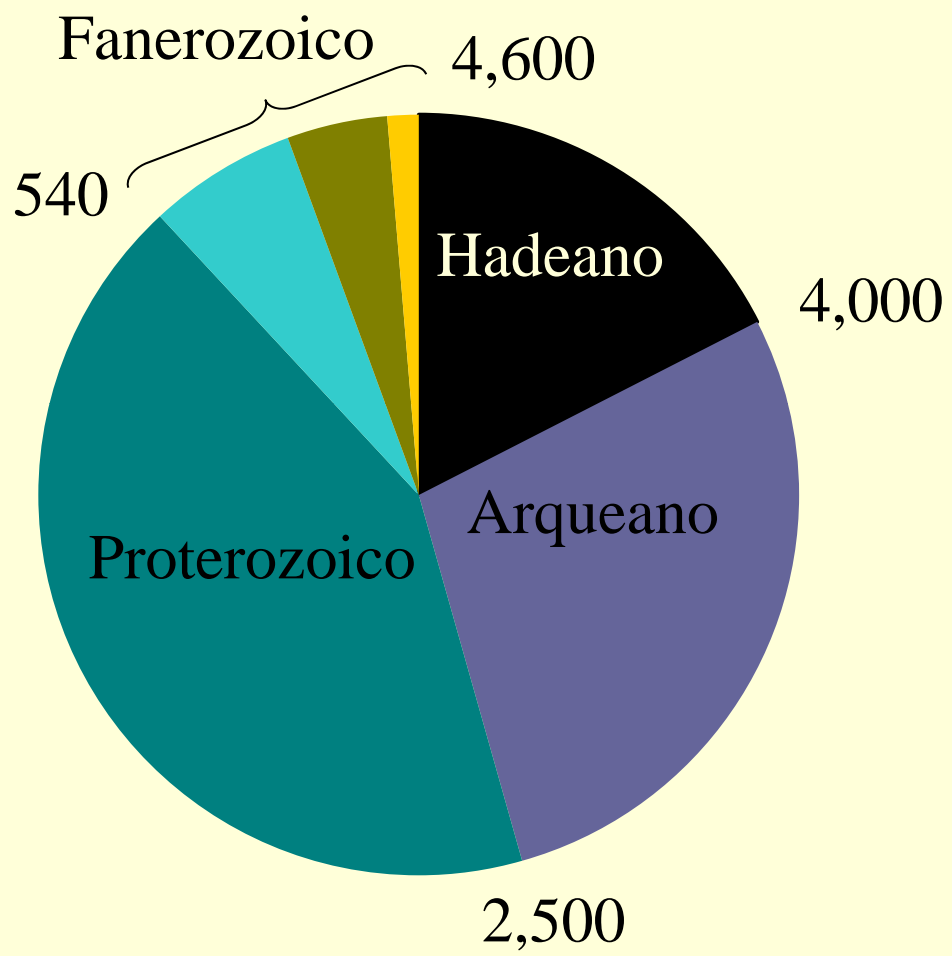


# Arqueano

Margarita Caballero  
Instituto de Geofísica, UNAM



## Las rocas mas antiguas:

Gneis metamorificos de 3,900 ma con zircones retrabajados de entre 4,000 y 4,200 ma.

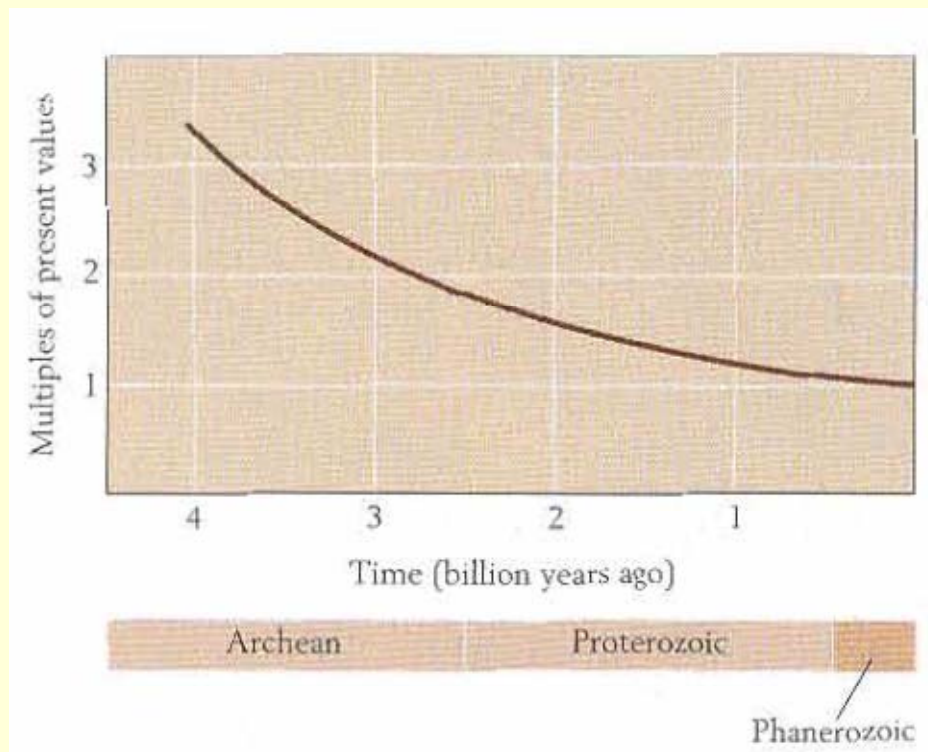
Rocas sedimentarias (areniscas) = 3,800 a 3,500 ma sedimentarias en ambiente subacuático, formadas por granos minerales producto del intemperismo y con evidencias de intemperismo →  
atmosfera e hidrosfera ya existían.

No hay Fe en forma de óxidos, hay pirita ( $\text{FeS}_2$ ), uranita y carbón. → condiciones anoxia

Temperatura del manto mucho mas alta que ahora, sobretodo por el intenso decaimiento radiactivo.

→ origen del Ar en la atmósfera

→ Un estilo de tectónica de placas muy diferente entre 4,400 y 3,000 m, con muchos hot-spots.

