



Cecilia I. Caballero Miranda

Breve historia de la Tierra

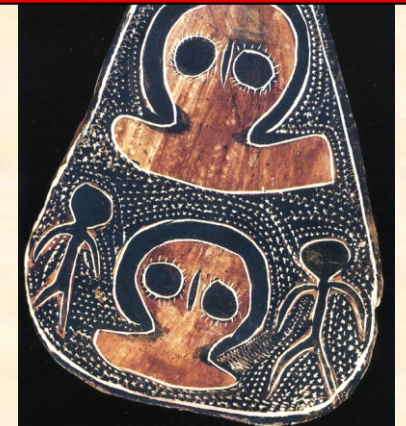
(contada a 100 millones de años por minuto)

Instituto de Geofísica - UNAM

¿Cuándo, cómo se formó la Tierra? ¿Cuál es su historia?
¿Qué edad tiene?



Sin embargo, desde hace poco la investigación científica nos ha brindado otra perspectiva con la que hemos empezado a descubrir una historia aún más extraordinaria y sorprendente que la provista por cualquier mito sobre la creación !!!!!!!!!!!

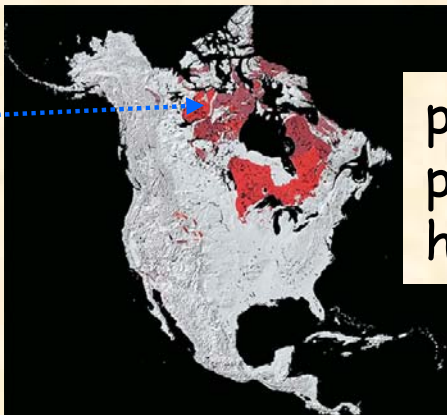


Considerando las diversas formas de conocer la edad de los materiales geológicos, ¿Cómo saber cuál es la edad de la Tierra? ¿Qué se debe fechar con los métodos radioactivos? ¿Qué se interpreta de su registro estratigráfico?

Las rocas más antiguas encontradas en la Tierra, el gneiss de Acasta en Canadá : **4030 millones de años (Ma)**



La Tierra debe ser más vieja que esta edad!!!!



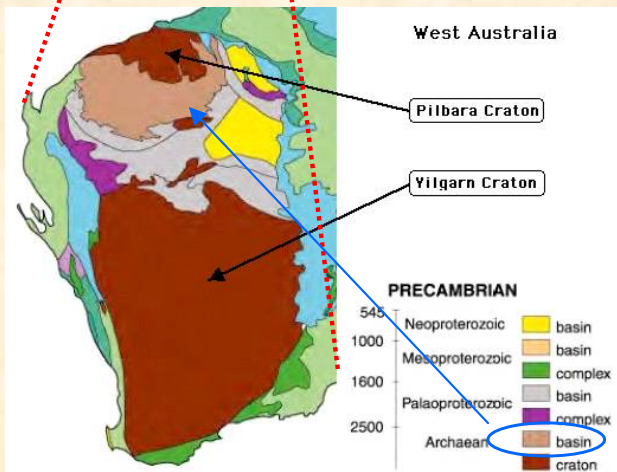
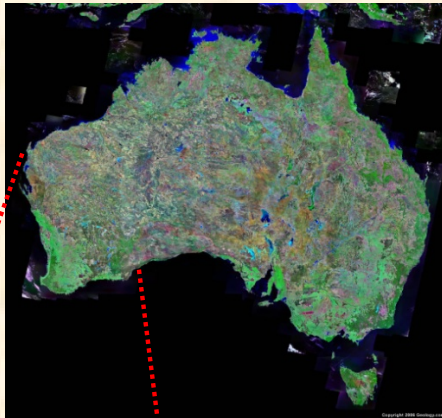
pero el gneiss es roca metamórfica formada a partir de otra roca que ya existía y que debió haberse formado tiempo antes, ¿qué tanto?



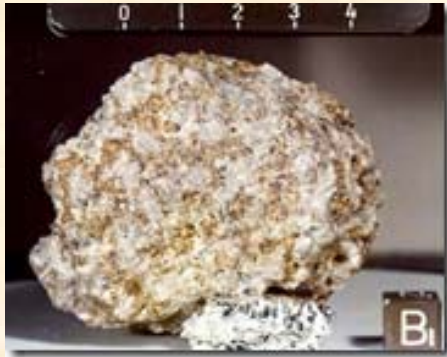
En el oeste de Australia se han encontrado, dentro de una arenisca de 3000 Ma, pequeños cristales de circón, un mineral proveniente de la erosión de una roca, tal vez ígnea, formada con anterioridad que se fechó con: **4350 Ma !!!**

Granos de arena de 4350 millones de años que se depositaron 1350 millones de años después de que se formaran inicialmente

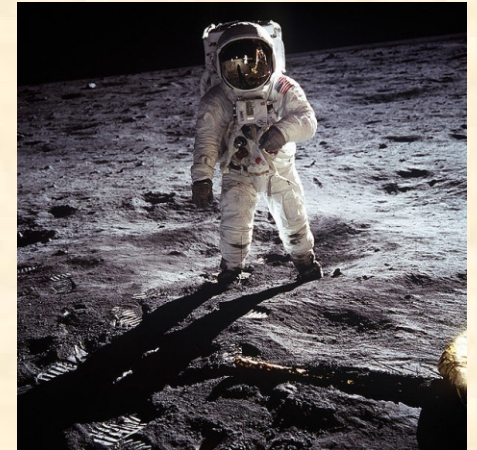
La Tierra debe tener al menos esa edad o, más!!!!



Las estimaciones considerando información sobre la **Luna** y **meteoritos** hacen a la Tierra aún algo más vieja



Las rocas más antiguas de la Luna tienen **4530 Ma**, la Luna se considera un poco más joven que la Tierra

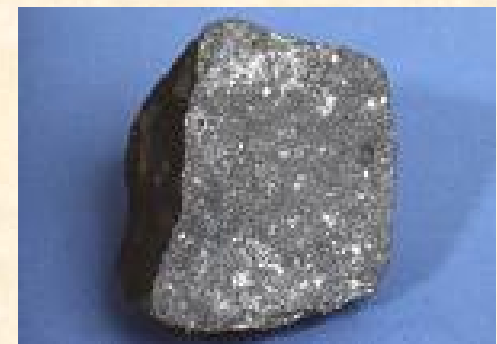


4540 Millones de años



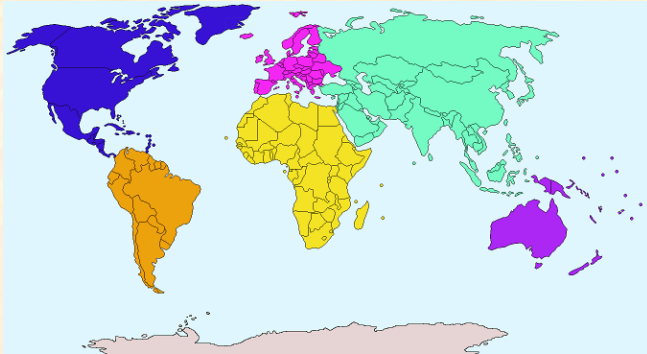
Los meteoritos más primitivos tienen edades de **4560 Ma**

Corresponderían a proto-planetas



El Tiempo Geológico

fuera de nuestra experiencia cotidiana



Los continentes se mueven a la velocidad que crecen las uñas



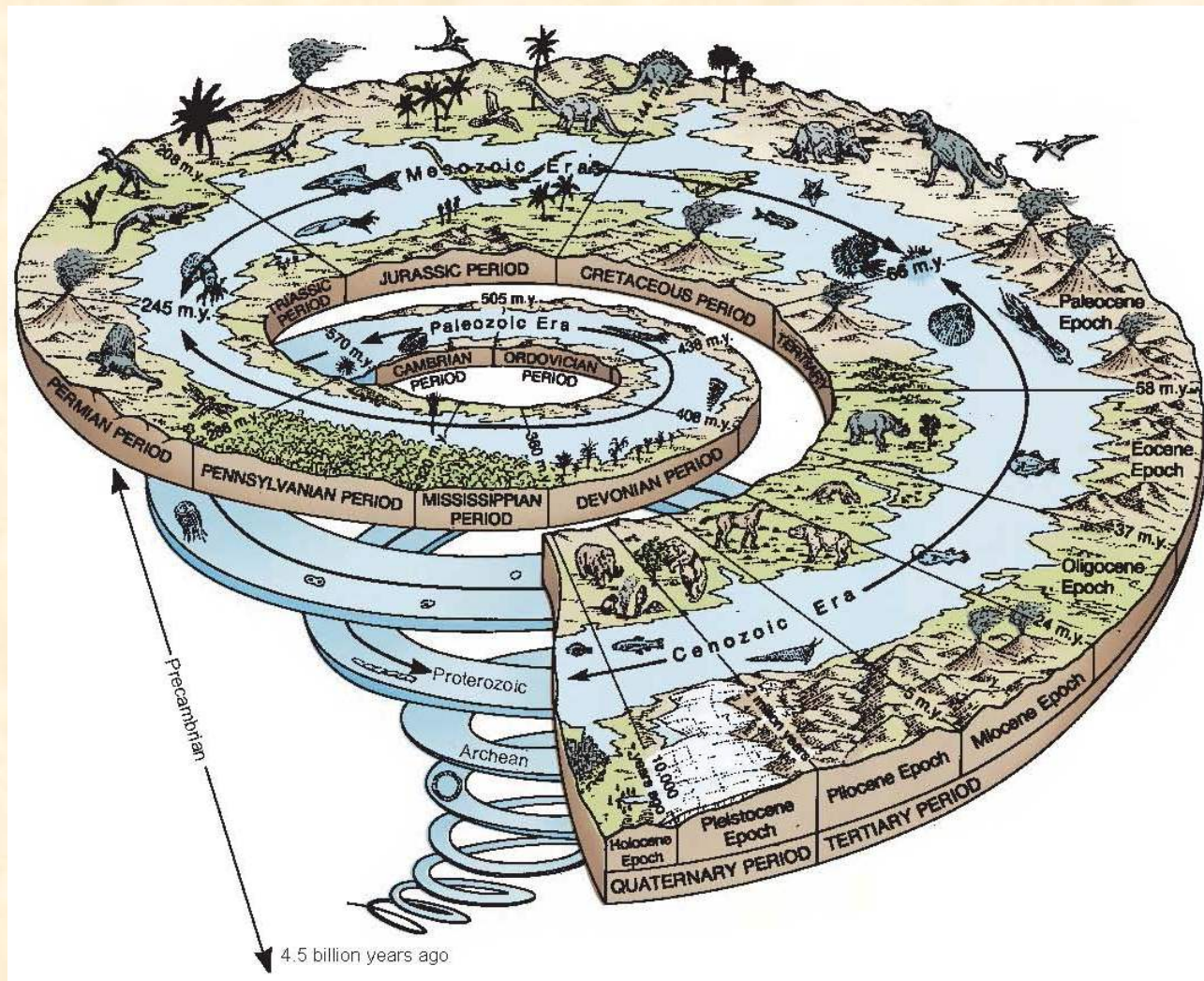
En el lapso de vida de una persona
Africa y América del Sur se
separan 3 metros



La Tierra evoluciona en tiempos demasiado largos

Como darnos una idea real de los tiempos geológicos?

No es lo mismo 100 mil años que 1 millón o 100 millones. Pero para nuestra experiencia son todos tiempos enormemente largos!!!!!!



Consideremos una analogía para percibir la historia de la Tierra a una escala humana

Condensemos toda su historia en UN AÑO

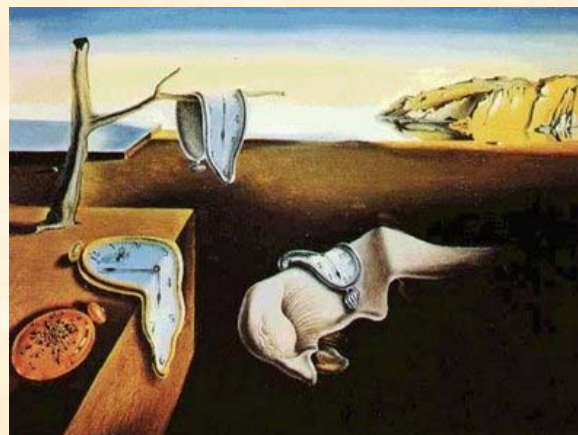
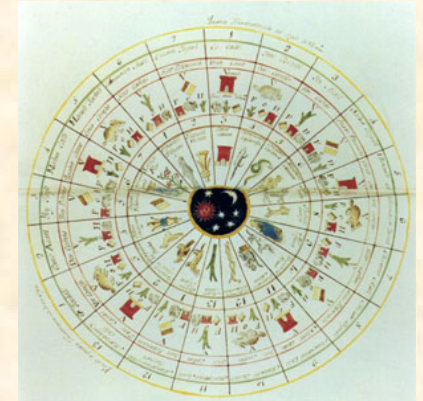
Un año = 4570 millones de años

Un día = 12.5 millones de años

Una hora = 520 mil años

Un minuto = 8700 años

Un segundo = 145 años

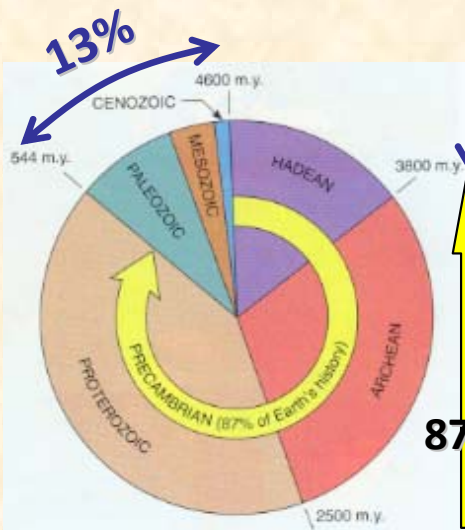


¡Hagamos un viaje imaginario en el tiempo!



