

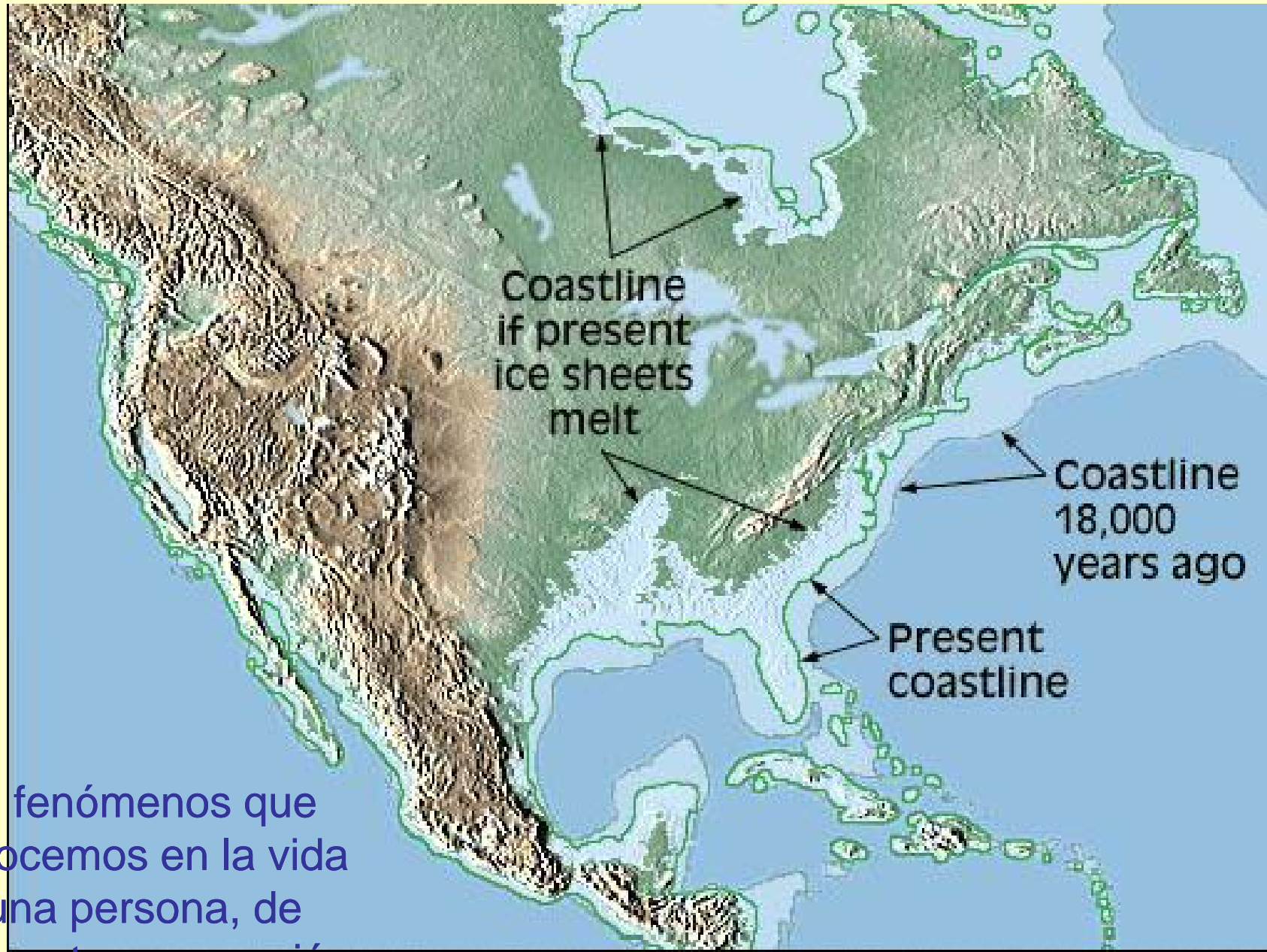
# Variaciones del nivel del mar



*Cecilia I. Caballero Miranda*

*Ciencias de la Tierra, Fac. Ciencias UNAM*

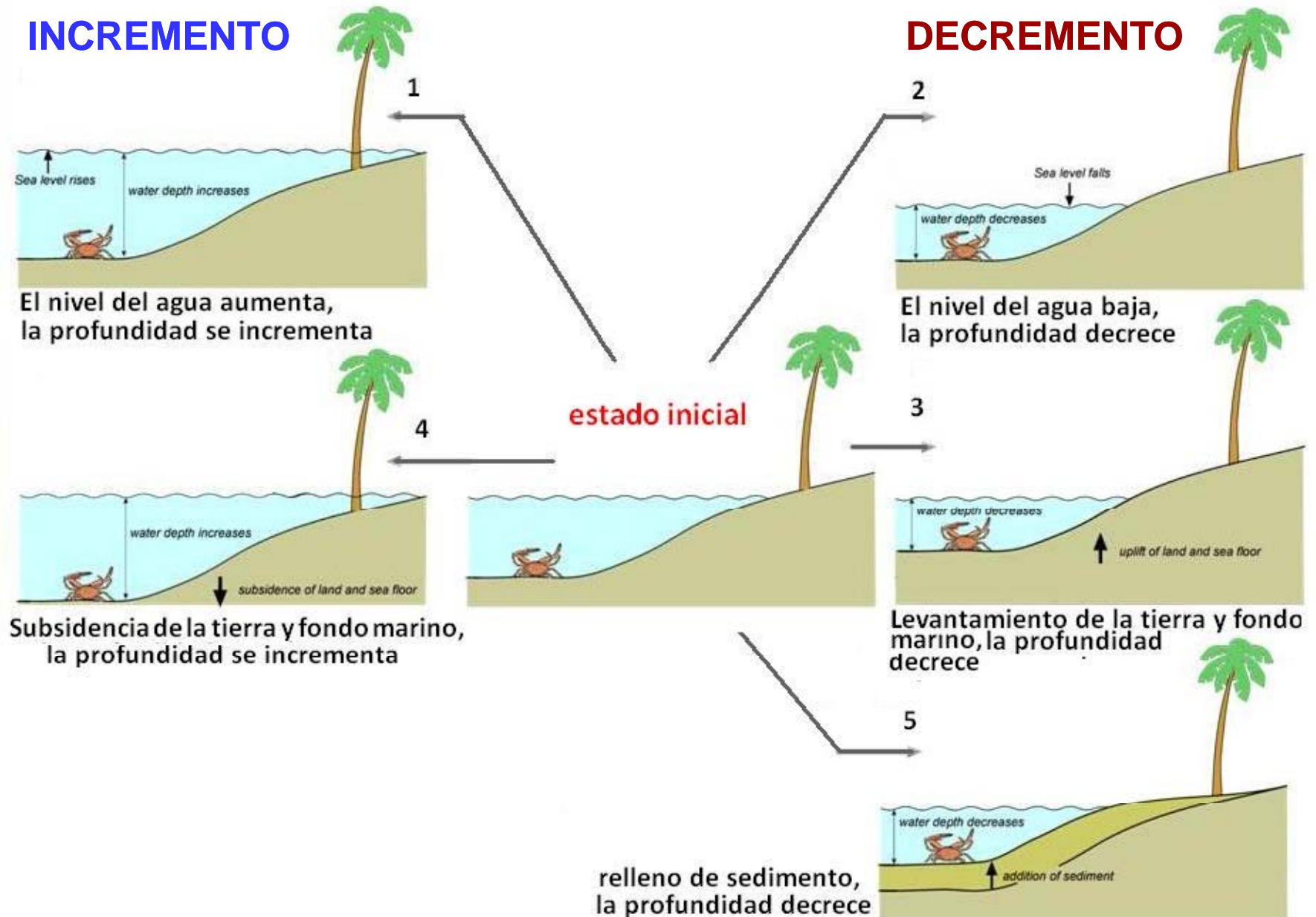
## Las variaciones del nivel del mar



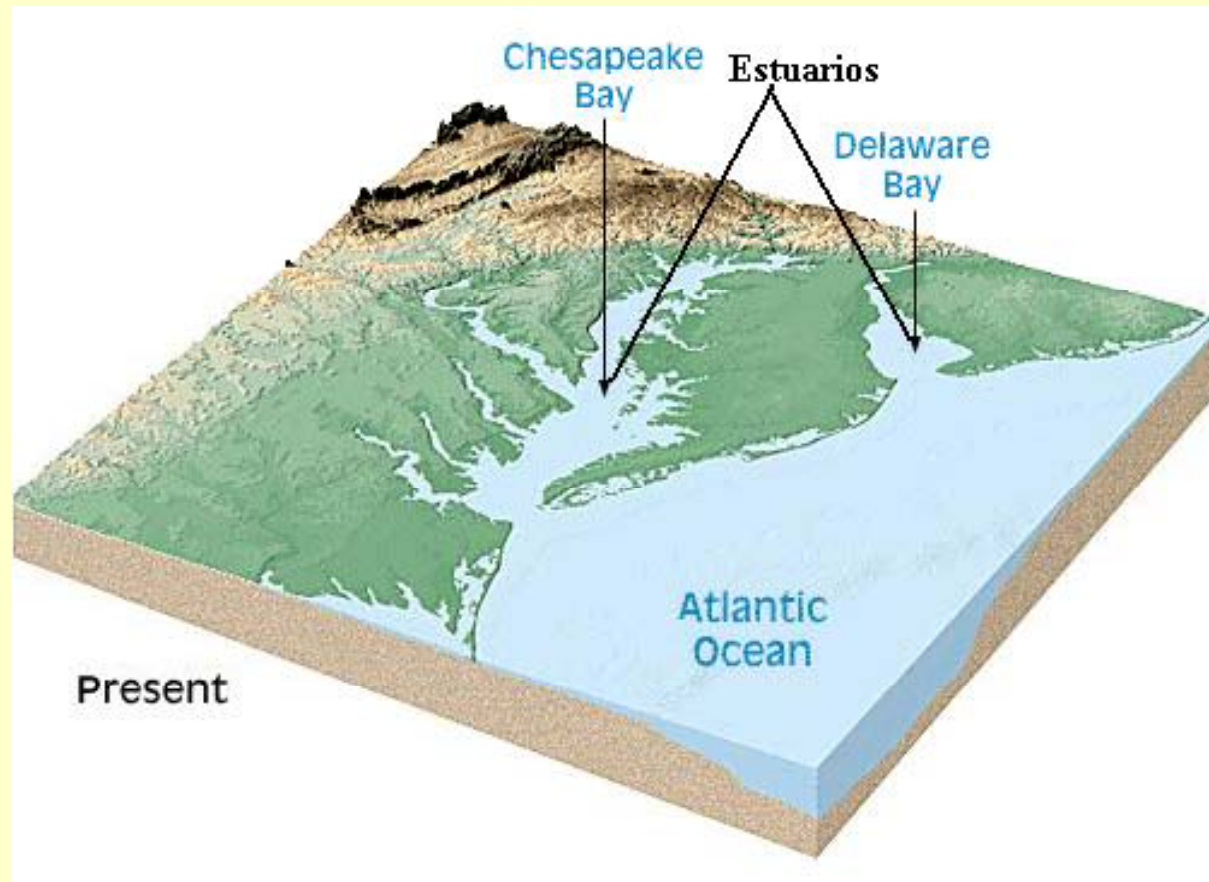
Son fenómenos que conocemos en la vida de una persona, de una a otra generación, histórica y arqueológicamente así como en el pasado geológico reciente

# ¿Cómo se pueden explicar los cambios del nivel del mar?

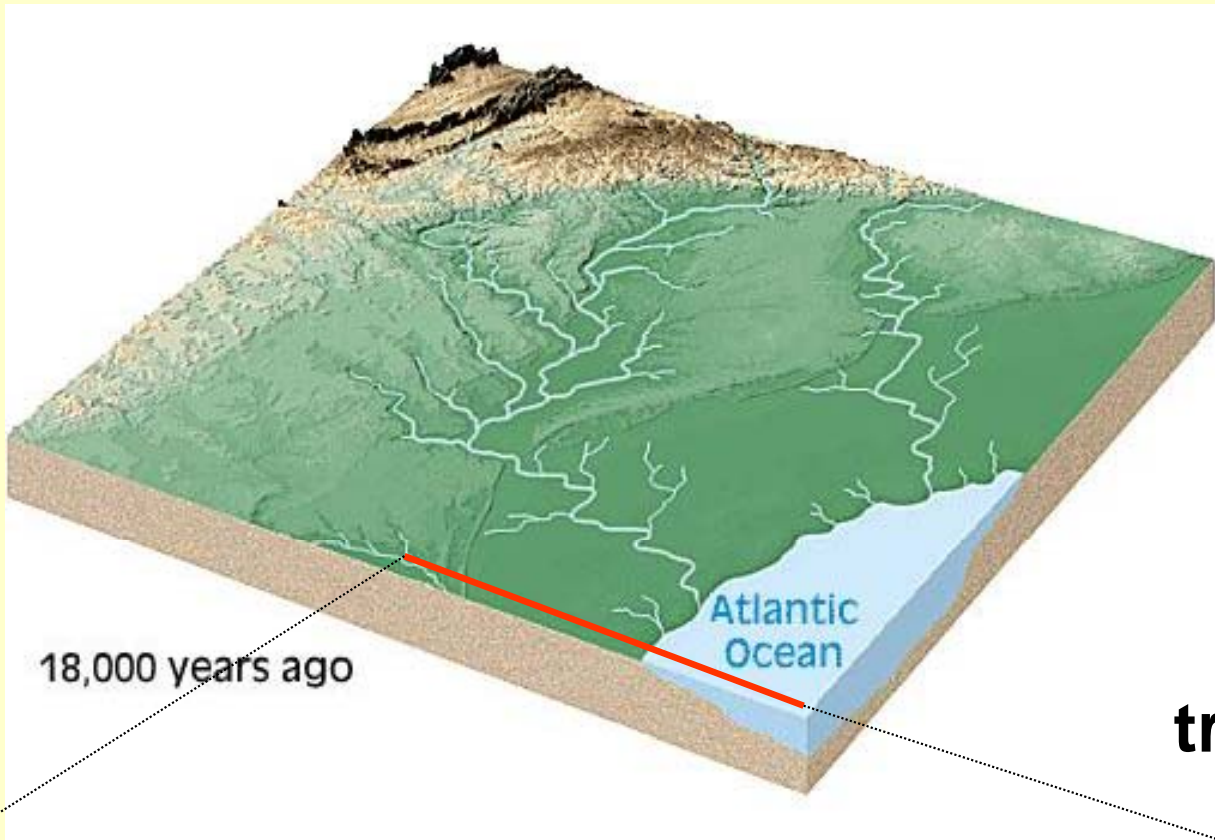
## Causas del cambio relativo del nivel del mar



