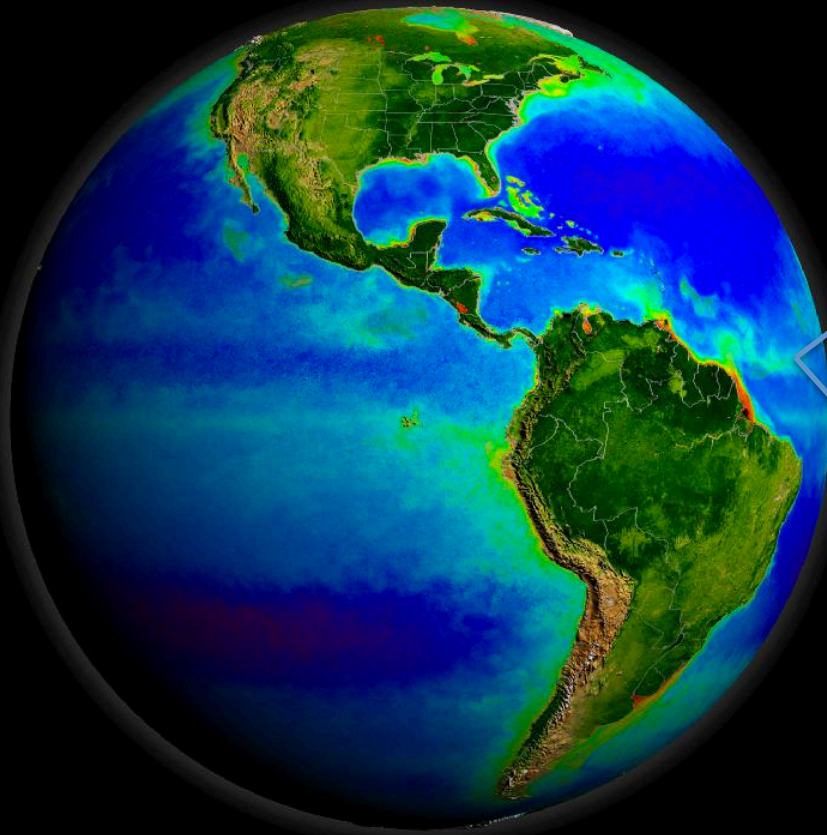


# ECOLOGÍA MICROBIANA MARINA: UN MAR DE MICROBIOS



**Dra. Silvia Pajares Moreno** (spajares@cmarl.unam.mx)

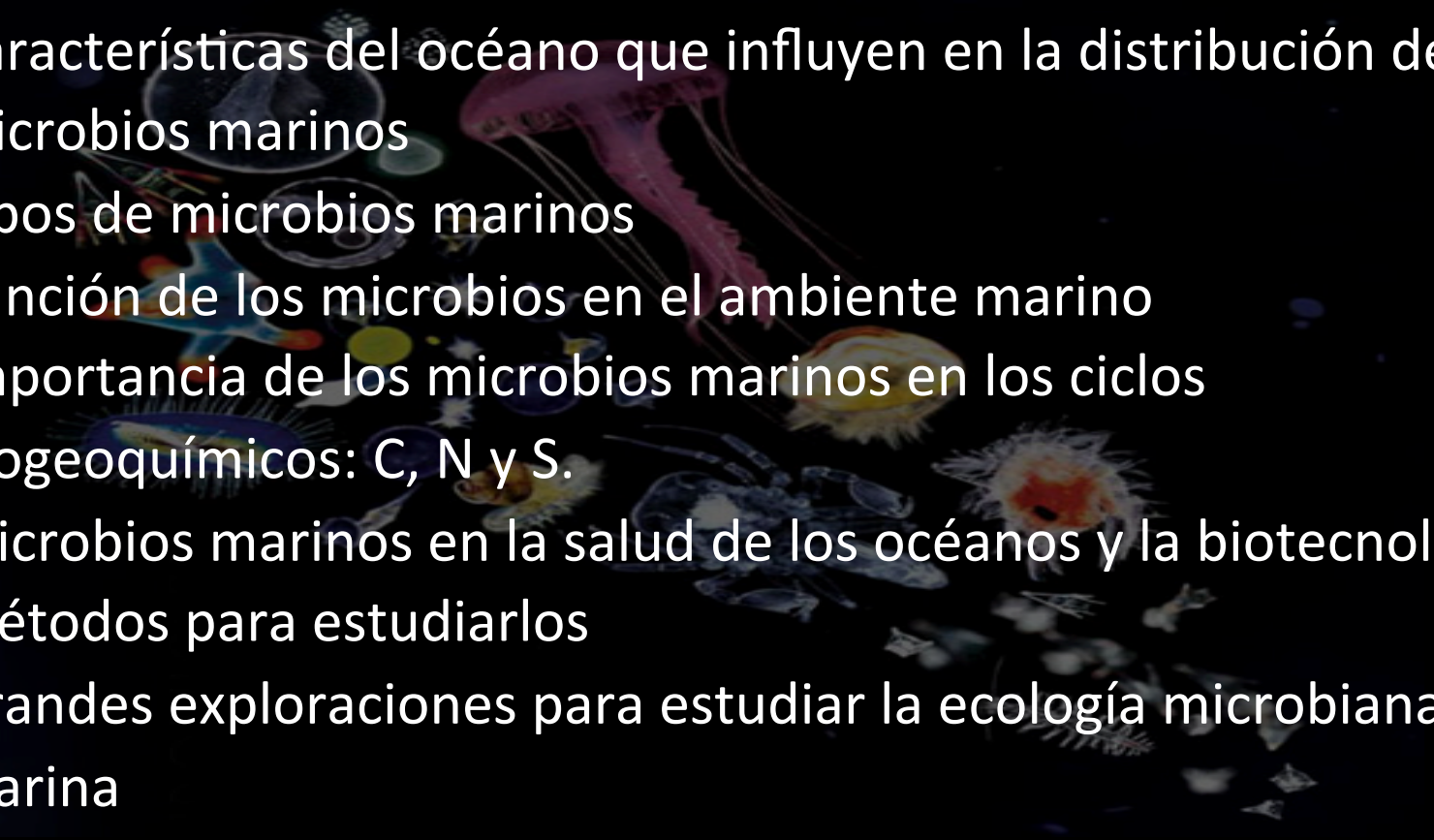
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM)

Oceanografía

Curso de divulgación científica



# ESTRUCTURA DE ESTA CLASE

- Características del océano que influyen en la distribución de los microbios marinos
  - Tipos de microbios marinos
  - Función de los microbios en el ambiente marino
  - Importancia de los microbios marinos en los ciclos biogeoquímicos: C, N y S.
  - Microbios marinos en la salud de los océanos y la biotecnología
  - Métodos para estudiarlos
  - Grandes exploraciones para estudiar la ecología microbiana marina
- 

# La riqueza de los océanos

O. Ártico

O. Atlántico

O. Pacífico

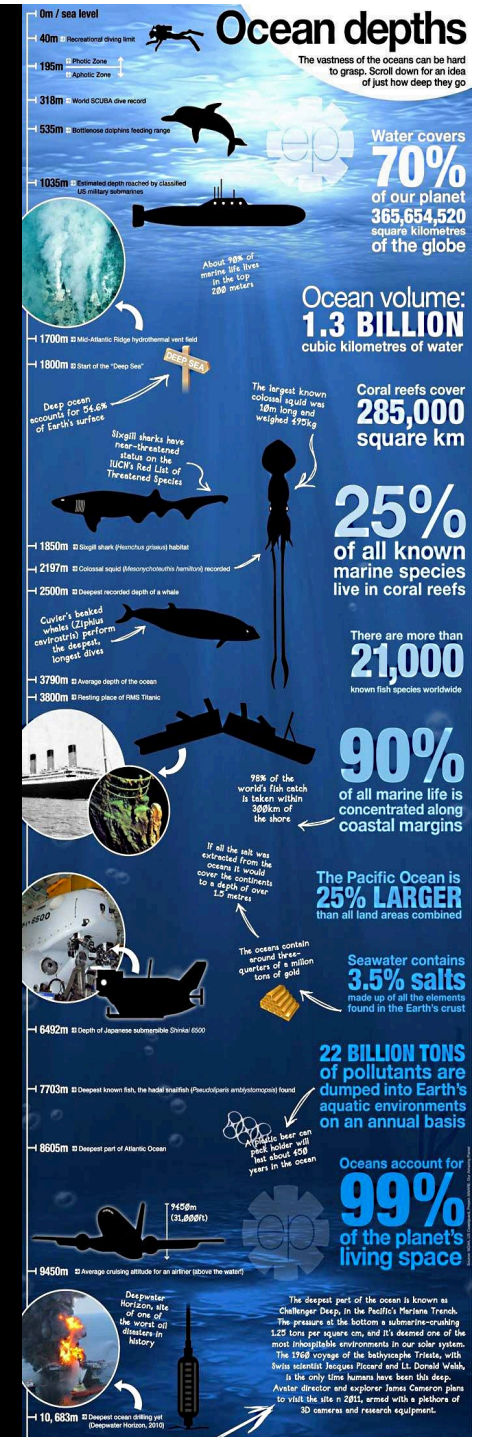
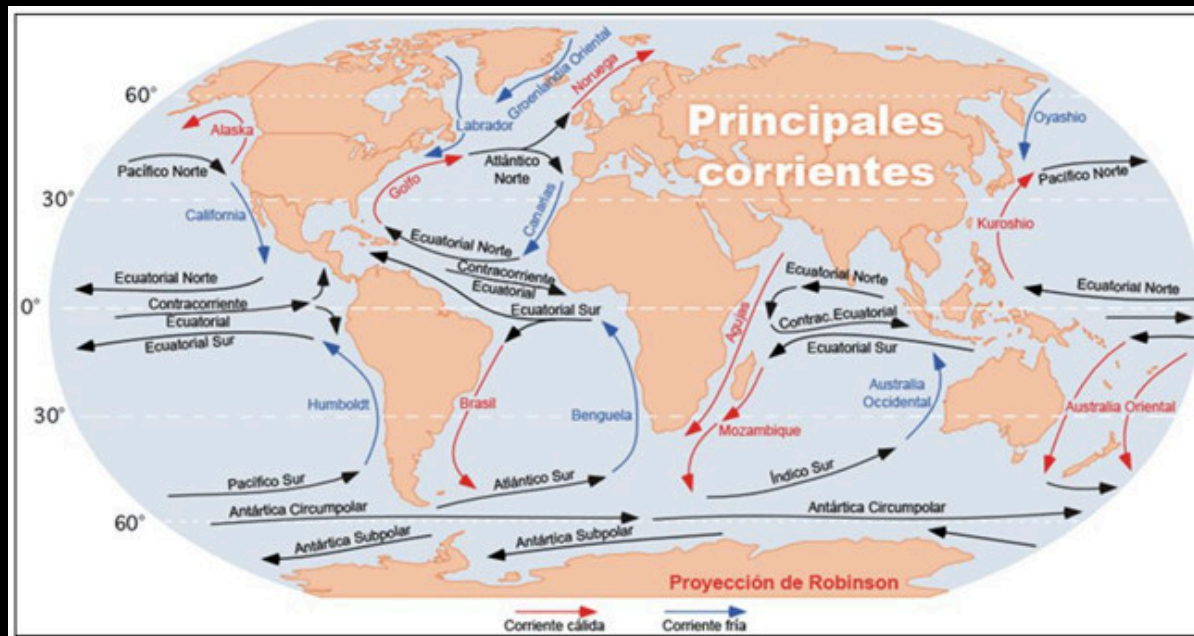
**¿Quiénes son los mayores habitantes del océano?  
¿Qué funciones realizan?  
¿Qué implicaciones tienen para la salud del planeta?**

