

INDICADORES GEOQUÍMICOS (*Proxies*)

Información preservada en el sedimento “impronta”

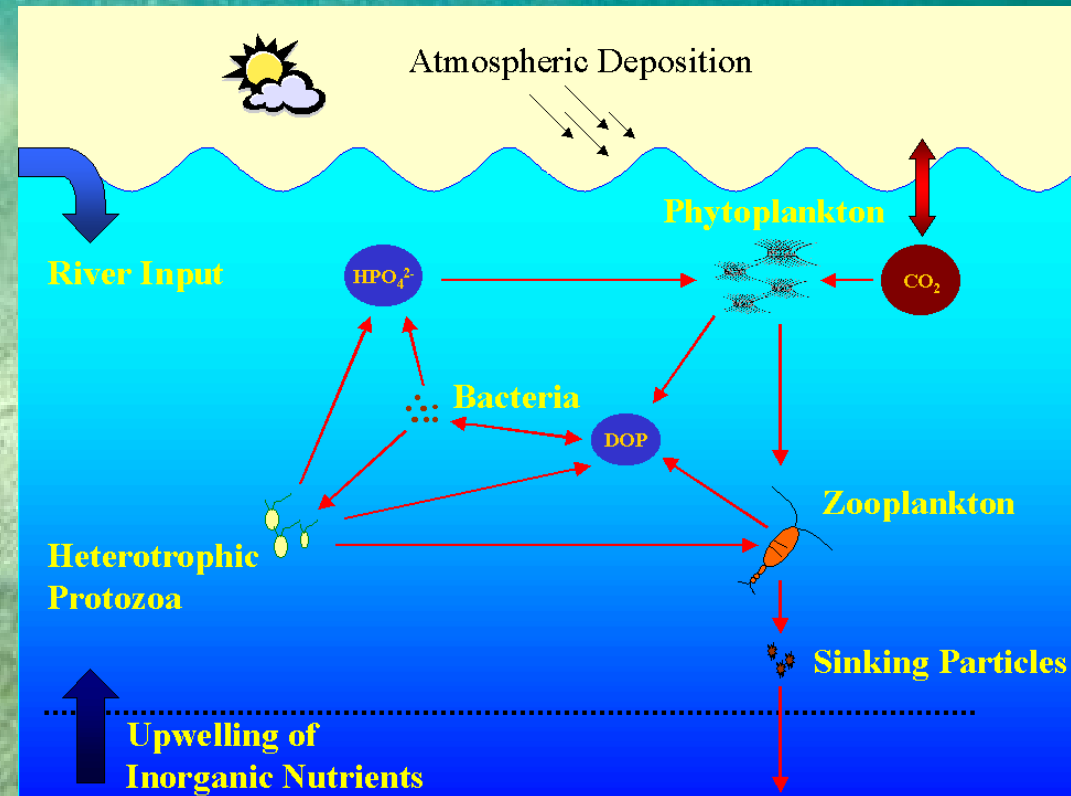
- **Temperatura:** composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$) y de elementos químicos en caparzones de organismos (Mg/Ca, Sr, Cd).
- **Contribución terrígena:** Al y Ti, razones de Fe/Ca y Ti/Ca (Arz et al., 1998; Mahiques et al., 2009);
- **Origen de la MO:** $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y razón C/N (Saito et al. 1989; Prahl et al. 1994; Tyson, 1995),
- **Productividad:** (C_{org} , N_t , CaCO_3 , P, Ca, Ba y razones de Al/Ti , Ba/Al y Ba/Ti (Golberg & Arrhenius, 1958; Broecker, 1982; Dymond et al., 1992; Paytan & Kasner, 1996, Mahiques et al., 2009);
- **Hidrodinámica:** (tamaño del grano, diámetro medio y selección) Gyllencreutz et al., 2010).
- **Como respuesta a la sumatoria de las características ambientales:** distribución de las asociaciones de determinados organismos (foraminíferos) (Murray, 2006; Burone & Vanin, 2006).

Materia Orgánica

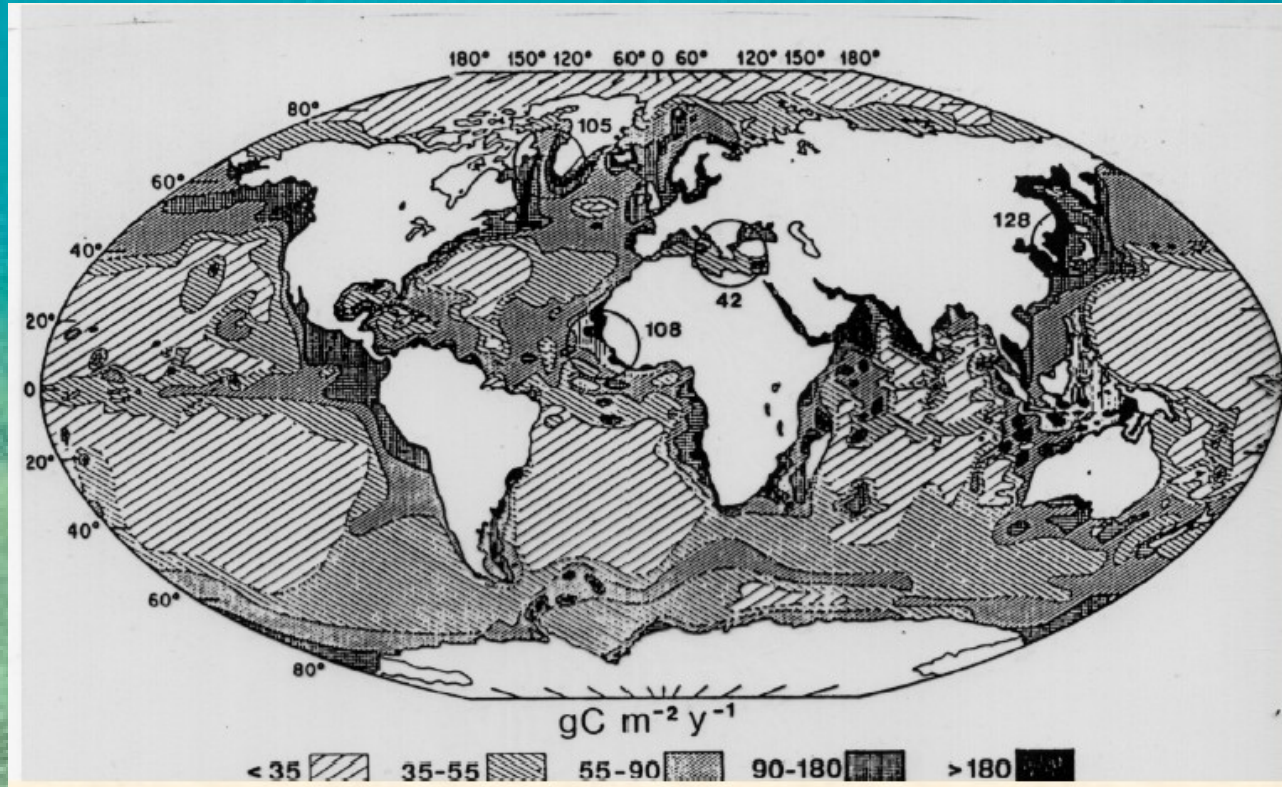
La importancia de la MO en los sedimentos marinos deriva, no sólo de la significativa reserva que suponen en el ciclo global del C, sino también del importante papel que juega la MO en la química de los océanos, a través de los procesos de diagénesis.