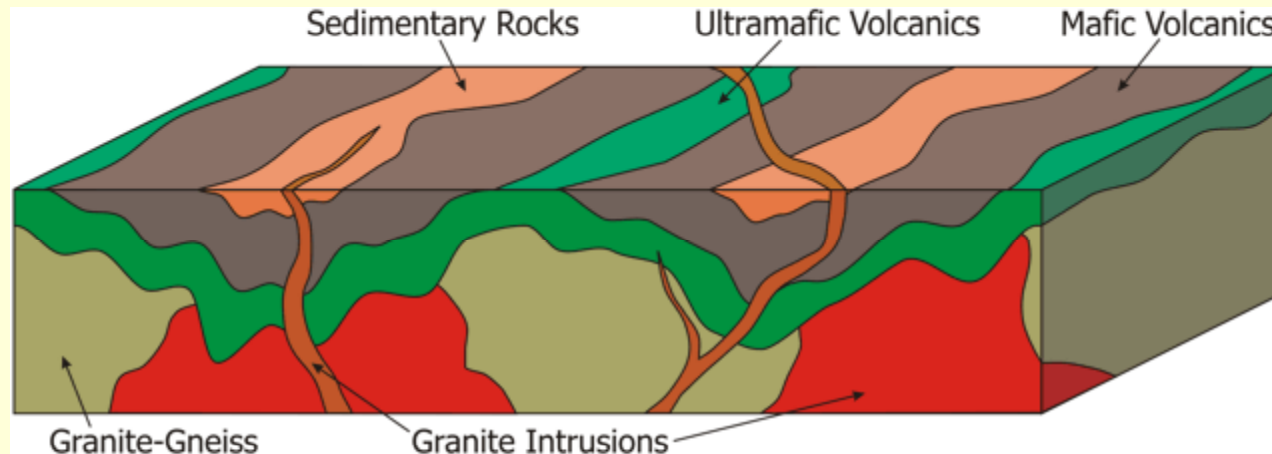


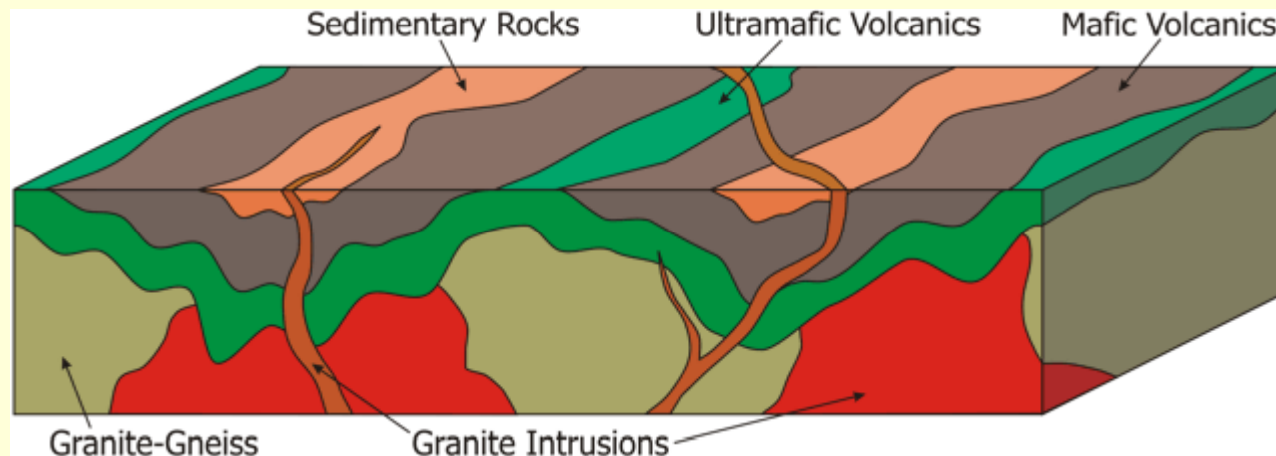
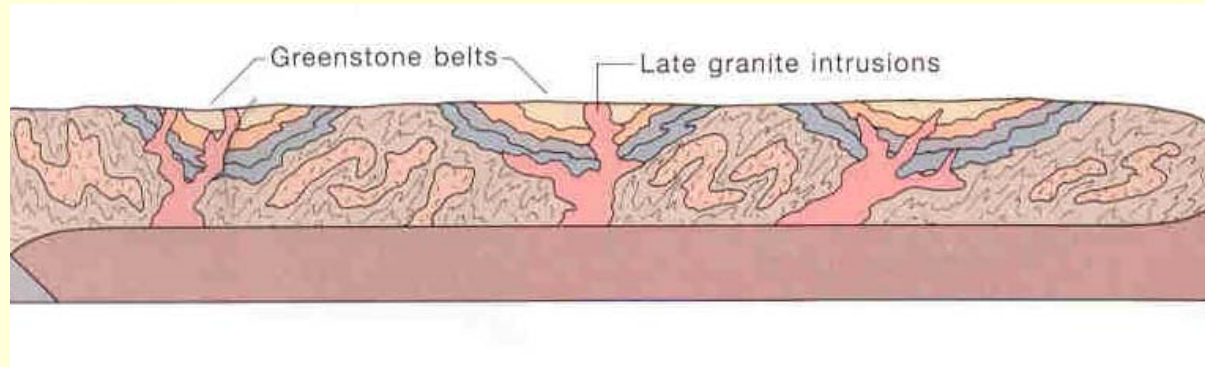
# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

- Cinturones de piedra verde (Green Stone Belts): 3,500 a 2,500 ma

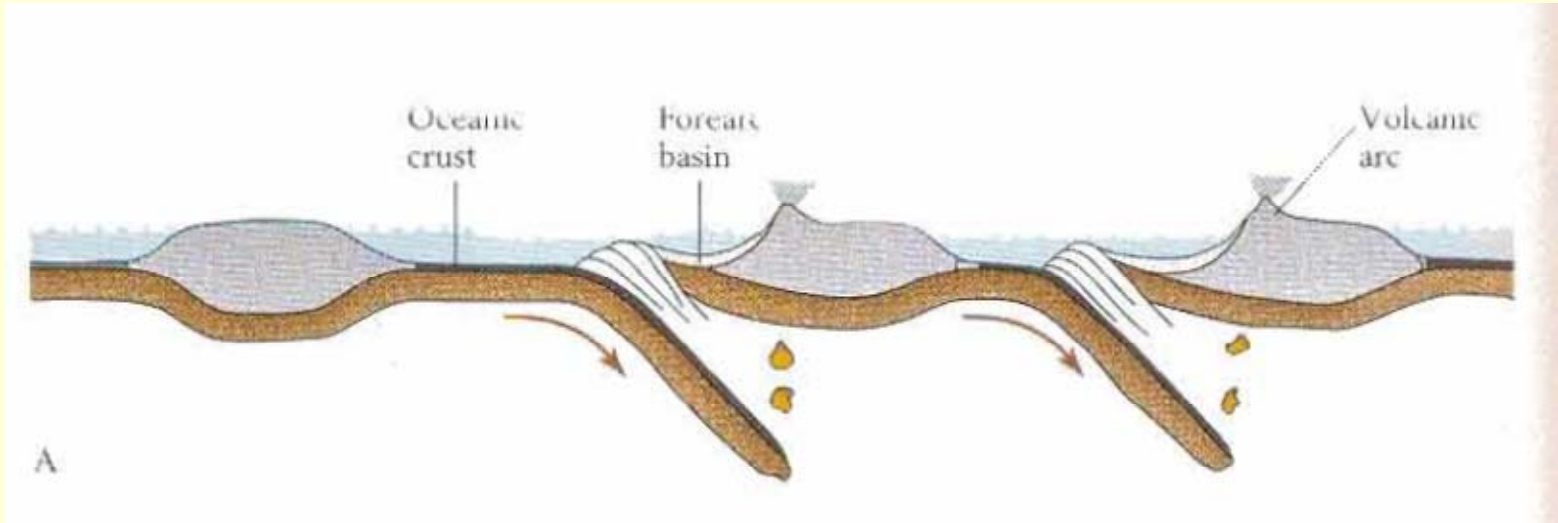
rocas volcánicas ultramáficas, rocas sedimentarias, todo plegado y con intrusivos.

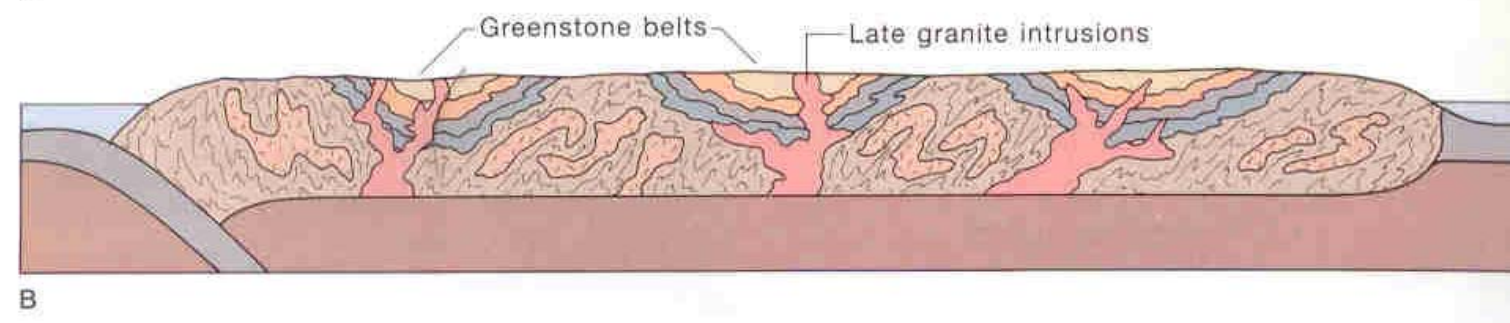
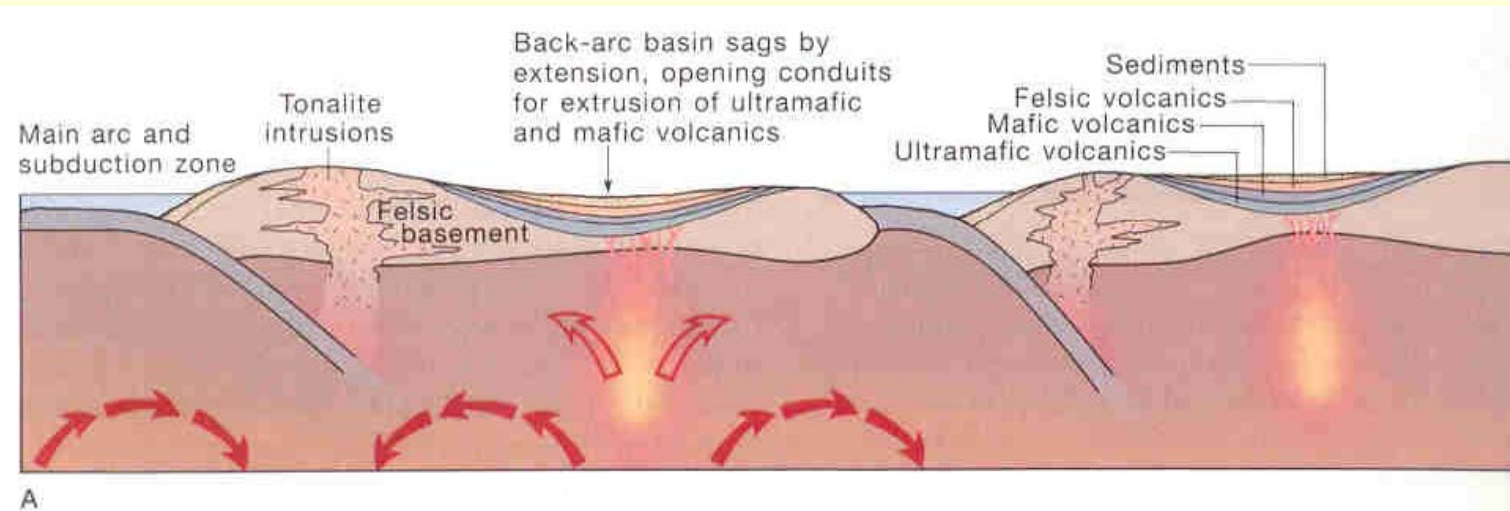
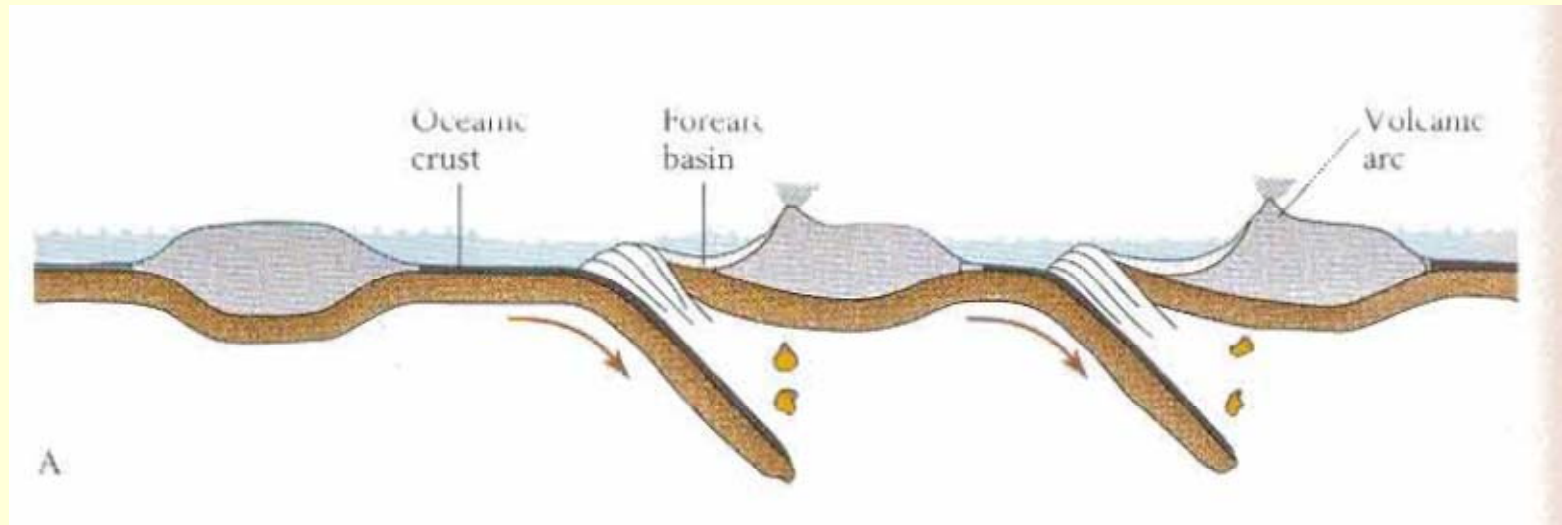