O. Índico

O. Antártico

# Características del medio marino

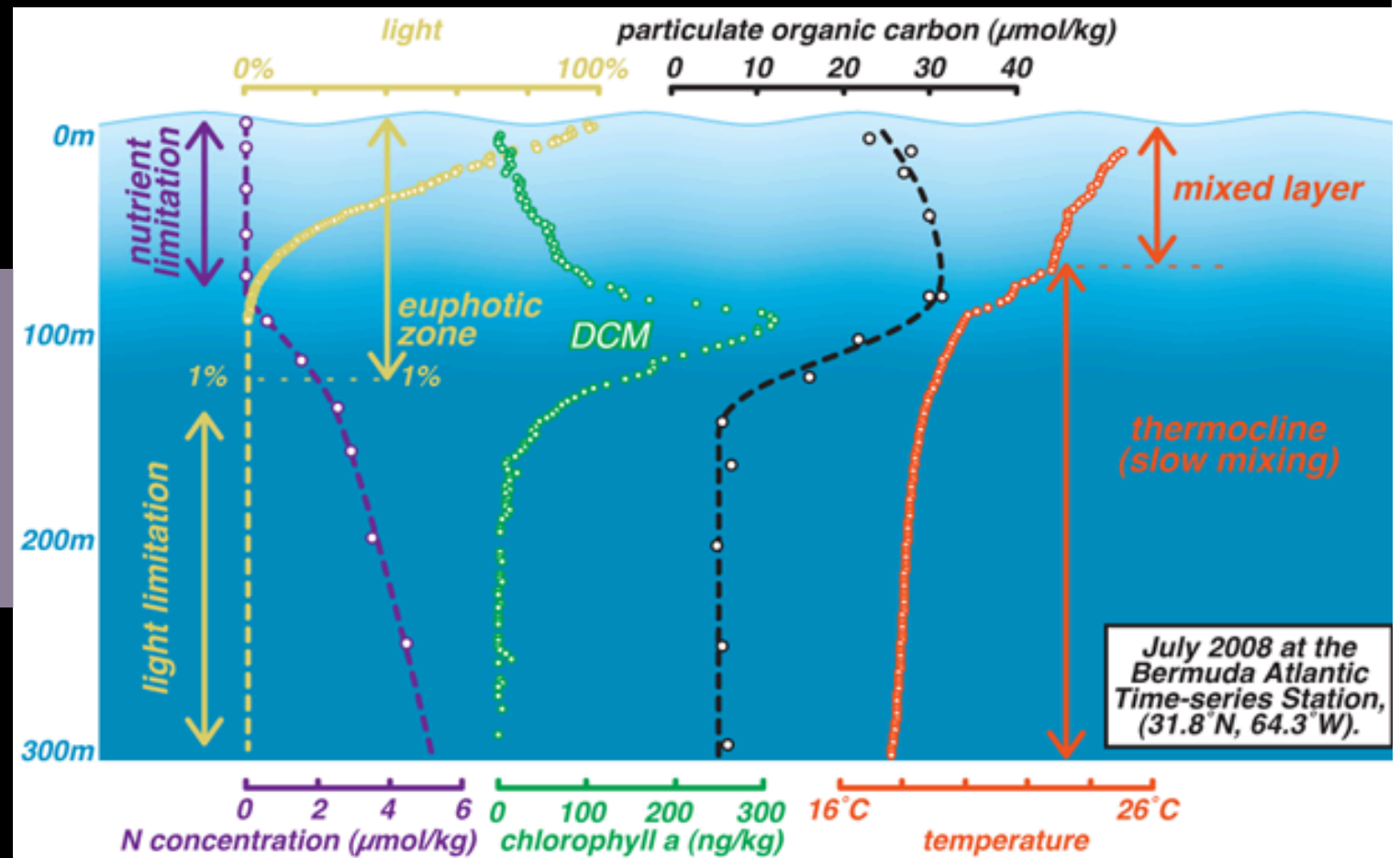
- 97% del agua del planeta
- 70% de la superficie terrestre
- Profundidad media de 4 km
- Agua ligeramente alcalina (pH 7.8 – 8.4)
- 3.5% Salinidad: Na, Cl, Mg, sulfatos, Ca, K (mayor en trópicos)
- Elementos limitantes: N, P y Fe
- Corrientes marinas



# Gradientes en el medio marino que afecta a la comunidad microbiana

- Ambiente extremo: temperatura, presión y luz
- Máximo de clorofila (20- 100 m): Mayor actividad fotosintética
- Zona de mínimo oxígeno: 100- 1000 m

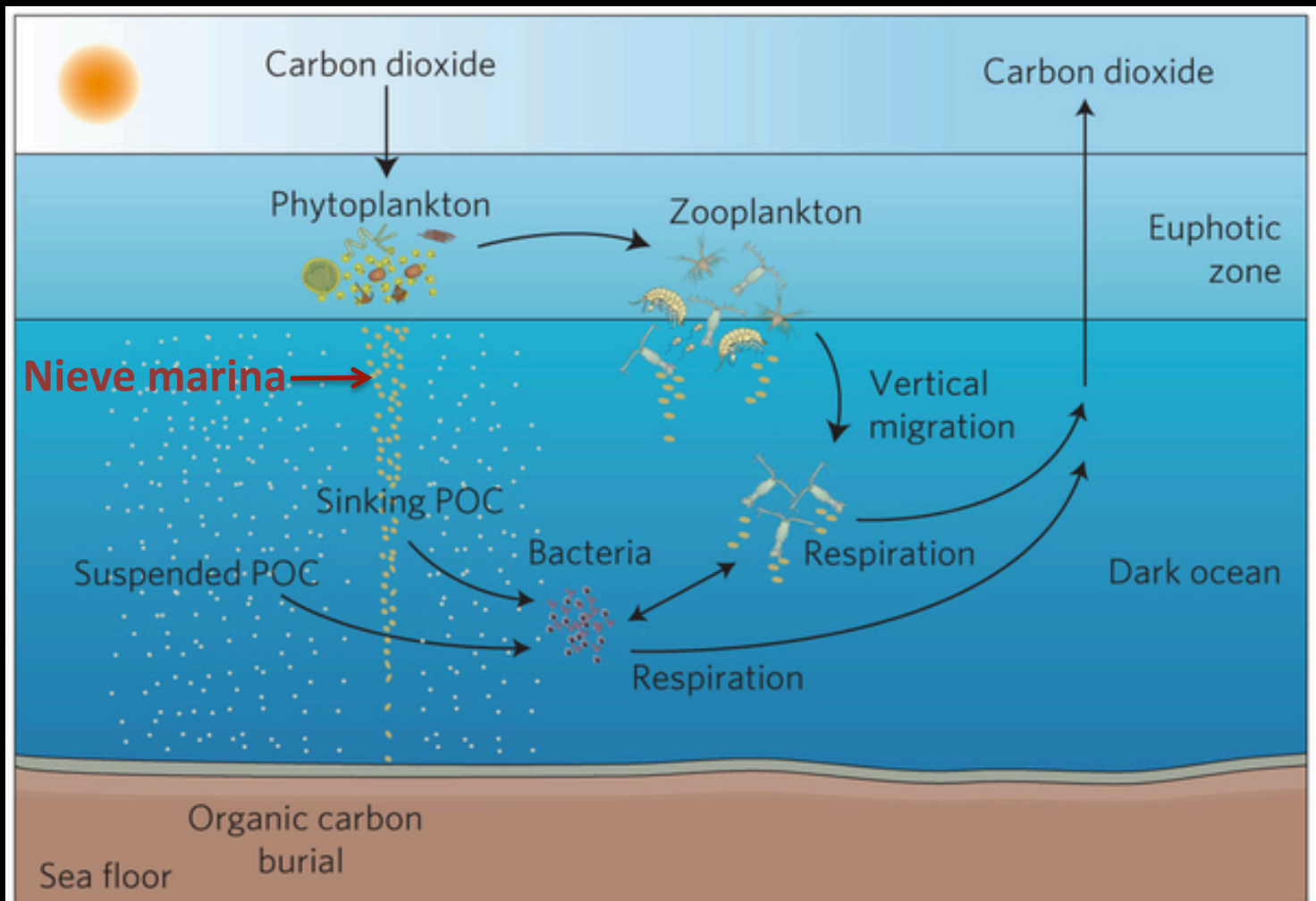
La luz y la temperatura tienen importantes efectos en la distribución del plancton



# ¿Quiénes son los principales habitantes del océano?

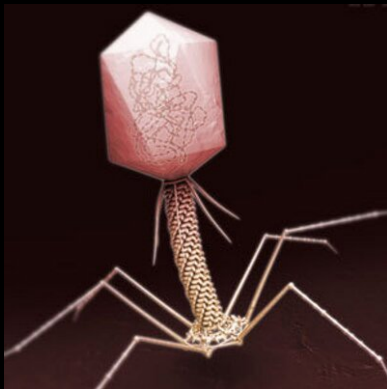
- **Plancton:** Los organismos más abundantes del planeta.
- Se encuentran en cualquier ambiente marino: desde la superficie hasta el fondo, desde los trópicos hasta los polos.
- Los microbios y nutrientes no se distribuyen por igual en el agua del mar.

**Biomasa en océanos**  
**90% biomasa microbiana**  
**( $10^{29}$  células microbianas)**

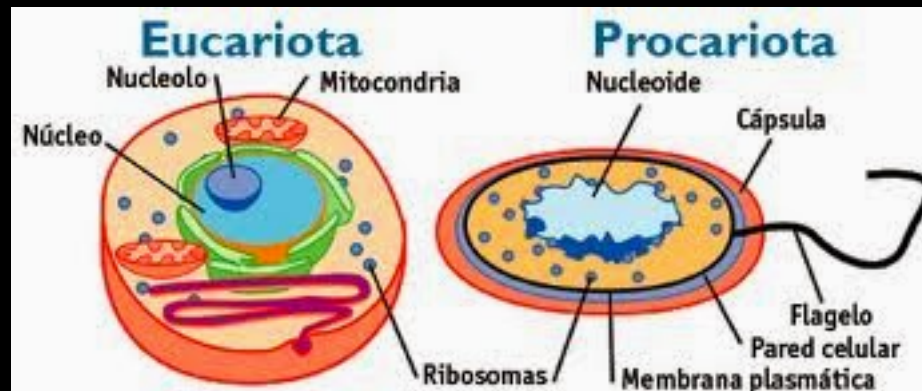


# ¿Qué conocemos de los microbios marinos?

- Enorme biodiversidad y abundancia ( $10^6 - 10^7$  cels/mL).
- **Plancton:** virus, procariotas (bacterias y arqueas) y eucariontes unicelulares (microalgas, protozoos, hongos).
- Comunidades altamente organizadas.
- Grandísima diversidad metabólica.
- Múltiples funciones en el medio marino.