MO utilizada para entender procesos oceanográficos:

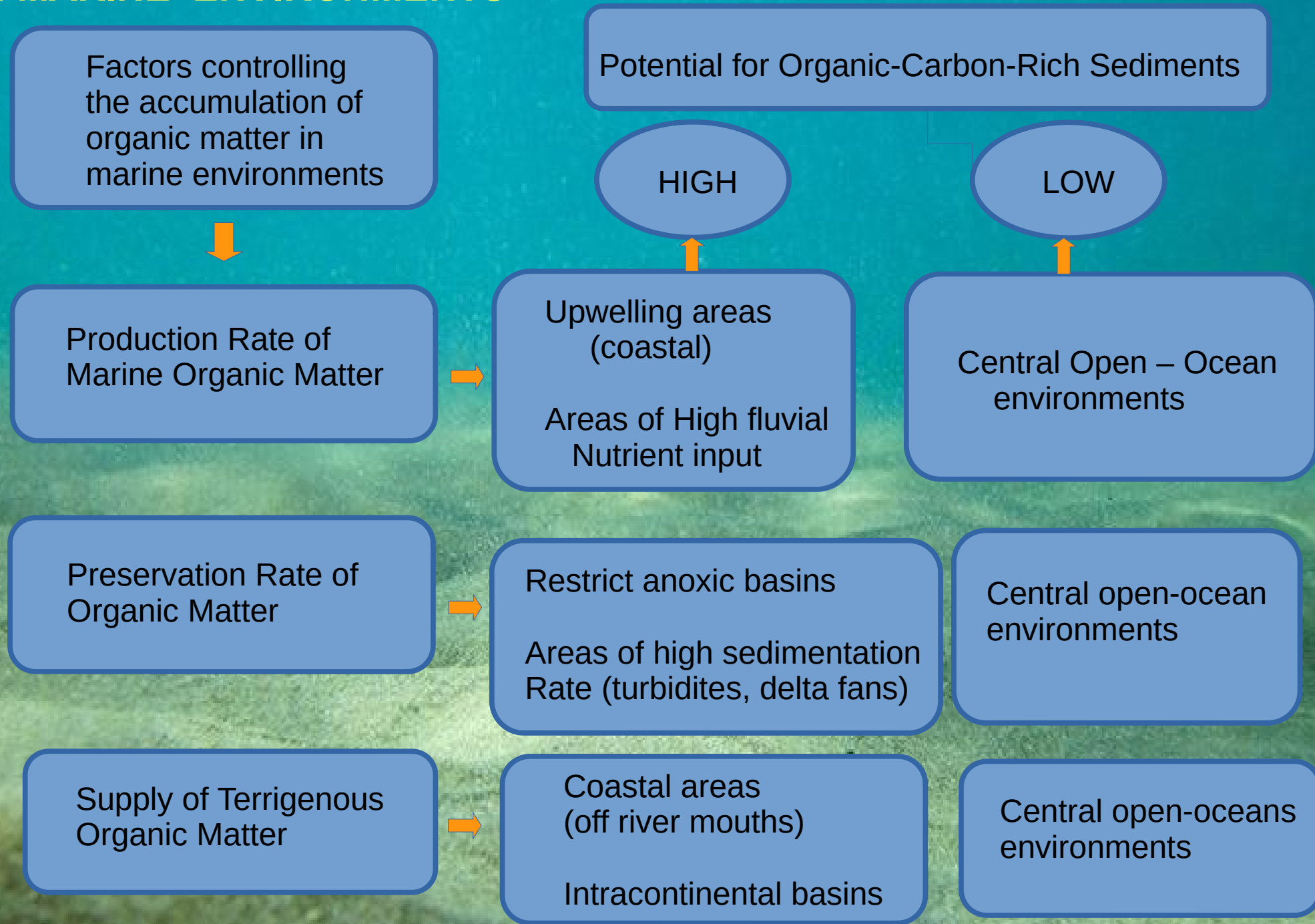
- Productividad marina
- Aporte de material continental
- Dinámica de masas de agua
- Potencial de óxido-reducción
- Tazas de sedimentación (correlación)



DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL AMBIENTE MARINO



FACTORS CONTROLLING THE ACCUMULATION OF ORGANIC MATTER IN MARINE ENVIRONMENTS



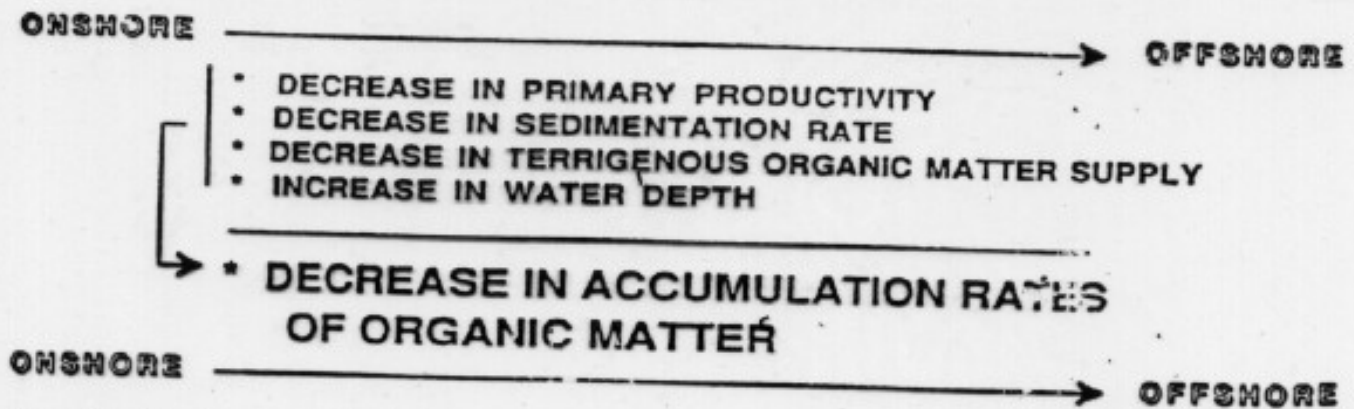


Fig. 4: Factors causing decrease in accumulation of organic matter in offshore environments.

Tab. 1: Global net primary production (from Romankevich, 1984)

Ecosystem	Area (10^6 km ²)	10^9 t C _{org} yr ⁻¹	gC _{org} m ⁻² yr ⁻¹
Estuaries	1.4	1.0	714.3
Upwelling zones	0.4	0.1	250.0
Continental shelf	26.6	4.3	161.6
Open ocean	332.0	18.7	56.3

From Table 1 it is obvious that the organic carbon produced in the high-productivity areas is only a minor proportion of the total annual production of organic carbon in the world ocean because these areas are very small in comparison to the open ocean area.

ANÁLISIS ELEMENTAL DE LA MATERIA ORGÁNICA (C_{org} , N_t)

- El C_{org} es el principal componente de los compuestos biológicos y de esta forma la determinación de su concentración en el sedimento puede ser aplicada en la inferencia de la productividad marina y paleoproductividad.
- El N es uno de los componentes más importante de las proteínas.
- Razón C/N: indicadora de origen marino (algas) vs terrestre (plantas superiores) de MO

(Meyers, 1994) MO derivada de algas presentan valores de C/N (4 y 10)

MO derivada de plantas superiores C/N (> 20)

Stein (1991) MO derivada de algas valor de C/N (10)
MO origen mixto C/N alrededor de (10)

Algas (alta concentración de proteínas)
Plantas terrestres (ricas en celulosa)

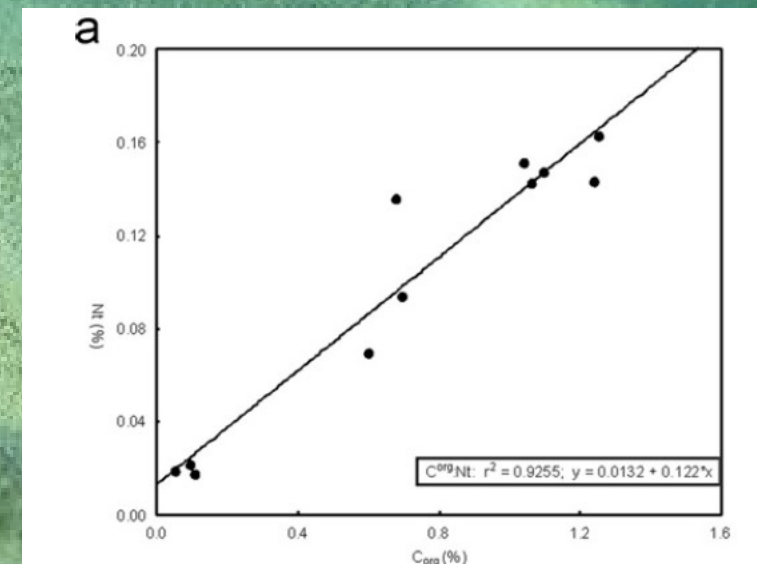
BUT BE CAREFULL!!!!

LOS CUIDADOS QUE DEBEMOS TENER CON ESTE PROXY

- Sufre influencia con tamaño de grano
- Si trabajamos en ambientes costeros el Nt puede contener nitrógeno orgánico
- La MO sufre importantes efectos de la diagénesis (registro paleoceanográfico alterado)
- El N (algal) es remineralizado 25% más rápido que el C_{org} en los primeros 100-250 m de la columna de agua (Valiela, 1984; Tayson, 1995 y 50 % más rápido en los primeros centímetros de la columna de sedimento (diagénesis)
- El retrabajamiento de la MO en la plataforma (alta E) resulta en aumentos de la razón C/N.