**Nos guiará no solo la imaginación sino la evidencia científica
La Tierra nos contará su pasado escrito en las rocas**

| EON | ERA/ERATEMA | PERIODO/SISTEMA | Época/Serie | Ma | Cal-1Año | |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|---------------|--------|
| FANEROZOICO | CENOZOICA CZ 5 días | Cuaternario Q | Holoceno | 0.01 | | |
| | | | Neógeno N | | | |
| | | Terciario T | 2 d | Pleistoceno | 1.81 | 31 dic |
| | | | | Plioceno | 5.3 | |
| | | | 3 d E | Mioceno | 23 | 29 dic |
| | | | | Oligoceno | 33.9 | |
| | | | | Eoceno | 55.8 | |
| | Paleoceno | 65.5 | 26 dic | | | |
| | MESOZOICA MZ 15 días | Cretácico K | Tardío/Superior | | | |
| | | | Temprano/Inferior | 145.5 | | |
| | | Jurásico J | Tardío/Superior | | | |
| | | | Medio | | | |
| | | | Temprano/Inferior | 199.6 | | |
| | | Triásico Tr | Tardío/Superior | | | |
| | | | Medio | | | |
| | | | Temprano/Inferior | 251 | 11 dic | |
| | | PALEOZOICA PZ 3 semanas | Pérmico Pe | | 299 | |
| | | | Carbónífero C | Pensilvánico C2 | | |
| | Misisípico C1 | | | | | |
| | Devónico D | | Tardío/Superior | 359.2 | | |
| | | | Medio | | | |
| | | | Temprano/Inferior | 416 | | |
| | Silúrico S | | Tardío/Superior | 443.7 | | |
| | | | Medio | | | |
| | | | Temprano/Inferior | 488.3 | | |
| | Ordovícico O | | Tardío/Superior | | | |
| Medio | | | | | | |
| Temprano/Inferior | | 488.3 | | | | |
| Cámbrico € | Tardío/Superior | | | | | |
| | Medio | | | | | |
| | Temprano/Inferior | 542 | 20 nov | | | |
| Precámbrico PC | Proterozoico PR | Neoproterozoico NP | | 1000 | RS | |
| | | Mesoproterozoico MP | 4 m, 3 semanas | | | |
| | | Paleoproterozoico PP | | 1600 | ago | |
| | Archeano AR | Neoarcheano NA | | 2500 | 1 jul | |
| | | Mesoarcheano MA | | 2800 | 1 may (fotos) | |
| | Paleoarcheano PA | | 3200 | | | |
| | Eoarcheano EA | | 3600 | | | |
| | Hadeano | | 3800 | 16 feb | | |
| | | | | 1 ene | | |



↑

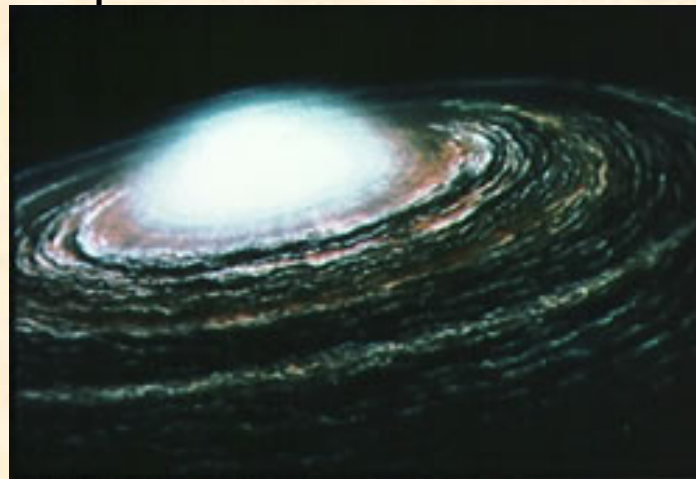
↓

Todo comenzó hace 4570 millones de años

0.00 horas del 1 de enero: Gran Explosión de una estrella (Supernova)

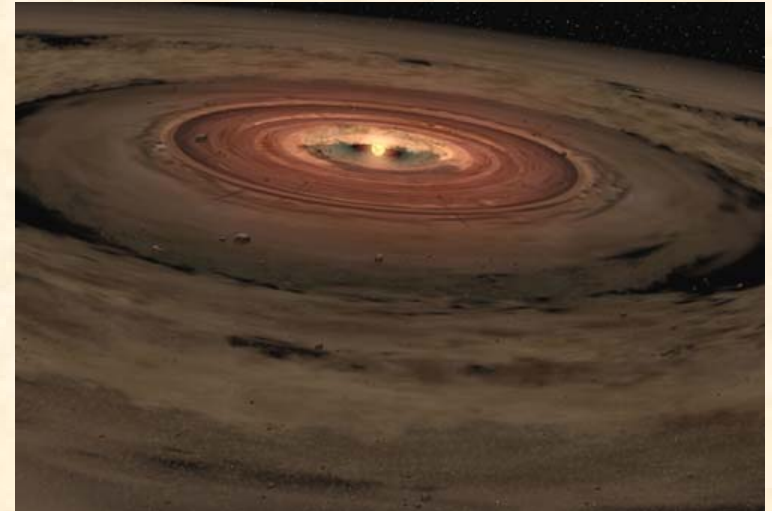


y formación de un disco primitivo de gas y polvo con un protosol en el centro y a su alrededor el material disgregado formando anillos, lo más pesado al centro, lo más ligero en la periferia



Ese mismo día (pocos millones de años)

La materia de los anillos del disco proto-planetario se agrupa en cuerpos de algunos metros hasta centenares de kilómetros de diámetro: **Planetesimales**

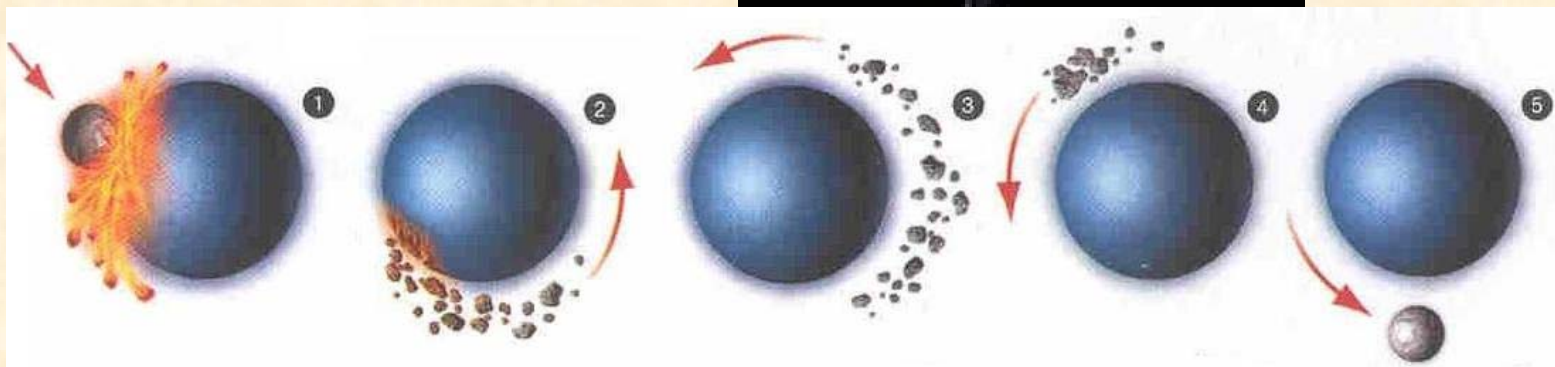
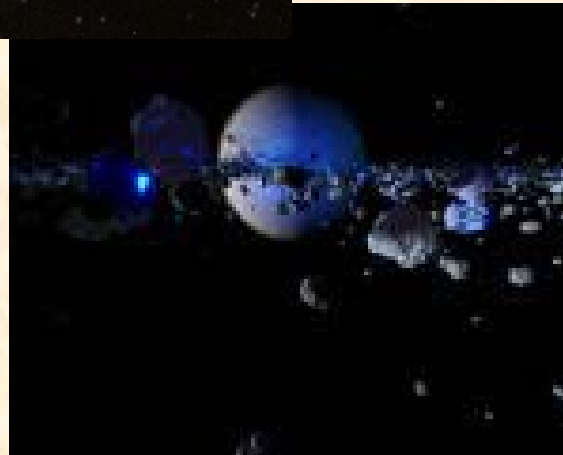
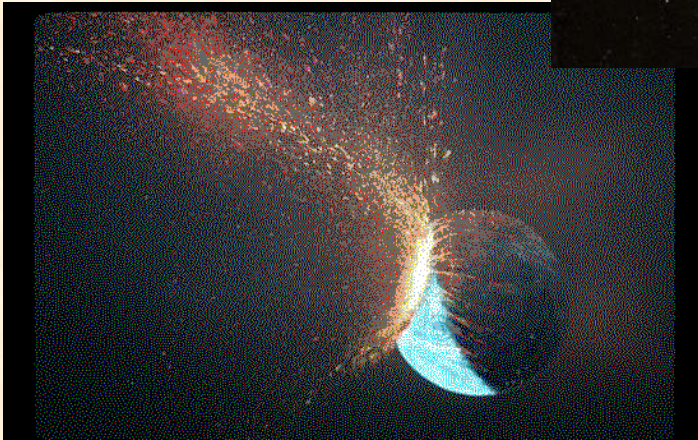
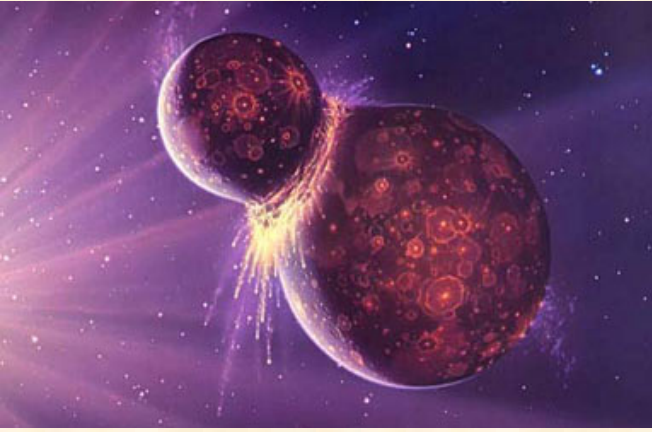


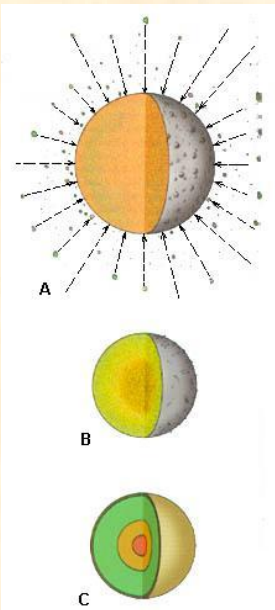
2 de enero: planetesimales aumentan de tamaño y disminuyen en número hasta formar: **protoplanetas**



En los primeros momentos de la **Proto-Tierra** hay frecuentes y muy grandes impactos de planetesimales. Los meteoritos de hoy son restos de su existencia

3 de enero (4540 Ma) : "Impacto Profundo". El Origen de la Luna.
Un "planetesimal" del tamaño de Marte habría chocado contra la proto-Tierra.
La Tierra se funde en gran medida. De los restos en órbita se forma la Luna





3-31 de enero: Está formándose la estructura interna de la Tierra: **Núcleo-Manto-Corteza** (al centro lo más pesado)

Como consecuencia hay una intensa actividad volcánica, continúan las frecuentes colisiones de planetesimales. La atmósfera es irrespirable (sin oxígeno).

