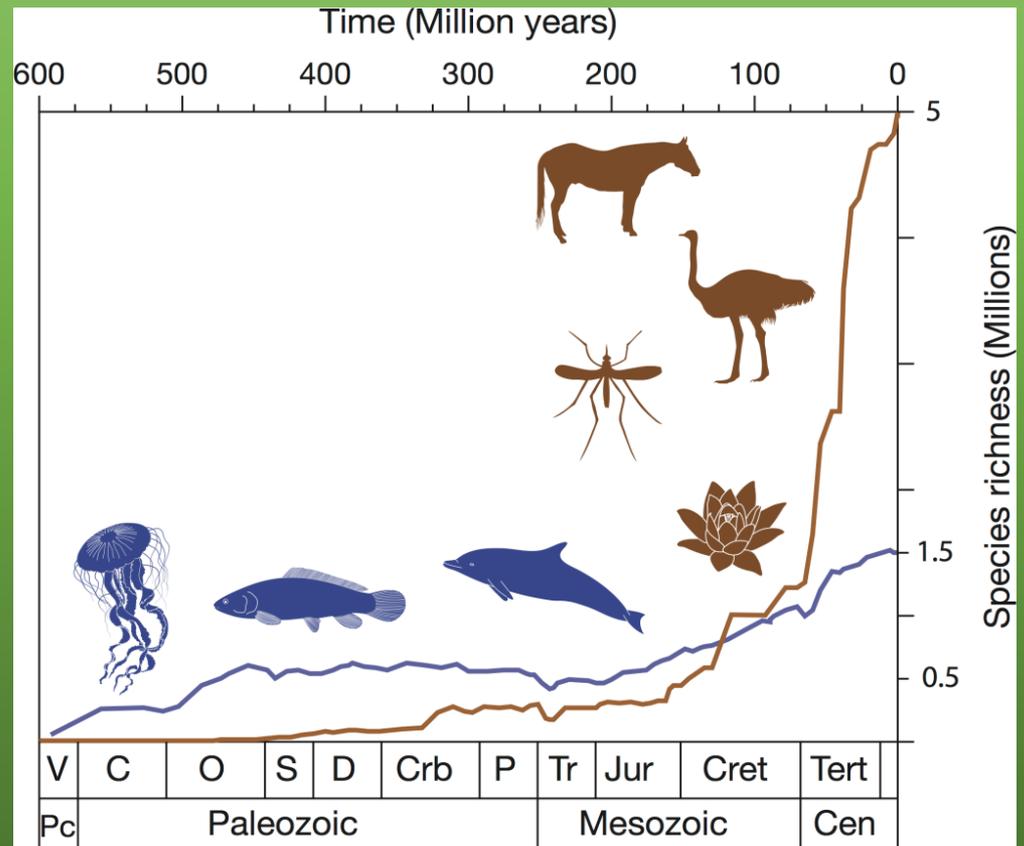


PALEODIVERSIDAD

Factores modeladores de la diversidad biológica en el Fanerozoico

Martín Ubilla
Dpto. Paleontología



M.A.	EÓN	ERA	PERÍODO (Sistema)	
0.01	FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	
2.58			NEOGÉNO	
5.3			PALEÓGENO	
23.03		MESOZOICO	CRETÁCICO	
33.9			JURÁSICO	
56.0			TRIÁSICO	
66.0			PÉRMICO	
145			CARBONÍFERO	
201.3		PALEOZOICO	DEVÓNICO	
251.9			SILÚRICO	
298.9	ORDOVÍCICO			
358.9	CÁMBRICO			
419.2	EDIIACÁRICO			
443.8	CRIOGÉNICO			
485.4	TONICO			
541.0	PRECÁMBRICO	PROTEROZOICO	ESTÉNICO	
1000			Meso Proterozoico	ECTÁSICO
1600			Paleo Proterozoico	CALÍMICO
2500		ARCAICO	Neo arcaico	ESTATÉRICO
				OROSÍRICO
				RIÁCICO
				SIDÉRICO
2800		Neo arcaico	Fósiles de organismos u	
3200		Meso arcaico	Temperatura del manto	
3600		Paleo arcaico	India, Brasil, Australia O	
4000	Eo arcaico	(3000 Ma), intenso bom		
4600	Hádico	Formación de la Tierra		

FANEROZOICO

PRECÁMBRICO

Requerimientos para el estudio de la diversidad en el pasado geológico y de las extinciones

Principal información: el registro fósil

Edades numéricas asociadas

Secciones geológicas continuas

Bioestratigrafía detallada.

Estudios de base taxonómicos

Señales geoquímicas en las rocas

Limitaciones: diferentes causas de sesgos

FACTORES PROPUESTOS COMO MODELADORES DE CAMBIOS DE DIVERSIDAD:

Cambios paleoclimáticos

Variaciones del nivel del mar

Variaciones en flujos de nutrientes

Cambios en circulación océano – atmósfera

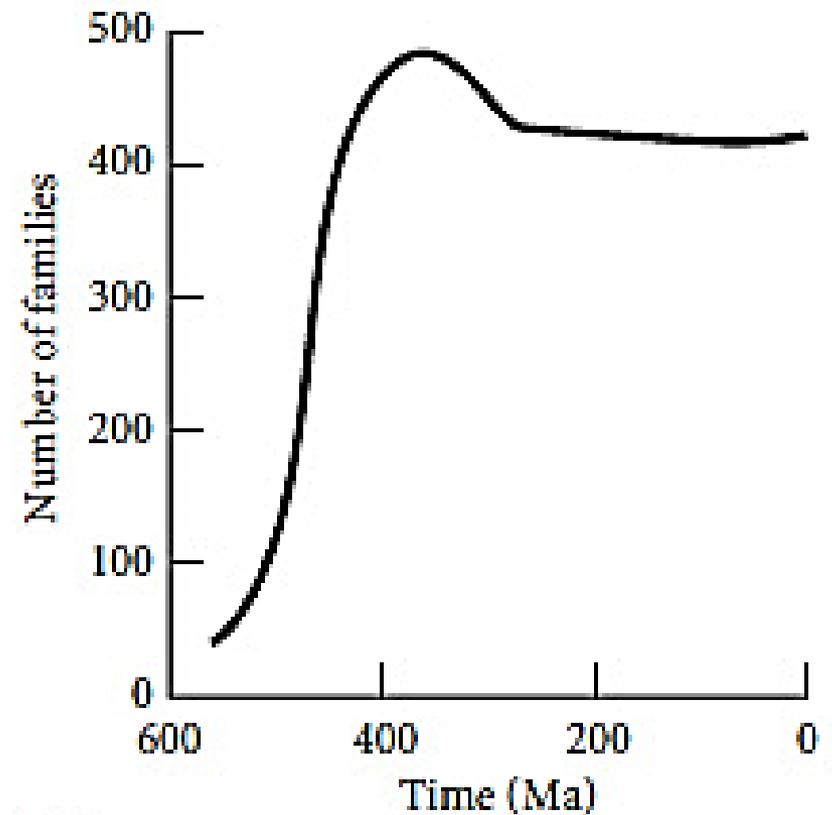
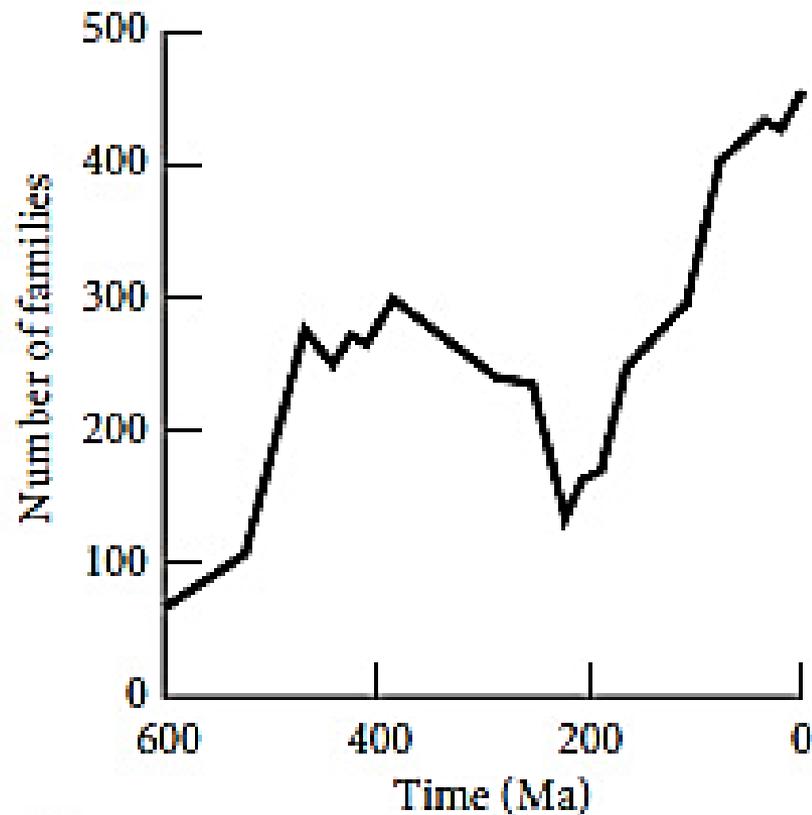
Área habitable disponible

Conectividad intercontinental

MODELOS DE DIVERSIFICACIÓN MARINA EN FANEROZOICO

A: EMPÍRICO crecimiento exponencial

B: SIMULACIÓN CORREGIDA equilibrio



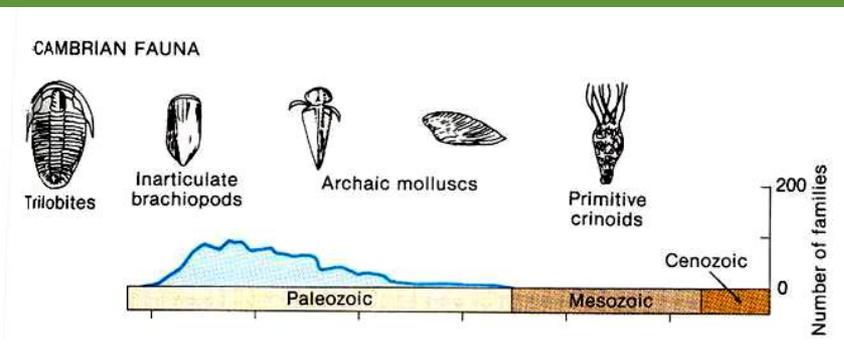
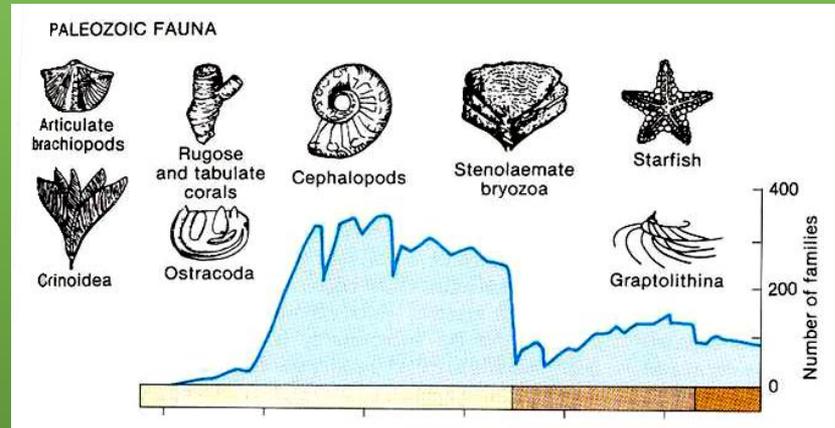
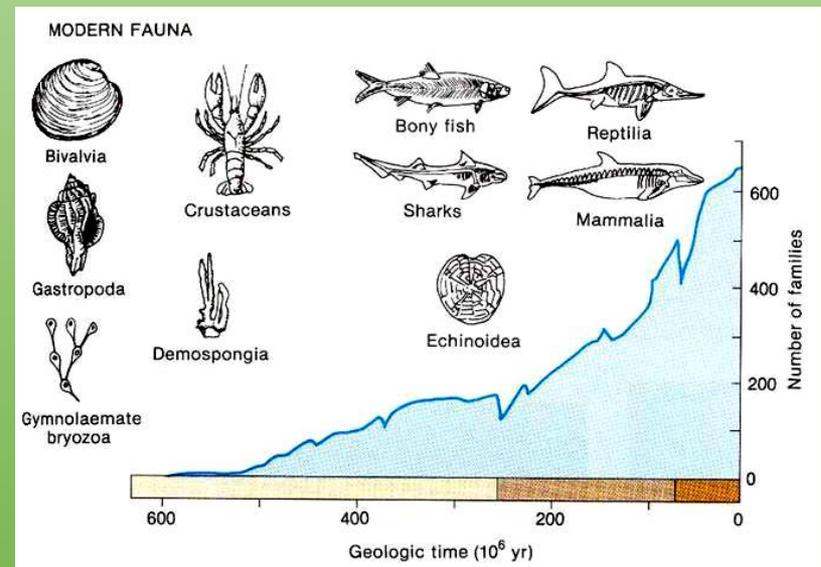
INTERPRETACIÓN DE SEPKOSKI

INVERTEBRADOS MARINOS

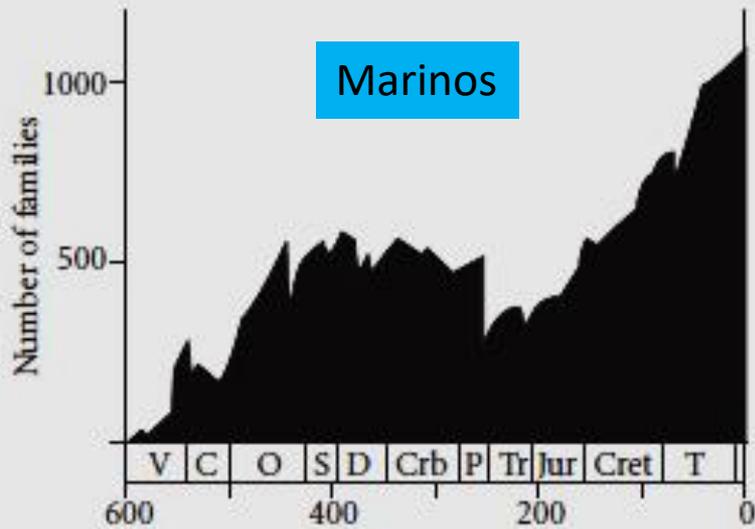
FAUNAS EVOLUTIVAS

3 FASES LOGÍSTICAS ACOPLADAS

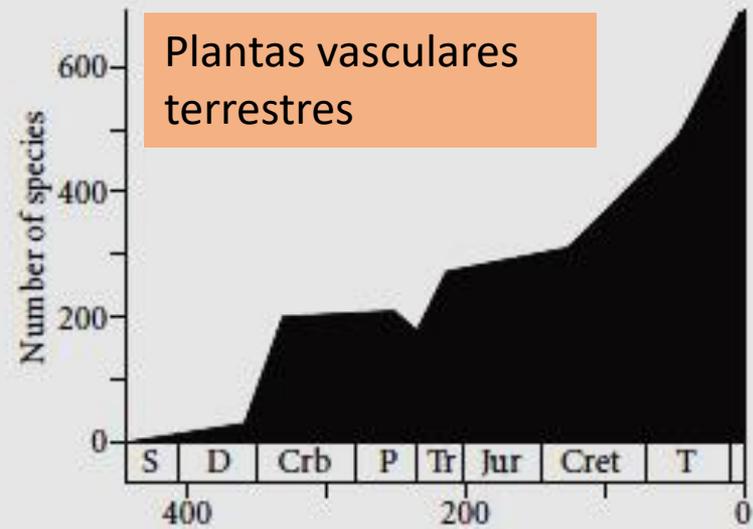
TASAS DE ESPECIACIÓN Y EXTINCIÓN BALANCEADAS



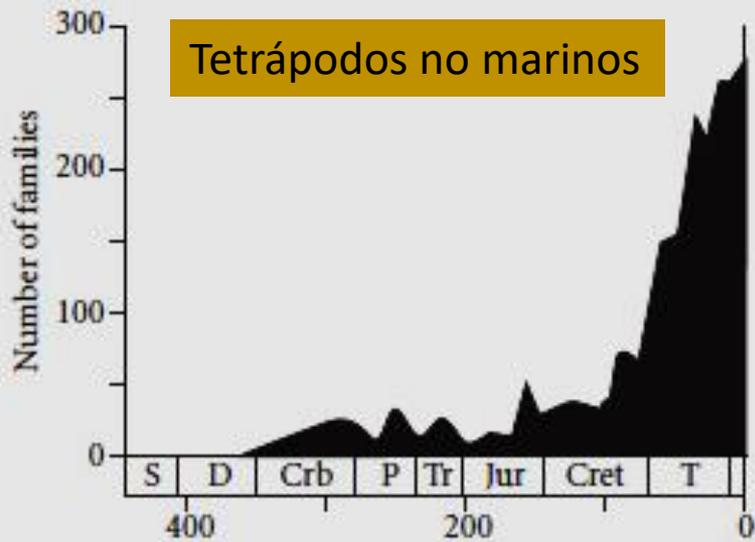
DIVERSIFICACIÓN DE 4 GRUPOS MULTICELULARES EN FANEROZOICO



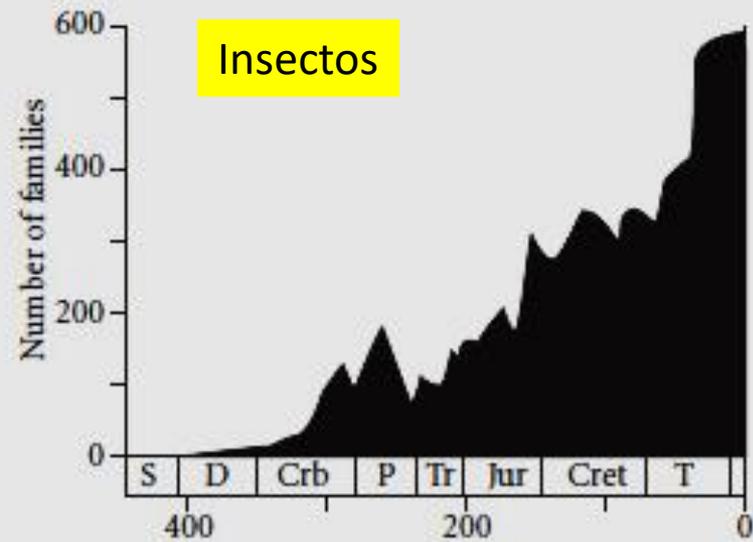
(a)