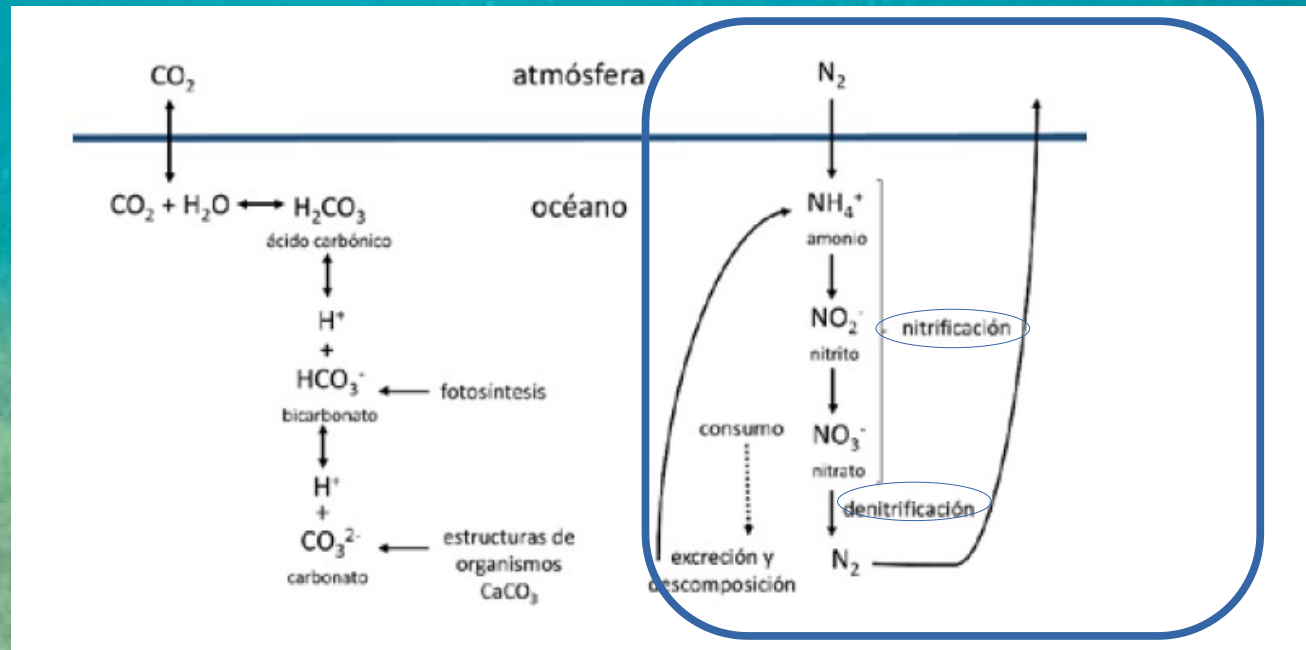
Siempre debemos trabajar con un enfoque multiproxy

Burone et al.(2013)



ISOTOPOS ESTABLES DE LA MATERIA ORGÁNICA $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

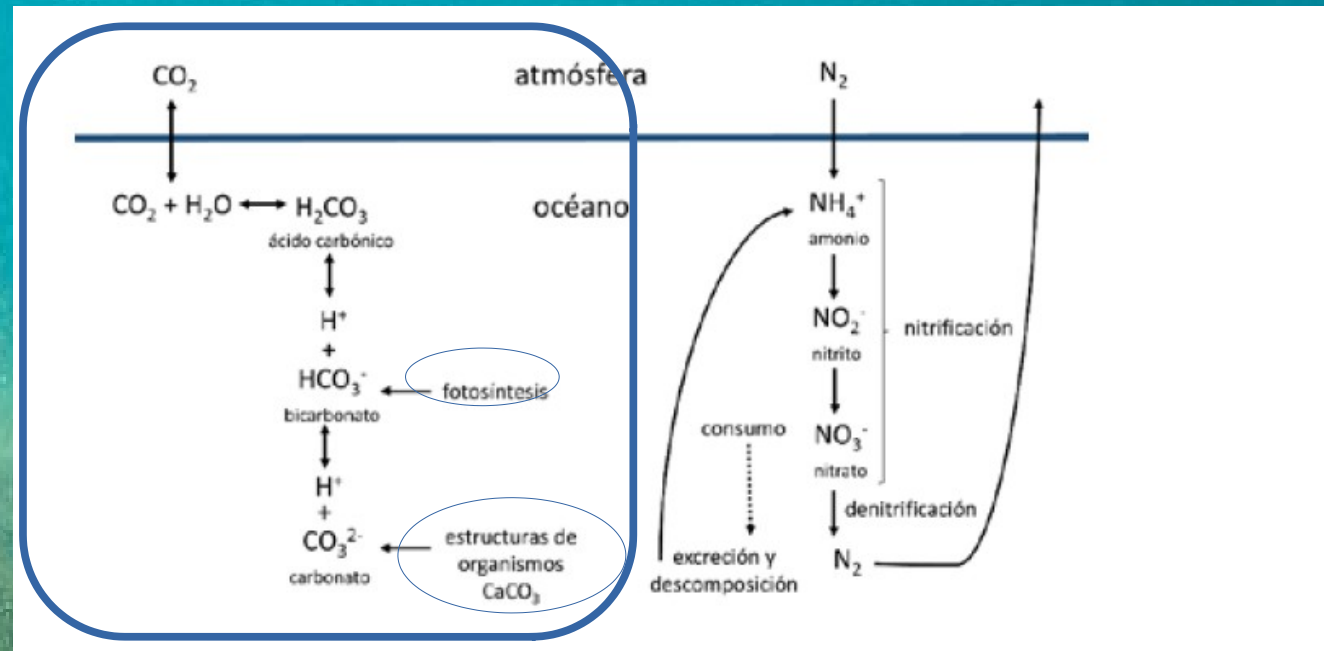
Ciclos de N y C en los ecosistemas marinos



- El N también forma parte de los organismos como aa, proteínas y otros compuestos.
- Al morir los organismos aportan N al fondo que es llevado a la superficie por surgencias
- Las bacterias transforman el N en amonio, nitrito y nitrato → FITOPLANCTON
- Las bacterias también son capaces de utilizar formas inorgánicas del N

ISOTOPOS ESTABLES DE LA MATERIA ORGÁNICA $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

Ciclos de N y C en los ecosistemas marinos



El C puede encontrarse en el océano como CO_2 (en bajas proporciones)

ISOTOPOS ESTABLES DE LA MATERIA ORGÁNICA $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

“ISO” (Igual) y “TOPO” (Lugar): átomos que a pesar de la diferencia en el número másico se encuentran en el mismo lugar en la tabla periódica ya que continúan siendo el mismo elemento.