Diatomeas

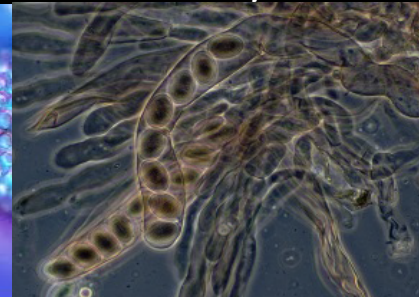
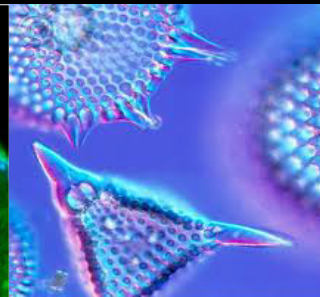


*Vibrio fisheri*


Radiolarios

Ascomycetes

Virus marino



# Clasificación del plancton por tamaños



Categoría	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	Grupos
Femtoplankton	0.01 – 0.2	Virus
Picoplankton	0.2 – 2	Bacterias, arqueas, algunos flagelados
Nanoplankton	2 – 20	Flagelados, diatomeas, dinoflagelados
Microplankton	20 – 200	Ciliados, diatomeas, dinoflagelados y otras algas

Tamaño ↓

Abundancia ↑

Otra clasificación: fitoplancton, zooplanton, bacterioplanton y virioplancton



# ¿Cuál es la función de los microbios en el océano?

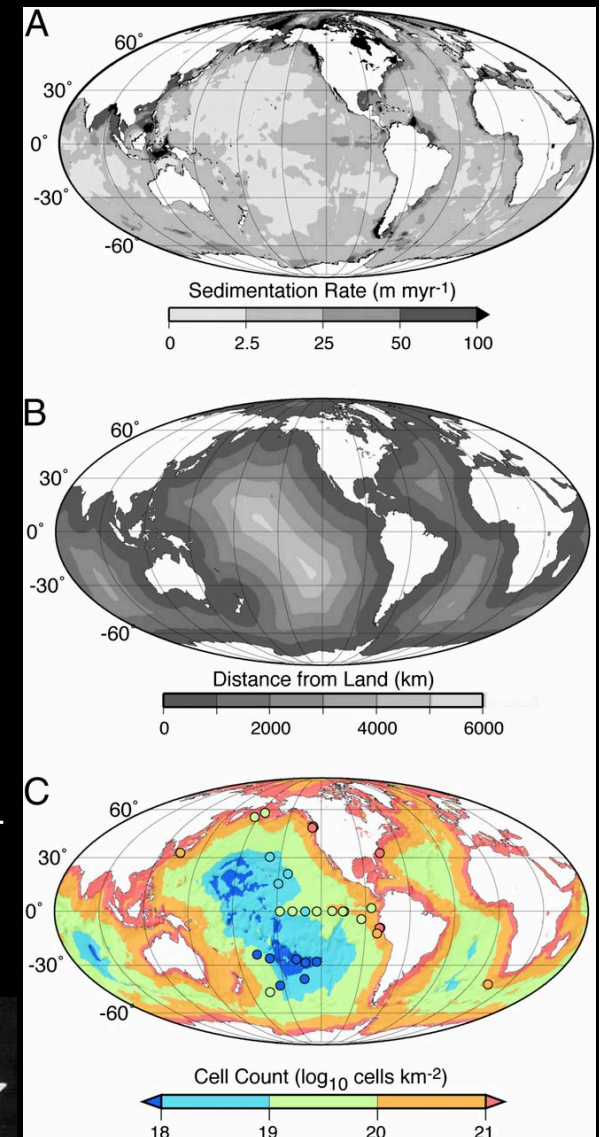
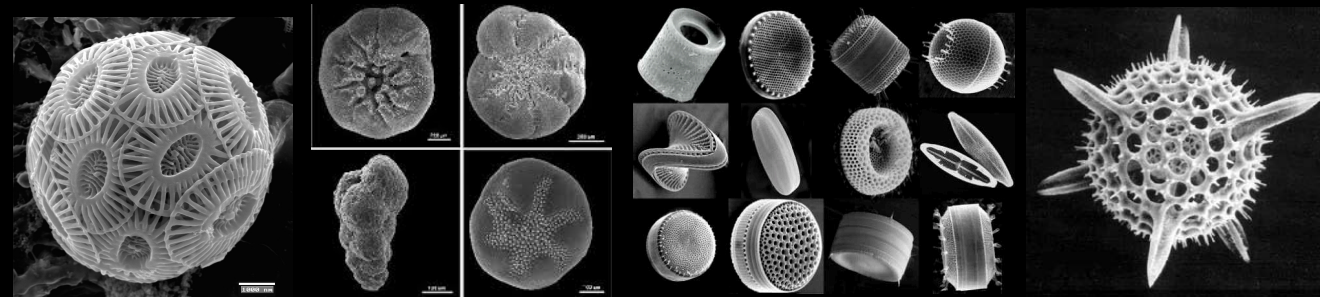
- Forman la base de la red alimentaria marina.
- Mayores productores primarios del planeta.
- Producen más del 50% del O<sub>2</sub> del planeta.
- Los motores que impulsan los grandes ciclos biogeoquímicos del océano (influencia en el clima).
- Causantes de enfermedades.
- Productores de metabolitos importantes (biotecnología).
- Grandes biodegradadores de materia orgánica y otros compuestos.
- Bioindicadores de cambios ambientales.



# Papel de los microbios en la formación del sedimento

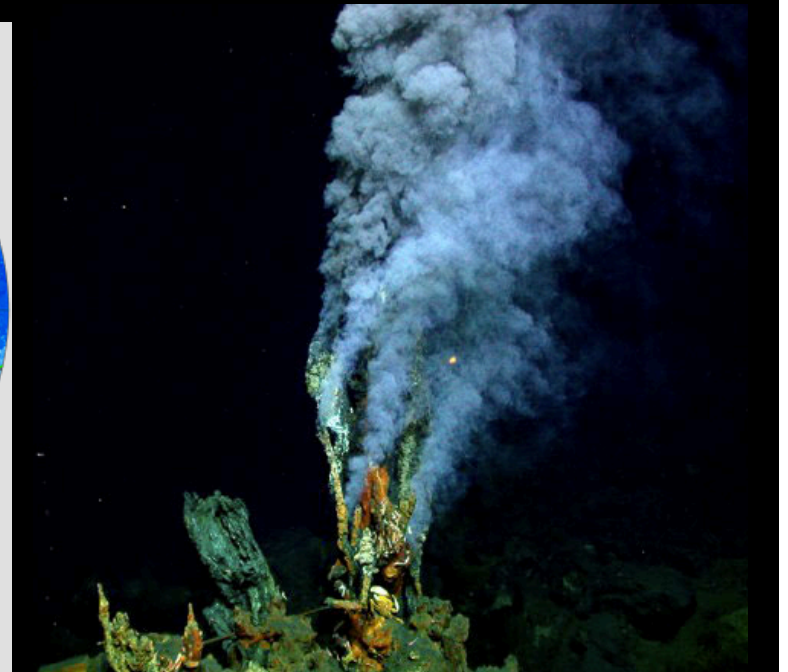
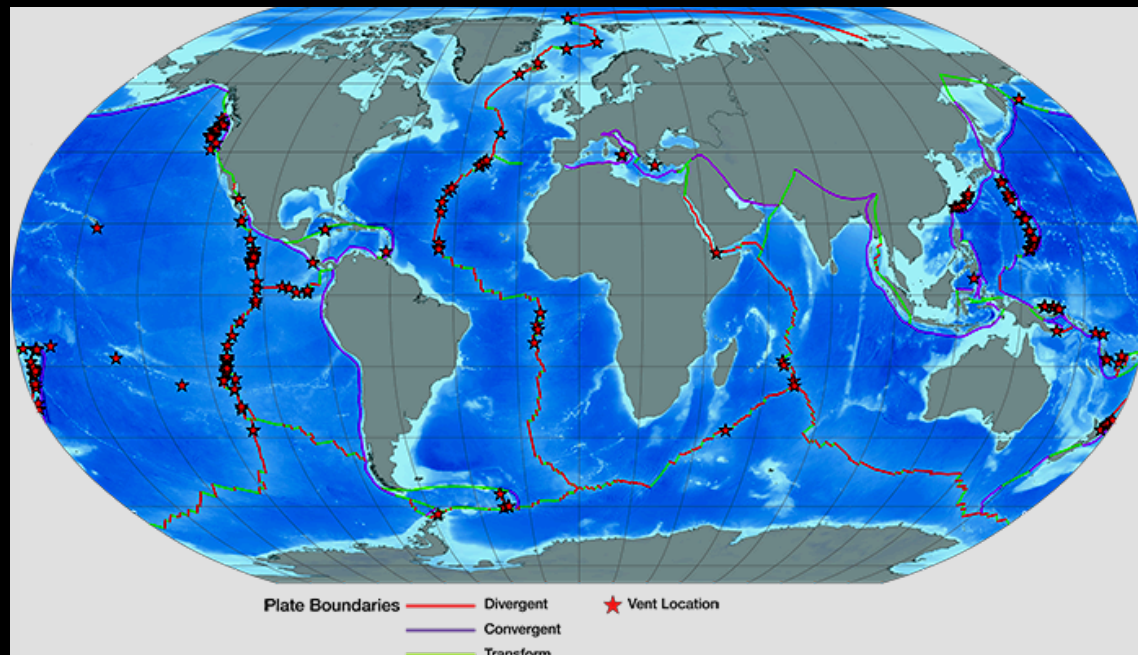
- Los sedimentos oceánicos cubren el 70% de la superficie del planeta y son el mayor ecosistema de la Tierra.
- Estos sedimentos están compuestos principalmente de **restos de plancton** que al morir se hunde como nieve marina.
- Deposición de conchas de carbonatos (cocolitofóridos y foraminíferos) y sílice (diatomeas y radiolarios).
- Remineralización de materia orgánica: solo el 1% del C fijado (producción primaria) llega al fondo oceánico.
- Supone el mayor sumidero de C de la Tierra.

Distribución global de la abundancia de microbios en los sedimentos marinos. El número de células es menor en zonas más alejadas de la costa. En: *Kallmeyer J, et al. (2012). Global distribution of microbial abundance and biomass in seafloor sediment. PNAS 109:16213*