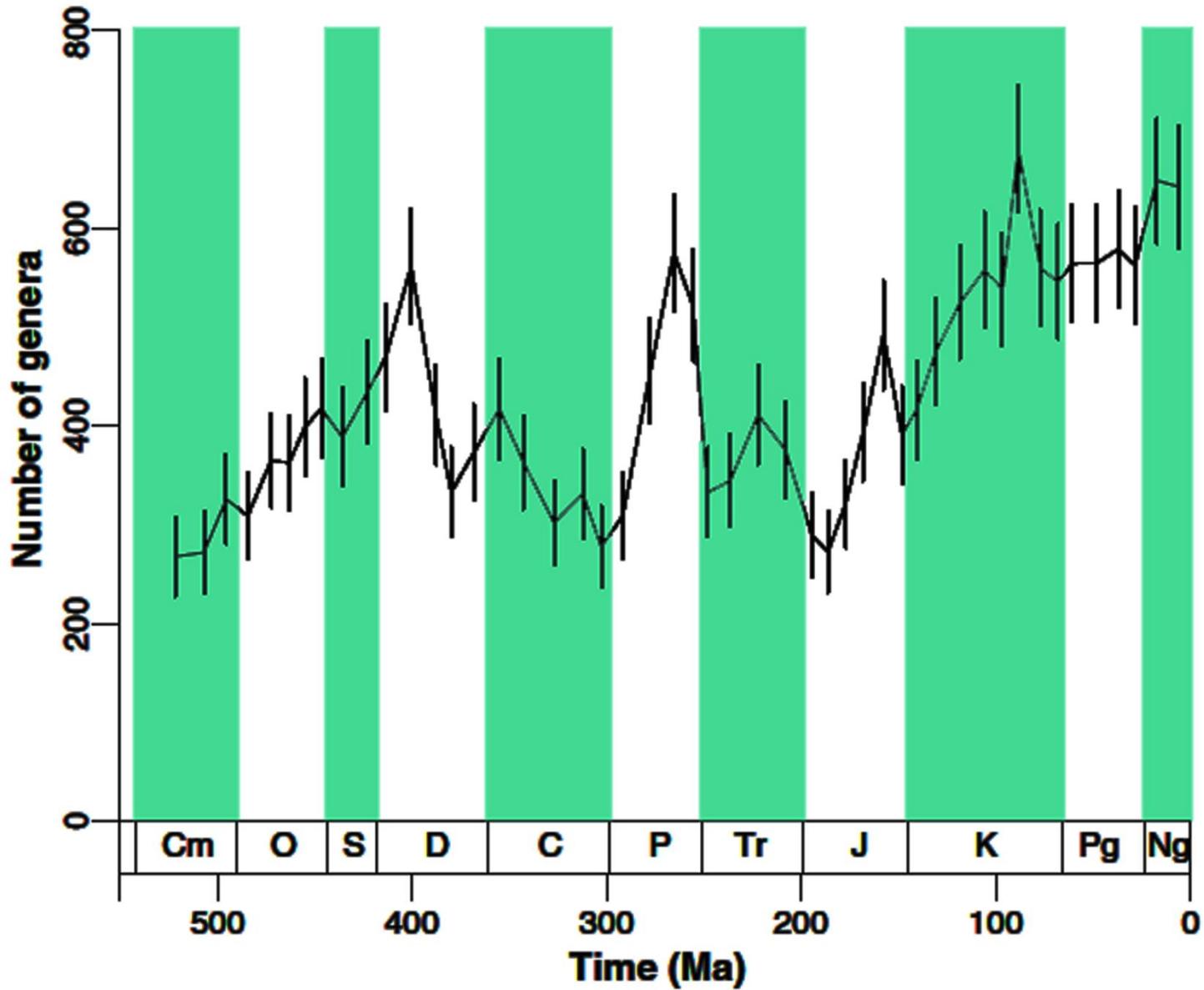
(b)

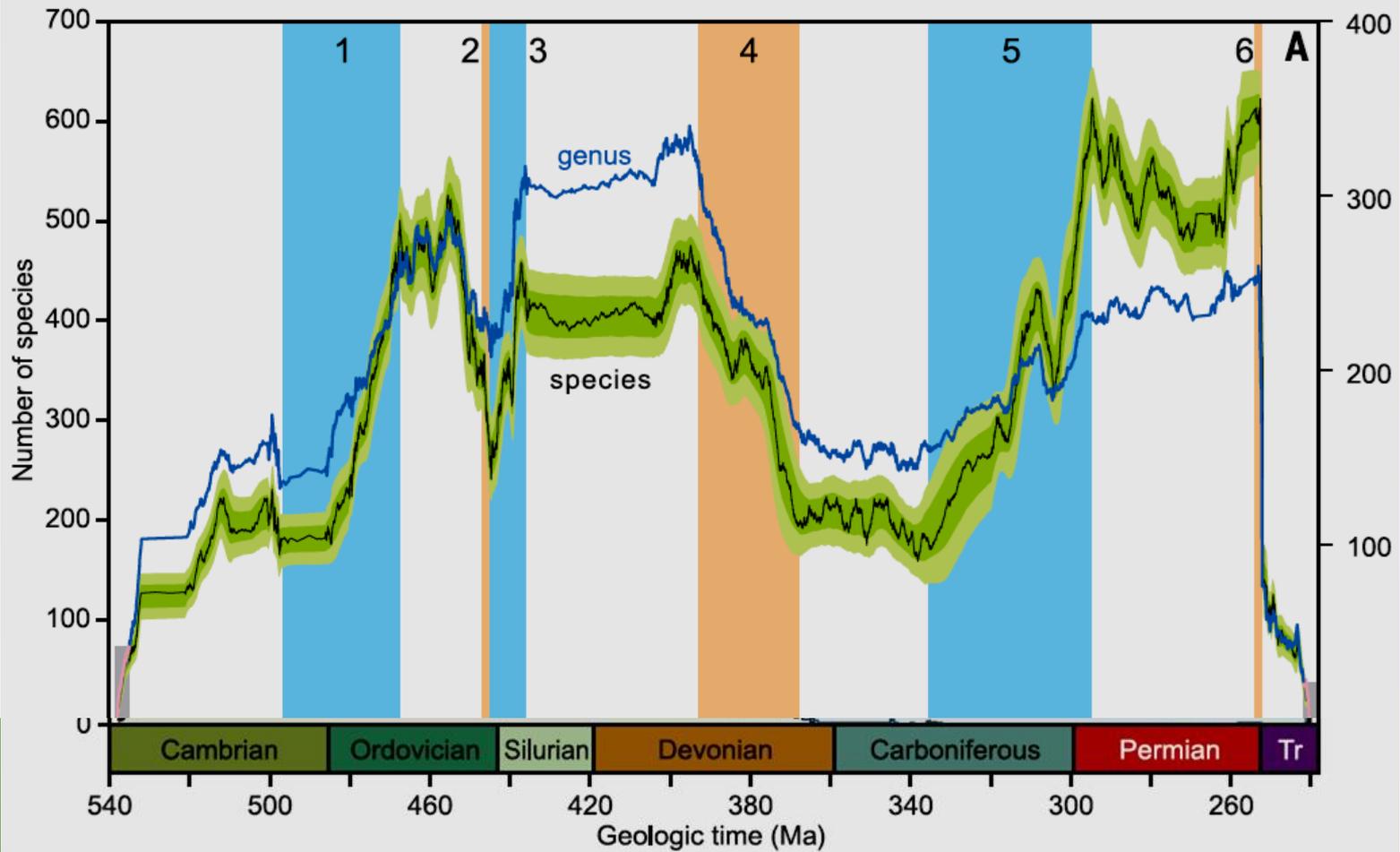


Time (Ma)



Time (Ma)



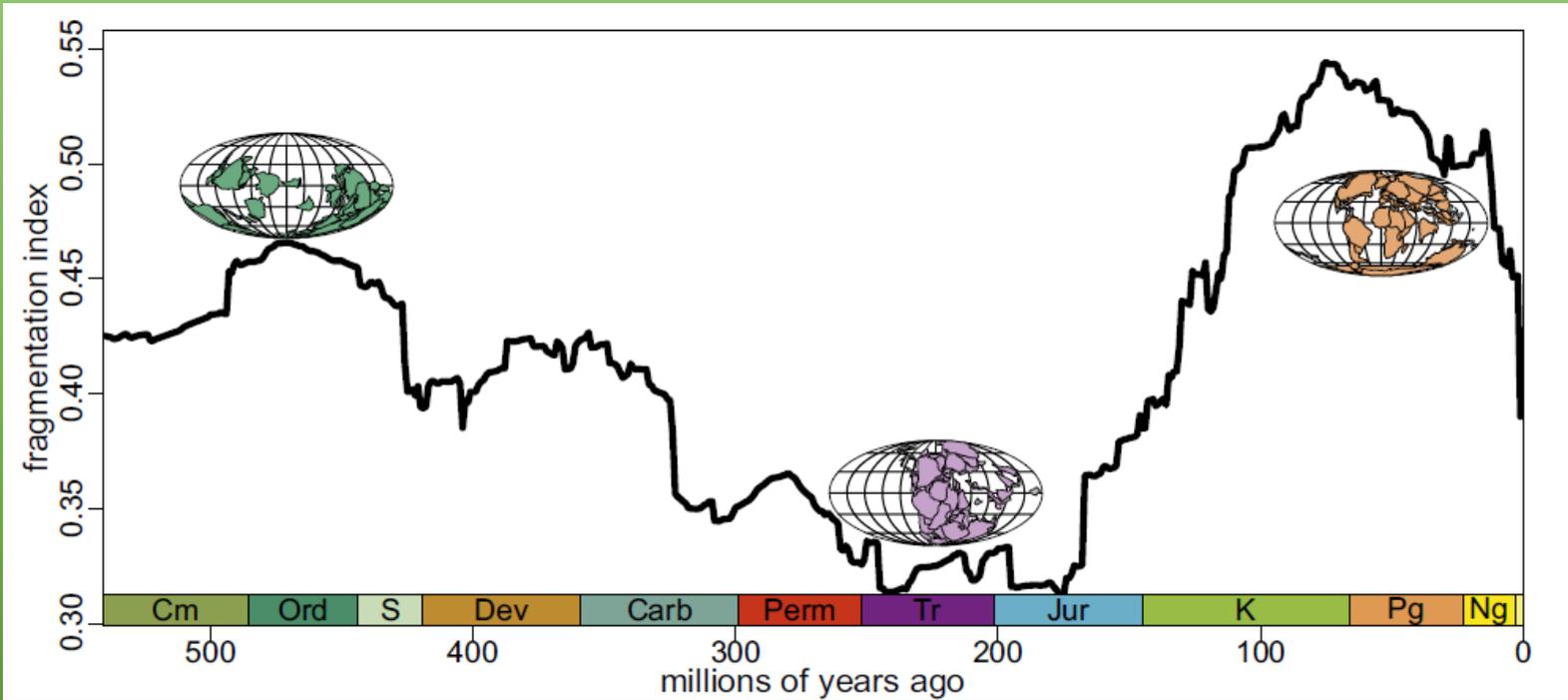


Fan et al. 2020

Intervalo Paleozoico-Triásico Marino

**Dos extinciones masivas
Una declinación de diversidad
Tres incrementos de diversidad**

Los continentes y la diversidad



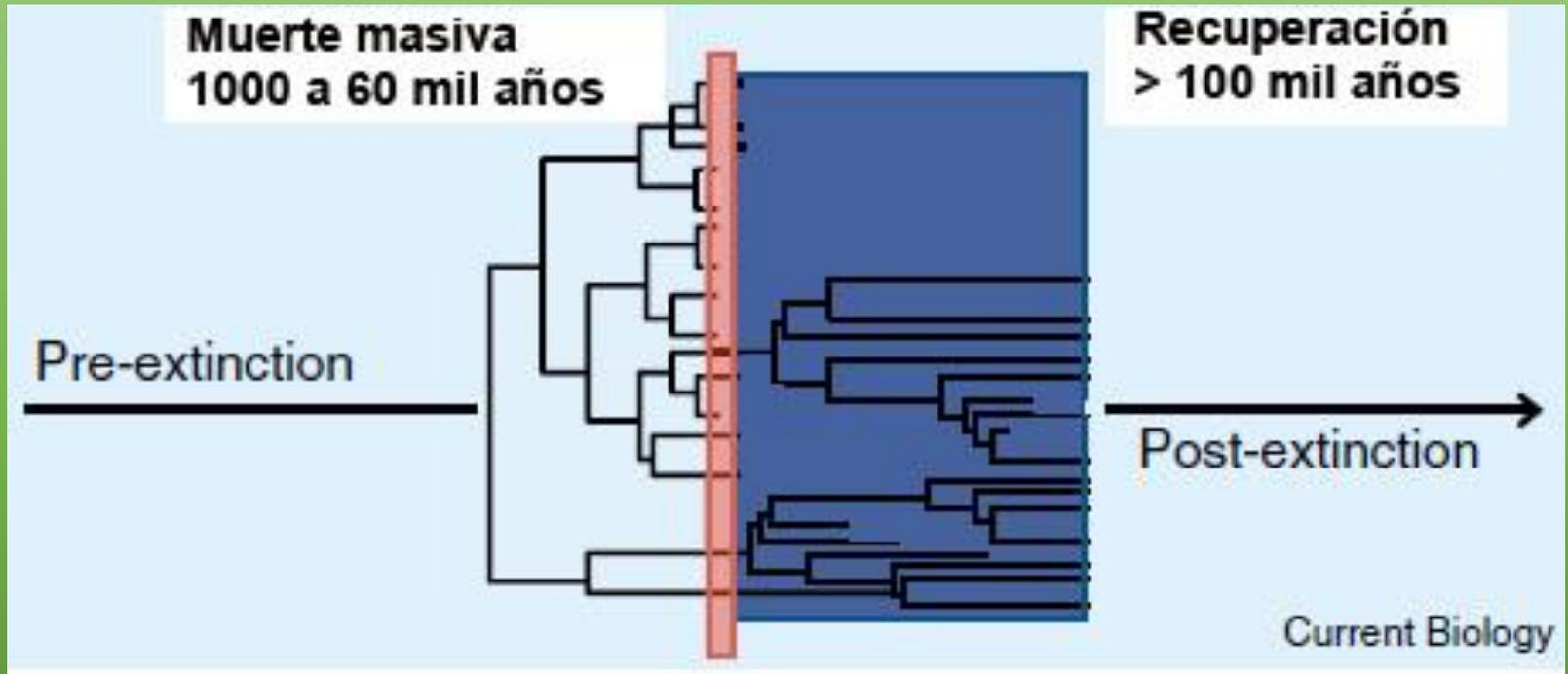
EXTINCCIONES MASIVAS

Intervalo de tiempo geológico relativamente corto, con tasas globales de extinción por encima de tasas de extinción basales (normales), para una gran proporción de grupos ampliamente distribuidos, no necesariamente relacionados evolutivamente.

Intervalo de extinción

Período de recuperación

Efecto macroevolutivo: extinción global seguido de un período inusual de ecosistemas



Doble efecto:

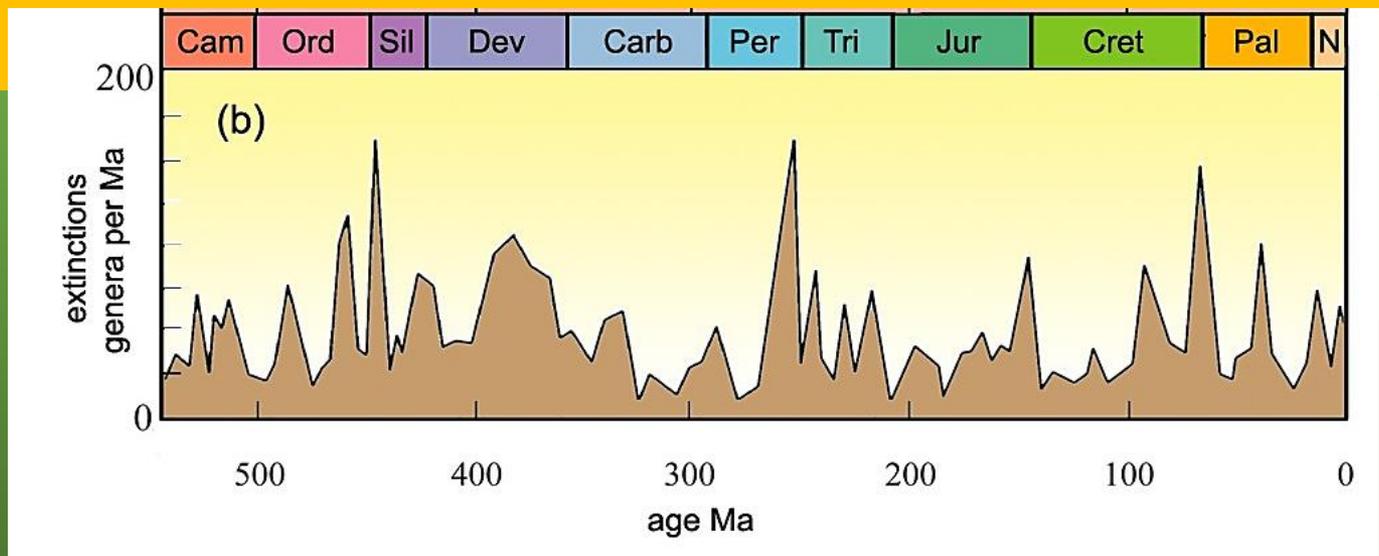
- desaparición de grupos enteros de un linaje dado
- efectos de largo alcance en el tiempo post extinción

EXTINCIÓN MASIVA: pérdida de 50% de familias y 80 % de especies

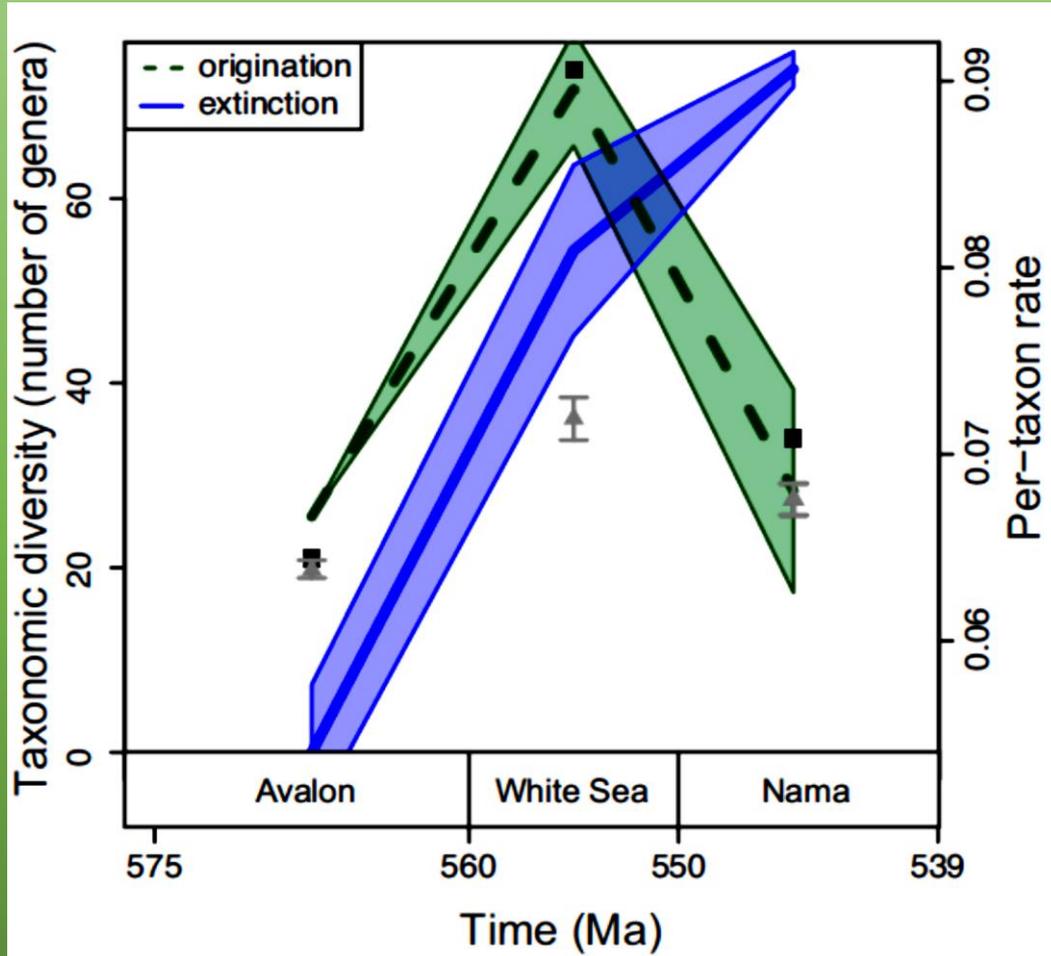
EXTINCION INTERMEDIA: pérdida entre 20-30 % de familias y 50 % especies

EXTINCIONES MENORES: pérdida del 10 % de familias y 30 % de especies.

