



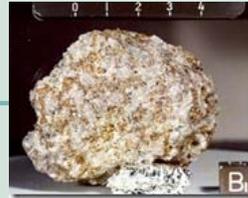
# Hadeano

**Historia Temprana de la Tierra - 2**  
**Diferenciación del interior de la Tierra:**  
**ORIGEN DEL NÚCLEO, MANTO, CORTEZA**  
**CONTINENTES, OCEANOS, ATMÓSFERA**

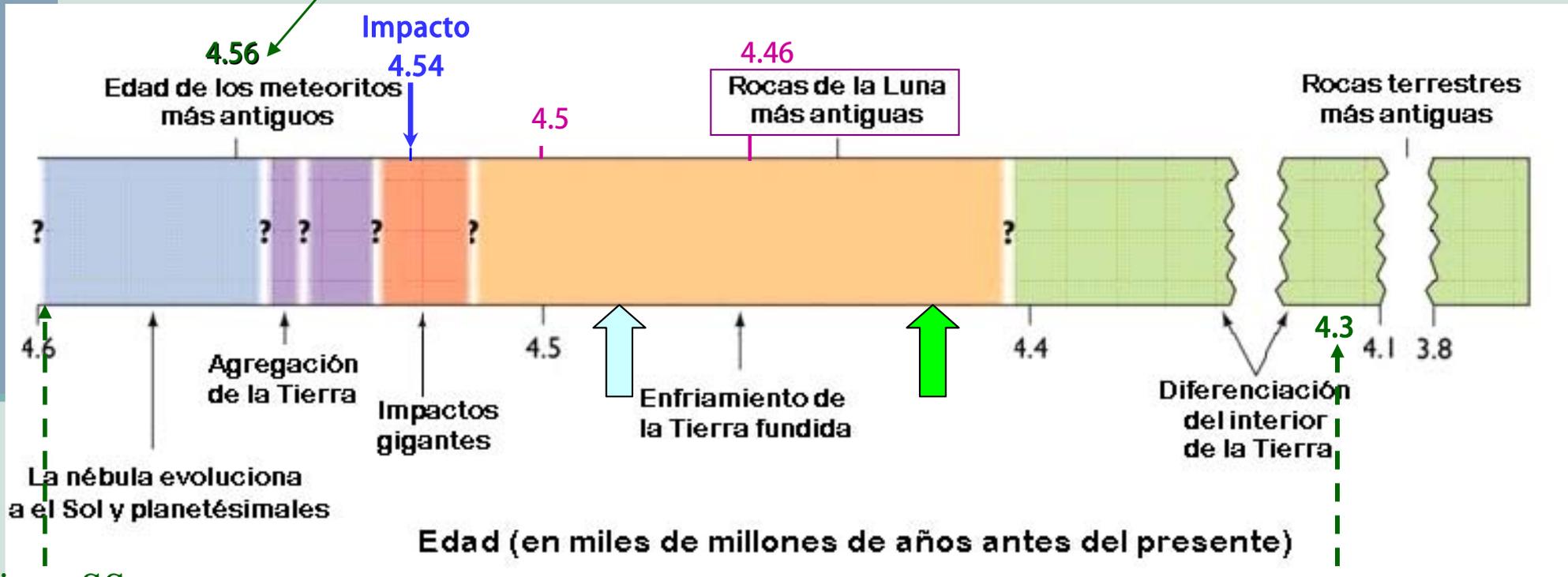
# Preguntas del tema

- ¿Cuál es y cómo se conoce la edad de la Tierra y el SS ✓
- ¿Cuándo y cómo se formó la estructura del interior de la Tierra: el núcleo y el manto? ✓
- ¿Cuándo y cómo se originan la Tierra y su luna? ✓
- **¿Cuándo y cómo se formaron la corteza oceánica y la continental?**
- **¿Cómo eran estas primeras cortezas?**
- **¿Cómo eran los primeros continentes?**
- **¿Funcionaban ya la tectónica de placas (subducción cómo era)?**
- **¿La atmósfera, cuándo se formó, su composición, en que se parece o diferencia de la de los otros planetas rocosos? ¿Por qué se acumuló oxígeno?, ¿cuándo hubo ya agua líquida? ⇨**

# Los primeros 600 Ma



Los meteoritos  $\approx$  el núcleo de la Tierra,

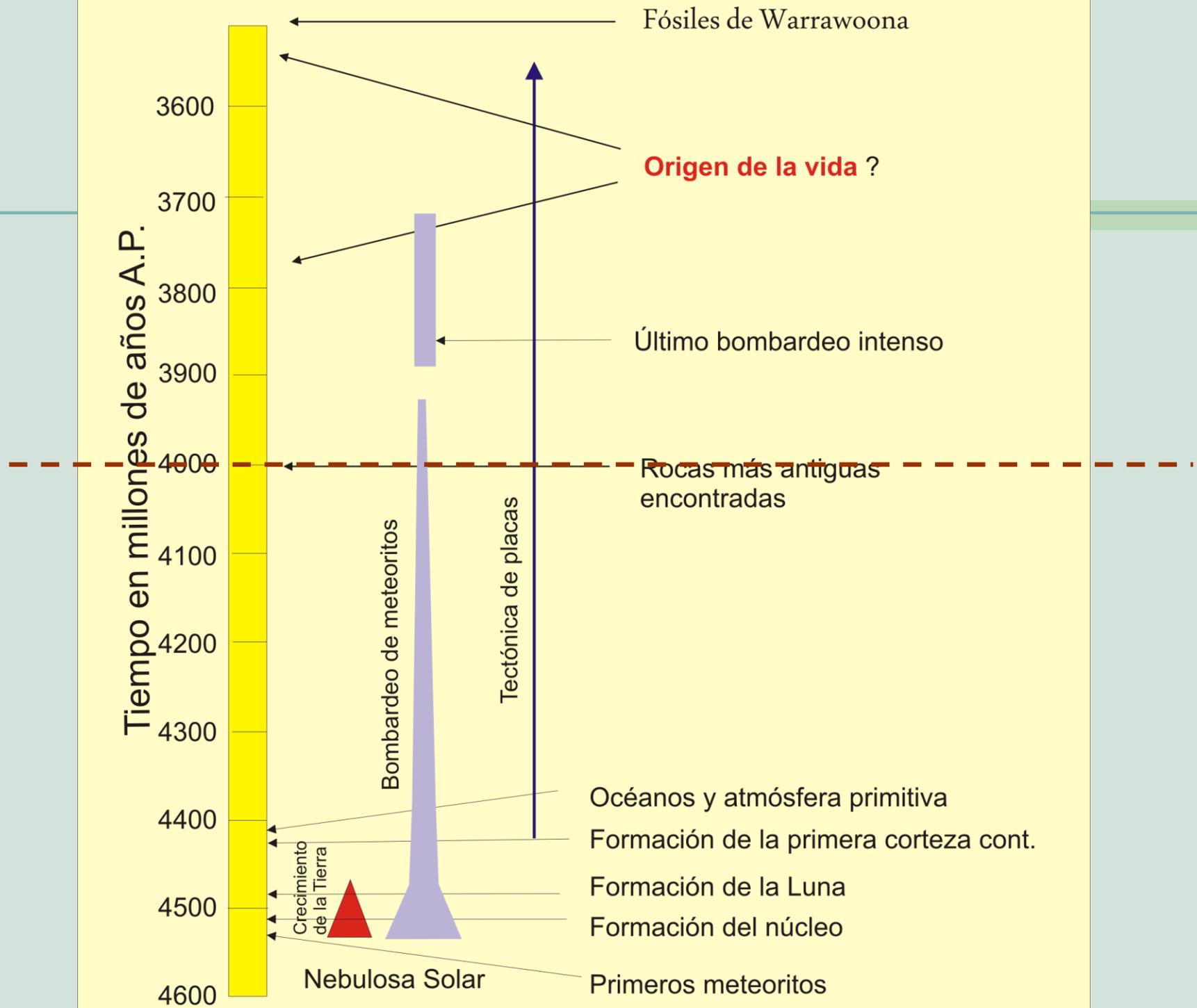


origen SS

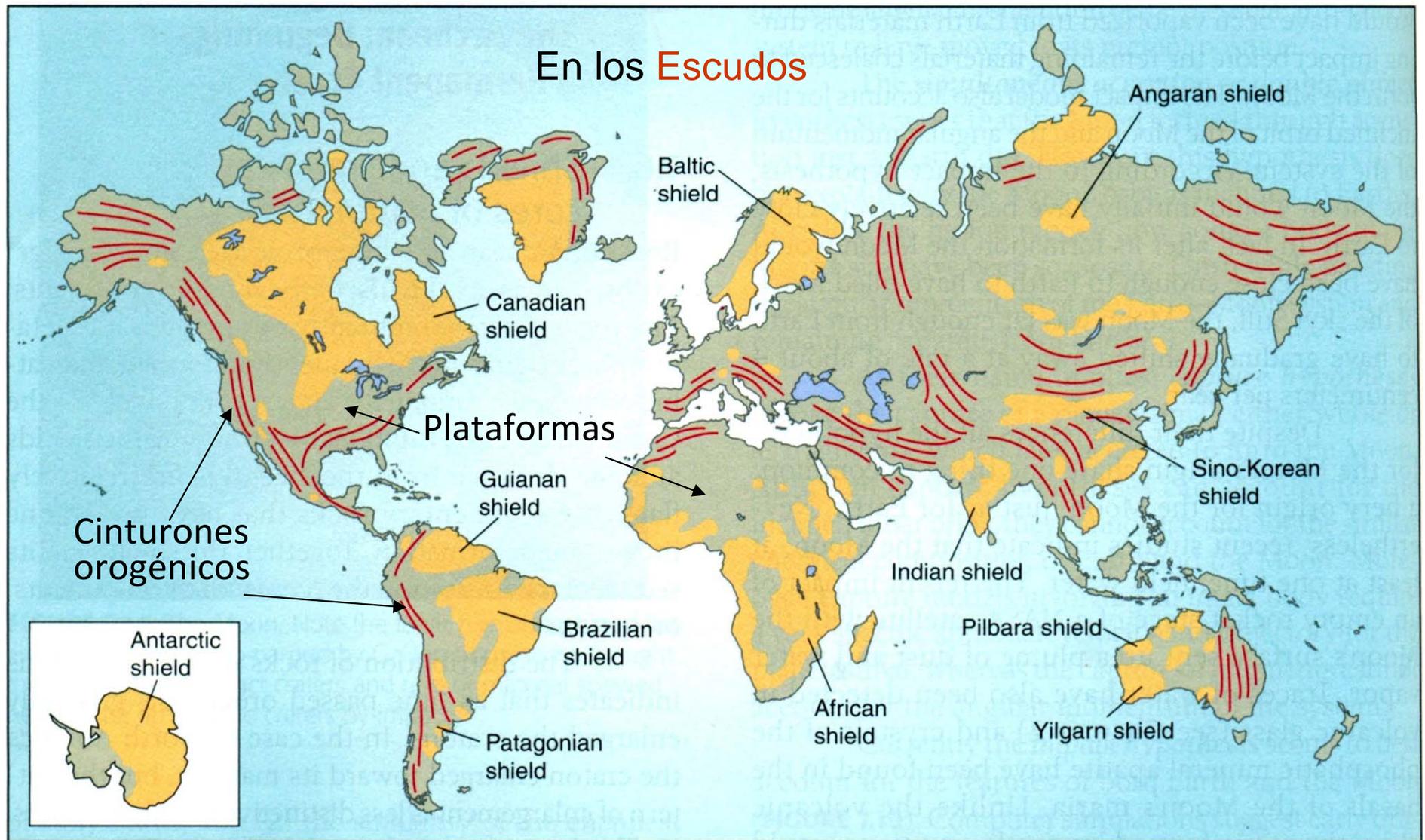
Tal vez solo 30 Ma para tener un núcleo diferenciado

