



## Clase 9 - Circulación Oceánica

513113 Introducción a la Geofísica  
Pedagogía en Ciencias Naturales

Matt Miller, Daniel Marcos  
Departamento de Geofísica  
Universidad de Concepción  
mrmiller@udec.cl  
[www.mttmlr.com](http://www.mttmlr.com)



# Introducción - Objetivos

- Entender los principios básicos de la circulación oceánica.
- Describir los principales patrones de circulación oceánica, como corrientes superficiales y circulación de aguas profundas.
- Reconocer las condiciones que causan la surgencia.
- Explicar las causas y efectos de los eventos de El Niño y La Niña.
- Interpretar tablas de mareas en términos de la combinación de fuerzas asociada con el sistema gravitacional Tierra-Luna-Sol.



# Introducción

- Los océanos son los grandes reservorios de agua en el sistema hidrológico y afectan esencialmente cada fase de la dinámica de la Tierra.
- La mayor parte del agua de la Tierra reside en los océanos, que cubren el 70% de la superficie terrestre y contienen aproximadamente el 97% del agua de la Tierra.
- La capa oceánica superior es delgada, de agua cálida y bien mezclada.
- La capa oceánica más profunda es fría, relativamente tranquila y se mueve lentamente.
- La gran capacidad de los océanos para almacenar calor modera los cambios de temperatura diarios y estacionales.



# Composición del Agua de Mar

- El principal componente disuelto del agua de mar es la sal (NaCl).
- La salinidad es una medida de todas las sales disueltas en el océano.
- La salinidad varía según la cantidad de agua dulce que ingresa desde los ríos o los glaciares derretidos, la tasa de evaporación y la tasa de almacenamiento de sal en los sedimentos.

| <b>Component</b> | <b>Chemical Formula</b>       | <b>Concentration (g/kg)</b> |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Chloride         | Cl <sup>-</sup>               | 19.4                        |
| Sodium           | Na <sup>+</sup>               | 10.8                        |
| Magnesium        | Mg <sup>+</sup>               | 1.3                         |
| Sulfate          | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2.7                         |
| Calcium          | Ca <sup>2+</sup>              | 0.4                         |
| Potassium        | K <sup>+</sup>                | 0.4                         |
| Bicarbonate      | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0.1                         |

*Compiled from D. L. Hartmann*

**Figura 1:** Principales componentes disueltos en los océanos de la Tierra.  
(Fuente: Earth's Dynamic Systems))



# Estructura Térmica de los Océanos

- Las temperaturas oceánicas varían con la profundidad y la latitud.
- En la mayoría de los casos, el océano se estratifica en agua superficial cálida y agua profunda más fría (y, por lo tanto, más densa).
- La temperatura a una profundidad de 1 km varía poco con la latitud.

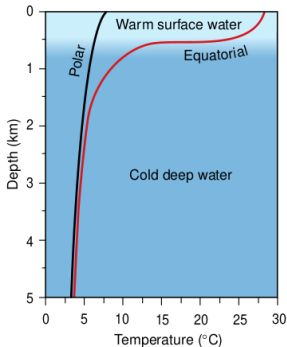


Figura 2: La distribución de temperatura con la profundidad en los océanos.  
(Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# Estructura Térmica de los Océanos

- El océano se divide en capas debido a las diferencias de temperatura, al igual que la atmósfera.
- Una capa superior delgada (agua superficial) generalmente es cálida y tiene una densidad menor. Es una capa rica en oxígeno.
- Los primeros 100 metros aproximadamente de los océanos están bien mezclados, agitados por los vientos, las olas y las corrientes superficiales.
- Debajo de la capa superficial, la temperatura disminuye rápidamente hacia la capa profunda, fría y densa.
- El agua profunda se mueve muy lentamente. Además, la diferencia de densidad entre las dos capas dificulta que el agua fría ascienda y se mezcle con la capa superficial.