Rocas ultramáficas, tienen komatita rica en MgO, que es indicativa temperaturas muy elevadas. El contenido de komatita se reduce bruscamente a los 2,500 ma.

Lavas almohadilladas (pillow) – mares someros.



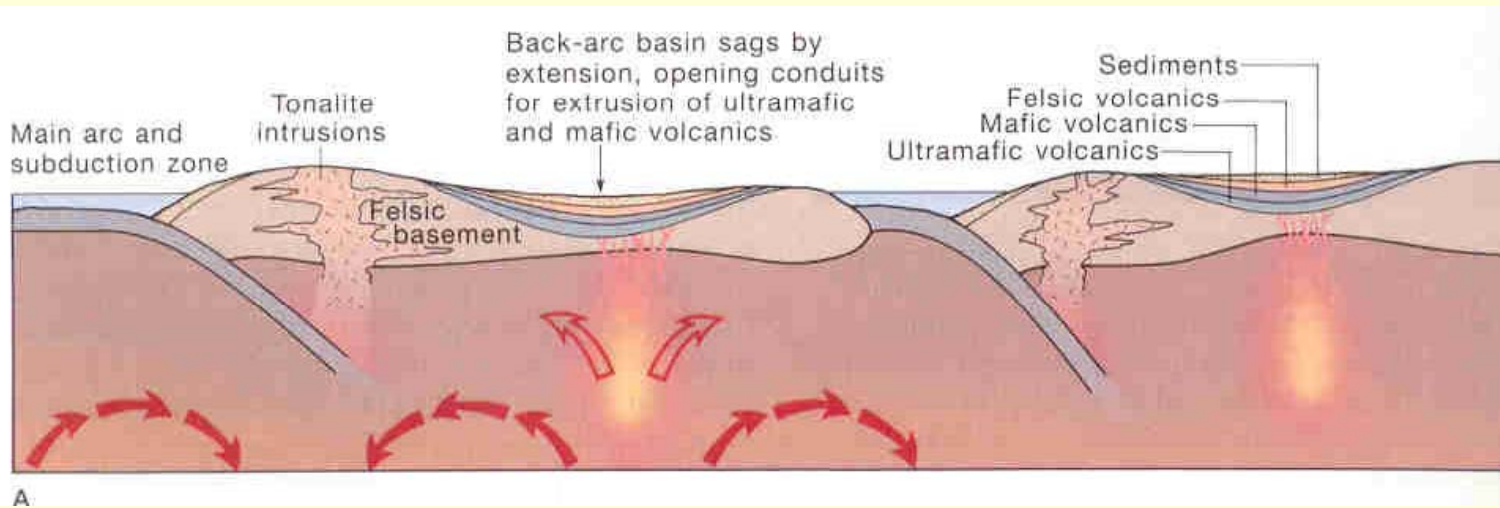




# ARQUEANO

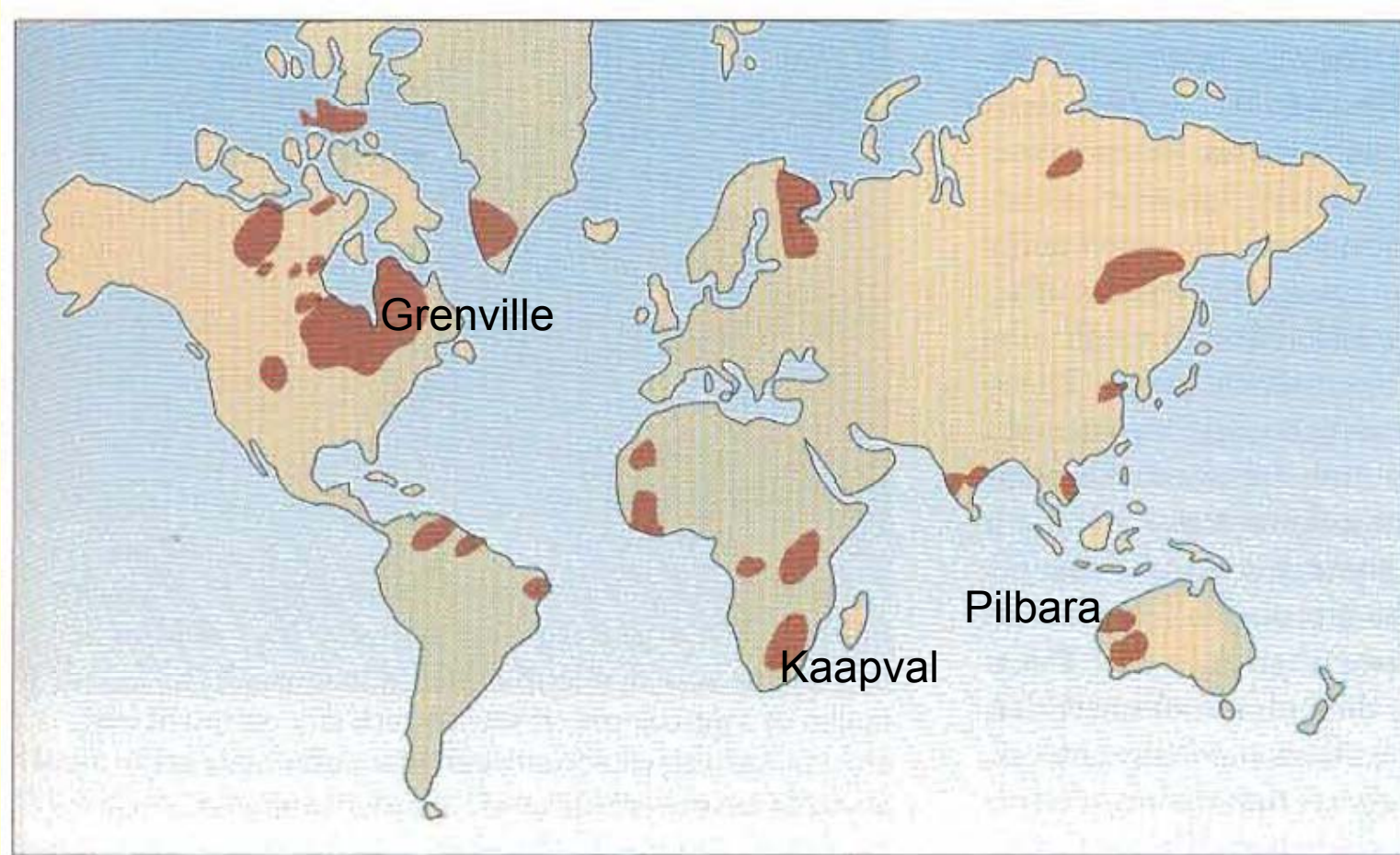
## 4,000-2,500 ma

- Margen continental activo, arco de islas y cuencas someras post arco de islas



- Tectónica de placas rápida, episódica, con placas mas pequeñas y delgadas, numerosos Rifts, plumas del manto, con un manto más caliente y placas mas boyantes (pocos ambientes marinos profundos), con fusión de la placa que subduce.