Son “Estables” porque no poseen radioactividad

Átomos de C (6 protones + 6 neutrones) = ^{12}C
(6 protones + 7 neutrones) = ^{13}C

Átomos de N (7 protones + 7 neutrones) = ^{14}N
(7 protones + 8 neutrones) = ^{15}N

Los átomos de ^{12}C y ^{14}N se conocen como ligeros y los de ^{13}C y ^{15}N como isótopos estables (enriquecen tejidos en el fraccionamiento por ser más pesados)

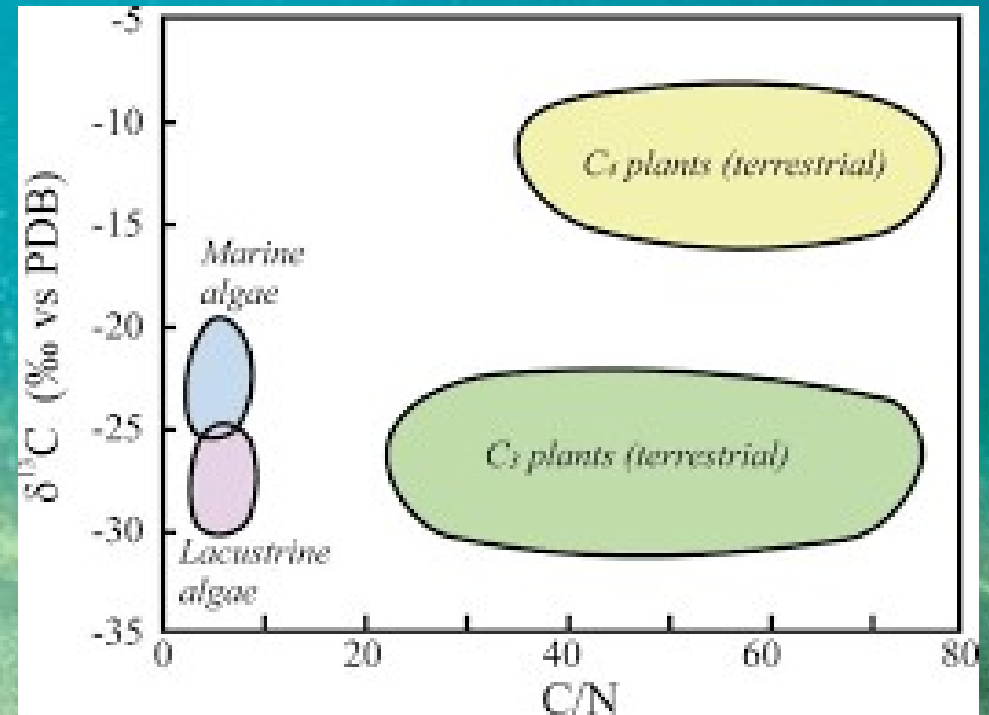
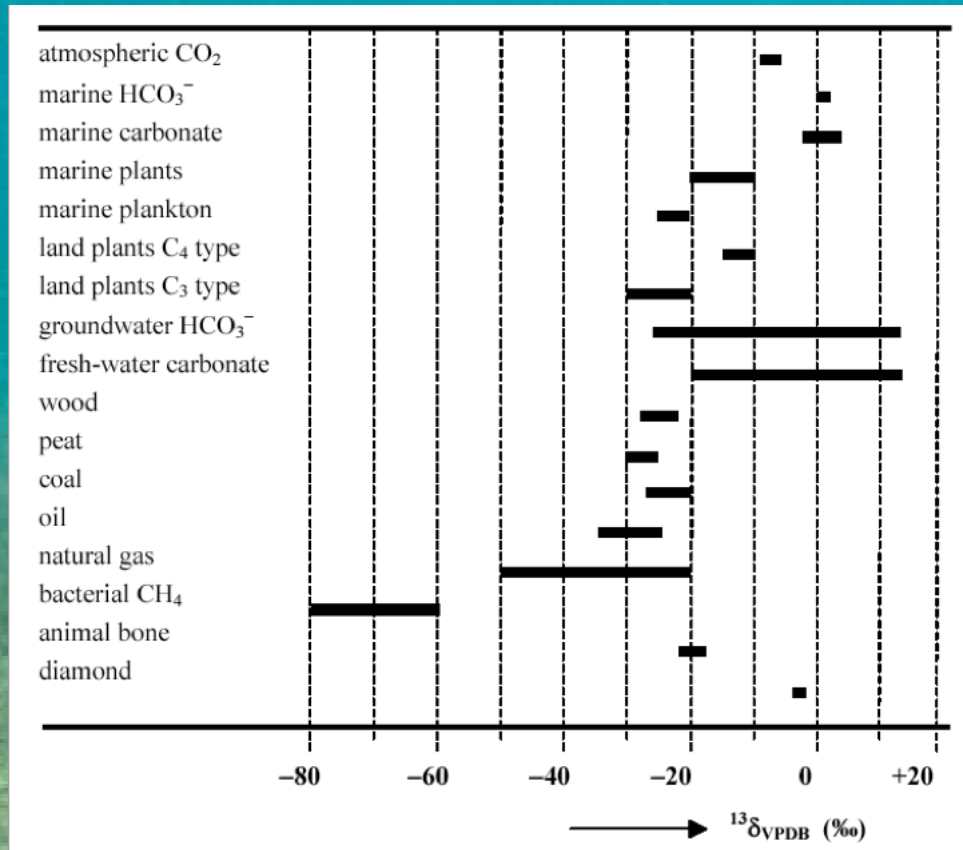
$$\delta X(\text{‰}) = \left[\frac{(*X/X)_{\text{muestra}}}{(*X/X)_{\text{estandar}}} - 1 \right] \cdot 1000$$

Donde $*X$ y X son los isótopos pesados y ligeros de los elementos. Para nitrógeno, el valor estándar es el nitrógeno atmosférico y el estándar de carbono es el Carbono Pee Dee Belemnite basado en un fósil marino del Cretácico (*Belemnitella americana*).

Para el N el valor estándar es el N_{atm}

Para el C es el *Carbono Pee De Belemnite* (fósil marino del Cretácico; *Belemnitella americana*)

ISOTOPOS ESTABLES DE LA MATERIA ORGÁNICA $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$



El $\delta^{13}\text{C}$ refleja la dinámica de la asimilación del carbono durante la fotosíntesis y la composición isotópica de la fuente de Carbono (Hayes, 1993).