# La Circulación Oceánica

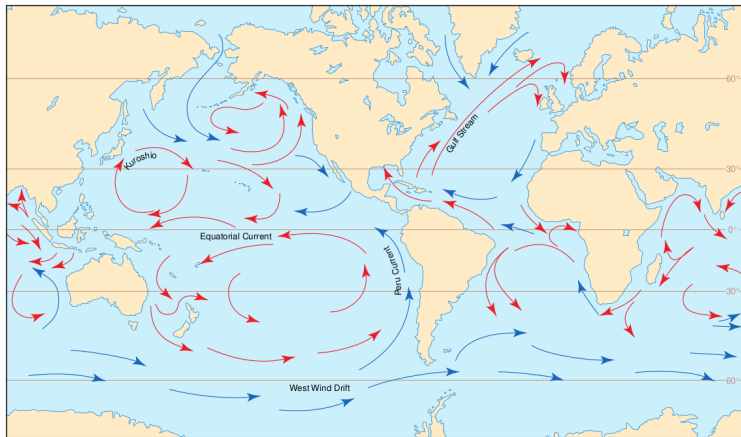


Figura 3: Las corrientes superficiales de los océanos. La mayoría de las corrientes tienen patrones aproximadamente circulares. Se muestran corrientes cálidas (rojas) y frías (azules). (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# La Circulación Oceánica

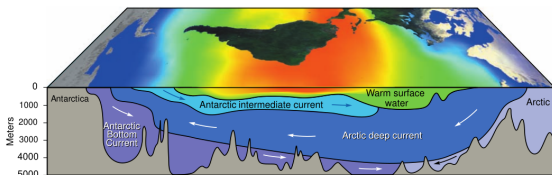
- La circulación de los océanos es uno de los principales factores en el desarrollo del clima de la Tierra.
- Las aguas profundas y superficiales de los océanos circulan mediante mecanismos distintivos y a diferentes velocidades.
- Las corrientes superficiales generalmente se mueven en la misma dirección que los vientos que las crearon. Este efecto se nota especialmente en el Océano Pacífico.
- Las corrientes superficiales en otras áreas del océano son más complejas debido a las formas de los continentes y variaciones batimétricas.
- La Corriente de Humboldt, también conocida como Corriente del Perú, es una corriente oceánica fría de baja salinidad que fluye en dirección noroeste a lo largo de la costa de Chile.





# La Circulación Oceánica

- La circulación lenta del agua en el océano profundo es causada por cambios en la densidad del agua. Las principales causas de esta variación de densidad en el agua de mar son la temperatura y la salinidad.
- Las aguas del océano profundo son generalmente ricas en nutrientes disueltos. Los desechos en caída pueden disolverse y no existen suficientes organismos para consumir los nutrientes.



**Figura 4:** La circulación profunda del océano es impulsada por las diferencias de densidad. El agua fría del fondo en el océano Atlántico se desploma a lo largo de los márgenes de la Antártica y fluye hacia el norte. El agua fría de la superficie en el norte también se hunde hacia el fondo del océano y fluye hacia el sur. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# La Circulación Oceánica

- Se necesitan alrededor de 1000 años para que un ciclo completo de agua superficial se convierta en agua profunda y luego nuevamente en agua superficial.

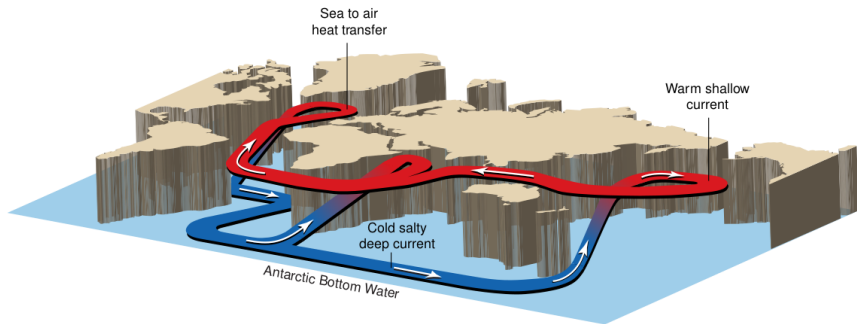
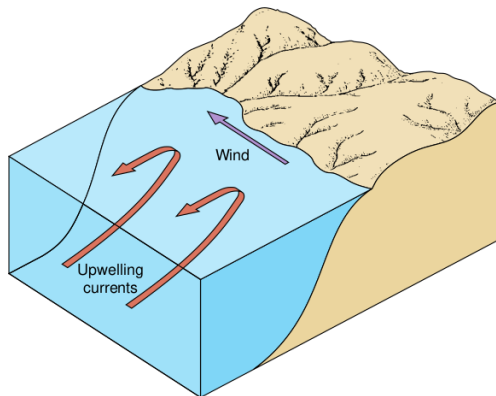