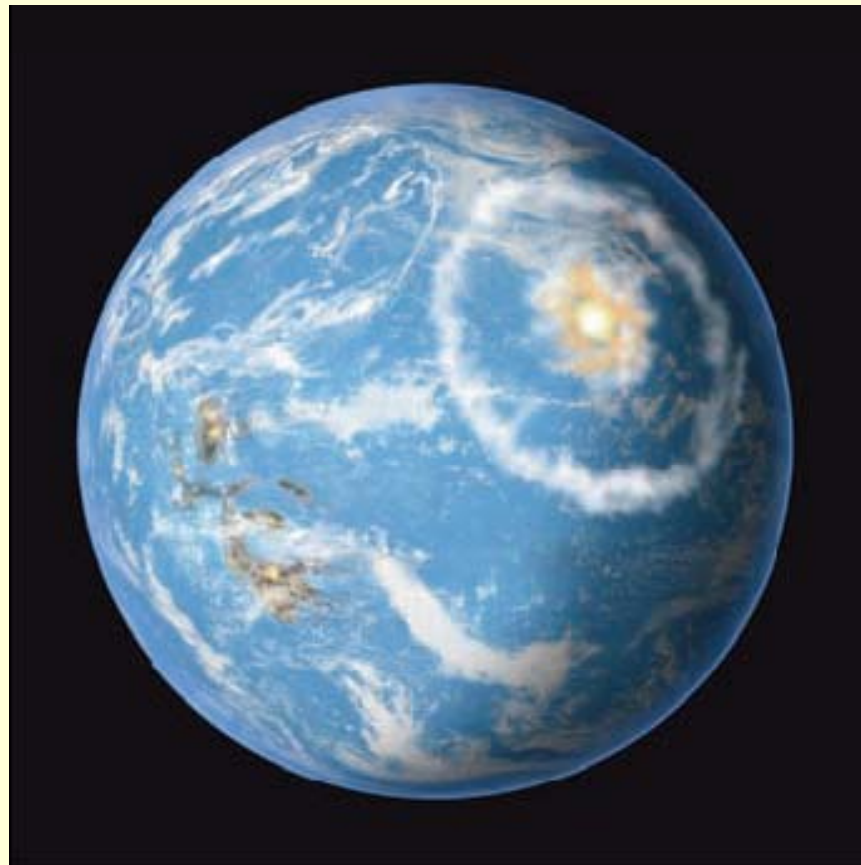
# Rocas del Arqueano



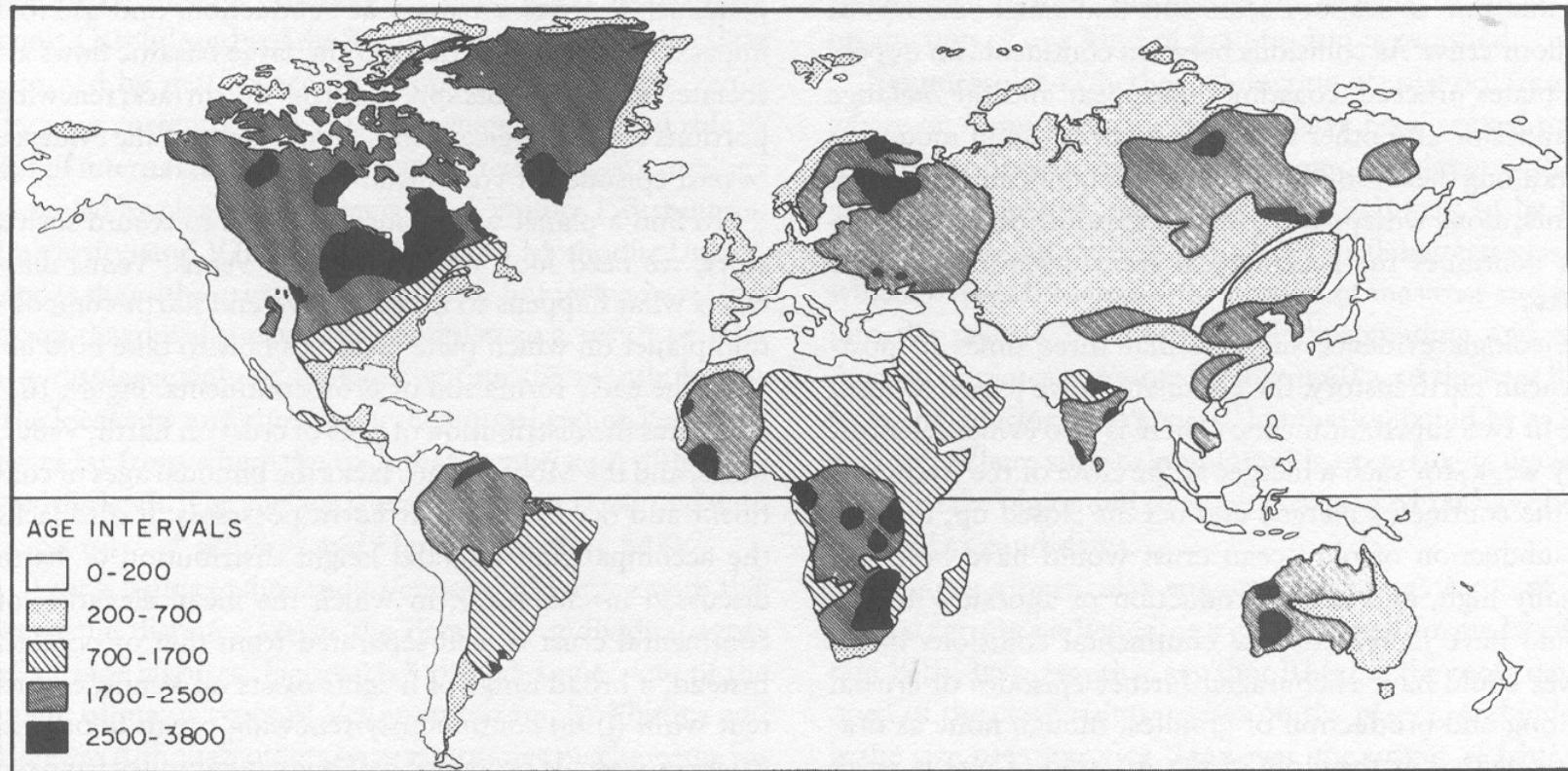
- Se estima que continentes eran solo 20% de hoy.

3,200 ma: Primeros continentes, papel de los meteoritos?

Diversificar plumas del manto y favorecer formación de primeros continentes.



# EDAD DE MASAS CONTINENTALES



**Figure 16.6.** Map of Earth showing approximate ages of continental material, in millions of years. Reproduced from Broecker (1985) by permission of Eldigio Press.

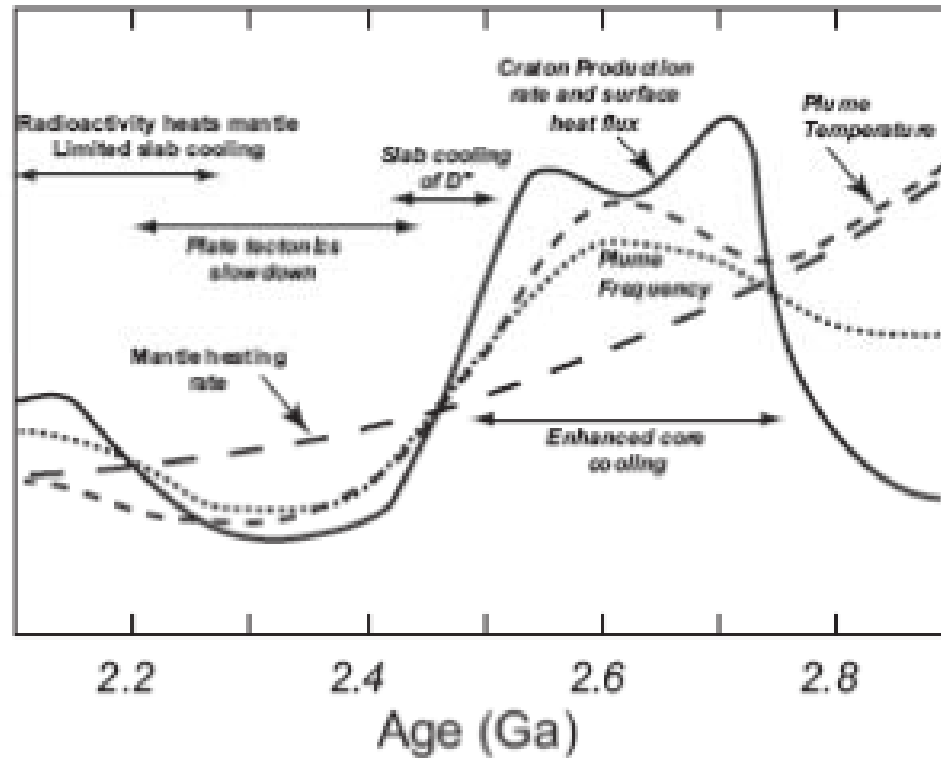


Fig. 12. Thermal model for changes in the mantle near the end of the Archaean and beginning of the Paleoproterozoic.

- Entre 3,000 y 2,700 ma aumenta el grosor y la extensión de corteza continental, se acrecionan los cratones y que se estabilizan ~2,500 ma se enfría el manto y se reduce la velocidad de la Tectónica de Placas.
- Metamorfismo intenso entre 2,700 y 2,500 ma.