APROXIMADAMENTE 17 CRISIS BIÓTICAS EN FANEROZOICO



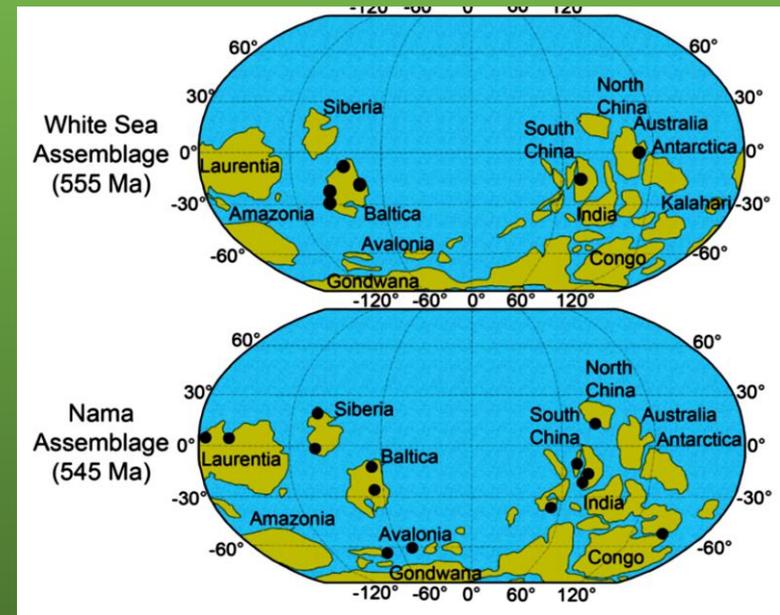
EXTINCIÓN A FINES DEL PRECÁMBRICO: FINES DEL EDIACÁRICO



Pérdida del 80% de géneros

Sobreviven los mejor adaptados
A bajas concentraciones de Oxígeno
Habitantes de aguas someras

Posible causa:
descenso de Oxígeno
anoxia



EXTINCCIONES MASIVAS FANEROZOICO:

clásicamente se mencionan 5

ocurrieron a fines del:

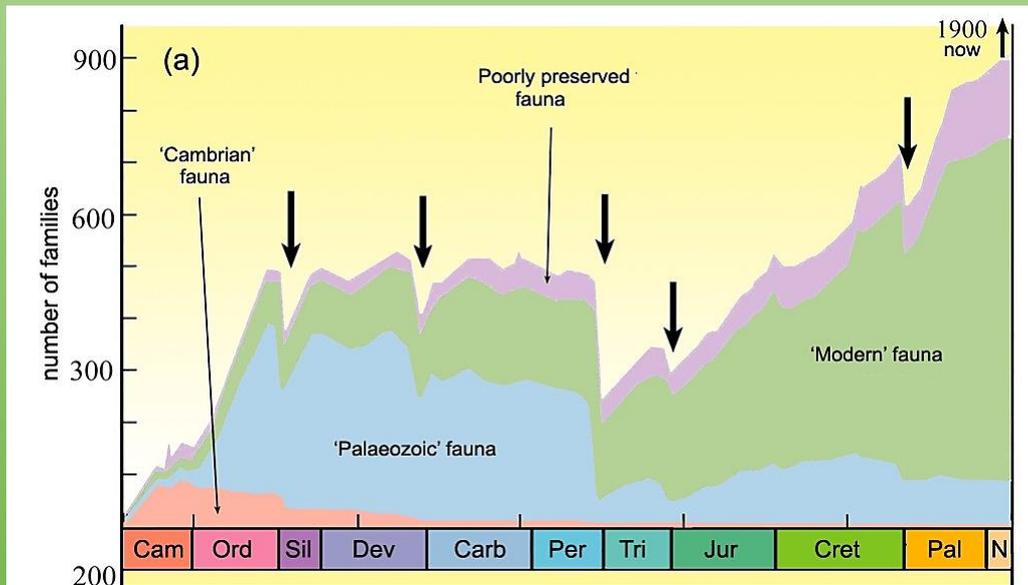
ORDOVÍCICO

Devónico (no es aceptada por todos como una EM)

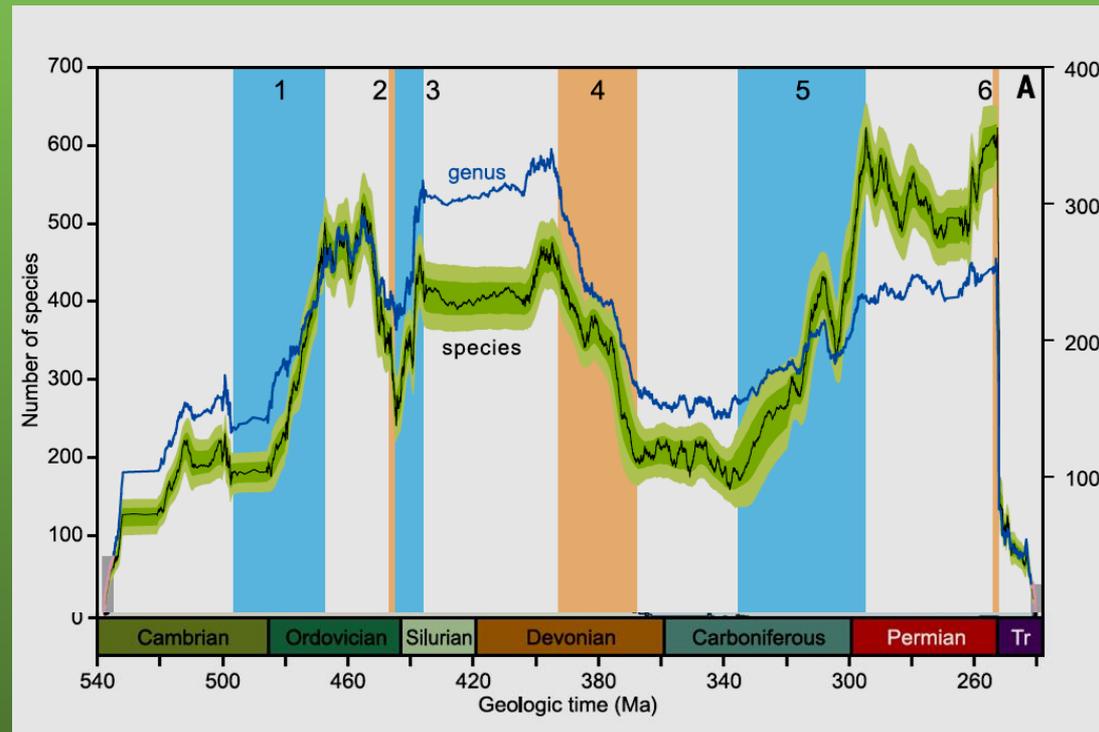
PÉRMICO/TRIÁSICO

Triásico (mayormente en latitudes tropicales y selectiva)

CRETÁCICO/TERCIARIO (CRETÁCICO/PALEÓGENO): K/T o K/P



EL CASO DE LA EXTINCIÓN DEVÓNICA



CAUSAS INICIALES:

VULCANISMO ACTIVO (GRANDES PROVINCIAS ÍGNEAS)

IMPACTOS DE BÓLIDOS

CALENTAMIENTO GLOBAL

ENFRIAMIENTO GLOBAL

INCREMENTO DE CO₂ , SO₂, METANO

ANOXIA y ACIDIFICACIÓN DE OCÉANOS

LLUVIA ACIDA

RADIACIÓN GAMMA

**ALTERACIÓN DEL
CICLO DEL CARBONO**

SEÑALES GEOQUÍMICAS Y ROCAS

VARIACION DE CARBONO 13

VARIACION DE O 18

VARIACIÓN CONCENTRACIÓN DE HG

VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CU

MINERALES QUE SUGIEREN ANOXIA (PIRITA)

ARCILLAS NEGRAS SIN ORGANISMOS

GRANDES PROVINCIAS ÍGNEAS

Rocas de origen ígneo o magmático (vulcanismo)

- .- de gran extensión
- .- gran volumen
- .- con pulsos cortos (1 a 5 MA) de mucha emisión de lava.

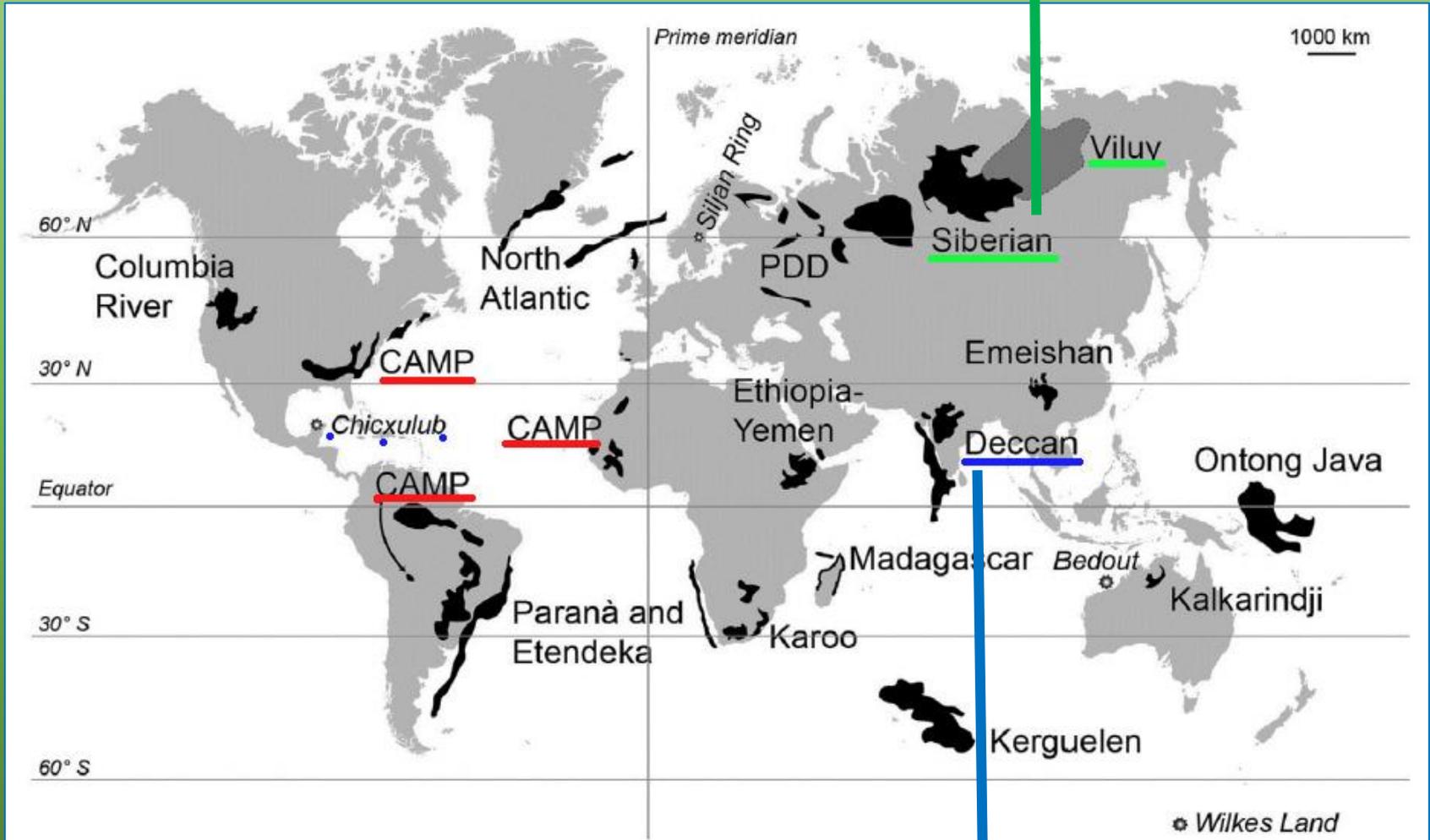
Incremento de Dataciones de U-Pb resolución menor a 1 MA

CONTINENTALES: afecta cuencas marinas y atmósfera

OCEÁNICAS: afecta a cuencas marinas

GRANDES PROVINCIAS ÍGNEAS

Fini-pérmica



Extinción K/T

Requisitos para que una Gran Provincia Ígnea promueva extinciones

.- Emisión de grandes cantidades de lava

.- Breve duración

.- Actividad piroclástica con emisión de gases

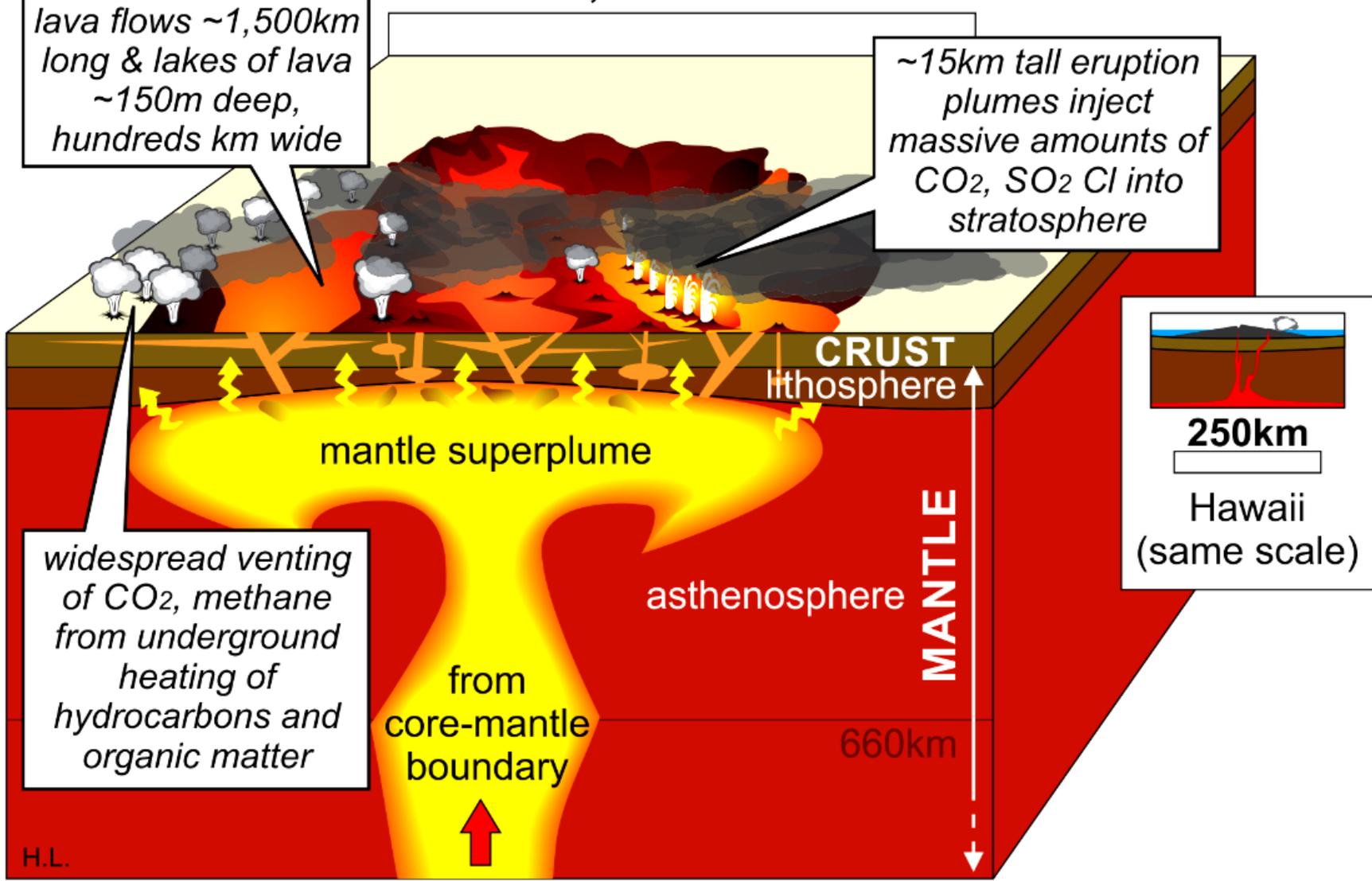
Afectación de rocas con componentes volátiles (sills) que se incorporan a la atmósfera: emisión de gases



1,000km +

lava flows ~1,500km long & lakes of lava ~150m deep, hundreds km wide

~15km tall eruption plumes inject massive amounts of CO₂, SO₂ Cl into stratosphere



250km
Hawaii
(same scale)

widespread venting of CO₂, methane from underground heating of hydrocarbons and organic matter

mantle superplume

CRUST
lithosphere

asthenosphere

MANTLE

from core-mantle boundary

660km

H.L.

EFFECTOS DE VULCANISMO

ALTERACIONES EN ATMÓSFERA AFECTA OCÉANOS Y AMBIENTES TERRESTRES

Calentamiento global: >CO₂, Metano

Enfriamiento global: >SO₂

Océanos: calentamiento letal en agua somera y anoxia en fondos, acidificación

SO₂ atmosférico genera lluvia ácida

Continentes:

lluvia ácida elimina vegetación, reduce área habitable y favorece la erosión con incorporación de materiales al océano incrementando alteraciones

IMPACTOS

Identificados unos 175 cráteres

Solamente 1 (KT) es aceptable con vínculo temporal con EM

EFFECTOS: tsunamis, deformación, terremotos, incendios

Similar a vulcanismo: calentamiento, enfriamiento, acidificación, destrucción de ozono

**Procesos: generación de polvo: enfriamiento
calentamiento por emisión de gases CO₂ y
SO₂ acidificación, enfriamiento**

PERMO-TRIÁSICA PM

CRETÁCICO-PALEÓGENO KT (K/P)

EXTINCIÓN PERMO-TRIÁSICA

Ocurrió hace casi 252 millones de años (límite Pérmico con Triásico)

En un intervalo de 60 mil años aprox.

Incremento estimado de Temperatura: 8 a 10 °C.

81 a 94 % de especies marinas en dos pulsos

70 % de especies vertebrados terrestres

Extinción de flora terrestre en alto porcentaje

Sobrevivencia de 4 a 20 % de especies

Ambientes continentales y transicionales:

Inicio antes de crisis marina (300 mil años antes aprox.)

1 MA de duración?

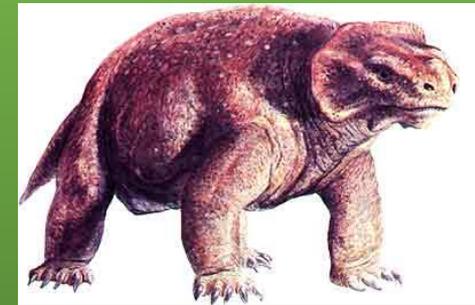
Flora muy afectada

Intervalo prolongado sin carbón por ausencia de floresta

Plantas: *Glossopteris*, *Cordaites*

Tetrápodos

Insectos



Ambientes marinos:

Gran selectividad.