Figura 5: El patrón global de circulación oceánica se puede comparar con una enorme cinta transportadora que lleva agua superficial a grandes profundidades y luego de regreso. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# La Surgencia Costera



**Figura 6:** Las aguas de surgencia son comunes a lo largo de los márgenes de los continentes.  
(Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# La Surgencia Costera

- A lo largo de las costas de muchos continentes, la intensa surgencia costera de aguas profundas del océano es una parte importante de la circulación oceánica.
- Estas aguas profundas son ricas en nutrientes y alimentan abundantes floraciones de plancton, que a su vez son alimento para una amplia variedad de animales marinos. Algunas de las pesquerías más ricas del océano se encuentran en estas aguas.
- En Chile, la fuerza de Coriolis actuando sobre la corriente con dirección hacia el norte aleja el agua superficial de la costa. Para rellenar el vacío, las aguas profundas afloran y llevan aguas ricas en nutrientes a la superficie.



# La Surgencia Ecuatorial

- En el Pacífico ecuatorial, los vientos soplan las corrientes ecuatoriales hacia el oeste, luego ocurre una separación de los corrientes hacia el norte y el sur en sus respectivos hemisferios. Esto crea una zona de divergencia y una región de surgencia y alta productividad.

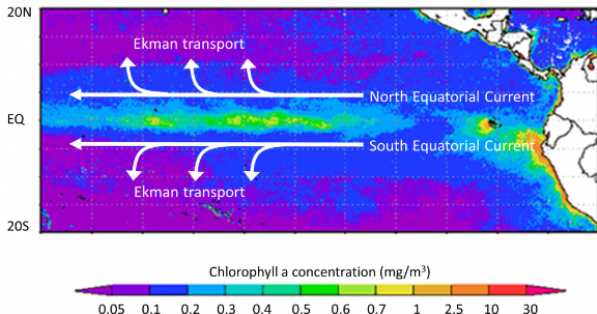


Figura 7: Surgencia ecuatorial y aumento de la productividad como resultado de la divergencia entre las corrientes ecuatoriales del norte y del sur. (Fuente: RWU)



# La Interacción Atmósfera-Océano

- La variación en el calentamiento solar produce vientos, impulsando la circulación superficial del océano.
- La mezcla con el agua profunda es mucho menos eficiente y ocurre principalmente mediante el hundimiento de aguas polares. Las surgencias devuelven el agua profunda a la superficie.

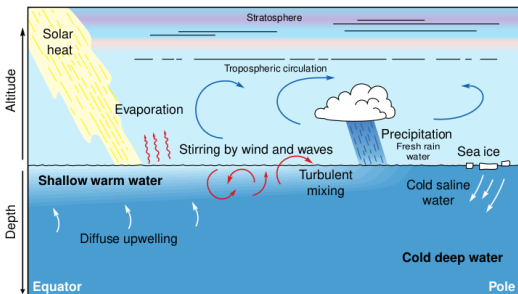


Figura 8: El océano y la atmósfera forman un sistema simple de interacción entre el agua y el aire, con muchos procesos involucrados. (Fuente: Earth's Dynamic Systems)



# El Niño y La Niña

- El Niño es una situación climática periódica en la cual el agua cálida se extiende totalmente o en su mayoría hasta el borde oriental del Pacífico ecuatorial.
- Más formalmente, el evento se conoce como Oscilación del Sur-El Niño (ENSO).
- En condiciones normales en el Pacífico ecuatorial, los vientos alisios soplan hacia el oeste, desplazando grandes cantidades de agua cálida de la superficie hacia el Pacífico occidental. A medida que el agua superficial se desplaza hacia el oeste, es reemplazada por agua profunda fría y rica en nutrientes a través de la surgencia.
- Existe baja presión sobre el Pacífico occidental, lo que provoca el ascenso de aire húmedo y precipitaciones significativas en la región. En el Pacífico oriental, cerca de Sudamérica, existe alta presión, lo que conduce a condiciones más secas.