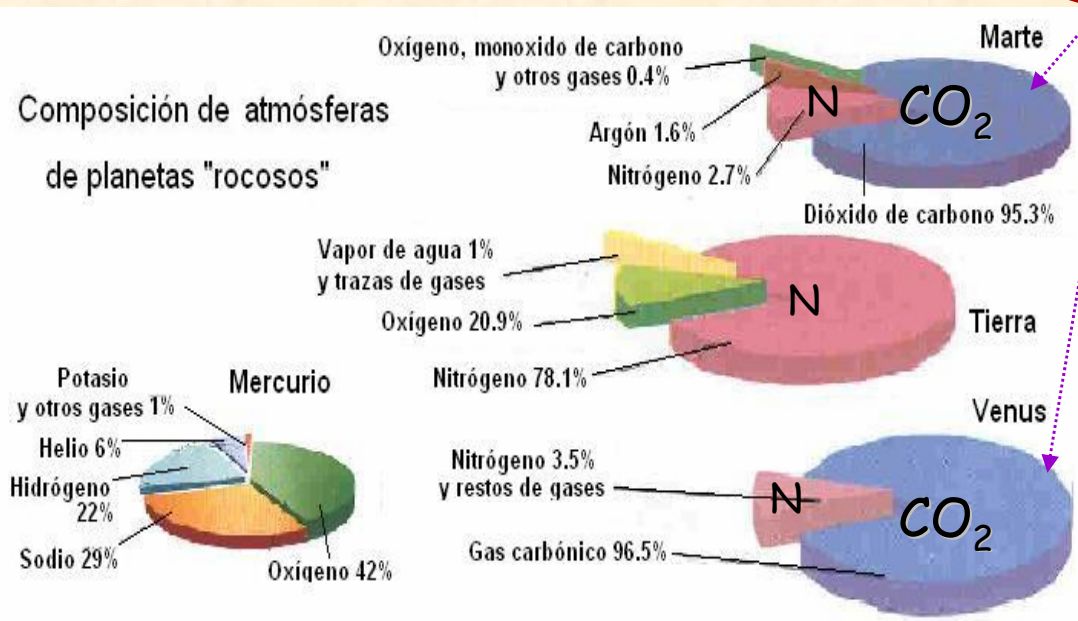


7 de enero (4350 Ma): Evidencia de las rocas más antiguas ¿granito? (edad del circón encontrado en rocas sedimentarias más jóvenes) que se estaría formando a profundidad como un residuo ligero de reacciones químicas en la corteza. Indica de forma indirecta el inicio de una **corteza continental**.



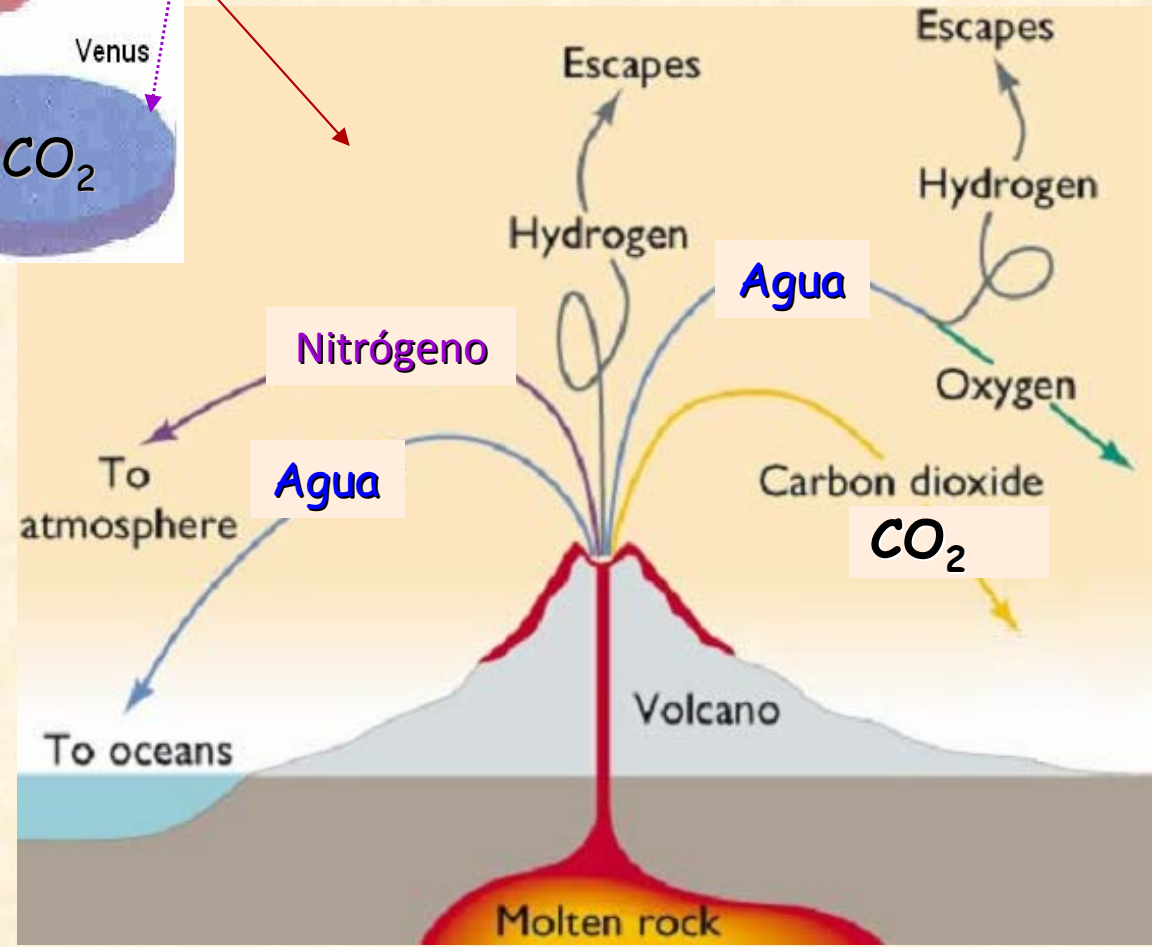
La intensa actividad **volcánica** dejó como primer subproducto nuestra primera atmósfera rica en CO_2 , similar a la de **Marte** y **Venus**

Y, como siguiente suproducto: **grandes cantidades de H_2O : se formaron los océanos** conforme la Tierra se enfrió lo suficiente para condensarse progresivamente en **Enero**



Venus y Marte no pudieron conservar su agua por su cercanía al Sol y tamaño respectivamente

Una vez teniendo océanos, el CO_2 empezó a disolverse en ellos, disminuyendo su proporción en la atmósfera muy paulatinamente



La primera quincena de febrero debió continuar la intensa actividad volcánica, el planeta era un infierno



o tal vez
el Sol que
en ese
entonces
era más
frío
hiciera de
la Tierra
un hielo?



Es posible que ambos
efectos se
equilibraran
resultando un sitio no
tan diferente a
nuestros días



La paradoja del Sol
Precámbrico

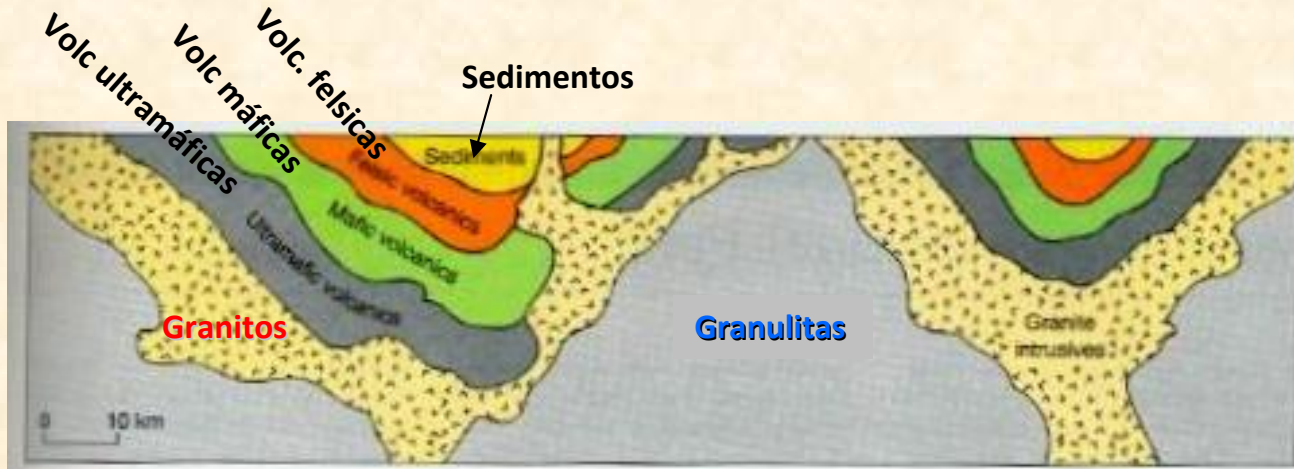
12 de febrero (4030 Ma): Se forman las rocas más antiguas encontradas
Gneiss de Acasta (Canadá)



Lo que es evidencia incontrovertible que los continentes ya se encuentran en etapa avanzada de formación (los gneiss son rocas ígneas silíceas metamorfoseadas).

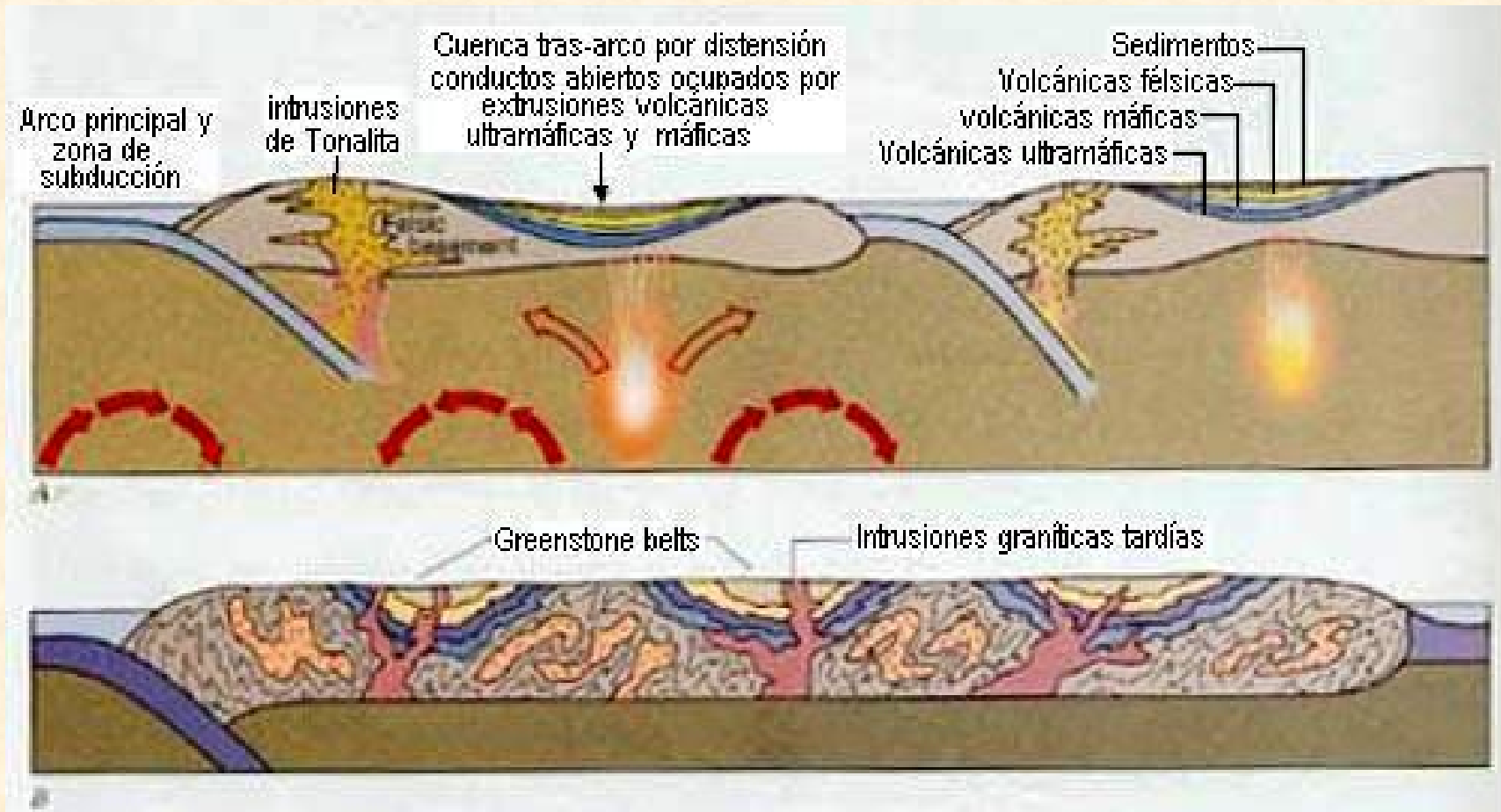
Gneisses como el de Acasta y otros de diferentes tipos forman parte de un conjunto de rocas denominadas **Granulitas arqueanas**, las cuales también incluyen anortositas (intrusivas máficas) metamorfoseadas, indicativas de corteza oceánica.