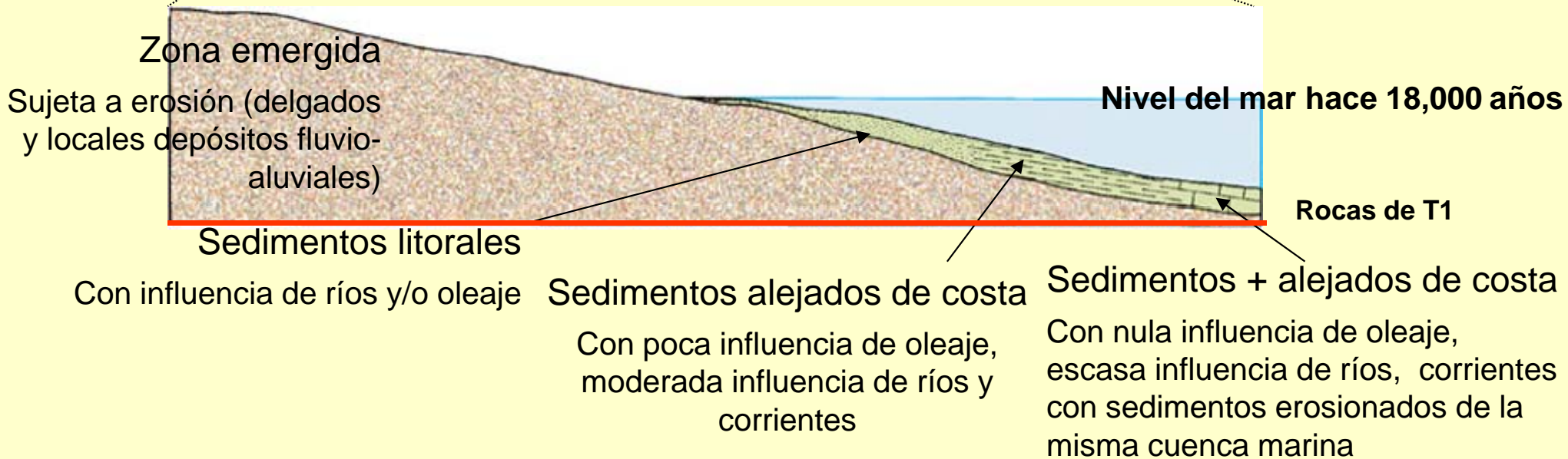
Sea cual sea la causa, estos cambios tienen un efecto en el registro de los sedimentos depositados = **estratigrafía**

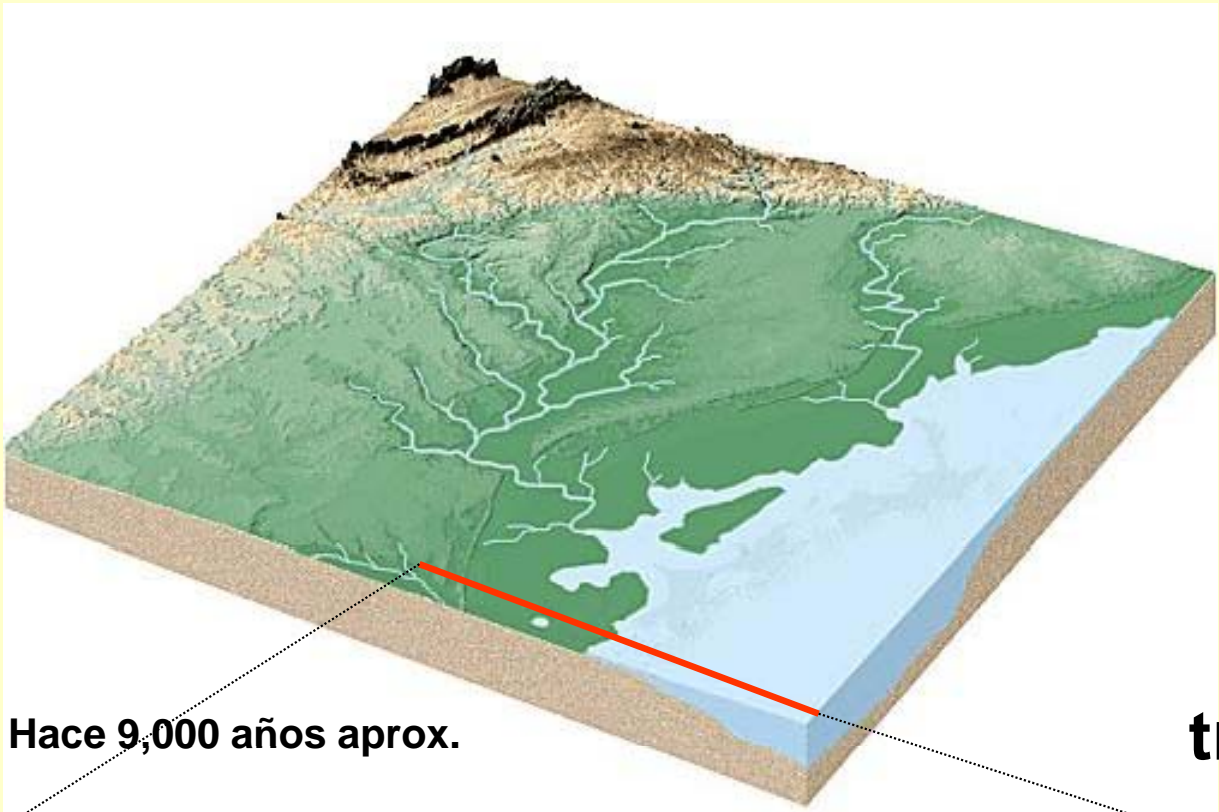


El nivel del mar aumenta: invade (transgrede) al continente = **transgresión**



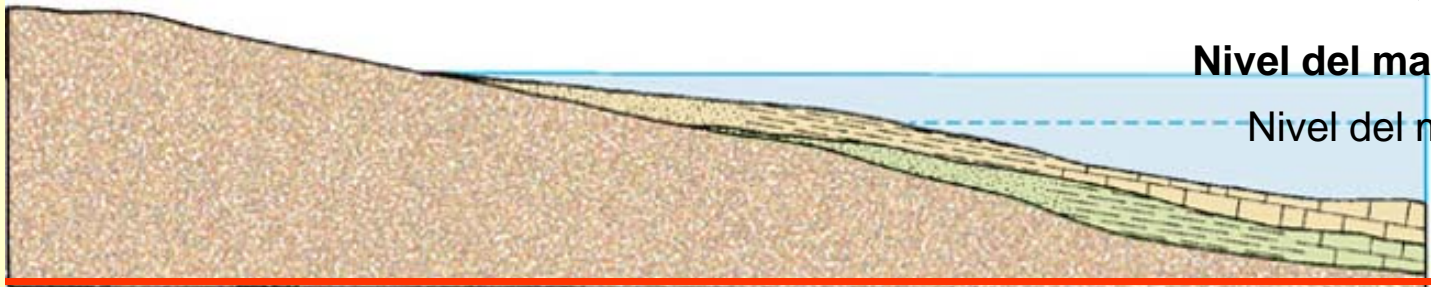
# transgresión





Hace 9,000 años aprox.

