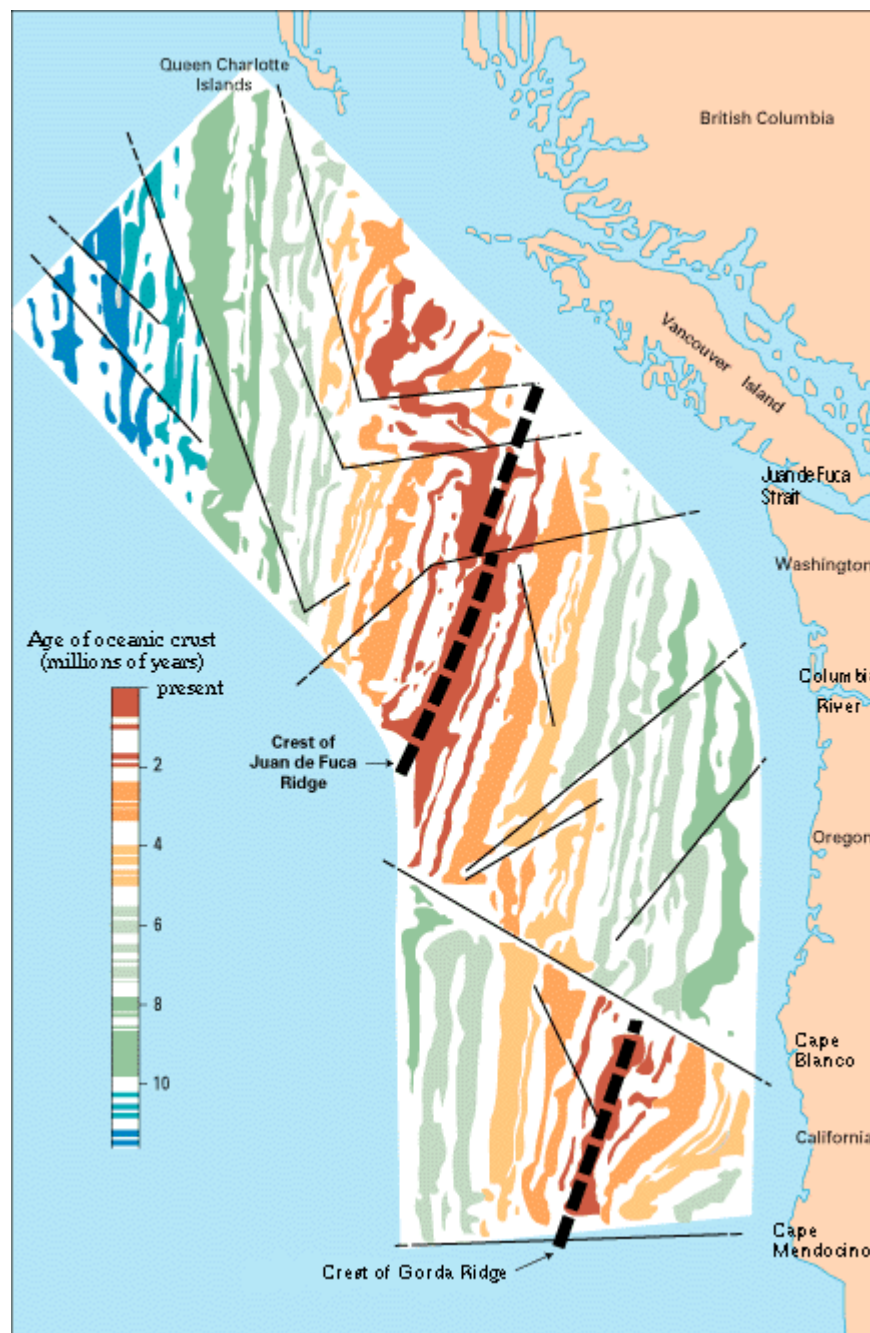


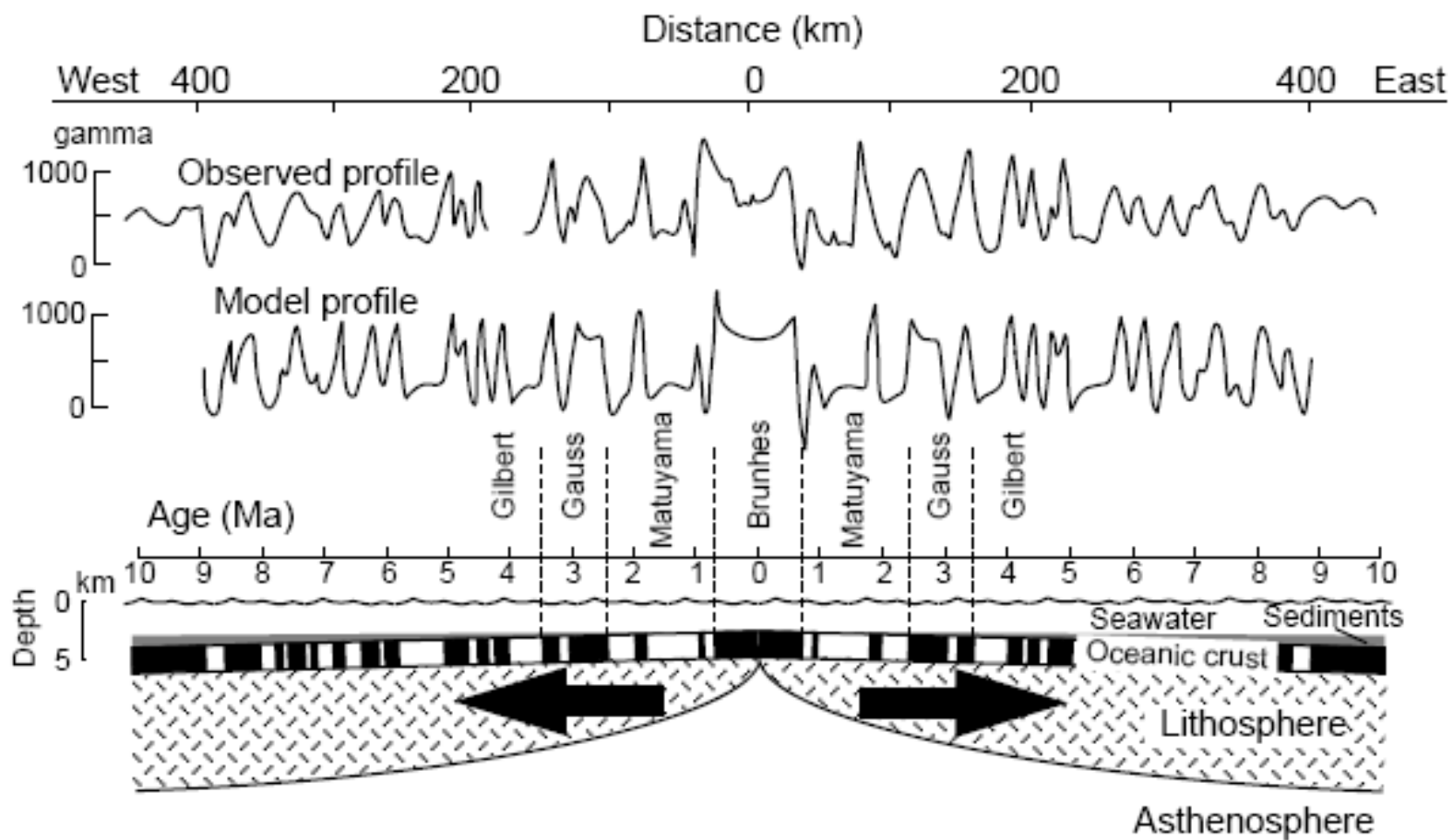
Modelos específicos del magnetismo se preservan en la nueva corteza generada en los *ridge* oceánicos cuando la litósfera se desplaza lateralmente. El modelo de las inversiones magnéticas en el fondo oceánico que se alejan del *ridge* es idéntico al modelo de las inversiones magnéticas en una secuencia vertical de rocas basálticas de los continentes.