Las **Granulitas arqueanas** ocurren junto con otras secuencias clave de este tiempo: **Greenstone belts (cinturones de piedra verde)**



Estas secuencias se encuentran finalmente marcadas por un evento de intrusión de **granitos**

Se interpretan como arcos volcánicos en límites de placas

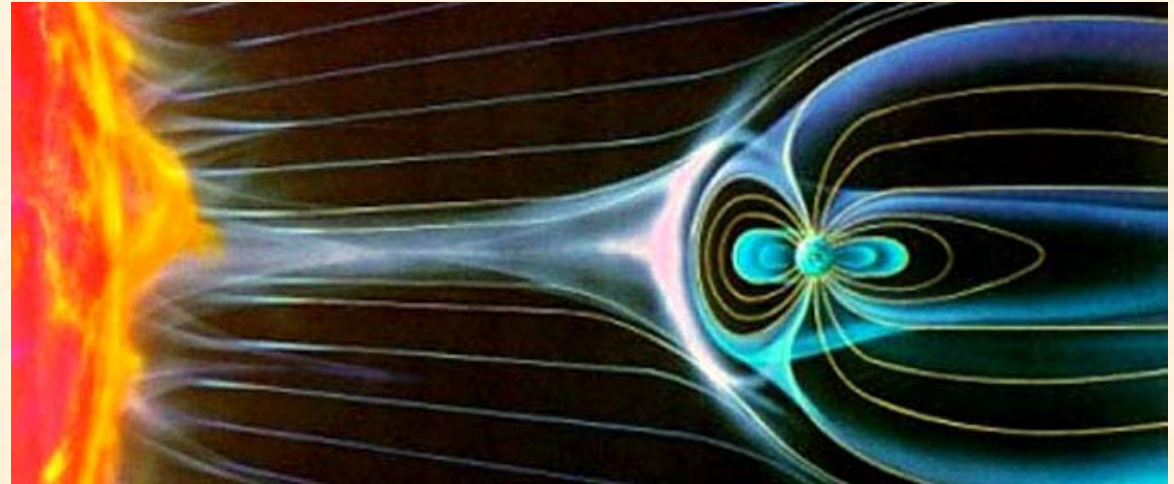


Febrero y marzo: Los primeros continentes son muy pequeños (solo cientos de km), su formación y crecimiento marcan el inicio de la puesta en marcha de la Tectónica de Placas

30 de marzo (3450 Ma): La Tierra ya tiene un campo magnético. Recientes estudios paleomagnéticos han comprobado que para esa época el campo magnético de la Tierra era la mitad de intenso que el actual



Rocas en SudAfrica que registran el campo magnético de esa época



El campo magnético protege al planeta de la radiación solar, lo que favorece a los organismos cuando empiezan a surgir

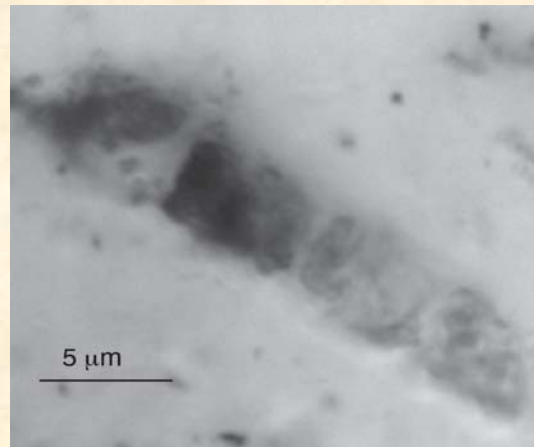
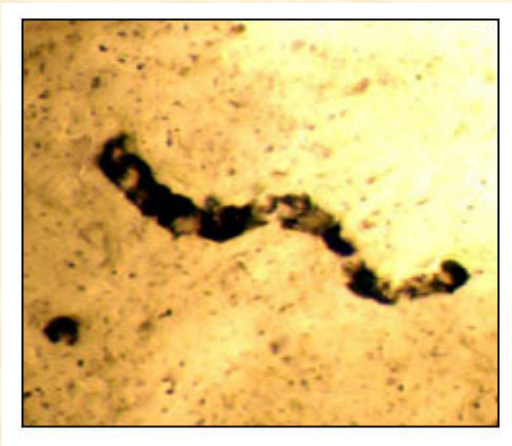


Si el sol era más activo y el campo magnético de la Tierra más débil: enormes auroras!

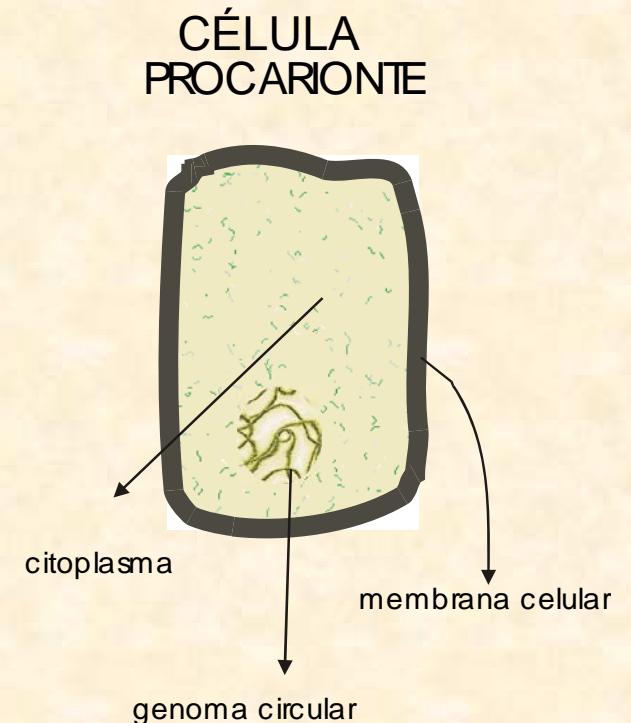
Mientras se están formando los primeros continentes, para alrededor del **25 de febrero (3800 Ma)**, se tienen las primeras evidencias indirectas de indicios de vida:

Rocas en Australia formadas por depósitos de hierro bandeado tienen relaciones de ^{13}C con respecto a ^{14}C similares a las que ahora tienen los organismos vivientes.

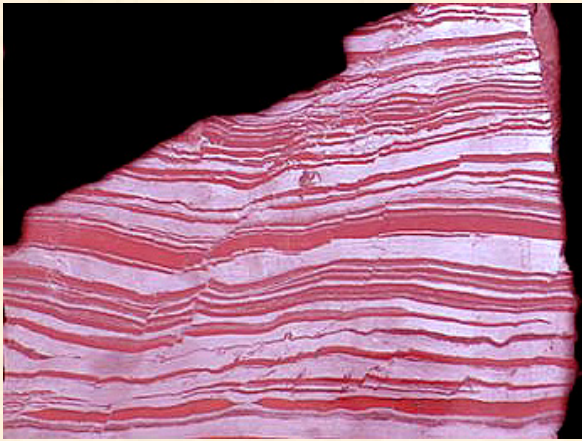
26 de marzo (3500 Ma): Ya hay evidencia directa de vida en la Tierra: restos diversos de organismos muy primitivos y microscópicos formados por células procariontes (sin núcleo), como las bacterias



¿El fósil más viejo?



Desde **Marzo** (3500Ma) y hasta **Agosto** (1800 Ma): Se depositan grandes cantidades de hierro que indican una atmósfera con poco oxígeno, condición única en el que el Fe puede estar disuelto en el agua de mar y precipitarse en grandes cantidades.



Banded Iron Formations BIF

1 de mayo (3000 Ma): Hacen su aparición un nuevo grupo de organismos con una gran innovación: **la fotosíntesis**, ellos son los estromatolitos

Ellos indican la existencia de mares similares a los actuales y la captura del CO_2 en los depósitos calcáreos que forman



Estromatolitos fósiles
de 3000 Ma

Aunque desde **Mayo (3000Ma)** empiezan a formarse calizas de estromatolitos, es hasta **Agosto (1800 Ma)** que se depositan en grandes cantidades



Estromatolitos actuales

La atmósfera empieza a tener paulatinamente más Oxígeno y menos CO_2

La desaparición del hierro bandeado cuando los estromatolitos abundaron indica que la atmósfera se convirtió rica en oxígeno a partir de **Agosto**

Mediados a fines de Junio (2400 Ma): La oxigenación de la atmósfera (1000 millones de veces más oxígeno) hace bajar paulatinamente la temperatura. **Glaciación Global!!!**



Depósitos de glaciares de esa edad



Los glaciares habrían llegado cerca del ecuador



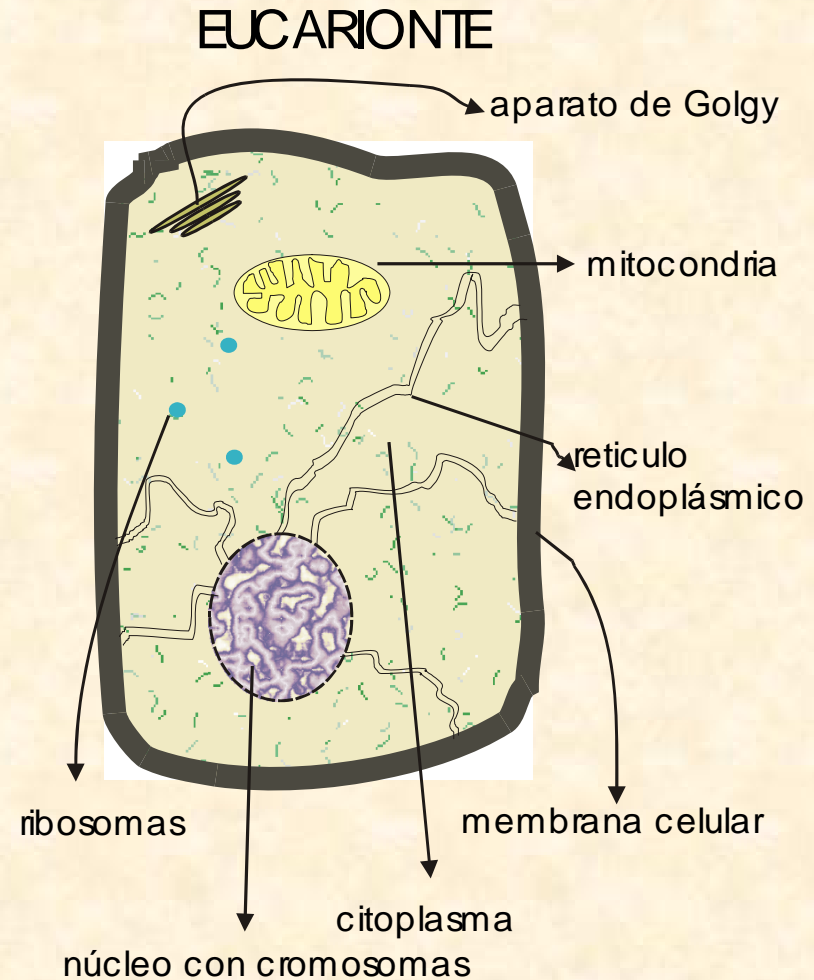
Toda la Tierra podría haber sido una inmensa "bola de nieve"!

Los días eran más fríos, pero también más cortos: 1 día duraba 18 horas, y había más días en 1 año

Mediados de Julio (2100 Ma): Aparecen organismos más complejos (eucariontes) de los que descenderán las plantas y animales