**transgresión**

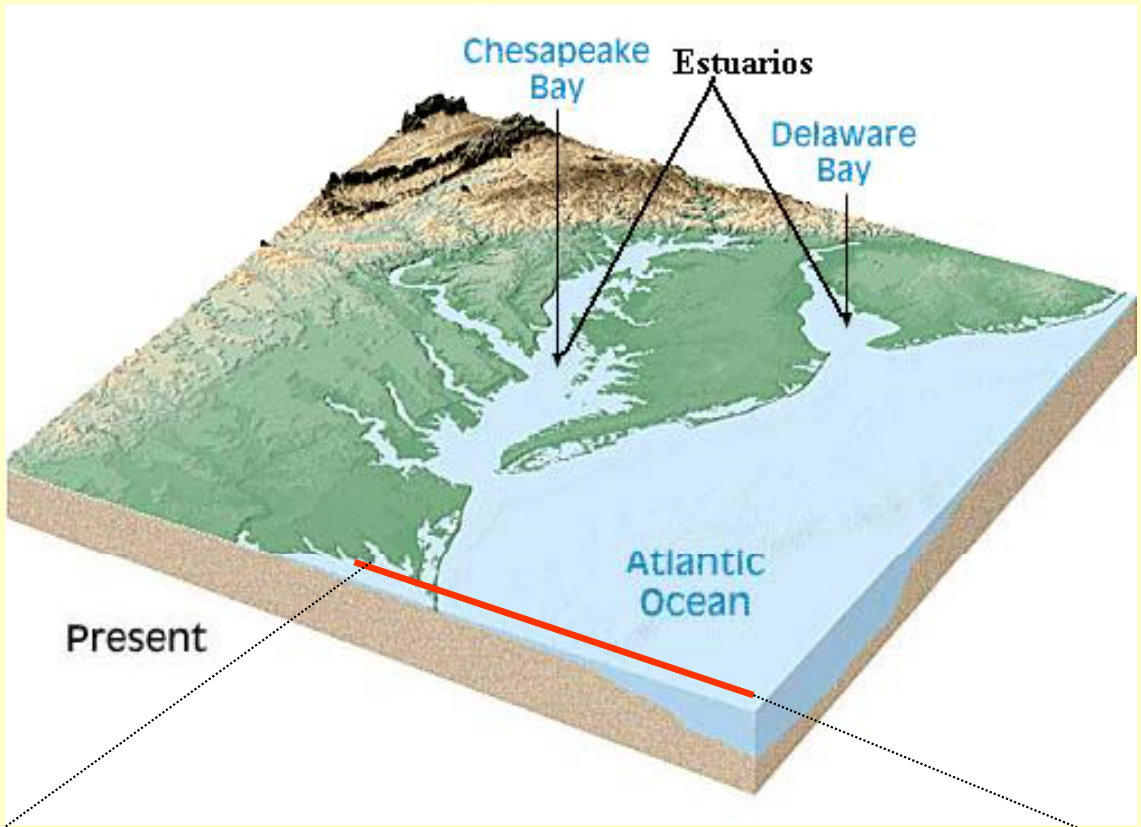


Nivel del mar hace 9,000 años

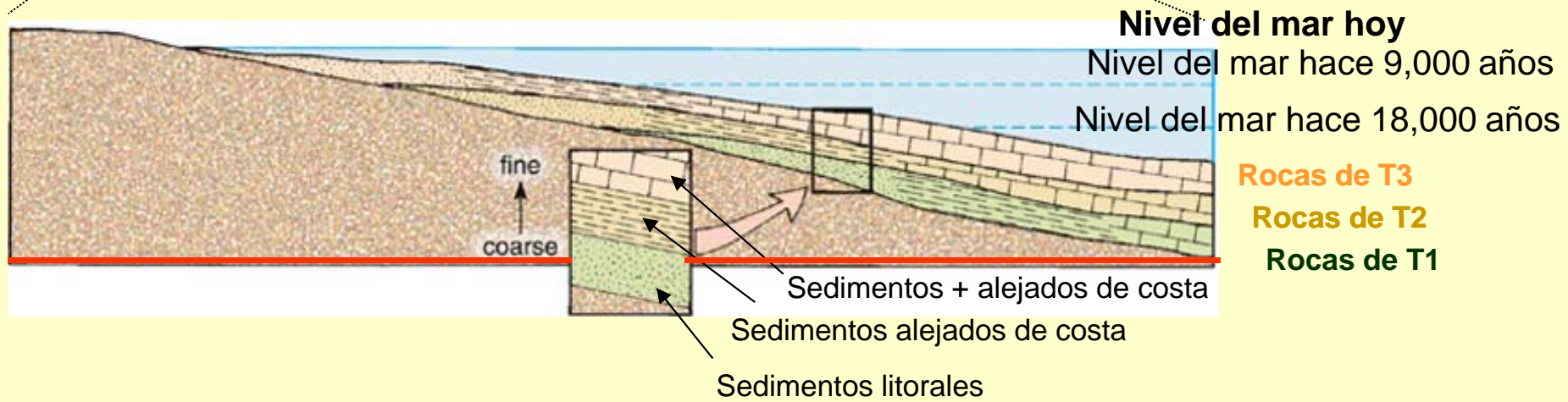
Nivel del mar hace 18,000 años

Rocas de T2

Rocas de T1

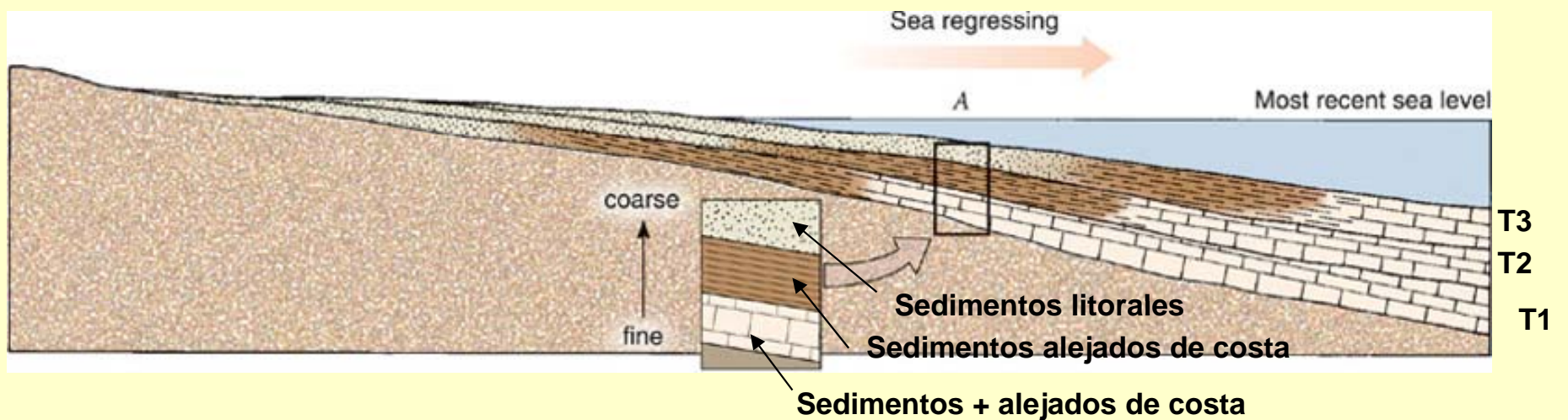


**transgresión**

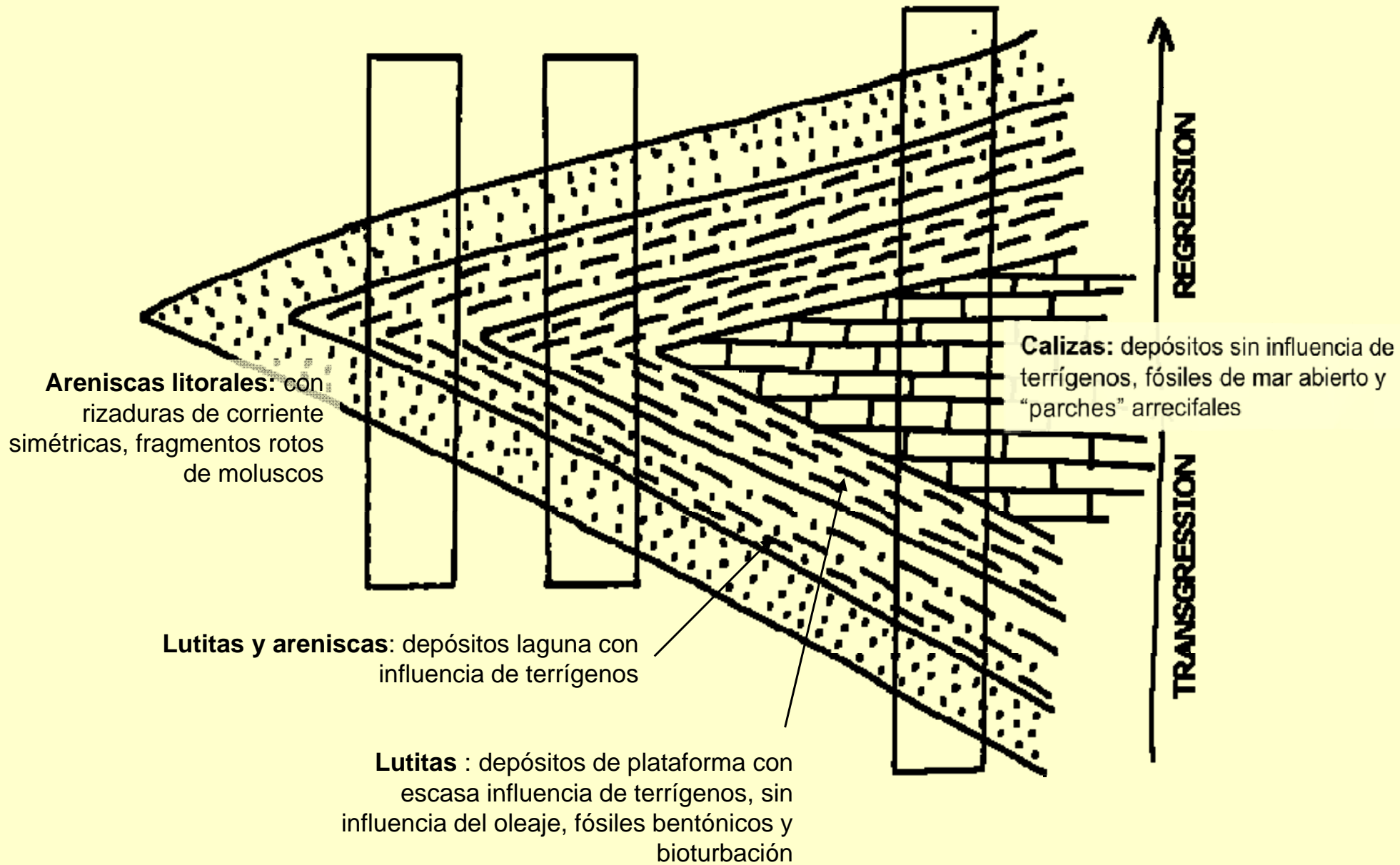




El nivel del mar  
desciende: regresa  
hacia el lado del mar =  
**regresión**







# Análisis de la naturaleza de las fluctuaciones del nivel del mar

Cambios locales      sedimentológicos  
   tectónicos

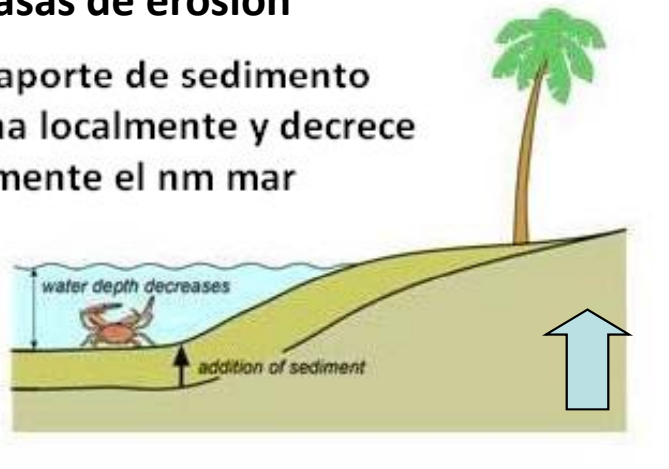
Cambios globales      glaciares  
(eustáticos)      termo-tectónicos

Ciclicidad de cambios del nm-mar  
Sincronicidad de fluctuaciones

# Cambios locales

## Altas tasas de erosión

gran aporte de sedimento  
rellena localmente y decrece  
localmente el nm mar



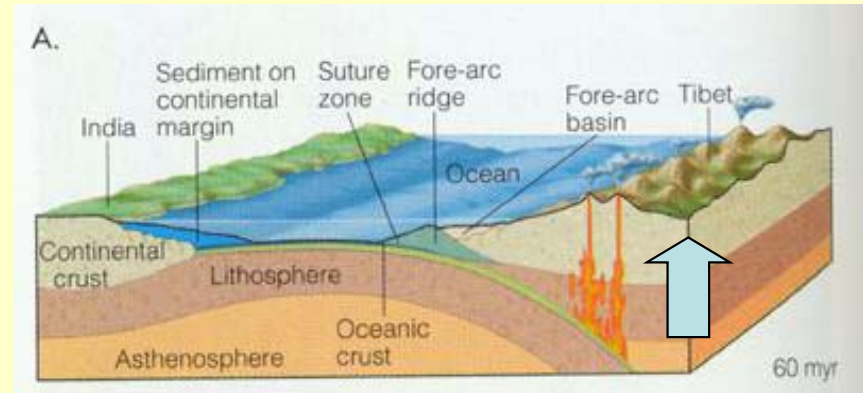
Fenómeno que puede estar asociado con levantamiento del terreno en un margen convergente.

Si esto ocurre en un mar restringido, el efecto de ambos procesos puede ser más evidente, la cuenca puede terminar por rellenarse - cerrarse

El caso contrario es en cuencas de rift, donde se inicia la separación de continentes:

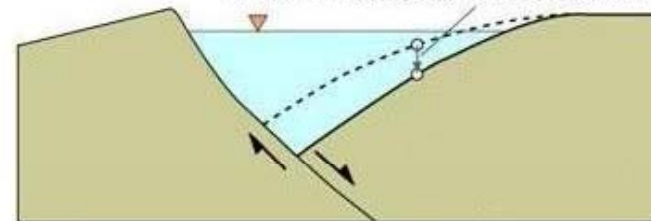
Múltiples fallas pueden producir levantamientos y hundimientos locales

El efecto final puede ser en una gran acumulación de sedimento de igual profundidad o de progresiva profundidad o viceversa, dependiendo que es mayor la acumulación o el hundimiento.



## Efectos tectónicos locales

e.g. Hundimiento de bloques = subsidencia  
Baja el nm mar en la cuenca

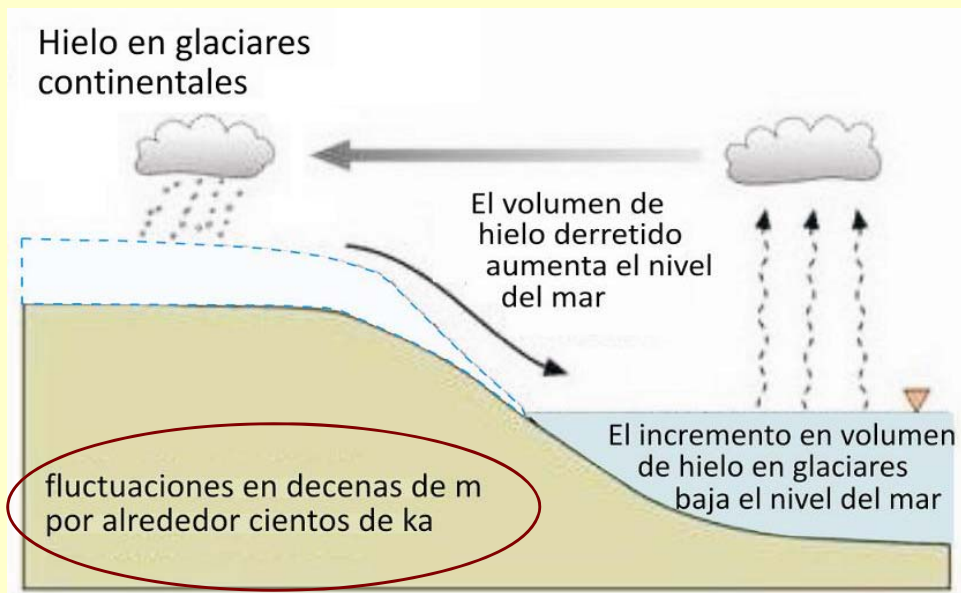


Con muy variables ritmos y magnitudes de cambio en el nm del mar

# Cambios globales (eustáticos)

## Eustático - glaciares

Cuando placas continentales se encuentran en los polos se pueden desarrollar grandes épocas glaciares que atrapan gran parte del agua del ciclo hidrológico, bajando el nm del mar en todo el planeta. Cuando el clima global aumenta de °T se derrite y libera esta agua subiendo el nm del mar globalmente



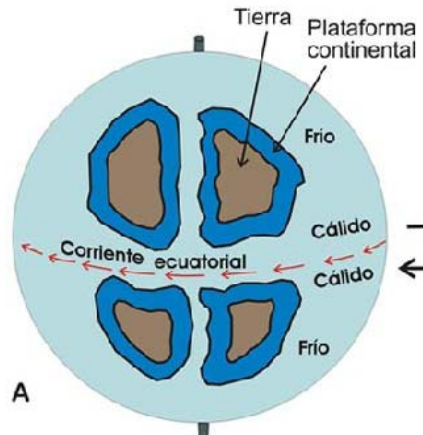
Del ultimo máximo glacial al presente ha aumentado el nm del mar

# Cambios globales (eustáticos)

## Termo-tectónicos Efectos tectónicos locales- continentales

**Cambios de decenas a centenas de m en nm-mar durante 10 – 100 Ma**

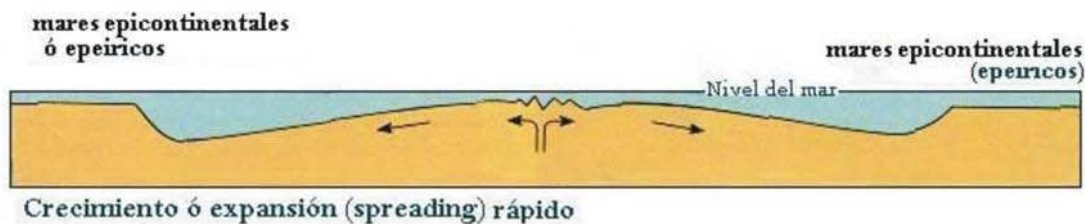
En las regiones de una cuenca más alejadas a las zonas de rift, la corteza es más fría y se contrae, aumentando el nm del mar local - continentalmente. Ej., márgenes pasivos (Atlántico)



II Continentes separados, el nivel del mar sube 100m

A. Estado de bloques continentales dispersos B. Estado de grandes o supercontinentes  
I. Caso de paso de bloques separados a sutura de continentes. Ej. Paleozoico temprano a medio  
II. Caso de paso de supercontinente a bloques continentales separados. Ej. Tr/Jurásica a Cretácico

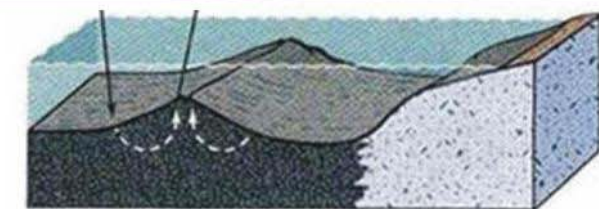
**A. Condición común después que supercontinentes inician un proceso de separación (rifting)**



**B. Condición común cuando se forman supercontinentes**



Nivel del mar sube (mares epicontinentales)



Dorsales Oceánicas de gran volumen

Nivel del mar baja



Dorsales Oceánicas de poco volumen

# Otros causas de cambio global

Son causas complementarias y colaterales de los fenómenos atrás explicados como causantes de cambios en el nm-mar. Incrementan / contrarestan los efectos de las causas atrás explicadas

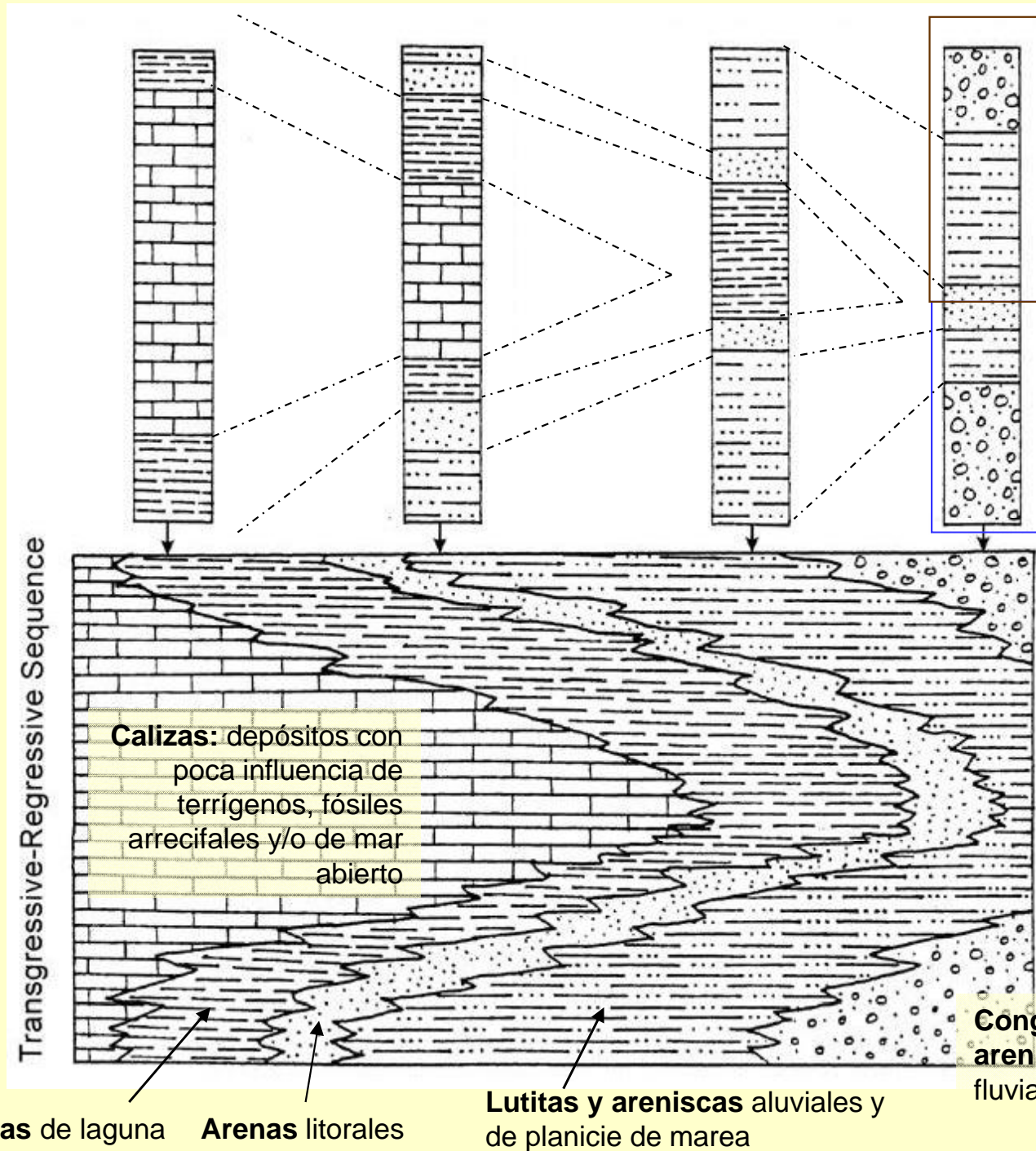


Si esto ocurre adicionalmente en mares epeiricos, donde por efecto termotectónico sube el nm-mar, la °T del agua aumenta más en las zonas tropicales que en altas latitudes incrementando o atemperando el efecto tectónico aunque de forma limitada

Ocurre también en > extensión en cuencas con márgenes pasivos y en extensión limitada en márgenes activos.