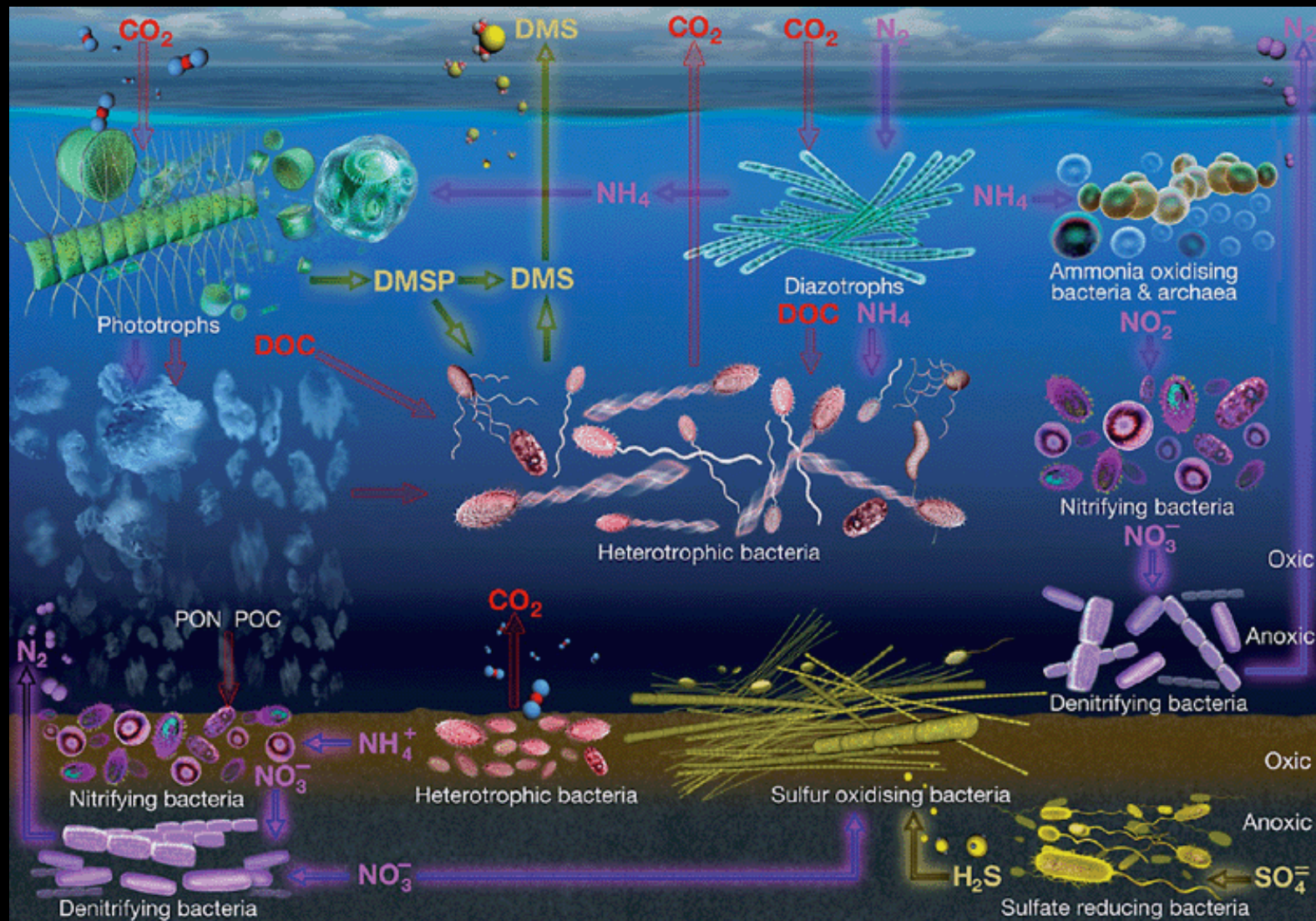


# Ventilas hidrotermales: oasis de vida en el fondo marino

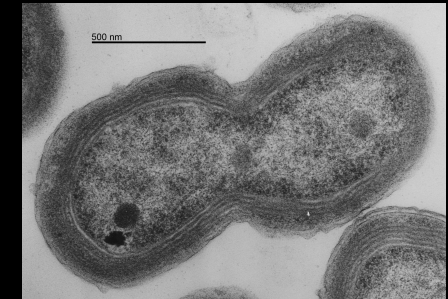
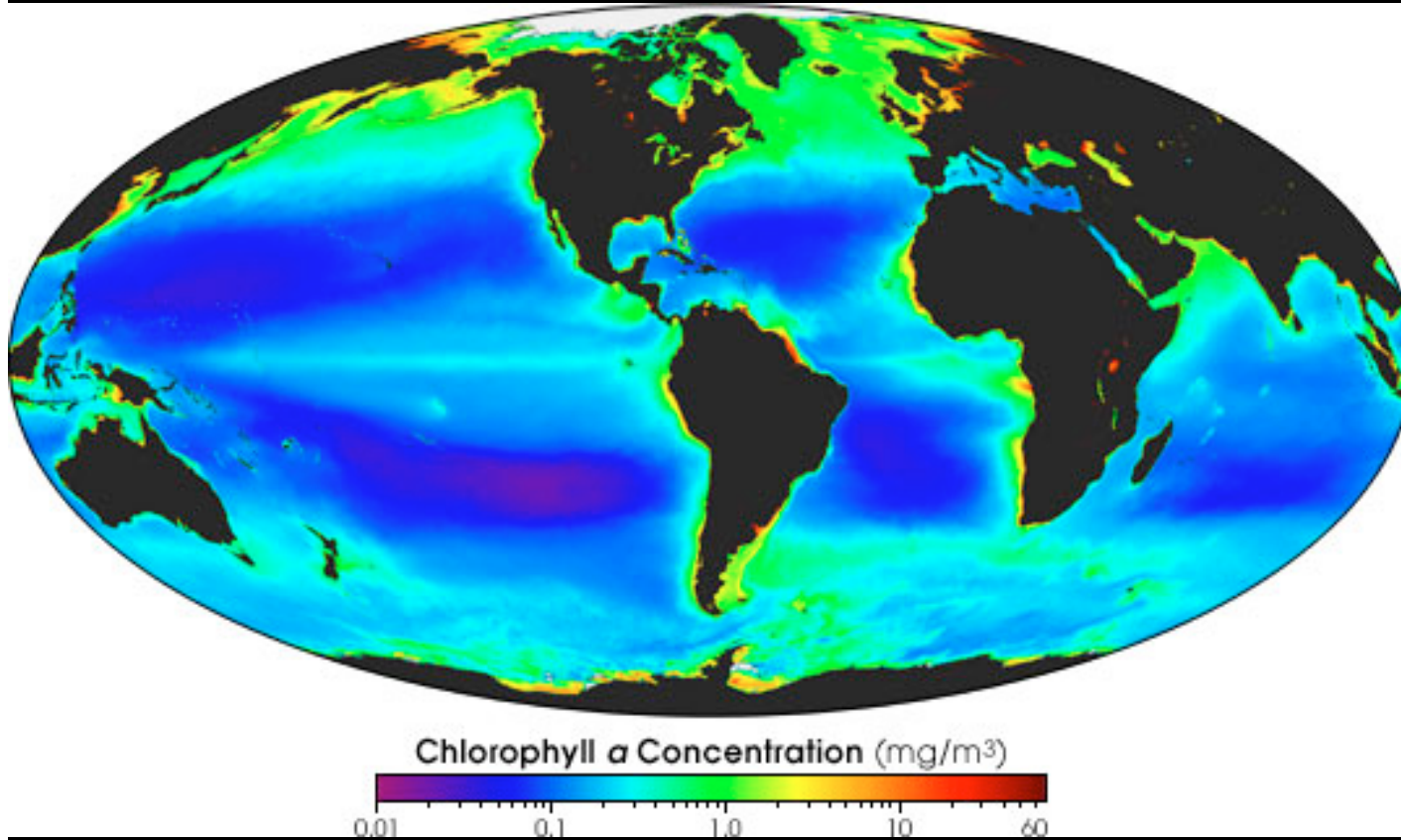
- Abertura en las dorsales oceánicas a través de la cual emerge agua geotermal (350 °C).
- Gradientes de minerales y temperatura alrededor de las ventilas crean una gran variedad de hábitats (desde microbios hasta gusanos tubícolas).
- Gran diversidad de microorganismos (principalmente hipertermófilos) con potencial biotecnológico.
- Simbiosis interesantes.
- Bacterias y arqueas quimiolitótrofas (fijan CO<sub>2</sub> usando energía de la oxidación del S): soporta una cadena trófica independiente de la fotosíntesis).



# Microbios: Los grandes impulsores de los ciclos biogeoquímicos en el océano



# Ciclo del Carbono y Productividad Marina



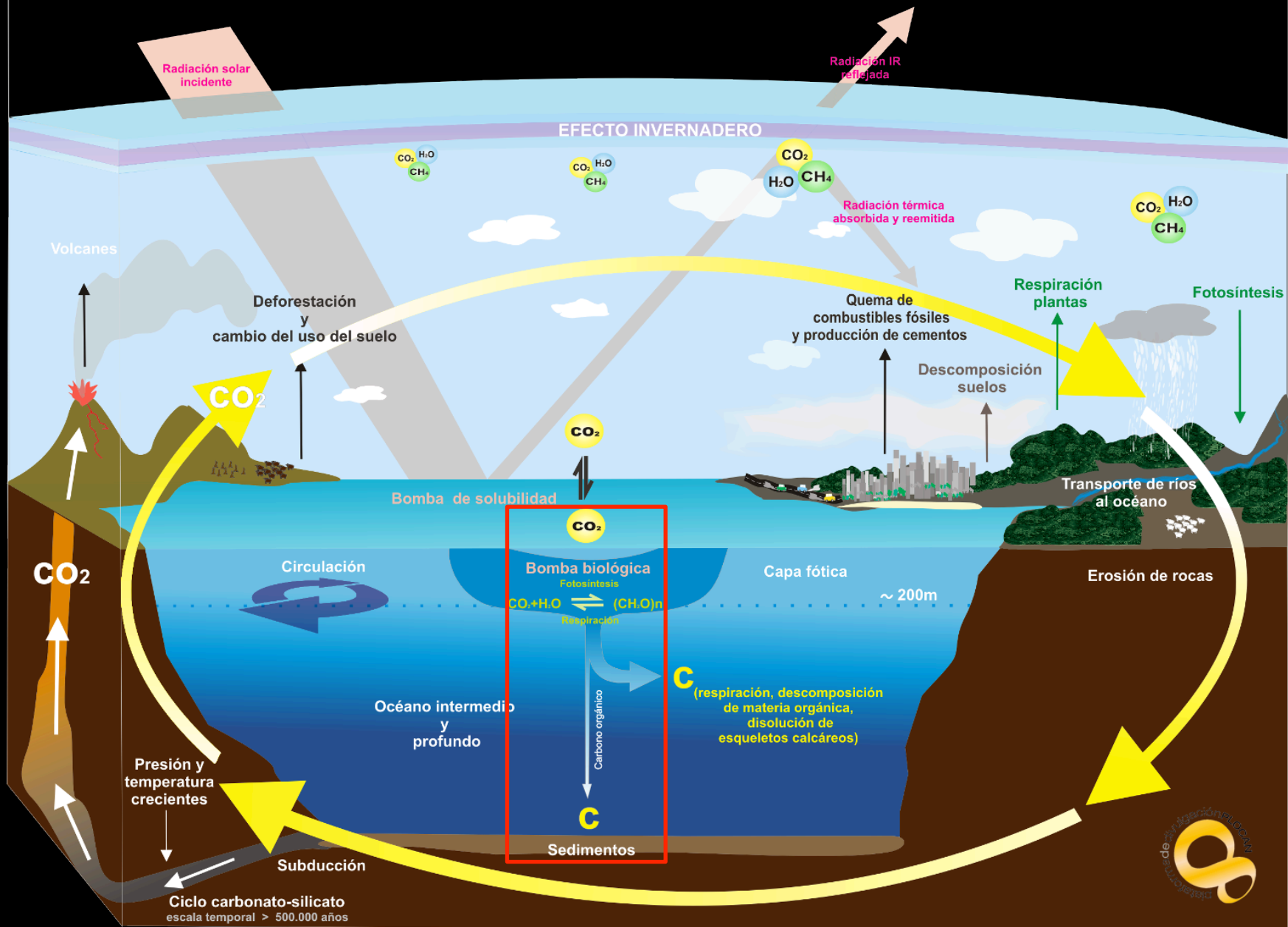
**Productividad:** producción de materia orgánica por organismos autótrofos.