Cuando el magma fluye y solidifica a lo largo del *ridge*, en diques y coladas, éste se magnetiza en la Dirección del campo magnético existente en el momento (polaridad normal). Al continuar la expansión la corteza magnetizada formada durante los períodos iniciales, ésta se separa en dos bloques que se alejan simétricamente uno del otro



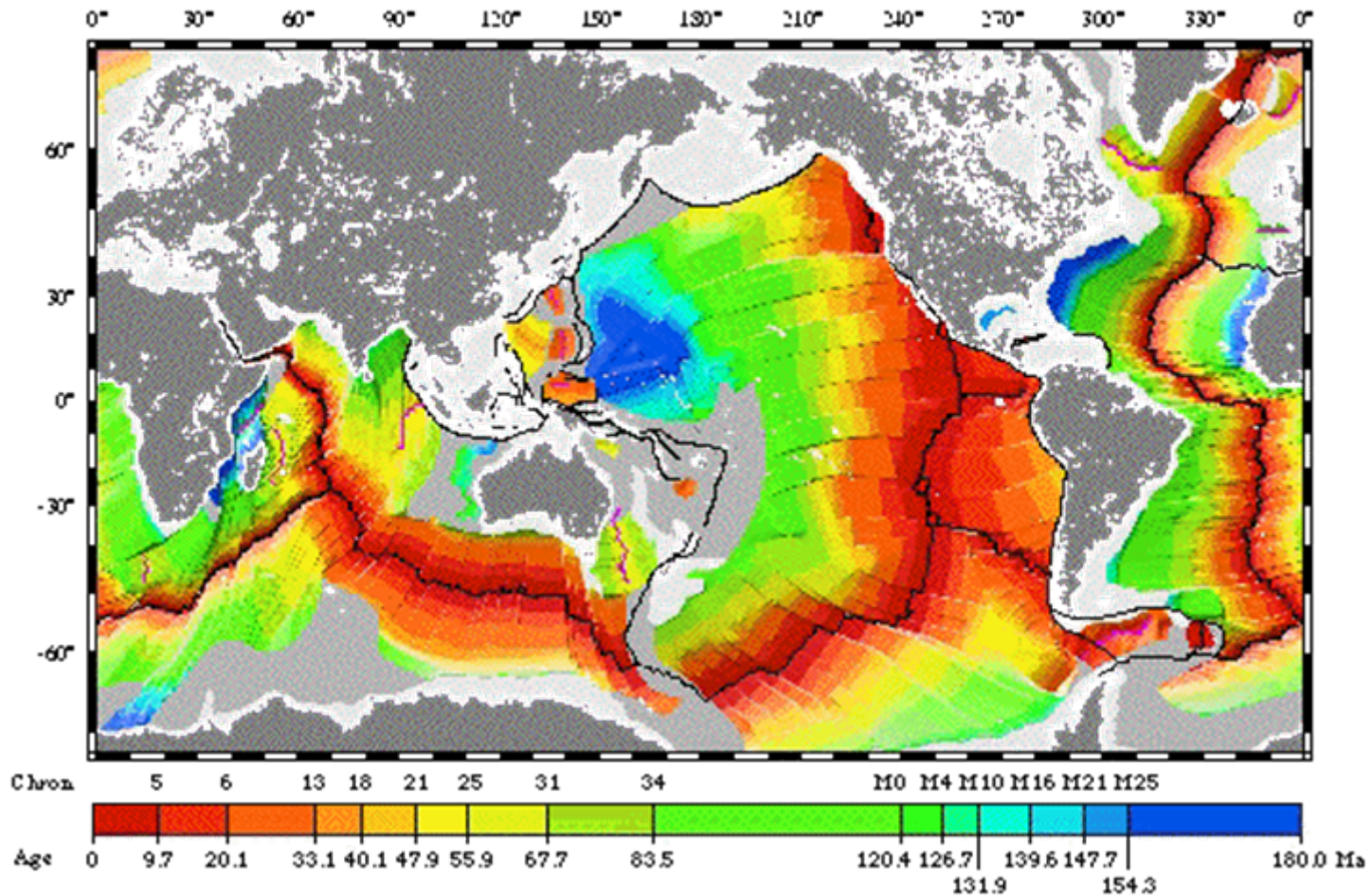






# Digital Isochrons of the Ocean Floor

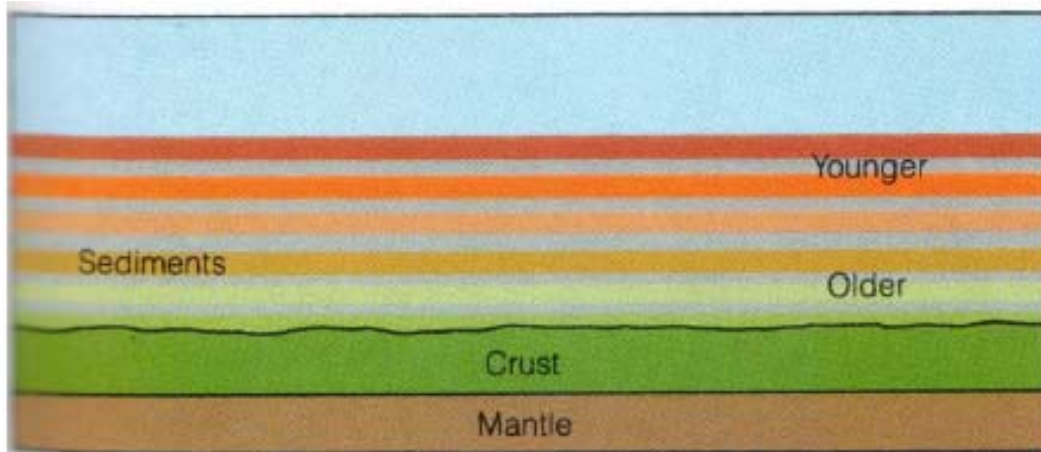