Evidencia de 1ª (?) corteza

Al menos 100 Ma se requieren para el crecimiento de la proto-Tierra a su tamaño actual



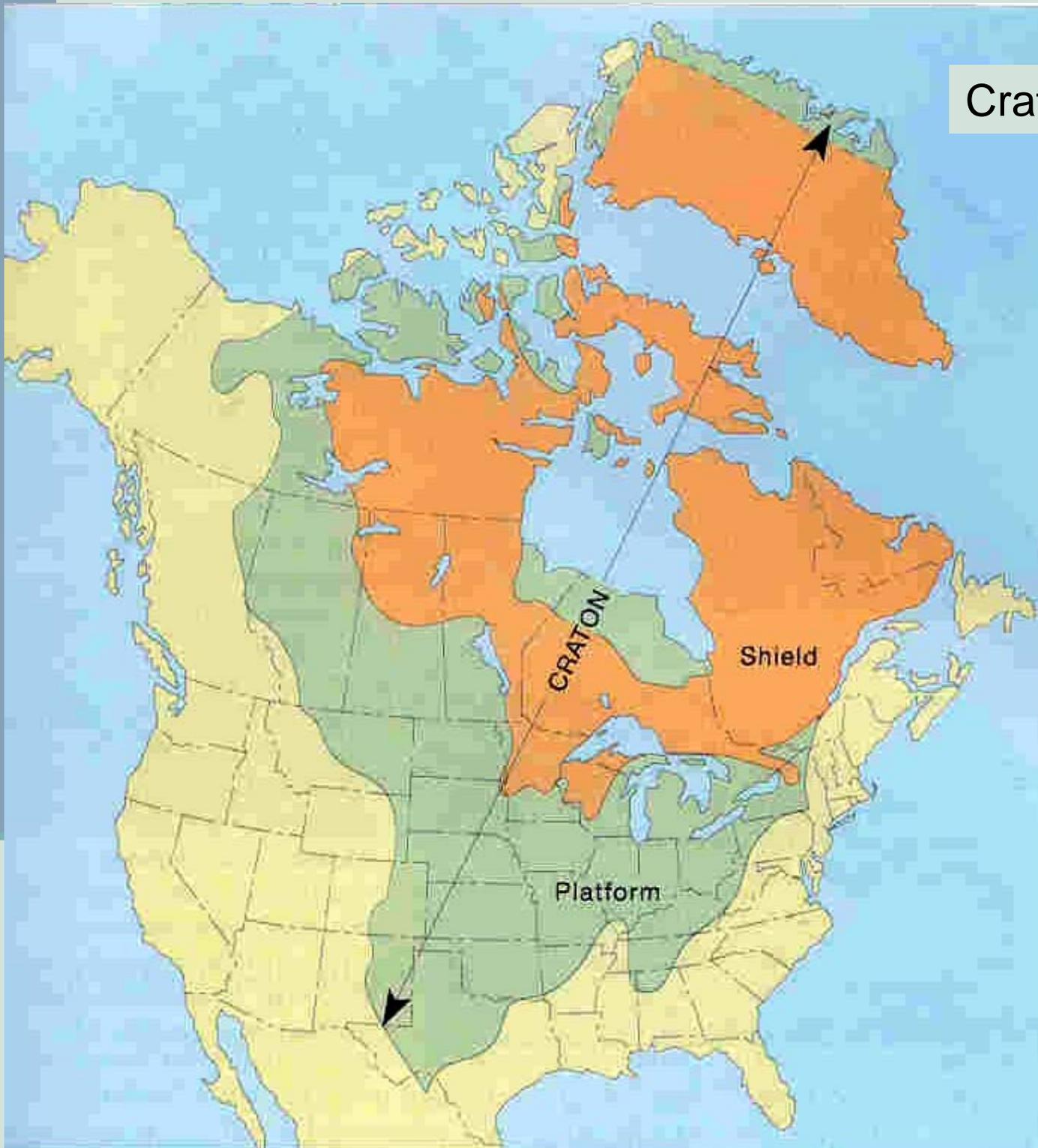
# ¿Dónde están las rocas viejas de la Tierra?



**FIGURE 7.20** The distribution of the shields and cratons of the continents. Archean rocks help form the “cores” of continents around which other rocks accreted as the continents grew.

**Escudos y Plataformas** conforman a los **Cratones**: zonas tectónicamente estables  
Son el núcleo de los continentes, grandes áreas constituidas por las rocas más viejas, con muy pocas diferencias de relieve por extrema erosión

# Cratón Norteamericano



Escudo y  
plataforma

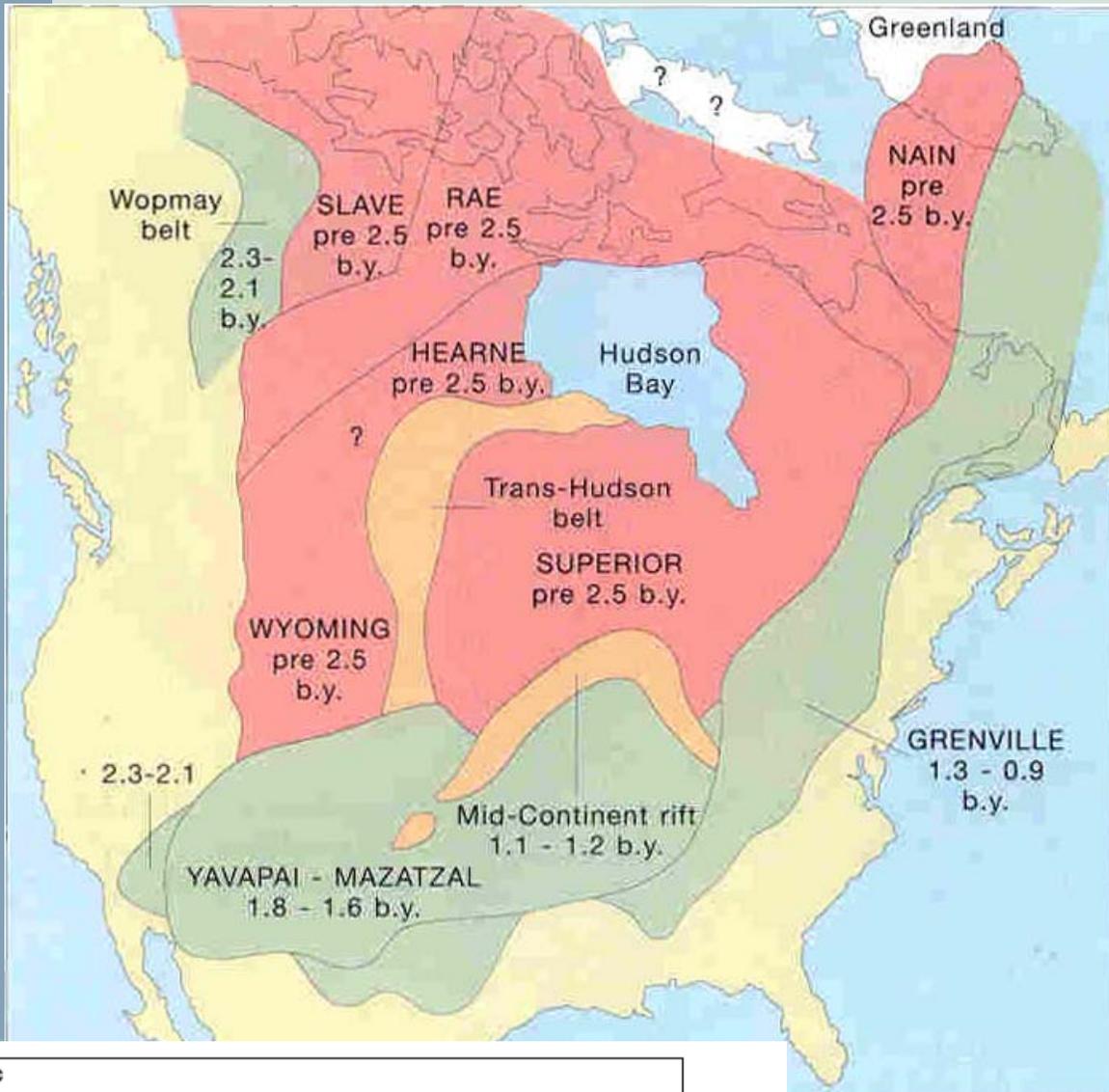
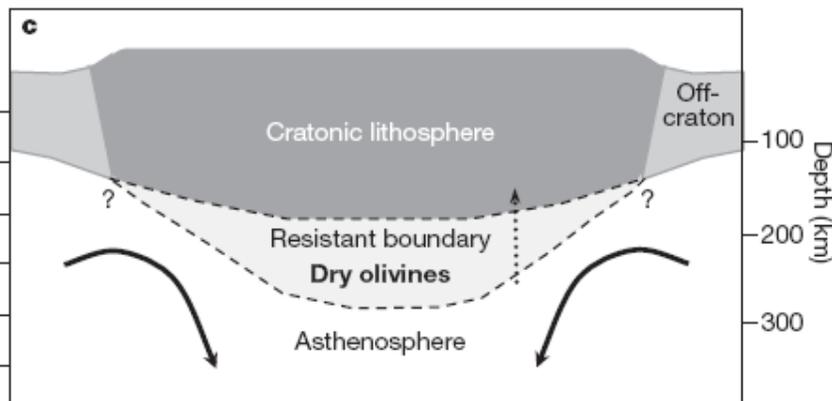


FIGURE 6-16 Precambrian provinces of North America. Archean provinces (those greater than 2.5 billion years old) are in red. Proterozoic provinces are in green. The Trans-Hudson belt is a zone along which rifting and then closure occurred to weld the Superior province to the Wyoming province. The Hearne and Wyoming provinces may actually be a single province. A major episode of rifting that occurred 1.2 to 1.0 billion years ago is represented by the midcontinent rift zone. The Wopmay belt was developed by rifting followed by closure of an ocean basin. (Adapted from Hoffman, P. F., *Precambrian geology and tectonic history of North America*, in *Geology of North America*, Vol. A, Ch. 16, Boulder, CO: Geological Society of America, 1989.)

De modelados magnetotéluricos y termales y, estimación de P y  $\mu$  de la zona de mezcla del LAB

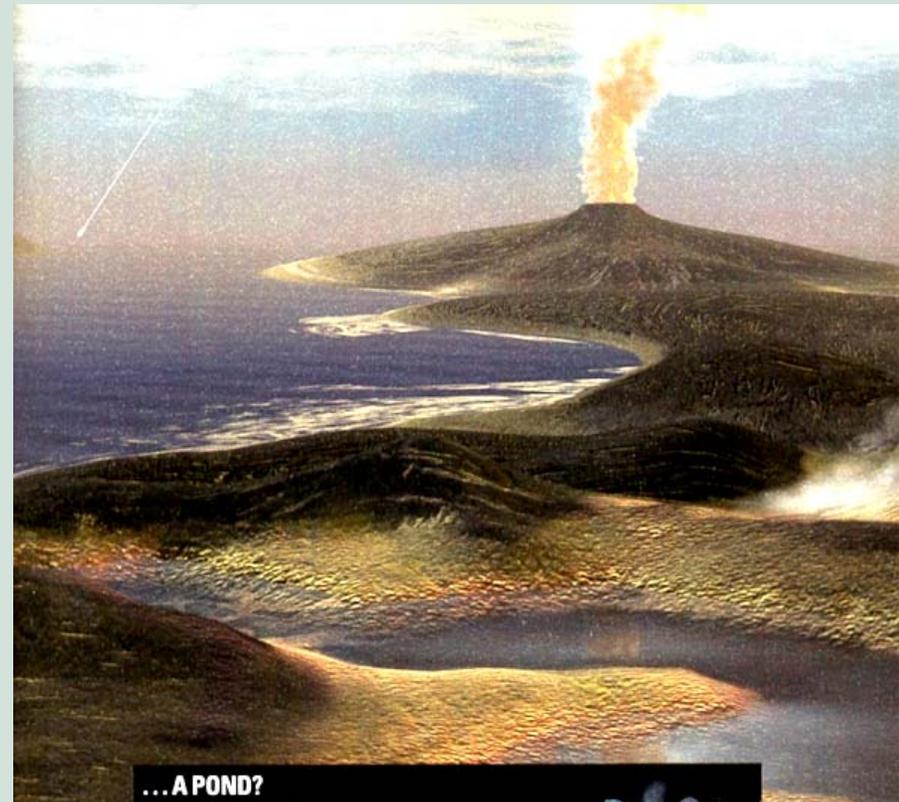


La zona LAB (litosfera-astenosfera boundary) debajo del cratón con OI empobrecidos en agua, protege a la litósfera "cratosférica" (cratonizada) de procesos de delaminación (flechas) que en otros sitios (ej. Himalayas, llevan a la asimilación de la parte más profunda de la litosfera en el manto



# CALOR INTERNO de la TIERRA en el HADEANO y ARQUEANO

- El doble de flujo de calor que el actual
- Puntos calientes abundantes
- Placas pequeñas y numerosos rifts



# Origen de la primera corteza

---

1. La primera corteza en formarse fue local? o global?
2. Cuándo y por qué proceso se formó la primera corteza?
- 3.Cuál fue la composición de la primera corteza?
4. Cuándo y cómo se desarrollaron la corteza oceánica y la continental?

