



FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL Y AMBIENTAL



ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

AMBD553:
METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

CAPÍTULO 8:
EL OCEANO Y EL CLIMA

Docente: Lenin Campozano PhD

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

- 8.1 Estructura del oceano
- 8.2 La circulación general del oceano
- 8.3 Dinámica cerca de la superficie
- 8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

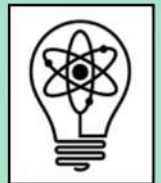
8.1 La estructura del oceano

GENERALIDADES

- El océano interviene afecta al clima de la Tierra, almacenando energía o transportándola mediante las corrientes.
- Según el balance energético detallado, aproximadamente la mitad de la radiación solar que llega a la Tierra es absorbida por los océanos y por el suelo, donde es almacenada temporalmente en la superficie.
- Sólo un quinto de la radiación solar es absorbida directamente por la atmósfera. Del calor almacenado en el océano la mayor parte es liberado de nuevo a la atmósfera, principalmente mediante la evaporación y radiación infrarroja. El resto es transportado por las corrientes a otros lugares, principalmente a las latitudes medias.
- Los factores que intervienen en el transporte de energía en la superficie del océano son:
 - El flujo de radiación solar incidente en el mar.
 - La radiación infrarroja neta procedente del mar.
 - Flujo de calor procedente del agua del mar debido a la conducción.
 - El flujo de calor transportado a la atmósfera por el agua evaporada.
 - La advección, que es el calor transportado por las corrientes.

ACTIVIDAD: estimar la cantidad de calor que intercambia en un año el océano y a compararla con la cantidad de calor intercambiada en el suelo terrestre. (ver libro guía)

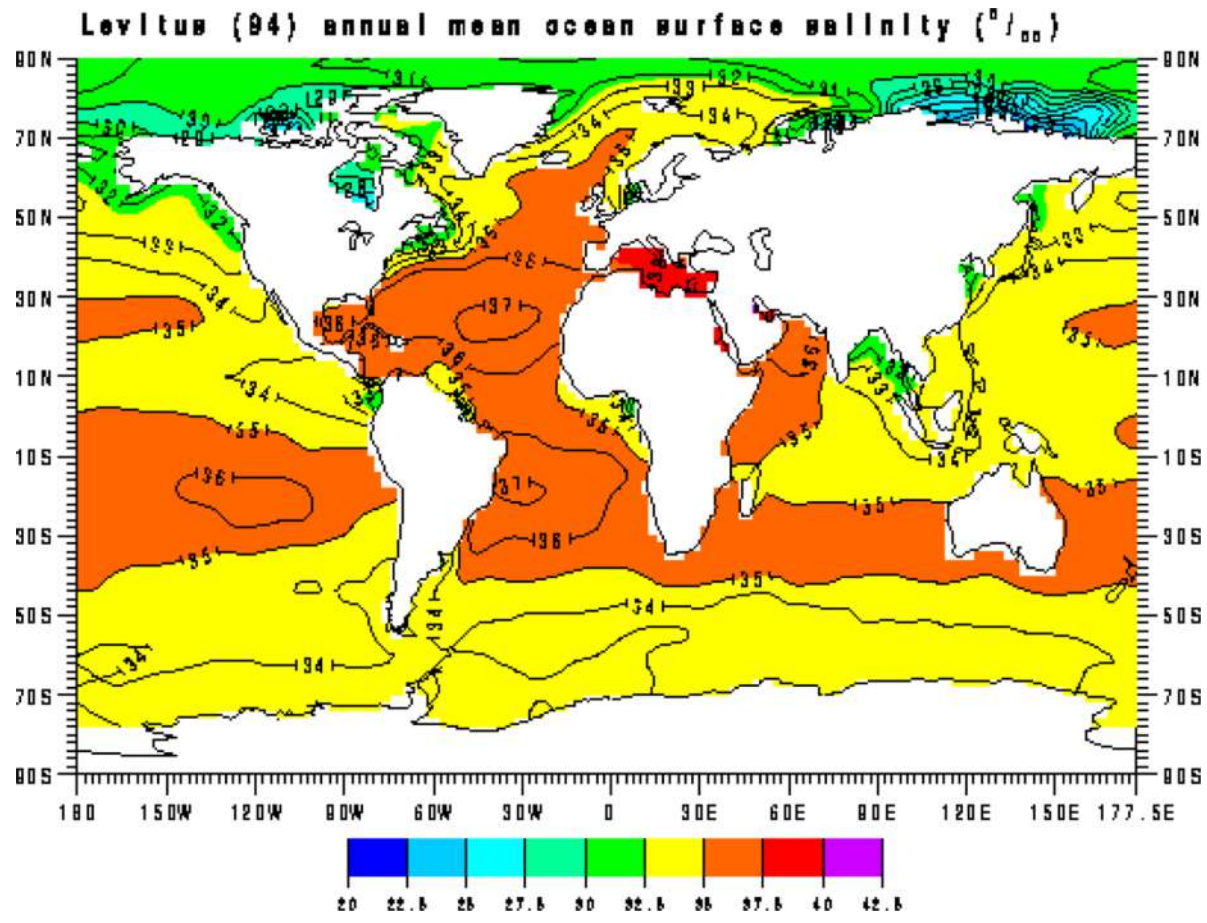
DESARROLLA



8.1 La estructura del oceano

- El efecto del calentamiento por la radiación solar se da en los primeros metros bajo la superficie. Esta zona se llama capa de mezcla, las olas y el viento homogeneizan la temperatura.
- Por debajo hay otra zona llamada termoclina, cuya extensión es de varios centenares de metros, en que la temperatura disminuye monótonamente.
- Por debajo de esta capa se extienden las aguas profundas donde la temperatura disminuye más lentamente hasta estabilizarse a unos pocos grados centígrados por encima de la temperatura de congelación.
- Además de la temperatura, la salinidad afecta a la estructura oceánica y a su circulación global.
- La salinidad, como la temperatura, es máxima cerca de la superficie debido a la evaporación, aunque cerca de la costa el flujo de agua dulce procedente de los ríos puede invertir esta tendencia.
- La salinidad decae en la termoclina para ser casi constante en la región más profunda. Cerca del fondo la salinidad aumenta levemente.
- La capa de mezcla el viento actúa sobre la superficie del agua como un motor del mezclado y además genera corrientes que se extienden en el agua por viscosidad.
- Bajo la termoclina no hay influencia del viento y la corriente se genera por diferencias de densidad originadas por variaciones de temperatura y salinidad.