R.D. Müller, W.R. Roest, J.-Y. Royer, L.M. Gahagan, J.G. Sclater



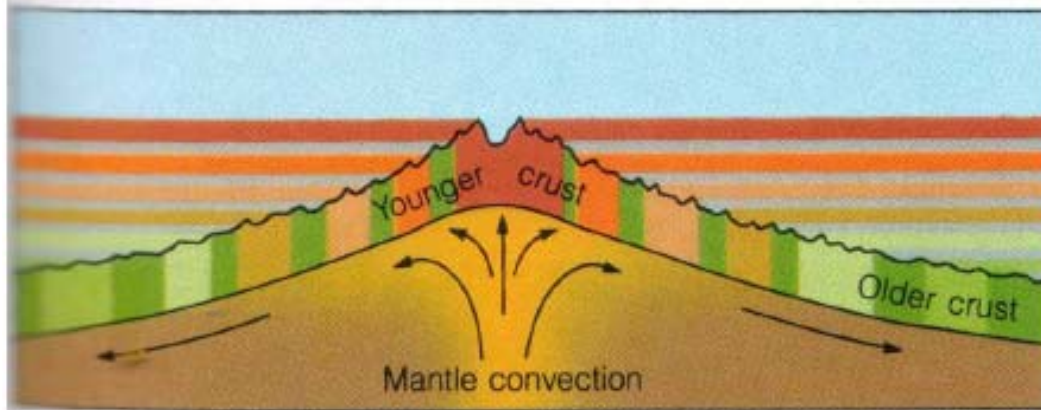
El modelo magnético del fondo oceánico es simétrico respecto del *ridge* oceánico. Al correlacionar las inversiones magnéticas con la edad de las rocas encontradas en los continentes, se puede estimar la edad del fondo oceánico. La corteza mas joven se encuentra a lo largo de las dorsales y las mas antigua encontrada (200 MA) muy lejos de los *ridge*, en el océano Pacífico.