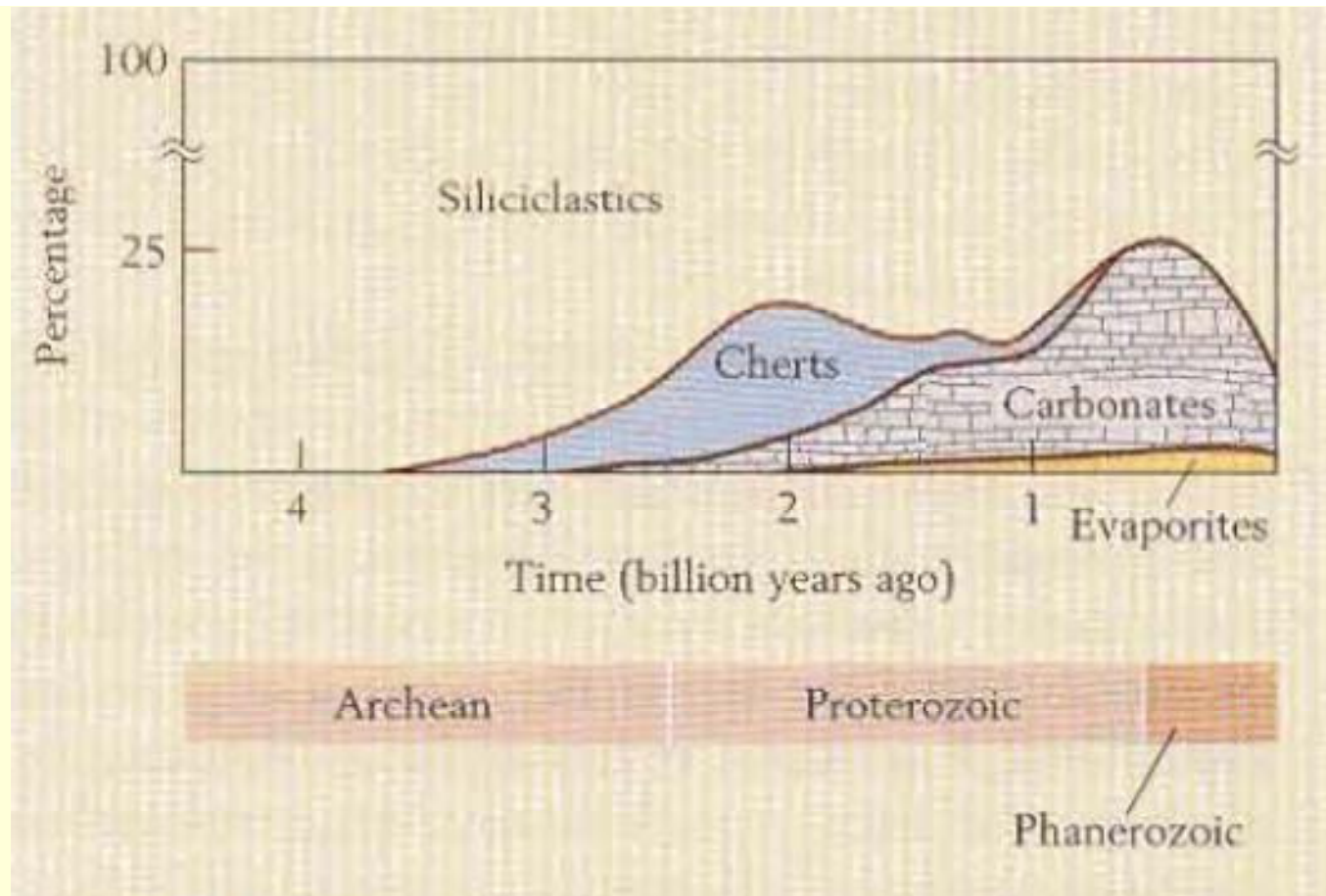
## Las rocas mas antiguas:

Gneis metamórficos de 3,900 ma con zircones retrabajados de entre 4,000 y 4,200 ma.

Rocas sedimentarias (areniscas) = 3,800 a 3,500 ma formadas en ambiente subacuático, por granos minerales producto del intemperismo y con evidencias de intemperismo →  
atmosfera e hidrosfera ya existían.

No hay Fe en forma de óxidos, hay pirita ( $\text{FeS}_2$ ), uranita y carbón. → condiciones anoxia

No hay rocas alcalinas como dolomita y calizas, en cambio hay mucho pedernal → ambiente marino ácido que no permite precipitación de carbonatos.



El océano Arqueano era mas ácido y casi no había plataformas continentales limitando precipitación de carbonatos.

Principal fuente de minerales al océano en el Arqueano (> 2,000 ma) eran las ventilas submarinas (Na, K, Ni, Fe). En el Proterozoico pasa a ser el intemperismo químico (bicarbonatos) al reducirse la intensidad del flujo del calor del manto (menos ventilas submarinas y con menos Ni) y aumentar la extensión de las masas continentales sobre las que actúa el intemperismo químico.

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

- Formaciones de hierro bandeado

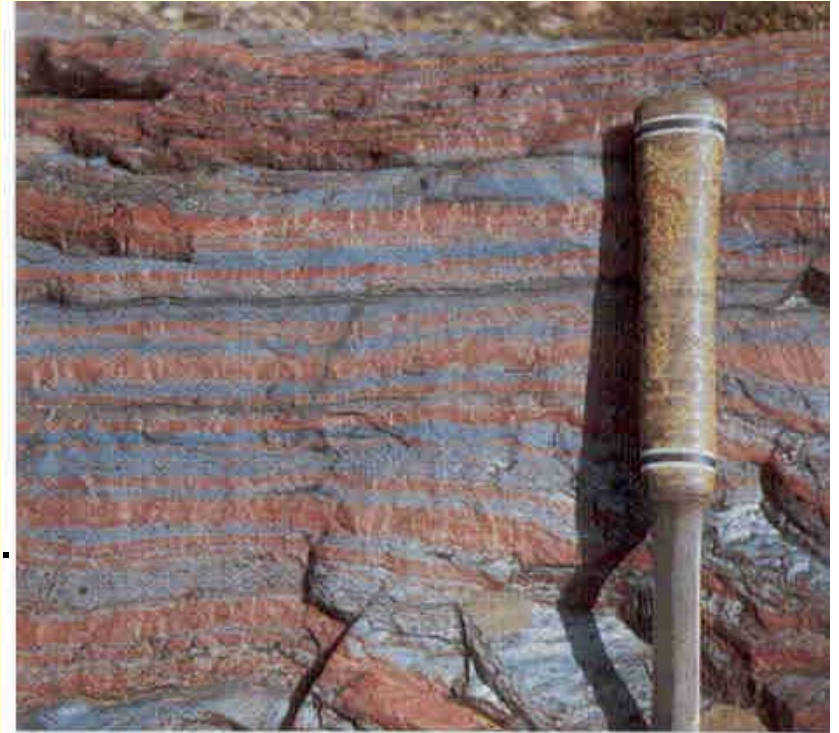
3,500 – 1,800 ma

muy abundantes al final del Arqueano y principios del Proterozoico (2,500 ma).

Laminaciones muy delgadas tipo varves.

Laminas oscuras – magnetita o hematita

Laminas claras – cuarzo de grano fino



**Figure 12-8** A weakly metamorphosed banded iron formation, about 2 billion years old, in northern Michigan.

- Estromatolitos desde 3,500 ma, muy abundantes y diversos al final del Arqueano y en el Proterozoico (2,500 – 1,000 ma).



# Arequeano

## 4,000 -2,500 ma

- Máximo bombardeo c. 3,900 ma (continua hasta 3,200 ma).
- Tierra con capas diferenciadas
- Corteza primitiva, fechada por zircones retrabajados en 4,200 ma.
- Mayor flujo de calor en el manto, define un estilo distinto de tectónica de placas.
- Ya existen océano y atmósfera.
- Océano más ácido, atmosfera anóxica
  
- **Sol menos caliente (30% más frío)**

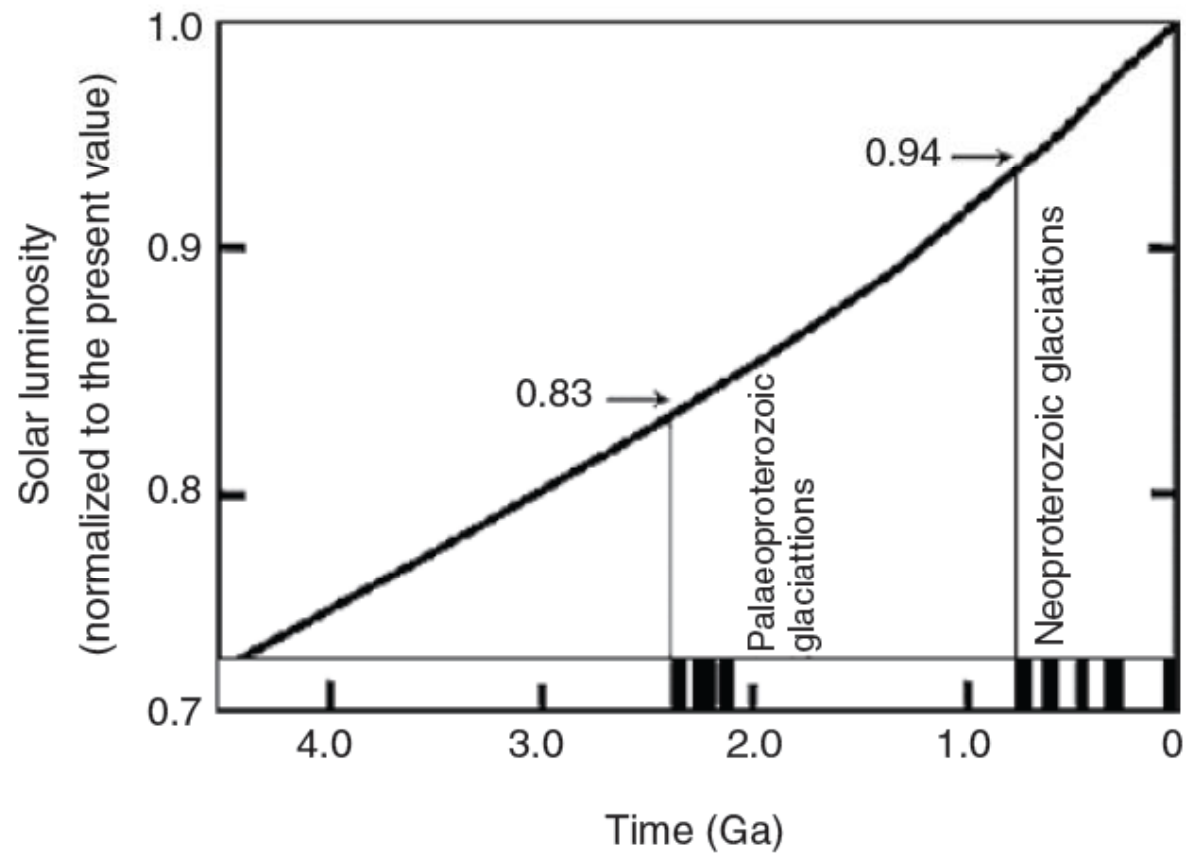


Figure 12.1. Evolution of Sun luminosity with time. (From Gough, 1981.)