# El Niño y La Niña

- Baja presión en el Pacífico occidental y alta presión en el Pacífico oriental hacen que los vientos alisios muevan el agua superficial hacia el oeste, lo que resulta en surgencia de aguas más frías cerca de Sudamérica.

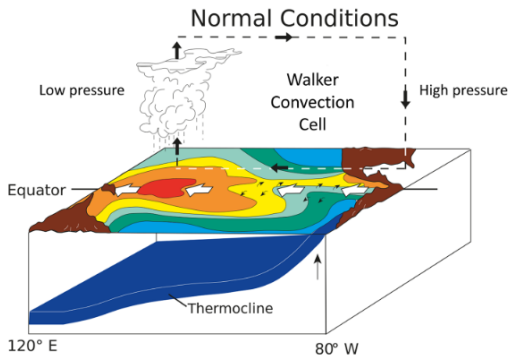


Figura 9: Condiciones normales. (Fuente: RWU)





# El Niño y La Niña

- Durante un evento de El Niño, se debilitan los vientos alisios y el agua cálida de la superficie comienza a fluir hacia el este, calentando el agua costera sudamericana. Esta entrada de agua cálida evita la surgencia, lo que puede devastar las poblaciones de peces y otras formas de vida marina.

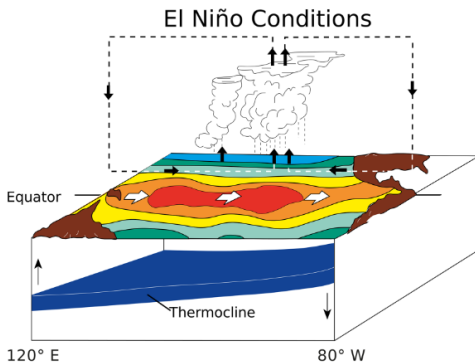


Figura 10: Condiciones de El Niño. (Fuente: RWU)



# El Niño y La Niña

- En la atmósfera, el sistema de baja presión en el Pacífico occidental es reemplazado por alta presión, lo que trae condiciones de sequía al sudeste de Asia y Australia.
- El sistema de baja presión se desplaza hacia el este a través del Pacífico, llegando potencialmente hasta Sudamérica en años de El Niño fuertes. La baja presión sobre el Pacífico oriental provoca lluvias abundantes e inundaciones en Sudamérica.
- Durante la temporada de El Niño de 2014-2016, cerca de 100 millones de personas en todo el mundo sufrieron escasez de alimentos o agua debido a inundaciones y sequías.
- Los eventos de El Niño ocurren aproximadamente cada 2-7 años, y cada evento puede durar desde algunos meses hasta un año o más.
- Debido a que la Oscilación del Sur es un patrón cíclico, el Pacífico oriental no solo está sujeto a condiciones inusualmente cálidas. También hay períodos de agua anormalmente fría en la región conocidos como eventos de La Niña.



# El Niño y La Niña

- Durante un evento de La Niña, los vientos alisios son inusualmente fuertes, lo que lleva a un aumento de la surgencia y al transporte de agua fría y profunda hacia la superficie. Los efectos de una La Niña son básicamente lo opuesto a los de un El Niño

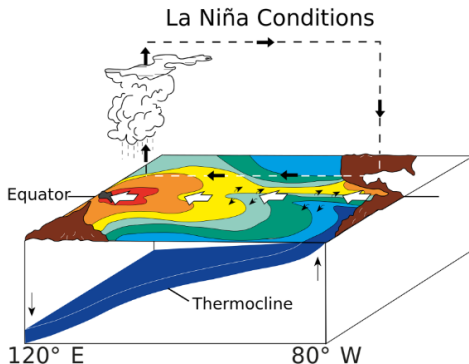
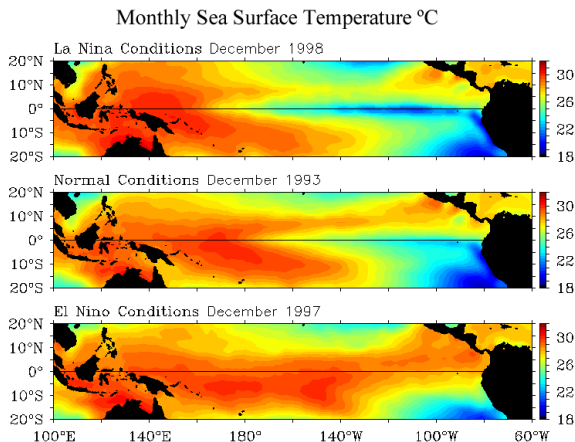