# Modelos de la formación de la Corteza de la Tierra

---

- Modelos félsicos
- Modelos anortosíticos
- Modelos basálticos

# Características de la Corteza Temprana de la Tierra.

	Corteza Oceánica	Corteza Continental
<b>Primera aparición</b>	$\sim 4.5 \times 10^9$ años	$\geq 4.3 \times 10^9$ años
<b>Dónde se formo</b>	Dorsales oceánicas	Mesetas submarinas
<b>Composición</b>	Basalto	TTG
<b>Extensión lateral</b>	Extenso y rápido reciclado	Local, rápido reciclado
<b>Cómo fué generado</b>	Fusión parcial de rocas ultramáficas en el manto superior	Fundido parcial de rocas máficas húmedas con granates en el residuo

(Ab>An)

TTG = Tonalita–Trondhjemita–Granodiorita

$Qz \lesseqgtr Pg > FdK$

(An>Ab)

# Hipótesis dominantes sobre el origen de la corteza de la Tierra

- Formación de corteza oceánica por fusión parcial del manto. Producción 4-6 veces más rápida que la actual. (composición con poco % de fusión: basaltos; con >% de fusión: komatita)
- Formación de corteza continental por fusión parcial de corteza oceánica gruesa o fusión de segmentos subducidos de corteza basáltica (composición: TTG)
- La Tierra es el único planeta con corteza continental

TTG = Tonalita–Trondhjemita–Granodiorita:

rocas silíceas que tienen:

Pg (PgNa: Albita; PgCa: anortita) > Fd alcalino (K-Al: sanidino, ortoclasa, anortoclasa, microclina)

⇒ **proviene de fusión parcial de: Corteza Oceánica (komatítica? ó basáltica)**

**CLASIFICACIÓN DE ROCAS PLUTÓNICAS BASADA EN LA COMPOSICIÓN MODAL IUGS**

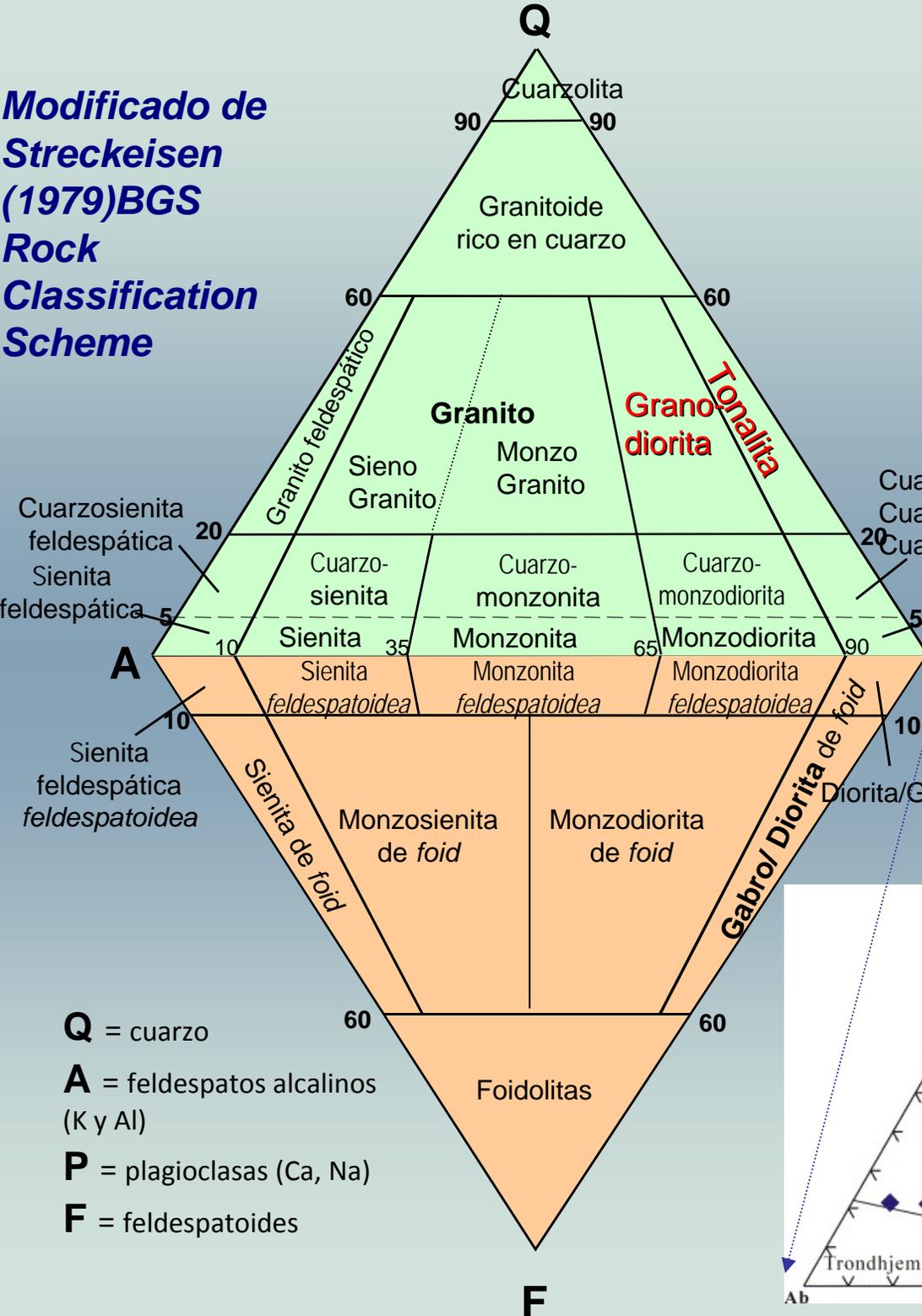
**Si máficos < 90 %**

Recalcular al 100% los tres minerales restantes:  
**Q, A, P (Ternario superior)**  
**A, P, F (Ternario inferior)**

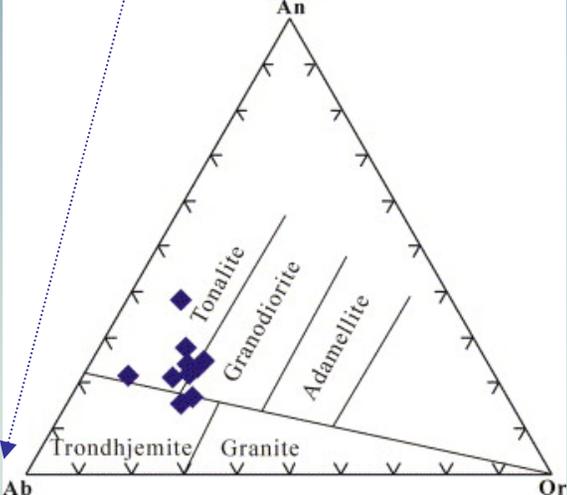
Para distinguir entre gabro y diorita, determinar el contenido de An:  
**An > 50, ol, px : gabro**  
**An < 50, anf : diorita**

Los términos **“foid”** y **“feldespatoidea”** deben ser reemplazados por el nombre del feldespatoide presente, p. ej. **Sienita de nefelina, Sienita nefelínica, Nefelinita**

**Modificado de Streckeisen (1979) BGS Rock Classification Scheme**



- Q** = cuarzo
- A** = feldespatos alcalinos (K y Al)
- P** = plagioclasas (Ca, Na)
- F** = feldespatoides



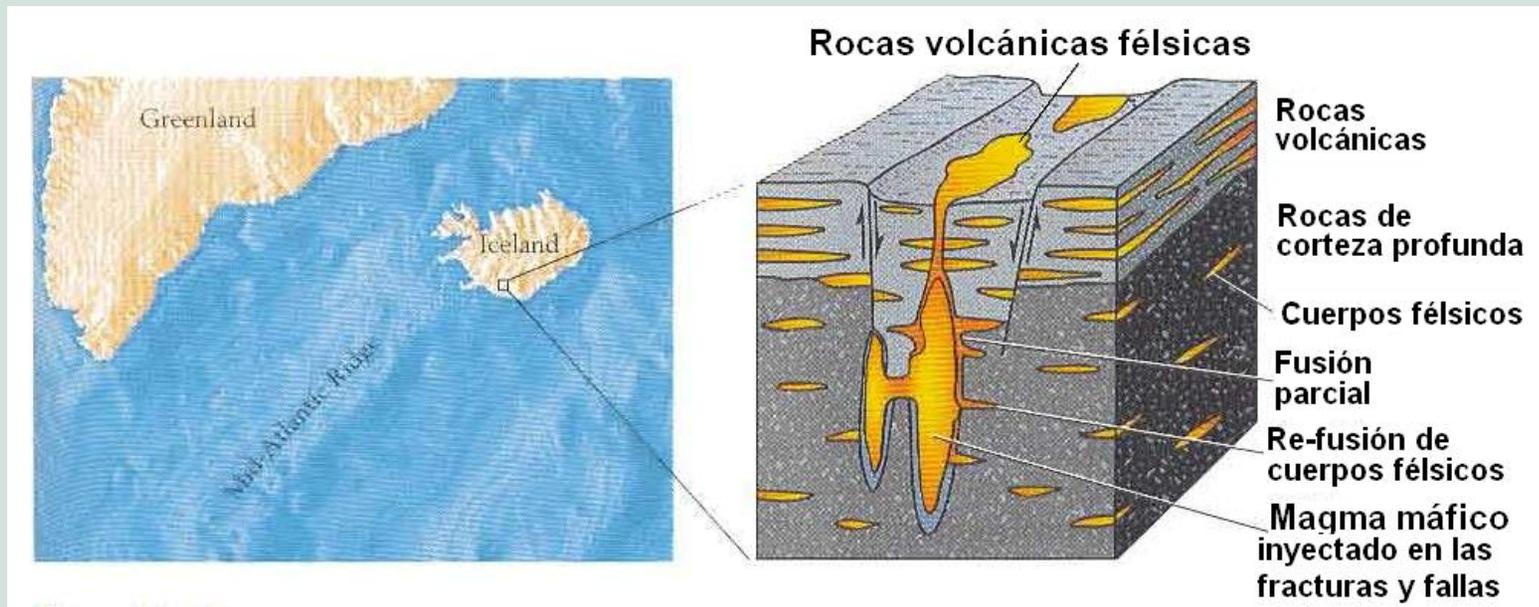
# ORIGEN DE LOS CONTINENTES

- Las rocas félsicas, componente principal de los continentes, generalmente son extraídas de una fuente máfica (corteza oceánica), mas que una ultramáfica (manto)
- Debió haberse formado primero una corteza máfica
- Se debió requerir una refusión de la corteza máfica en segmentos de gran espesor o en zonas de subducción
- Así se formarían pequeños segmentos de corteza continental

*Actualmente se considera que los granitos se forman principalmente bajo los arcos volcánicos en los límites de placas convergentes. Este proceso produce zonas de metamorfismo muy extensas alrededor de tales intrusiones graníticas.*

Sin embargo en los granitos más viejos de los que hay registro: los arqueanos, produjeron metamorfismo por muy pocas extensiones en las rocas encajonantes probablemente debido a que fueron emplazados en profundidades extremadamente someras (cerca de la superficie, de forma que disiparon el calor rápidamente).