**Productores primarios marinos:** fijan 60 millones de toneladas de C cada año (40% del C global total fijado).

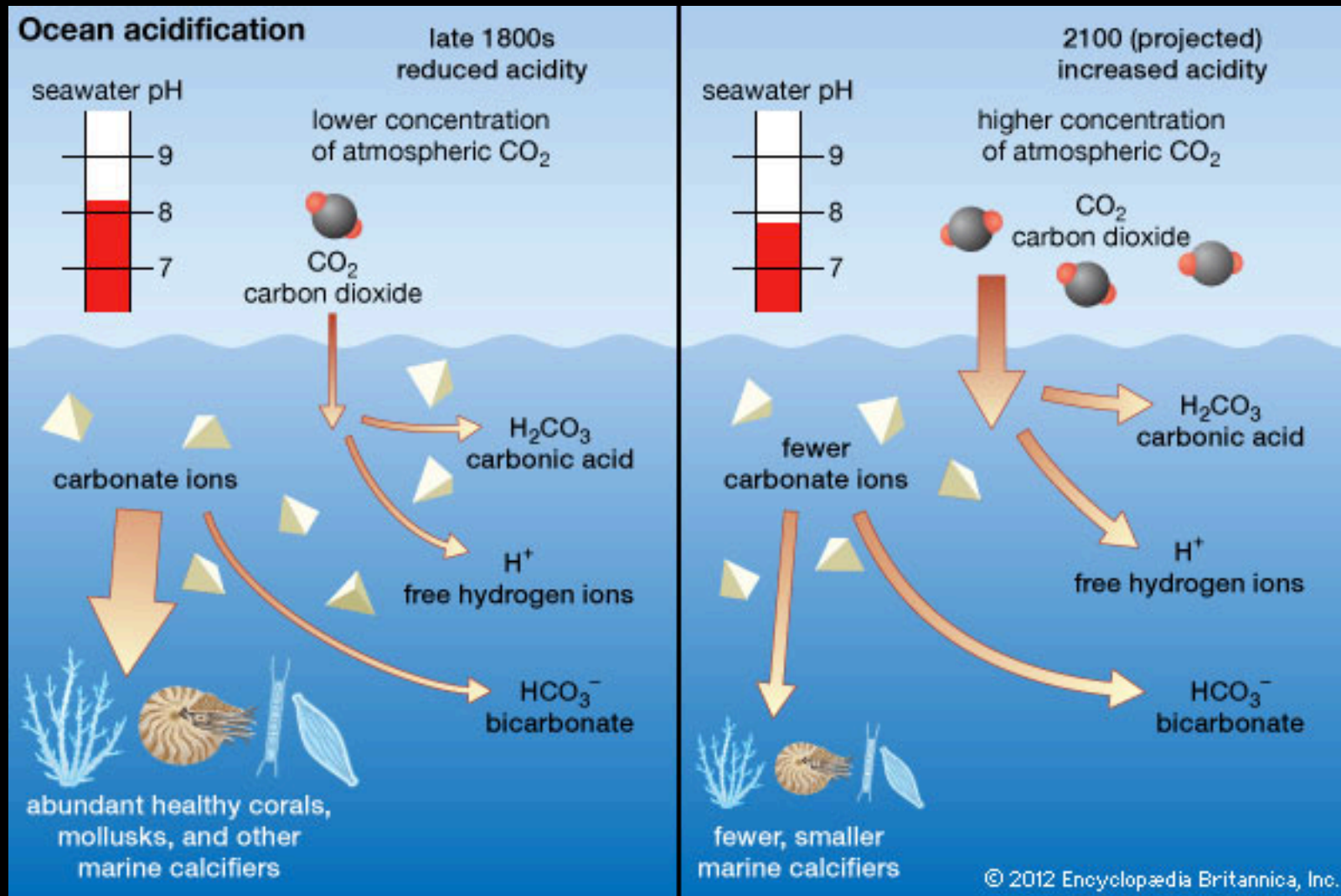


# Bomba biológica de Carbono en los océanos:

Secuestro de 300 millones de toneladas de C en el fondo del océano cada año

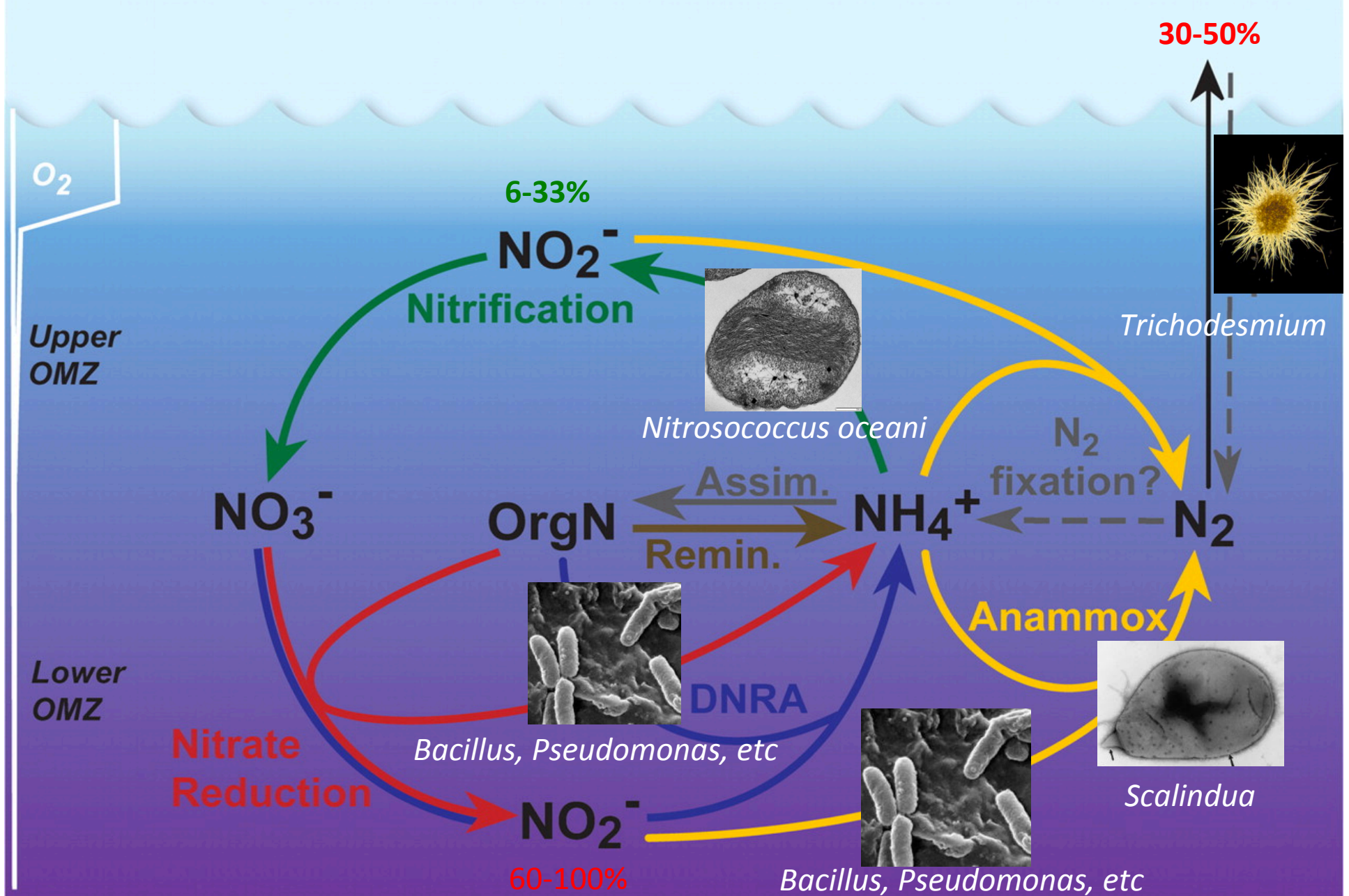


# Acidificación del océano: “el otro problema del CO<sub>2</sub>”



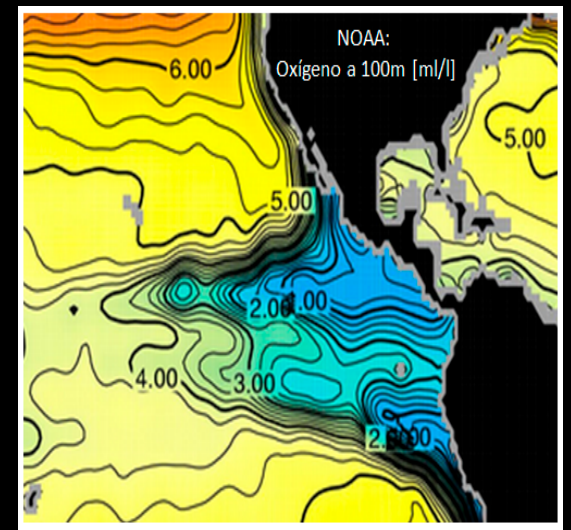
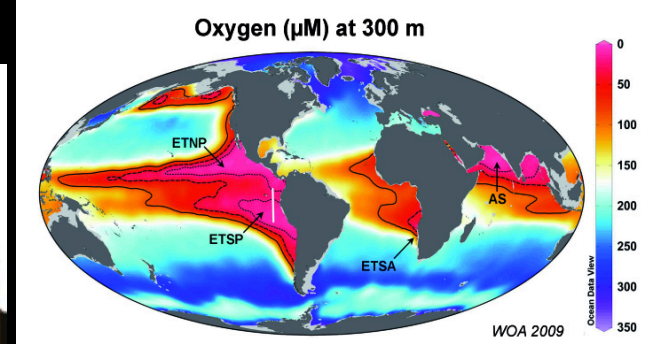
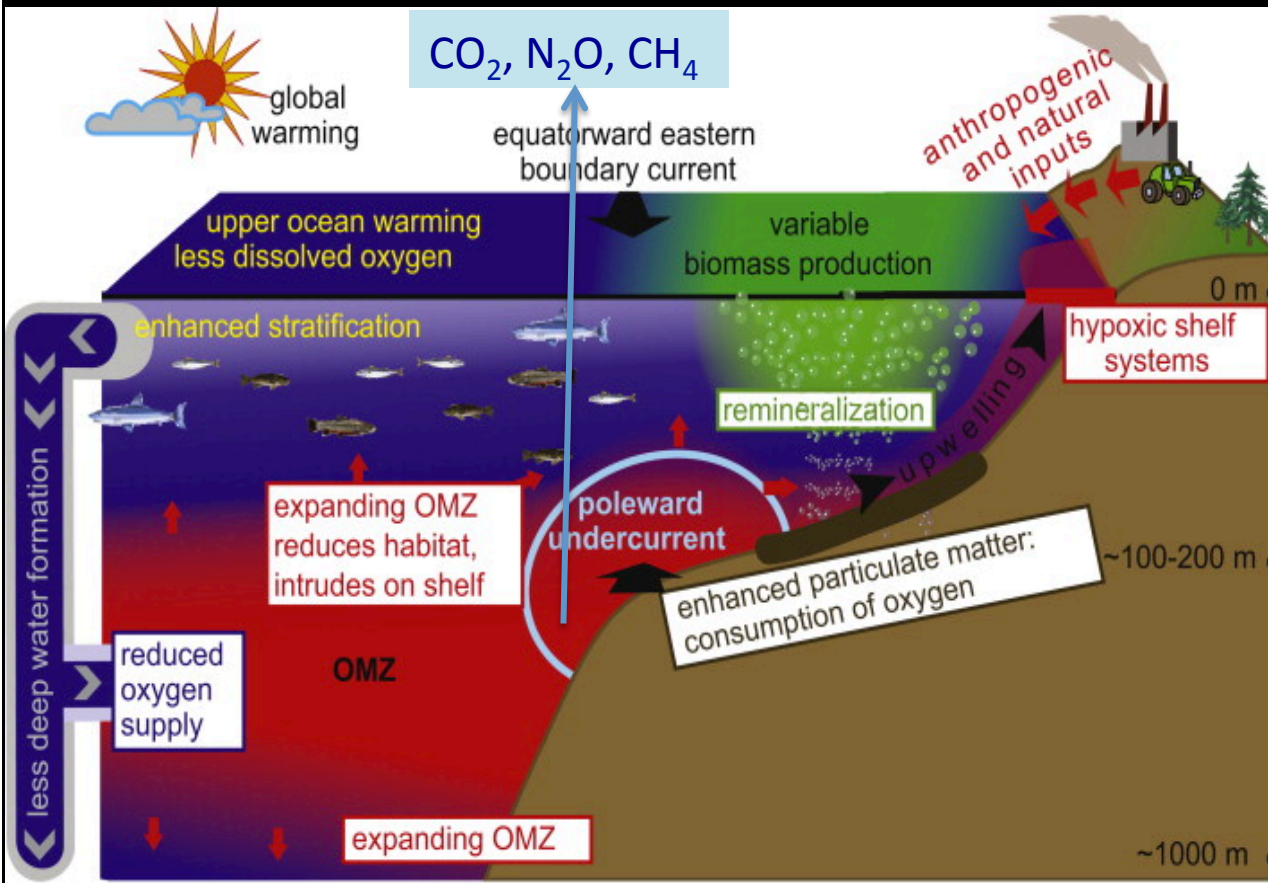
Organismos calcáreos (cocolitofóridos, foraminíferos, crustáceos, moluscos, corales) menos abundantes y resistentes a enfermedades y cambios ambientales