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

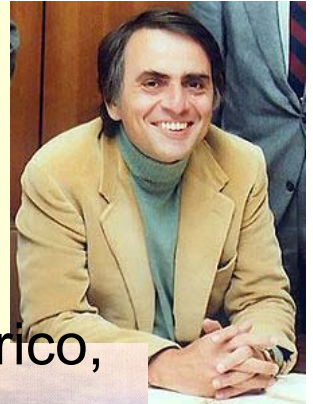
- ¿Ambiente del Arqueano?
- Paradoja sol precámbrico, Sagan, 1972
- Sol 30% del actual,  
→ temperatura superficial  $-20^{\circ}\text{C}$   
y agua congelada hasta por lo menos hace 2,000 ma.



- $\delta^{18}\text{O}$  indica agua mar  $\sim 60^{\circ}\text{C}$
- Rocas sedimentarias (areniscas) = 3,800 a 3,500 ma ambiente subacuático, granos minerales producto del intemperismo y con evidencias de intemperismo → atmosfera e hidrosfera
- Lavas almohadilladas (pillow) en geernstone belts indican agua líquida y no hay evidencias de glaciación (hielo).

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma



- ¿Ambiente del Arqueano?



- Paradoja sol precámbrico, Sagan 1972



- Atmosfera Arqueano:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{NH}_3$
- No hay siderita en rocas Arqueanas ( $\text{FeCO}_3$ ) ¿ que tanto  $\text{CO}_2$  había?
- Metanogéneis es muy temprana, ¿tuvo algún papel?
- Sin continentes el albedo es menor
- Duración del movimiento de rotación (5 vs 24 hr) ?

## **Gaia (James Lovelock, 1979)**

La vida interactúa con su entorno físico de tal manera que mantiene al planeta dentro de los límites adecuados para la vida, controlando efectivamente las variables más importantes (temperatura, humedad, composición química de atmósfera y océanos, etc.) que hacen habitable al planeta. Esto lo logra a través de una serie de mecanismos de retroalimentación que controlan los parámetros físicos del entorno (equiparable en un sistema biológico a la homeostasis).

### **Gaia-Superorganismo**

Es la versión extrema de esta teoría en la que la vida no solo controla las condiciones físicas del planeta sino que el planeta entero se visualiza como un superorganismo que se autocontrola mediante los ciclos de retroalimentación.

Versiones antagonistas: en lugar de ser la Tierra una diosa amorosa tipo Gaia que protege a la vida en ella, es más bien como una malévola Medea (Peter Ward) que en algunos momentos ha estado a punto de matar a sus propios hijos (eventos de extinción) lo que no se ajusta a la visión de autorregulación de la vida de Gaia.

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

- Atmósfera del Arqueano: un efecto invernadero mucho mas intenso.

- Atmósfera reductora:

$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{v}), \text{N}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{S}, \text{H}_2\text{Cl}, \text{NH}_3$  y  $\text{CH}_4$

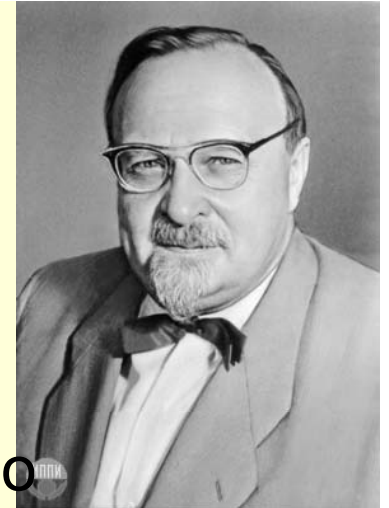
- Origen de la vida – ? Cuanto tiempo se necesita?

Entre 3,900 ma. y 3,600 a 3,400 ma, las evidencias de vida mas antiguas.

.

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma



- Origen de la vida: ca. 3,900 - 3,600 ma

Oparin 1924 - Haldane 1929 Protometabolismo heterótrofo en condiciones de anoxia, sopa primigenia.

Urey y Miller 1959, confirman síntesis abiótica en condiciones de anoxia.

Meteoritos también aportan precursores abióticos.

- Proteínas (catálisis) vs. Ácidos nucleicos

- Mundo de RNA:

RNA muta mas rápido, puede formar doble hélice y replicarse pero frecuentemente esta desdoblado, y entonces tiene función catalítica.

Los genes que codifican para RNA son los mas conservados entre todos los grupos biológicos.

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

- LUCA – genoma sencillo c. 1000 genes iniciales (starter type genes)
- RNA que luego pasa a DNA (antes o después de la divergencia B-A-E?- quizás antes)
- Transferencia horizontal de genes.
- Duplicación genes (paralogos, genes elongados, etc), movimiento de exones, mutaciones.
- Con una membrana – transporte electrones.
- Metabolismo primordial heterotrófico (?)
- Enzimas poco específicas “reclutadas”
- Primera radiación: diversidad metabólica en condiciones anaerobias

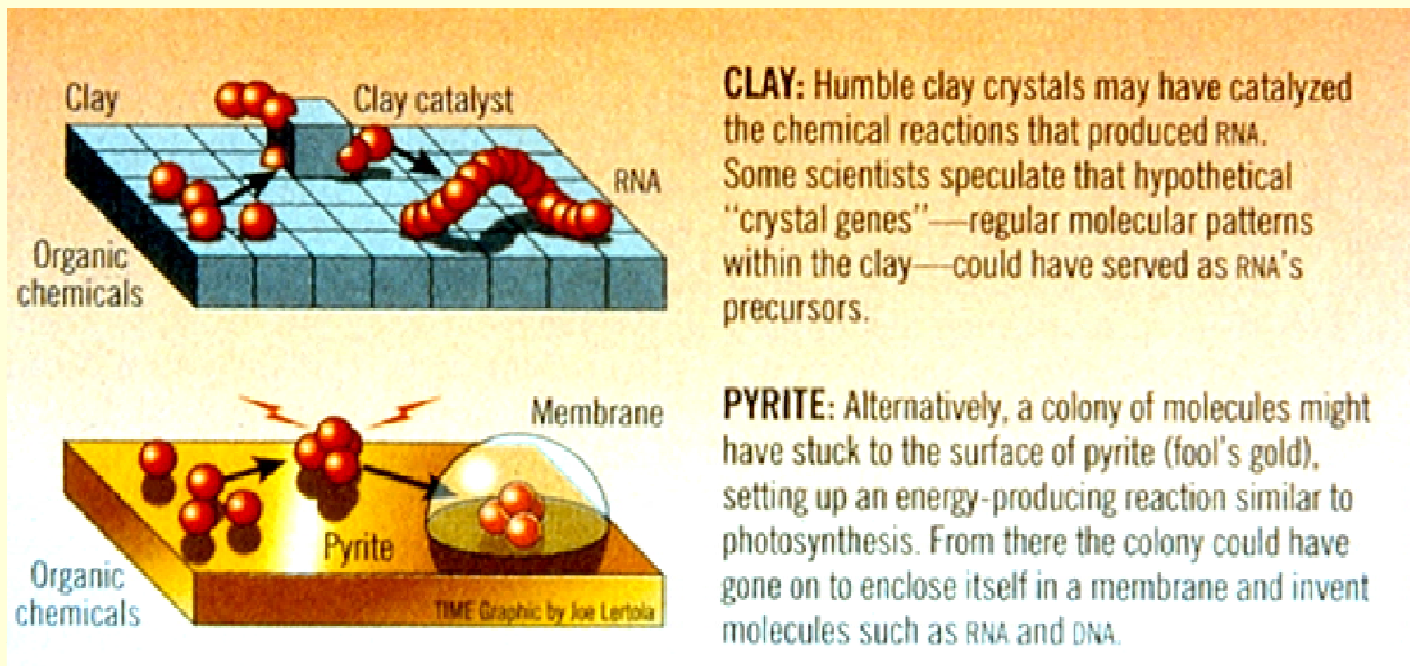


# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

Primer sustrato de la vida: Pirita o Arcillas?

polaridad para seleccionar formas D y L



The diagram is divided into two horizontal sections. The top section, labeled 'Clay', shows a blue grid representing a clay surface. On the left, 'Organic chemicals' are shown as small red spheres. An arrow points to a 'Clay catalyst' site where the molecules are arranged in a specific pattern. Another arrow points to a long, curved chain of red spheres labeled 'RNA'. The bottom section, labeled 'Pyrite', shows a brown surface representing pyrite. 'Organic chemicals' are shown on the left. An arrow points to a cluster of red spheres on the pyrite surface, with red lightning bolts indicating an energy-producing reaction. Another arrow points to a 'Membrane' structure, depicted as a glass dome containing a cluster of red spheres.