Alternativamente estos granitos, como aquéllos que fueron la semilla de los primeros continentes, se formaron de forma similar a como hoy se forman eventualmente rocas félsicas en condiciones de dorsales oceánicas por refusión de la corteza oceánica como es el caso de Islandia



3.2 billion years ago

## FLEDGLING LANDMASSES

Partial melting and amalgamation of older crustal fragments have produced the first bona fide continent. Large impacts still occur, though less frequently.

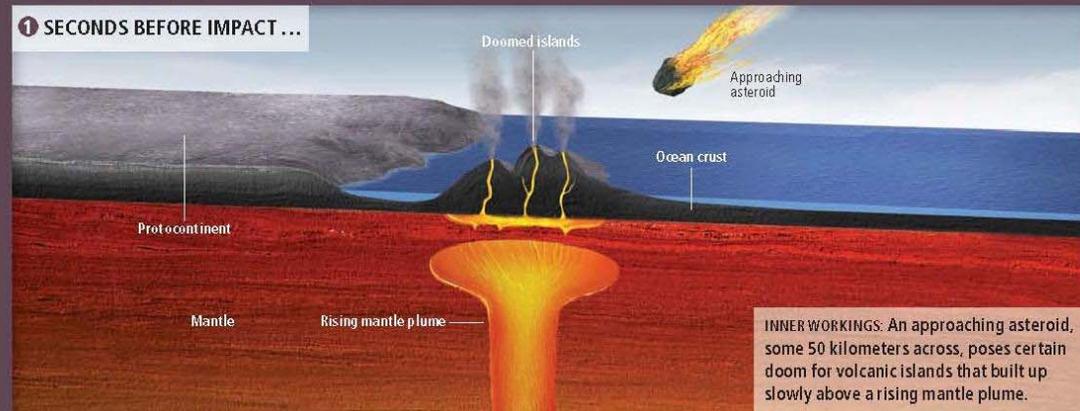


### [IMPACT SCENARIO]

## How Land Might Emerge from Cosmic Chaos

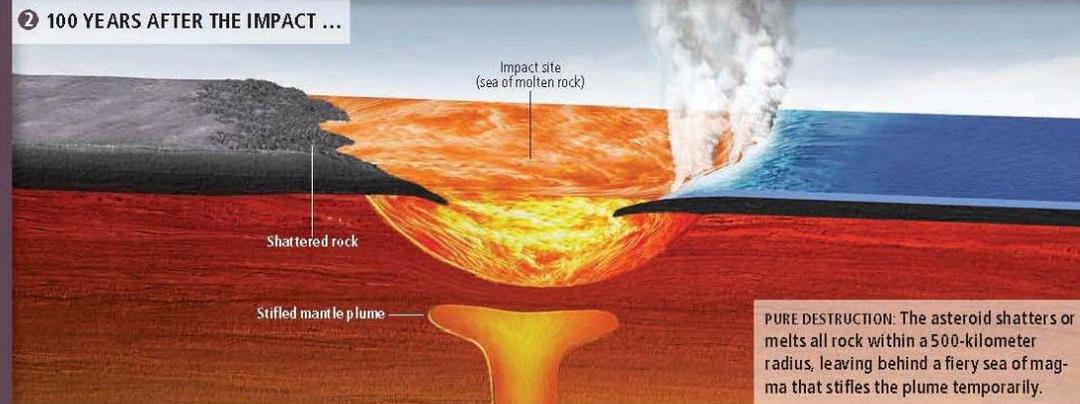
Billions of years ago the earth's inner workings produced new landmasses above rising mantle plumes much as it does today—the hot, buoyant material partially melted the rock above, thereby fueling massive volcanoes that thickened the crust (1). A large asteroid impact would have stifled this process temporarily (2). But computer simulations suggest that, over the long haul, such a collision could have imparted a constructive influence by deflecting the plume to surrounding regions (3).

### 1 SECONDS BEFORE IMPACT ...



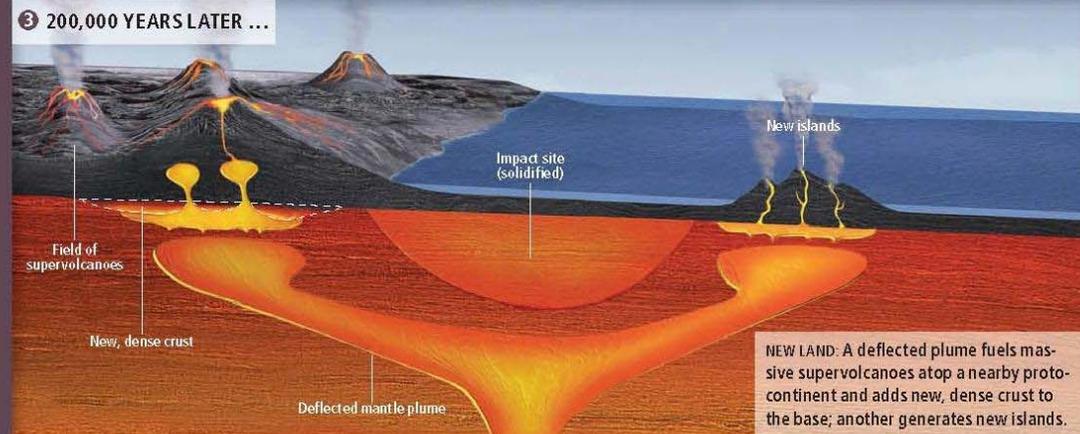
**INNER WORKINGS:** An approaching asteroid, some 50 kilometers across, poses certain doom for volcanic islands that built up slowly above a rising mantle plume.

### 2 100 YEARS AFTER THE IMPACT ...



**PURE DESTRUCTION:** The asteroid shatters or melts all rock within a 500-kilometer radius, leaving behind a fiery sea of magma that stifles the plume temporarily.

### 3 200,000 YEARS LATER ...



**NEW LAND:** A deflected plume fuels massive supervolcanoes atop a nearby protocontinent and adds new, dense crust to the base; another generates new islands.



▲ Sand-size spheres called impact spherules condensed from a cloud of hot, vaporized rock kicked up during an asteroid collision with the earth 2.5 billion years ago. Winds dispersed this rock vapor around the globe, and as it cooled, it condensed as droplets that solidified and fell to earth, becoming entrained in layers of ancient seafloor sediment now exposed on land in northwestern Australia.



Las roca más antigua fechada en la Tierra proviene del Escudo Canadiense, es el gneiss de Acasta: **4030 millones de años (Ma)**

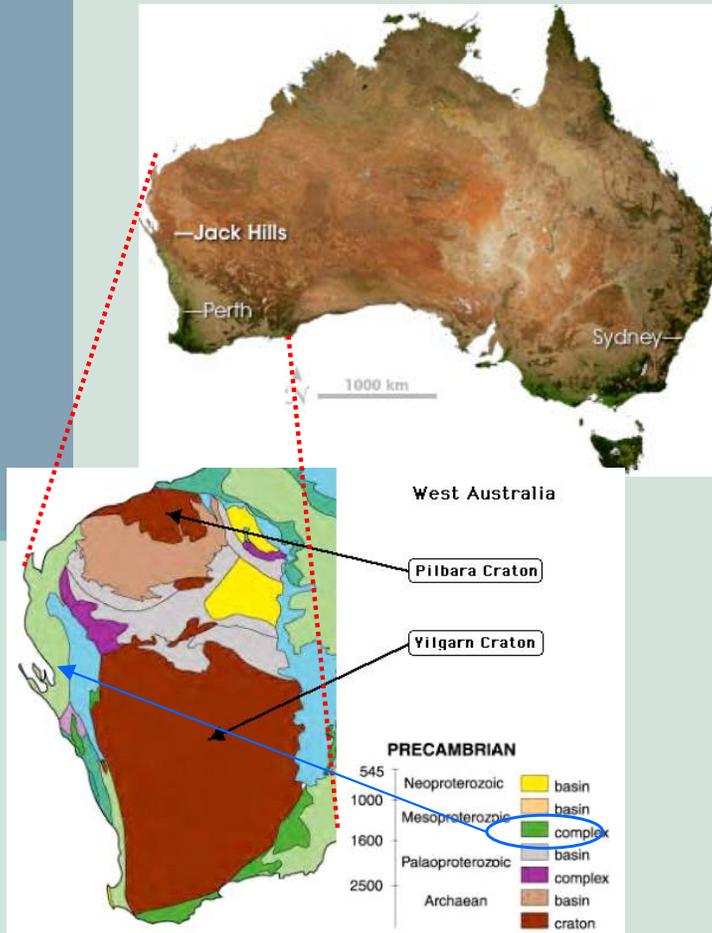


**Indica la existencia de una corteza continental para este tiempo y consecuentemente la existencia de cortezas anteriores previas graníticas y/o máficas**

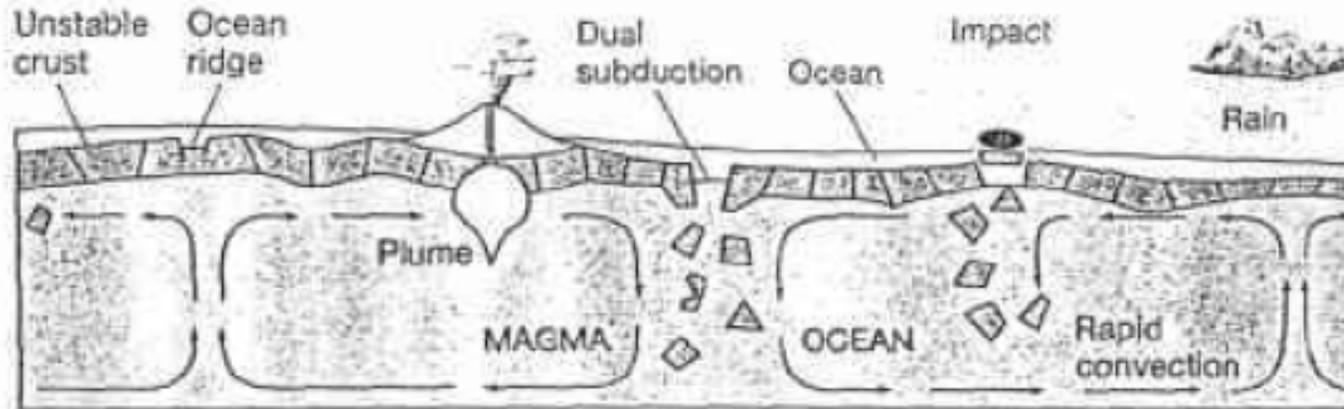
En el oeste del Escudo Australiano, en Jack Hills, la **arenisca** de 3000 Ma, con pequeños circones detríticos, fechados con: **4350 Ma !!!**