Meyers (1997)

Valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -18 y -22 ‰ (MO marina)
 $\delta^{13}\text{C}$ de -27 ‰ plantas C₃ y
 $\delta^{13}\text{C}$ de -14 ‰ plantas C₄ (gramíneas)

ISOTOPOS ESTABLES DE LA MATERIA ORGÁNICA $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

- De forma similar el N se utiliza para reconocer la fuente de nutrientes basado en el hecho de que los organismos asimilan N para producir biomasa.
- La fuente de N contenida en el $\delta^{15}\text{N}$ deja su impronta en la MO depositada en el sedimento (Robinso et al., 2012).

Valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre - 5 y 22 ‰ (Valor promedio 3 ‰ ; MO plantas vasculares)
 $\delta^{15}\text{N}$ de 3 y 12 ‰ (Valor promedio 6 ‰; MO algal)

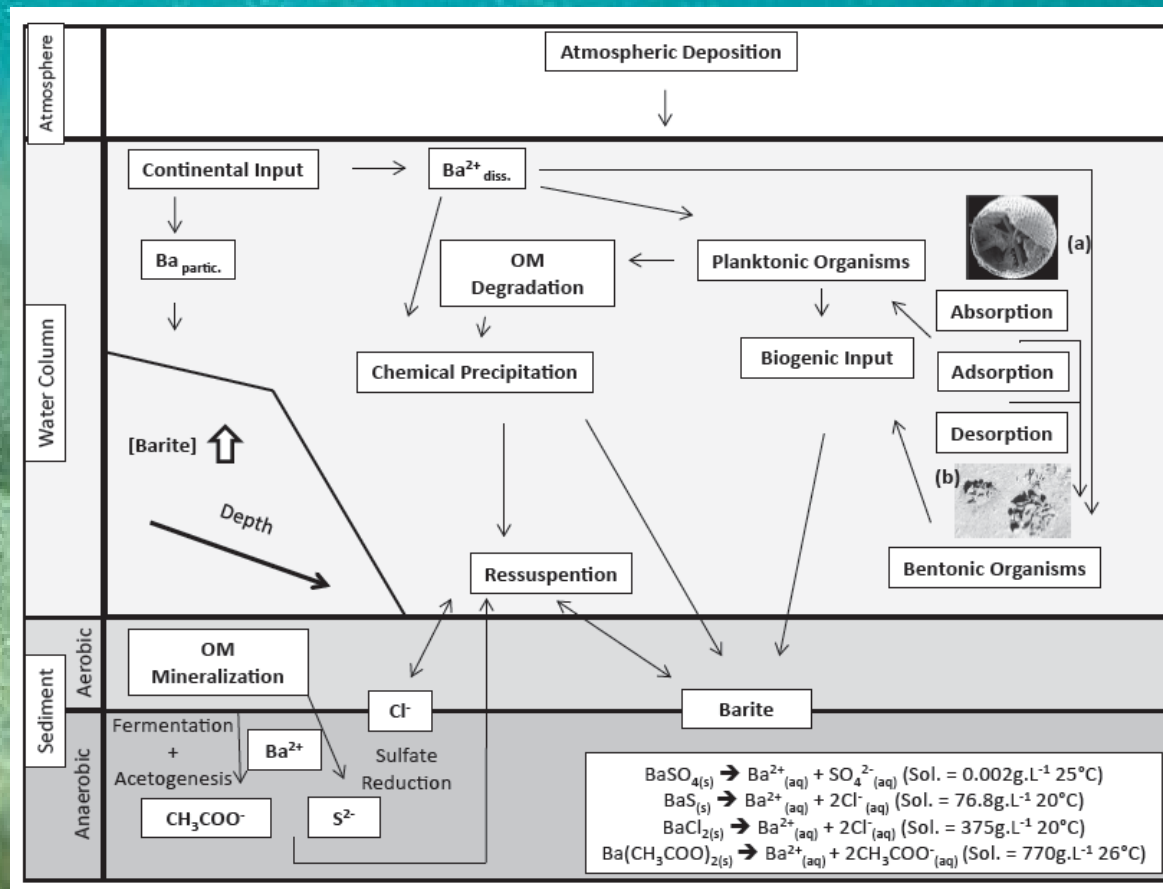
Hu et al. (2006)

INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD MARINA: CaCO_3 , P, Ca, Ba, Ba/Al y Ba/Ti

Bario: elemento trazo (rocas ígneas y sedimentarias) que ocurre como Barita (BaSO_4 ; mineral formado autigénicamente en el mar).

Se ha demostrado relación directa entre Barita, flujo de carbono orgánico y restos de esqueletos de organismos silíceos en sediment traps (Dymond et al., 1992).

Barita es considerada un excelente indicador de productividad.



Problemas con el uso de Ba

Los valores de Ba biogénico (Ba_{bio}) (Pteifer et. al., 2001) o Ba en exceso (Ba_{excess}) (Moreno et al., 2002) son los considerados como los marcadores de paleoproductividad más efectivos (Kasten et. al., (2003).

Sin embargo, para utilizar este *proxie* se debe conocer adecuadamente el valor de Ba detrítico para poder calcular el Ba_{bio} . Esto se calcula a partir de la ecuación:

$$Ba_{bio} = Ba_{total} - [Al \times (Ba/Al)_{det}]$$

$$Ba_{excess} = Ba_{total} - Ba_{terrigenous}$$

$$Ba_{excess} = Ba_{total} - (Al_{total} \times (Ba/Al)_{detrital})$$

Mostrar cálculo en f(x) de Z

Carbonato de Calcio (CaCO_3)

El contenido de **carbonato biodetrítico** es una importante herramienta tanto en estudios actuales como en pretéritos.

Permite realizar interpretaciones vinculadas con la productividad y paleoproductividad marina y con el aporte de origen continental (Burone et. al., 2013, Franco-Fraguas et. al., 2014).

El fitoplancton y el zooplancton son las principales fuentes de carbono orgánico en el ambiente marino.

Considerando que estos organismos planctónicos construyen sus tecas de CaCO_3 u opalo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) constituyen la mayor parte de la fracción biogénica del sedimento depositado en el margen continental y planicies oceánicas.

