



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

Universidad Nacional Autónoma de México



# INTRODUCCIÓN A LA OCEANOGRAFÍA



- La oceanografía (u oceanología) es el estudio de las características físicas, químicas, geológicas y biológicas de los océanos, siendo su objetivo primordial conocer y entender los procesos que ocurren en los mares y océanos, así como su relación con el ambiente colindante (la atmósfera, la corteza terrestre) tanto por encima como por debajo del nivel del mar.



# HISTORIA DE LA OCEANOGRAFÍA

- Aristóteles (s. IV A.C.): El océano nunca se seca o se desborda  $\Rightarrow$  La precipitación es igual a la evaporación sobre la tierra.
- Ptolomeo (150 D.C.)  $\Rightarrow$  Mapas muy precisos del mundo conocido. Desarrolla un esquema de latitud y longitud.
- Bede (673-735)  $\Rightarrow$  La luna controla las mareas
- Sir Robert Boyle (1627-1691)  $\Rightarrow$  Estudia la temperatura del océano, presión del agua y sales marinas





## **Cronología de las expediciones oceanográficas**

- ❖ **Edmund Halley (1657-1742)**
- ❖ **James Cook (1728-1779)**
- ❖ **Francois Peron (1775-1810)**
- ❖ **Ivan F. Kruzenstein (1770-1846)**
- ❖ **William Scoresby (1789-1857)**
- ❖ **Fabion G. von Bellingshausen (1779-1852)**
- ❖ **Otto von Kotzebue (1787-1846)**
- ❖ **Jean S. C. Dumont d'Urville (1790-1842)**
- ❖ **Sir James Clark Ross (1800-1862)**
- ❖ **Charles Wilkes (1798-1877)**
- ❖ **Robert Fitzroy (1805-1865)**
- ❖ **Matthew F. Maury (1806-1873)**
- ❖ **Charles Darwin (1809-1882)**
- ❖ **Edward Forbes (1815-1854)**
- ❖ **William B. Carpenter (1813-1885)**
- ❖ **Sir Charles Wyville Thomson (1830-1882)**
- ❖ **Gwyn Jeffreys (1809-1885)**
- ❖ **H. M. S. Challenger (1872-1876)**

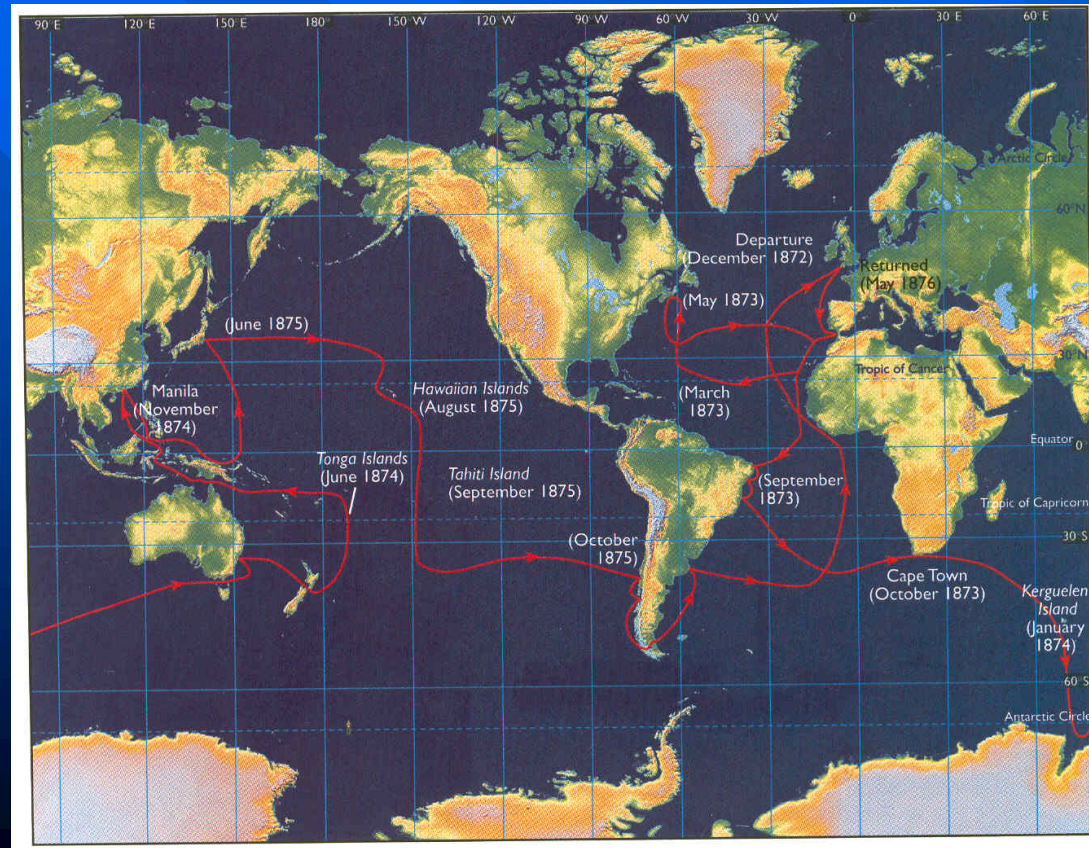
- Sir James Clark Ross (1800-1862): Uno de los primeros exploradores-científicos; circunnavega la Antártida y traza mapas de su costa. Dragan a profundidades de 5000 m y recolecta especímenes biológicos que por desgracia se pierden o deterioran por inexperiencia. Trata de medir temperatura a esas profundidades, por desgracia los termómetros de esa época no eran adecuados para trabajar a grandes presiones.

- Las condiciones y técnicas primitivas de muestreo causan confusiones acerca de las condiciones de las profundidades oceánicas, por ejemplo, se pensaba que las aguas del fondo marino no circulaban y por lo tanto no contenían oxígeno que pudiera soportar vida.
- Edward Forbes (1815-1854) Teoría azoica: por debajo de los 600 m de profundidad no existe vida marina  $\Rightarrow$  océanos prácticamente desprovistos de vida.



- Sin embargo, alrededor de 1860, se empiezan a tender cables telegráficos transoceánicos. Al recuperar un cable a una profundidad de 2000 m para su reparación se encontraron organismos viviendo sobre este cable.
- Expedición del Challenger (1872-1876) patrocinada por la Royal Society y dirigida por Charles Wyville Thompson. Representó el primer estudio con un enfoque global de la oceanografía, por lo que para muchos marca el nacimiento de la oceanografía moderna.

El viaje del Challenger cubrió casi 125,000 km y algunas de las operaciones que llevaron a cabo fueron determinar la profundidad exacta en cada estación, observar las corrientes superficiales, obtener muestras de agua para análisis químicos y físicos, observaciones meteorológicas y de las corrientes superficiales y observar la distribución de los organismos con respecto a la profundidad.