*Indica la existencia de una corteza granítica para la edad de 4350 Ma*

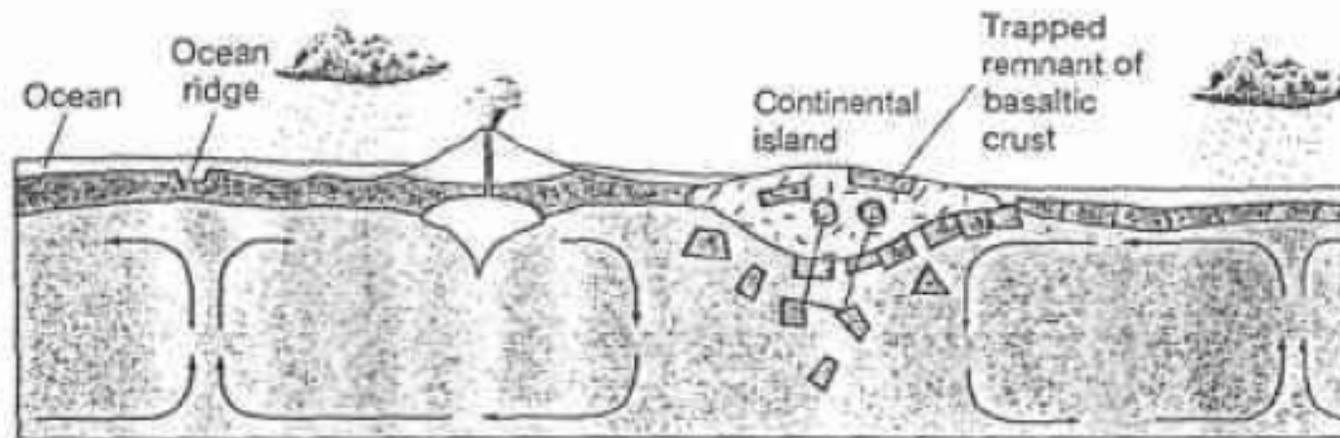
Para 4350 Ma debió haber habido ya una corteza que para el tiempo del depósito de la arenisca, debió haber sido destruida



Estas cortezas primegenias formaban parte de placas litosféricas con un comportamiento dinámico similar a la actual tectónica de placas?



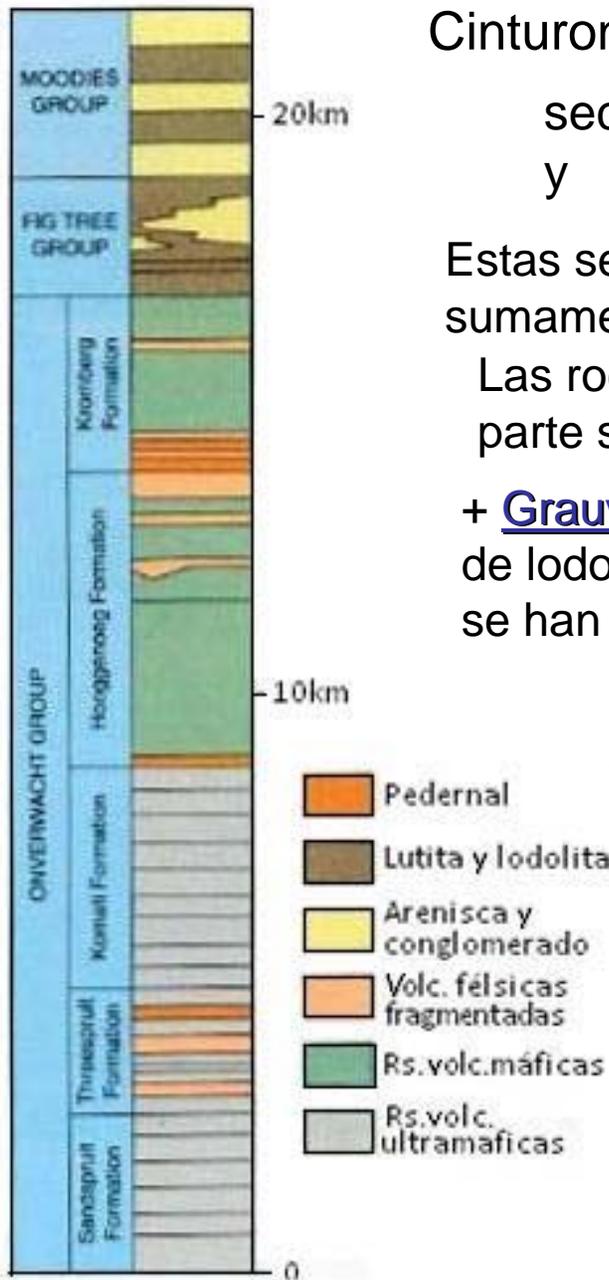
(a) 4.6–4.3 Billion years ago



(b) 4.3–3.8 Billion years ago

**FIGURE 4.23** Diagrammatic cross-sections illustrating the history of Earth's crust during the Hadean. (a) 4.6 to 4.3 Ga, rapid recycling of an unstable crust. (b) 4.3 to 3.8 Ga, the formation of continental islands.

## GREENSTONE BELTS



Cinturones alargados (varias decenas de km de largo) de secuencias **volcánica** ligeramente metamorfoseadas y **sedimentarias** de aguas profundas (?)

Estas secuencias, de espesores de 6 a 30 mil m, se encuentran sumamente plegadas y afalladas

Las rocas **sedimentarias** son: más abundantes hacia la parte superior (más jóvenes) y contienen:

+ **Grauvacas** (areniscas mal seleccionadas, con una gran cantidad de lodo o matriz) con estratificación gradada.

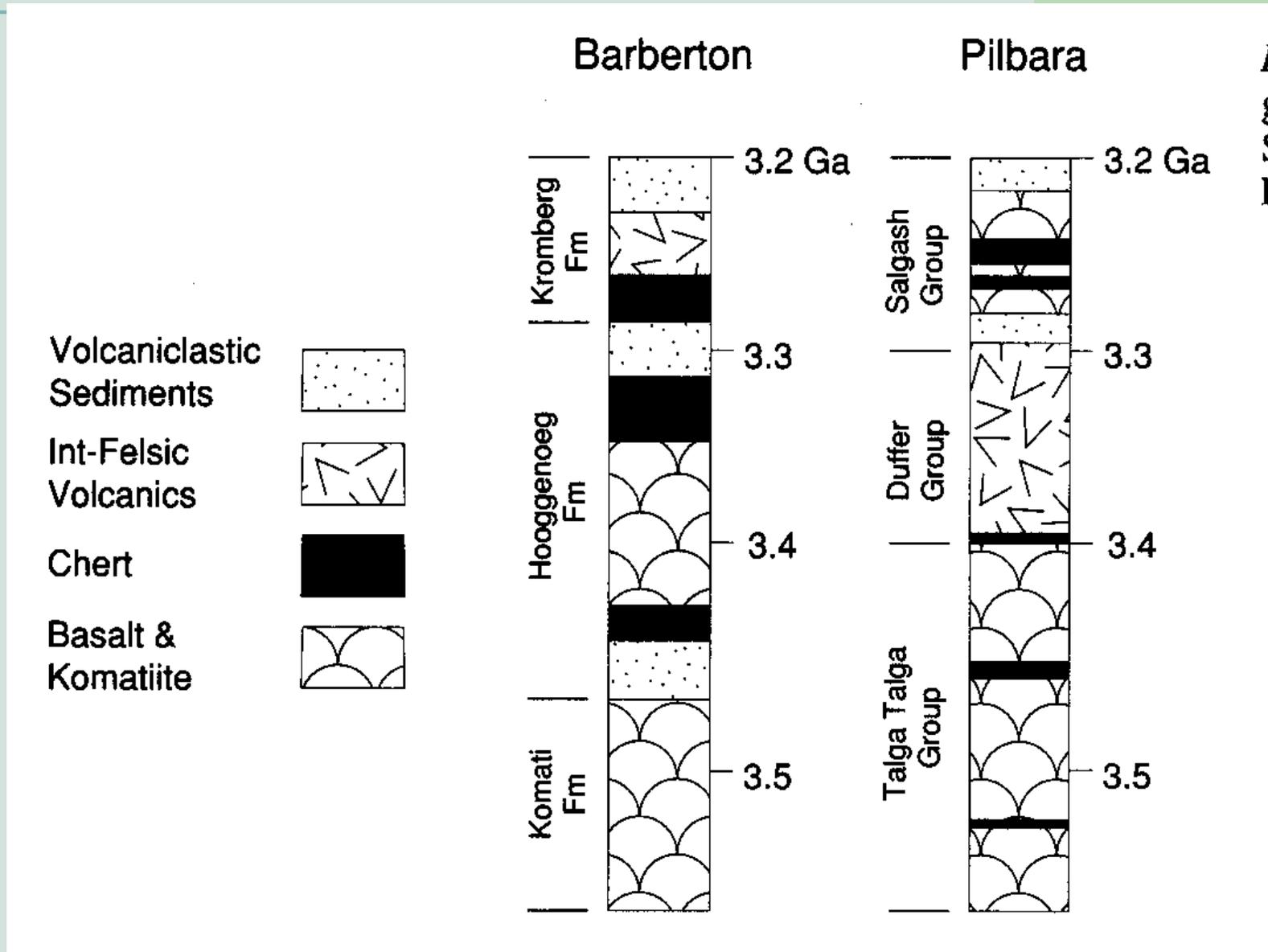
se han interpretado como depositadas por corrientes de turbidez

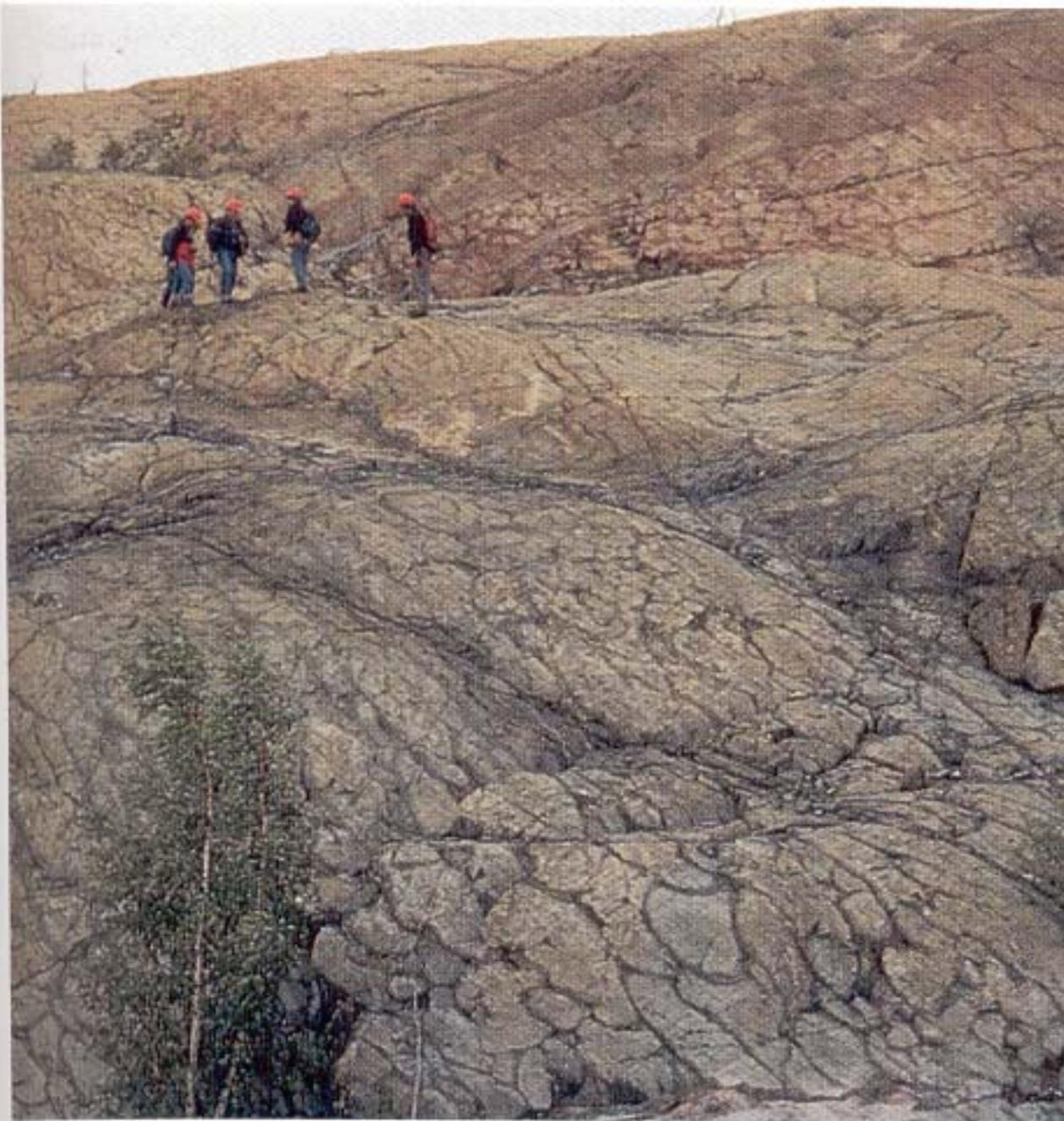
+ **Conglomerados**. Algunos contienen capas con clastos de granitos.