INDICADORES DE APORTE TERRÍGENO vs MARINO

Al, Ti, Fe, K, Fe/Ca y Ti/Ca - determinación de la fuente del sedimento
 - para desvendar los mecanismos de depositación (Pattan *et al.*, 1995).

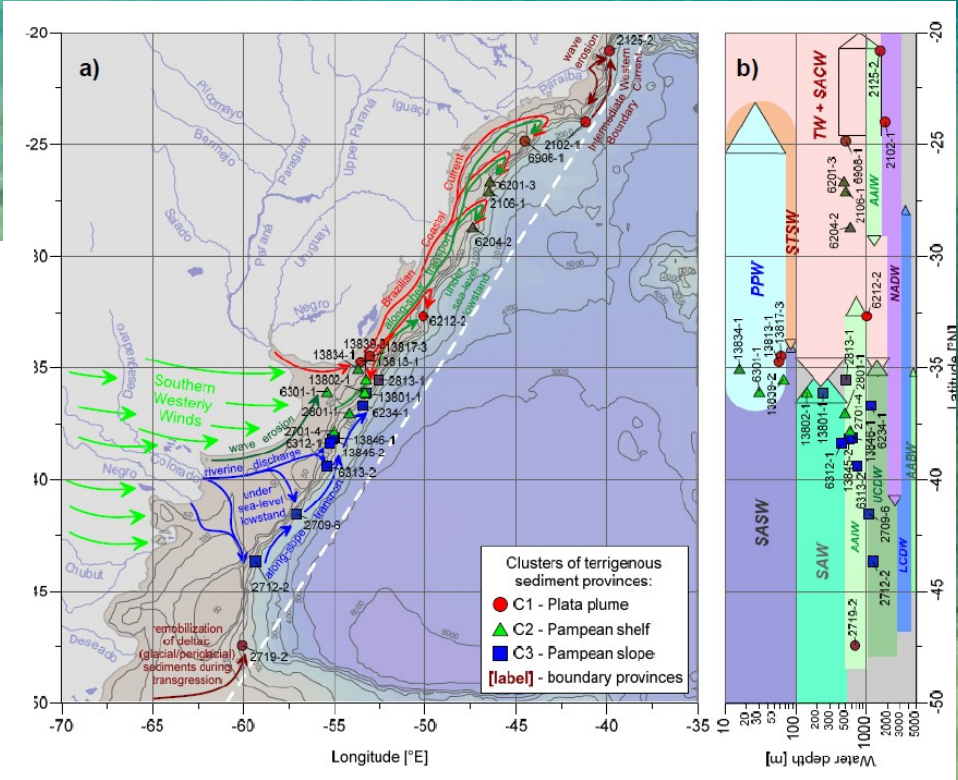
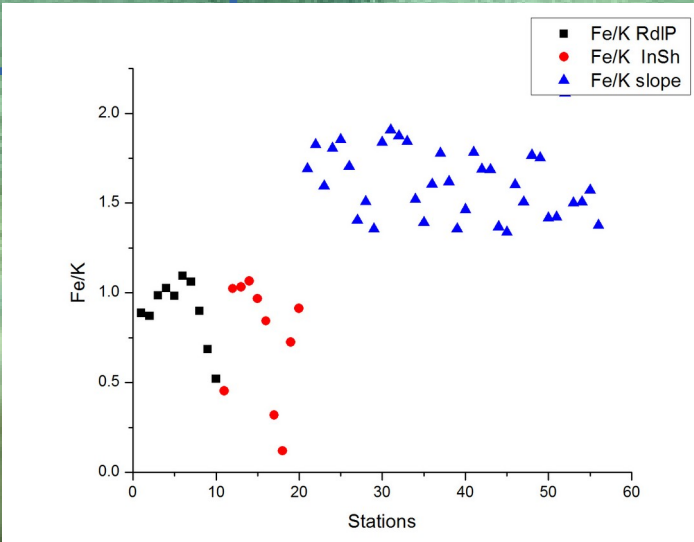
Ti, Al y K resultan poco afectados por las variaciones biológicas y redox.

Fe puede sufrir alteraciones considerables por procesos redox (Jansen *et al.*, 1998; Yarincik *et al.*, 2000; Löwemark *et al.*, 2011).

Al/Si y Fe/K Contribuyen con la identificación del origen del sedimento ya que las razones reflejan Las condiciones climáticas en las que se encuentran las rocas madres.

Plata Plume: 2,42
 Pampean shelf: 1,26
 Pampean slope: 1,82

Razic *et al.* (2015)