Pequeños cambios en el nm-mar se considera pueden ocurrir si se cambia la distribución proporcional del agua en la hidrósfera. Ej. aumentando la cantidad de agua en lagos y subsuelo disminuiría el nm-mar

3. ¿Que dinámica de eventos indican las s de estas columnas?



## ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS

Dinámica de cambio de ambientes de depósito

2. y ¿éste otro?

1. ¿Que registra este fragmento de columna?

## ANÁLISIS DE CUENCAS SEDIMENTARIAS

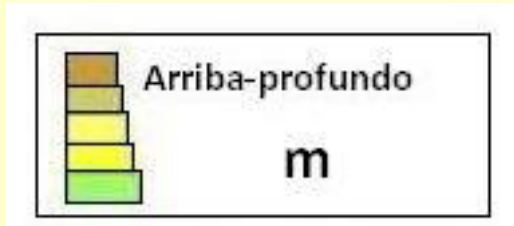
Tipo de cuenca en el marco de la tectónica de placas

# PATRONES DE SEDIMENTACIÓN

Miremos de nuevo estas secuencias y responde:

¿Cuál sería la transgresiva y cual la regresiva? :

Transgresión



Regresión



Sin embargo, no hemos considerado la relación entre

(1) la elevación/disminución del nivel del mar

[= aumento/decremento del espacio disponible para que se

“acomoden” los sedimentos] y

(2) el aporte de sedimentos (cantidad -*volumen*- y velocidad).

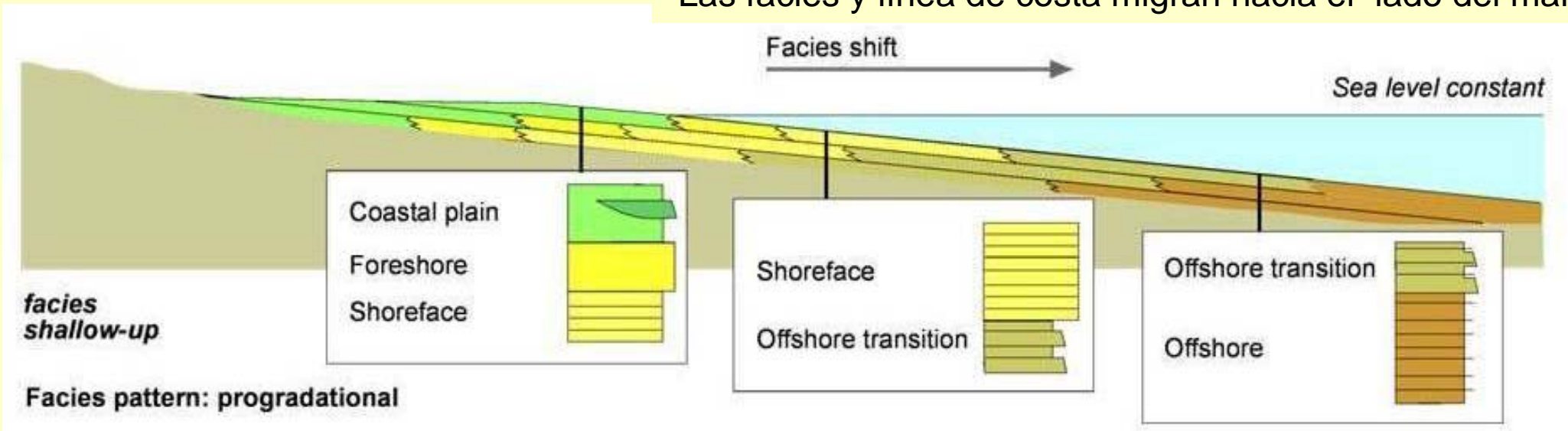
Si hay mucho aporte de sedimentos, aunque el *nm* suba, no cambie, ó baje, se va a depositar una secuencia similar a la q



# PATRONES DE SEDIMENTACIÓN

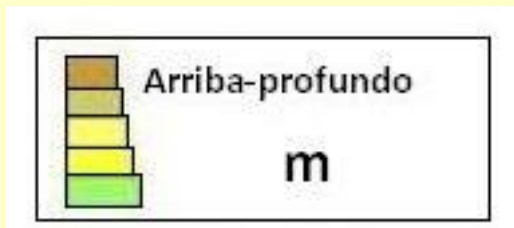
Veamos como: Aquí el *nm* no cambia  
 [aporte sedimentos > elevación ]

Las facies y línea de costa migran hacia el lado del mar



Referencia de lo que habíamos dicho antes

Transgresión



Regresión  
 patrón de sedimentación progradacional

Este es un patrón de sedimentación progradacional

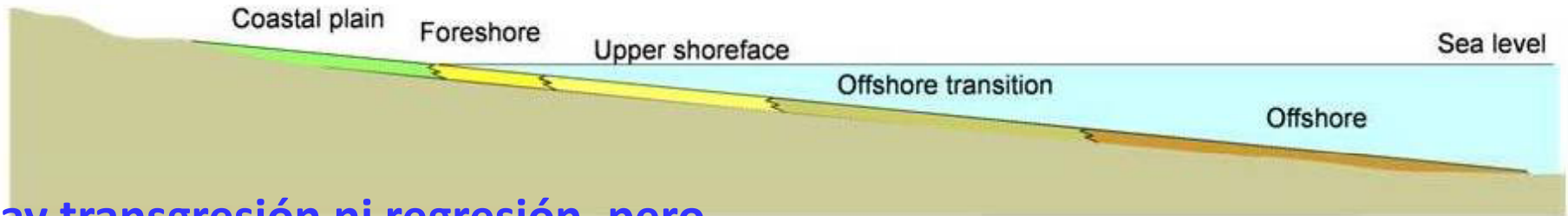
Puede darse en cualquier caso, ya sea si el nivel del mar baja, queda estable o, sube

Si el *nm* se eleva y el aporte de sedimentos está balanceado con éste aumento. La posición de la línea de costa permanece constante, no hay migración en la posición relativa del depósito de las facies

[**elevación = aporte sedimentos**]

Shoreline constant

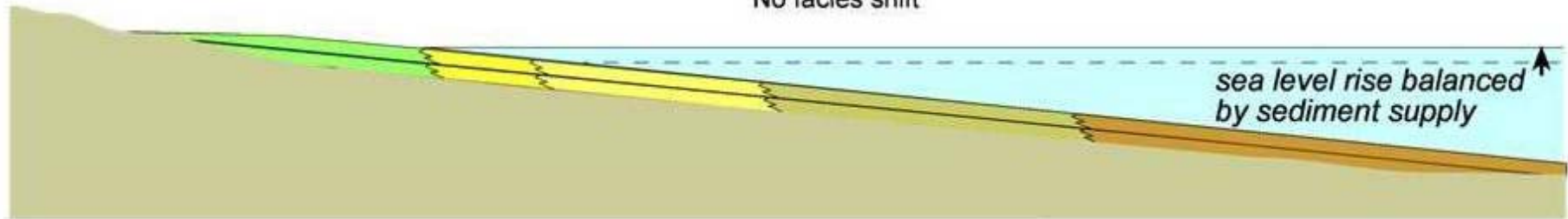
**Este es un patrón de sedimentación agradacional**



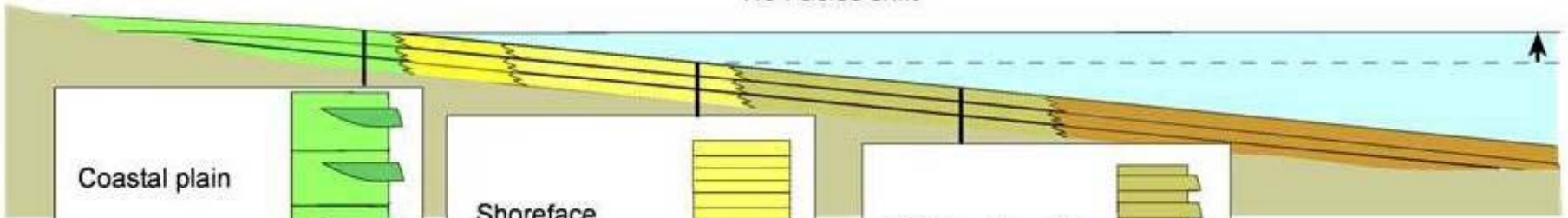
No hay transgresión ni regresión, pero el *nm* se eleva

No facies shift

sea level rise balanced by sediment supply



No Facies shift



facies constant

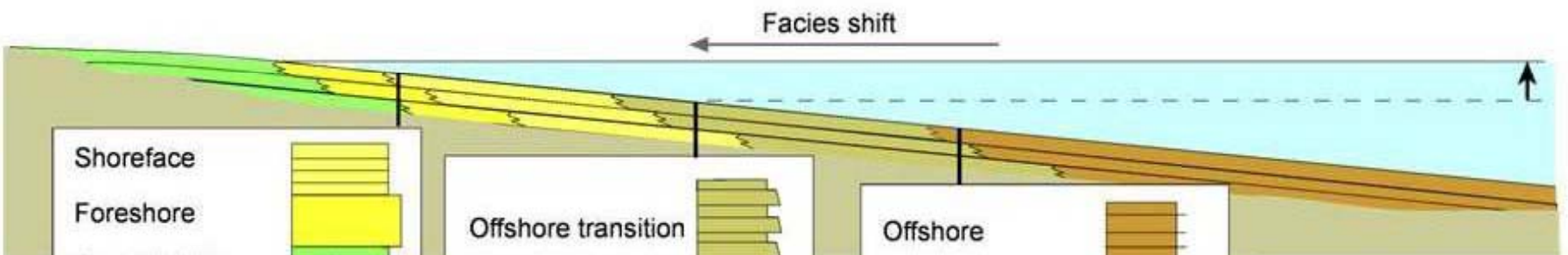
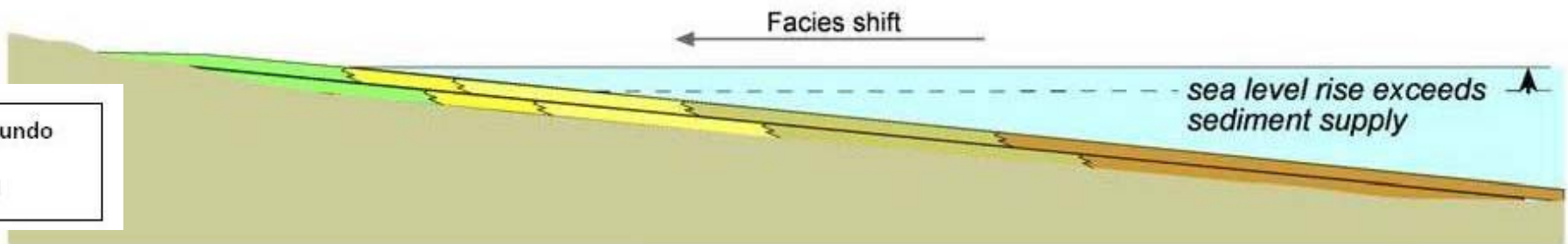
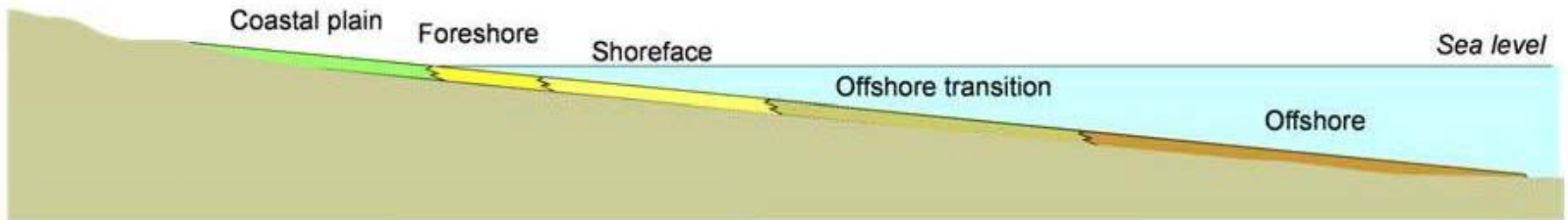
Facies pattern: aggradational

Si el *nm* se eleva rápidamente mientras el aporte de sedimentos es escaso  
[**elevación** > aporte sedimentos]

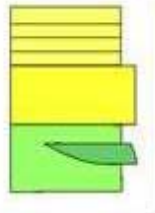
Hay una migración de la línea de costa y posición de las facies hacia el continente