Las rocas **volcánicas** son: más abundantes hacia la parte inferior. Incluyen pillow lavas, brechas, volcaniclásticas y tobas

Su composición es: **ultramáficas (komatiitas, anortositas)** y máficas hacia la parte inferior, seguidas de intermedias y finalmente félsicas. Esta secuencia sugiere una evolución progresiva de la roca fundida. Las rocas intermedias y félsicas son las que más se presentan con volcaniclásticas

# Secciones estratigráficas de los Greenstone del Arcaico Temprano





**Figure 11-19** Archean pillow basalts in the Yellowknife region of Canada. The pillows have been planed off by erosion.

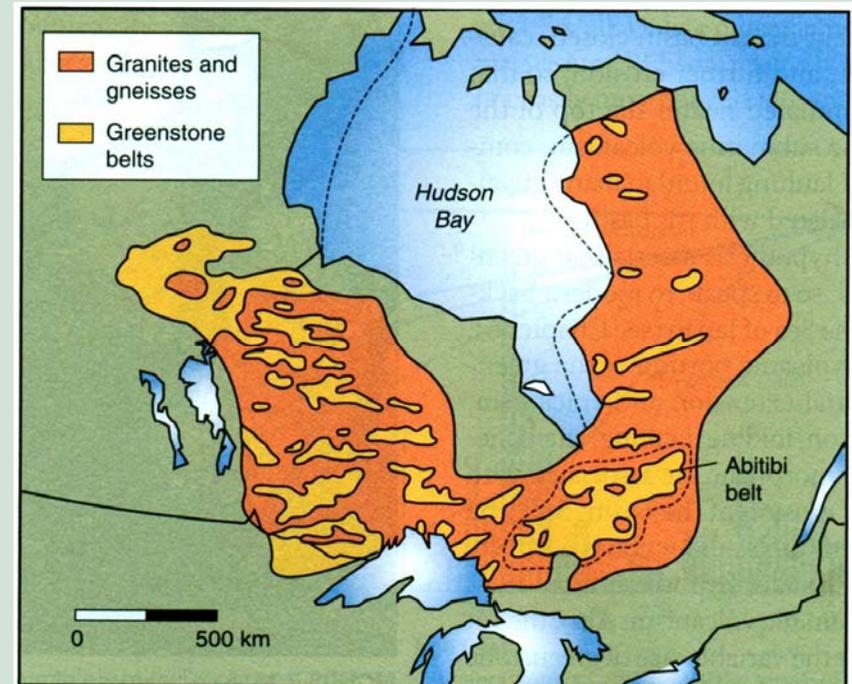
## GREENSTONE BELTS

Interpretación de los greenstone belts.-

Las rocas máficas y ultramáficas sugieren una **corteza inicial máfica, extremadamente delgada e inestable que fue cambiando con el tiempo a una corteza granítica**. Las rocas ultramáficas son totalmente inusuales, en virtud a que las temperaturas de fusión de sus minerales constituyentes es de 1600° C (basaltos modernos funden a 1100° C)

## GRANITOS Y GRANULITAS ARQUEANOS

Las rocas graníticas y granulitas (gneisses derivados de metamorfismo térmico y deformación de intrusivos graníticos), se presentan principalmente rodeando a los greenstone belts



# Gneis Acasta de la Provincia Arqueana Slave (4.0-Ga), T del NW de Canadá

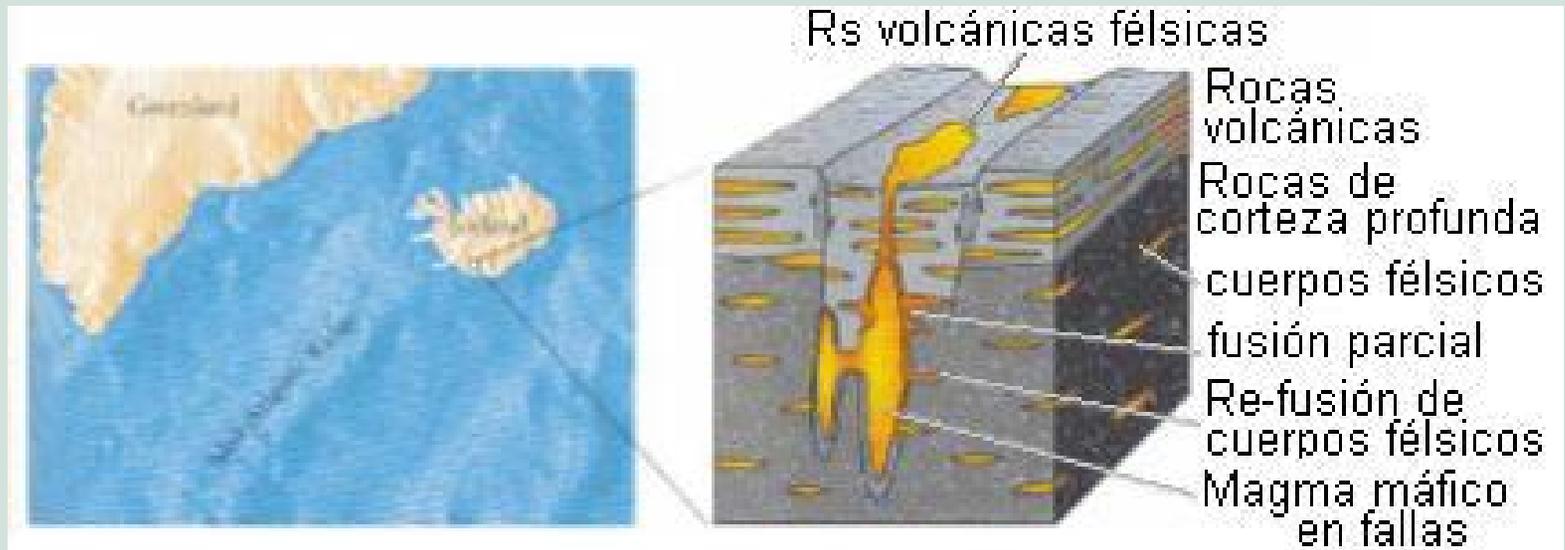


## GRANITOS Y GRANULITAS ARQUEANOS

Evidencia “directa” de algunos de los primeros granitos ellos se observa en las gravas que conforman a conglomerados pertenecientes a secuencias sedimentarias más jóvenes que los greenstone belts.

*¿Su origen sería como los granitos actuales? bajo los arcos volcánico en los límites de placas convergentes (zonas de metamorfismo muy extensas alrededor de las intrusiones graníticas). O como las eventuales rocas félsicas formadas eventualmente en algunas dorsales oceánicas? (ej. Islandia)*

Granitos arqueanos produjeron metamorfismo por muy pocas extensiones en las rocas encajonantes de los greenstone belts, probablemente debido a que fueron emplazados en profundidades extremadamente someras (cerca de la superficie, de forma que disiparon el calor rápidamente).



## GRANITOS Y GRANULITAS ARQUEANAS

Por lo anterior, se interpreta que estas rocas graníticas arqueanas,

**Representan la separación inicial de los minerales más ligeros formadores de la corteza continental, de aquéllos minerales más pesados que conforman el manto (proceso conocido como fusión parcial)**

**Los primeros continentes,**

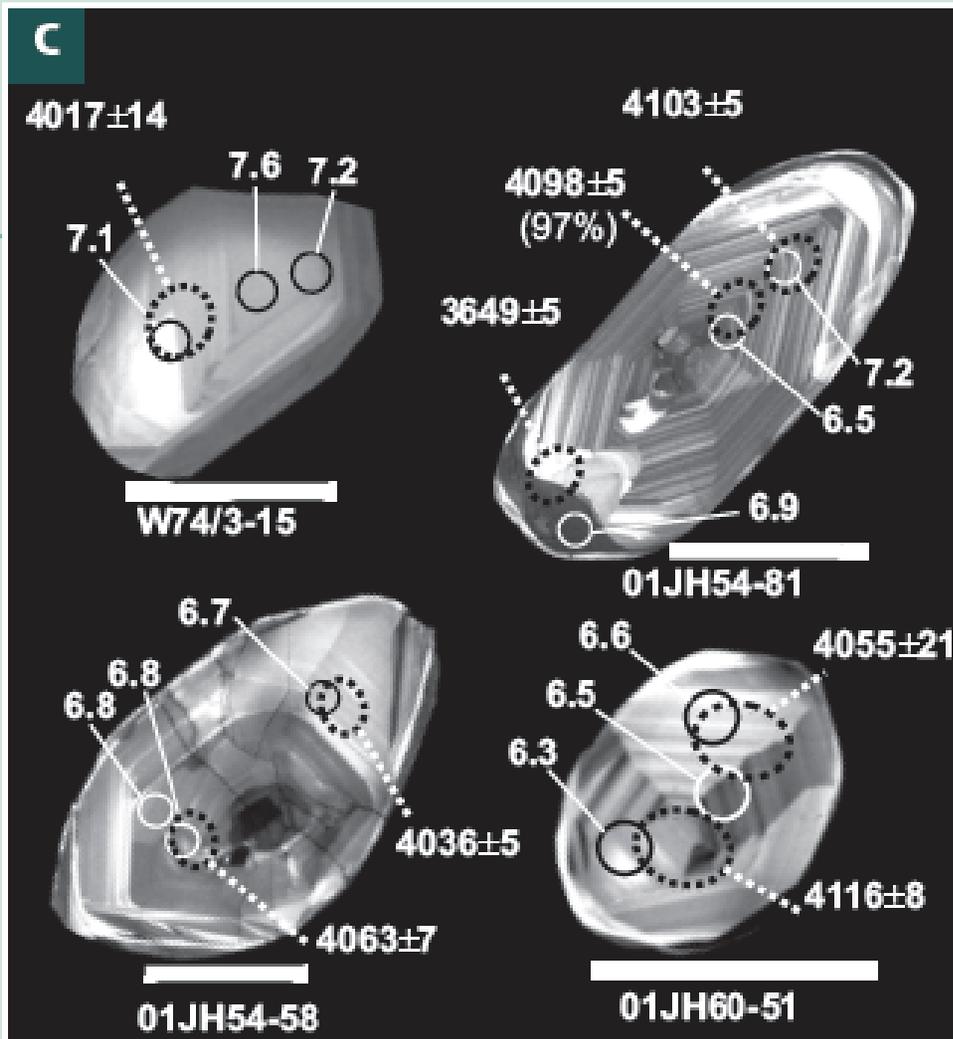
Fueron consolidados y formados a partir de la corteza oceánica hace 3400 a 2400 m.a. Una vez formados, en ellos se desarrollaron sedimentos de aguas someras y desde entonces han permanecido estables