8.1 La estructura del oceano



Salinidad anual media en partes por mil, 0/00

8.1 La estructura del oceano

SALINIDAD

- La salinidad es la cantidad total de material disuelto en gramos en un kilogramo de agua de mar. En los océanos varia de 34,6 a 34,8 partes por mil.
- Los componentes que se encuentran disueltos son en su mayoría procedentes del cloruro sódico (85 %) y pequeñas cantidades de cloruro magnésico, sulfato de magnesio y carbonato cálcico.
- Las fracciones relativas de estos componentes son constantes independientemente de la salinidad total, lo que indica que los océanos se encuentran bien mezclados.
- La salinidad en la superficie del océano varía entre 32 y 38 ppm dependiendo de la precipitación y evaporación en diferentes regiones.
- El patrón general es de baja salinidad en el ecuador (donde la precipitación es mayor que la evaporación)
- Los valores máximos se encuentran alrededor de los 20º de latitud en la zona correspondiente al cinturón de altas presiones
- El cambio de estaciones cambia la salinidad hasta un 3 % debido al aumento de agua fresca procedente de las desembocaduras de los ríos y al fundido de masas de hielo.

8.1 La estructura del océano

- El perfil típico de la salinidad en función de la profundidad correspondiente al Atlántico Sur.
- En este perfil, la salinidad es alta en la superficie debido a la alta evaporación que tiene lugar en esta latitud, y desciende hasta una profundidad de 1000 metros. Después aumenta levemente a medida que aumenta la profundidad.
- Se marcan tres zonas de alto gradiente, haloclina, termoclin a y pincoclina.

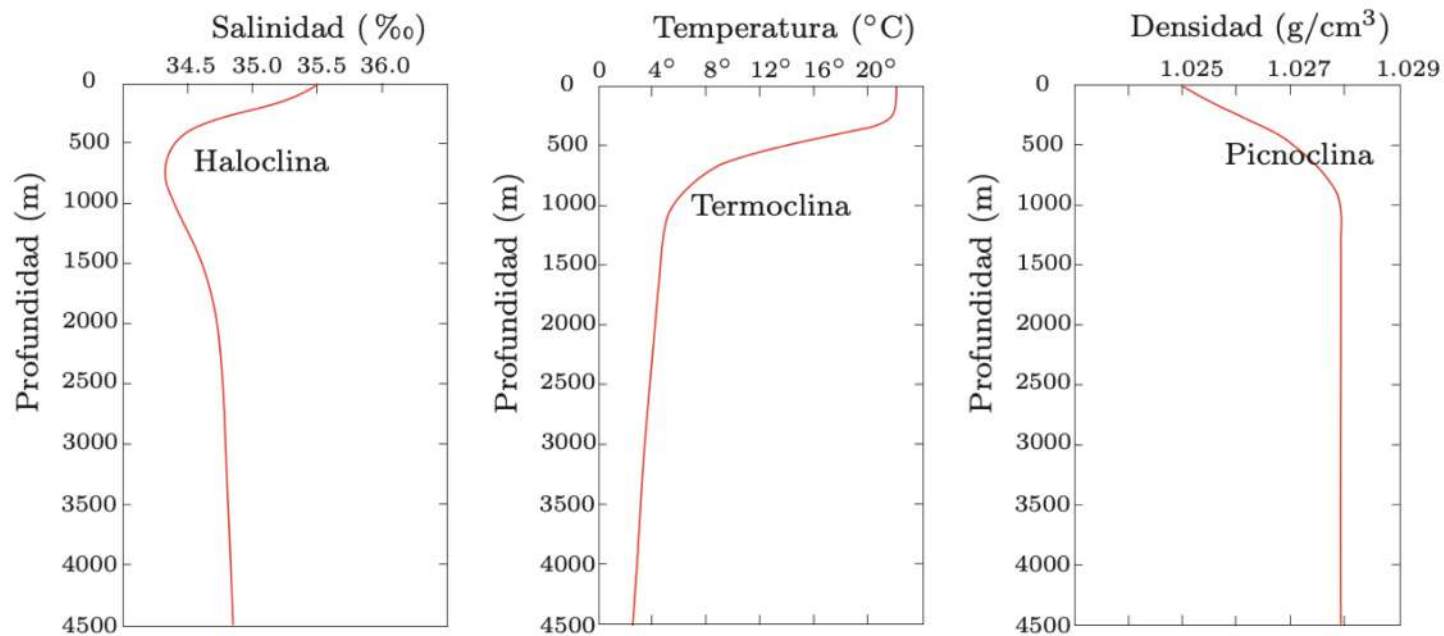


Figura 8.2: Salinidad (izquierda), temperatura (centro) y densidad (derecha) del océano en función de la profundidad. (Modificada de Windows to the Universe)

8.1 La estructura del oceano

TEMPERATURA Y DENSIDAD

- En la capa de mezcla cerca de la superficie la temperatura es constante. Se extiende hasta unos 100 m de profundidad y contiene aproximadamente el 2% de toda el agua oceánica.
- Por debajo de los 1000 m, bajo la termoclina, se halla la zona de agua profunda o zona abisal, en la que la temperatura permanece prácticamente constante entre 1 y 3º C.
- Los cambios de temperatura y salinidad afectan la densidad y la piconclina → máxima variación
- La densidad del agua del océano como un todo es de aproximadamente 1035 kg/m³.
- La distribución de la temperatura en la superficie del mar tiende a ser independiente de la longitud geográfica. Similar a la atmósfera, las zonas más cálidas se encuentran en el ecuador y las más frías cerca de los polos.
- La salinidad también varía con las zonas, las aguas más saladas están en las latitudes medias donde la evaporación es alta y las aguas menos saladas se encuentran cerca del ecuador, donde el agua de la lluvia diluye el agua salada, y en las latitudes altas donde se funde el hielo diluyendo también el agua salada de la superficie.
- El agua del Atlántico es más salada que la del Pacífico → agua evaporada en el Atlántico se transporta por el viento hasta el Pacífico donde cae precipita.