# INVESTIGACIÓN OCEANOGRÁFICA EN MÉXICO

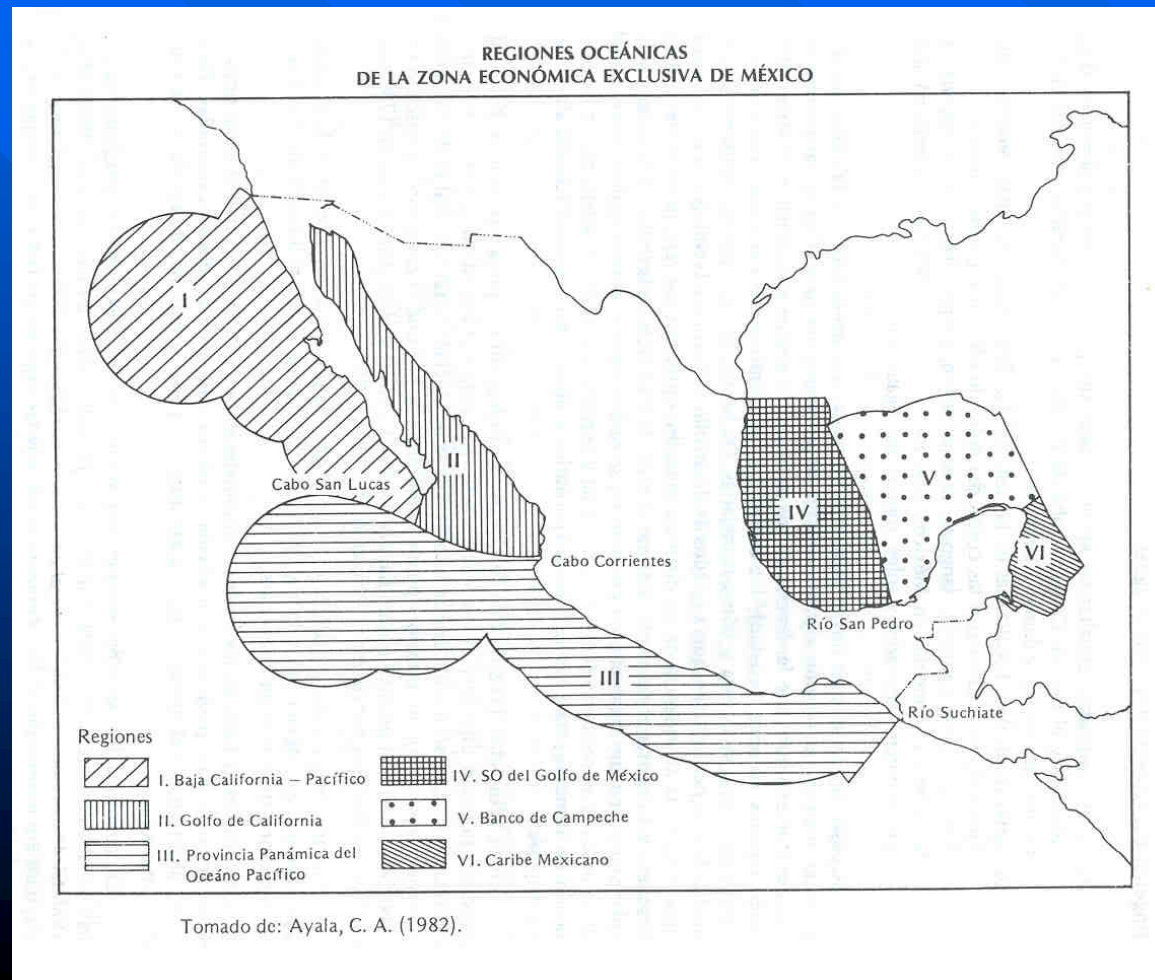


# MÉXICO Y SUS COSTAS

- 6,608 Km de costas en el Pacífico (incluyendo las islas del golfo de California y del Pacífico).
- 2,611 Km de costas en el Atlántico (incluyendo las islas del Caribe)

# ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE MÉXICO

La ZEE (hasta 200 millas de las costas) de México abarca 2'892,000Km<sup>2</sup>, más del 100% que la porción terrestre



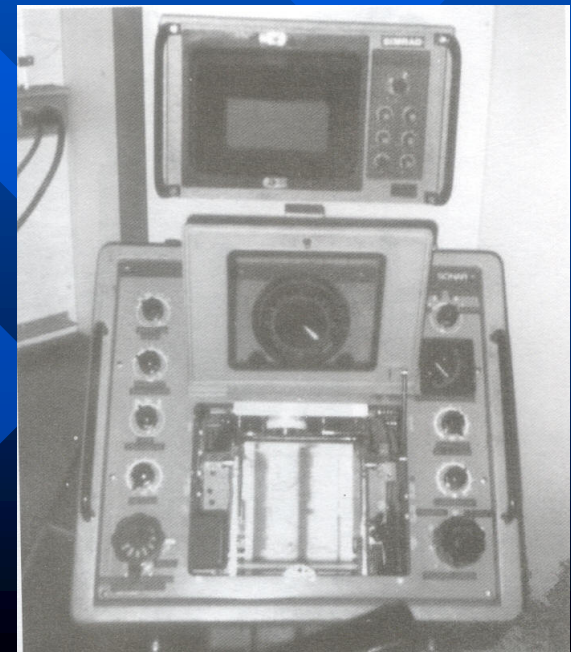
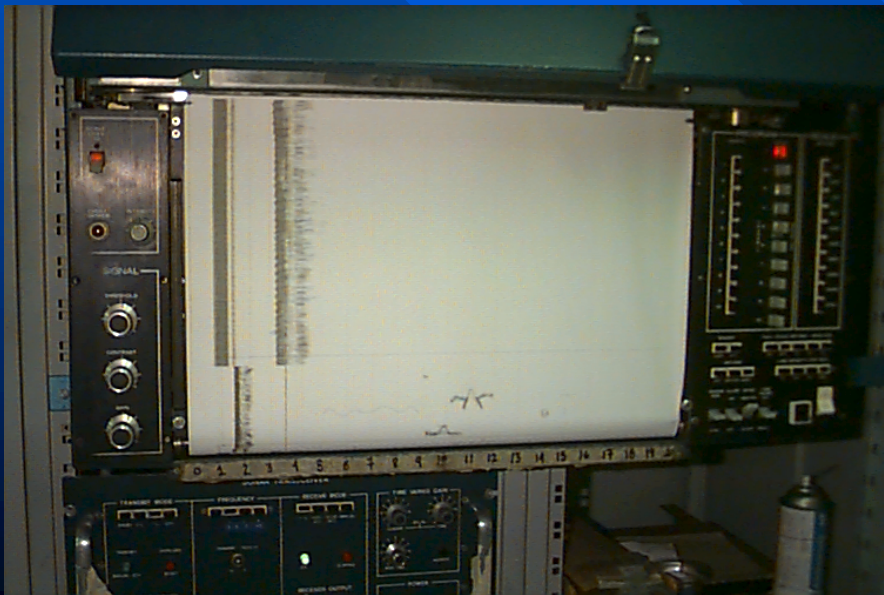
La UNAM cuenta con los buques oceanográficos "El Puma" y "Justo Sierra" que tienen sus bases en los puertos de Mazatlán, Sin. y Tuxpan, Ver. Fueron diseñados para efectuar múltiples operaciones en las diversas ramas de la oceanografía moderna, tienen gran versatilidad, eficiencia y maniobrabilidad. Pueden operar bajo distintas condiciones marinas y meteorológicas, en un radio de 9 mil millas náuticas y con una autonomía de 25 a 30 días.





Por lo que toca a instrumentos de registro y cómputo, los buques cuentan por lo menos con una computadora en cada uno de los sensores que así lo requieran.

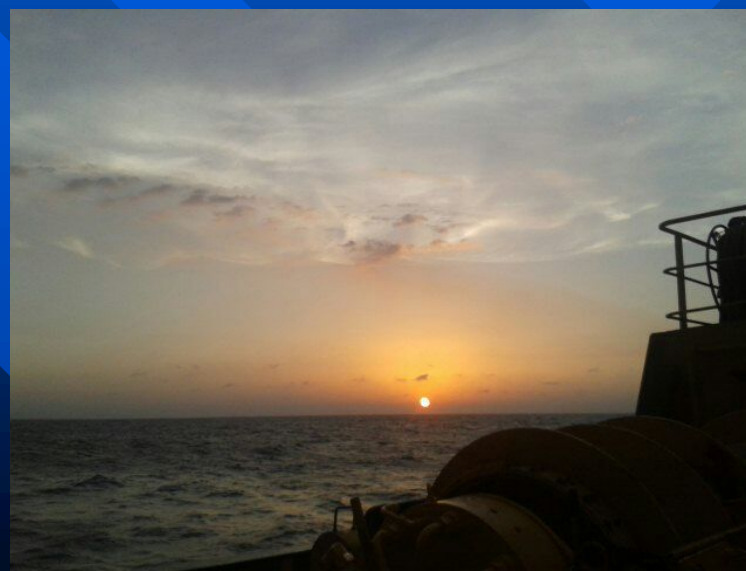
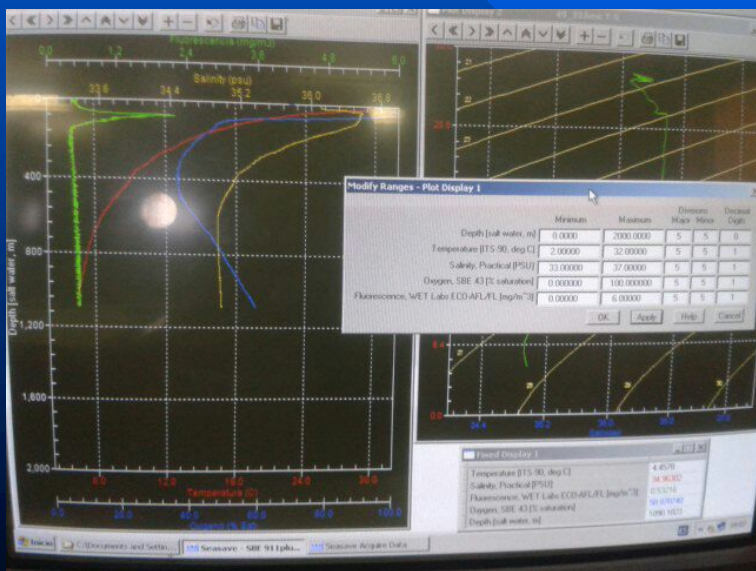
También existen graficadores, impresoras, ecosondas de penetración y de navegación, sonar para la detección de cardúmenes, repetidoras de instrumentos de navegación, registradores continuos de salinidad, temperatura y fluorimetría superficiales.