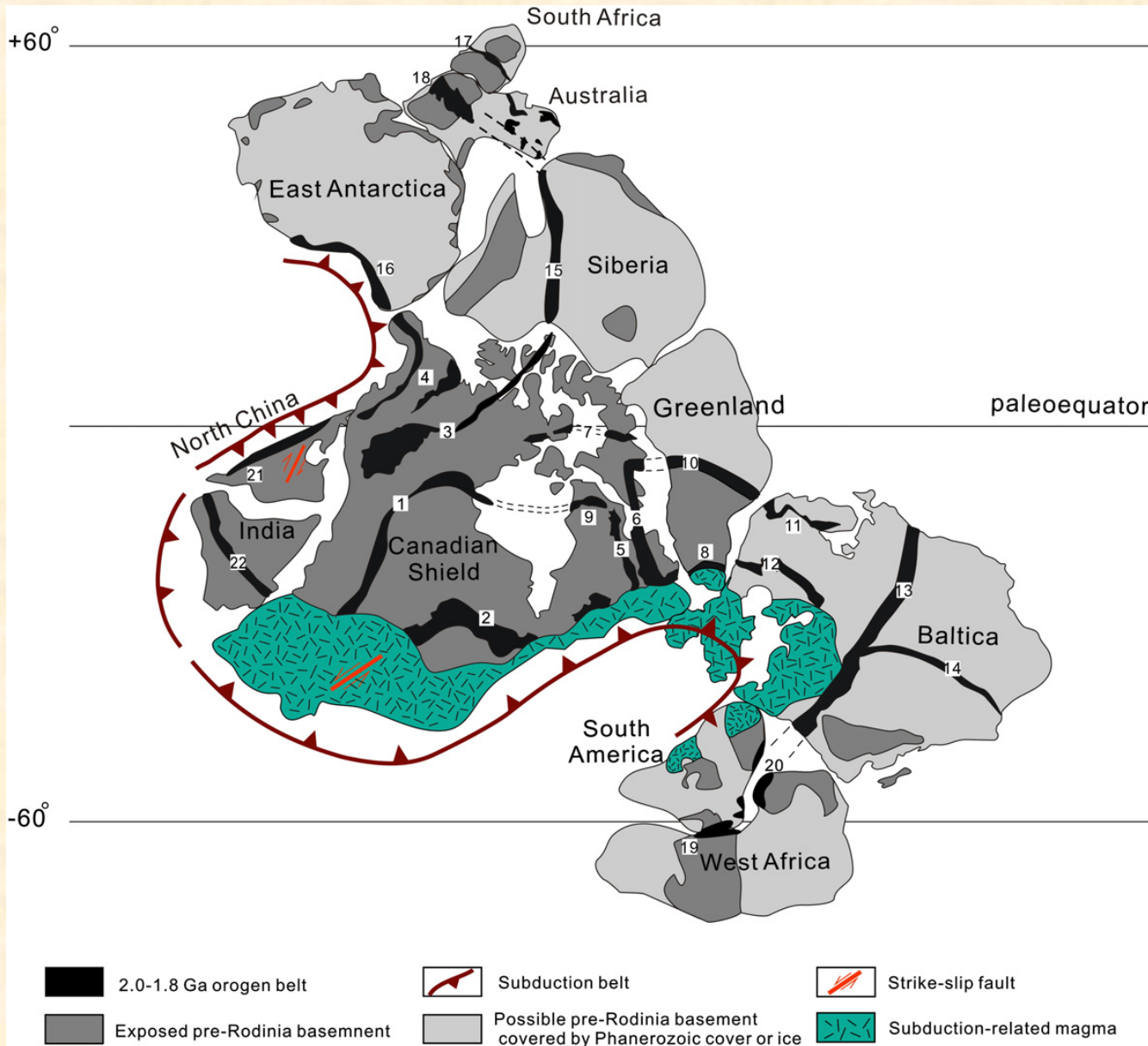


Grypania spiralis



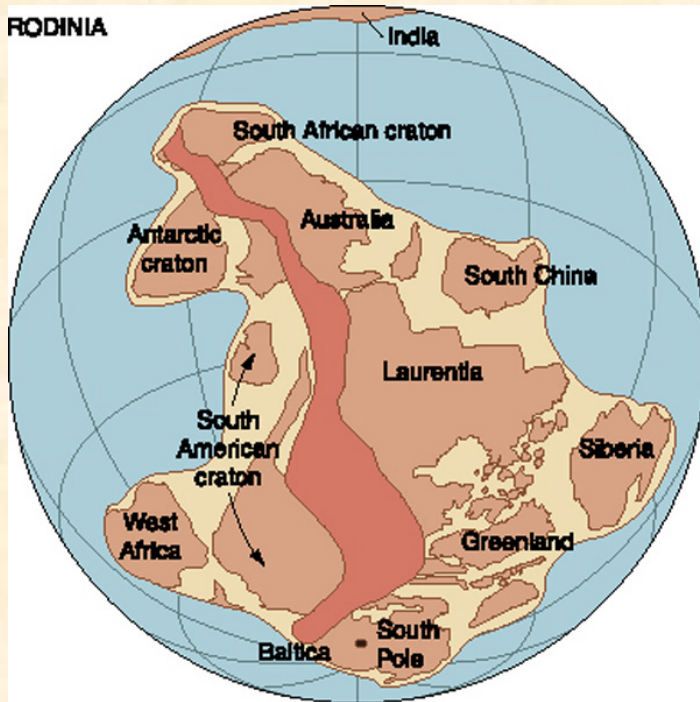
Estos organismos una maravillosa innovación: **la reproducción sexual !!!!**

Fines de Julio (2000 Ma): Probable primer "Supercontinente" : **Columbia**



Mediados de Agosto (1800 Ma):
Columbia habría empezado a desmembrarse

Principios de Octubre (1100 Ma): Los continentes vuelven a reunirse en un nuevo supercontinente: **Rodinia**

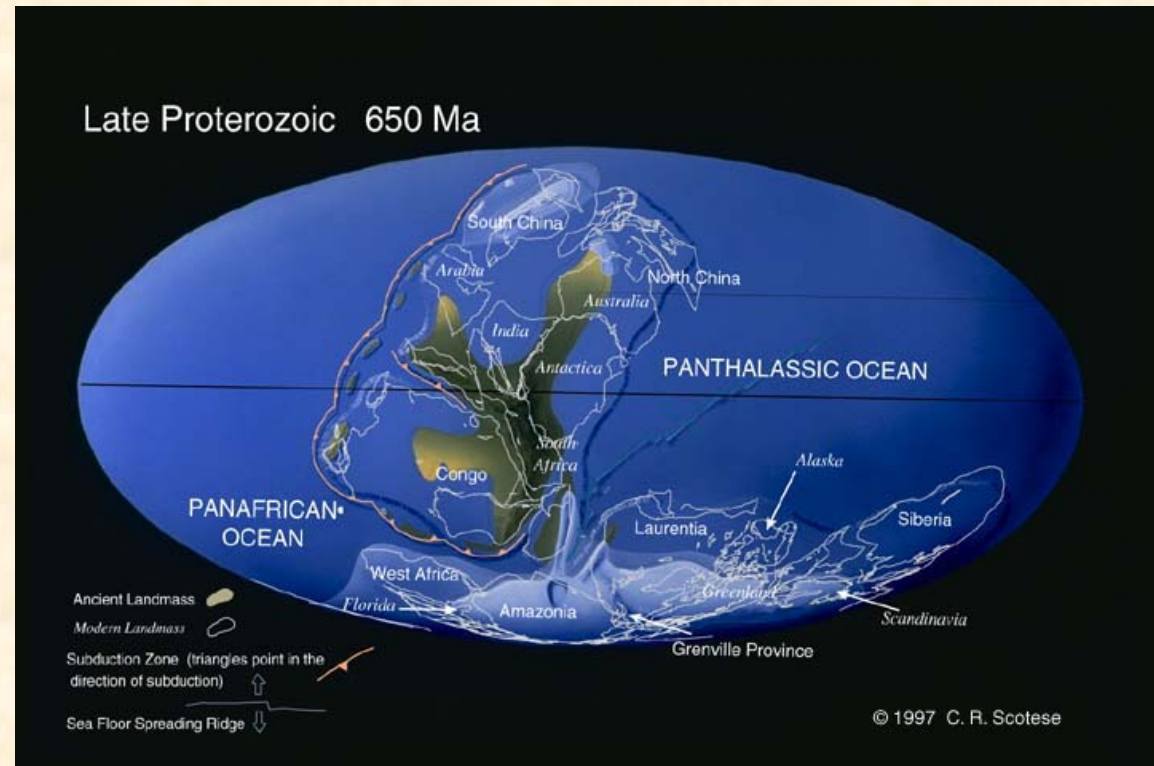


Mediados de Octubre (1000 Ma). Una innovación de la vida: los **animales pluricelulares**

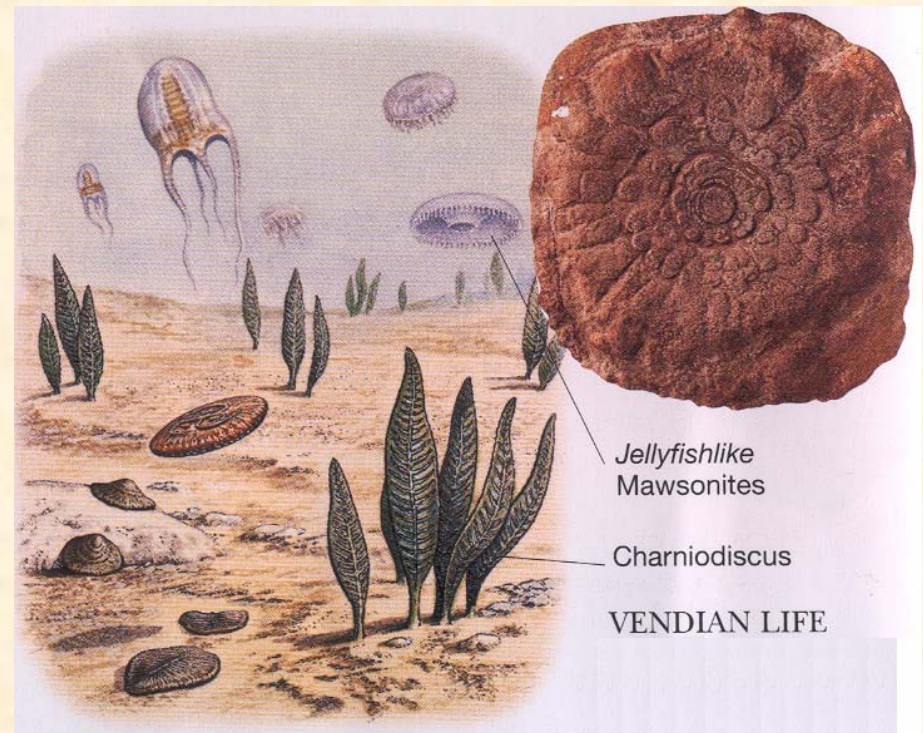
29 de Octubre -15 de noviembre (820-600Ma). Ocorre otra **glaciación**, tal vez la de más larga duración

Principios de Noviembre (750 Ma): Rodinia comienza a desmembrarse

**Los días ya son más largos:
1 día dura 21 horas**

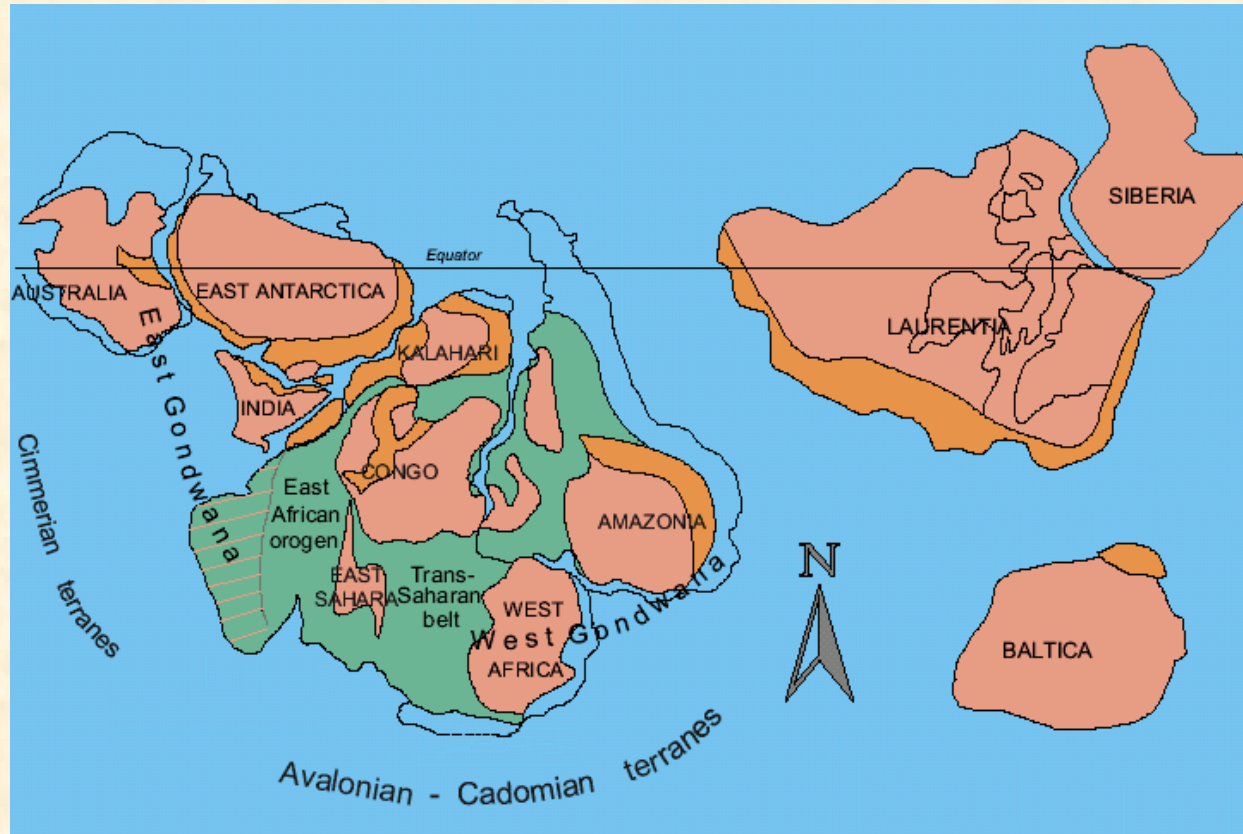


~12 Noviembre (630 Ma): Otra innovación de la vida: **los primeros animales**: Fauna de Ediacara en Australia