8.2 La circulación general del océano

CORRIENTES SUPERFICIALES

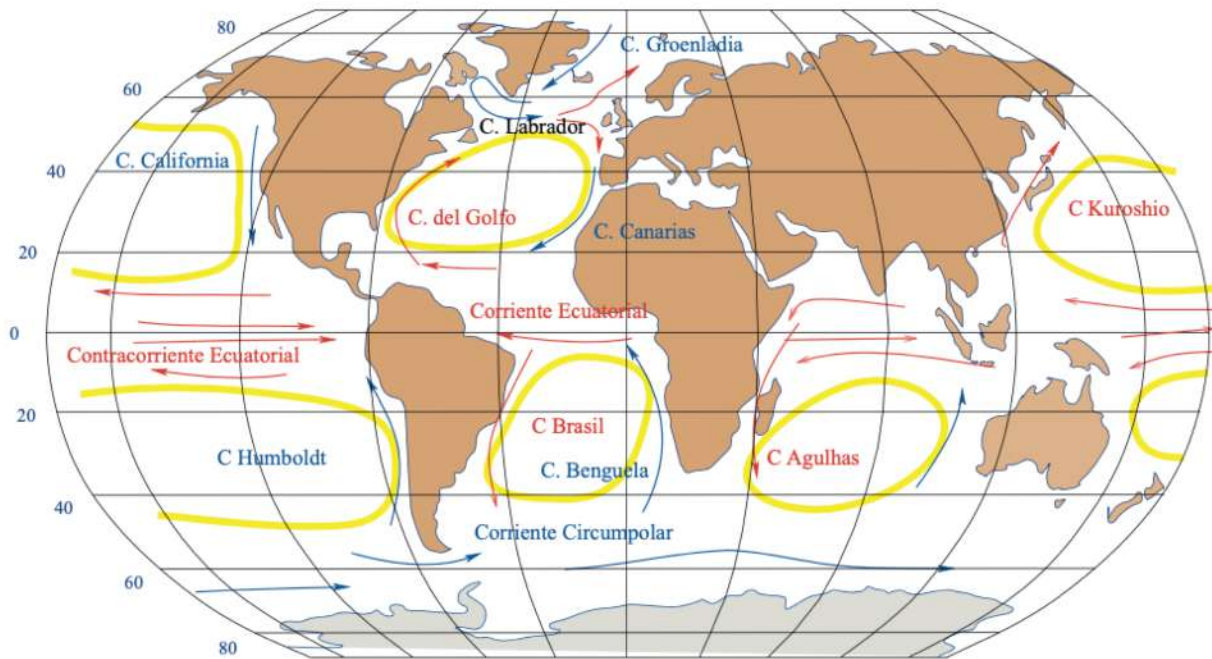
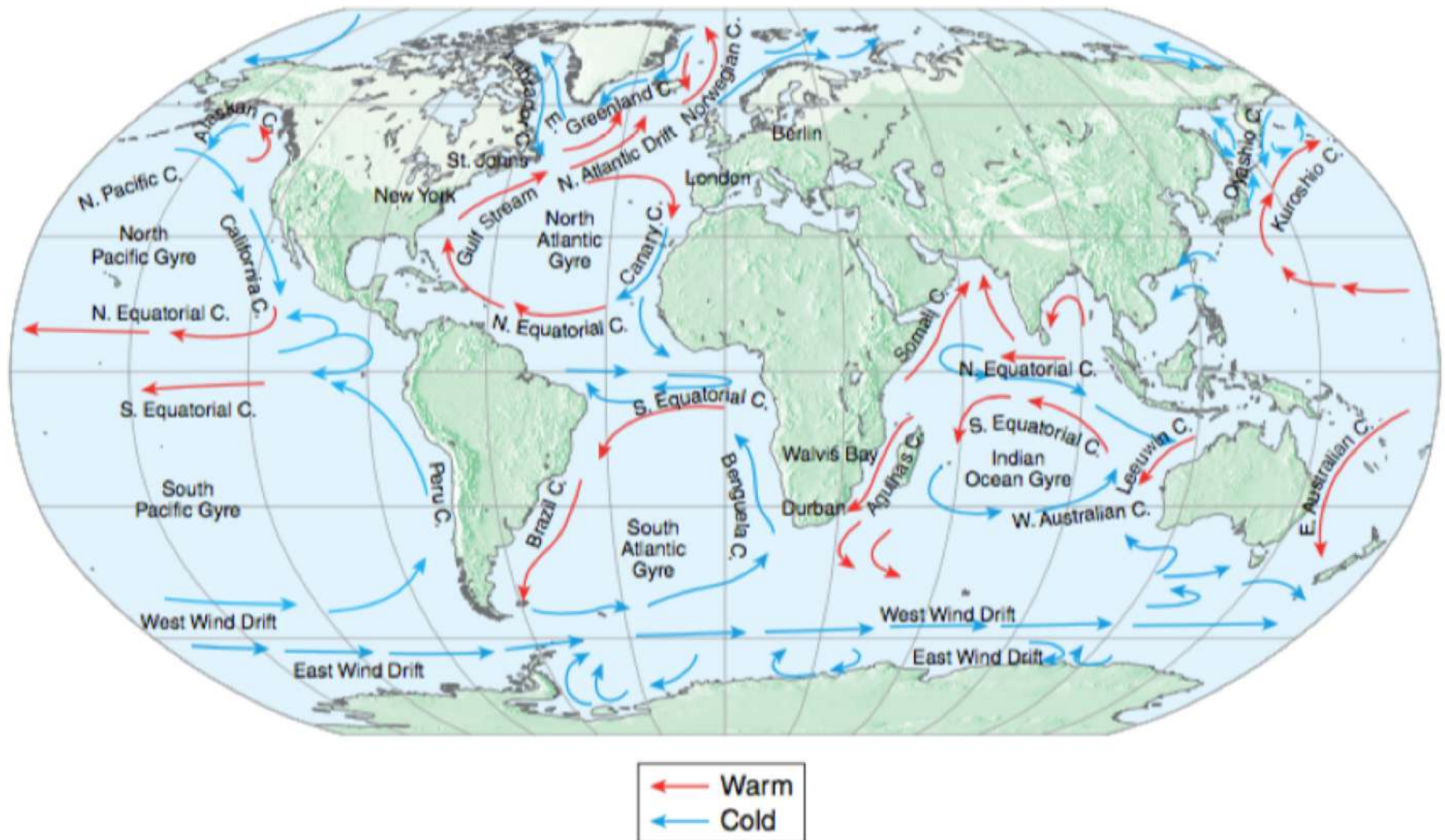


Figura 8.3: En amarillo los cinco grandes giros circulares y algunas de la corrientes superficiales, en rojo las cálidas y en azul las frías.