El espesor de los sedimentos y las inversiones magnéticas en los fondos oceánicos confirman la teoría del “*seafloor spreading*”



Sin “*seafloor spreading*”, todo el fondo oceánico estaría cubierto por una gruesa secuencia de sedimentos oceánicos, con alternancias de polaridad preservadas del magnetismo de la tierra desde el Pre-cámbrico



Con “*seafoor spreading*”, los sedimentos oceánicos se adelgazan progresivamente hacia la cresta de las dorsales y no hay en los “*rift valley*”. El borde de cada capa de sedimento magnetizada se apoya en corteza basáltica, generada por el *spreading* durante el mismo tiempo en que se deposita el sedimento



## Active Volcanoes, Plate Tectonics, and the "Ring of Fire"



LOS PRIMEROS ESTUDIOS PALEOMAGNÉTICOS, REALIZADOS EN EUROPA Y NORTEAMÉRICA, EN ROCAS DE DIFERENTES EDADES, DEMOSTRARON QUE EL NORTE MAGNÉTICO TERRESTRE HA CAMBIADO CONSTANTEMENTE SU POSICIÓN.

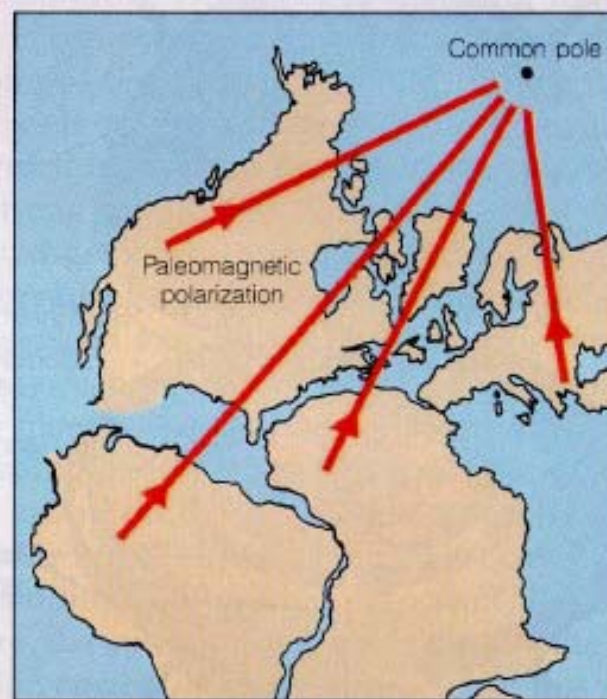
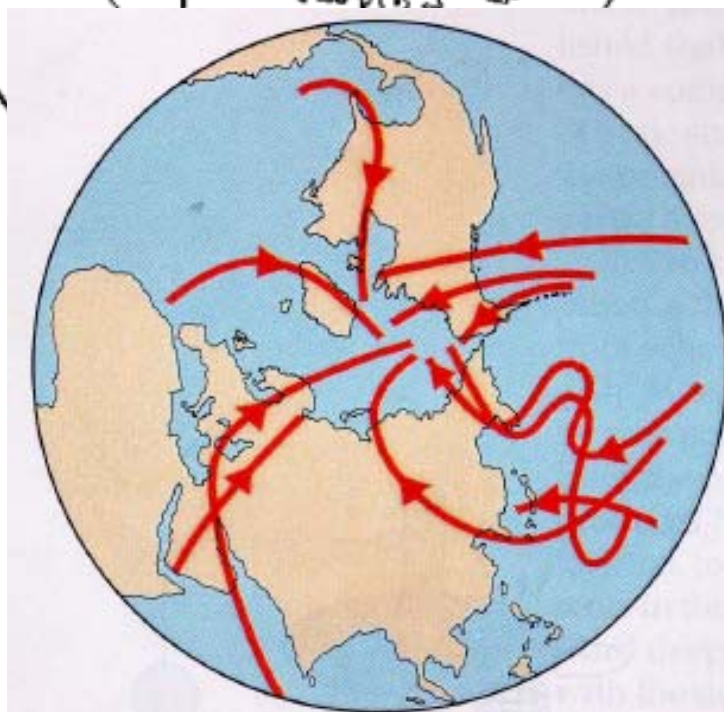
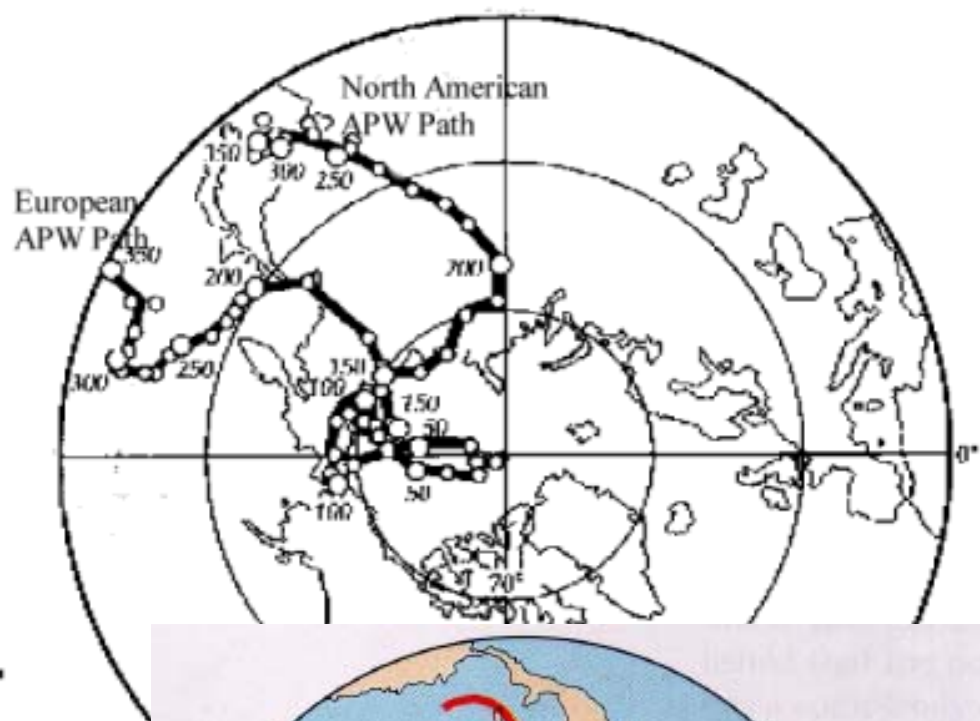
LA EXPLICACIÓN MAS LÓGICA ES QUE SIEMPRE HA EXISTIDO UN SOLO NORTE MAGNÉTICO, QUE SE MANTENIDO FIJO, CON VARIACIONES SÓLO SECULARES, ACEPTÁNDOSE QUE HAN SIDO LOS CONTINENTES LOS QUE SE HAN MOVIDO RESPECTO A ÉL.