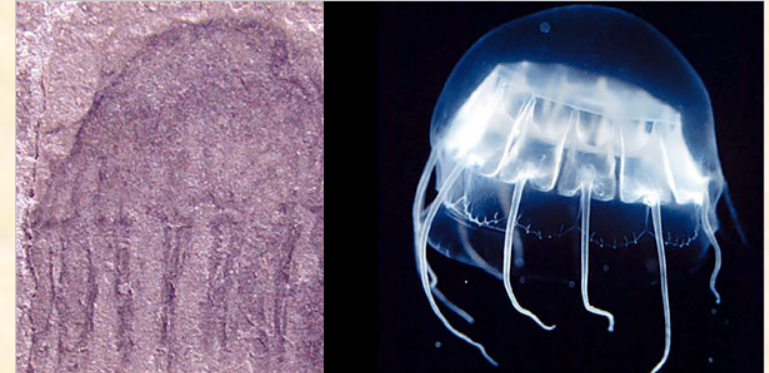
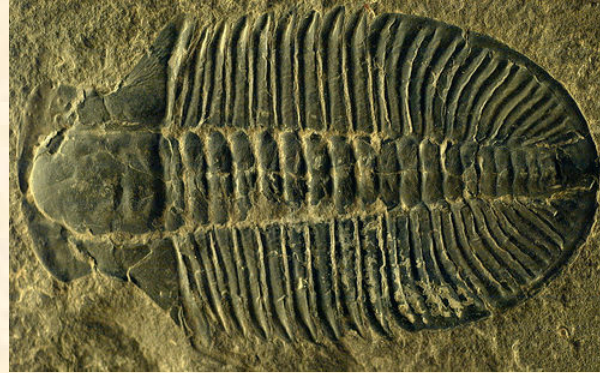
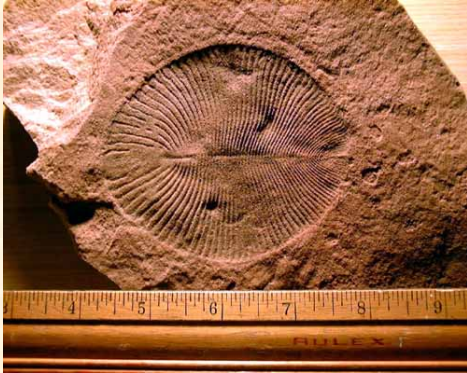
~14 Noviembre (600 Ma): Es posible que de los fragmentos de Rodinia se haya formado otro supercontinente: **Pannotia** (su existencia está en discusión)

18 de Noviembre (550 Ma): Los fragmentos de Rodinia (o Pannotia si es que realmente existió) vuelven a unirse y forman **Gondwana** en el hemisferio sur, y hacia el norte **Laurentia** va creciendo



Esta geografía cambiante generará una multitud de habitats diferentes que harán posible uno de los eventos más espectaculares en la historia de nuestro planeta

16-20 de Noviembre (570-530 Ma): **La explosión cámbrica de la vida!!!**



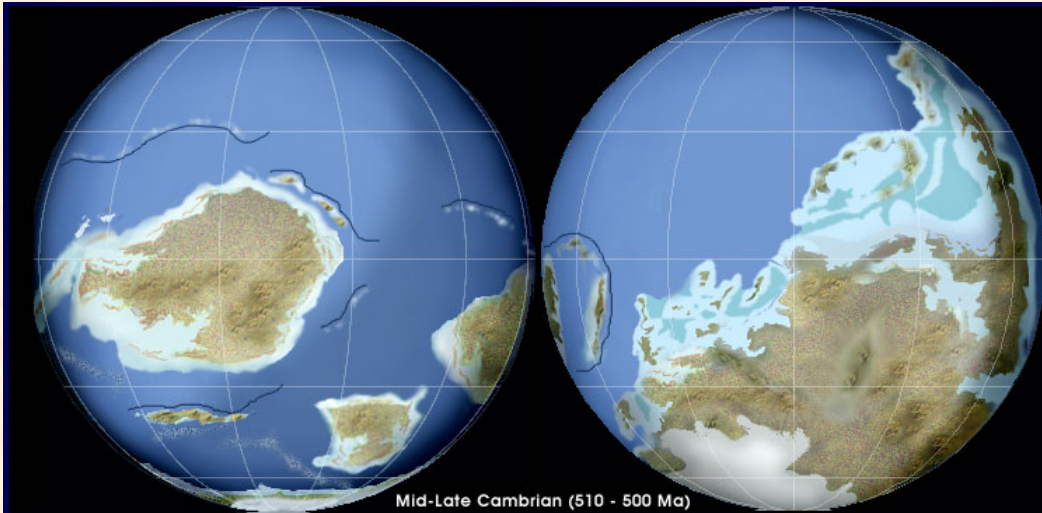
Explosión que viene con una innovación:

los **animales depredadores**

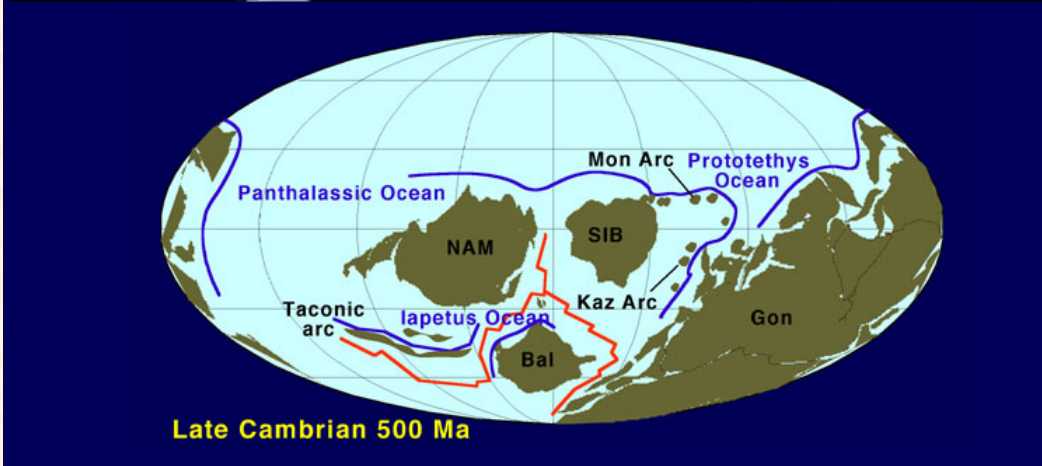
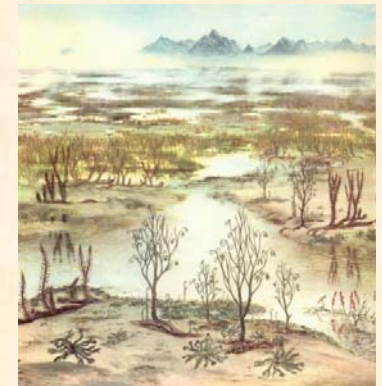
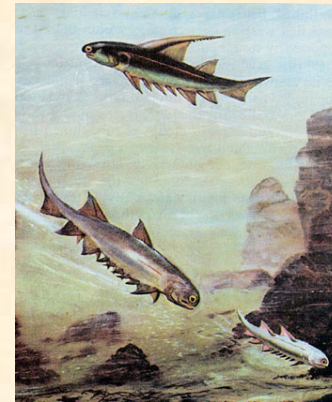
Burgess Shale,
Canadá

En unos pocos millones de años la vida florece en los mares con una variedad extraordinaria de especies

22 de Noviembre (500 Ma): Gondwana se va al polo sur se forma un casquete polar con otra época de **glaciación**. Aparecen los primeros **peces** y las primeras **plantas** inician su invasión al medio terrestre.



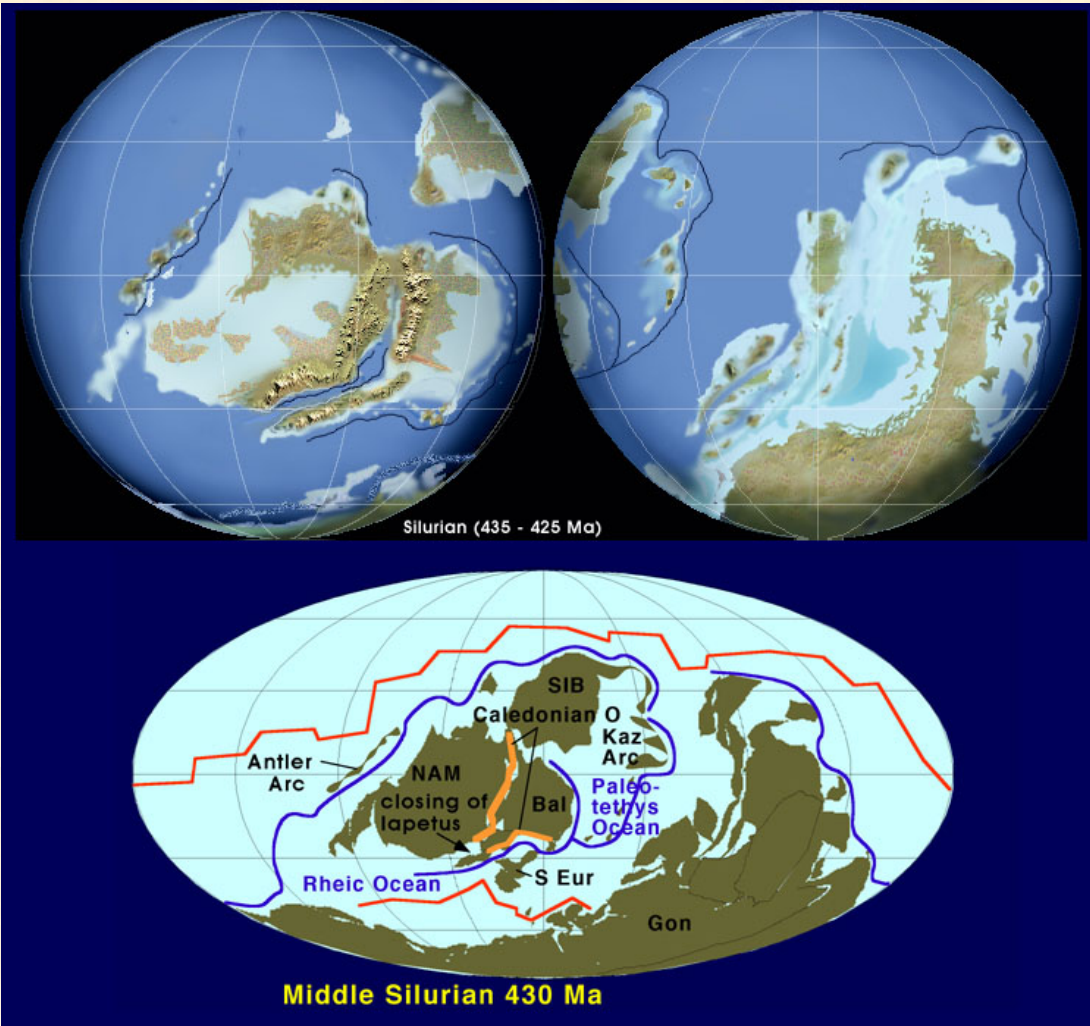
Mid-Late Cambrian (510 - 500 Ma)



Late Cambrian 500 Ma



27 Noviembre al 3 de Diciembre (440-360 Ma): las plantas se esparcen, hay una gran diversidad de peces y los primeros **animales**: arañas, escorpiones **invaden el medio terrestre** seguidos por los primeros vertebrados



Las líneas de crecimiento diario de los corales de los mares en este tiempo indican años de 385 a 410 días

3 de diciembre (360 Ma): Aparecen las primeras gimnospermas que forman grandes bosques y ambientes pantanosos y con ellas los primeros **animales voladores**: insectos. Ocorre otra **glaciación**

11 de Diciembre (251 Ma): Ya se ha formado la **Pangea**, todos los continentes unidos en uno solo. Ocurre **la mayor extinción de vida** de la historia (90% de las especies). Límite Permo-Triásico. Aún se discuten las causas



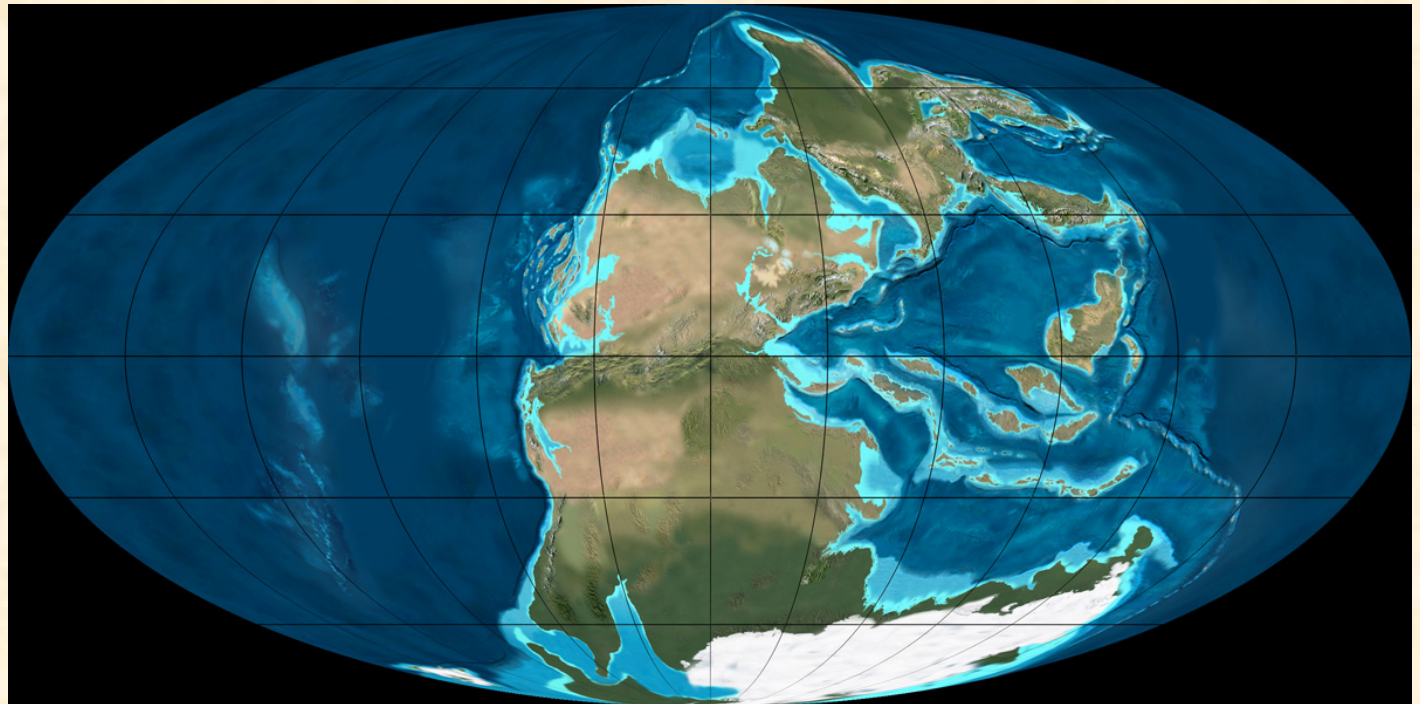
Enormes volcanes?