8.2 La circulación general del océano

CORRIENTES SUPERFICIALES



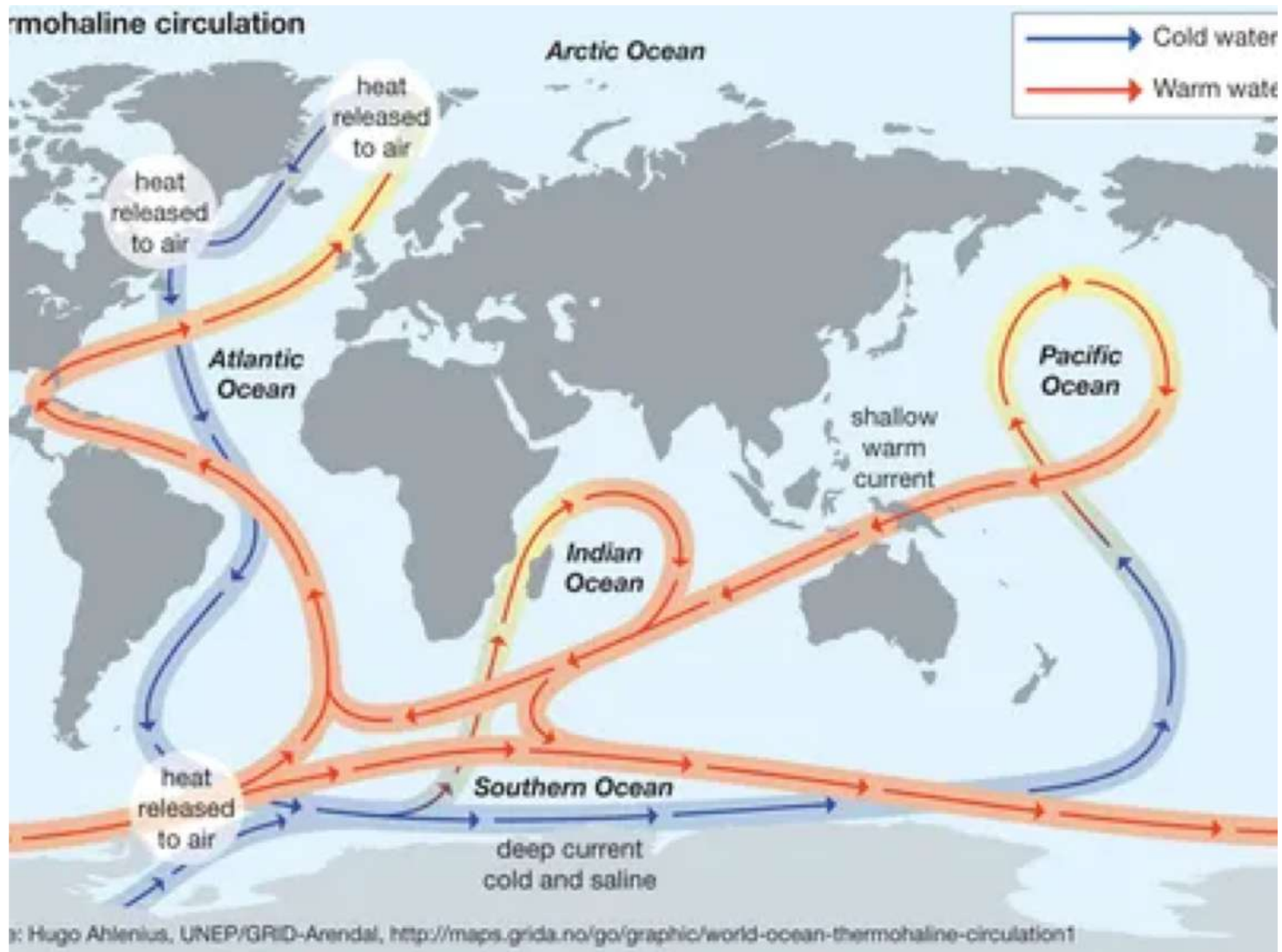
8.2 La circulación general del oceano

CORRIENTES SUPERFICIALES

- Son generadas por los grandes anticiclones semipermanentes y siguen los sentidos de circulación. En el hemisferio norte en sentido horario y en el hemisferio sur en el sentido contrario.
- Existen cinco grandes giros que transportan calor desde el ecuador a los polos: el del Atlántico Norte, del Atlántico Sur, del Pacífico Norte, del Pacífico Sur y el giro del Índico.
- Estos giros están formados por corrientes frías y cálidas.
- El giro del Atlántico Norte está compuesto por la corriente cálida del Golfo, que transcurre hacia el norte, desde el Golfo de México, por la costa este norteamericana, hasta el norte de Europa. Por el oeste continua con la corriente fría de las Canarias y cierra el giro la corriente Ecuatorial. Una de las más intensas es la corriente del Golfo con velocidades típicas de 1,8 a 5,5 km/h. Esta corriente suaviza el clima de la costa americana y de los países del norte de Europa.
- La corriente Circumpolar Antártica, rodea la Antártida siempre en dirección este y es la corriente más larga y de mayor intensidad del mundo. Se produce por efecto directo de los vientos del oeste, que son tan fuertes y constantes que pueden evitar la formación de hielo en algunos lugares de la costa antártica.

8.2 La circulación general del océano

CIRCULACIÓN TERMOHALINA



8.2 La circulación general del océano

CIRCULACIÓN TERMOHALINA

- El agua dulce es ligera y flota en la superficie, mientras que el agua salada es pesada y se hunde. La densidad también depende de la temperatura.
- Las variaciones verticales de densidad determinan la flotabilidad del agua de mar y la estratificación del océano.
- Una mayor salinidad junto con menor temperatura da lugar a un aumento en la densidad del agua del océano que se manifiesta en una depresión en el nivel de la superficie del mar.
- En zonas calientes y en aguas más dulces, la densidad es más baja dando como resultado una elevación de la superficie del mar.
- Por cambios en densidad hay dos sumideros en los polos que atraen el agua caliente por la superficie para sustituir el agua que se hunde, contribuyendo a la llamada circulación global termohalina (calor y sal)
- La circulación termohalina está generada por el acoplamiento entre la corriente termohalina y las corrientes superficiales, afectando a todos los océanos.
- Explicación sencilla de transporte las aguas superficiales calientes del ecuador hacia los polos, moderando así el clima global. El circuito global se completa en unos 1000 años.
- La descripción de la cinta transportadora global empieza con la formación de una gran masa de agua en el Atlántico Norte. En los mares nórdicos y en el Mar del Labrador, a causa del viento la evaporación supera la precipitación con el consiguiente enfriamiento y aumento de la salinidad del agua.

8.2 La circulación general del oceano

CIRCULACIÓN TERMOHALINA

- Hay otro sumidero en la Antártida, concretamente en los mares de Weddell y de Ross. La formación de agua densa en la Antártida está originada por los vientos procedentes de la plataforma antártica que favorecen la formación de hielo en el mar con el consiguiente aumento de la salinidad del agua.
- La corriente profunda sigue su recorrido hacia el este alrededor de la Antártida, juntándose con la Corriente Circumpolar Antártica y va entrando en cada una de las cuencas oceánicas importantes.
- Primero penetra en el Indico y luego por las profundidades del Pacífico. Al igual que hay zonas en donde el agua superficial se hunde, existen también, zonas de afloramiento (upwelling) de aguas profundas.
- Estas se sitúan en zonas de divergencia de aguas superficiales, que suelen ser reemplazadas por aguas ascendentes más profundas. Una extensa zona de afloramiento es la franja ecuatorial del Pacífico Oriental, en donde el agua superficial es transportada por los alisios hacia el norte y hacia el sur, constituyendo así una zona de divergencia que se rellena por aguas ascendentes.