**Esta es una Transgresión y el patrón de sedimentación es retrogradacional**

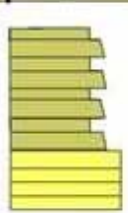
Transgression



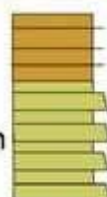
Shoreface  
Foreshore  
Coastal plain



Shoreface  
Offshore transition

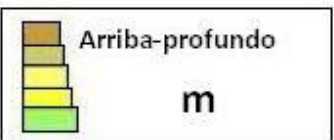


Offshore transition  
Offshore

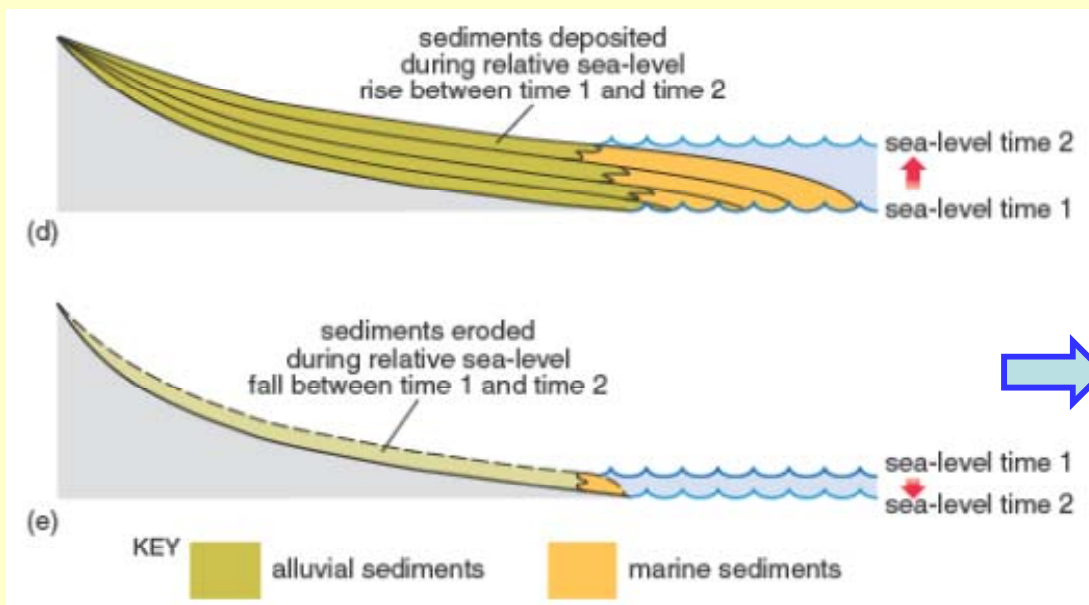
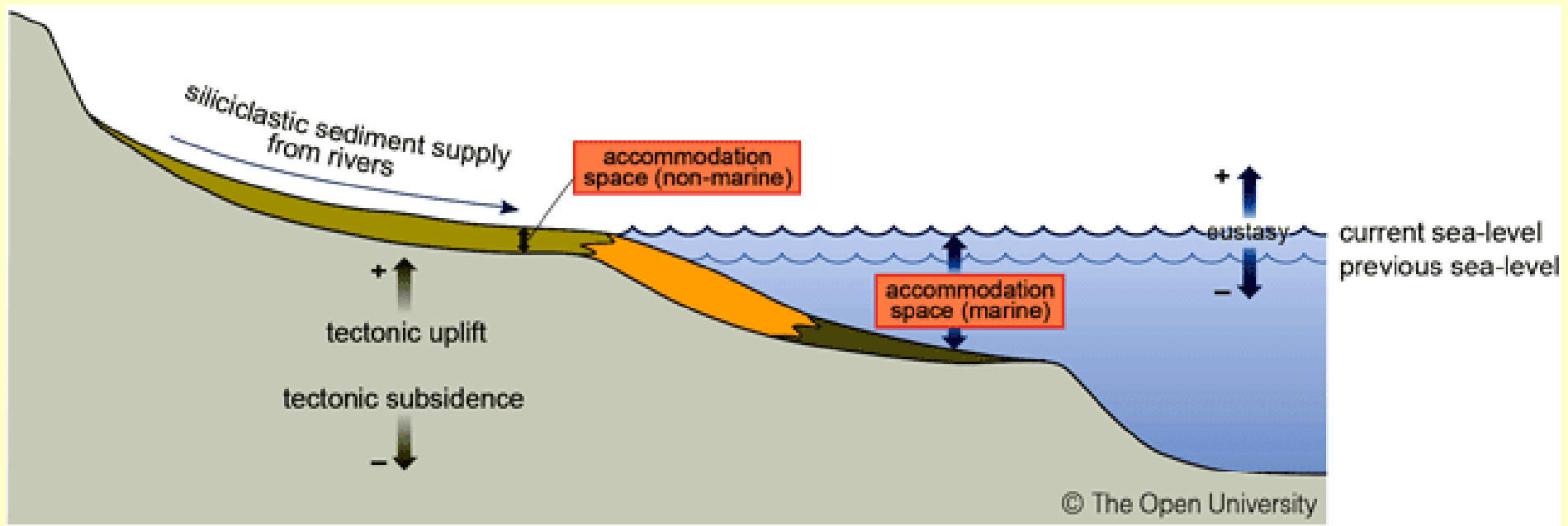


**facies deepen-up**

Facies pattern: retrogradational



# (1) la elevación/disminución del nivel del mar [espacio de “acomodo” de sedimentos]



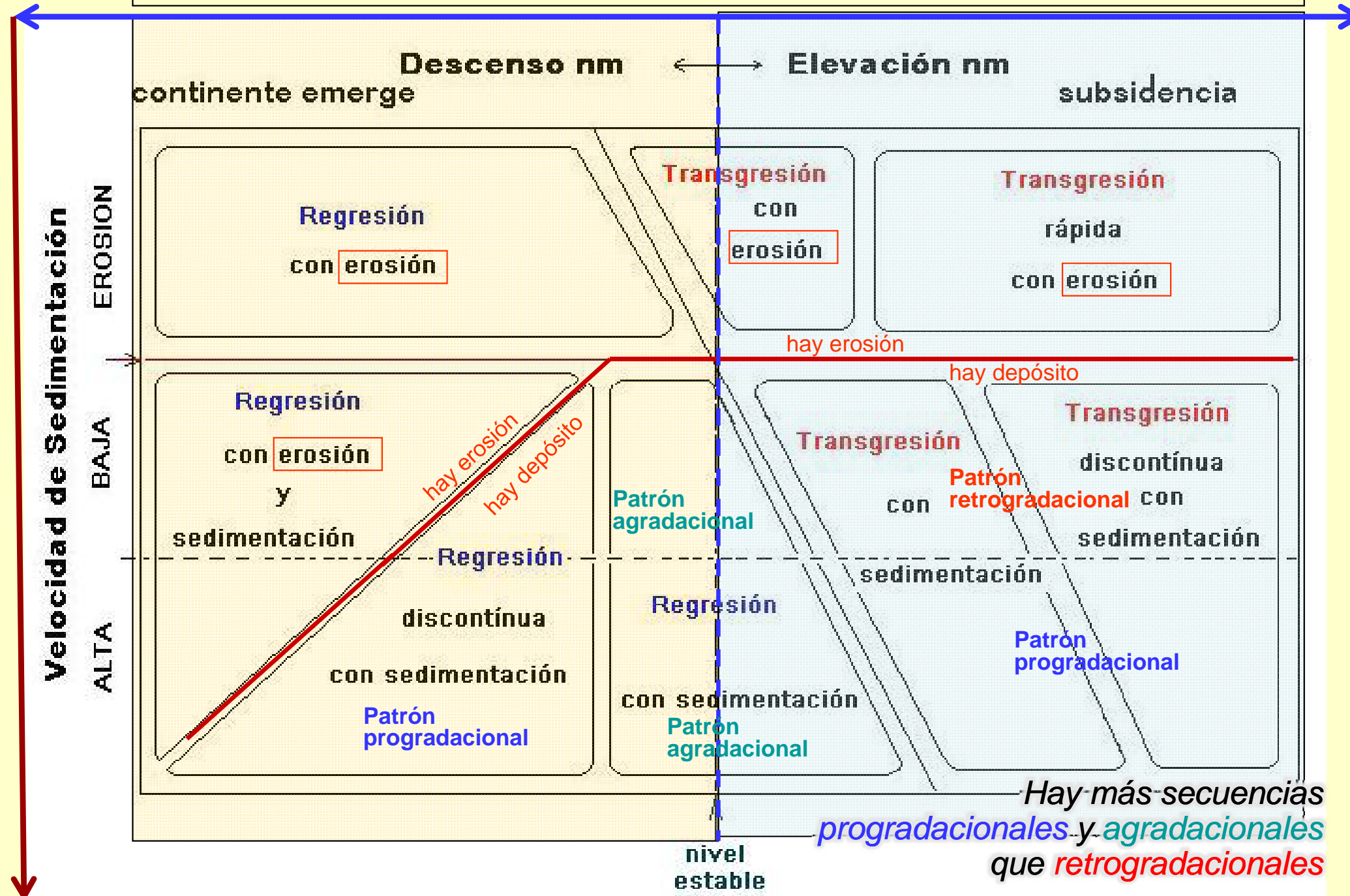
Si el *nm* sube: Depósito en zonas de planicie costera.

Si el *nm* baja: Erosión y encajamiento de valles en zonas de planicie costera.

Si *nm* baja y la *lc* regresa hacia el mar habrá pocas posibilidades de preservación de sedimentos: los que ya había se erosionan y los del momento tienen poco espacio para acumularse

# RELACIONES

Elevación/disminución *nm* [aumento/decremento espacio de "acomodo" de sedimentos] **vs** el aporte de sedimentos (cantidad y velocidad) /



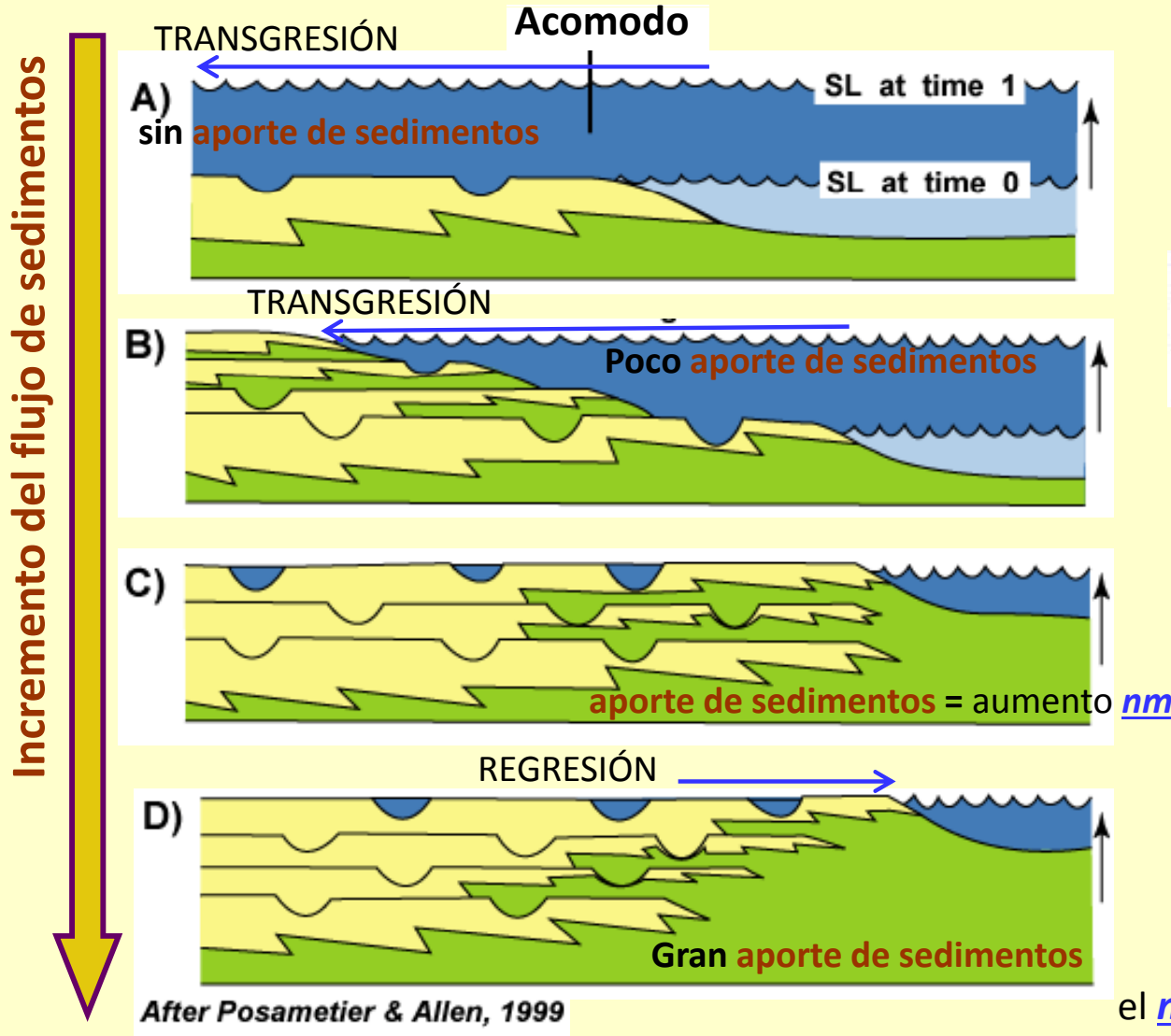
Hay más secuencias progradacionales y agradacionales que retrogradacionales

# RELACIONES

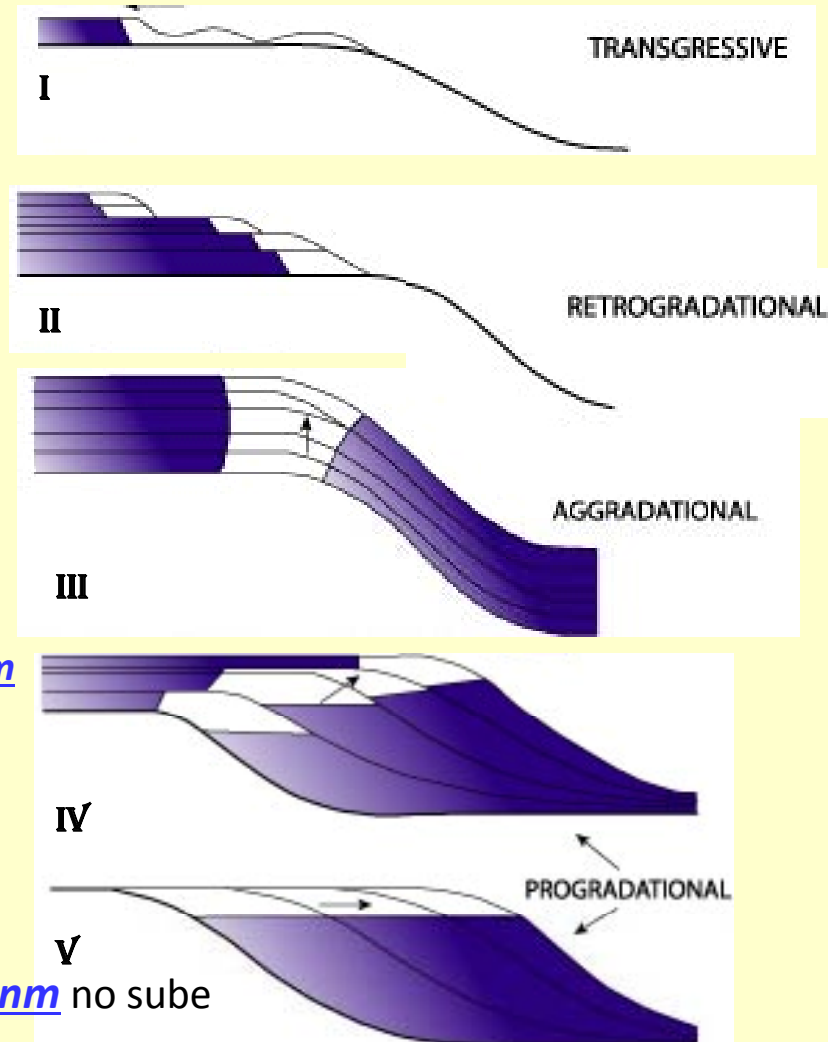
Elevación/disminución nm [aumento/decremento espacio de "acomodo" de sedimentos]

el **aporte de sedimentos** (cantidad y velocidad)