Impacto de un meteorito?

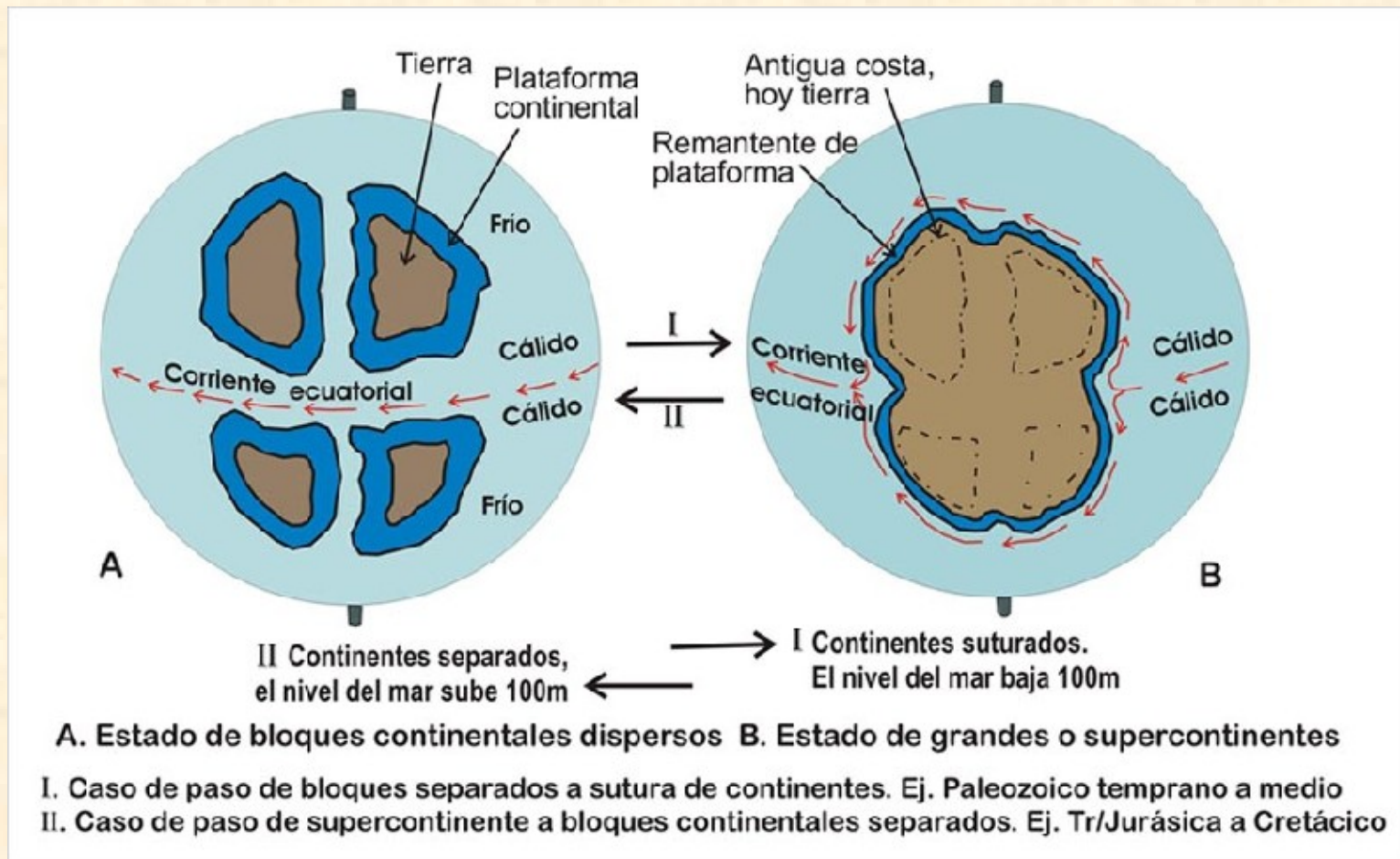
La nueva configuración de ambientes?

El clima se vuelve más seco y cálido

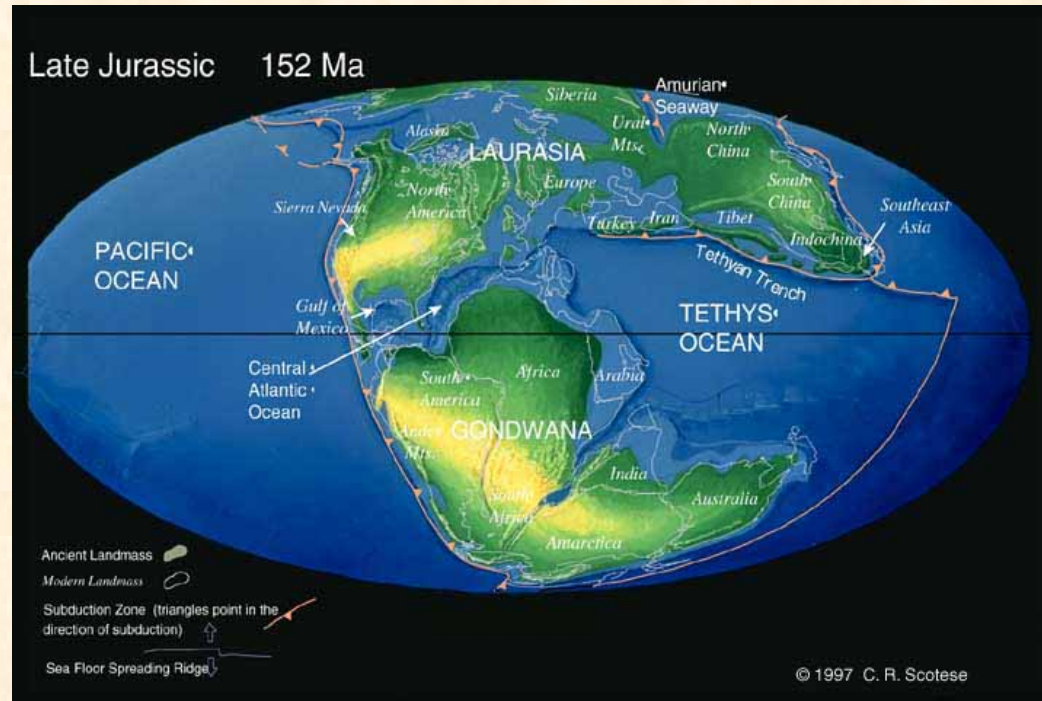
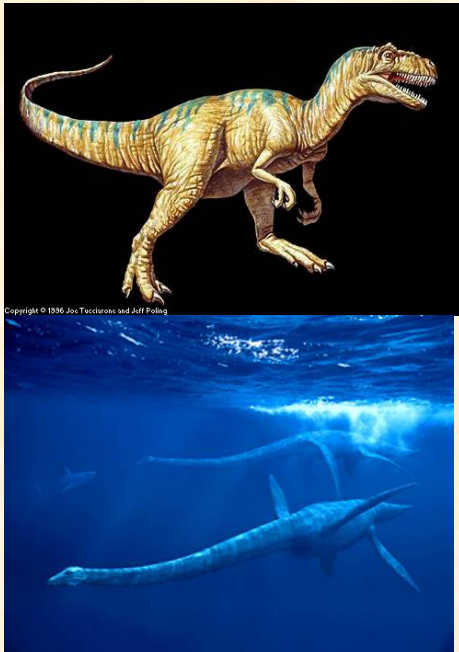


Se pasó de un modelo de configuración de continentes separados, con alguno a veces el más grande, sobre un polo formando un casquete (glaciaciones)

A otro modelo de continentes unidos que además se alejó del polo



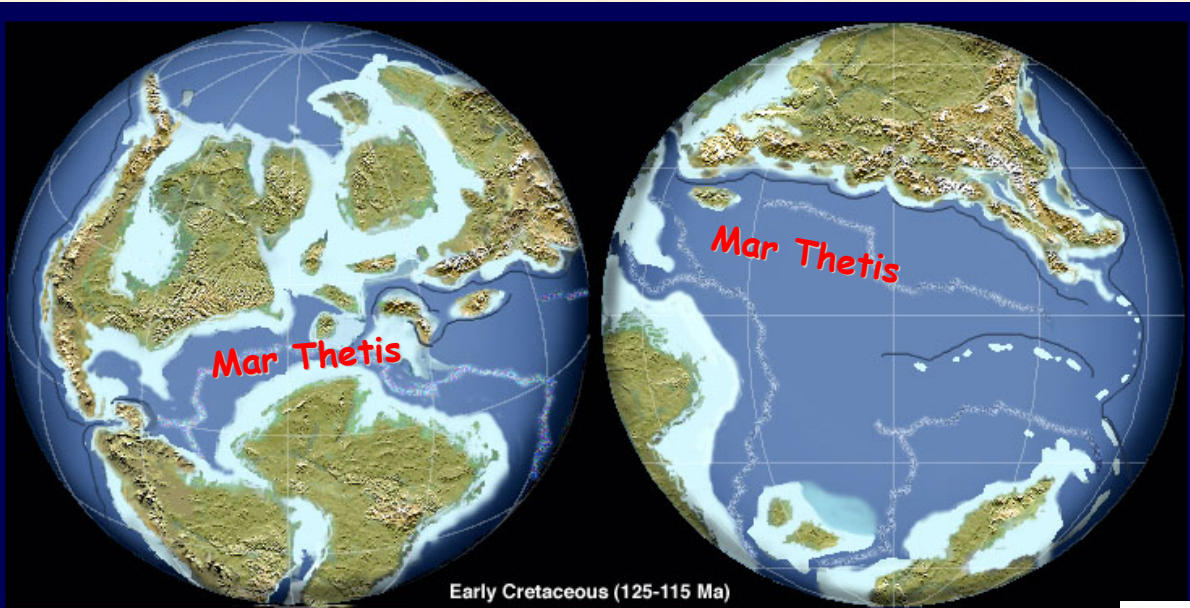
19 de Diciembre (152 Ma): La Tierra es el "Parque Jurásico". Los dinosaurios reinan en la tierra, el mar y el aire. Ya hay mamíferos pequeños, los arrecifes de los mares no son de corales sino de: rudistas. El clima es cálido y uniforme



La Pangea ha empezado a desmembrarse dando origen a los actuales continentes y océanos



21 Diciembre (130 Ma), la Tierra sigue cálida a pesar de que los continentes se separan a velocidades nunca antes vistas.