Dos pulsos de extinción

Ecosistemas se destruyen en el segundo pulso en algunos sitios

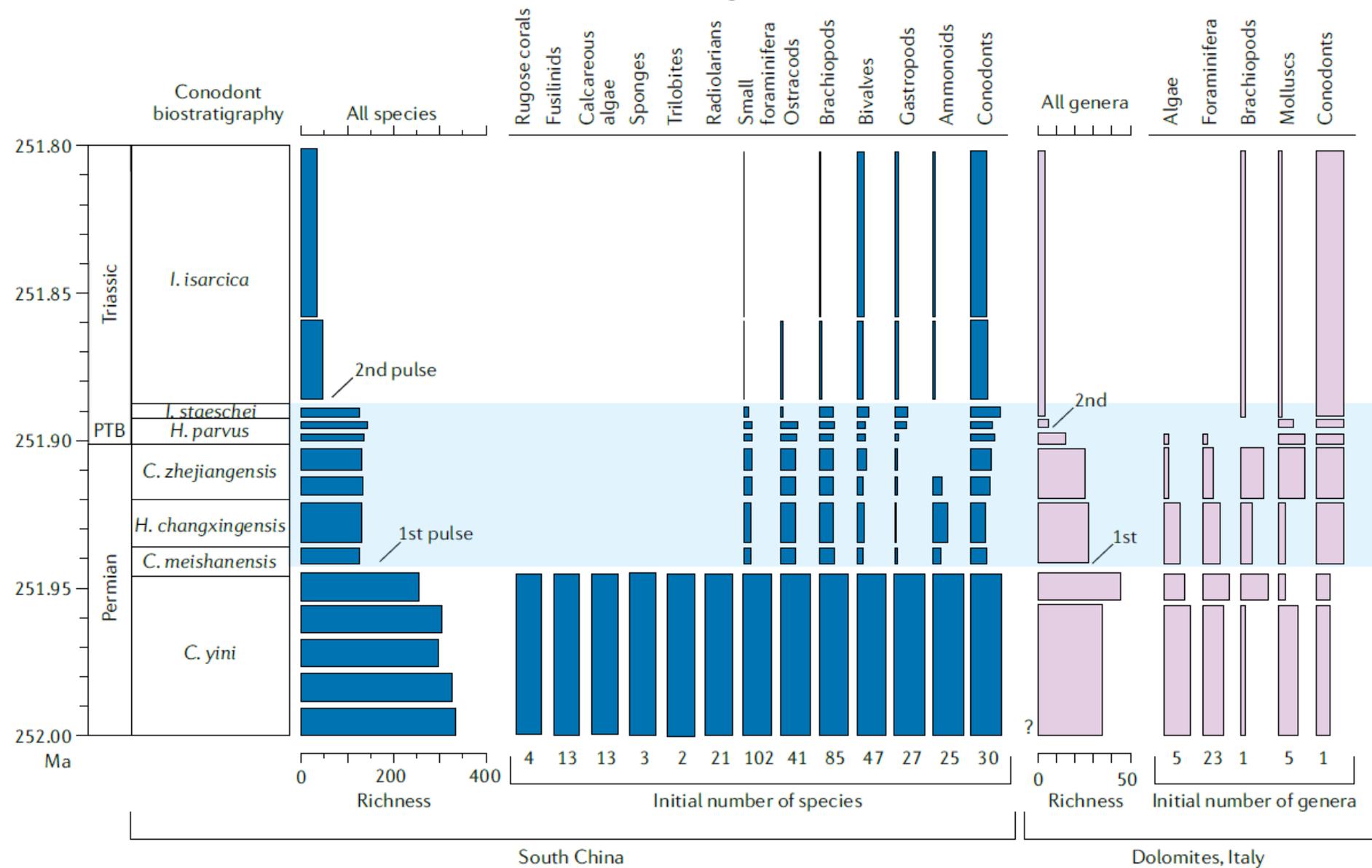
Arrecifes: intervalo prolongado sin arrecifes
corales Rugosa y Tabulata.

Trilobites,
Braquiópodos reducen diversidad
Peces ganoides

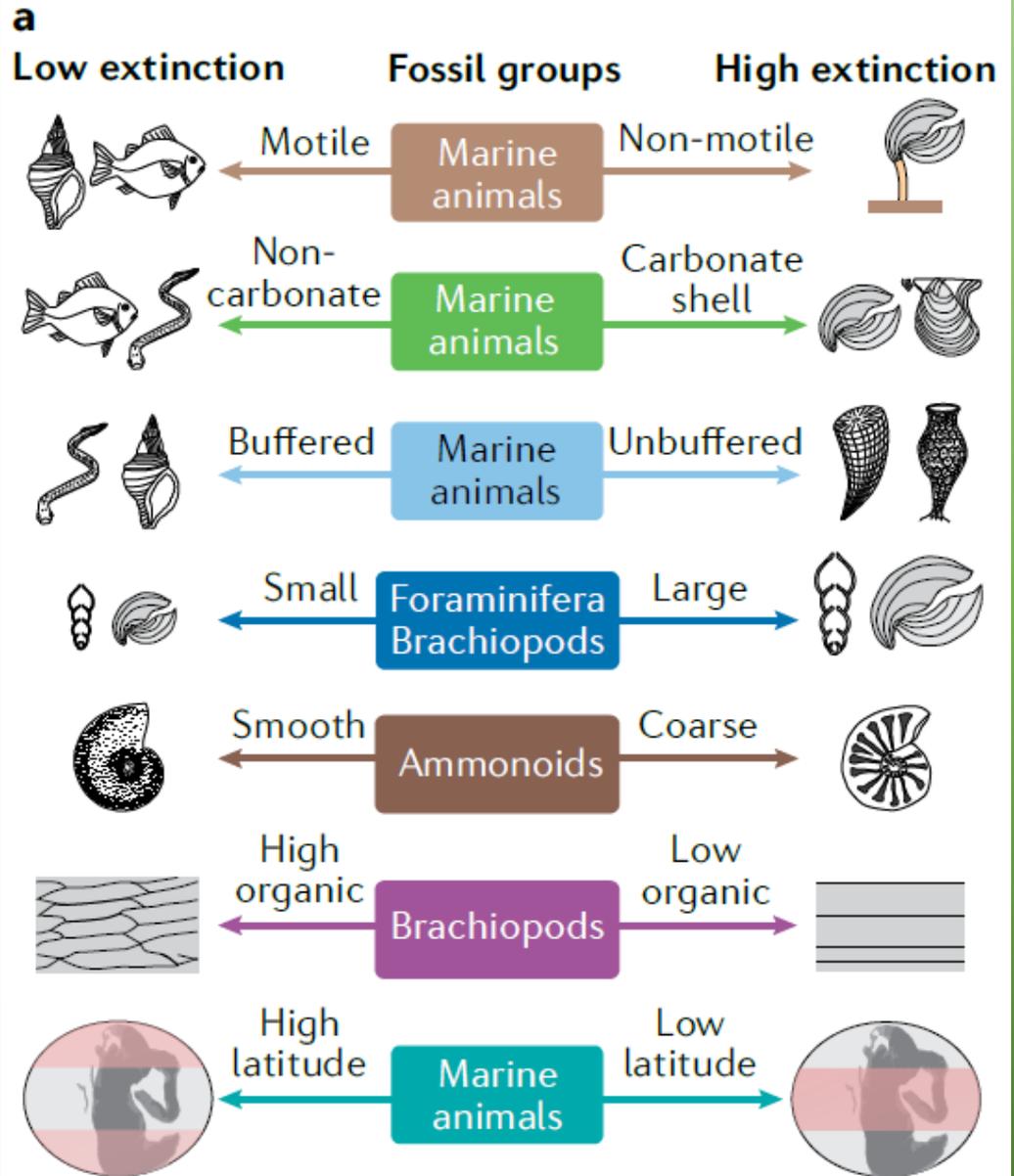


EXTINCION MARINA EN DOS PULSOS

a



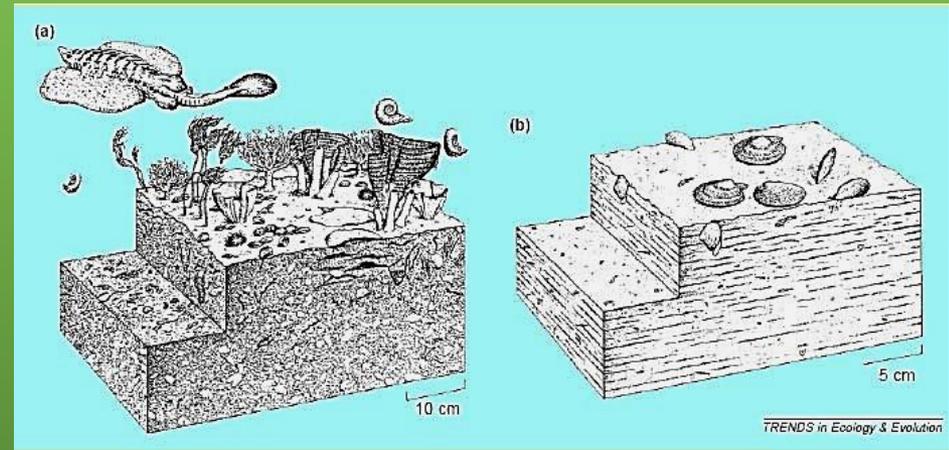
MUCHA SELECTIVIDAD



Período de recuperación extenso: entre 1 a 5 millones de años

**especies pequeñas marinas, cosmopolitas, oportunistas.
Efecto “Lilliput”**

Polen modificado



Especies oportunistas
(Bond & Ya dong Sun, 2021)

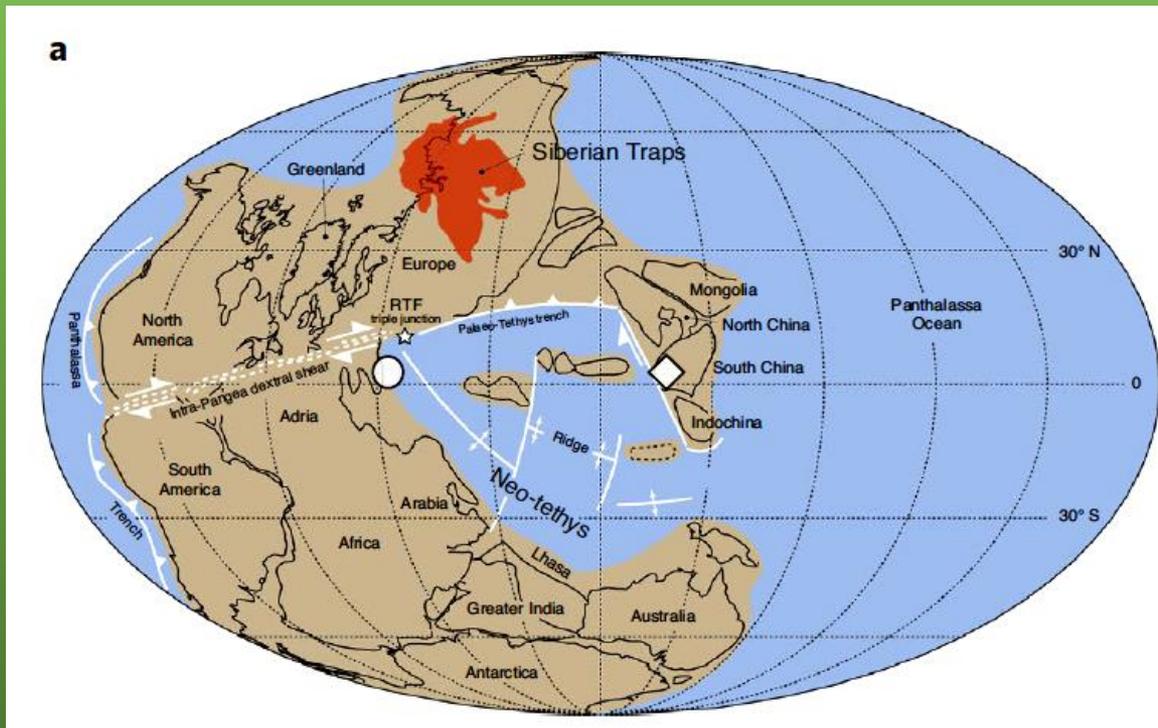
CAUSA INICIAL:

Erupciones de lava (traps siberianos) datados en ca. 251 MA
2-7 millones de km³ de lava

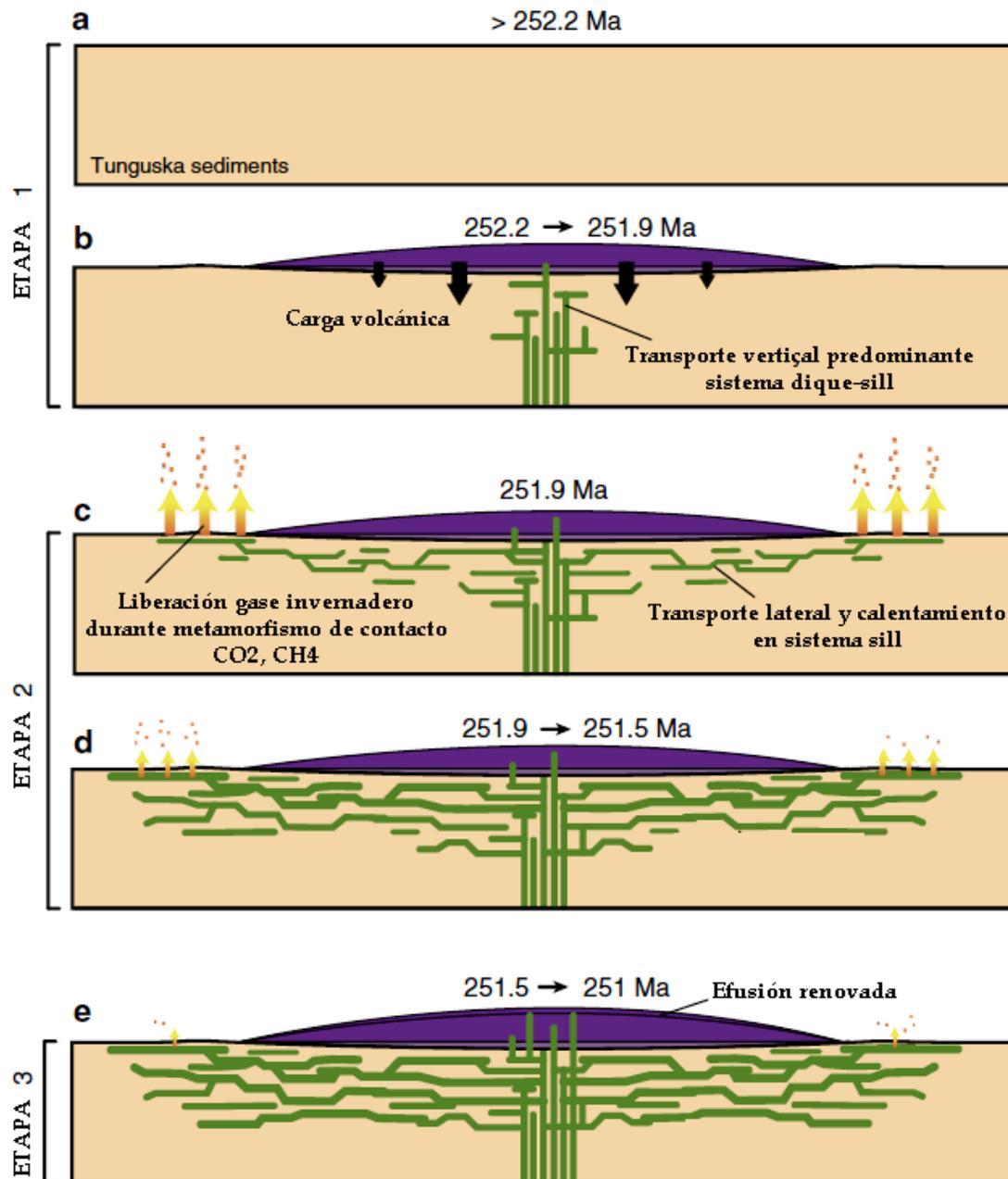
Tres fases de actividad magmática

Fase 1 extrusiva coetánea con inicio de extinción terrestre

Fase 2 intrusiva vinculada a extinción marina

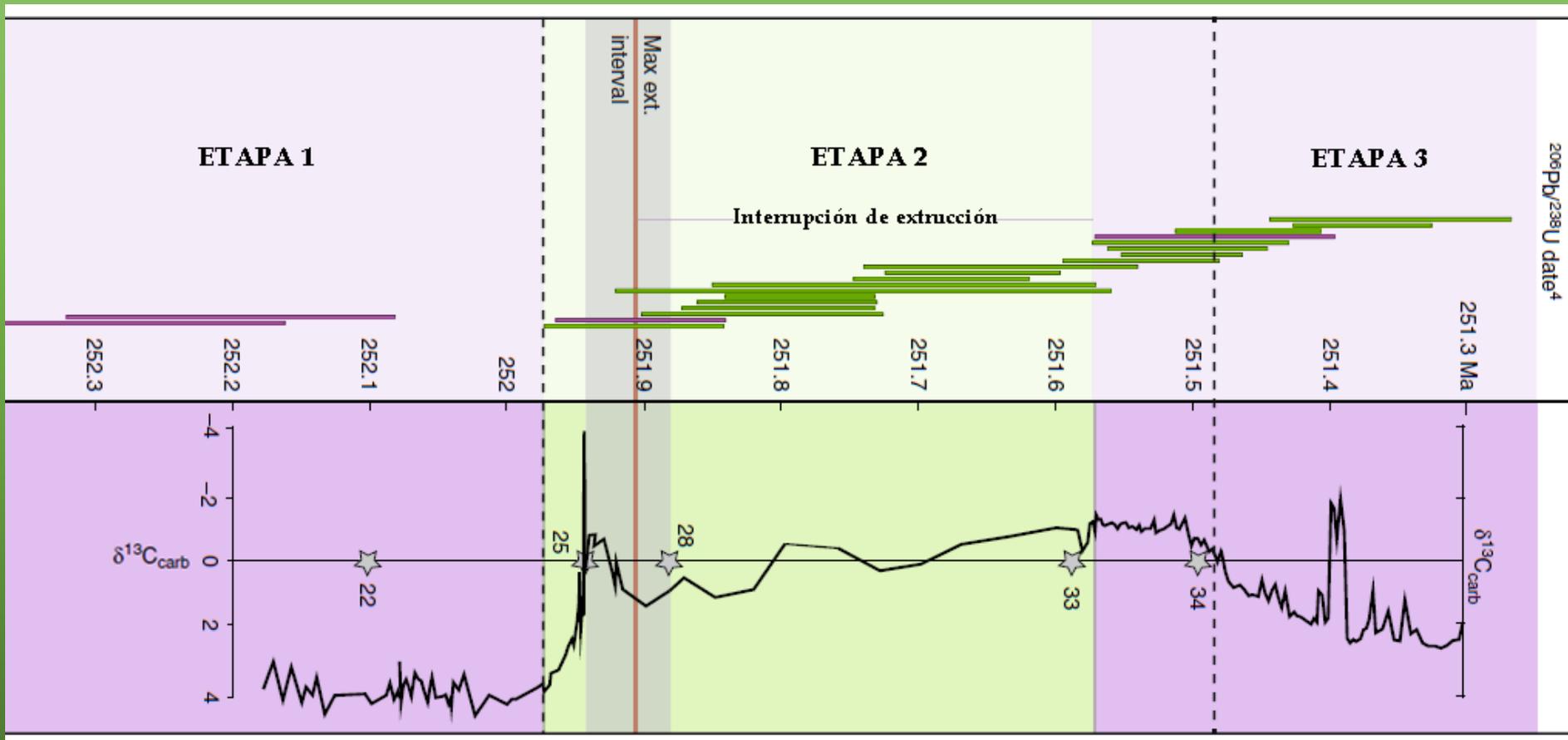
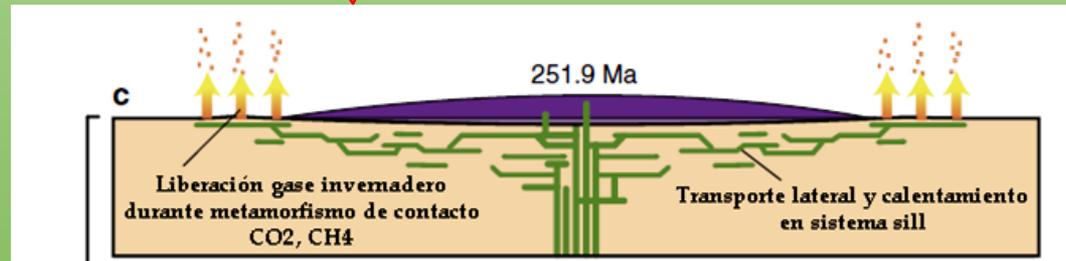