Los sistemas básicos de los buques permiten la instalación y operación de una amplia gama de instrumentos y equipos, de acuerdo a los objetivos que cada campaña de investigación requiera. Por ejemplo, para observaciones meteorológicas pueden utilizarse globos cautivos, barómetros, termómetros, e imágenes de satélite entre otros.







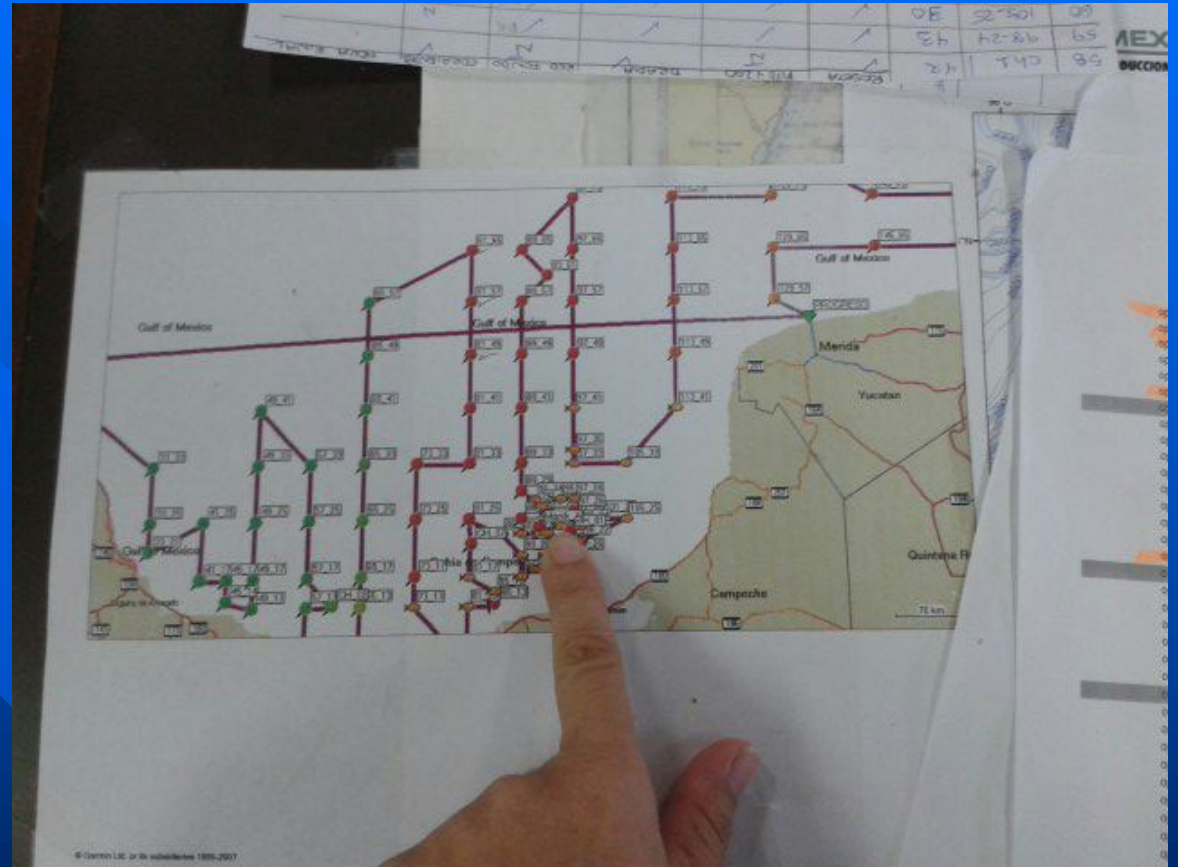
















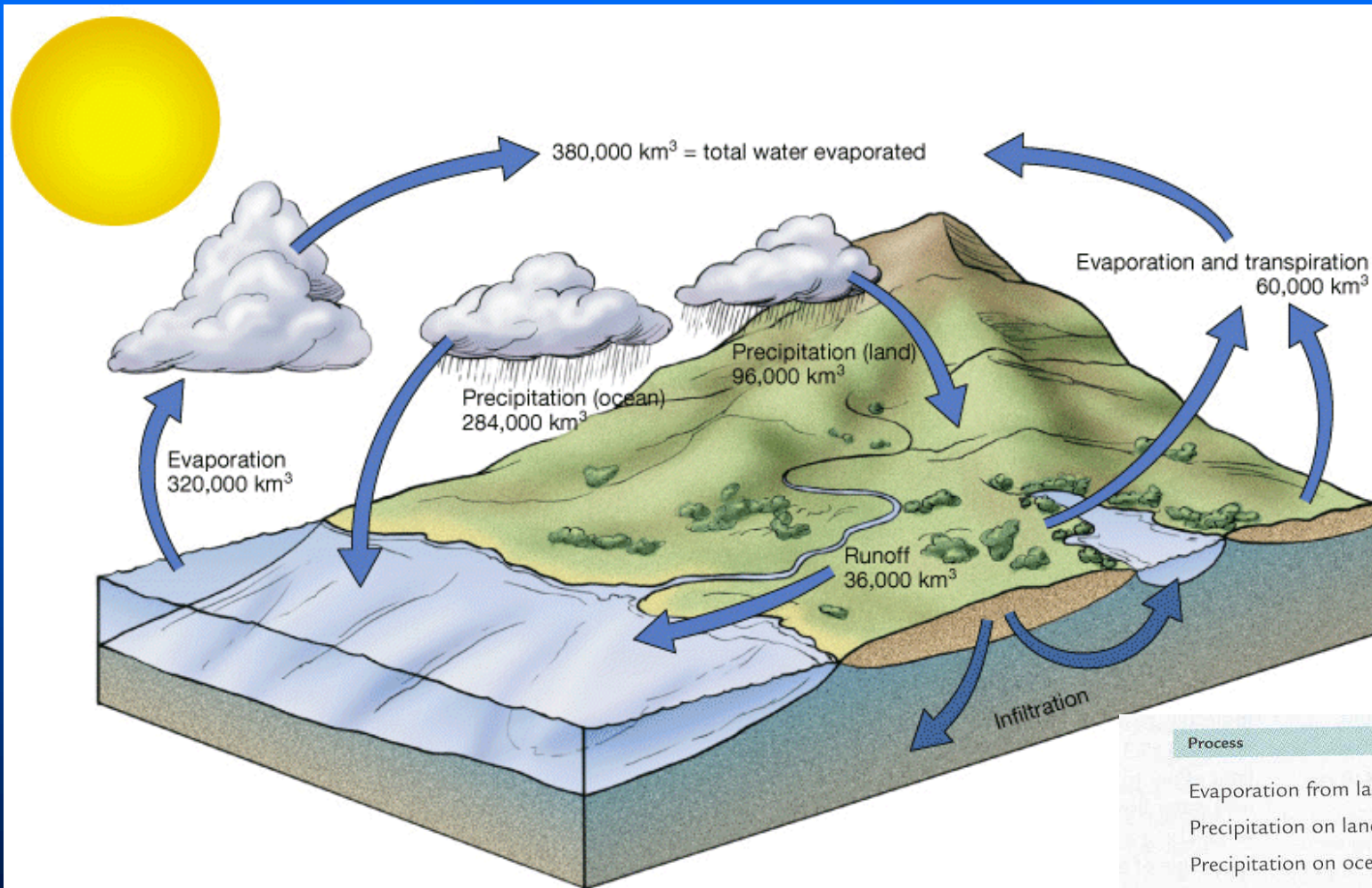
# EL AGUA

El agua cubre más del 60% de la superficie de la tierra en el hemisferio norte y 80% en el hemisferio sur. Obviamente, la mayoría del agua del planeta se encuentra en los océanos.