Fotografía aérea del escudo de Pilbara, Oeste de Australia: Los cuerpos claros circulares son rocas cristalinas que corresponden a trozos de la primera corteza separados por rocas oscuras que son los Greenstone belts

Su origen es por fusión parcial de una anterior corteza oceánica en un marco tectónico un tanto similar al de hoy observado en Islandia: un pluma (hot spot en una dorsal)

Edades en zircones dan más viejas al centro y más jóvenes en los extremos



Imágenes de catodoluminiscencia de circones pulidos, edades en Ma (concordantes >85%) y relaciones isotópicas de  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidas de análisis en diversos puntos. La escala de la barra es  $100 \mu\text{m}$

# GRANITOS Y GRANULITAS ARQUEANOS y GREENSTONE BELTS

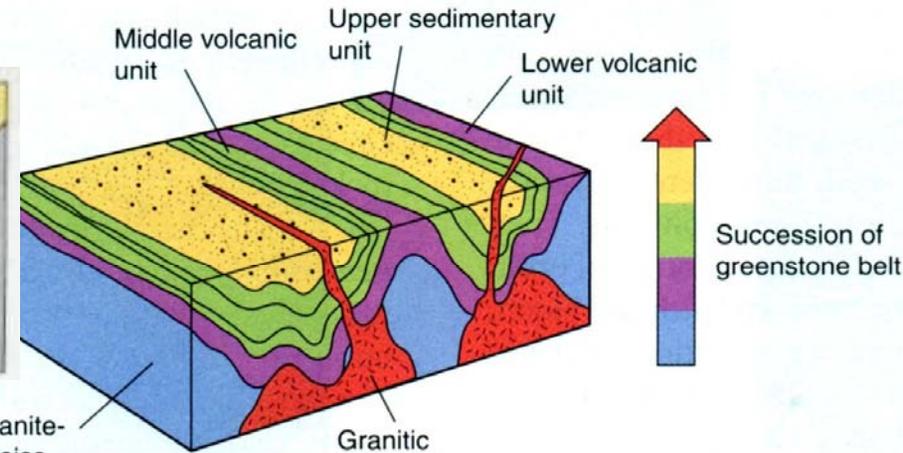
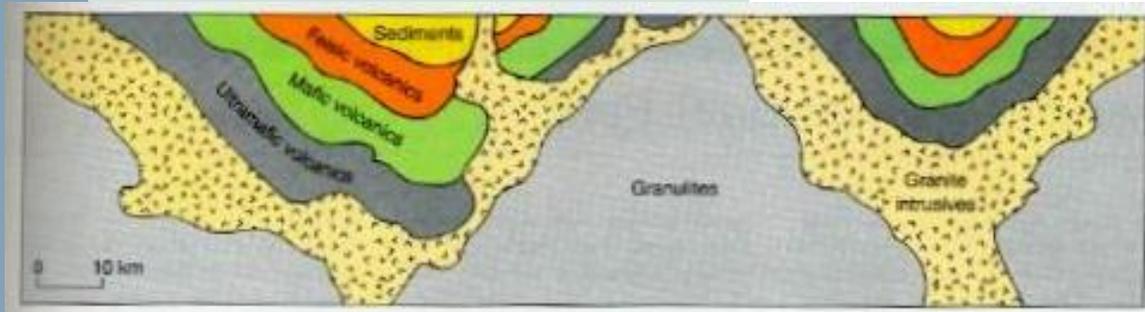
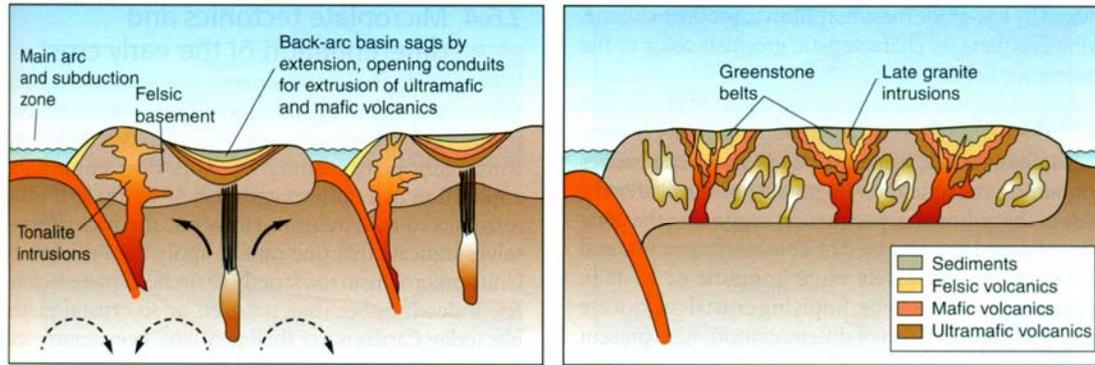


Diagram illustrating the formation of a granitoid-greenstone belt setting.

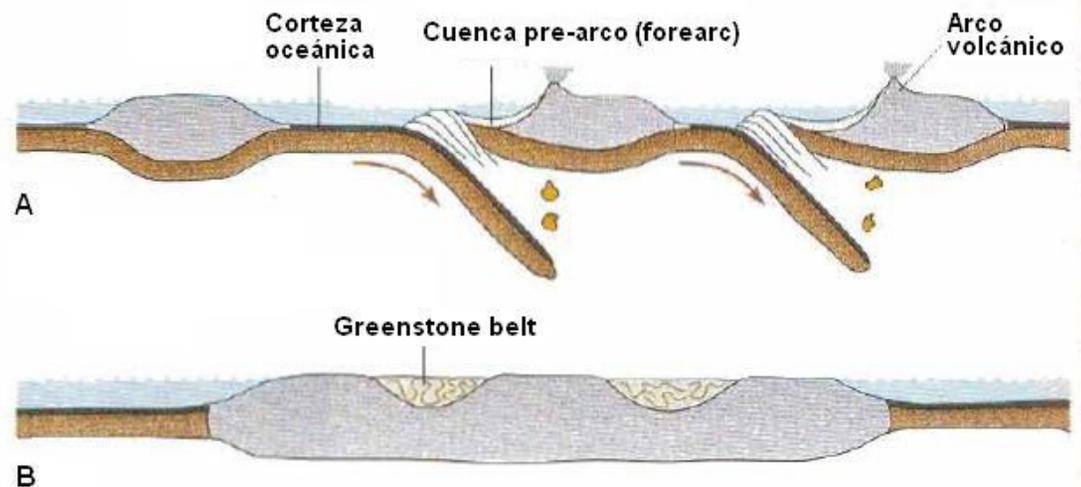


**FIGURE 7.22** The back-arc basin hypothesis for the formation of greenstone belts. (a) Ancient tectonic setting. (b) After collision and accretion to form larger continent with greenstone belts and gneiss terranes.

Los greenstone belts se han interpretado depositados en cuencas trasarco (foreland ó antepais) desarrolladas sobre una primera corteza continental

Interpretaciones alternativas consideran su depósito en cuencas prearco (forearc)

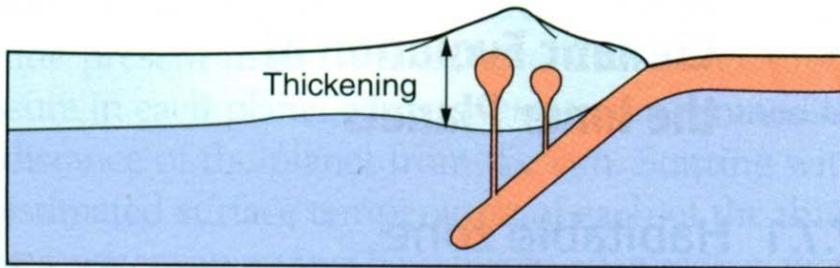
En ambos casos en marcos de acreción de diversas protoplacas continentales



# Mecanismos de crecimiento de la corteza continental

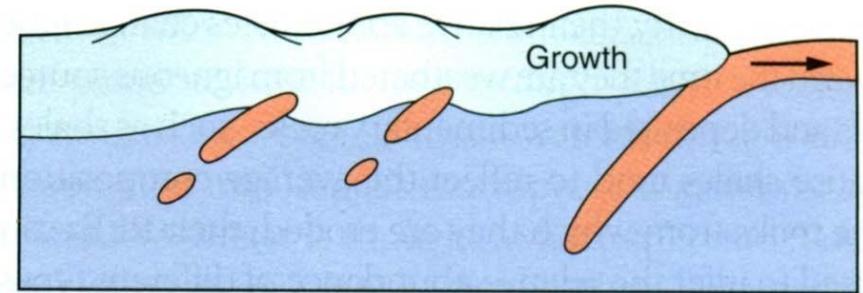
- *Overplating y underplating* de magmas
- Colisión de terrenos oceánicos contra los márgenes continentales.
- .....
- Las tasas de crecimiento y el papel del reciclamiento de la corteza hacia el manto.

# Mecanismos del Crecimiento Continental



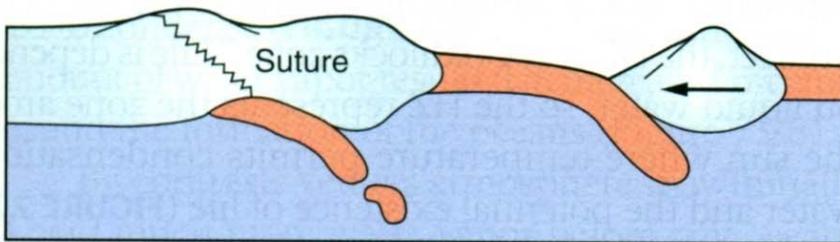
Magma addition in arcs

(a)



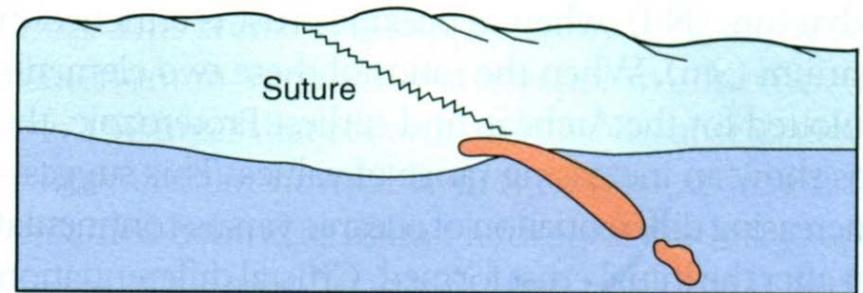
Seaward migration of ocean plate

(b)



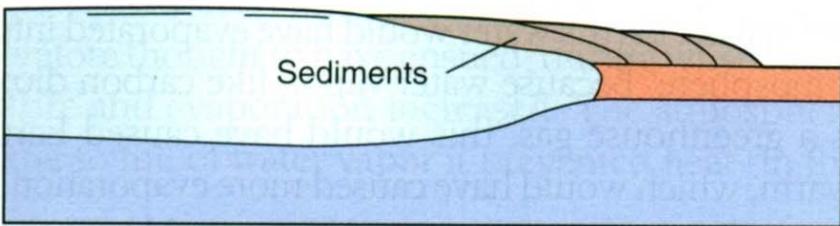
Terrane accretion

(c)



Continental collision

(d)