# El ciclo del nitrógeno marino





# Impacto de la expansión de las zonas de mínimo oxígeno en los ciclos biogeoquímicos y el cambio climático



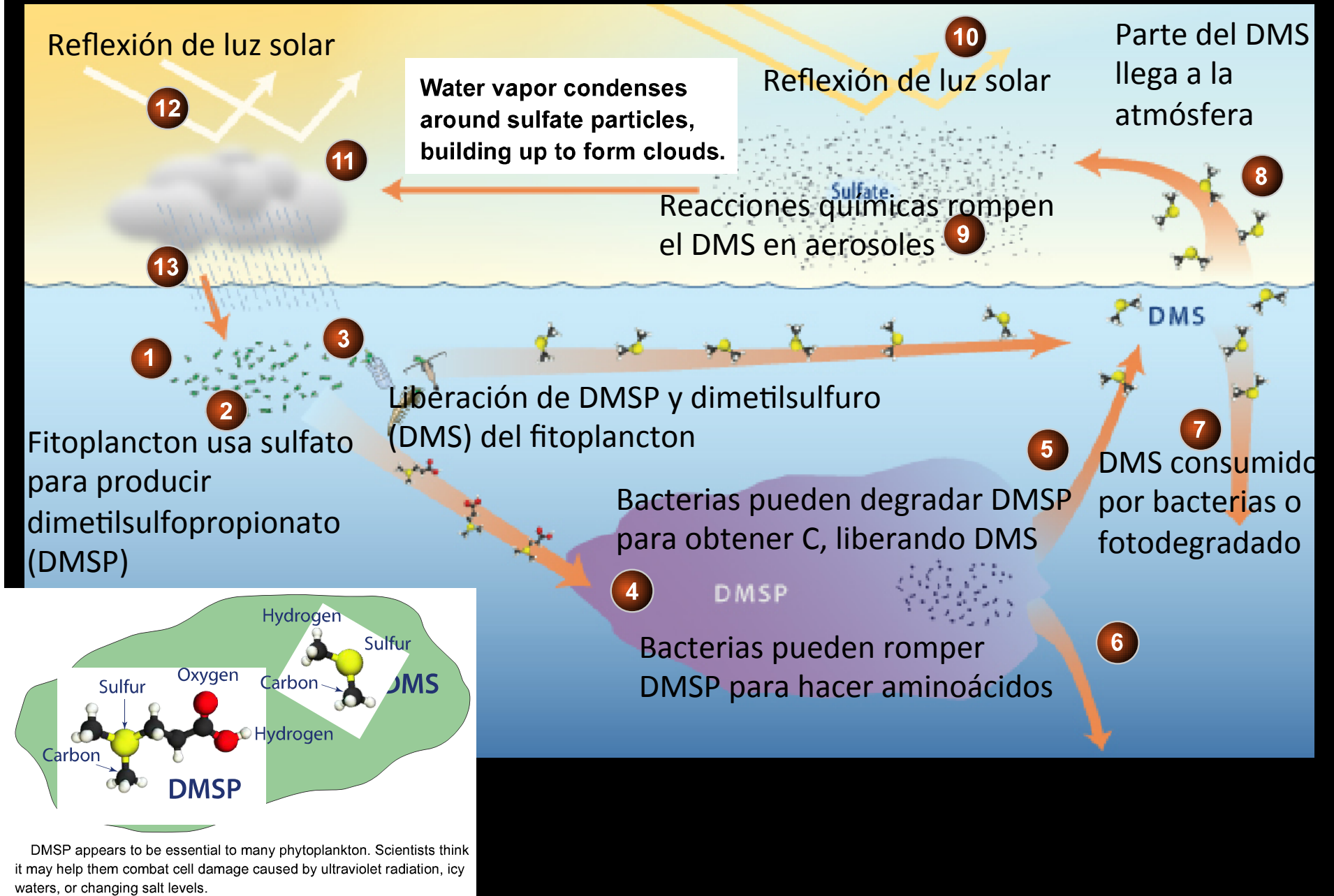
ZMO del Pacífico Mexicano



Una de las más extensas e intensas del mundo

Modificado de *Stramma et al. Deep Sea Research I (2010)*

# Ciclo del S: Cómo las pequeñas algas pueden formar nubes



# Salud de los ecosistemas marinos

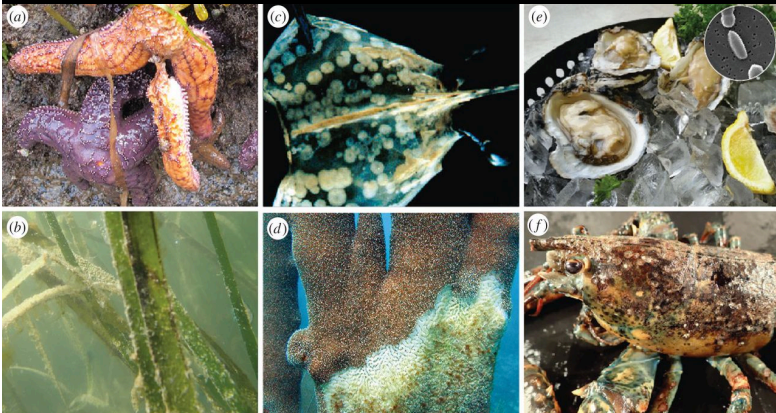
Algunos ejemplos de impactos relacionados con actividades antrópicas que afectan al equilibrio de los ecosistemas marinos:

- Calentamiento global
- Acidificación
- Eutrofización
- Contaminación (plásticos, plaguicidas, derrames petroleros, etc)
- Sobrepesca
- Turismo no regulado



## Cambios en comunidades microbianas marinas

Enfermedades emergentes



Desastres petroleros

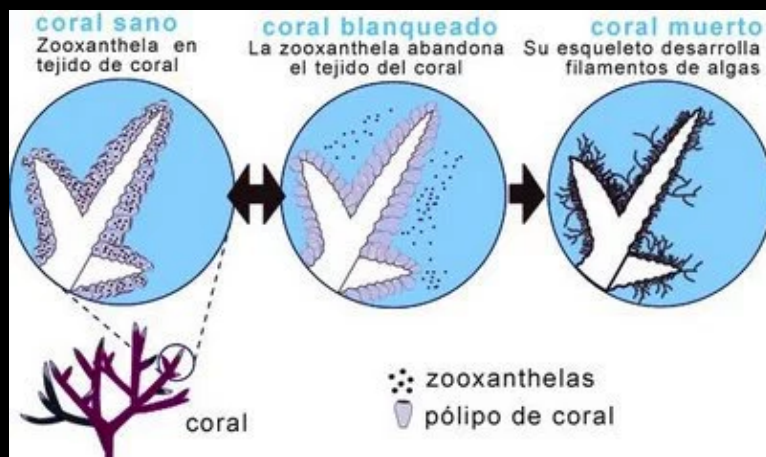
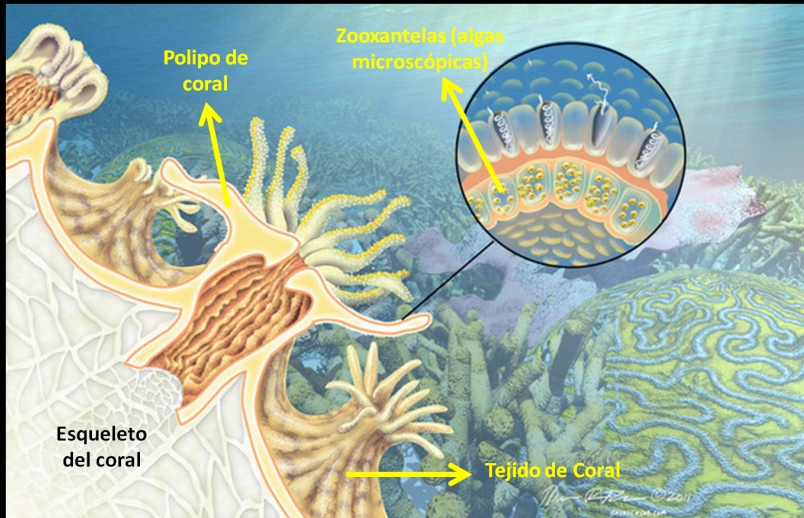


Mareas rojas



# Emblanquecimiento del coral

La gran barrera de coral agoniza por el cambio climático:  
Emblanquecimiento del coral por aumento de la temperatura y acidez de los océanos

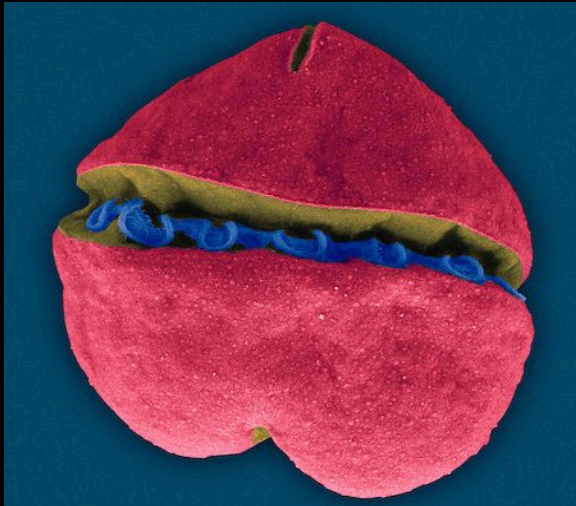


Dentro del tejido del coral viven en simbiosis algas microscópicas llamadas **zooxantelas**: proporcionan la energía fotosintética para que el coral realice sus funciones biológicas.

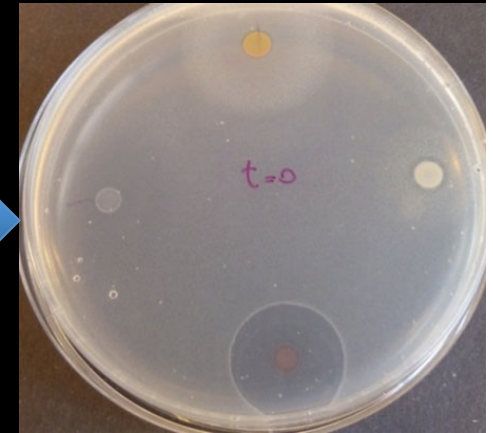
# Biotecnología azul: Beneficios de los microbios marinos

*Karenia Brevis:*

Brevetoxina, brevenal, escortin



Búsqueda de nuevos antibióticos



Biocombustible



Biorremediación, acuicultura



# ¿Cómo estudiamos los microbios marinos?

¿Qué es lo que realmente queremos saber?

- ¿Quién está ahí? (Diversidad)
- ¿Cuántos de cada tipo (especie, ecotipo, filotipo, grupo funcional,...) están presentes en un determinado momento y lugar? (Distribución espacial y temporal)
- ¿Qué están haciendo? ¿Qué recursos y estrategias utilizan para la obtención de energía y carbono celular? ¿Qué tan rápido lo realizan? (Ciclos biogeoquímicos)
- ¿Cómo interactúan (entre ellos o su hospedador)?