Reservorio	Volumen de agua ( $10^6$ km <sup>3</sup> )	Total de agua (%)
Océanos	1370	97.25
Hielo	29	2.05
Agua subterránea	9.5	0.68
Lagos	0.125	0.01
Atmósfera	0.013	0.001
Ríos	0.0017	0.0001
Biosfera	0.0006	0.00004
Total	1408.64	99.99



# EL CICLO HIDROLÓGICO



Process	Water Flux (km <sup>3</sup> /yr)
Evaporation from land	72,900
Precipitation on land	110,300
Precipitation on oceans	385,700
Evaporation from oceans	423,100
Total precipitation on Earth	496,000
Total evaporation on Earth	496,000

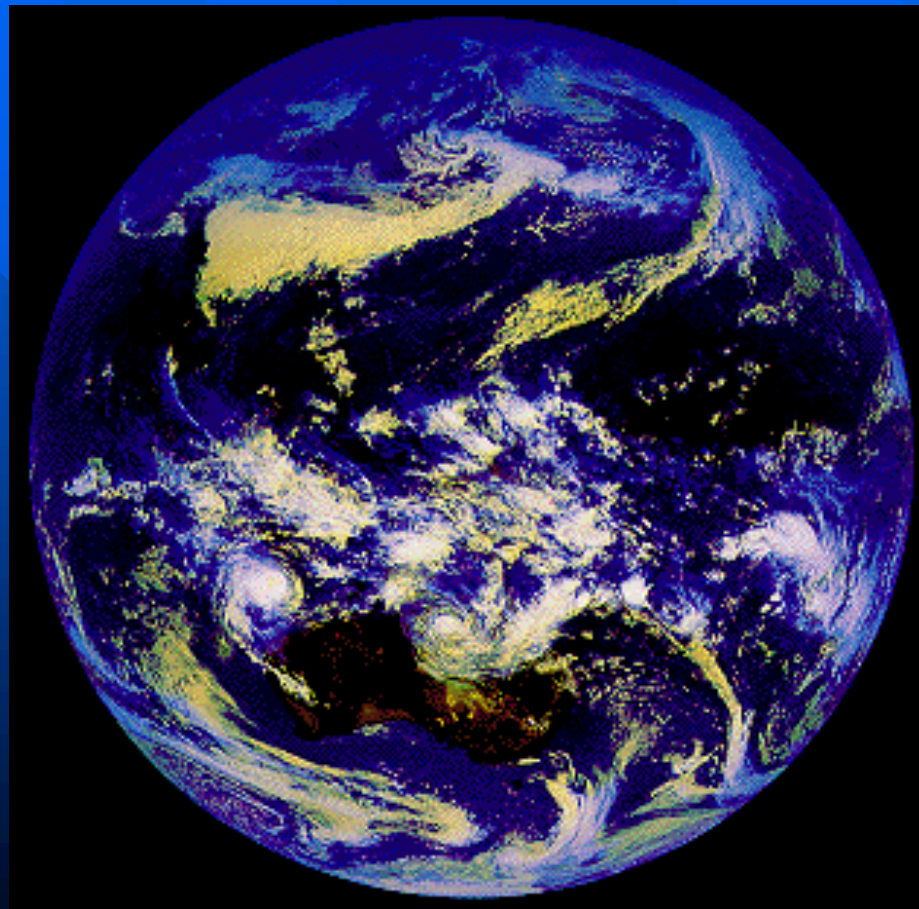
Source: Adapted from E. K. Berner and R. A. Berner, *The Global Water Cycle* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1987).



# LOS OCEÁNOS

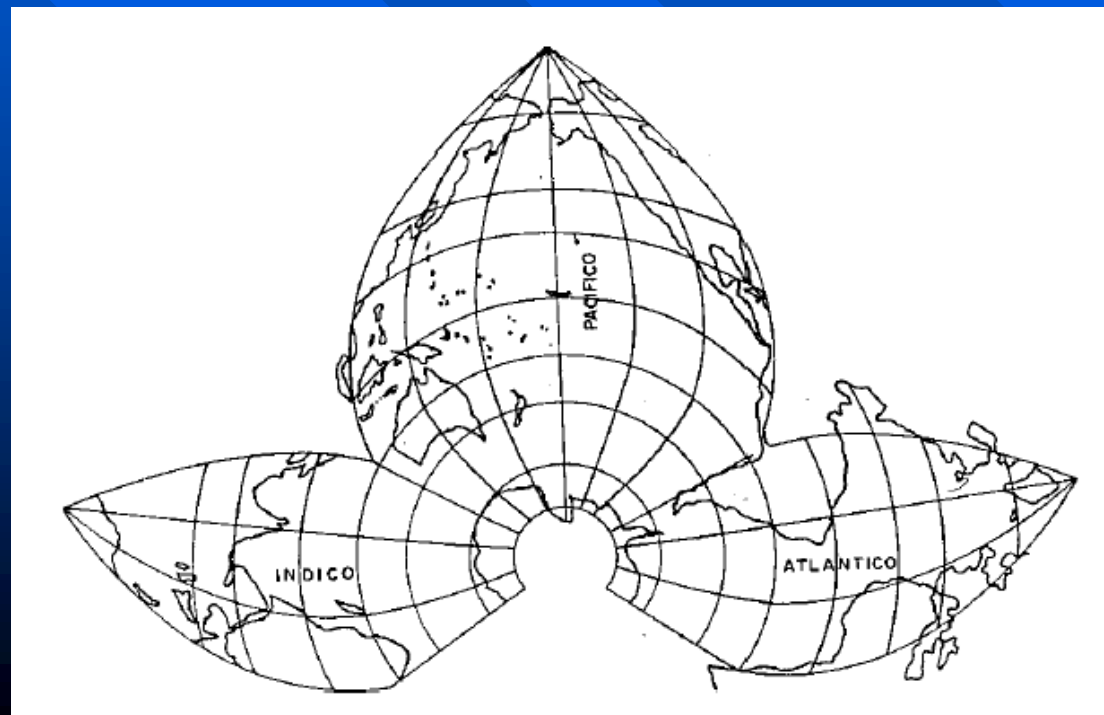
Entre los 510.1 millones de  $\text{km}^2$  que constituye la superficie del globo terrestre, 361.2 millones (71%), corresponden a los océanos. No obstante esa gran extensión, las aguas del mar representan solamente el 1.3 por mil del volumen total de la Tierra. Visto en proporción, el mar forma una capa extremadamente delgada sobre la superficie terrestre y su espesor en relación con el radio de la tierra puede ser comparado con el de la película de tinta que cubre un mapa de los mares, puesto que la profundidad promedio de los océanos es de alrededor de 4 km contra los 6,371 km del radio terrestre, correspondiendo a 0.6 por mil.

Uno de los aspectos fundamentales del mar es su distribución continua sobre la Tierra. Con la excepción insignificante del mar Caspio y de algunos pequeños mares aislados, el agua de mar forma un solo cuerpo cuyo volumen total es de 1,400 millones de  $\text{km}^3$ .



Desde el punto de vista oceanográfico, el océano mundial consta de tres ramas principales que se extienden hacia el norte a partir del océano circumpolar Antártico. Estas ramas representan los tres grandes océanos: el Atlántico, el Índico y el Pacífico

A lo largo de los límites del océano mundial se encuentran los mares adyacentes, parcialmente aislados por los continentes y por grupos de islas. Los mares adyacentes varían en su tamaño, profundidad y forma, así como en el modo con que se comunican con el océano mundial.



Los geólogos marinos, basándose en las características estructurales de la corteza oceánica y de la continental, así como en la forma de los fondos oceánicos, han propuesto una clasificación para diferenciar los cuerpos de agua marina.

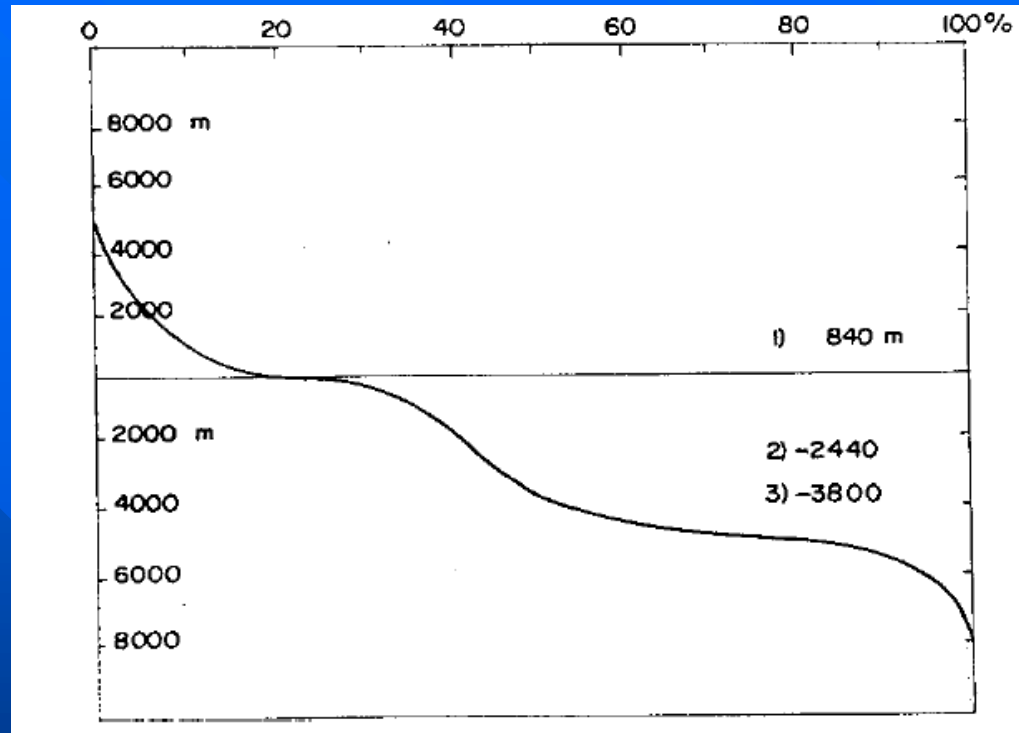
En esta clasificación, los océanos Atlántico, Pacífico e Índico son considerados como verdaderos océanos, puesto que alcanzan una profundidad promedio de 3,000 metros, cubren cortezas oceánicas y tienen áreas de más de 10'000,000 de km<sup>2</sup>.