Figura 11: Condiciones de La Niña. (Fuente: RWU)



# El Niño y La Niña



TAO Project Office/PMEL/NOAA

Figura 12: Comparación de las temperaturas medias de la superficie del mar en diciembre en el Pacífico ecuatorial durante condiciones de La Niña (arriba), condiciones normales (en el medio) y condiciones de El Niño (abajo). (Fuente: NOAA)



# Las Mareas

- La fuerza gravitacional entre la Tierra y la Luna tira del agua hacia la Luna. Este abultamiento siempre está orientado hacia la Luna, mientras que la Tierra gira a través de él.
- Las regiones de la Tierra que se desplazan a través del abultamiento experimentan una marea alta.

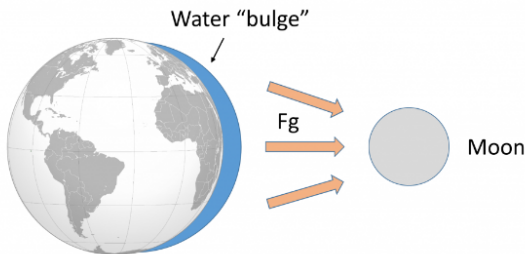


Figura 13: Las fuerzas gravitacionales entre la Tierra y la Luna causan un abultamiento de agua en el lado de la Tierra que enfrenta a la Luna. (Fuente: RWU)



# Las Mareas

- La rotación del sistema Tierra-Luna crea una fuerza inercial hacia afuera, siempre está dirigida lejos de la Luna.
- En el lado de la Tierra opuesto a la Luna, la fuerza neta resultante está dirigida lejos de la Luna, creando un abultamiento de agua dirigido hacia afuera de la Luna.
- A medida que la Tierra gira durante un día de 24 horas, cada región pasa a través de dos abultamientos y experimenta dos mareas altas y dos mareas bajas al día.

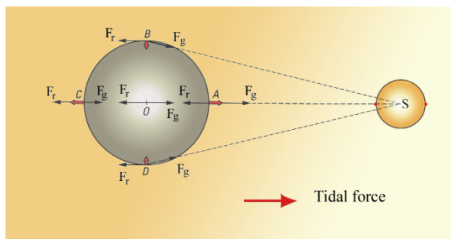


Figura 14: El sistema completo de fuerzas gravitacionales ( $F_g$ ) y fuerzas inerciales ( $F_r$ ) Tierra-Luna. (Fuente: RWU)



# Las Mareas

- Las fuerzas gravitacional e inercial del sistema Tierra-Sol crean sus propios abultamientos de agua (más pequeños).
- Cuando el Sol, la Tierra y la Luna están alineados, como ocurre durante las lunas nuevas y llenas, los abultamientos solares y lunares también están alineados, creando un rango de marea especialmente alto (mareas de sicigia).

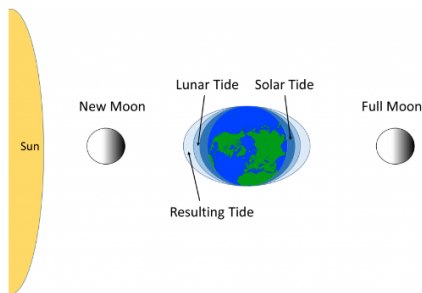


Figura 15: Condiciones para mareas de sicigia. (Fuente: RWU)



# Las Mareas

- Cuando el Sol, la Tierra y la Luna están en un ángulo de 90 grados entre sí, los abultamientos solares y lunares están desfasados y se cancelan.
- Ahora el rango de marea es más pequeño, con mareas altas bajas y mareas bajas altas. Estas son las mareas muertas y ocurren cada dos semanas, cuando la Luna está en sus fases 1/4 y 3/4.