Model cell systems biology



functional information, realistic constraints

Computational models of biological and ecological networks

# Si son tan abundantes, ¿por qué son tan difíciles de estudiar?

- No podemos cultivar la mayor parte de ellos (99%)
- Su morfología es demasiado simple como para ser utilizada para su identificación

## Métodos para estudiar los microorganismos

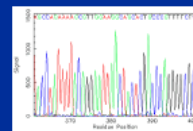
### • **Cultivándolos**



**Enriquecemos los  
microorganismos**

**Aislamos los  
microorganismos**

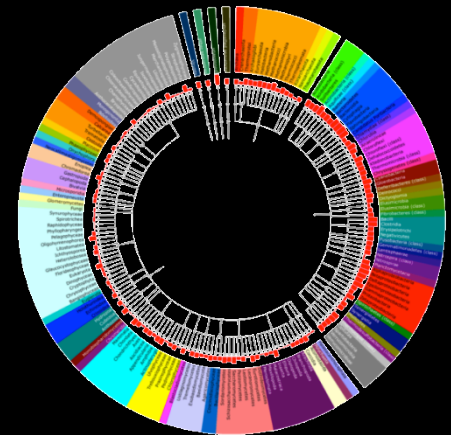
### • **Sin cultivar**



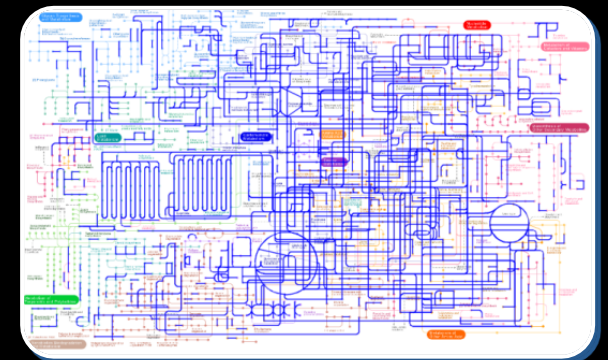
**Purificamos su  
ADN**

**Estudiamos  
sus genes**

### Clasificación filogenética



### Clasificación funcional



# Equipos que nos ayudan a estudiar los microbios marinos

Buque oceanográfico



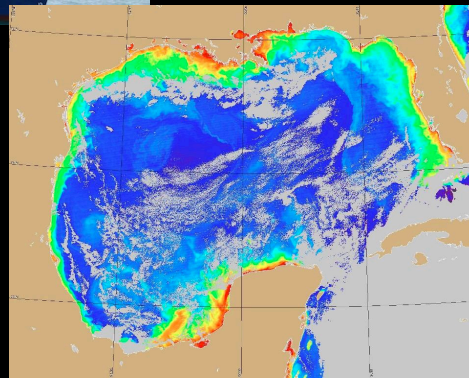
Roseta:  
botellas niskin y CTD



Brevebuster

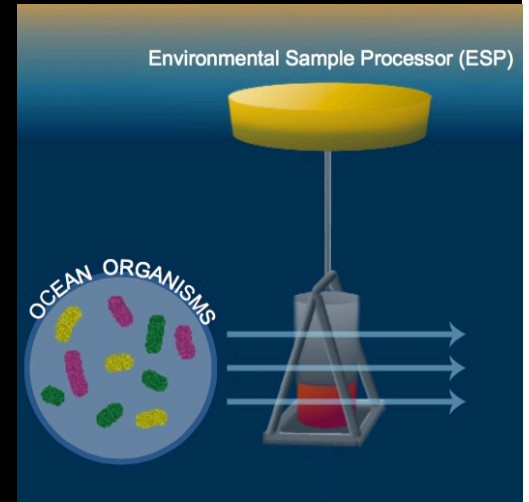
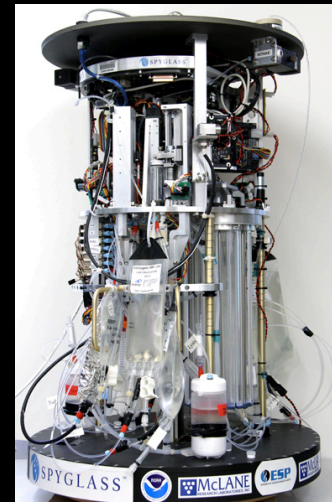
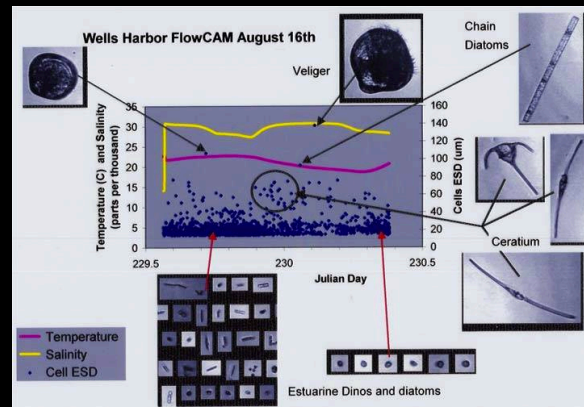
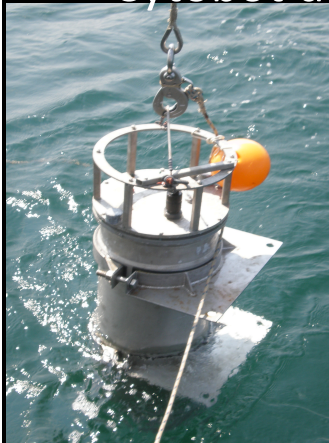


Imágenes satelitales



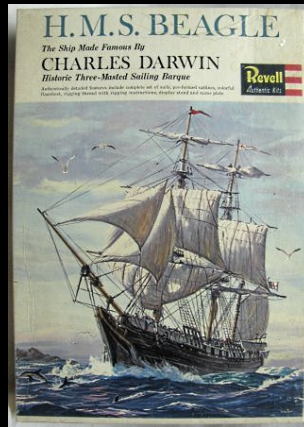
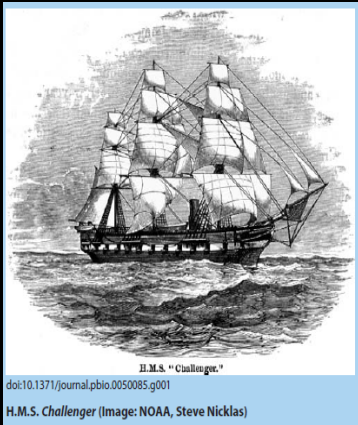
Environmental Sample Processor

Cytobot de Flujo con microscopio

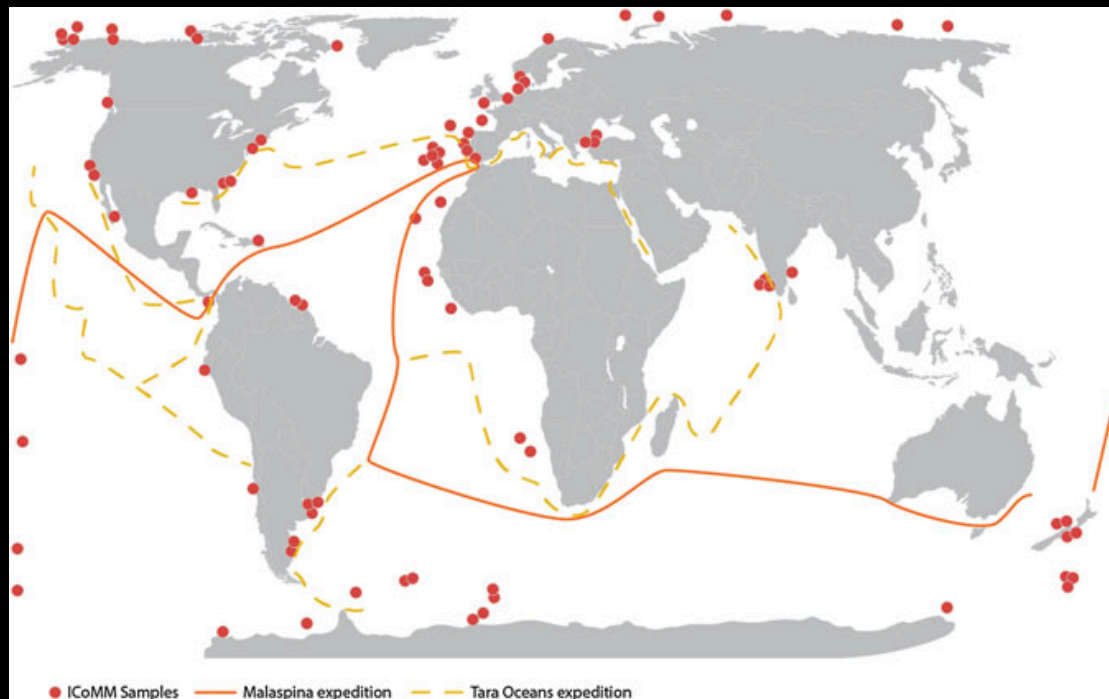




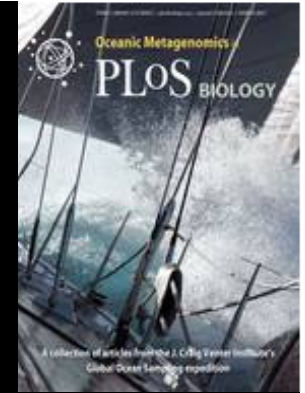
# Las grandes exploraciones marinas



Iniciativas de muestreo y recolección de datos de microbios marinos a gran escala mostrando los sitios de muestreo y rutas

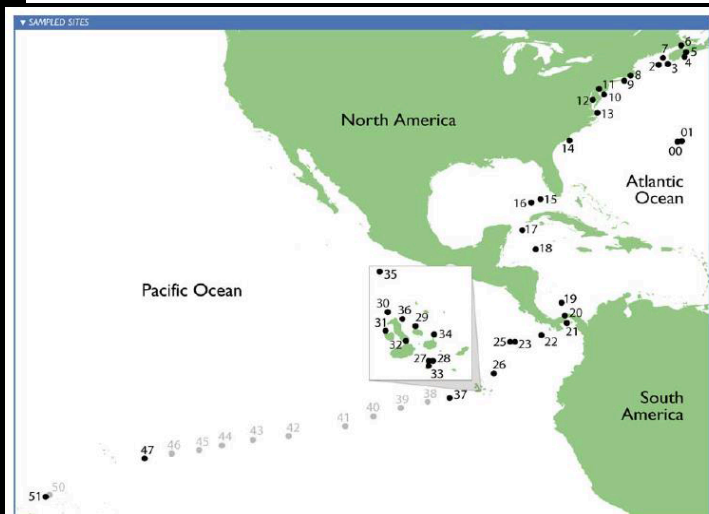


# The Global Ocean Sampling Expedition (GOS)

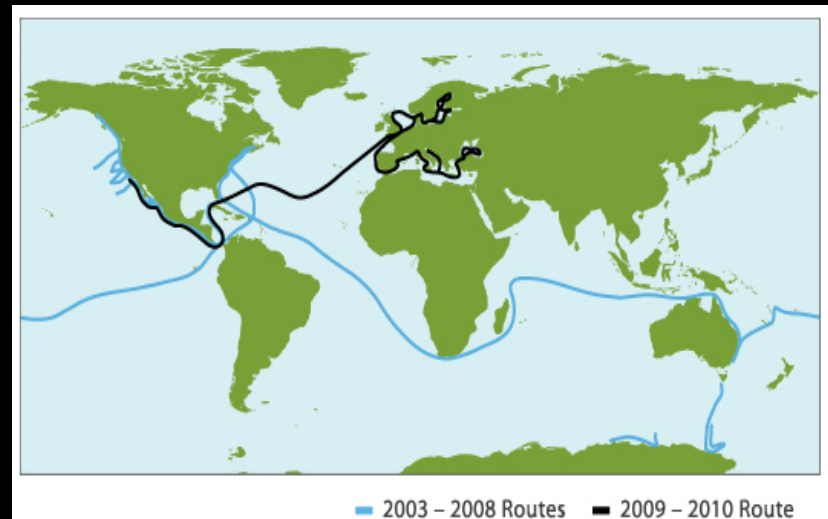


- Primer proyecto de exploración del genoma del océano
- 200-400 litros de agua cada 200 millas
- Cada muestra de agua es 80% única
- 6 millones de nuevos genes y miles de nuevas familias de proteínas

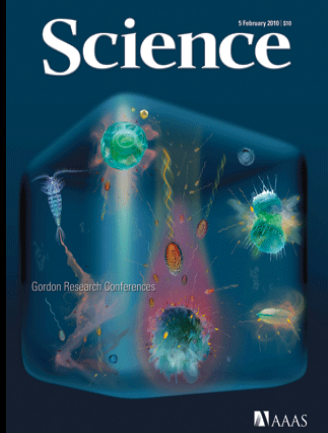
The *Sorcerer II* Global Ocean Sampling Expedition: Northwest Atlantic through Eastern Tropical Pacific