Los geólogos han dividido los mares en: *continentales*, cuya profundidad no excede los 1,500 metros y cuya corteza, debajo sus aguas, es de tipo continental, como la del mar del Norte; *interiores*, que tienen una profundidad de menor a 5,000 metros y un área no mayor de 500,000 km<sup>2</sup>. Sus fondos pueden ser tanto de corteza oceánica como continental (por ejemplo, el mar Negro y el Caribe. También se considera al Mediterráneo por presentar una profundidad de 1,000 a 2,500 metros).



TIPO	CARACTERISTICAS	EJEMPLO
Océano	Profundidad superior a 3 000 metros; área de 1 millón de kilómetros cuadrados; corteza oceánica.	Océano Atlántico
Mar continental	Profundidad inferior a 1 500 metros, corteza continental	Mar del norte
Mar interior	Profundidad inferior a 500 metros; área inferior a 500 000 kilómetros cuadrados; corteza oceánica o continental.	Mar Negro
Mar mediterráneo	Profundidad de 1000 a 2500 metros, área inferior a 1 millón de kilómetros cuadrados; corteza oceánica.	

La proporción de la superficie de la Tierra que se sitúa por encima o debajo del nivel medio del mar está representada por la llamada curva hipsográfica.



Solamente el 1% de la superficie terrestre está cubierta por aguas con profundidades superiores a 6,000 m, mientras que cerca de la mitad tiene una profundidad entre 3,000 y 6,000 m, correspondiente a las grandes cuencas oceánicas. Las profundidades entre 0 y 3,000 m ocupan cerca del 16% y dentro de este intervalo el 5.5% corresponde a la profundidad de 0 a 200 m, al área de las plataformas continentales.

# Las fronteras del mar

Las fronteras del mar según su naturaleza, se dividen en tres clases:

- 1) La superficie libre que linda con la atmósfera, llamada sencillamente la superficie del mar.
- 2) La superficie fija que linda con la parte sumergida de la corteza terrestre, o sea, el fondo del mar.
- 3) El borde que linda al mismo tiempo con la atmósfera, con la tierra emergida y la tierra sumergida, o sea, la orilla.

Es a través de estas fronteras que el mar intercambia materia y energía con los medios adyacentes. Los procesos que ocurren en las fronteras producen son fundamentales para definir las características y el movimiento de las aguas en el mar.



Los procesos que ocurren en las fronteras del océano básicamente se agrupan en dos clases:

- a) el intercambio y transformación de la energía
- b) el intercambio de la materia

	FORMA	MEDIO ADYACENTE		
		ATMÓSFERA	FONDO	ORILLA <sup>2</sup>
ENERGÍA	Radiación	-absorción (+) <sup>3</sup> -emisión (-)	-insignificantes	reflexión
	Calor sensible	-evaporación (-) -condensación (+) -precipitación (+) -conducción molecular (±)	-conducción molecular (+)  -transformación de energía mecánica (+)	-escurrimiento (+) -hielo (-) -transformación de energía mecánica (+)
	Energía mecánica	-fricción del viento (+) -generación de olas (+)	-transformación por fricción (-)	-transformación por rompientes y fricción (-)
MATERIA	Agua	-evaporación (-) -condensación (+) -precipitación (+)	-fuentes submarinas (+)	-escurrimiento (+) -hielo (+)
	Gases	-absorción (+) -eliminación (-)	-vulcanismo (+) -procesos químicos y biológicos (±)	-gases en aguas terrestres (+)
	Solubles	-partículas de sal (±)	-disolución de rocas (+) -vulcanismo (+) -deposición (-) -procesos biológicos (±)	-sales en aguas terrestres (+)
	Insolubles	-polvo terrígeno y cósmico (+)	-suspensión (+) -sedimentación (-)	-partículas en aguas terrestres (+)

El océano mundial constituye uno de los agentes fundamentales del sistema termodinámico de nuestro planeta. En tal sentido su función es la de almacenar y redistribuir la energía de radiación proveniente del sol. Esta energía hace funcionar al planeta en términos físicos, químicos y biológicos para tarde o temprano regresar al espacio cósmico en forma de radiación.





# PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA

La salinidad ( $s$ ), temperatura ( $t$ ) y presión ( $p$ ) pueden ser determinadas con alta precisión y sus efectos sobre el comportamiento físico del agua han sido establecidos en detalle. Sin embargo es necesario, para la descripción exacta del comportamiento físico del agua de mar, considerar otros factores, como burbujas de aire, partículas orgánicas e inorgánicas etc. cuyo efecto sobre las propiedades físicas del agua es difícil de cuantificar.

# SALINIDAD

La salinidad del agua de mar se define tradicionalmente como sigue:

*La cantidad total, en gramos, de material disuelto que contiene un kilogramo de agua de mar, cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos; el bromo y el yodo sustituidos por cloro y toda la materia orgánica completamente oxidada.*

La materia disuelta en el agua de mar se compone en su mayoría de iones de los metales ligeros, sodio, magnesio, calcio y potasio, ligados con los iones cloruro, sulfato e hidrogenocarbonatos, constituyendo estos compuestos el 99.7 % de la salinidad, en tanto que el 0.3 % restante corresponde a un gran número de otras sustancias disueltas en el agua.



La salinidad se mide por medios químicos a través de titulación y por otros métodos que se basan en algunas propiedades físicas como el índice de refracción y la conductividad eléctrica, siendo éste último método el más empleado y con el que mejor precisión se obtiene (0.005ppm).

Las variaciones en la salinidad en el agua de mar van desde 1 ppm hasta 40 ppm, siendo el promedio mundial de salinidad de aproximadamente 35 ppm.

# TEMPERATURA

La temperatura de un cuerpo cualquiera caracteriza su estado térmico que, a su vez, está relacionado con la energía cinética (energía de movimiento) de las moléculas que lo constituyen. Esa energía cinética de las moléculas que influyen sobre la temperatura del cuerpo se denomina *calor*. Así la temperatura es un indicador de la cantidad de energía en forma de calor que posee el cuerpo.

En oceanografía, la temperatura generalmente se expresa en grados centígrados ( $^{\circ}$  C). En el océano mundial encontramos valores de la temperatura que varían entre  $-2$  y  $30^{\circ}$  C. La precisión con que es necesario medir la temperatura depende de la finalidad del estudio. Para las investigaciones en el campo de la oceanografía física esa precisión debe ser normalmente de  $0.01$  a  $0.02^{\circ}$  C (una a dos centésimas de grado).

# PRESION

La presión se define como: *fuerza por unidad de área*. Si expresamos la fuerza en dinas y el área en centímetros cuadrados, el valor de la presión se expresa en dinas por  $\text{cm}^2$ . Ahora bien, esa unidad es muy pequeña y por lo tanto es conveniente utilizar una mayor que denominamos bar. Esta unidad es, por definición, igual a un millón de dinas por  $\text{cm}^2$ .

En el mar la presión de un bar corresponde, aproximadamente, a la presión que ejerce una columna de agua de 10 metros de altura, siendo además muy cercana de la presión atmosférica normal. Por lo anterior al sumergirnos cada 10 metros, la presión aumentara en una atmósfera. Para tener una correspondencia aún mayor con el metro, empleamos en la oceanografía la unidad *decibar* (db), o sea, la décima parte de un bar, que por lo tanto corresponde, con buena aproximación, a la presión que ejerce una columna de agua de un metro de profundidad. *Así la profundidad medida en metros y la presión en decibares, tienen en el mar prácticamente el mismo valor numérico.*



- La presión en el mar se puede medir directamente mediante aparatos especiales, pero cuando estudiamos el efecto de la presión sobre las propiedades físicas del agua de mar podemos suponer que el valor numérico de la presión medida en decibares corresponde al valor de la profundidad expresada en metros.

# DENSIDAD

- La densidad de una sustancia es definida como *la masa que contiene la unidad de volumen, o sea, masa por volumen*. En el sistema cgs la densidad se indica en gramos por centímetro cúbico. La densidad del agua de mar depende de las tres variables mencionadas anteriormente (salinidad, temperatura y presión).