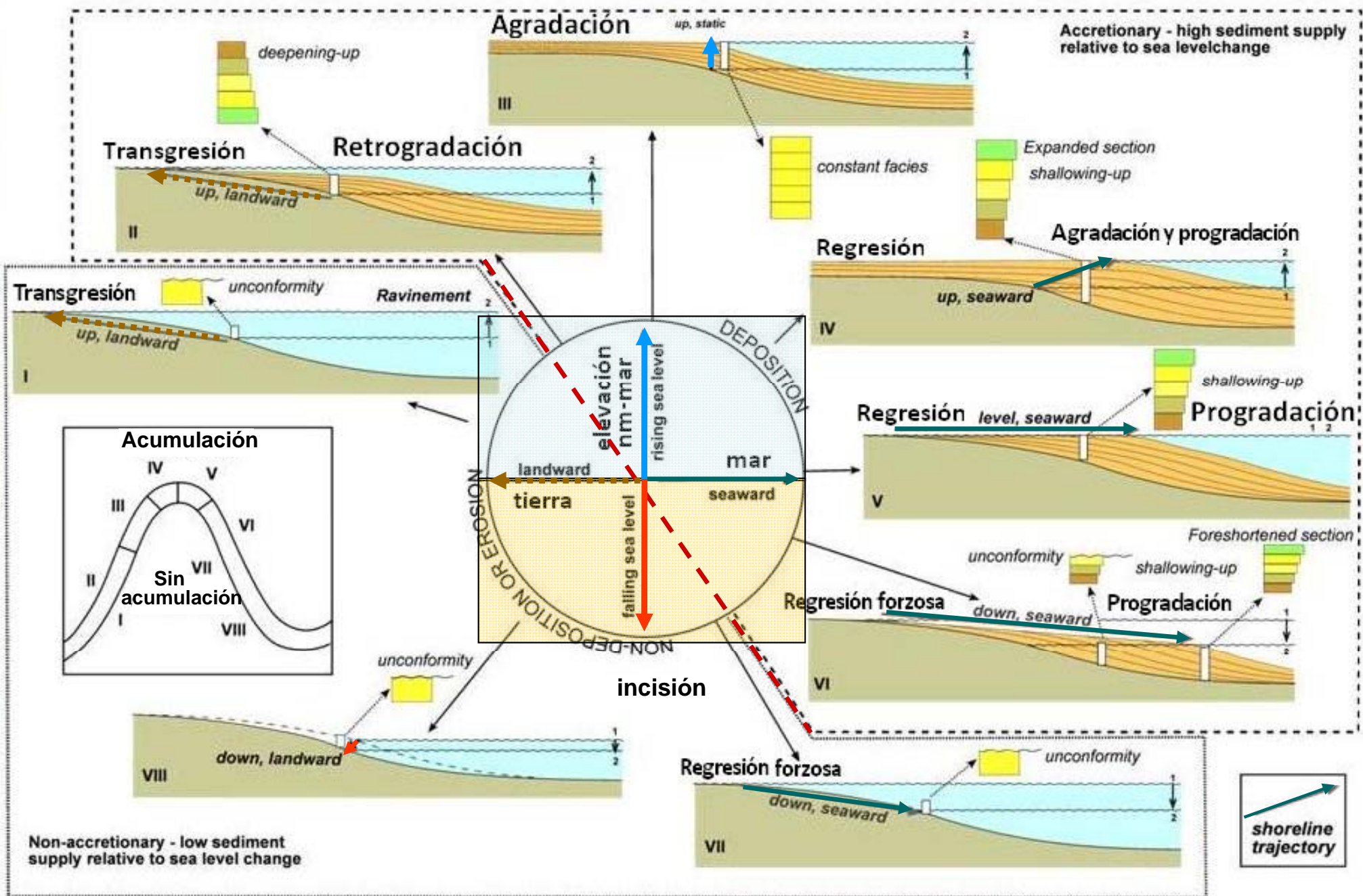
Casos de aumento del nm [espacio de "acomodo"] con diferente volumen/veloc. de **aporte de sedimentos**



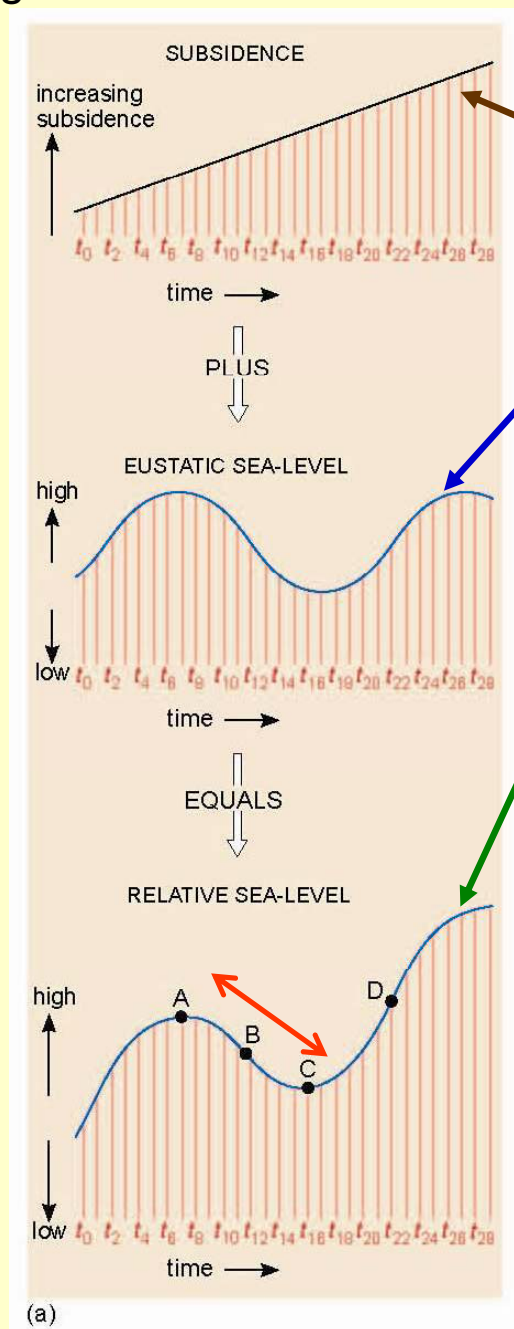
## patrón de sedimentación



# Patrones de sedimentación en relación con cantidad de aporte de sedimento, cambios relativos del nivel del mar, posición de línea costera



La subsidencia de una cuenca de depósito es un proceso lineal, debido a lo cual el nm tendería a elevarse paulatinamente, no obstante a este efecto debe agregarse los cambios globales -eustáticos- del nivel del mar que es un proceso cíclico



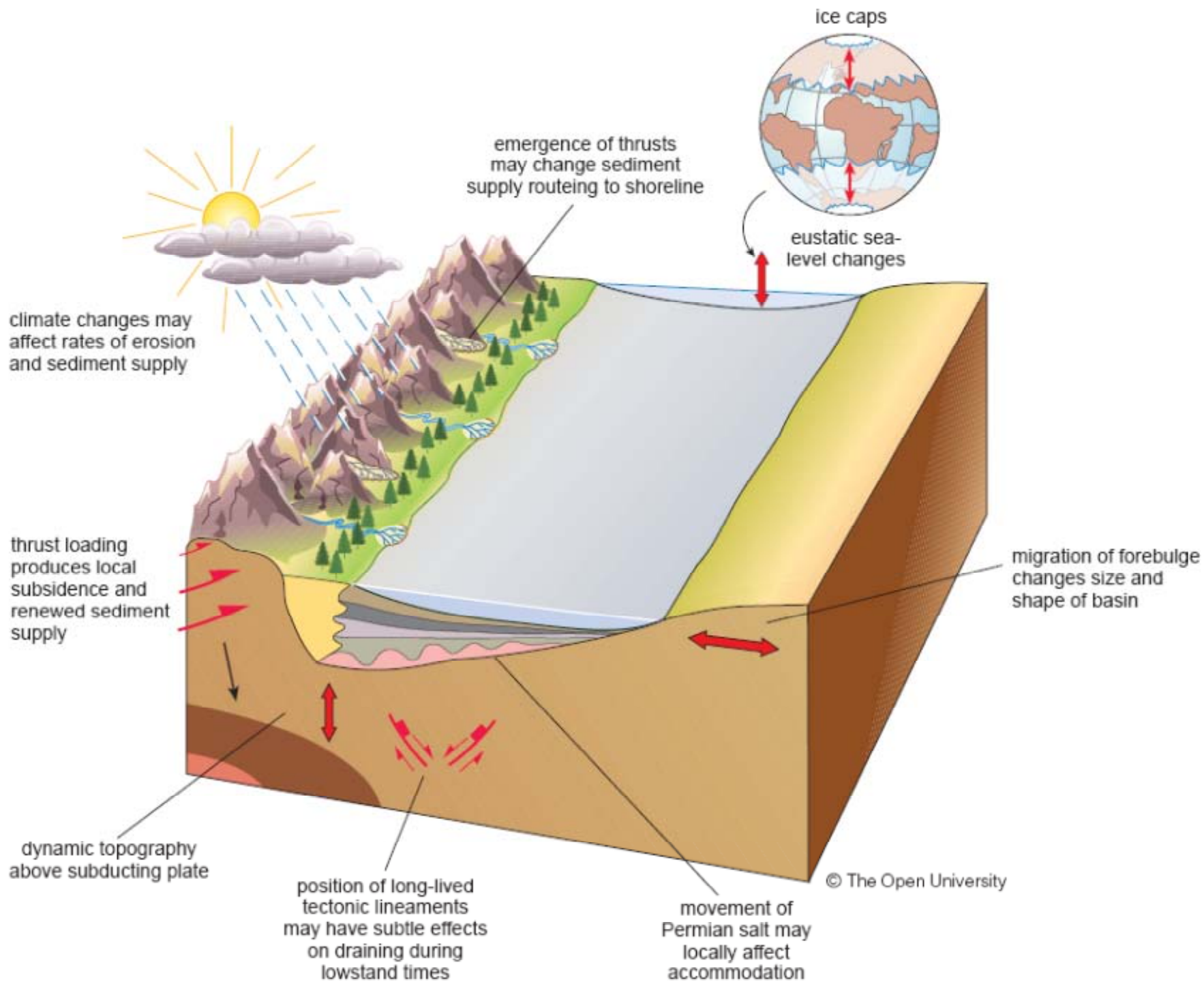
Curva del n-mar relativo por subsidencia uniforme.

Curva sinusoidal de cambios eustáticos del n-mar considerando equilibrio de espacio acomodo-aporte sedimento.

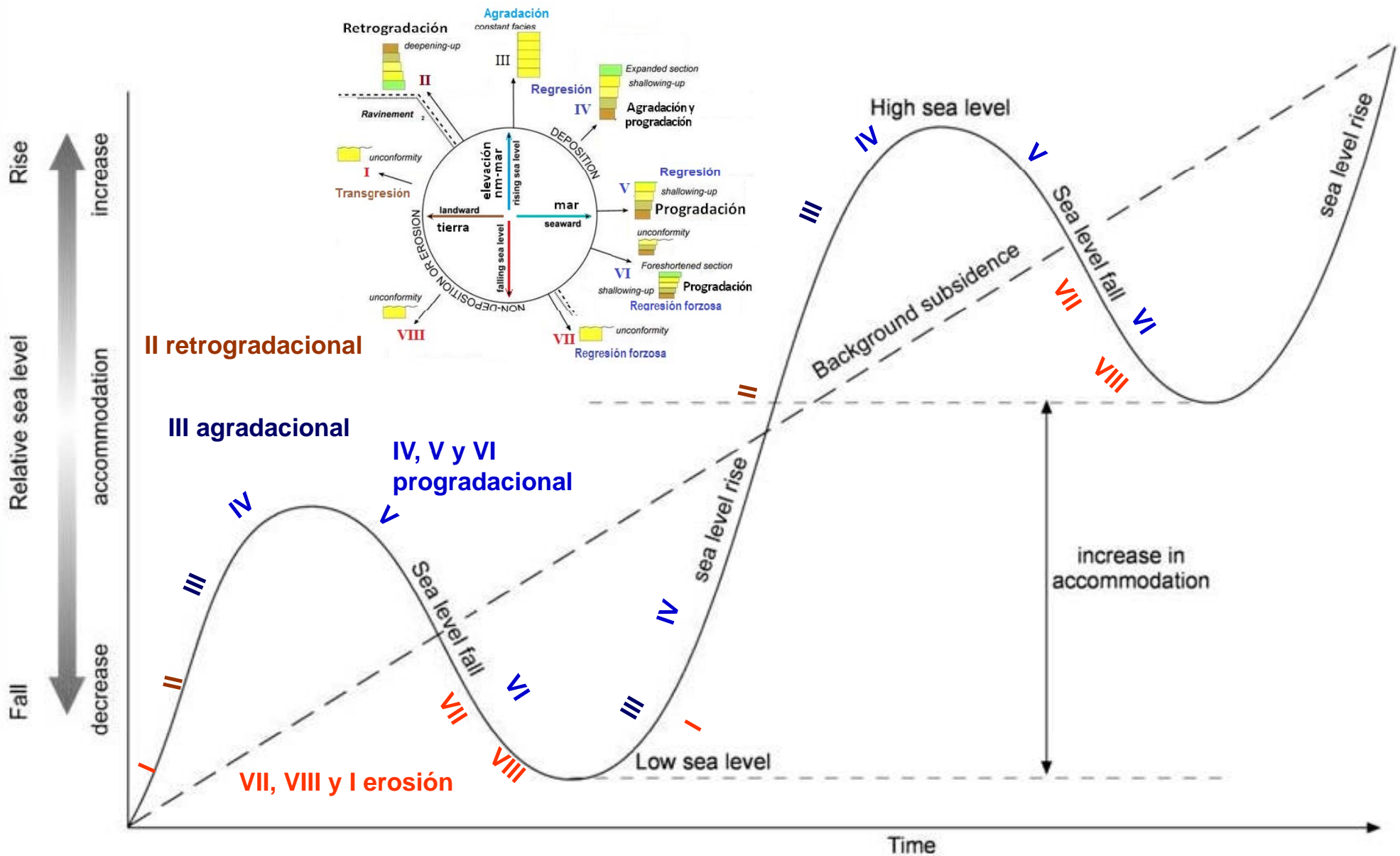
Curva sinusoidal de la suma de las anteriores.

El descenso del n-mar lleva aquí a: regresión forzada.