**CLAY:** Humble clay crystals may have catalyzed the chemical reactions that produced RNA. Some scientists speculate that hypothetical "crystal genes"—regular molecular patterns within the clay—could have served as RNA's precursors.

**PYRITE:** Alternatively, a colony of molecules might have stuck to the surface of pyrite (fool's gold), setting up an energy-producing reaction similar to photosynthesis. From there the colony could have gone on to enclose itself in a membrane and invent molecules such as RNA and DNA.

TIME Graphic by Joe Lertola

3',5'      Phosphate

2',5'      Pyrophosphate

2',2'      Polyphosphate

3',3'      Alkylphosphate

5',5'

$\beta$     D    Ribo    furanose

$\alpha$     L    Lyxo    pyranose

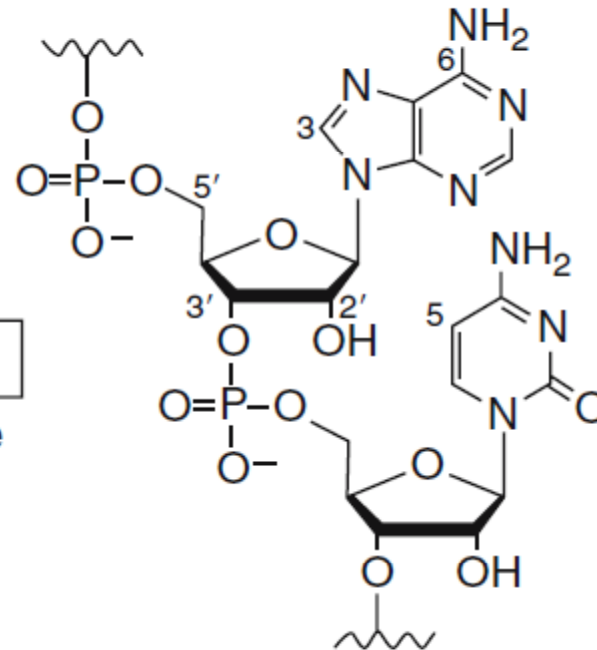
Xylo

Arabino

Tetroses

Hexoses

Branched sugars



Adenine, guanine

Diaminopurine

Hypoxanthine

Xanthine

Isoguanine

N6-substituted purines

C8-substituted purines

Cytosine, uracil

Diaminopyrimidine

Dihydrouracil

Orotic acid

C5-substitued pyrimidines

# ARQUEANO

4,000-2,500 ma

Primer sustrato de la vida: Arcillas o Pirita?

polaridad para seleccionar formas D y L

Ambiente litoral (intermitente) somero o ventilas hidrotermales?



LUCA = Procarionte anaerobio heterótrofo – glicólisis

Extremofilos?

# ARQUEANO

## 4,000-2,500 ma

Ambiente litoral (intermitente) somero o  
ventilas hidrotermales?

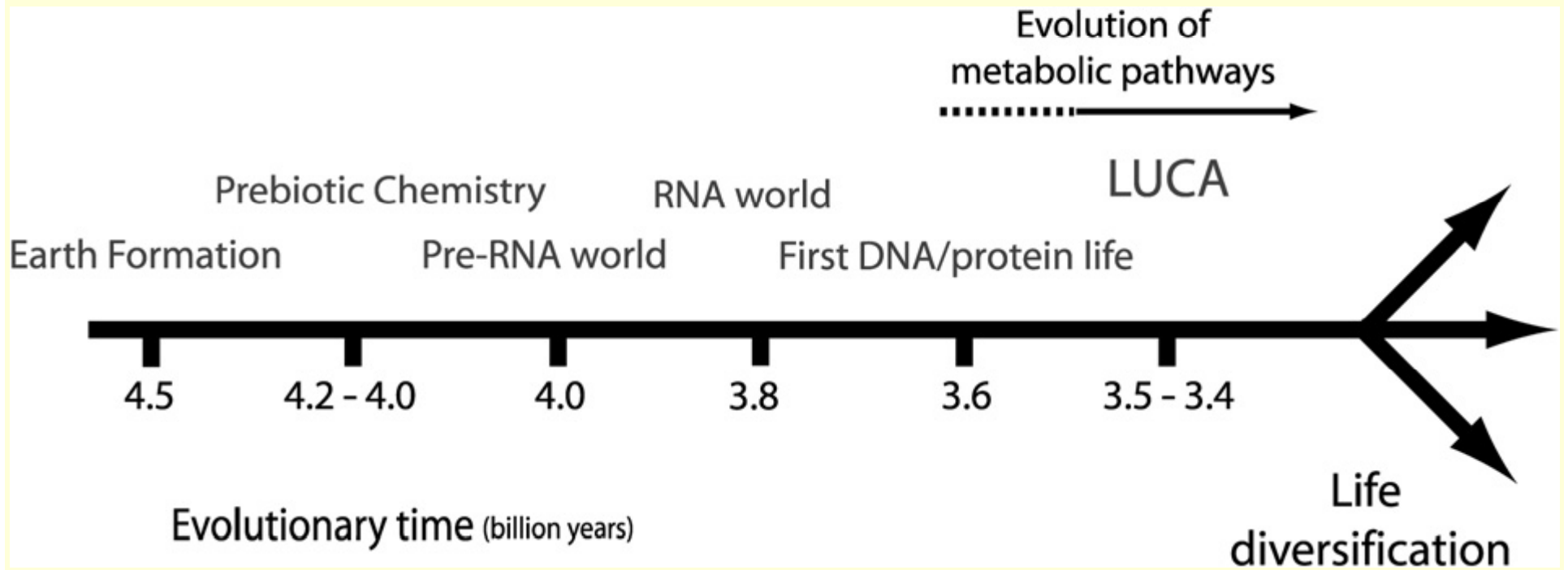
LUCA = Procarionte anaerobio heterótrofo – glicólisis

Extremofilos?

Bacterias verdes Heliobacteria

Modelos de evolución metabólica:

1. Retrogrado – Encimas nuevas se añadan al inicio de rutas metabólicas.
2. Progradante – Encimas nuevas se añaden al final de rutas metabólicas
3. Parches – “Reclutamiento” enzimas generalistas y posterior especialización.



## Evidencias vida temprana:

$\delta^{13}\text{C}$  ligeros sugieren fotosíntesis ya hace 3,800 ma ??

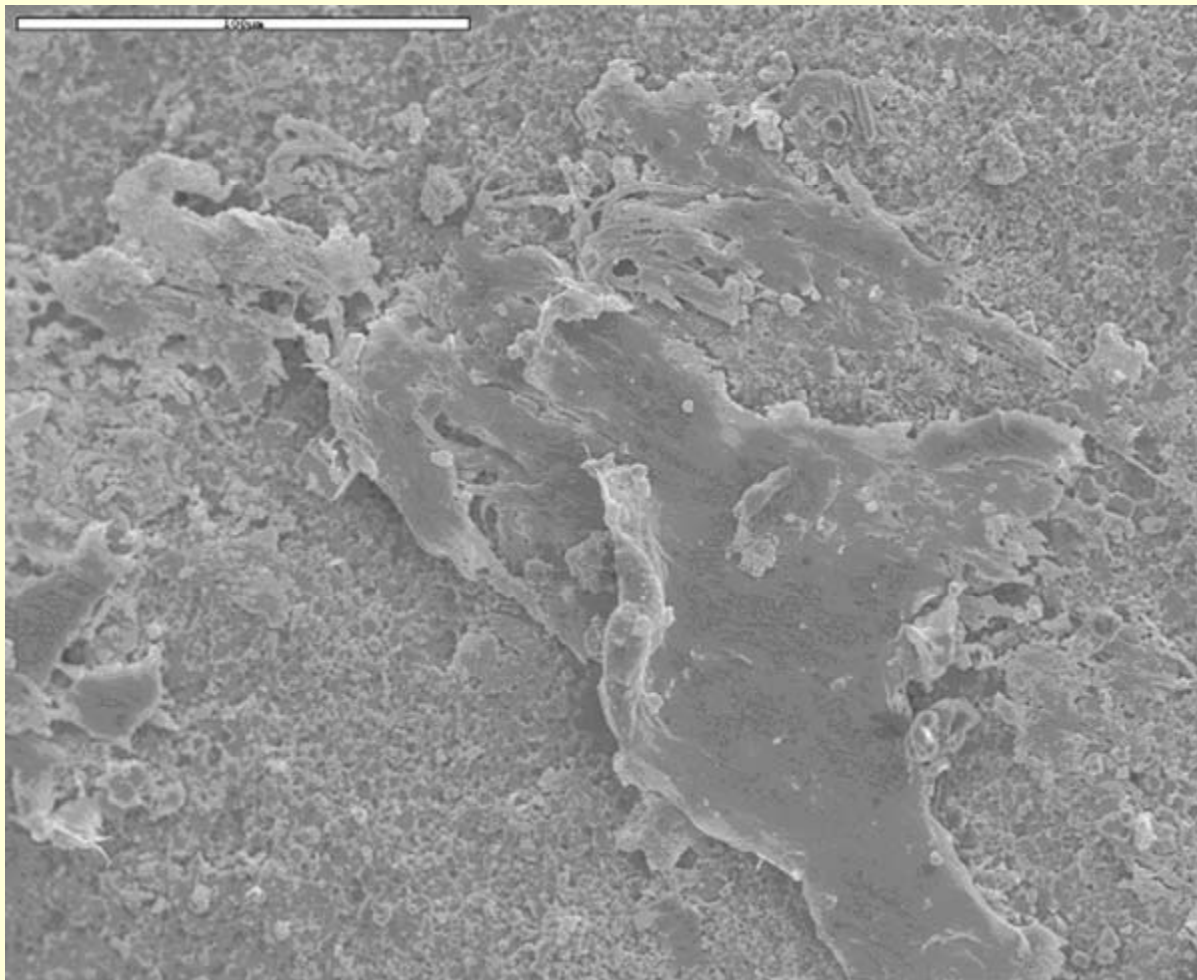
Fósiles preservados en pedernal de estructuras celulares (Warrawoona, Australia) 3,500 ma

Muy bajos  $\delta^{13}\text{C}$ , en metano en inclusiones en cuarzo sugieren metanogénesis hace 3,500 ma

Isotopia de S indica fotosíntesis anoxygenica hace 3,500 ma

Bioindicadores de cyanofitas indican fotosíntesis oxygenica hace 2,800 ma Sudáfrica.