8.3 Dinámica cerca de la superficie

- La tensión del viento provoca el movimiento de la capa superficial del viento.
- Por la baja viscosidad del agua esta tensión se equilibra con la fuerza de Coriolis en una zona relativamente estrecha, de unos 10 a 200 metros de espesor. La capa de fluido en la que tiene influencia el viento se llama capa de Ekman y el movimiento neto de la masa de fluido se llama transporte de Ekman.
- Por la deflexión de la fuerza de Coriolis, la velocidad del agua en la superficie forma un ángulo de unos 45° con la dirección del viento, hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur.
- El transporte de Ekman no se realiza tampoco en la dirección de la corriente superficial sino que forma un ángulo de 45° hacia la derecha en el hemisferio norte, y hacia la izquierda del viento en el hemisferio sur.
- La cantidad de agua transportada en esta capa de agua depende sólo del viento y de la fuerza de Coriolis y es independiente del espesor de la capa de Ekman y de la viscosidad del agua.
- El transporte de Ekman puede producir zonas de afloramiento de agua profunda a la superficie (upwelling) y zonas en las que el agua superficial se hunde (downwelling).
- Debido al transporte de Ekman hay una succión que hace que el agua cerca de la costa en el Perú esté muy fría → corriente de Humbolt

8.3 Dinámica cerca de la superficie

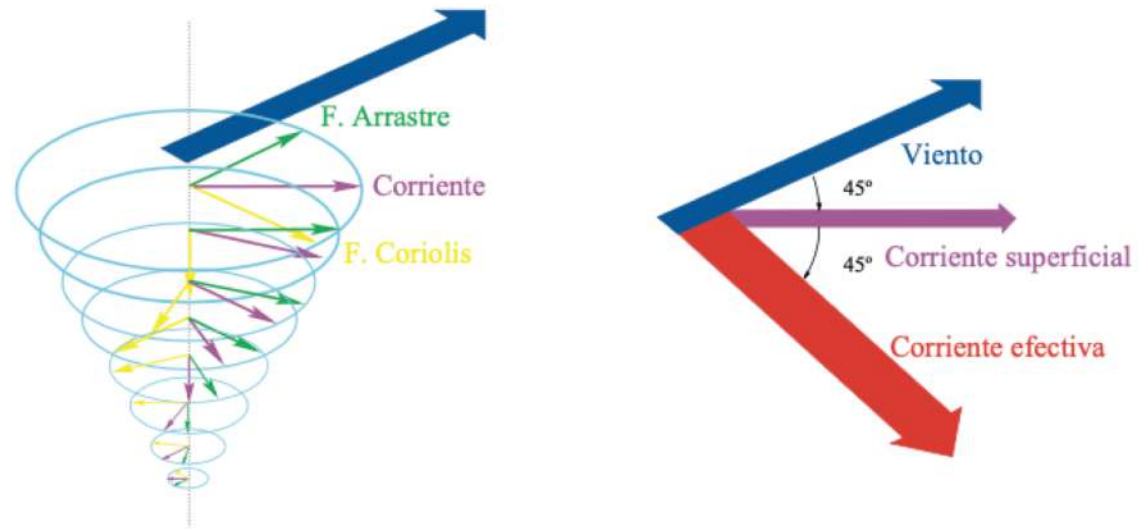


Figura 8.5: La fuerza de Coriolis desvía la corriente 45° respecto a la fuerza de arrastre (cizalladura), que en superficie es originada por el viento. El flujo neto o transporte de Ekman forma unos 90° con la dirección del viento.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

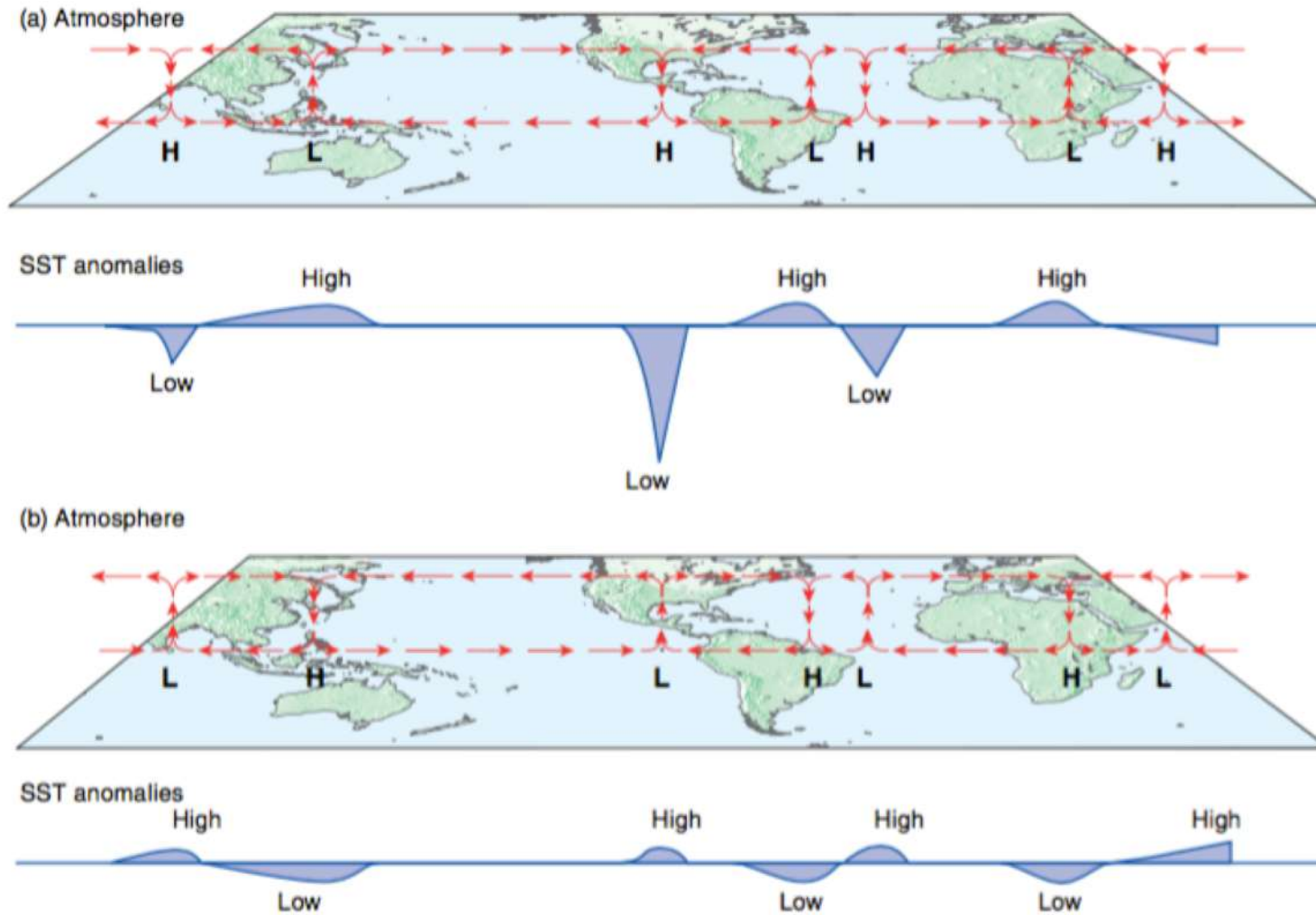


FIGURE 4.15 Equatorial air circulation/ocean temperature anomalies during ENSO-neutral (a) and El Niño periods (b).