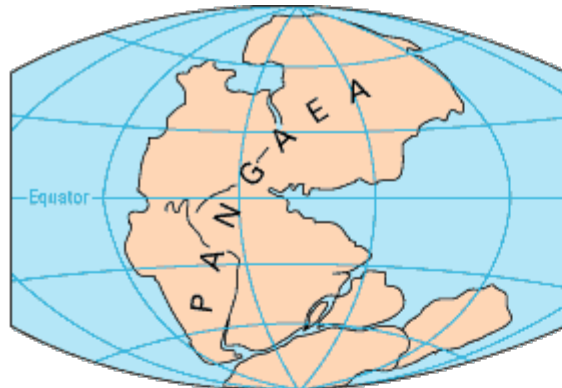
## Evidencias paleomagnéticas

LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS PALEOMAGNÉTICOS EN ROCAS MAS ANTIGUAS QUE EL CRETÁCICO, COBRAN SENTIDO CUANDO LOS CONTINENTES HAN SIDO ACOMODADOS DE ACUERDO AL MODELO DE UN CONTINENTE PRIMITIVO ÚNICO, NICO, CONOCIDO COMO PANGEA



Wegener con un ayudante Inuit en su última expedición.

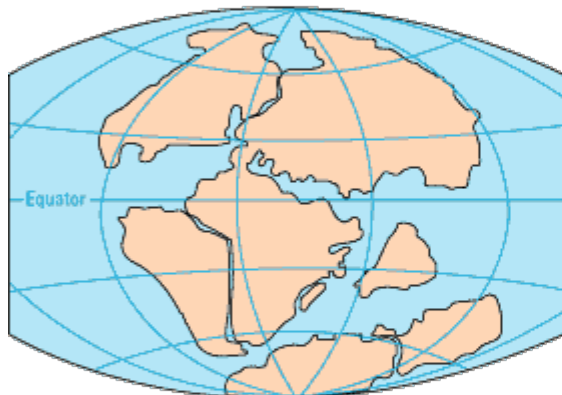




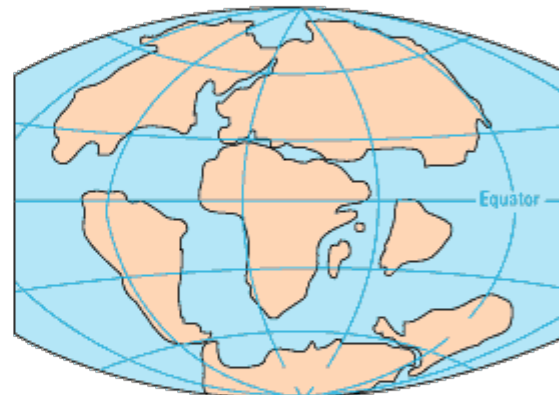
**PERMIAN**  
225 million years ago



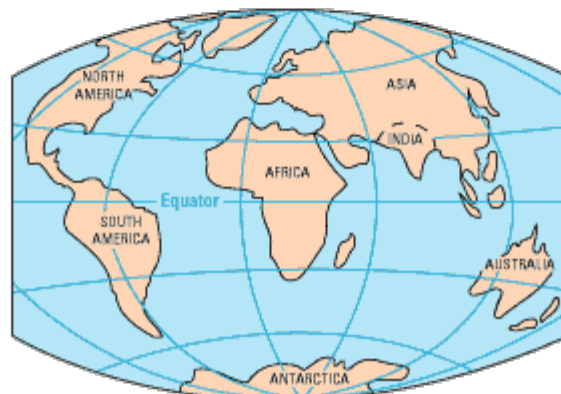
**TRIASSIC**  
200 million years ago



**JURASSIC**  
135 million years ago



**CRETACEOUS**  
65 million years ago



**PRESENT DAY**



# Estudios Paleomagnéticos en Chile

Norte de Chile-Sur del Perú

→ *Reconstrucción Codo de Arica*

Zona Central

→ *Movimientos Latitudinales*

*Terrenos Exóticos*

Zona Centro-Sur

→ *Zona Falla Liquiñe-Ofqui*

Zona Sur

→ *Oroclino Magallánico*