La siguiente figura nos da una idea de cómo varía la densidad en función de los otros tres factores:

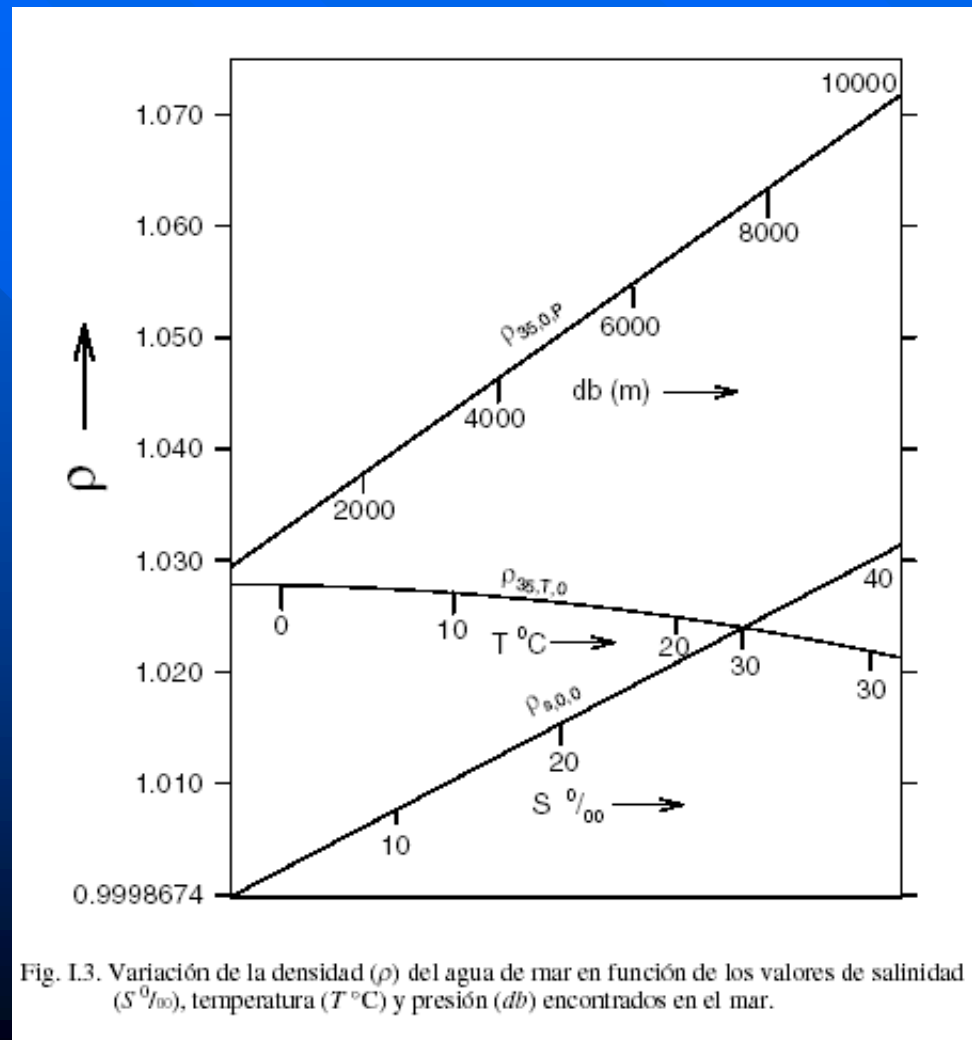


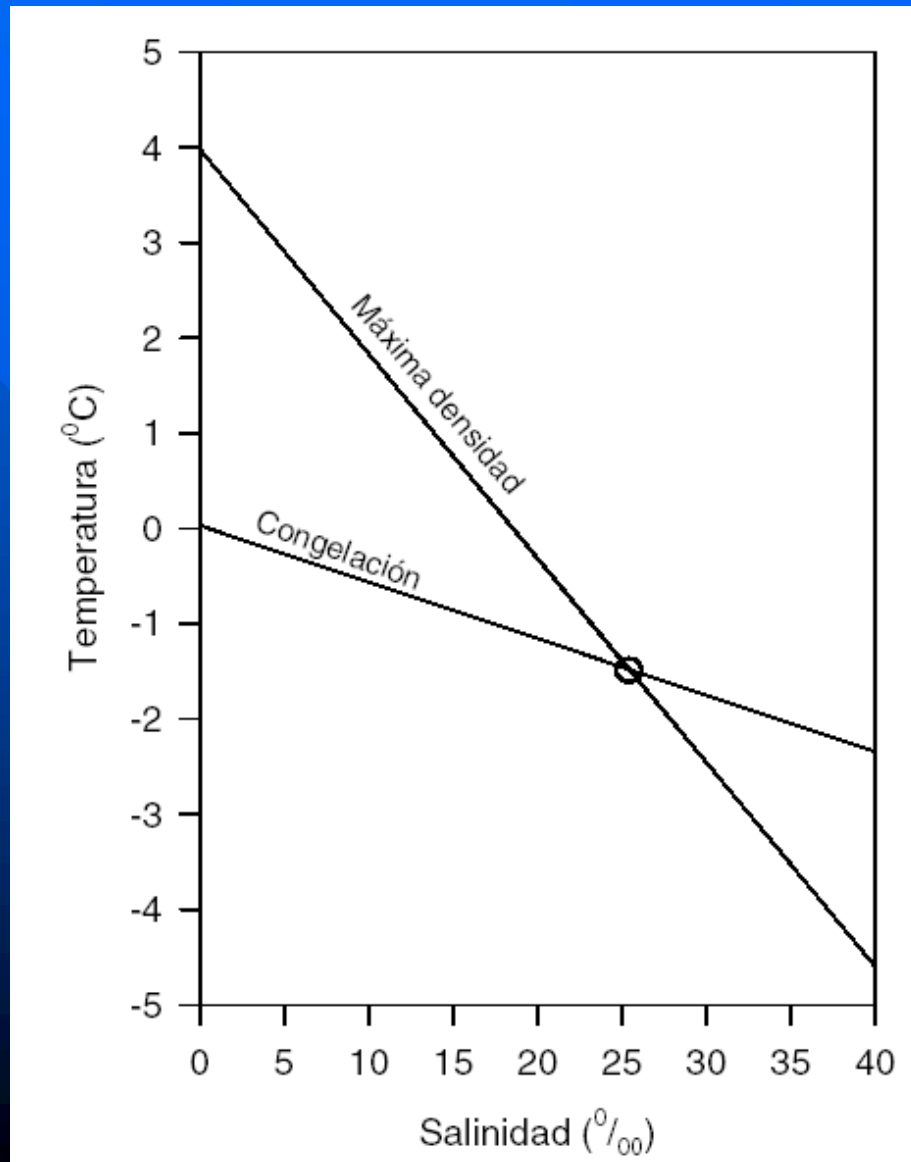
Fig. I.3. Variación de la densidad ( $\rho$ ) del agua de mar en función de los valores de salinidad ( $S$ ‰), temperatura ( $T$ °C) y presión ( $db$ ) encontrados en el mar.

A pesar de ser relativamente grande el efecto de la presión en el intervalo entre sus valores extremos, en el mar su influencia por unidad medida es pequeña comparada con la de la salinidad y de la temperatura, siendo su efecto importante únicamente en las regiones abisales. El valor de la densidad del agua de mar es siempre muy cerca de 1 y por eso un objeto de metal que se hunde en el agua cerca de la superficie continua hacia el fondo cualquiera que sea la profundidad, y no se queda flotando en profundidades intermedias, pues la densidad del objeto sigue siendo siempre mayor que la del agua.



La densidad del agua de la superficie de los mares tiene una cierta importancia para la flotabilidad de los objetos y hay que tomarla en cuenta, por ejemplo, para la seguridad de buques muy cargados, de igual manera a los organismos marinos, en particular los planctónicos, la densidad los afecta en su flotabilidad, puesto que las proteínas y las partes rígidas de sus cuerpos tienen una densidad más elevada que la del agua de mar.

La temperatura a la cual el agua alcanza su *densidad máxima* depende de la salinidad como se ve en la figura:



El punto de congelación del agua también sufre una reducción cuando la salinidad aumenta, pero en proporción menor. La temperatura de congelación es  $0^{\circ}$  C a salinidad 0 ppm y  $-2.12$  a salinidad de 40 ppm. El punto en la gráfica donde las líneas se cruzan, corresponde a  $T = -1.33^{\circ}$  C y  $S = 24.70$ . El agua con salinidad inferior a 24.7 ppm, al bajar la temperatura, alcanza el punto de densidad máxima antes del punto de congelación y el agua con salinidad superior a este valor tiene su punto de densidad máxima por debajo del punto de congelación. Esa peculiaridad del agua es de gran importancia para la circulación vertical y para la formación de hielos en los lagos, así como en las áreas del mar con salinidad inferior a 24.7 ppm, como por ejemplo en el Mar Báltico.