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

GENERALIDADES

- Uno de los patrones del clima que mejor se ha llegado a reconocer y entender es el fenómeno del Niño, también llamado Oscilación Meridional el Niño.
- Es una oscilación de la temperatura oceánica y atmosférica, que rompe el equilibrio entre el viento y las corrientes oceánicas, y que se repite con un periodo irregular comprendido entre tres y siete años → Crea una situación “anómala” con impacto en la meteorología local y global.
- Tiene lugar en el Pacífico Sur, en la región dominada por el anticiclón y el giro del mismo nombre. En un año normal, los vientos alisios soplan hacia el oeste arrastrando el agua caliente superficial desde la costa del Perú hacia Australia y Nueva Guinea, formando la corriente Ecuatorial Sur.
- Este agua cálida se acumula en Indonesia en la llamada piscina ecuatorial, donde se alcanzan las mayores temperaturas del océano.
- Un sistema de corrientes lleva agua de la piscina ecuatorial hacia el sur, hasta encontrar la corriente Circumpolar Antártica que conforma la parte sur del giro del Pacífico Sur.
- Al llegar al continente americano la corriente se desvía hacia el norte formando la corriente fría de Humboldt que transcurre paralela a la costa de Perú. A esta corriente se añade el agua fría que aflora por upwelling a lo largo de la costa sudamericana por la acción de los vientos del sur. Estas aguas frías son ricas en nutrientes y fomentan el crecimiento de plancton con el consiguiente aumento de la población de peces y aves.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

- Cuando la circulación general de esta zona se debilita aparece el fenómeno de El Niño. Los vientos alisios que dejan de soplar constantemente en la misma dirección. Disminuye el transporte ecuatorial de agua caliente superficial hacia el oeste y también decae la corriente de Humboldt, que puede incluso llegar a invertirse.
- Al inhibirse el afloramiento de agua fría, las aguas costeras de Perú y de Ecuador se calientan anormalmente, tiene un impacto devastador en la pesca
- La región experimenta un intenso incremento de las precipitaciones que originan importantes inundaciones → El impacto de El Niño es catastrófico en la costa de Suramérica occidental.
- También causa importantes sequías en Australia, Indonesia y, al debilitar los monzones, en extensas regiones de Asia meridional. Parece ser que la aparición del Niño baja la probabilidad de formación de huracanes en el Atlántico y aumenta la formación de ciclones y de tifones en el Pacífico.
- El Niño no es el único caso de oscilación térmica observada en el clima. Entre otras, podemos citar la oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP).

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

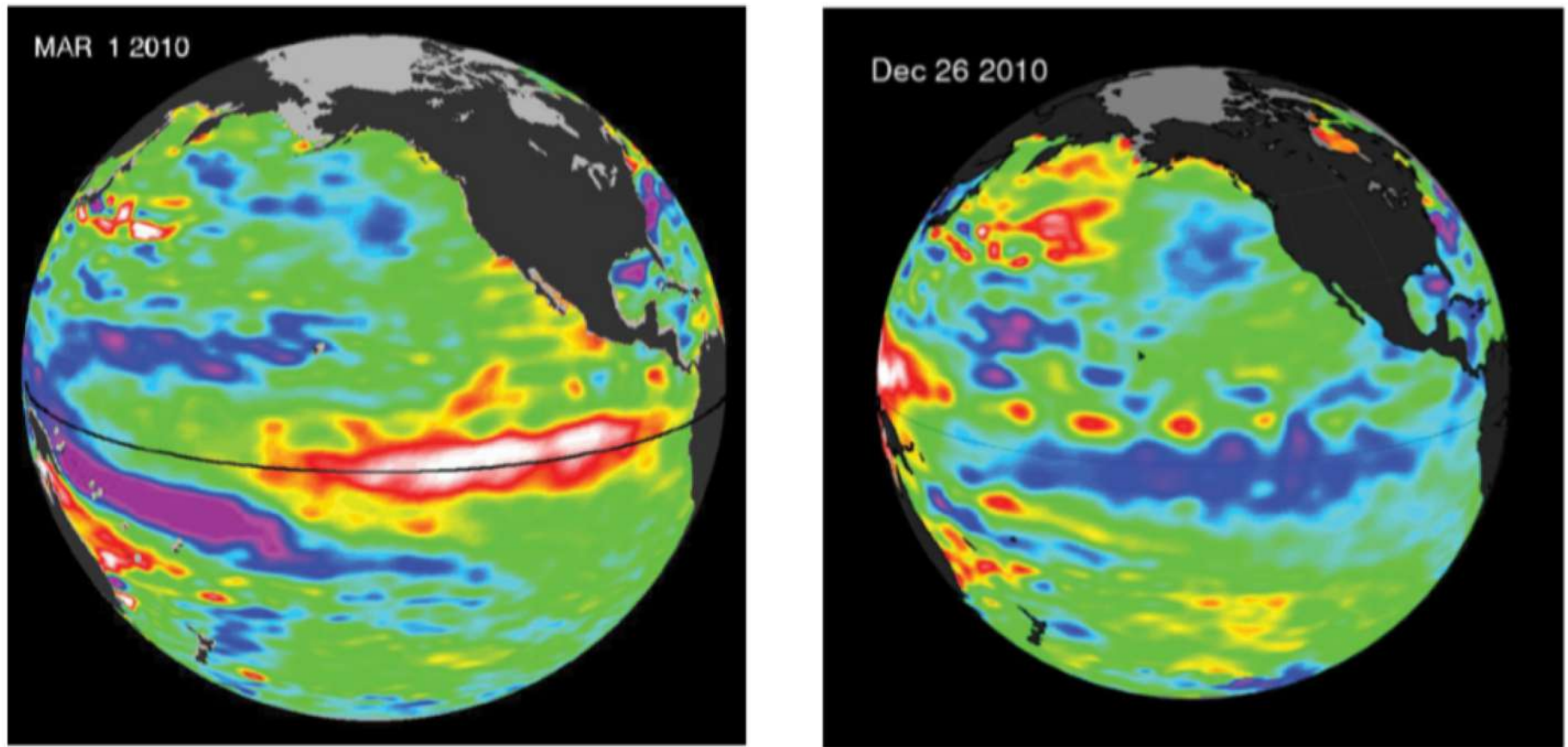


FIGURE 4.9 (a) Satellite image of sea surface temperatures in the Pacific Ocean during an El Niño event. (b) Satellite image of sea surface temperatures in the Pacific Ocean during a La Niña event.