Biomarcadores de eucariontes 2,700 ma (fósiles mas antiguos de 1,800 ma)



# ARQUEANO/PROTEROZOICO

➤ Archeano 2,500 ma

Dominado por fotosíntesis anoxigenica:

Sulfobacterias púrpura y verdes (Chromatiacea y Chlorobiacea  $H_2S$ ) y bacterias verdes (Chloroflexacea,  $H_2$ ).

Bacterias verdes Heliobacteria son los ancestros de todos los fotosintetizadores.

Metanogénesis y fijación de N, metabolismos anaerobios

Hacia final del Archeano, Cyanobacterias – 2,800 ma? – fotosíntesis oxigénica – cambio global.

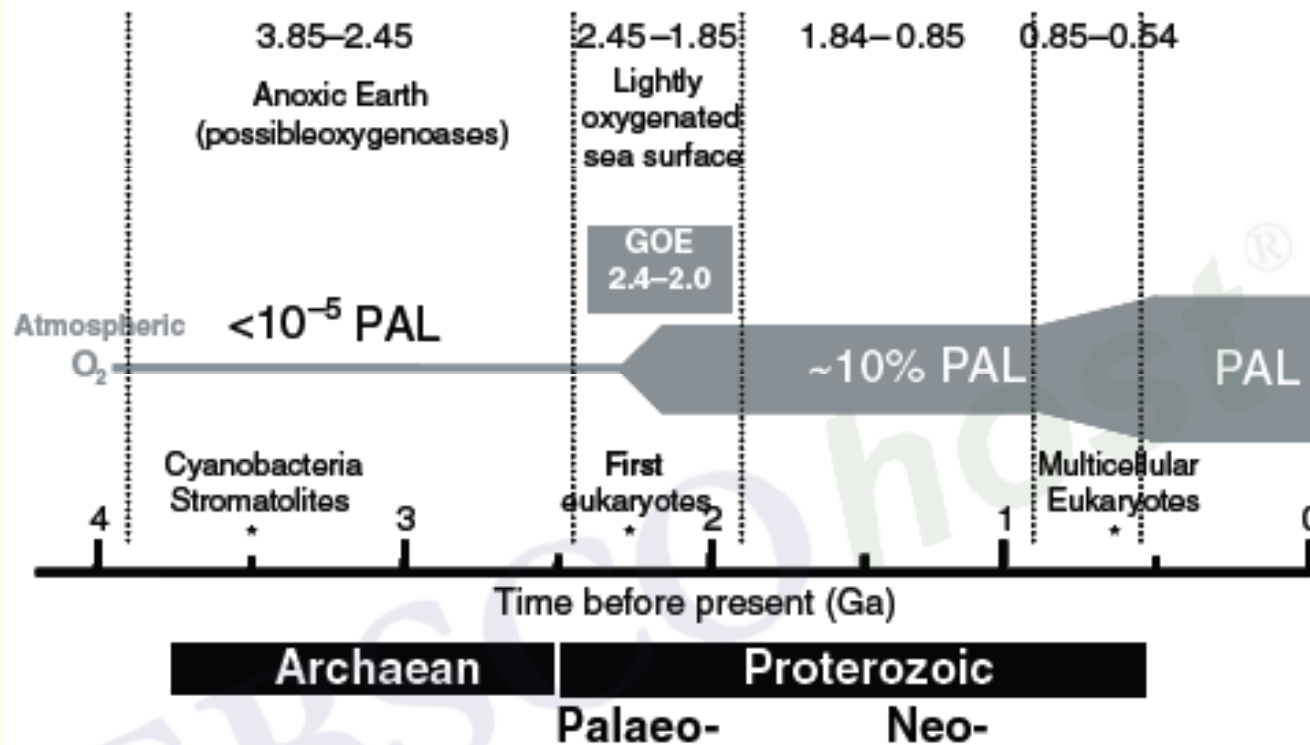
Proterozoico - respiración



# ARQUEANO/PROTEROZOICO

## 2,500 ma

1. C fixation (isotope signatures)
2. Methanogenesis (isotope signatures)
3. Fe oxidation (BIF)
4. Anoxygenic photosynthesis
5. Denitrification
6. Sulphur reduction (isotope signatures)
7. N fixation
8. Oxygenic photosynthesis
9. Oxygen respiration



# ARQUEANO/PROTEROZOICO

## 2,500 ma

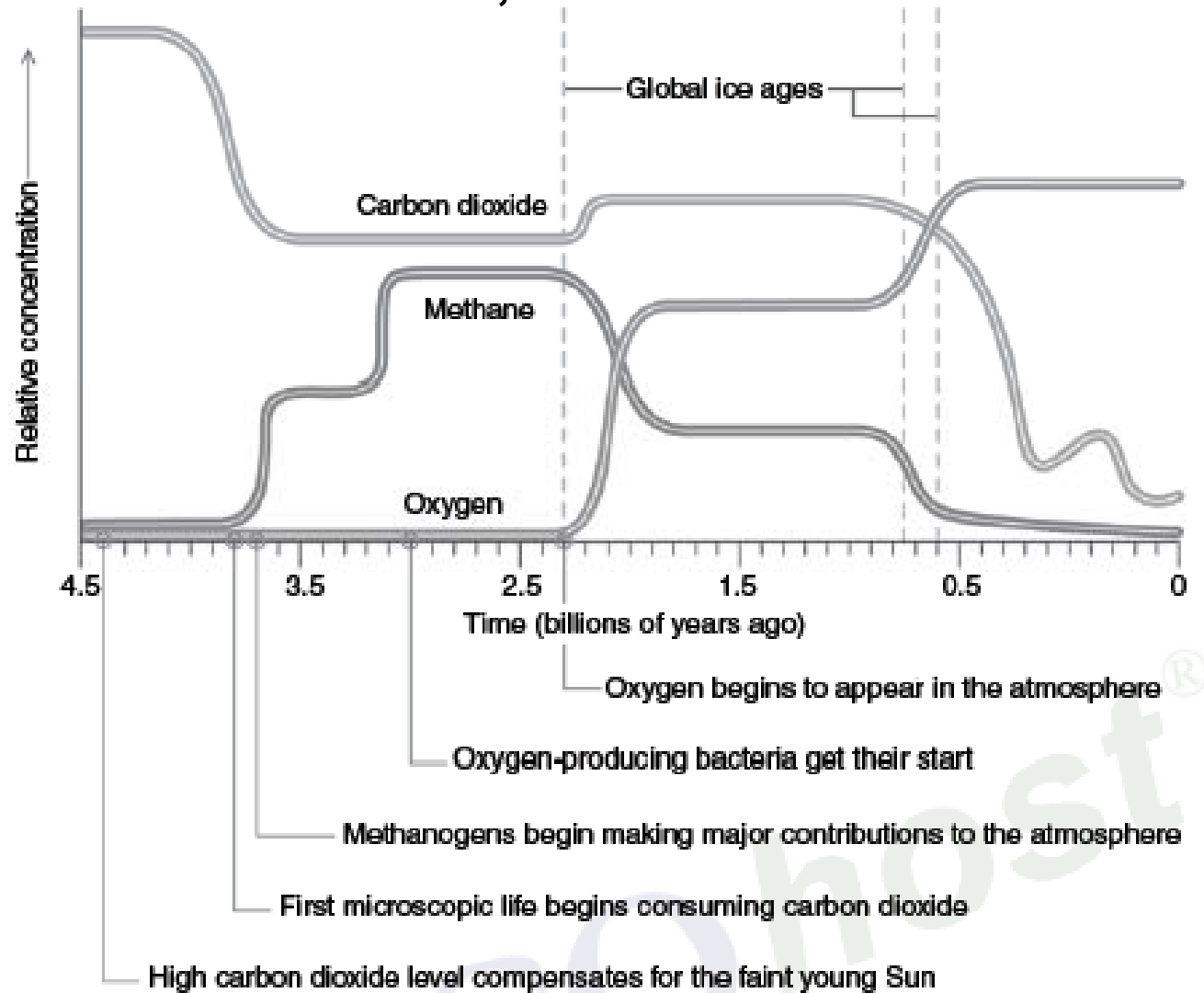


Figure 12.3. Temporal evolution of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and O<sub>2</sub>; adapted From Kasting (2004) and Anbar and Knoll (2002).