TRES ETAPAS



Burgess et al. 2017

EXTINCIÓN PERMOTRIÁSICA Y TRES ETAPAS DE VULCANISMO SIBERIANO



CRISIS MEDIOAMBIENTALES

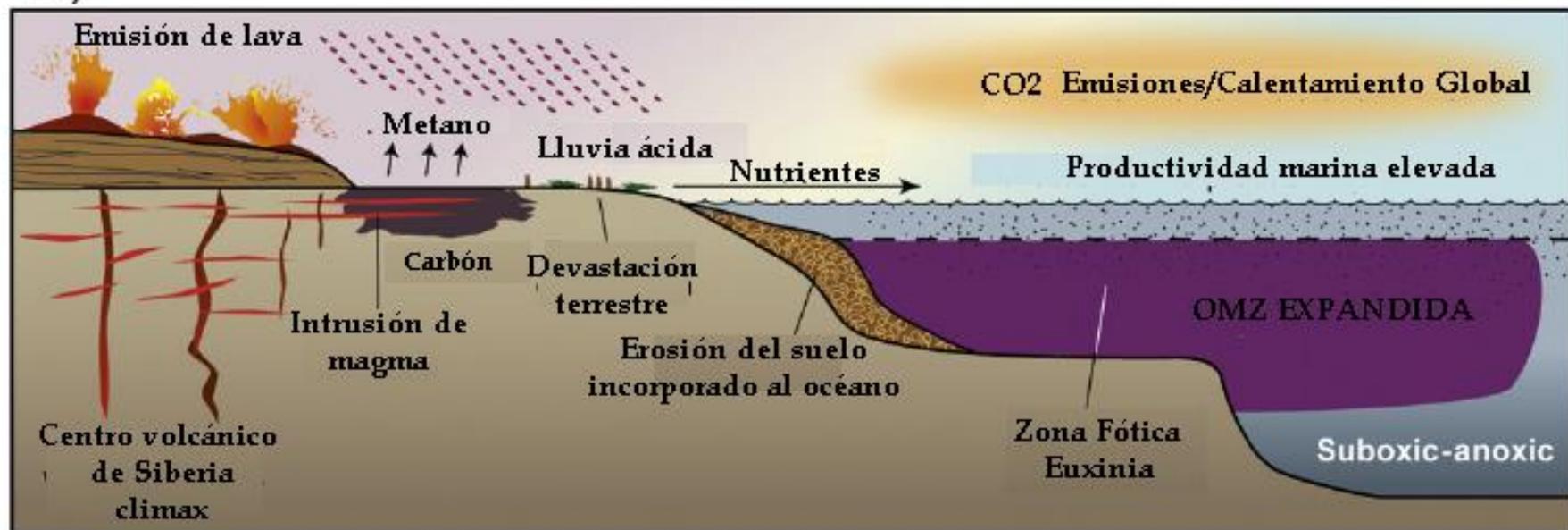
Fase 1 de vulcanismo siberiano: crisis terrestre

- .- liberación de SO₂, CO₂, CH₄...
- .- incremento de estacionalidad y temperatura
- .- incendios
- .- disminución de Ozono
- .- elevada radiación ultravioleta
- .- lluvia ácida

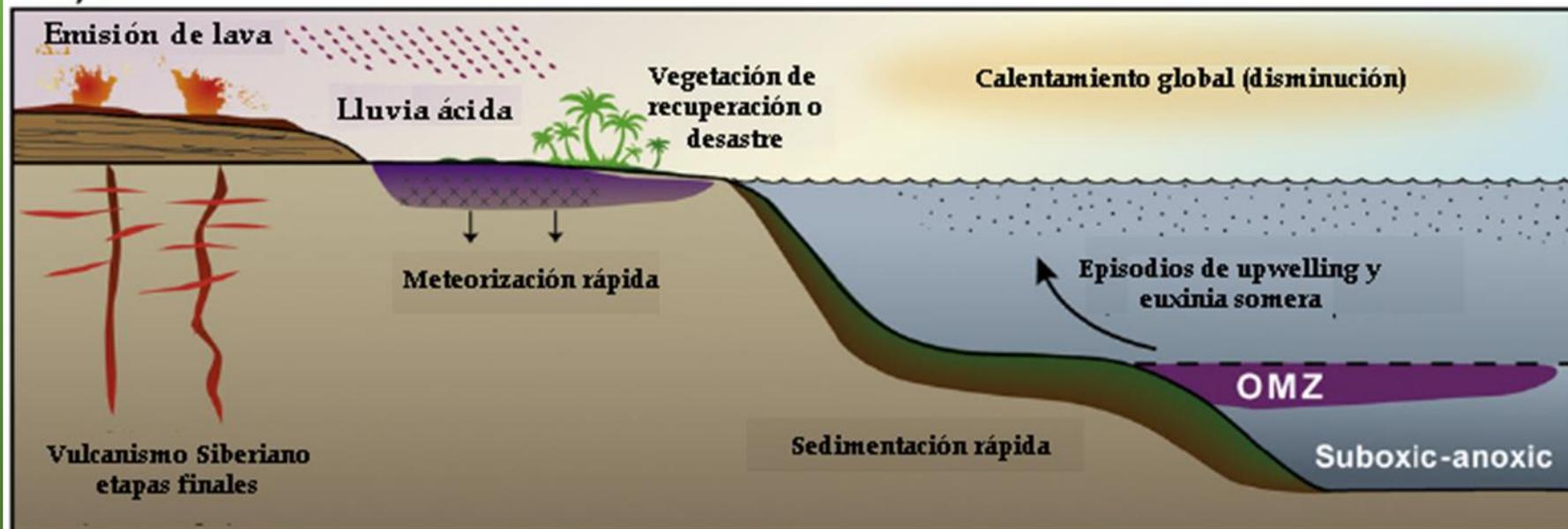
Fase 2 de vulcanismo siberiano: crisis marina

- .- liberación de CO₂, SO₂, CH₄, Hg, Cu, Cl
- .- incremento de temperatura
- .- anoxia
- .- acidificación

B) EVENTO A FINALES DEL PÉRMICO



C) TRIÁSICO TEMPRANO



EVIDENCIAS EN SEDIMENTOS:

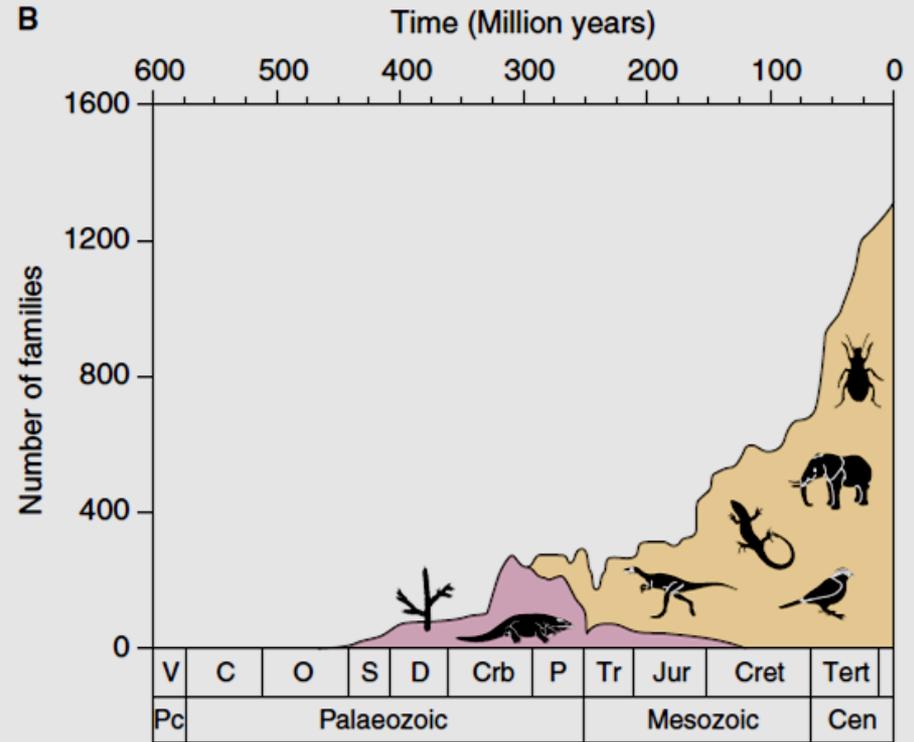
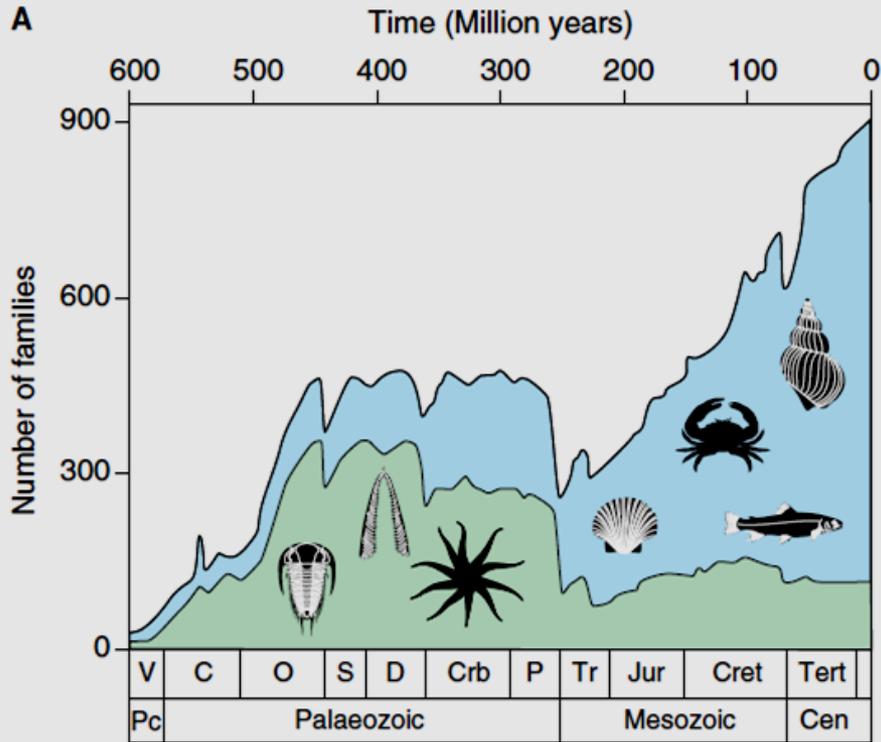
PREVIO A EXTINCIÓN: abundantes fósiles
bioturbación (ambiente oxigenado)

POSTERIOR A EXTINCIÓN: sedimentos oscuros
pirita (falta de oxígeno)
sin bioturbación (sin cavadores)
fósiles muy chicos y raros

EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS:

Excursión negativa del C13 y aumento del C12
Disminución de O18 (por incremento de temp.)
Se estima CO₂ se incrementó seis veces.
Incremento del Hg

EFFECTO DE LA EXTINCION PERMOTRIÁSICA SURGIMIENTO DE LAS BIOTAS MODERNAS



Desarrollo de:

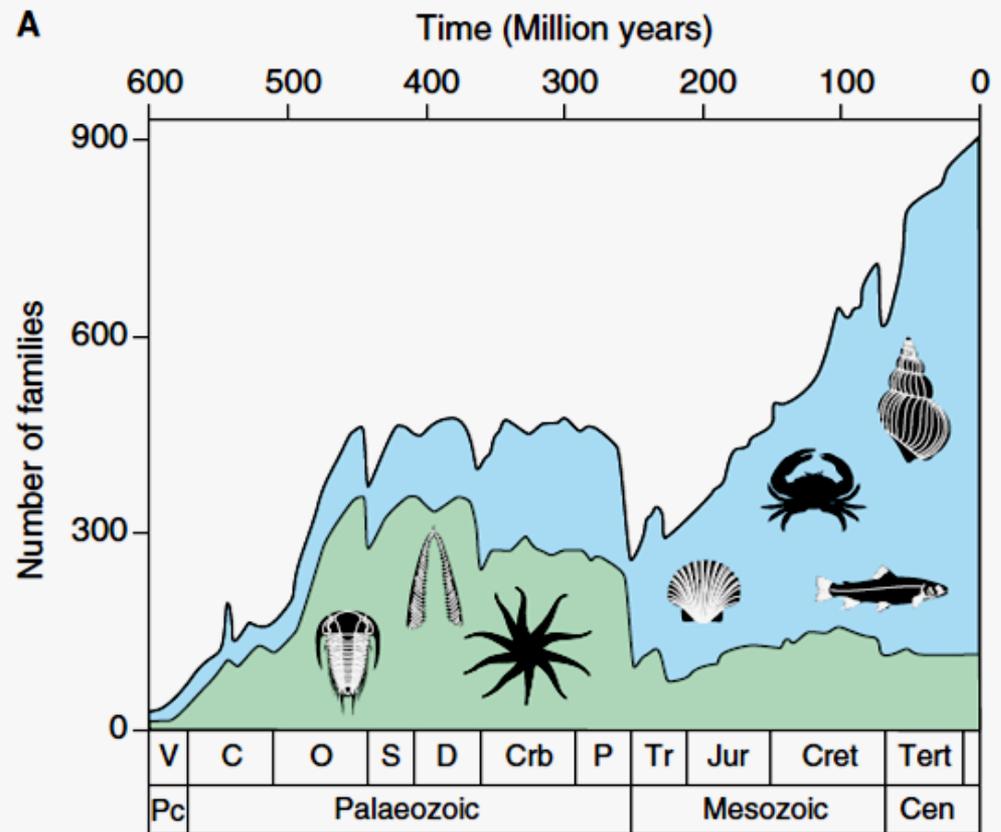
Bivalvos

Gasterópodos

Cangrejos

Peces modernos

neopterigios

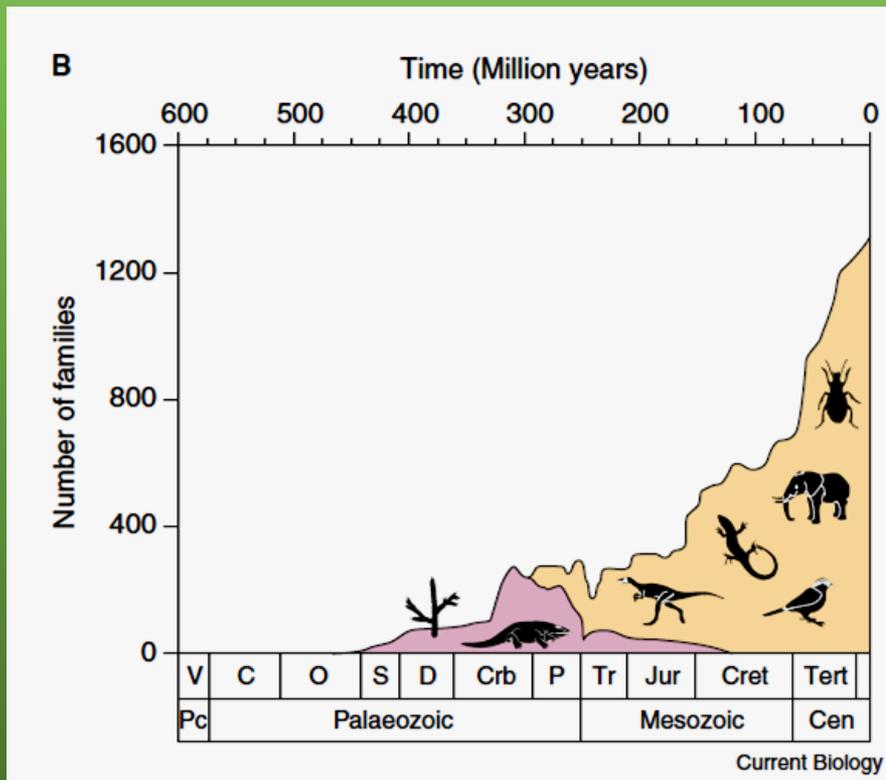
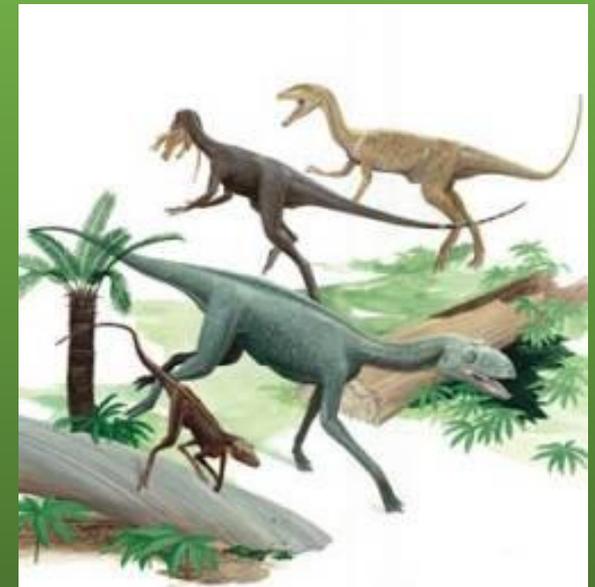
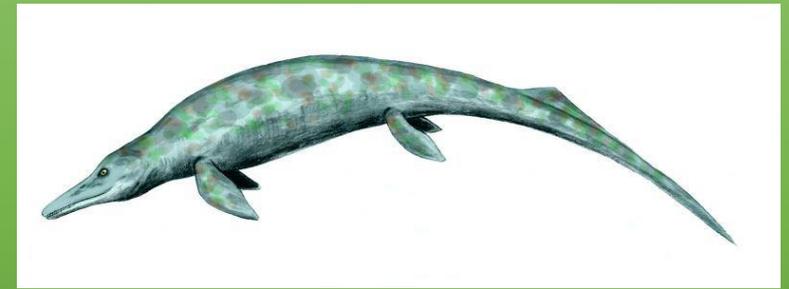
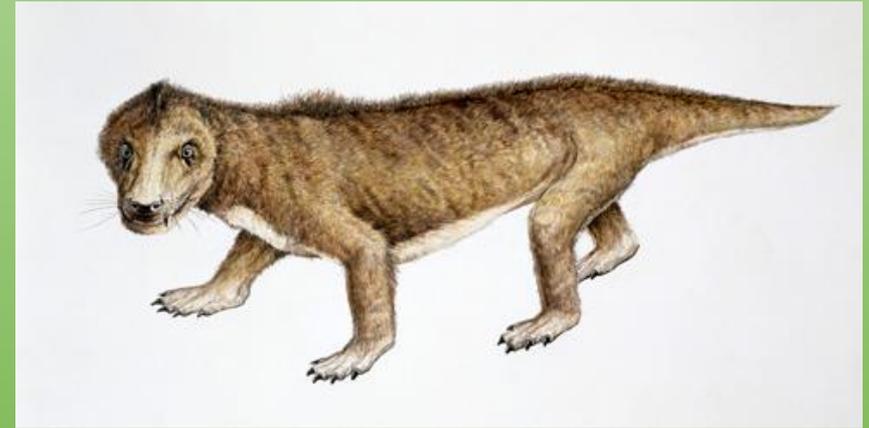


NUEVOS GRUPOS:

ARCOSAURIOS (cocodrilos, pterosaurios, dinosaurios, etc)

CYNODONTES avanzados y mamíferos

ICTIOSAURIOS Y OTROS



EXTINCIÓN CRETÁCICO/PALEÓGENO KT

OCURRIÓ HACE unos 66 MILLONES DE AÑOS: LÍMITE CRETÁCICO Y PALEÓGENO

PÉRDIDA DE 40 % DE GÉNEROS MARINOS Y 75 % DE ESPECIES

SEGUNDA EN IMPORTANCIA EN ALTERACIONES ECOLÓGICAS

GRADUAL O CATASTRÓFICA? Depende del grupo

INCREMENTO ESTIMADO DE TEMPERATURA: 4 (marino) a 8°C (terrestre)

DESCENSO DE TEMPERATURA ES POSTULADA TAMBIÉN

No se verifica anoxia

EFFECTOS BIOTICOS

Predominio de oportunistas

Efecto Lilliput: enanismo

Recuperación:

tasas diferentes según grupos y retardada por mantenimiento de Stress ambiental por fases sucesivas de vulcanismo.