Courtesy of JPL/NASA.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

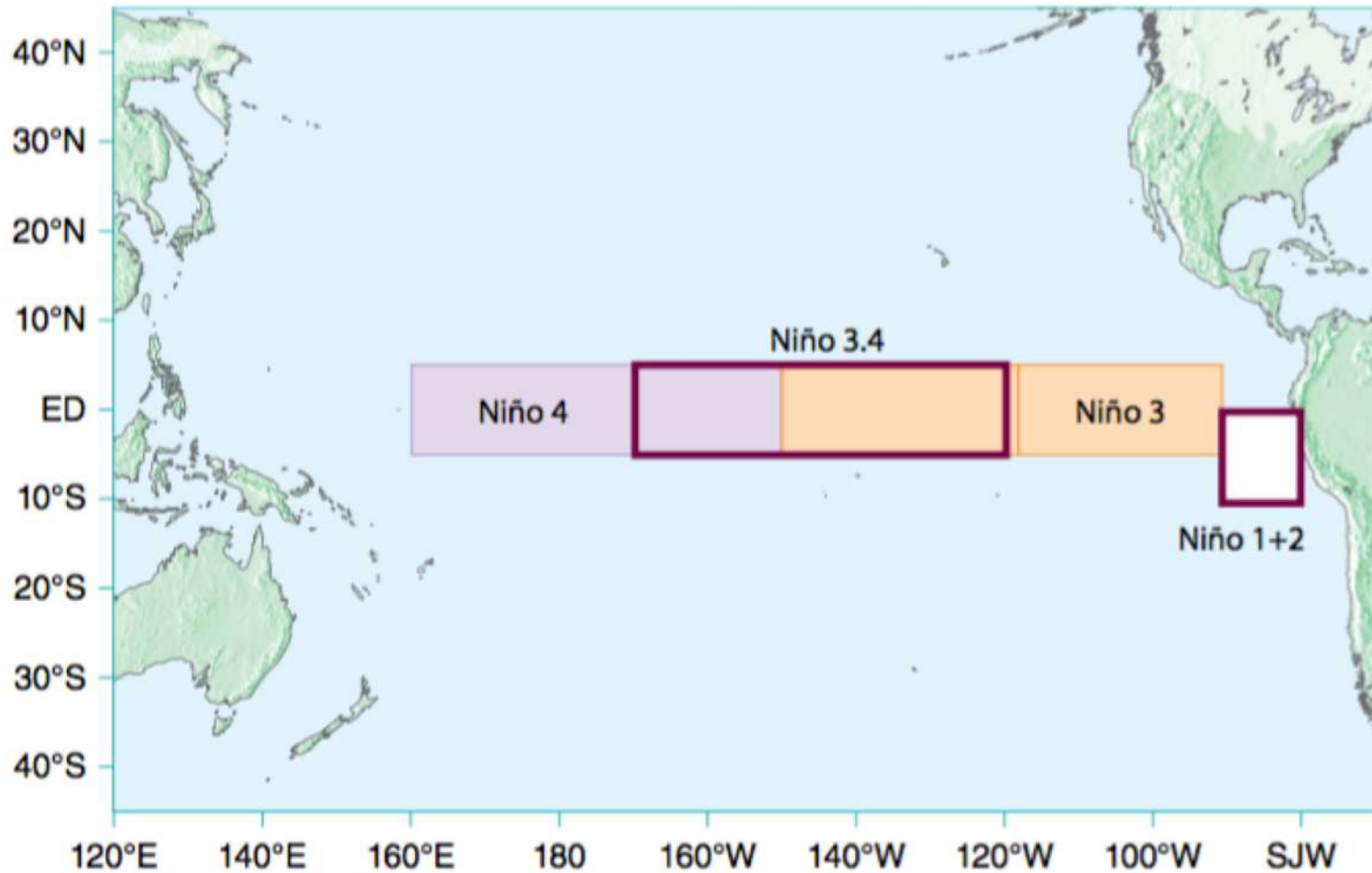


FIGURE 4.12 Niño 3.4 region.

Data from National Centers for Environmental Information/NESDIS/NOAA.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

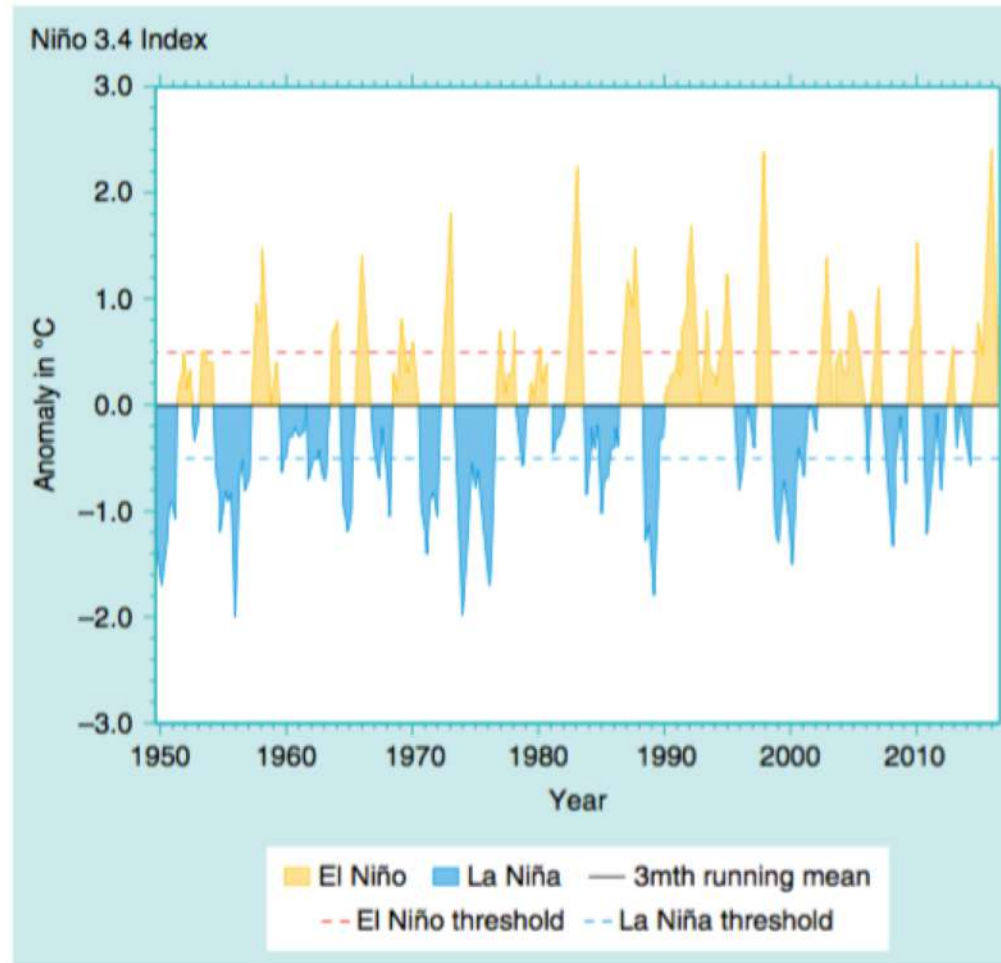


FIGURE 4.13 Niño 3.4 Index over time.