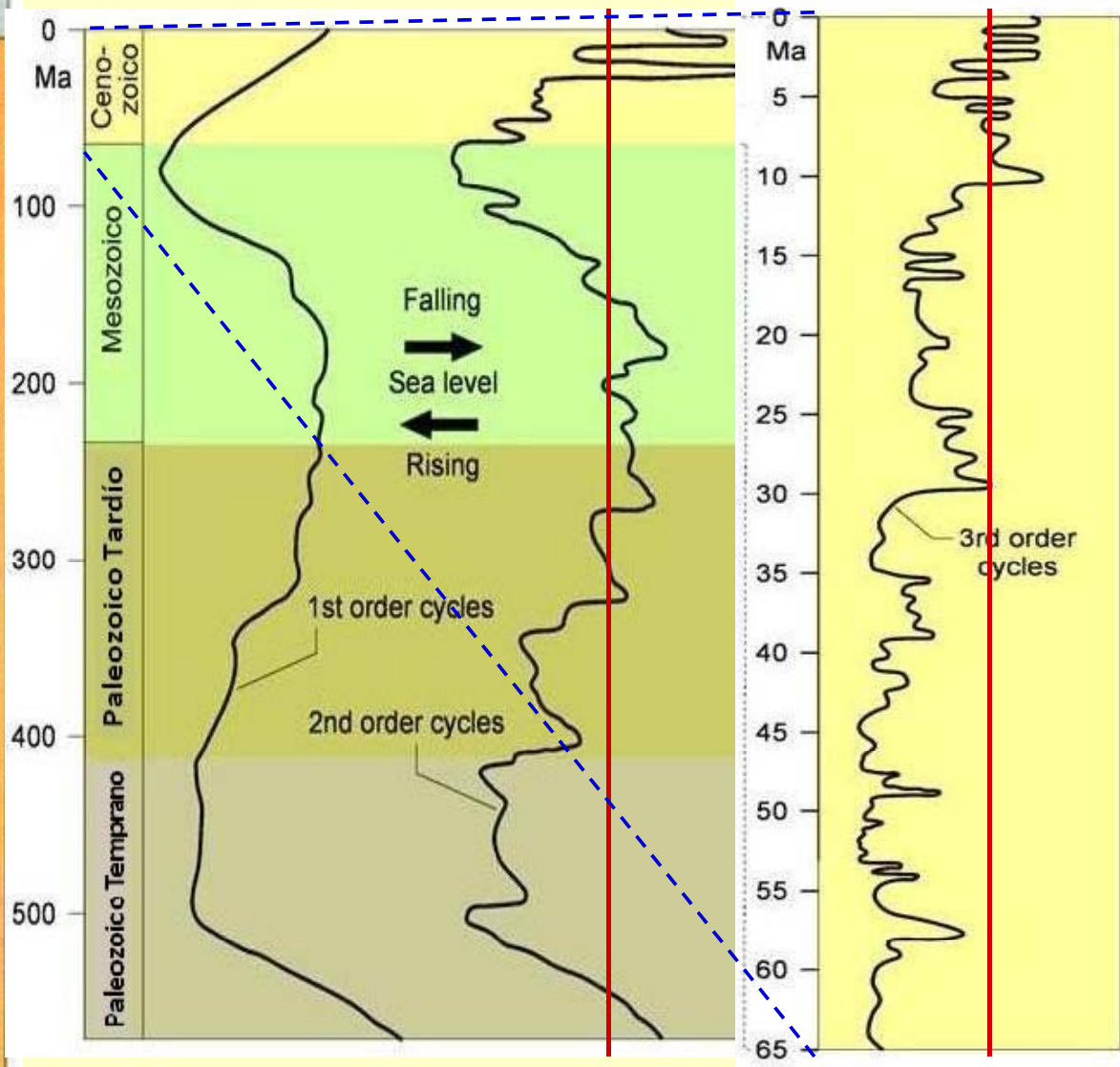
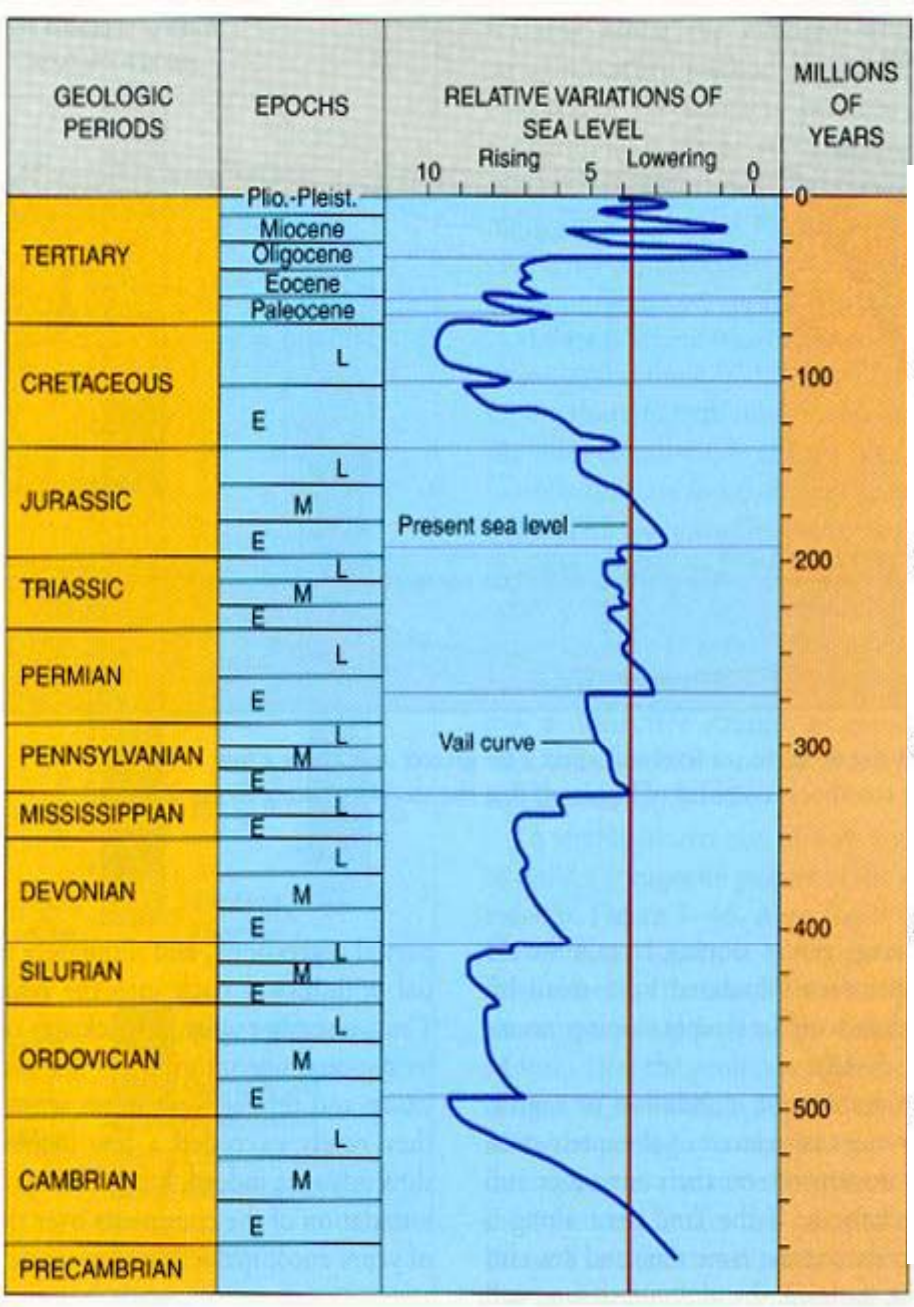
# Theoretical curve of sea level variation plus subsidence



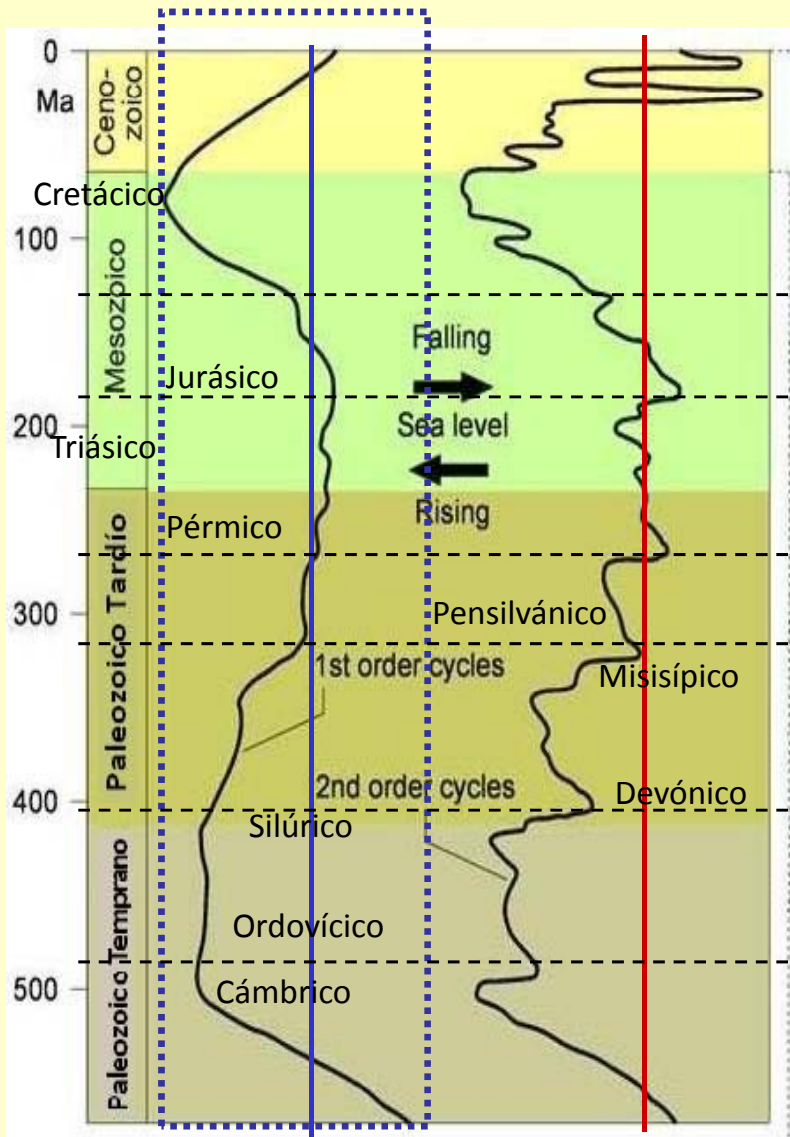
Factores adicionales que intervienen: pendiente de la cuenca de aporte y de depósito  
 Concepto de acomodación (accomodation) y perfil de equilibrio

# Ciclicidad

Datos de perfiles con sísmica de reflexión, testigos y secciones geológicas de superficie alrededor del mundo sugieren curvas de variaciones globales del nm-mar en la que se aprecian fluctuaciones “cíclicas” de primero, segundo y tercer orden



# Ciclos de primer orden



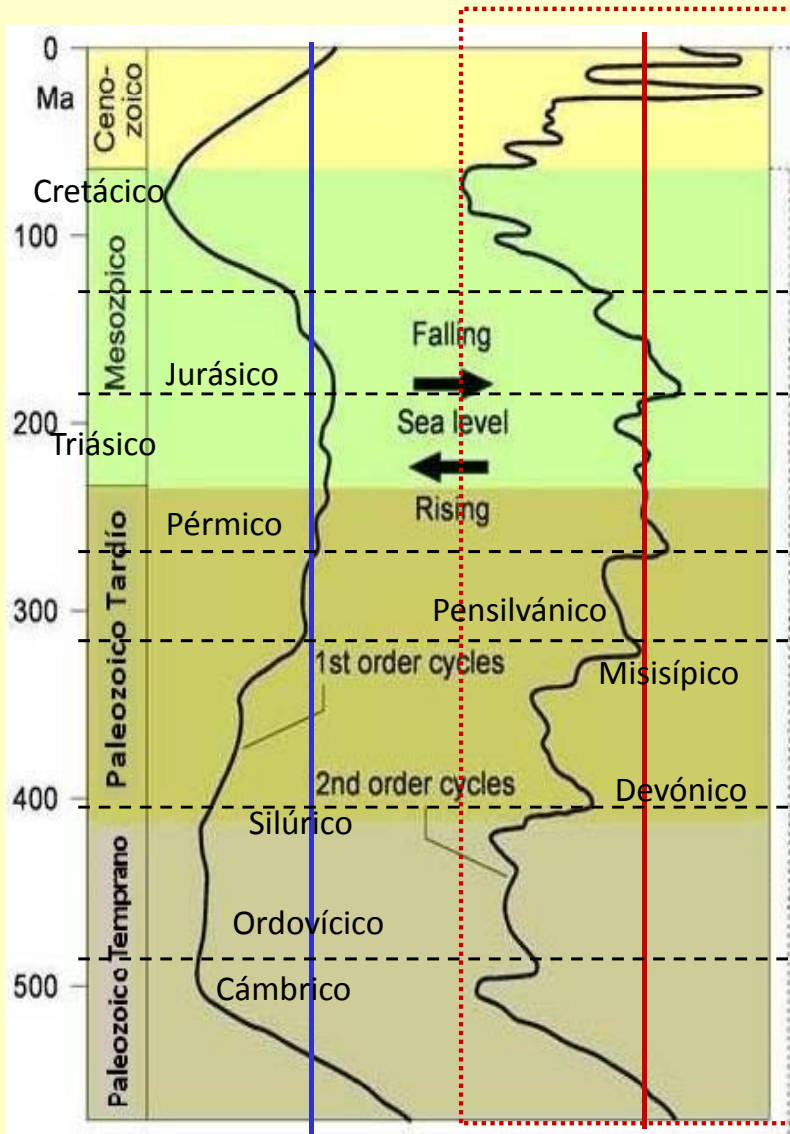
Esta curva de primer orden se correlaciona cercanamente con los patrones de amalgamación y dispersión continental a lo largo del Fanerozoico:

Ruptura continental en Paleozoico temprano, seguido de un largo periodo de dispersión de continentes (niveles altos) hasta conformar el supercontinente Pangea -Pérmico- (niveles bajos).

El nivel más alto en el Cámbrico cuando se activan nuevos centros de expansión (rifting) y en Cretácico cuando se aceleran estos procesos de dispersión.

El nivel vuelve a bajar cuando se amalgaman nuevos continentes (colisión de India con Eurasia y cerrado del mar de Tethys con cadenas (Alpes-Atlas-Cárpatos-Caucaso-Himalaya)

# Ciclos de segundo orden



Curva más detallada de elevaciones y disminuciones en ciclos de cientos de Ma

Se considera que corresponden con incrementos en los ritmos de expansión (crecimiento) a lo largo de las dorsales oceánicas, lo que puede tener efecto en una escala de decenas de Ma.