Mas rápida en ambientes terrestres

Incidencia de erosión continental y eutroficación en cuerpos de agua

GRUPOS AFECTADOS:

diversos grupos de microplancton marino,

Amonites

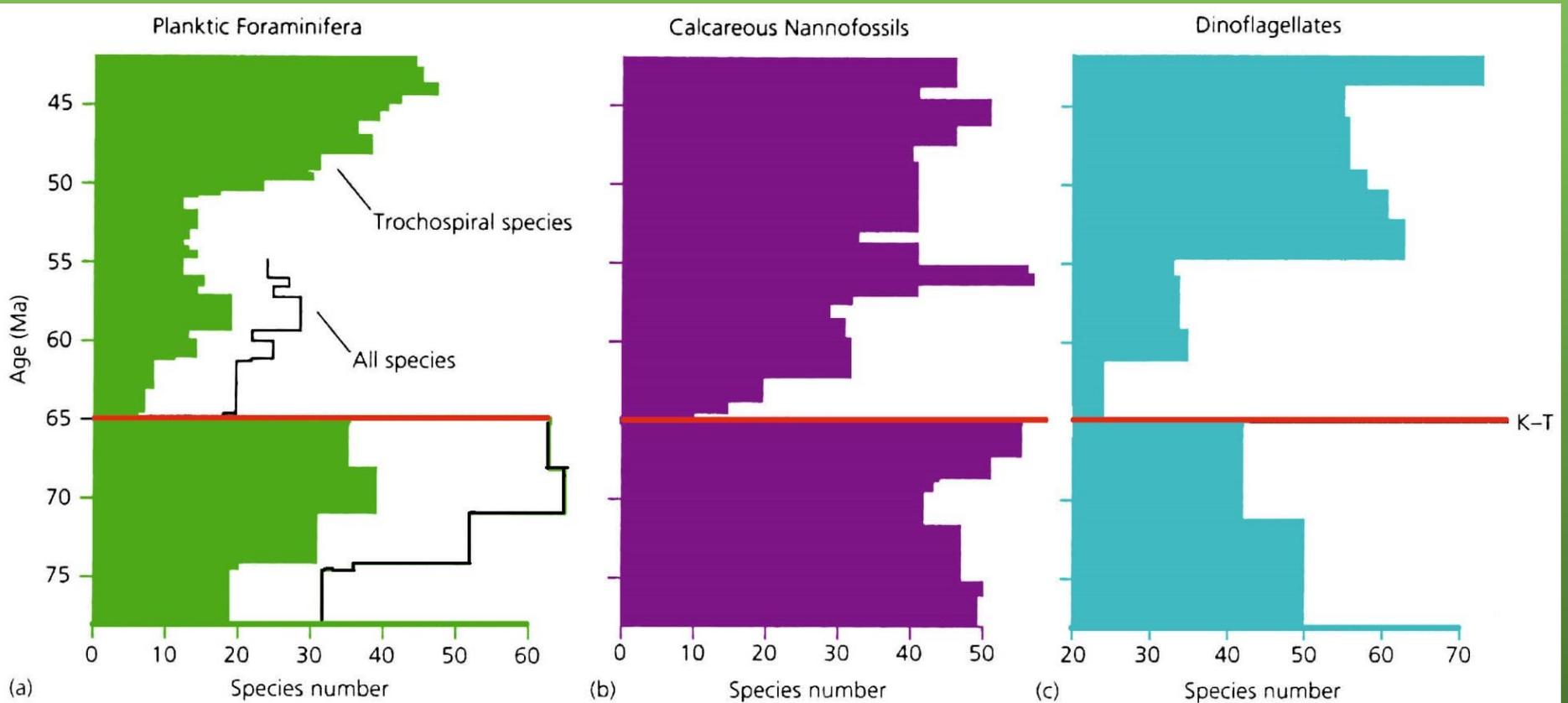
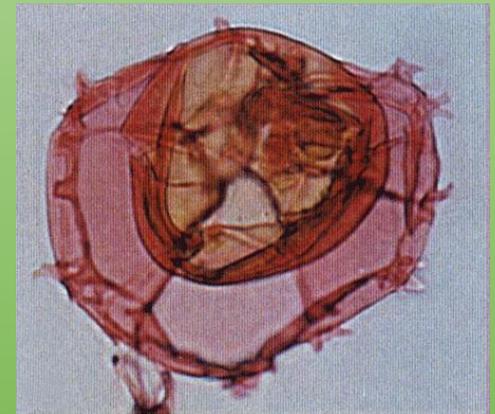
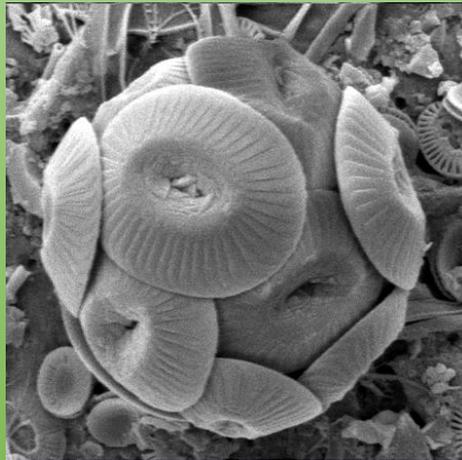
Arrecifes bivalvos rudistas

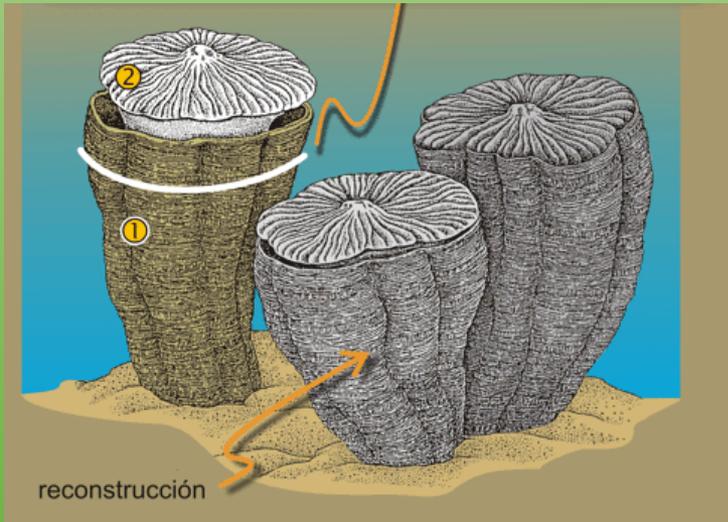
Mosasaurios

Vegetación de áreas cálidas

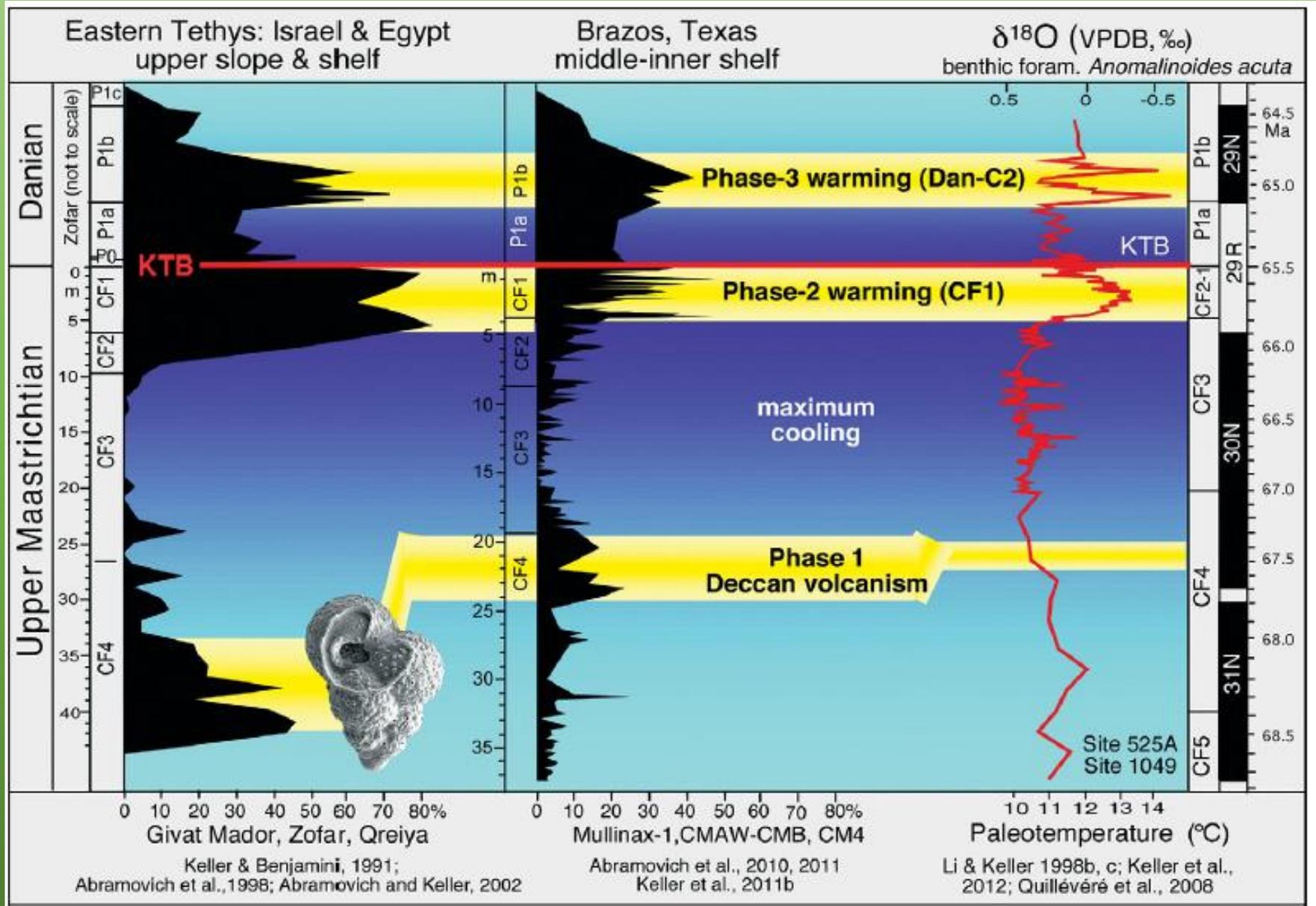
Dinosaurios no voladores (quedaban pocos linajes)