Early Cretaceous (125-115 Ma)

Se forma el mar del Thetis donde se separan las placas, es un mar somero donde se formó la mayor parte del petróleo que hoy usamos

mar profundo cuando velocidad de separación es lenta



Early Cretaceous 130 Ma

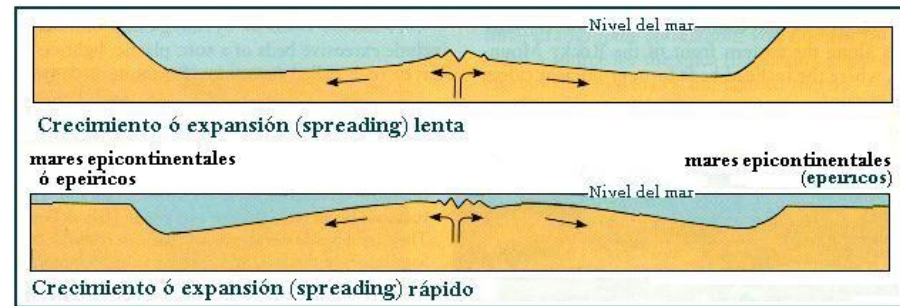
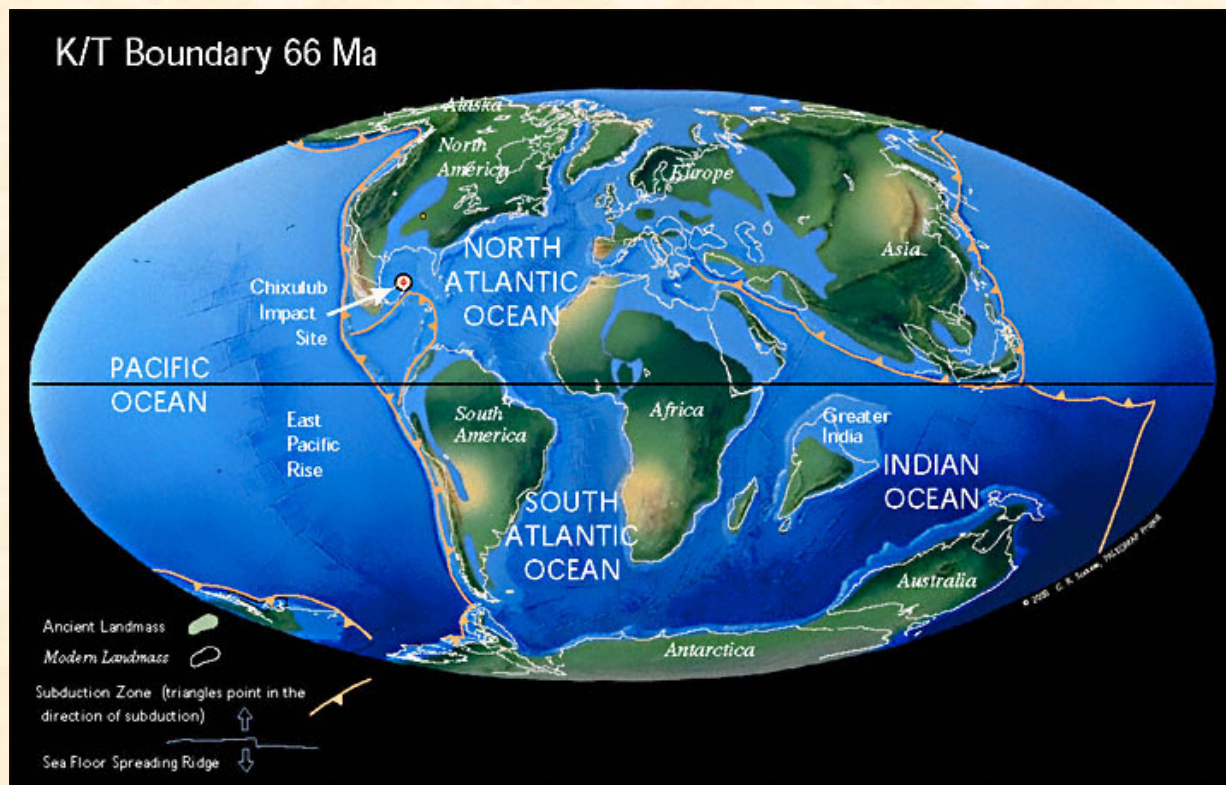


Diagrama indicando que tanto un crecimiento rápido del fondo oceánico puede causar un desplazamiento del agua de mar hacia los márgenes continentales

mar somero y cálido cuando velocidad de separación es rápida

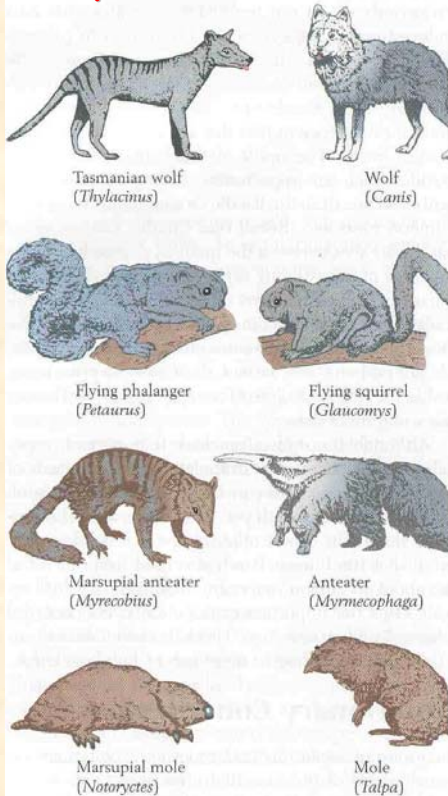
26 de Diciembre (65 Ma): Probablemente por la caída de un meteorito en Yucatán, se extinguen los dinosaurios y un 85% de las especies. Límite Cretácico-Terciario. Los océanos actuales ya están casi formados. Se han empezado a levantar los Andes.



Del 26-29 de diciembre (65-24 Ma), aparecen las **primeras aves** y se desarrollan y diversifican los **mamíferos marsupiales** y **placentarios** en continentes separados (sin competencia entre ellos): los placentarios en los continentes del norte, los marsupiales en los del sur. Las aves del terror son los depredadores de los marsupiales. En la vegetación aparecen pastos que detienen las tasas de erosión.

El clima se enfría gradualmente, se cierra el mar del Thetis al chocar las placas Eurasiática con la Africana e India y formarse los Alpes, Cárpatos, el Cáucaso y finalmente los Himalaya

marsupiales **Placentarios**



aves terror



Early Tertiary (50-40 Ma)

El 31 de diciembre de las 12 AM a 4 PM, se **cierra canal de Panamá**, se instauran nuevas corrientes oceánicas, se forma el casquete ártico. Se pone en contacto fauna placentaria y marsupial de cuya competencia triunfan los placentados. Se desarrollan mamíferos adaptados a los pastos y praderas.



16:00 horas del 31 de Diciembre (4 Ma): Los primeros homínidos aparecen en África (Australopithecus)

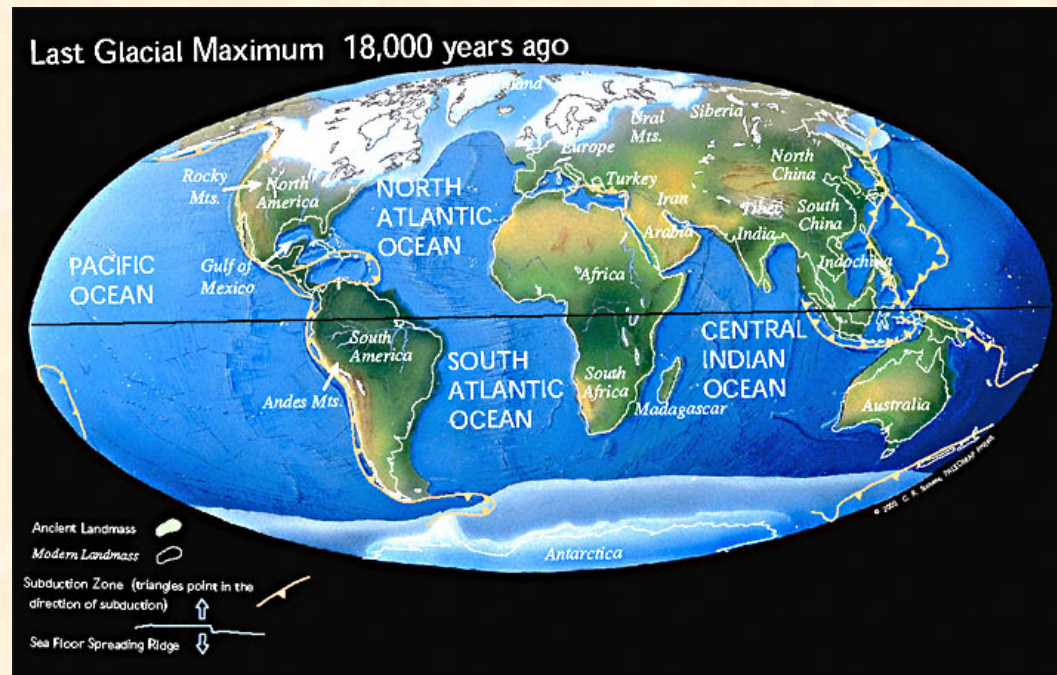


23:37 horas del 31 de Diciembre (200 mil años): Aparece nuestra especie en África (Homo Sapiens)

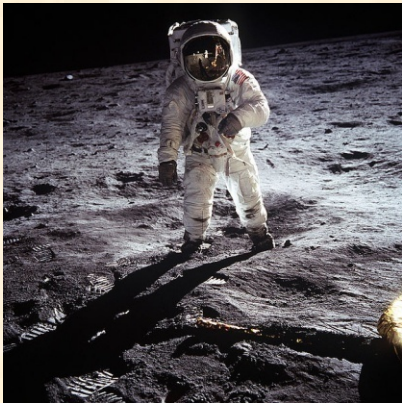


23:51 horas (aprox 60 mil años): El hombre sale de Africa a poblar el mundo

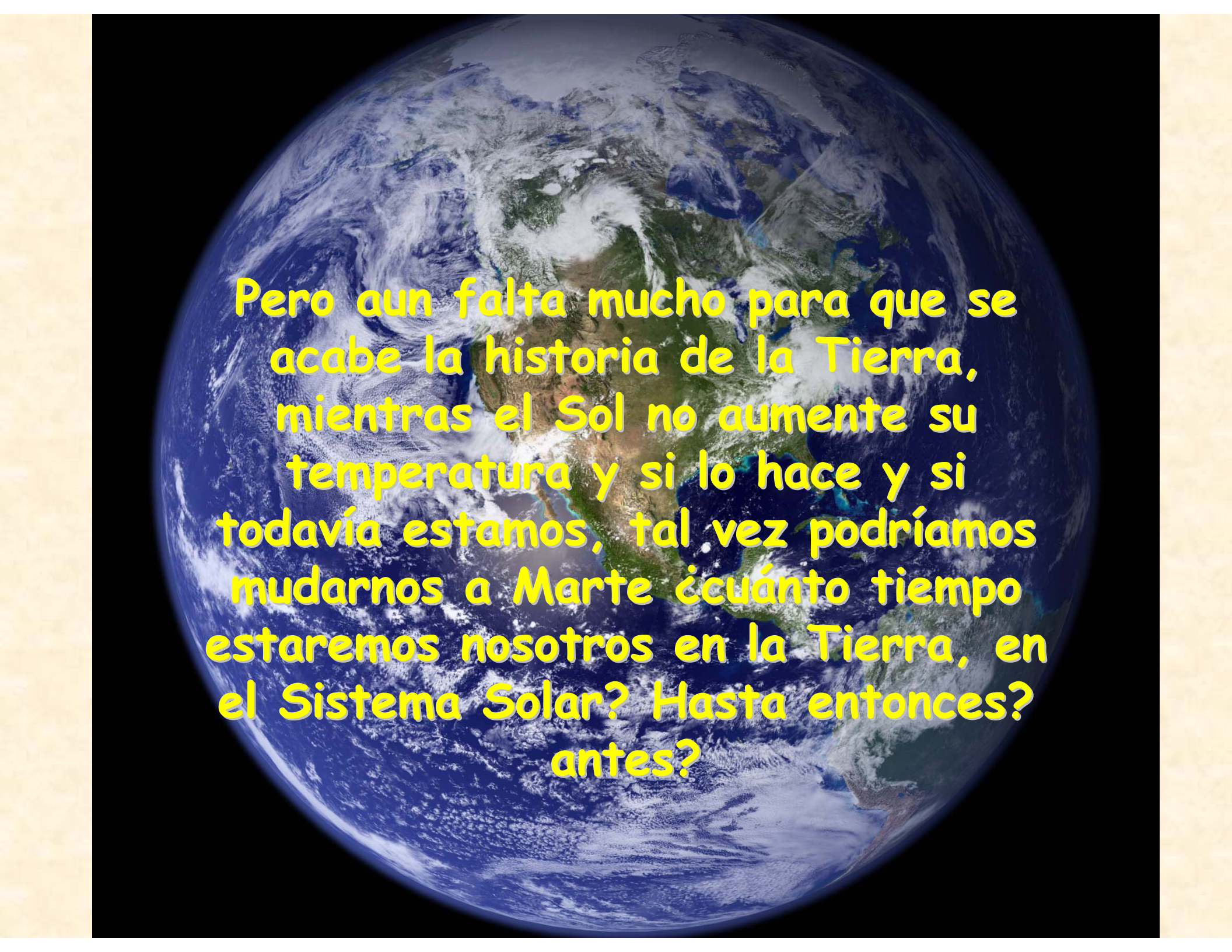
23:58 horas del 31 de Diciembre (18 mil años): Último máximo glacial



Toda la historia de nuestra civilización ocupa.....



.....los últimos 35 segundos !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

A satellite view of Earth from space, showing the Americas in the center. The text is overlaid on the image in a bright yellow font.

Pero aun falta mucho para que se acabe la historia de la Tierra, mientras el Sol no aumente su temperatura y si lo hace y si todavía estamos, tal vez podríamos mudarnos a Marte ¿cuánto tiempo estaremos nosotros en la Tierra, en el Sistema Solar? Hasta entonces? antes?