PROXIES BIOLÓGICOS

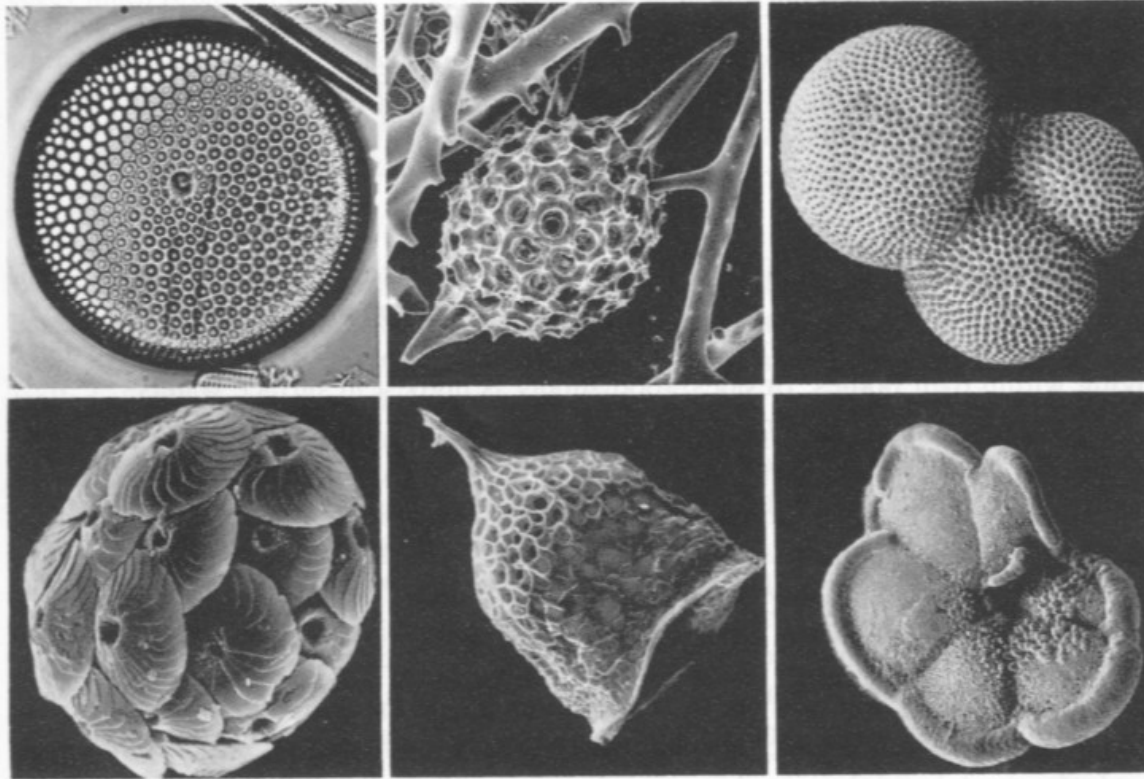


Fig. 8.3. Shell-bearing planktonic organisms. *Clockwise from upper left* Siliceous diatom (x 600), centric warm-water form; siliceous radiolarian (x 180); calcareous warm-water foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (x 55); tropical subsurface foraminifer *Globorotalia menardii* (x 28); organic-walled tintinnid (x 480); calcareous coccolithophore (x 2100) with interlocking platelets ("coccoliths"). [Diatom microphoto by H.-J. Schrader; all others: SEM photos by C. Samtleben and U. Pflaumann]

PROXIES BIOLÓGICOS

Se entiende como indicadores biológicos o bioindicadores todas las especies que contribuyen a descifrar fenómenos o acontecimientos inferidos a través del estudio de las mismas, tanto en el pasado como en la actualidad (Boltovskoy, 1959).

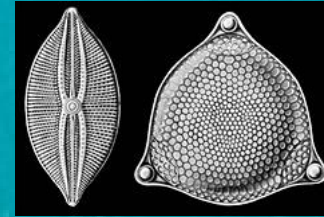
• PROPIEDADES DE LOS INDICADORES BIOLÓGICOS

- Alta sensibilidad a las alteraciones de las condiciones ambientales.
- Alta abundancia de organismos en poco volumen de muestra.
- Ciclos cortos de vida.
- Facilidad de colecta y almacenamiento
- Fácil identificación

PROXIES BIOLÓGICOS

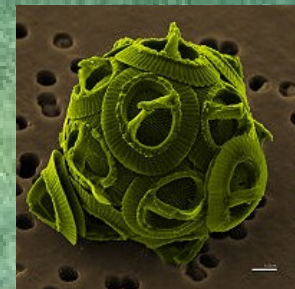
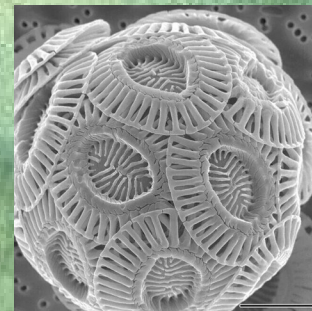
Diatomeas: algas unicelulares microscópicas (unicelulares, colonias, filamentos, estrelladas, etc).

- Poseen una frústula de sílice opalino (dióxido de silicio hidratado).
- Uno de los tipos más comunes del fitoplancton.
- Aproximadamente 20.000 spp actuales.
- Jurásico



Cocolitofóridos: son algas unicelulares, protistas fitoplanctónicas pertenecientes al filo Haptophyta.

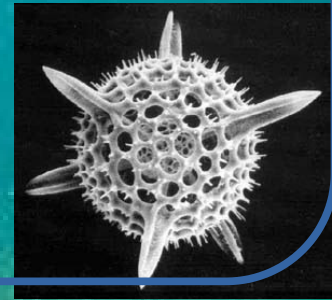
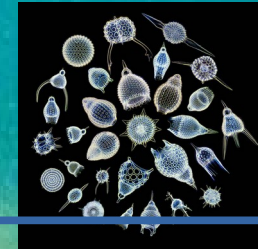
- Cubiertos por placas (o escamas) distintivas de CaCO_3 (cocolitos).
- Son exclusivamente marinos y se presentan en gran número en la zona fótica del océano. - - Especie *Emiliania huxleyi*.
- Debido al tamaño microscópico, extensa distribución de muchos de sus grupos, los cocolitos (nanoplancton calcáreo) son muy importantes como fósiles traza para resolver cuestiones de estratigrafía.
- Cambios de temperatura y salinidad



PROXIES BIOLÓGICOS

Radiolarios: grupo de protozoos ameboides que producen intrincados esqueletos minerales (de sílice).

- Típicamente con una cápsula central que divide la célula en secciones internas y externas, llamadas endoplasma y ectoplasma.
- Conforman el zooplancton marino.
 - Suelen ser unicelulares, aunque algunos forman colonias de miles de individuos
 - Ampliamente utilizados en estudios oceanográficos y bioestratigráficos.



Tintinidos: protozoos ciliados con caparazón formado por sulfato de estroncio.

- Unicelulares, heterótrofos.
- Son marinos y pertenecen al plancton oceánico a excepción del género *Tintinnopsis* que también vive en aguas dulces.
- Forman parte del microzooplancton.
- Surgen en el límite Jurásico/Cretácico.



PROXIES BIOLÓGICOS

Ostracodos: son una clase de crustáceos de muy reducido tamaño, muchas veces microscópicos (normalmente entre 0,1 y 2 mm).

- Se conocen unas 13.000 especies actuales y se estima que se han descrito 65.000 especies fósiles.
- El primer registro de ostrácodos corresponde al Ordovícico.
- Muy sensible a los cambios ambientales (reconstrucciones paleoambientales y paleoceanográficas).



Foraminíferos: son protistas "portadores de orificios" foramens.