Rutas de expedición del muestreo del océano global



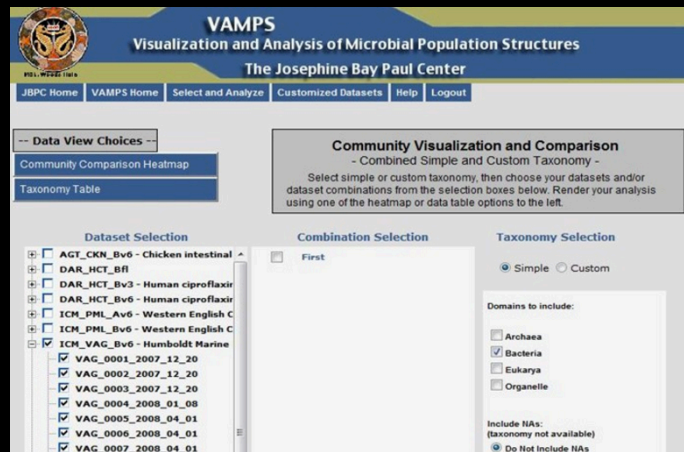
# ICOMM: International Census of Marine Microbes



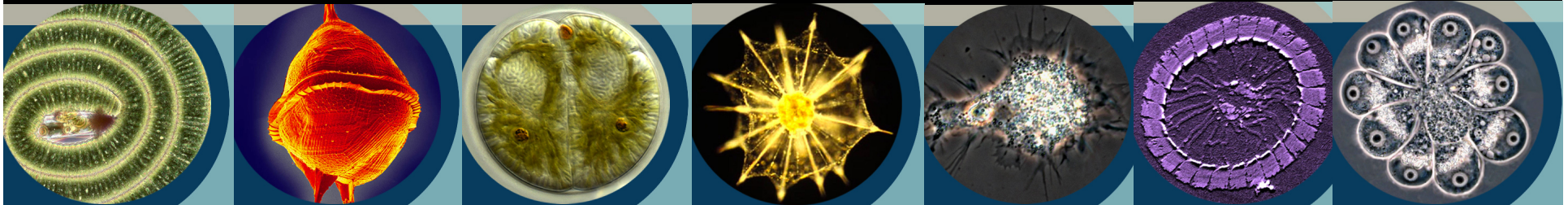
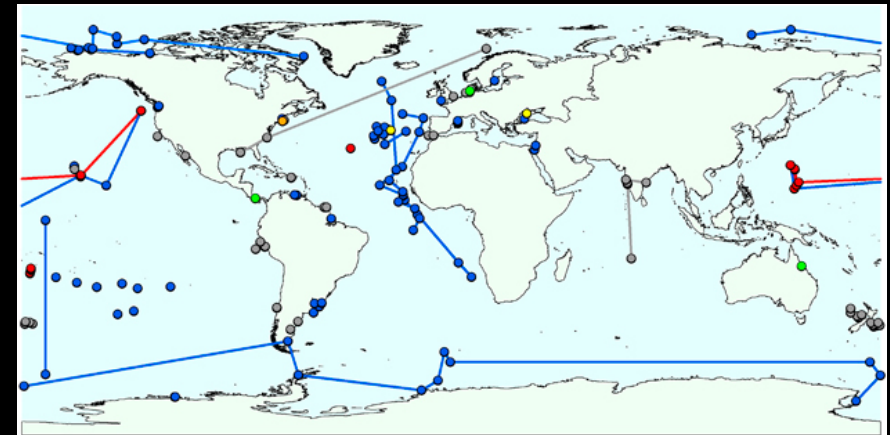
Inventario de la diversidad microbiana marina para:

- Catalogar toda la diversidad conocida de organismos unicelulares: bacterias, arqueas, protistas y virus asociados
- Poner ese conocimiento en contextos ecológicos y evolutivos adecuados.

\* Base de datos disponible en VAMPS



Distribución de las muestras para ICOMM

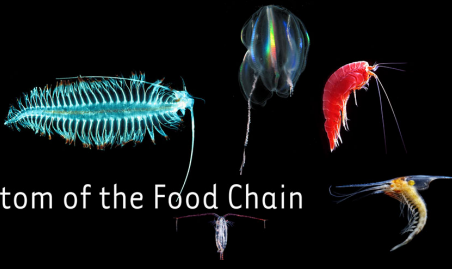


# Expedición TARA:

Planteamiento holístico para la exploración del medio marino

## TARA OCEANS

Voyage to the Bottom of the Food Chain



Tara Oceans studies plankton at  
**PLANETARY SCALE**

By P. Bork,<sup>1</sup> C. Bowler,<sup>2</sup> C. de Vargas,<sup>3,4</sup> G. Gorsky,<sup>5,6</sup> E. Karsenti,<sup>7,8</sup> P. Wincker<sup>9</sup>

22 MAY 2015 • VOL 348 ISSUE 6237

### Plankton diversity

Tara Oceans sampled the smallest in the planktonic world, including viruses, bacteria, protists, and zooplankton. These spectacular and plentiful organisms form the microscopic basis of marine food webs. Analysis of their genes and genomes provides the basis for research insights into identities and interactions.

Podovirus



50 nm

Siphovirus



100 nm

Coccolithophore, *Rhabdosphaera* sp.



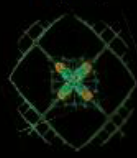
5 μm

Foraminiferan, *Globigerinoides* sp.



50 μm

Acantharian, *Lithoptera* sp.



60 μm

Copepod, *Centropages* sp.



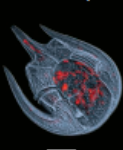
500 μm

Eubacteria, *Bacteroides* sp.



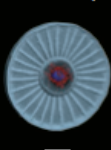
10 μm

Dinoflagellate, *Ceratium* sp.



20 μm

Diatom, *Planktoniella* sp.



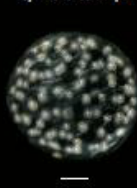
20 μm

Polychaete annelid, *Myriarida* sp.



500 μm

Colonial radiolarian, *Sphaerozoum* sp.



1000 μm

Siphonophore, *Leusia* sp.



2000 μm



# TARA: El primer catálogo genético global del microbioma marino (2009 – 2018)

- 35,000 muestras en las principales zonas oceánicas.
- El análisis de 243 muestras ha dado lugar a un catálogo genético microbiano de **40 millones de genes**, el 80% de los cuales son nuevos para la ciencia.
- Se ha detectado al menos 150,000 taxones de protistas, 35,000 taxones bacterianos y 5,000 poblaciones de virus a escala global.
- La **temperatura** determina las especies que están presentes en el plancton a escala global.
- Las interacciones bióticas entre especies son determinantes en la estructura de la comunidad microbiana.
- El Anillo de las Agujas - una barrera natural que divide el Océano Índico y el Atlántico Sur – separa las comunidades de plancton



22 MAY 2015 • VOL 348 ISSUE 6237

[www.taraexpeditions.org](http://www.taraexpeditions.org)



# Investigaciones en México sobre Ecología Microbiana Acuática: Los buques oceanográficos de la UNAM



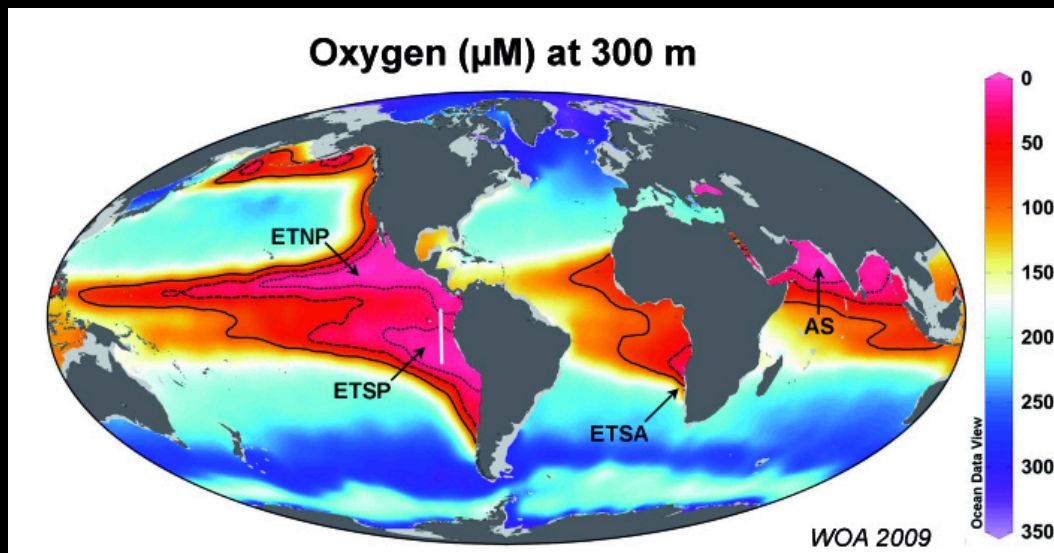
# Actividades del Laboratorio de Ecología Microbiana Acuática en el Pacífico Mexicano

## Proyectos:

- INFLUENCIA DE UN GIRO CICLÓNICO DEL GOLFO DE CALIFORNIA EN LA DISTRIBUCIÓN DE LA DIVERSIDAD Y FUNCIONALIDAD DEL PICOPLANCTON
- EFECTO DE LA ZONA DE MÍNIMO OXÍGENO DEL PACÍFICO MEXICANO EN LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE LA COMUNIDAD MICROBIANA QUE CONTROLA EL CICLO DEL NITRÓGENO



- Dinámica y distribución de la abundancia y biodiversidad microbiana acuática.
- Actividad de las comunidades microbianas marinas y su relación con el cambio climático.





## Conceptos para llevar a casa

- Los océanos forman un extenso ecosistema que contiene una **biomasa microbiana mayor** al de plantas y animales.
- El plancton marino incluye una **gran diversidad** de virus y organismos unicelulares pertenecientes a los tres dominios de la vida: Bacterias, Arqueas (ambos son procariontes o microorganismos sin núcleo celular) y Eucariontes (organismos con núcleo celular).
- EL **número de microbios** en los océanos es de alrededor de  $10^{29}$ , más que estrellas conocidas en el Universo.
- La **actividad** de estos microorganismos es esencial para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos del planeta.
- Son piezas esenciales para la **salud de los océanos** y los seres vivos que habitan la Tierra.
- Se han descubierto nuevas vías metabólicas que desarrollan los microbios marinos, con gran potencial en la **biotecnología**.
- Esencial el uso de **herramientas moleculares** y **grandes expediciones internacionales** para el estudio del microbioma marino.

## Para saber más

### Libros:

- Libes S.M. 2009. An Introduction to Marine Biogeochemistry. 2ª ed. Wiley & Sons, Inc. 910 pp.
- Kirchman D.L. 2008. Microbial Ecology of the Ocean. Wiley.
- Munn C. 2011. Marine Microbiology Ecology and Applications. Garland Science.

### Artículos:

- Azam F., Malfatti F. 2007. Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Rev. Microbiol.* 5: 782-791.
- Falkowski P.G. et al. 2008. The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science* 320:1034-1039
- Jiao N., et al. 2010. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. *Nature Rev. Microbiol.* 8: 593-599.
- Pedrós-Alió. 2006. Marine microbial diversity: can it be determined? *Trends Microbiol.* 14: 257-262.
- Sogin M.L., Morrison H.G, Huber J.A. 2006. Microbial diversity in the deep sea and the underexplored "rare biosphere". *PNAS*, 13: 12115–12120.
- Suttle CA. 2007. Marine viruses: major players in the global ecosystem. *Nature Rev. Microbiol.* 5: 801-812.
- Whitman W., Coleman DC, Wiebe W. 1998. Prokaryotes: The unseen majority. *PNAS*, 95: 6578-6583.
- Wright J.J., Konwar K.M., Hallam S.J. 2012. Microbial ecology of expanding oxygen minimum zones. *Nature Rev. Microbiol.* 10: 381-394.
- Zehr J.P, Kudela R.M. 2011. Nitrogen cycle of the open ocean: from genes to ecosystems. *Ann. Rev. Marine Sci.*, 3: 197-225.

A collection of various microscopic organisms, including ciliates, flagellates, and other small aquatic life forms, displayed against a black background. The organisms are diverse in shape and color, ranging from small, star-shaped forms to larger, more complex structures.

**¡¡MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!!**

[spajares@cmarl.unam.mx](mailto:spajares@cmarl.unam.mx)