Pterosaurios

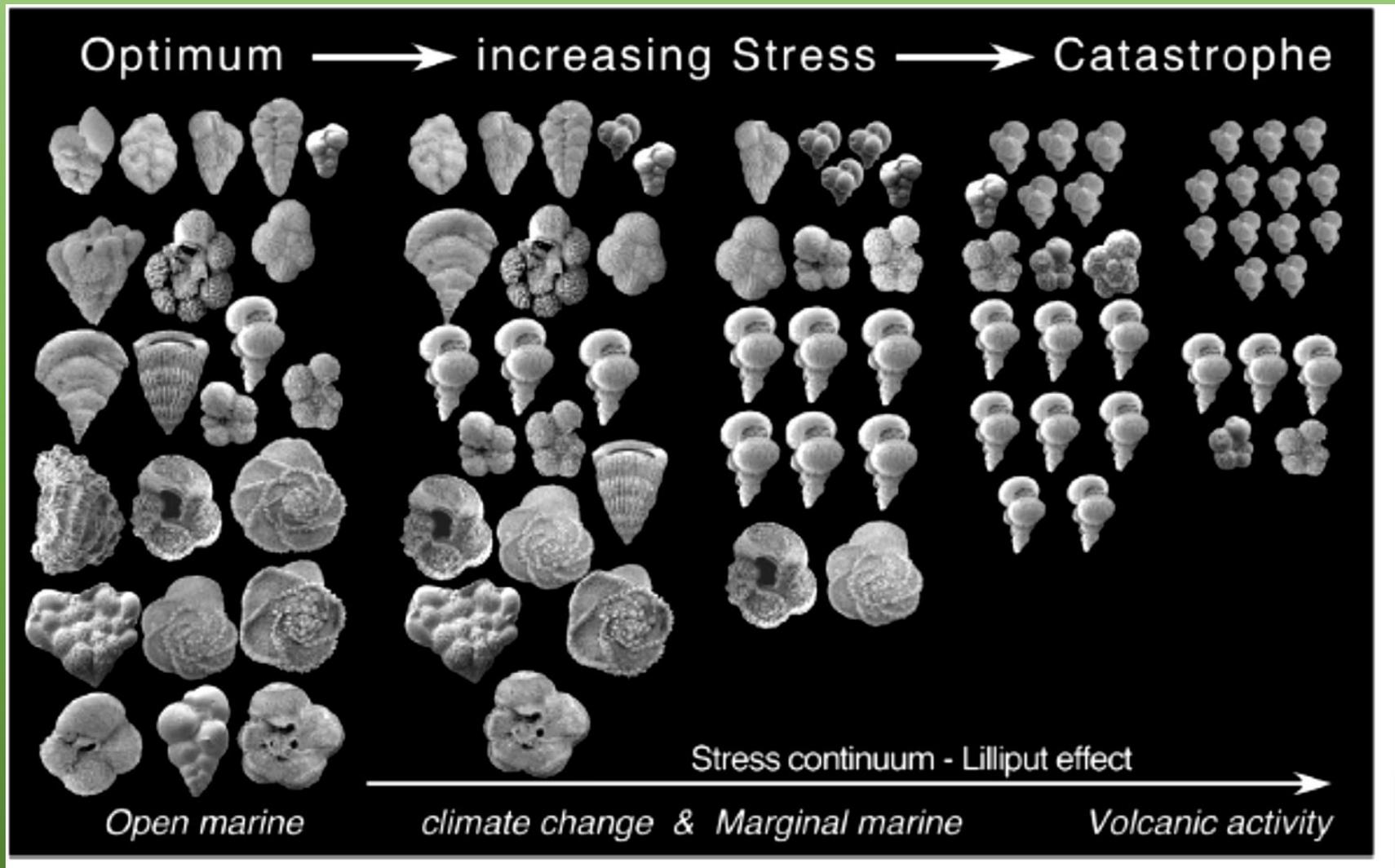




Especies oportunistas dominan



Enanismo: efecto Lilliput



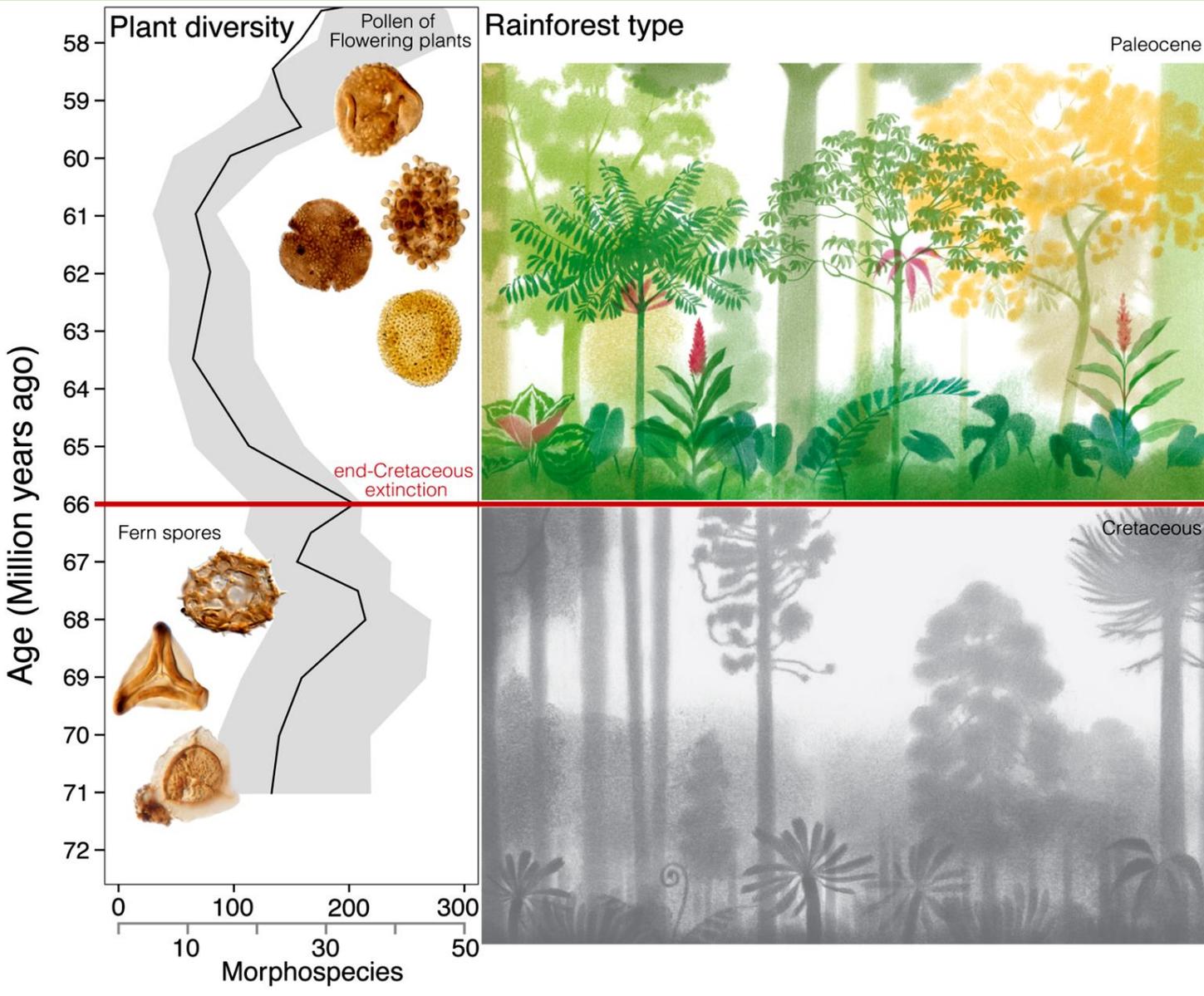
FLORESTA TROPICAL SUDAMERICA

FLORESTA CERRADA MULTIESTRATOS

Recuperación en 6 M

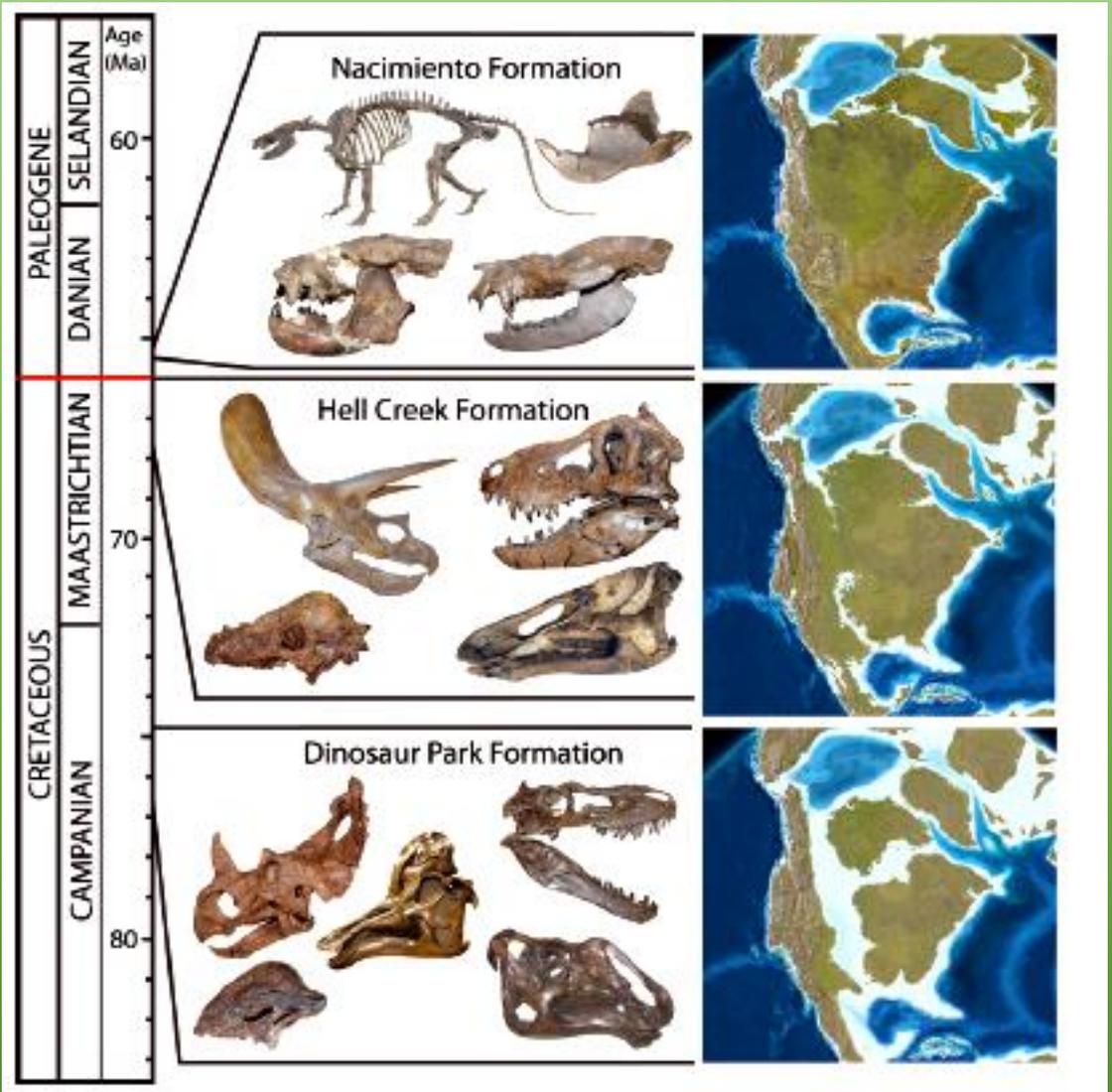
FLORESTA ABIERTA

Carvalho et al. 2021



Dinosaurios no voladores
En NA en Cretácico y
aparición de
Mamíferos en Paleógeno

Declinación en los últimos 200
mil años



GRUPOS FAVORECIDOS

Mamíferos se diversifican

Dinos voladores (Aves)

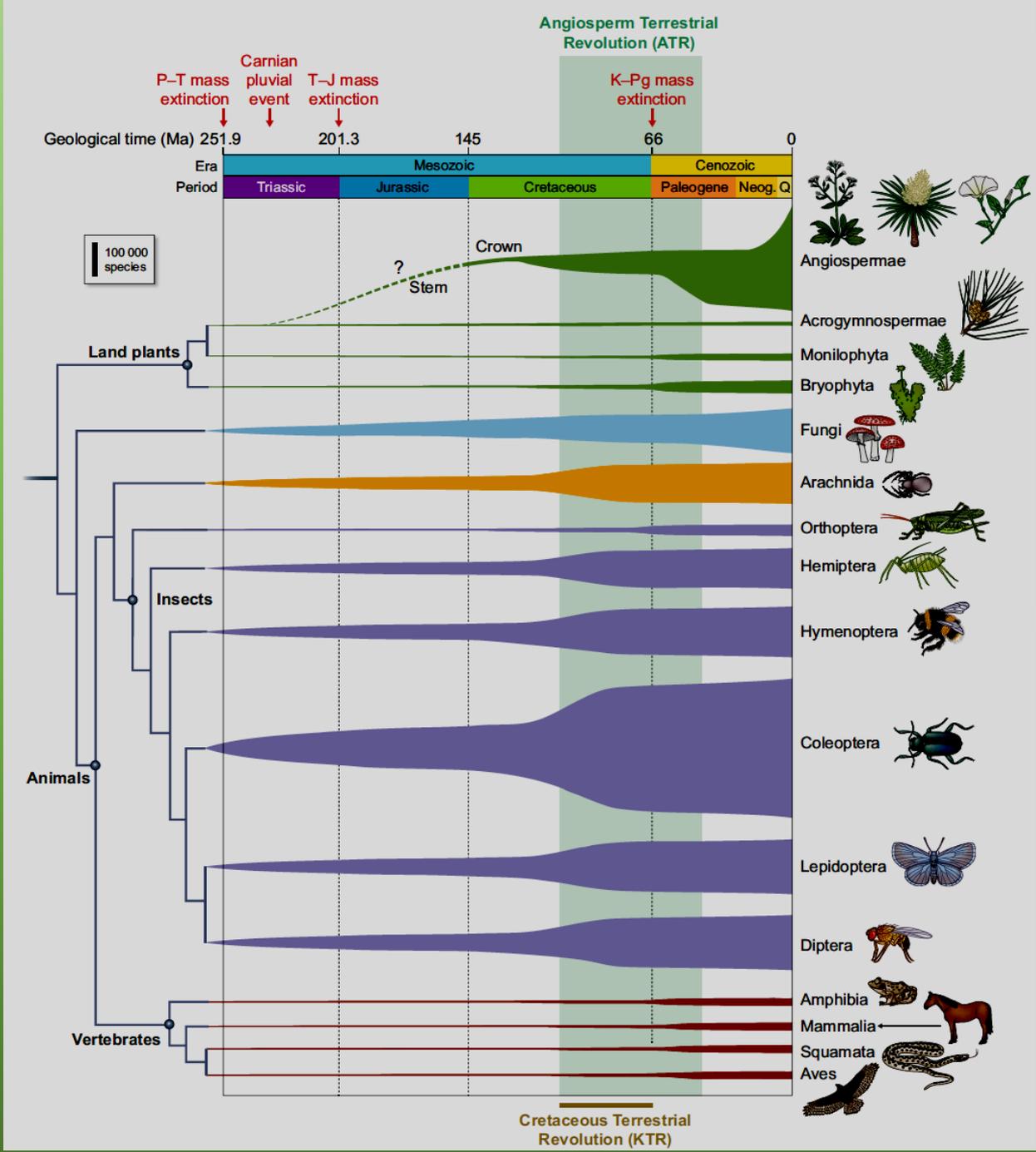
Inicialmente helechos, a posteriori fanerógamas

Peces de aletas con radios

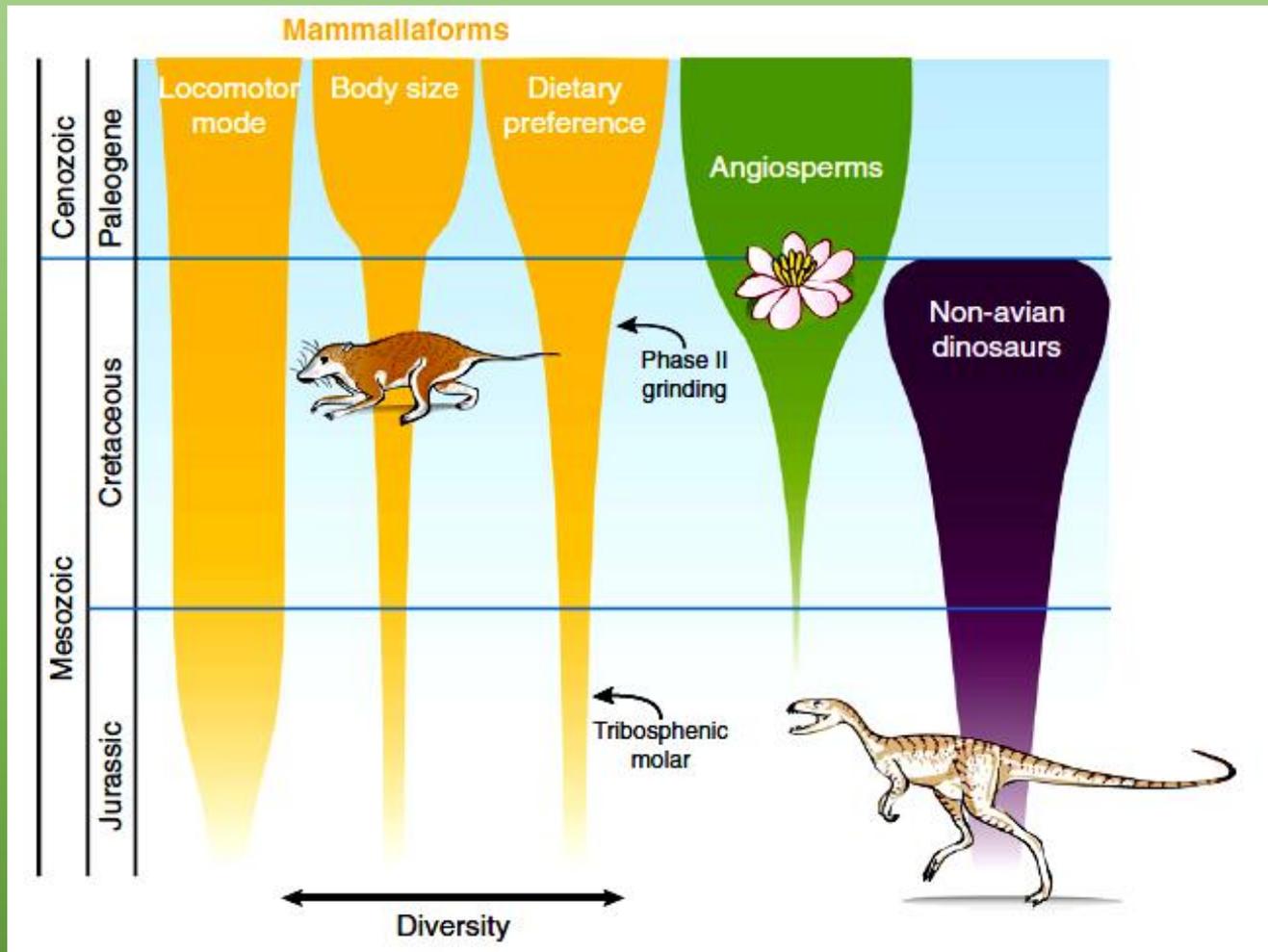
Revolución terrestre de angiospermas.

Diversificación plantas con Flores impulsó cambios Macroecológicos.

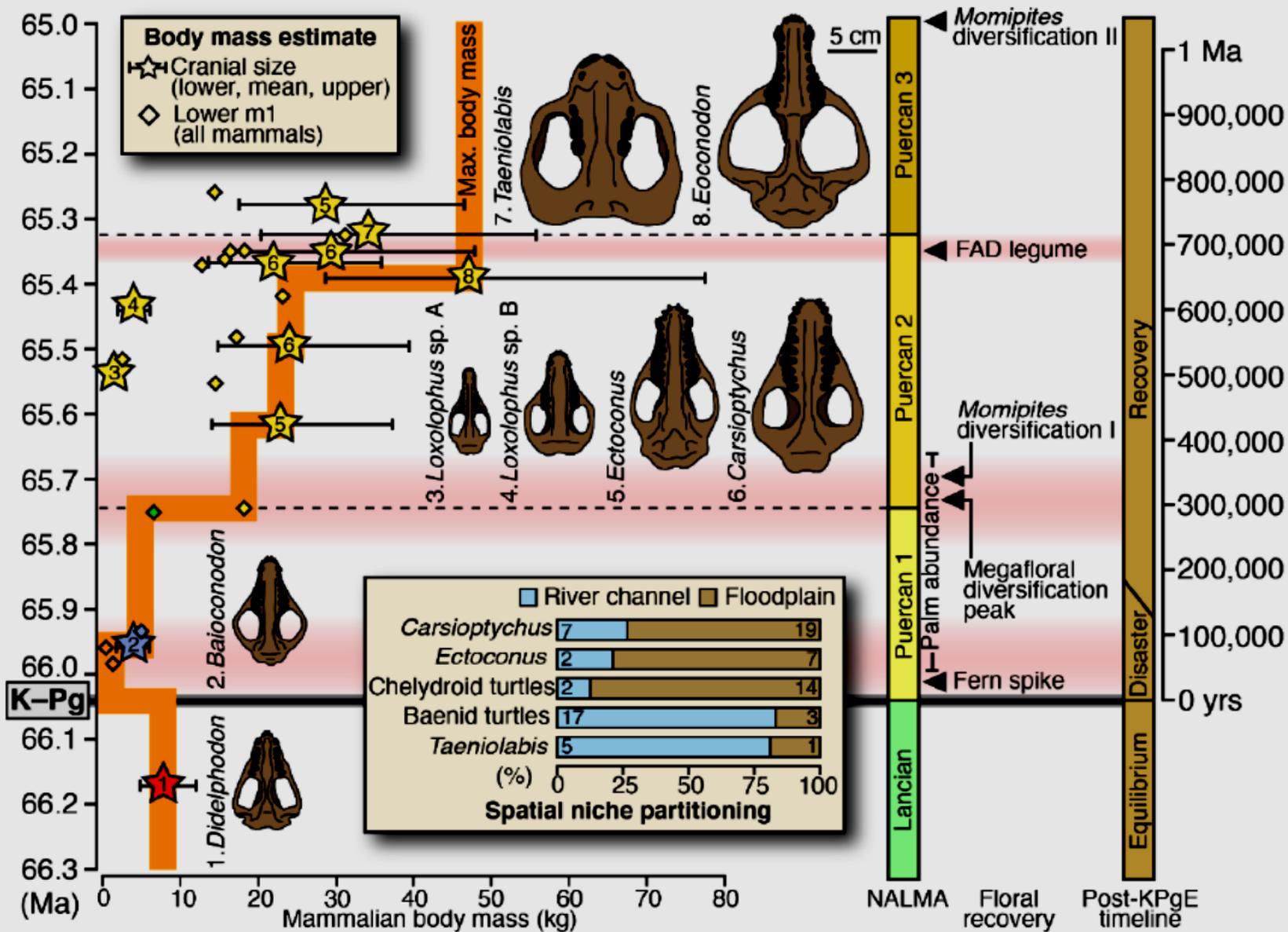
Cretácico tardío-Paleogeno



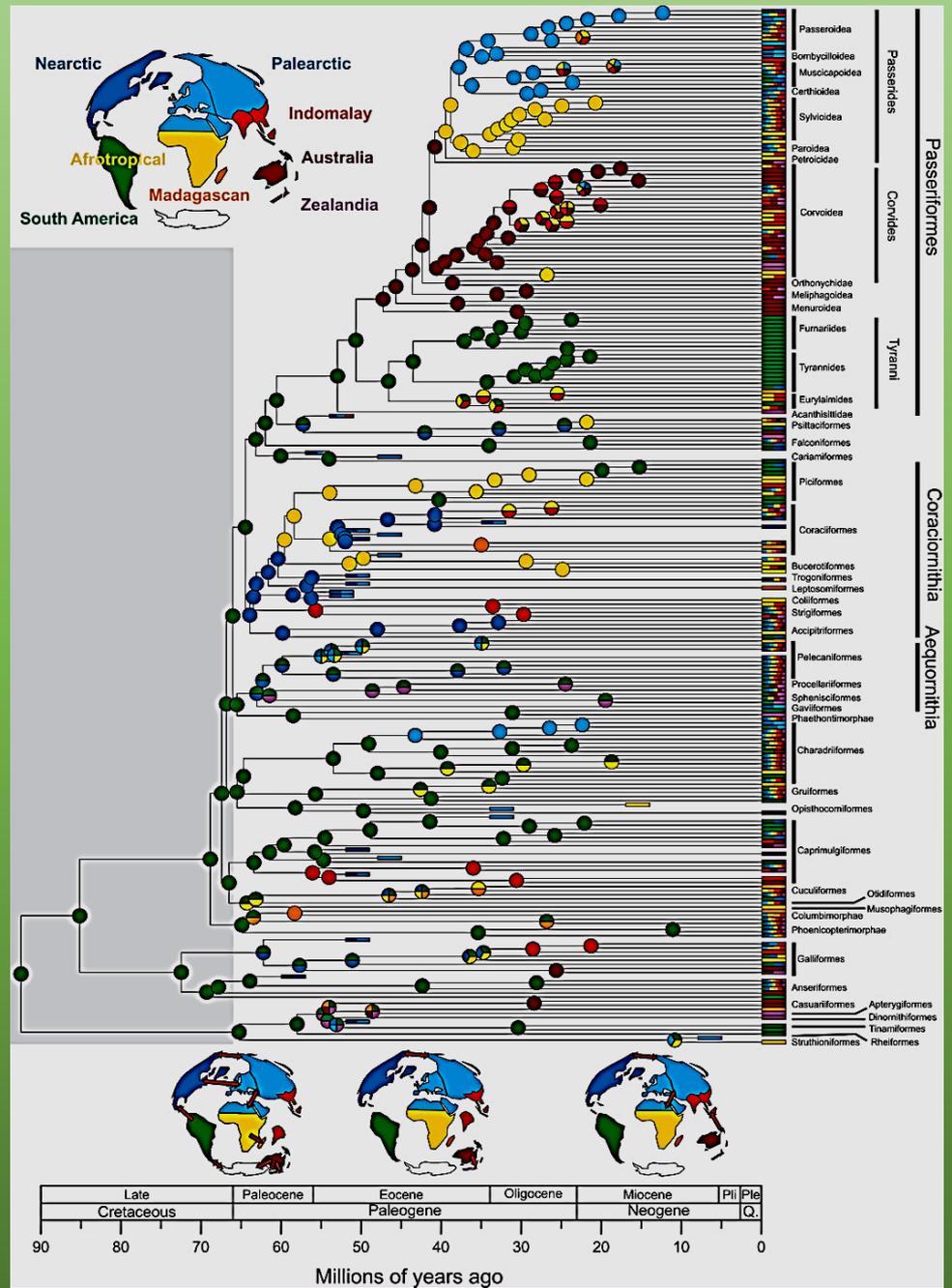
Benton et al. 2021



En USA entre el último registro de dinosaurio no aviano y los primeros mamíferos Cenozoicos postdinosaurios se estiman unos 200 mil años