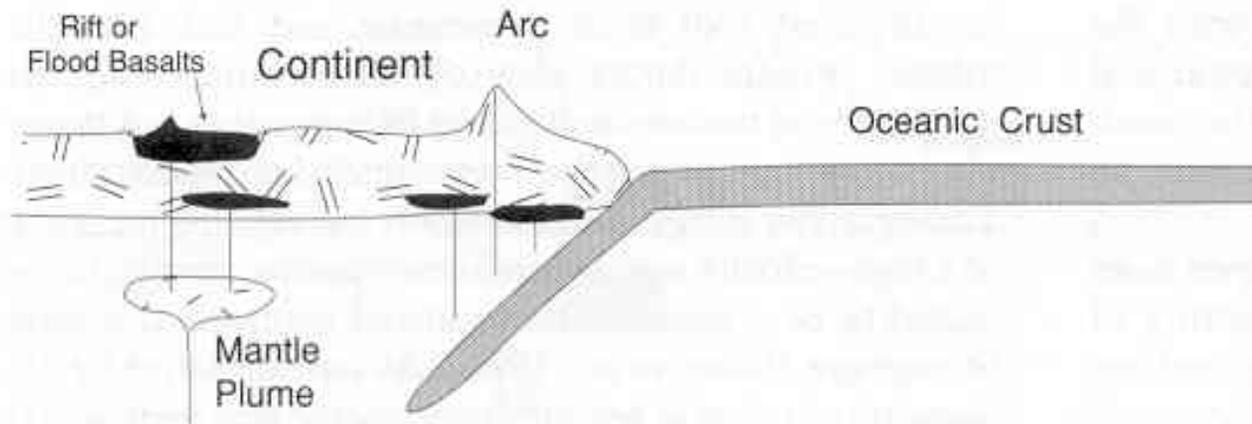
Welding of marginal sediments

(e)

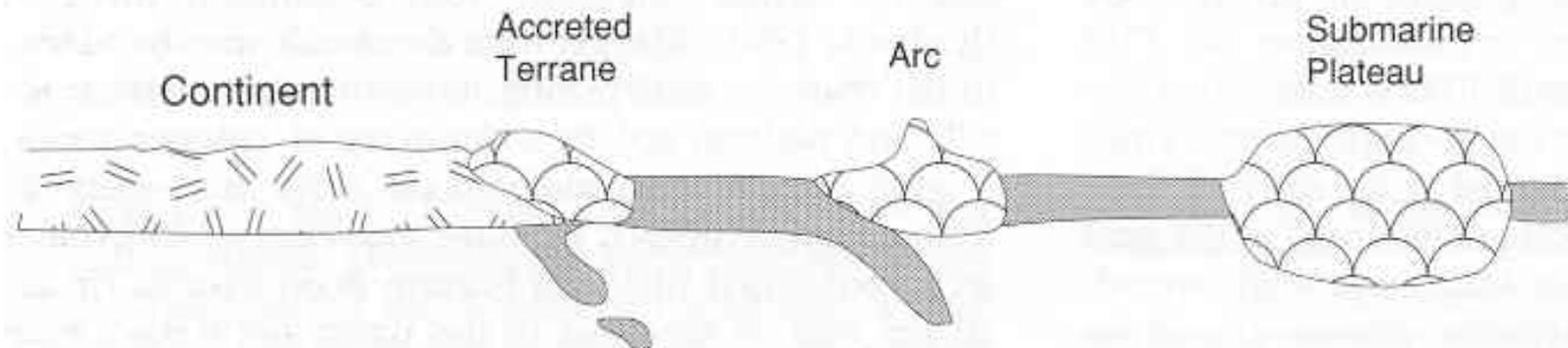
Hoy

# Mecanismos del Crecimiento Continental

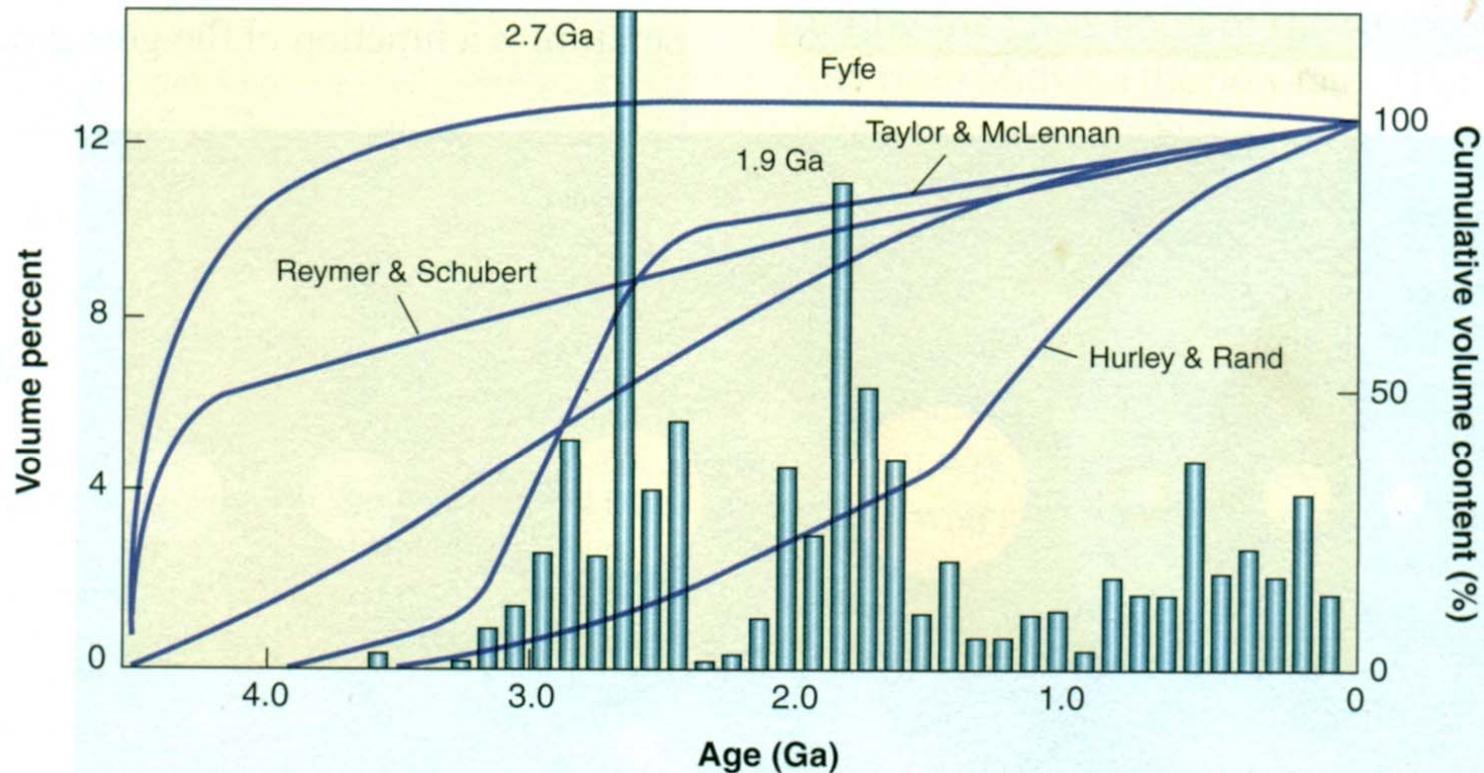
## a. MAGMATIC OVER- AND UNDERPLATING



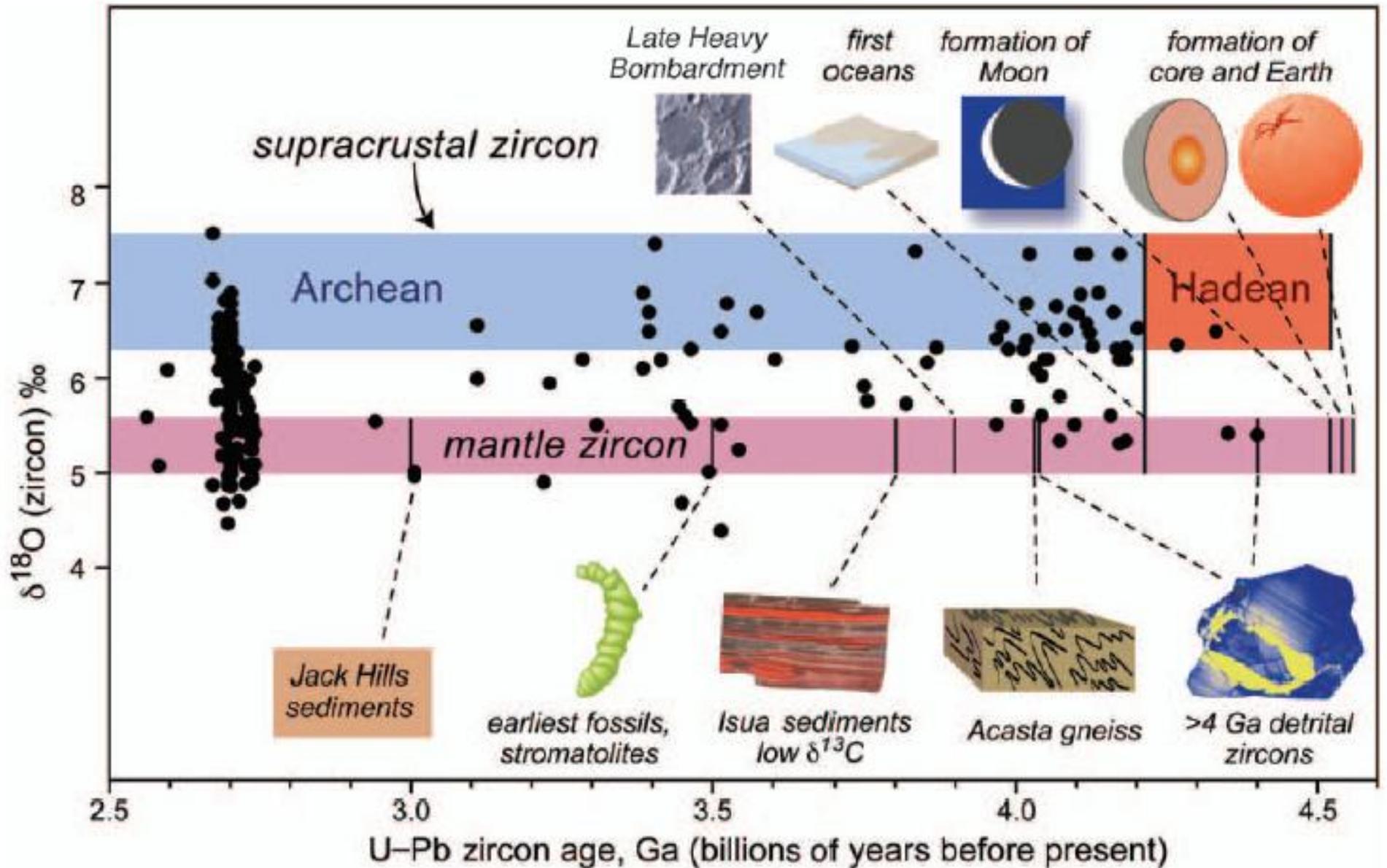
## b. TERRANE COLLISIONS



# Ejemplos de los Modelos Continentales



**FIGURE 7.26** Growth rate models of the continents proposed by various investigators. 100% represents modern crust. [Adapted from: Hawkesworth, C. J., Dhuime, B., Pietranik, A. B., Cawood, P. A., Kemp, A. I. S., and Storey, C. D. The generation and evolution of the continental crust. *Journal of the Geological Society, London* 167, 229–248. Figure 1 (p. 230).]



Eventos clave se muestran con las relaciones isotópicas  $\delta^{18}\text{O}$  de circones de rocas ígneas y sus edades U-Pb. Rocas primitivas en equilibrio con el manto tienen promedios de  $\delta^{18}\text{O}$  de 5.3‰. Valores supracorticales altos (6.5 a 7.5) resultan de procesos que requieren agua en la Tierra

# La paradoja de la baja luminosidad del Sol temprano (Faint young Sun paradox)

- Se calcula que el Sol fue en las etapas tempranas de la Tierra entre 25 y 30 % menos luminoso que en la actualidad.
- El efecto de invernadero producido por el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$ , así como el albedo reducido pueden haber compensado las bajas temperaturas potenciales.