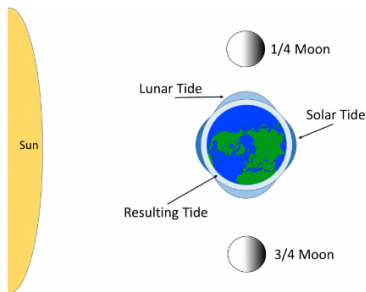


Figura 16: Condiciones para mareas muertas. (Fuente: RWU)





# Las Mareas

- Las fuerzas gravitacionales del Sol son solo aproximadamente la mitad de fuertes que las de la Luna, entonces el efecto Solar (ciclo de 14 días) es menor que el efecto de la Luna (ciclo de 12 horas).

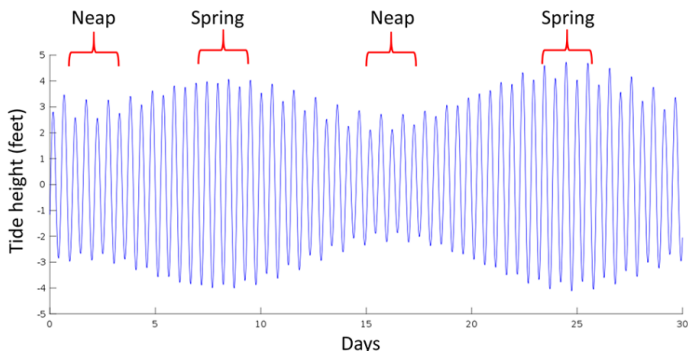


Figura 17: 30 días de datos de mareas de Bridgeport, CT, EE. UU., que muestran los rangos de marea de sicigia (spring) y mareas muertas (neap). (Fuente: RWU)



# Resumen - Conclusiones

- Los océanos son fundamentales en el sistema hidrológico de la Tierra y desempeñan un papel crucial en la regulación del clima.
- La estructura térmica de los océanos muestra una estratificación con aguas superficiales cálidas y aguas profundas frías y densas.
- La circulación oceánica se produce a través de corrientes superficiales y corrientes profundas, influenciadas por la temperatura, densidad y vientos.
- La surgencia costera y ecuatorial son fenómenos importantes que favorecen la productividad biológica en esas áreas.
- Los eventos de El Niño y La Niña son oscilaciones climáticas periódicas que afectan las condiciones oceánicas y atmosféricas, causando impactos significativos en el clima global.
- Las oscilaciones del océano (mareas) muestran una ciclicidad, dependiendo en las posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol.



# Preguntas

- 1 ¿Por qué la Ciudad de Chillán demuestre temperaturas máximas más altas que Concepción durante el verano (y, en invierno, temperaturas más bajas durante la noche)?
- 2 Los ríos continuamente llevan minerales como el sal a los océanos por la erosión de rocas. ¿Por qué, entonces, la salinidad del mar no aumenta continuamente a través del tiempo geológico?
- 3 Compara los climas de Liverpool y Punta Arenas, dos ciudades ubicadas en la misma latitud pero en lados opuestos del ecuador. Explica las diferencias.
- 4 Explique por qué los fiordos en el sur de Chile son un lugar ideal para una industria pesquera.
- 5 ¿Por qué El Niño se llama así?



- 6 Analiza los impactos del fenómeno de El Niño en los patrones climáticos globales, como el aumento de las precipitaciones en algunas áreas y las sequías en otras.
- 7 Existen 2 mareas altas al día. ¿Por qué una es más alta que la otra?
- 8 ¿Cómo afecta la distancia entre la Tierra y la Luna al nivel máximo de las mareas?



# Lectura y actividades adicionales

- Revisar el sitio web [tablademareas.com](http://tablademareas.com) y ver las predicciones de las mareas para esta región. Asegurar que se entienden los términos.
- Asegurar que se entienden el patrón de los últimos 30 días de mareas de la estación **TALC**.
- Revisar el sitio web **NOAA - ENSO** para ver las condiciones / índices actuales de la situación de El Niño.
- Leer sobre la **marejada ciclónica** y entender este fenómeno.
- Ver este video mostrando la **onda de marea en Qiantang**. ¿Por qué ocurre este fenómeno?