En tales condiciones, al sufrir enfriamiento y el consiguiente aumento de la densidad el agua de la superficie se hunde, siendo entonces reemplazada por agua más caliente situada por debajo de la superficie. De este modo empieza la circulación vertical, pero cuando toda la capa ha alcanzado la temperatura de máxima densidad, la circulación cesa y al descender más la temperatura, el agua de la superficie puede llegar a su punto de congelación, formándose entonces una película de hielo que a su vez reduce la pérdida de calor del agua evitando al mismo tiempo la formación excesiva de hielo. De esta manera está asegurada la supervivencia de peces y otros organismos que de otro modo estarían sujetos a la congelación. Por otra parte, cuando la salinidad de la capa superficial es superior a 24.7 ppm, la circulación vertical continúa hasta que toda la capa ha alcanzado el punto de congelación, formándose entonces una mezcla de cristales de hielo y agua de mar.



La salinidad reduce el punto de congelación o sea, la temperatura bajo la cual una cantidad ínfima de cristales de hielo puro se mantiene en equilibrio con la solución. A medida que los cristales se van formando, la parte líquida aumenta su salinidad, bajando aún más el punto de congelación. De este modo se forma una mezcla que consiste en cristales de hielo puro, por un lado, y de agua salada por el otro. Si retiramos más calor, los cristales de hielo van creciendo formando una masa porosa que encierra gotitas de agua con salinidad muy elevada que, en el caso de hielo formado en el mar, van desplazándose poco a poco hacia abajo y uniéndose al agua subyacente, aumentando su salinidad. Por esta razón, al pasar el tiempo, el hielo marino se queda prácticamente sin sal, un hecho aprovechado muchas veces por los viajeros en las regiones polares para la obtención de agua potable.

# CALOR ESPECIFICO Y CAPACIDAD TÉRMICA DEL AGUA

Definimos el calor específico de una sustancia como *el número de calorías que hay que suministrarle a un gramo de dicha sustancia para incrementar su temperatura en un grado centígrado*. El calor específico del agua a 15°C es de una caloría. La cantidad de calor que se hace necesaria para producir una determinada elevación de temperatura varía de una sustancia a otra. Esa propiedad física la llamamos *capacidad calorífica* o *capacidad térmica de la materia*.

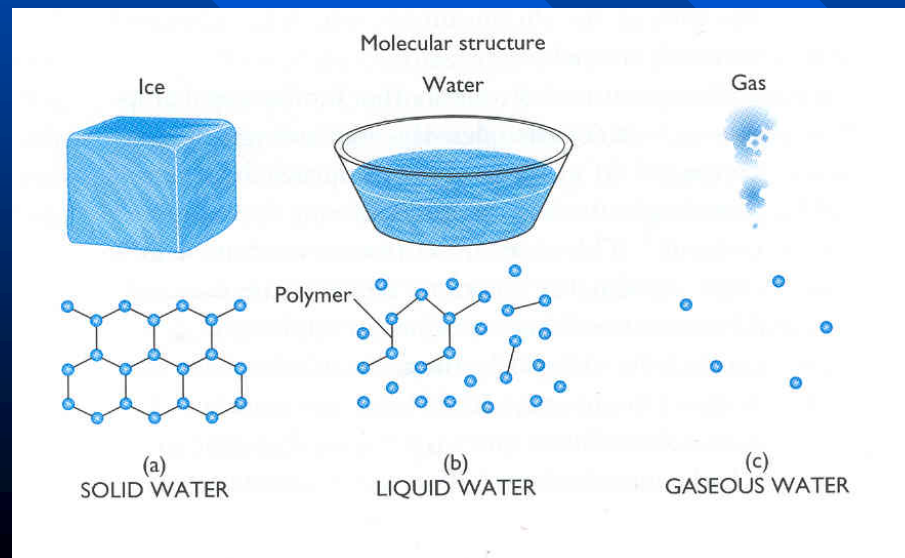
La capacidad calorífica del agua es la más elevada entre todos los sólidos y líquidos que conocemos, con la sola excepción del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La capacidad calorífica del agua es, por ejemplo, cerca de 10 veces mayor que la del cobre y 5 veces mayor que la de la roca cristalina. Esto significa que podemos elevar la temperatura de un gramo de cobre en  $10^\circ$  centígrados con una caloría, mientras que esta misma cantidad de calor elevaría la temperatura de un gramo de agua en  $1^\circ$  centígrado solamente.

Esta propiedad única del agua es de suma importancia, tanto para las condiciones biológicas como para las climáticas, puesto que la absorción del calor por el agua evita las variaciones bruscas y los valores extremos de la temperatura en el ambiente terrestre. Por medio de esta gran capacidad de almacenar calor, el agua, al desplazarse de un punto a otro uniformiza las condiciones térmicas y climáticas de las regiones que se hallan bajo su influencia. *El calor específico del agua de mar es ligeramente inferior al del agua pura a la misma temperatura.*



# CALOR LATENTE DE EVAPORACIÓN Y FUSIÓN

En el ambiente terrestre, el agua puede hallarse en tres estados físicos principales: sólido, líquido y gaseoso. Para pasar de uno de estos estados al otro, es necesario aumentar o disminuir la energía interna. En el estado sólido las moléculas están organizadas en estructuras rígidas, es decir, mantienen una relación geométrica fija entre sí. Si aumentamos la energía interna, la distancia entre las moléculas aumenta lo suficiente para romper la estructura rígida y en este instante el agua pasa al estado líquido. A este proceso le llamamos fusión, y la energía en forma de calor necesaria para transformar un gramo de materia sólida en líquida la llamamos *calor latente de fusión*. En el caso del agua pura, el calor latente de fusión es de 80 calorías.

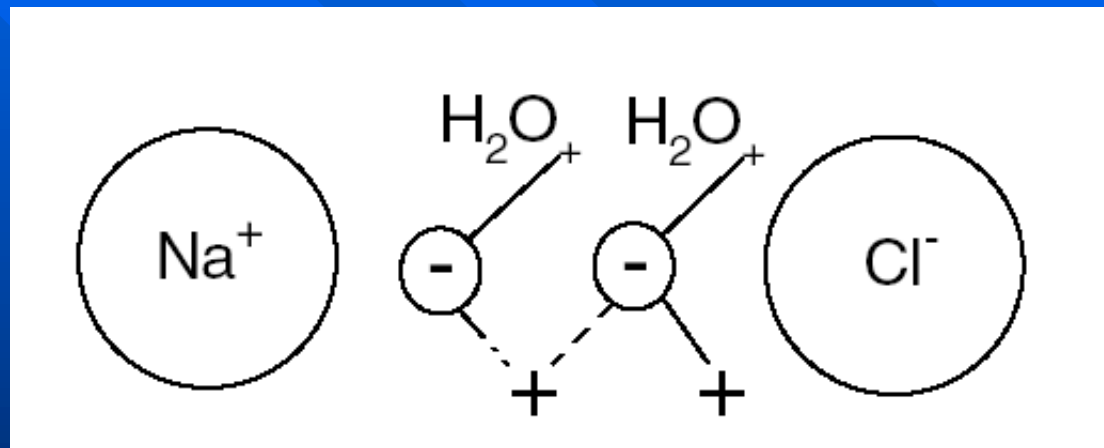


Suministrando más calor, el agua en su estado líquido eleva su temperatura, lo que equivale a decir que la velocidad promedio de sus moléculas va aumentando. Las que se encuentran en la superficie del líquido y que tienen la mayor velocidad empiezan a saltar fuera de la misma, pasando de este modo del estado líquido al gaseoso. Este es el proceso de evaporación. Puesto que son las moléculas más veloces las que consiguen escapar del líquido, la velocidad promedio y por lo tanto, la temperatura del mismo, disminuyen. De este modo, el proceso de evaporación consume la energía calorífica del líquido y reduce su temperatura. La energía necesaria para transformar un gramo de materia del estado líquido al gaseoso, la llamamos *calor latente de evaporación*. El calor latente de evaporación del agua de mar difiere de un modo insignificante del valor establecido para el agua pura.

# CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La materia en el estado gaseoso o sólido conduce en mayor o menor grado la corriente eléctrica. Esa propiedad la llamamos *conductividad eléctrica*. El agua en su estado puro tiene una conductividad eléctrica extremadamente baja. Debido a la asimetría de la distribución de las cargas eléctricas dentro de la molécula de agua, esta se orienta en un campo eléctrico cuando el átomo de oxígeno es atraído hacia el polo positivo y el hidrógeno hacia el negativo, neutralizando de esa manera el campo, puesto que prácticamente no existen partículas libres para transmitir la corriente.

Por ese motivo el agua también tiene una gran capacidad como solvente de sales, una vez que los iones positivos y negativos de las sales son aislados uno del otro, por las moléculas de agua que se orientan con el efecto de neutralizar la atracción electrostática entre los iones de cargas opuestas, como muestra la figura:



Los átomos de hidrógeno con su exceso de carga positiva son atraídos por el ion negativo ( $\text{Cl}^-$ ) y el oxígeno de una molécula vecina (puente de hidrógeno), mientras que el oxígeno es atraído por el ion positivo ( $\text{Na}^+$ ).