Los ciclos del Neógeno pueden más bien corresponder a las tendencias de glaciaciones-deglaciaciones

# Ciclos de tercer orden

Curva mucho más detallada de elevaciones y disminuciones de varias decenas de m y periodicidad de 1-10 Ma

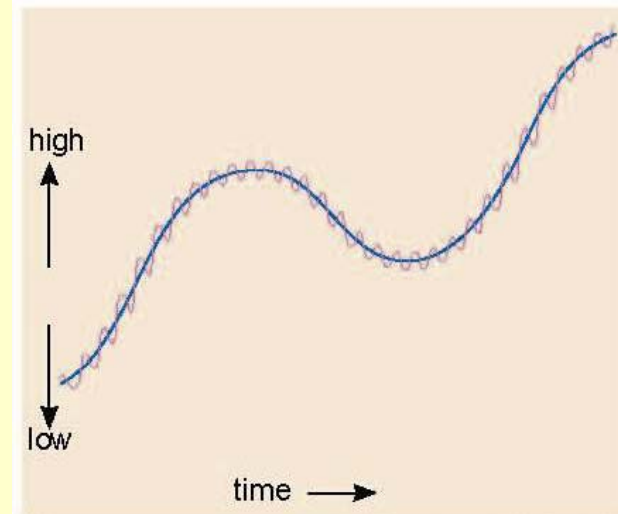
No hay consenso general de acuerdo en el mecanismo causante, probablemente es la suma de más de dos ó más causas

Los cambios eustático-glaciares es la causa más probable, sin embargo para que esto tenga efecto se requiere de casquetes polares y no hay evidencia de ellos alrededor del Cretácico

Otro mecanismo es la dinámica propia de las cuencas individuales, los cambios que ocurren como consecuencia de los esfuerzos tectónicos

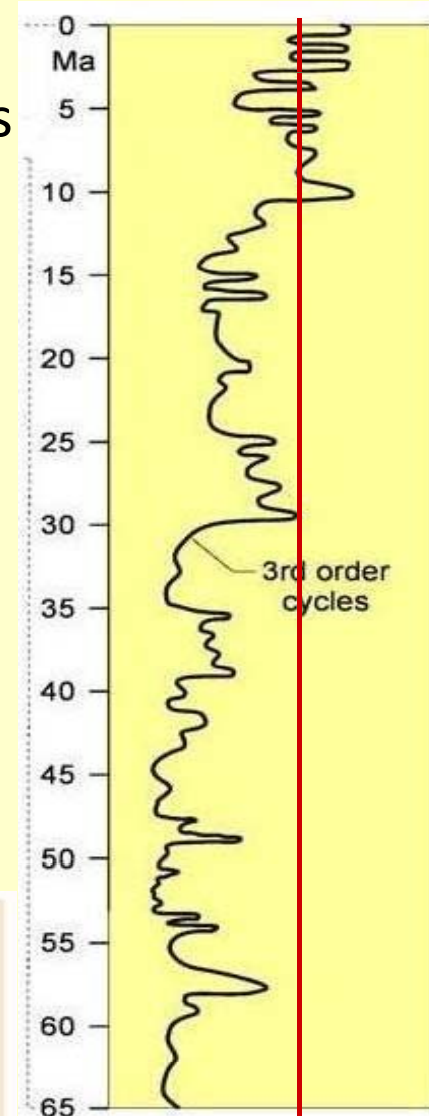
La importancia de estos ciclos es que ellos son de la magnitud y periodo que queda registrado en la estratigrafía de secuencias.

Lo más probable es que se deban a la suma de efectos de la tectónica local y cambios eustáticos globales.



(b)

© The Open University



## Ciclos de corto tiempo

En adición a los ciclos 1º a 3º orden, otros ciclos más cortos de: 200,000 a 500,000 (4º orden); de 10,000 a 200,000 años (5º orden), que causan variaciones de unos pocos m hasta 10 m - 20 m.

Su evidencia se registra en “parasecuencias” estratigráficas que se han asociado con:

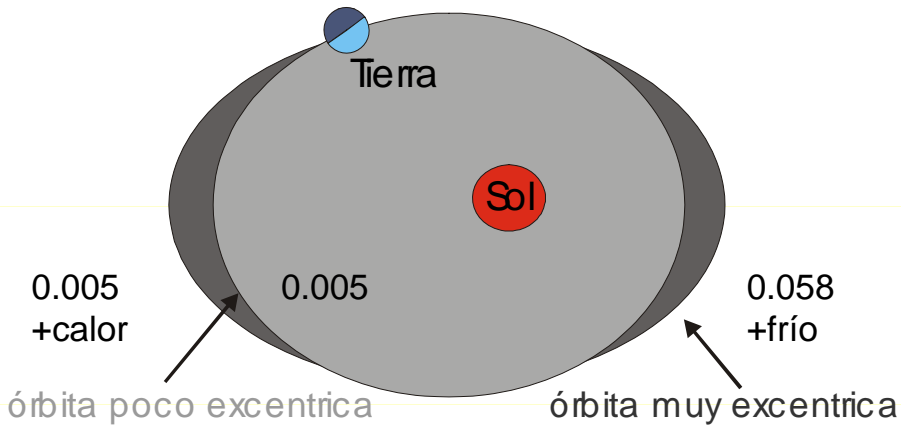
Ciclicidades planetarias descritas como:

## Ciclos de Milankovitch

Ciclos definidos matemáticamente, debidos a la atracción gravitacional del Sol, planetas mayores y la Tierra. Son 3 diferentes ciclos sobreimpuestos de cambios en la órbita y eje terrestre cuya suma incide en lapsos que favorecen periodos más fríos y más cálidos

# Ciclos de Milankovitch

## Variación en la excentricidad de la órbita terrestre

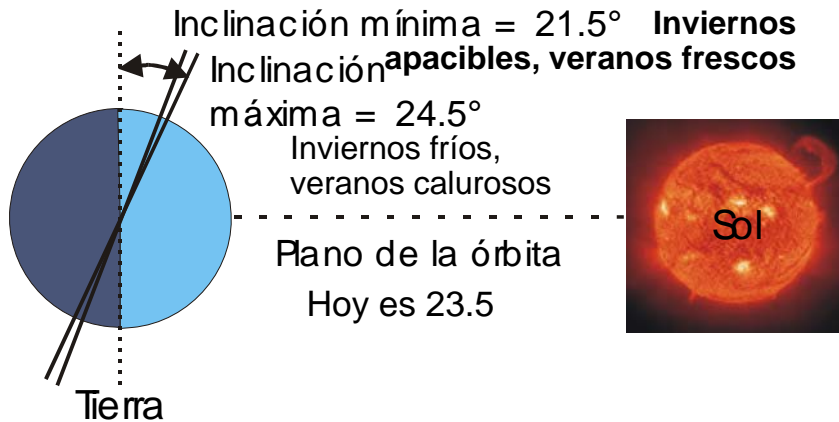


El ciclo se cumple cada 100,000 años

Con máximas variaciones cada aprox 400,000

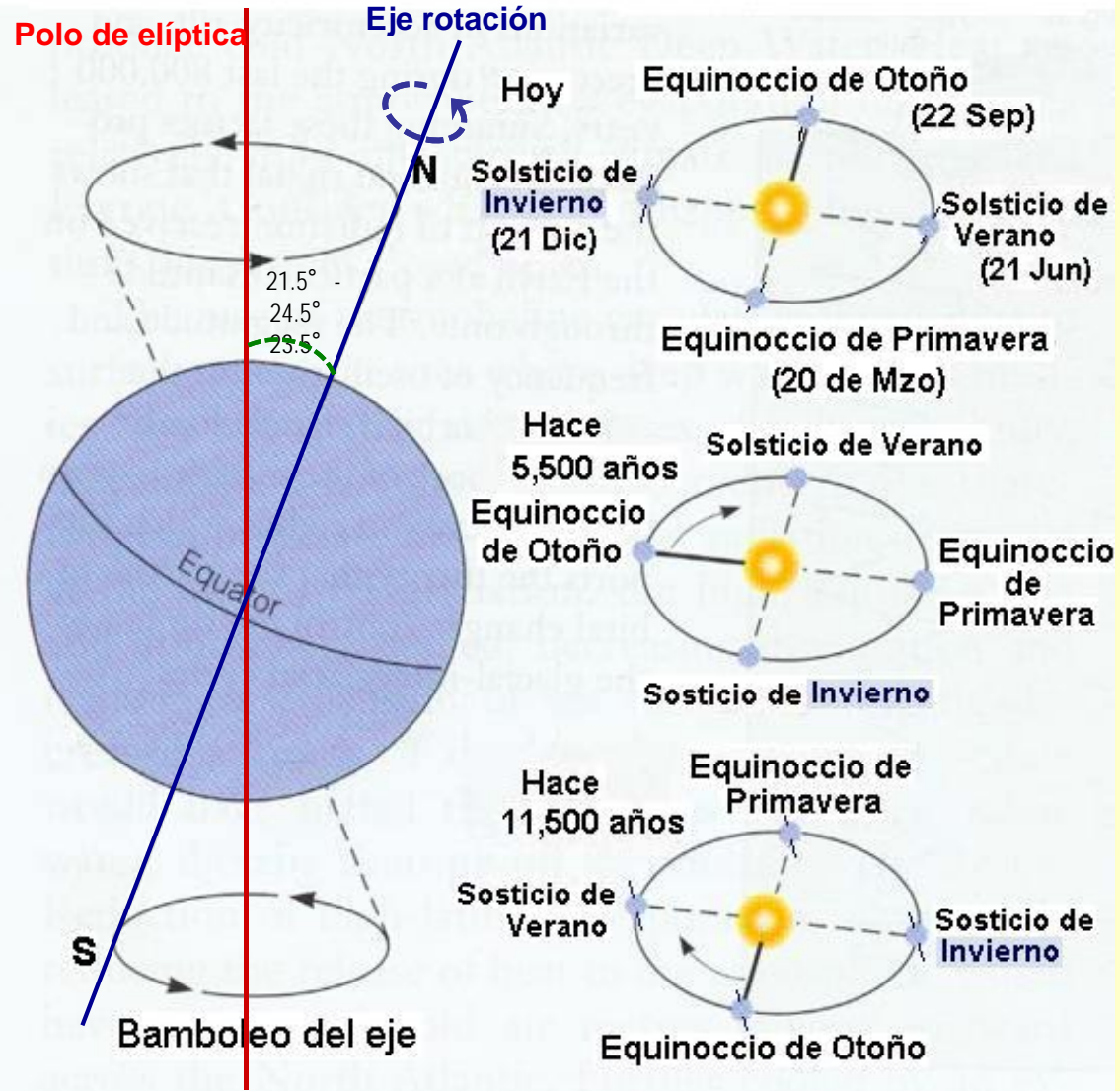
Hoy es 0.017

## Variación en la inclinación del eje de la Tierra



El ciclo se cumple cada 40,000 años

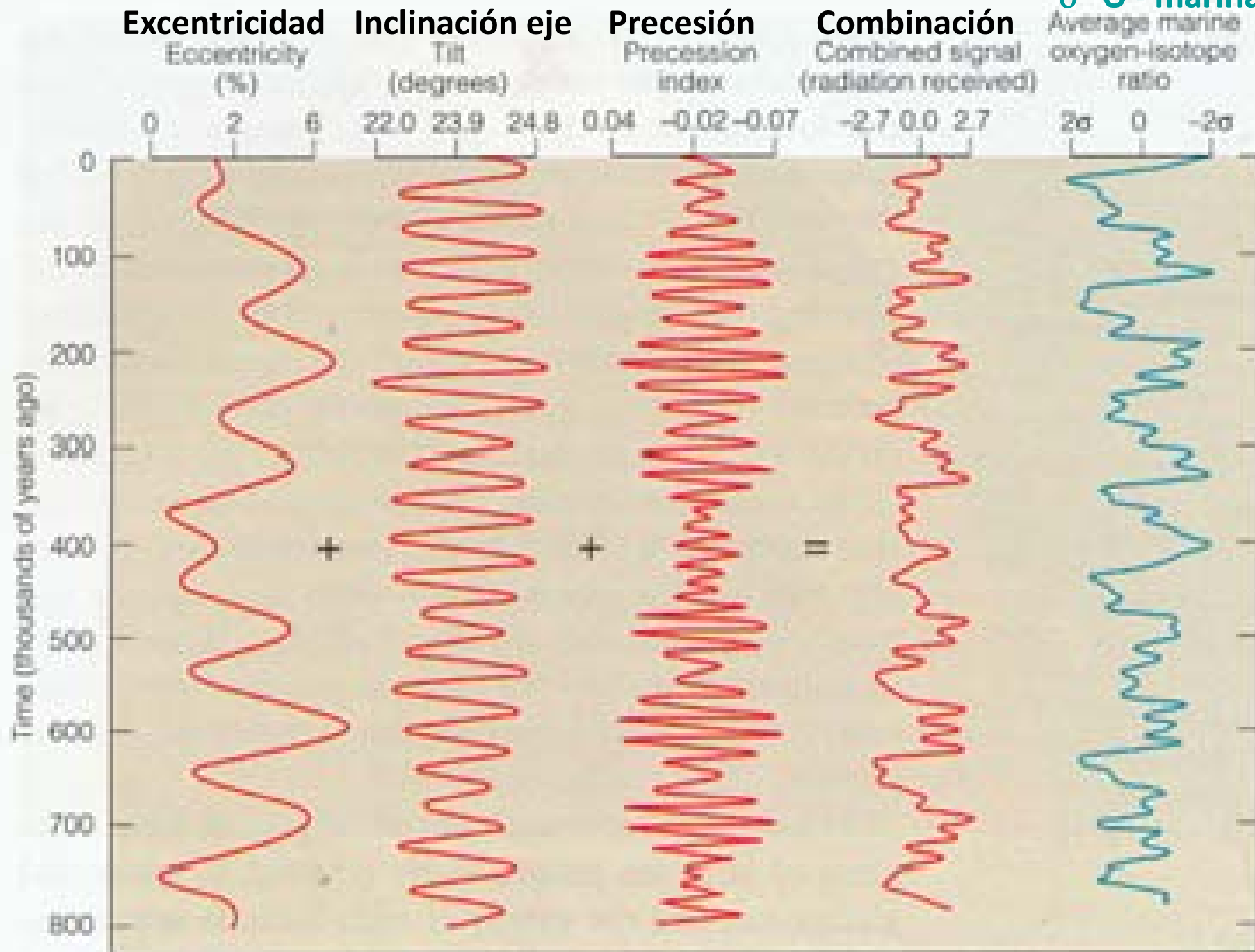
## Precesión de los Equinoccios





# Ciclos de Milankovitch

Isotopía de  $\delta^{18}\text{O}$  - marina



# Curvas de fluctuaciones del nivel del mar

## ¿Son globalmente sincrónicas?

Estas curvas son patrones imprecisos:

+ Pueden tener efectos locales y algunos cambios importantes no deberse principalmente a cambios globales.

+ Deben considerarse únicamente como patrones de tendencias globales

+ Están fechadas solo bioestratigráficamente y pueden en muchos casos tener errores de cientos a miles de años cuando se refieren con fechamientos radiométricos.

**No deben ser usadas como herramientas de correlación precisas**

Es más efectivo construir curvas particulares por áreas y/o cuencas para emplearlas como herramientas de correlación local / regional

## Fuentes bibliográficas:

- G. Nichols., 2009. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell 2nd. Edition
- Coe, A.L. (Ed.), 2003. **The Sedimentary Record of Sea-level change**. *Cambridge University Press, Cambridge*.
- Terminología y glosario de: <http://www.sepmstrata.org/> (ej. <http://www.sepmstrata.org/Terminology.aspx?id=accommodation>, consultado 29 abril 2016)
- Posamentier, H.W., Allen, G.P., 1999, **Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications**. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology no. 7, 210 p