Aves



Hipótesis de causas iniciales:

- .- Impacto de meteorito (Álvarez): edades Ar-Ar: efecto inmediato
- .- Vulcanismo “Traps de Deccan”: edades U-Pb, Ar-Ar: efecto gradual

Deccan Trap in India



Cobertura de 1.5 millones de km²

Emisión de 1.2 millones de km³ de lava

Edades K/Ar y Ar/Ar y paleomagnetismo
U-Pb

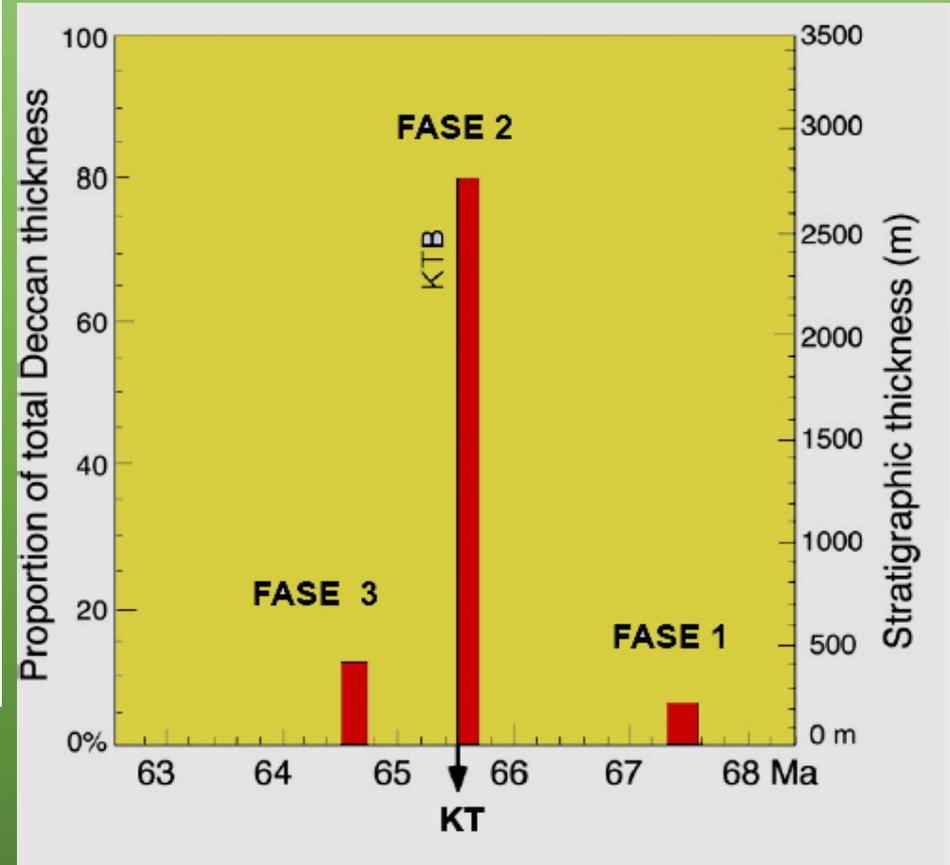
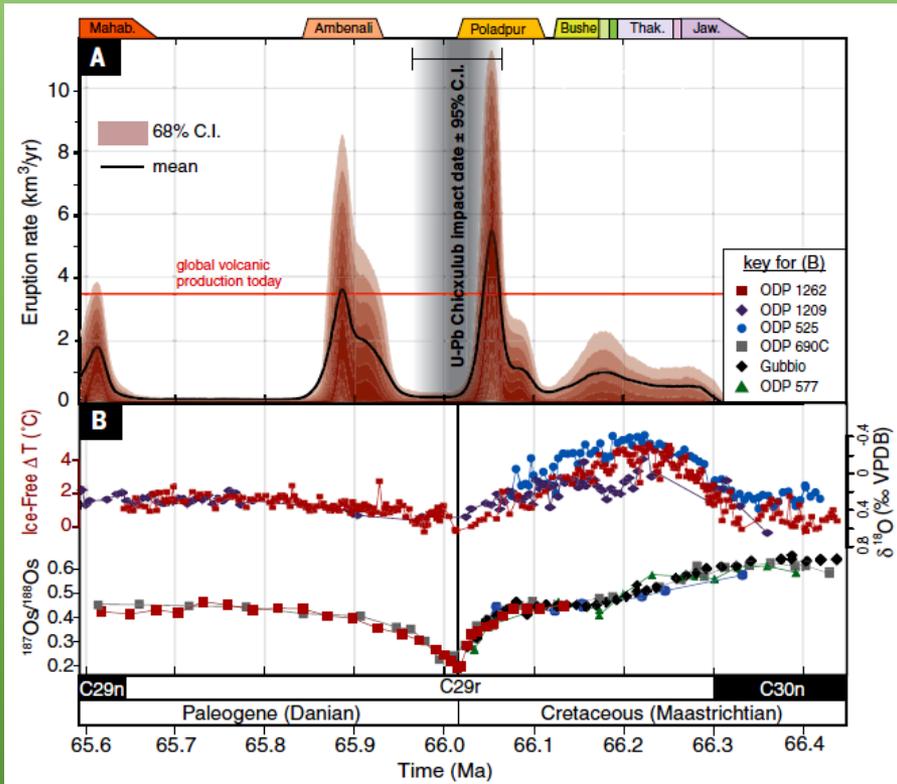
250 mil años antes del límite KT y 600 mil después.

En tres o cuatro fases y la fase 2 próxima a la extinción

Fases extendidas durante 100 mil años

Varios efectos similares a meteorito: >CO₂ y calentamiento, enfriamiento, alteración ciclo del carbono

VULCANISMO DE DECCAN SE DA EN VARIAS FASES: LA 2 PRÓXIMA A LA EXTINCIÓN



Vulcanismo:

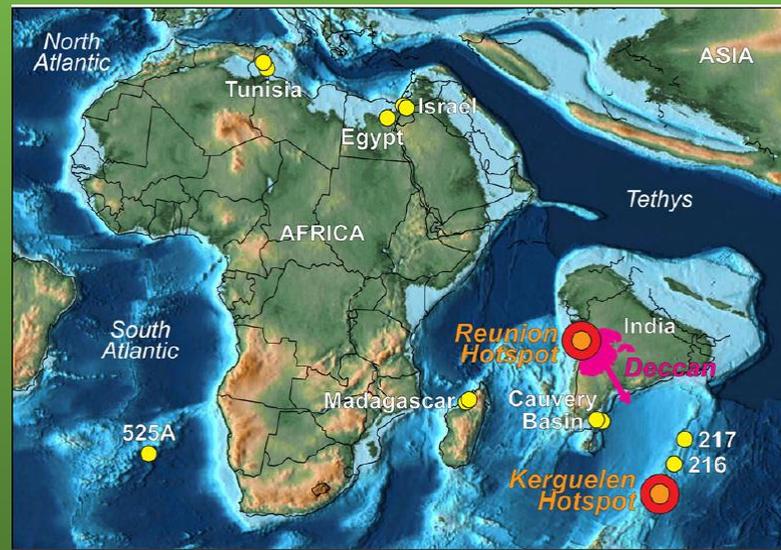
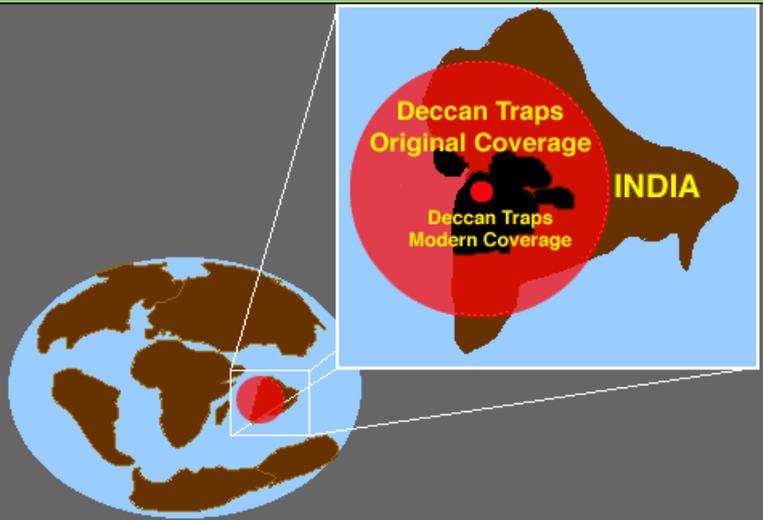
Incremento en 4°C en océanos y 8°C en superf. terrestre

Lluvia ácida y acidificación de océanos

Alteración de carbonáticos

Máxima extinción

Es un proceso previo y posterior a extinción



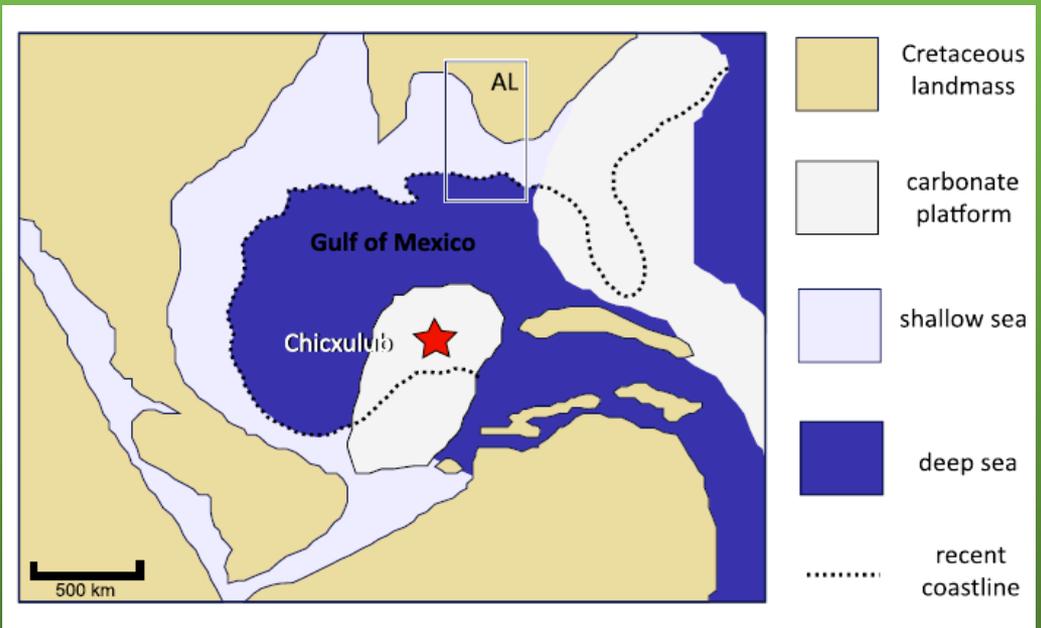
IMPACTO



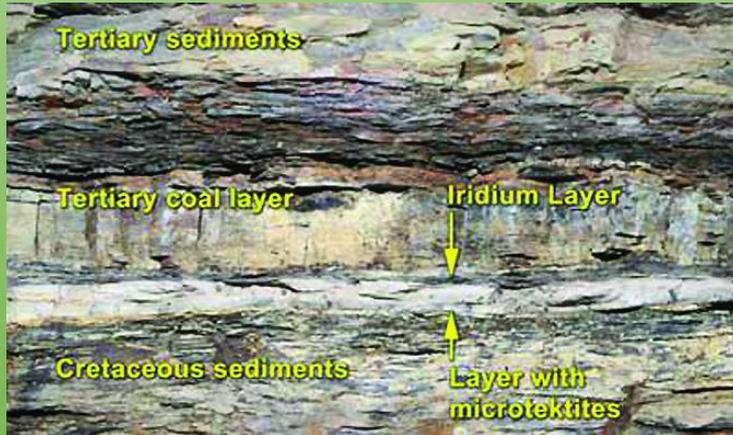
Cráter en golfo de México

asteroide de 10 km de diámetro

cráter de 200 km de diámetro



IMPACTO



incremento de iridio asociado a
disminución de polen de angiospermas,

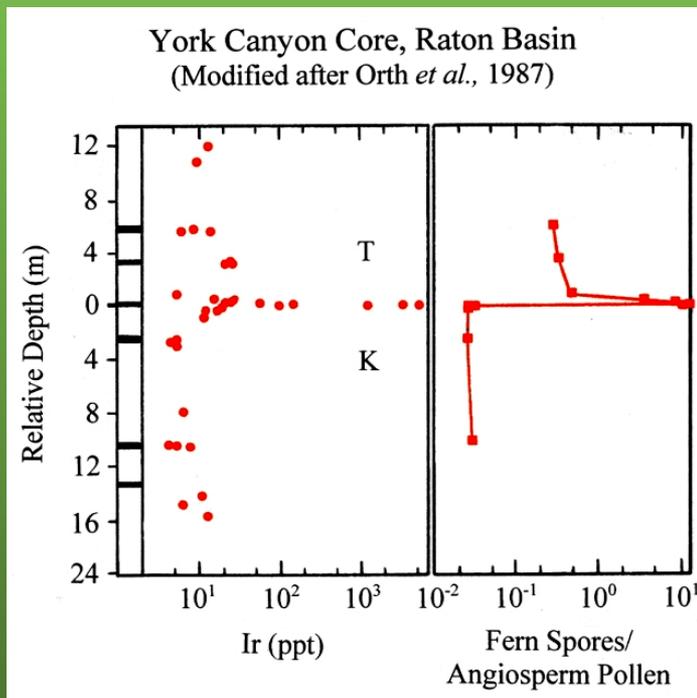
evidencias de tsunamis,
cuarzo alterado,
esférulas de vidrio

Nube de polvo altera atmosfera reduce
Fotosíntesis y
sulfatos provocan enfriamiento por
varios años

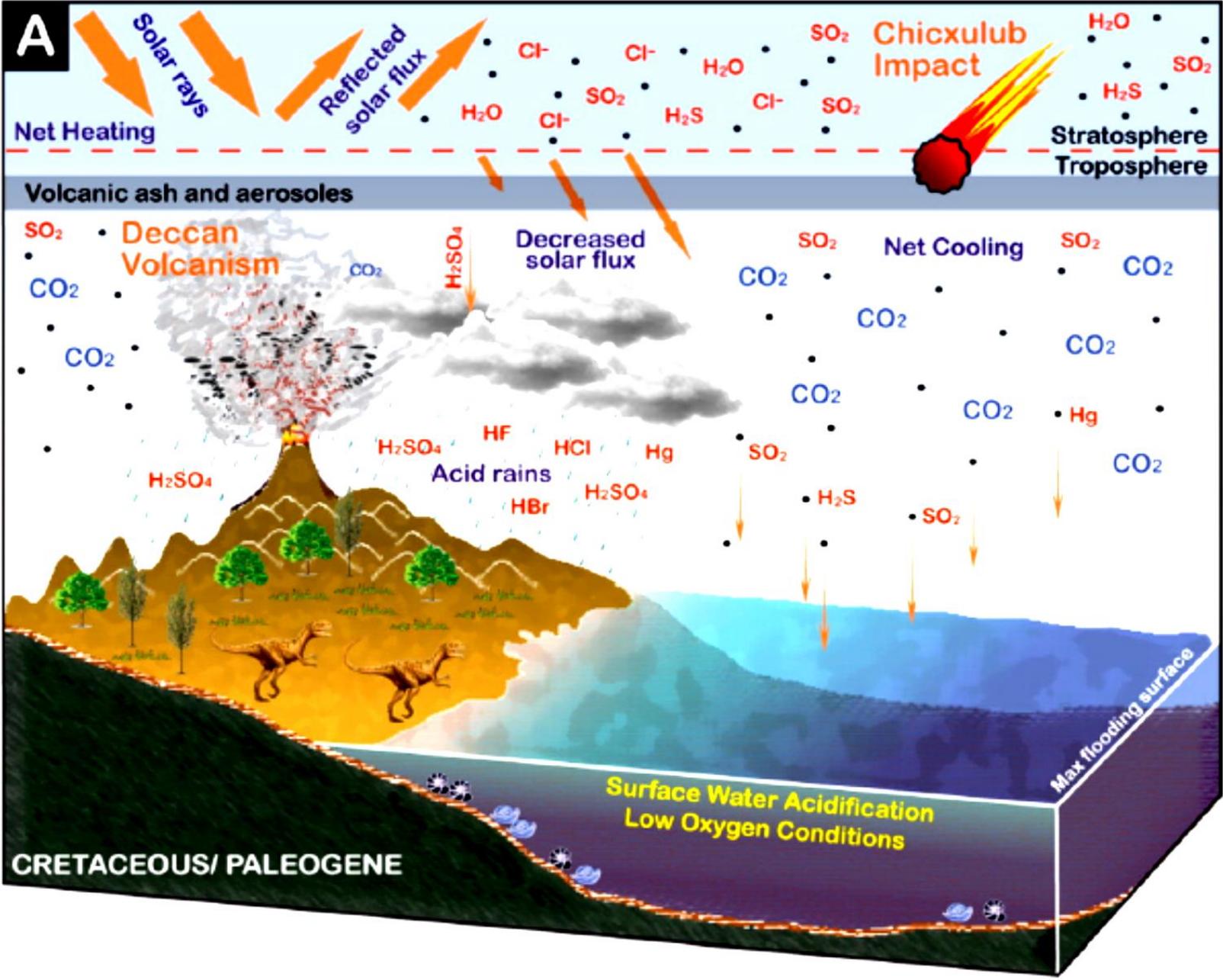
Acidificación de océanos
Incendios

Impacto ocurre durante el vulcanismo,

Edades de 66 MA Ar-Ar propuestas



A



CONSIDERACIONES FINALES

El crecimiento empírico exponencial reflejado en algunos estudios de la diversidad biológica en el Fanerozoico es afectado por procesos no esperados.

Estudios alternativos muestran variación pero con crecimiento moderado de la diversidad, en especial en el Cenozoico.

Extinciones masivas, eventos menores y otros procesos (ocupación de ecoespacios, origen de grupos) actuaron como controladores de la diversidad biológica en el pasado. Con diferentes efectos (taxonómicos, ecológicos, ambos, etc)

Intervalo de extinción y de recuperación deben considerarse juntos para entender efecto de la EM.

De las extinciones calificadas como masivas la mayor la del límite P/T

El vulcanismo asociado a grandes provincias ígneas estuvo involucrado con las extinciones masivas, excepto una (Ordovícica actualmente postulada).

El modelo de impacto se sostiene en un caso (KT) y es coincidente con un vulcanismo (Deccan), posiblemente han sido sinérgicos.

Tanto vulcanismo como impacto tienen varias similares consecuencias

El proceso implica alteración de la atmósfera, enfriamiento y calentamiento global afectando el ciclo del carbono asociado a otros procesos (anoxia, acidificación, erosión, etc.)