De ese poder de disolución resulta que el agua contiene siempre iones libres que se pueden desplazar en el campo eléctrico aumentando la conductividad eléctrica extraordinariamente. Por esa razón el agua de mar tiene una conductividad relativamente elevada y su valor aumenta con la salinidad en una función casi lineal, aumentando también con la temperatura, como muestra la tabla siguiente:

Conductividad eléctrica del agua de mar en  $\text{ohms}^{-1}/\text{cm} \times 10^5$

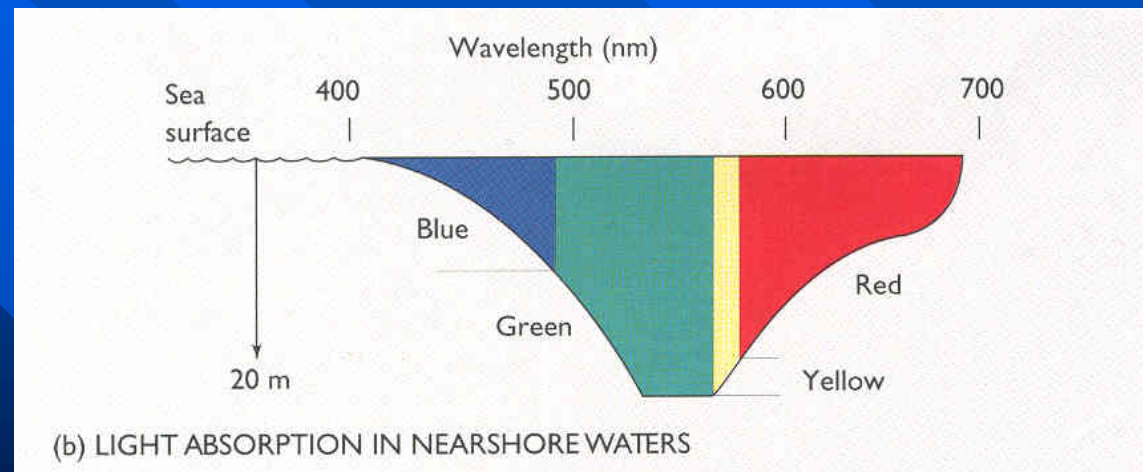
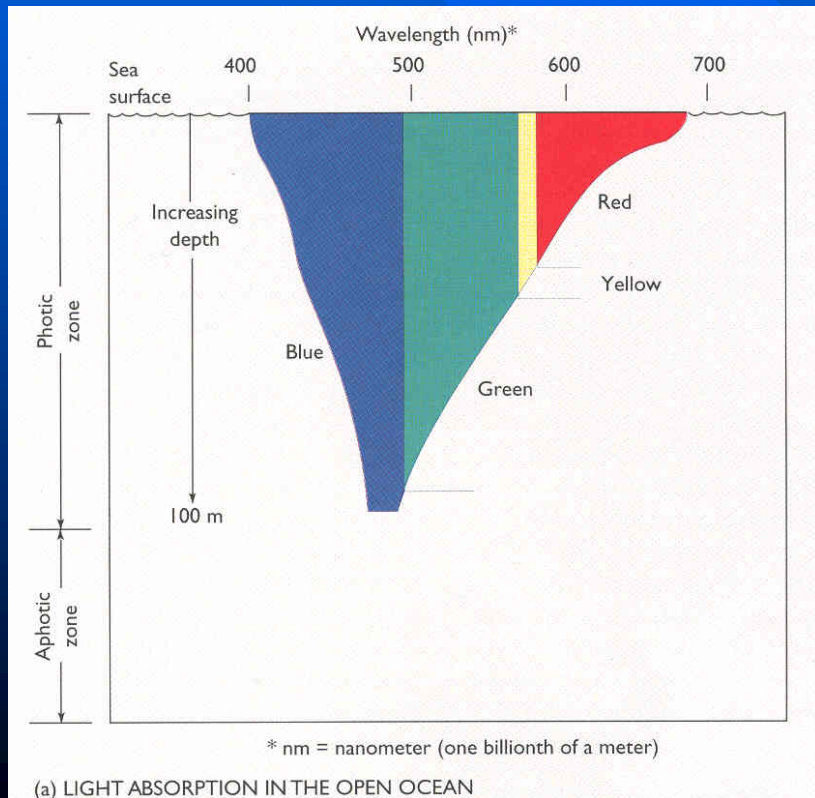
$S^0/_{\text{oo}}$	$T^0 \text{ C}$		
	0	15	25
10	923	1378	1712
20	1747	2594	3214
30	2528	3740	4626
40	3276	4834	5967

La conductividad eléctrica juega, por supuesto, un papel importante en la química y en la biología del agua de mar.

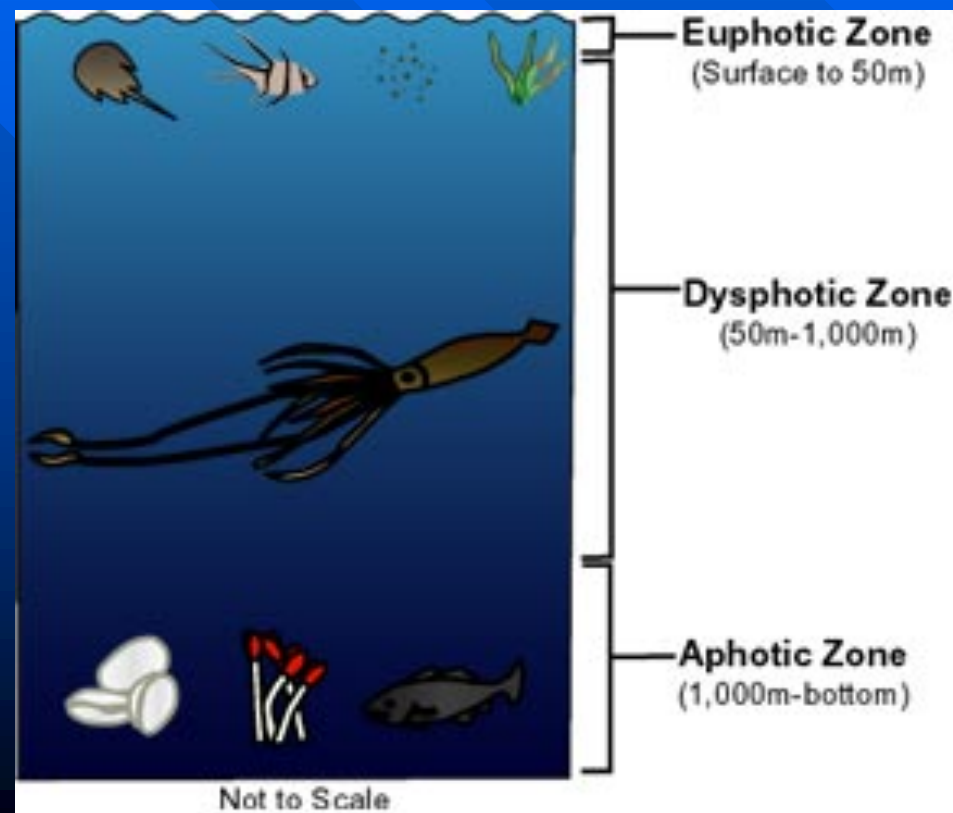
# LUZ

La vida, con pocas excepciones, depende de la luz solar para vivir. En el océano, cuando la luz solar llega, una gran parte es reflejada de regreso a la atmósfera. La cantidad de luz reflejada dependerá de varios factores como la posición del sol o la tranquilidad de las aguas. La radiación que no es reflejada es absorbida por las moléculas de agua. Cerca del 65% de la luz visible es absorbida en el primer metro de la superficie. Esta energía absorbida se manifiesta como calor, elevando la temperatura del agua superficial.

Las longitudes de onda más largas de la luz visible (rojos y amarillos) son absorbidas más rápidamente que las longitudes de onda más cortas (azules y verdes). Es esta propiedad lo que le da los colores azules o verdes al agua de mar. Cerca de las costas, sin embargo, hay que considerar las cargas de sedimentos que pueden alterar las propiedades de absorción de la luz y cambiar por lo tanto, el color del agua.



Ya que la luz va disminuyendo con la profundidad es conveniente separar la columna de agua en zonas de acuerdo a la luz que reciben:





# SONIDO

El sonido se transmite más eficiente y rápidamente en el agua que en el aire. En el mar la velocidad del sonido es en promedio de 1,445 m/s, mientras que en el aire es de 334 m/s. La velocidad del sonido se incrementa cerca de 1.3 m/s por cada unidad (ppm) que se incremente la salinidad, 4.5 m/s por cada incremento en un grado centígrado de la temperatura y en 1.7 m/s por cada 100 m de incremento en la profundidad (es decir, por efecto de la presión). Ya que la salinidad varía muy poco con la profundidad, la velocidad de transmisión del sonido depende entonces principalmente de la temperatura y la presión.