Data from National Centers for Environmental Information NESDIS NOAA.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

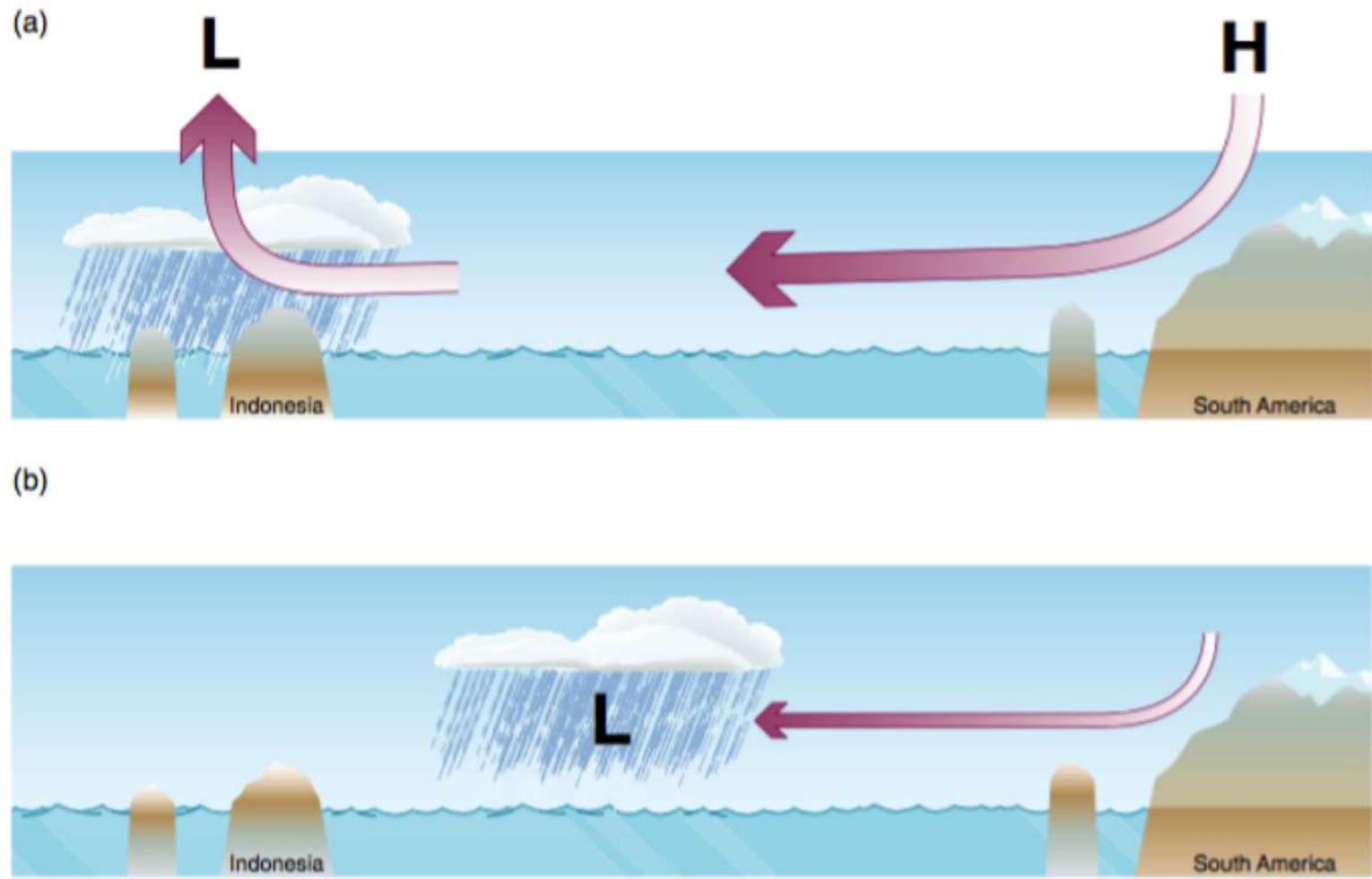


FIGURE 4.10 "Normal" (or "ENSO-neutral") Walker Circulation (a), and El Niño-related atmospheric circulation (b).

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

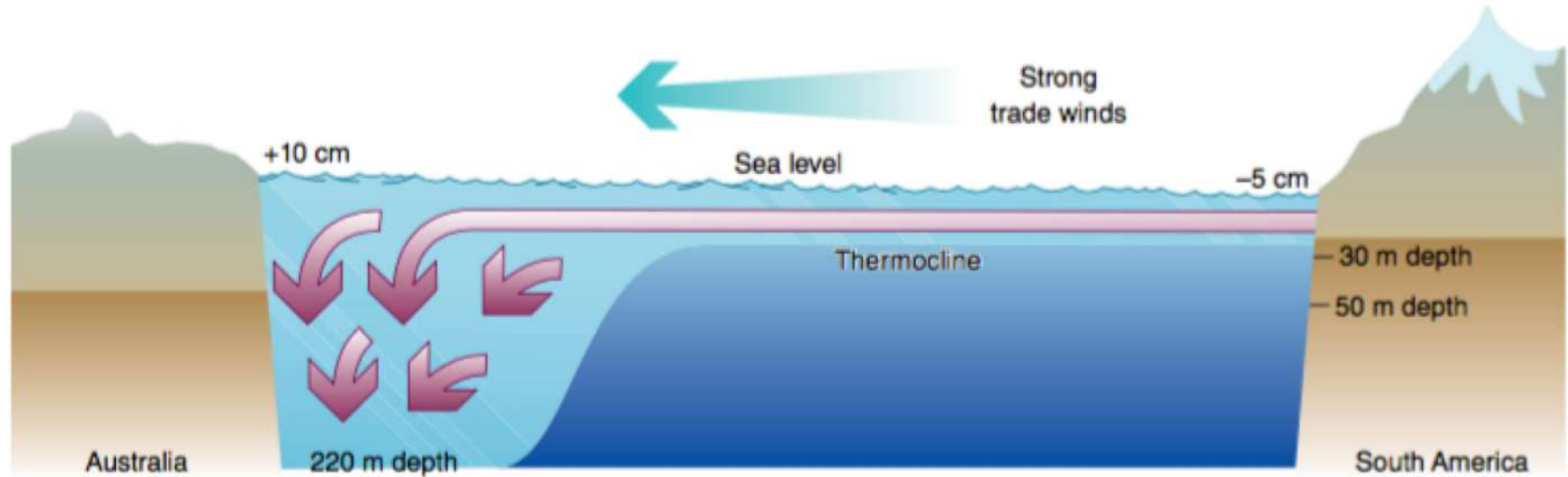
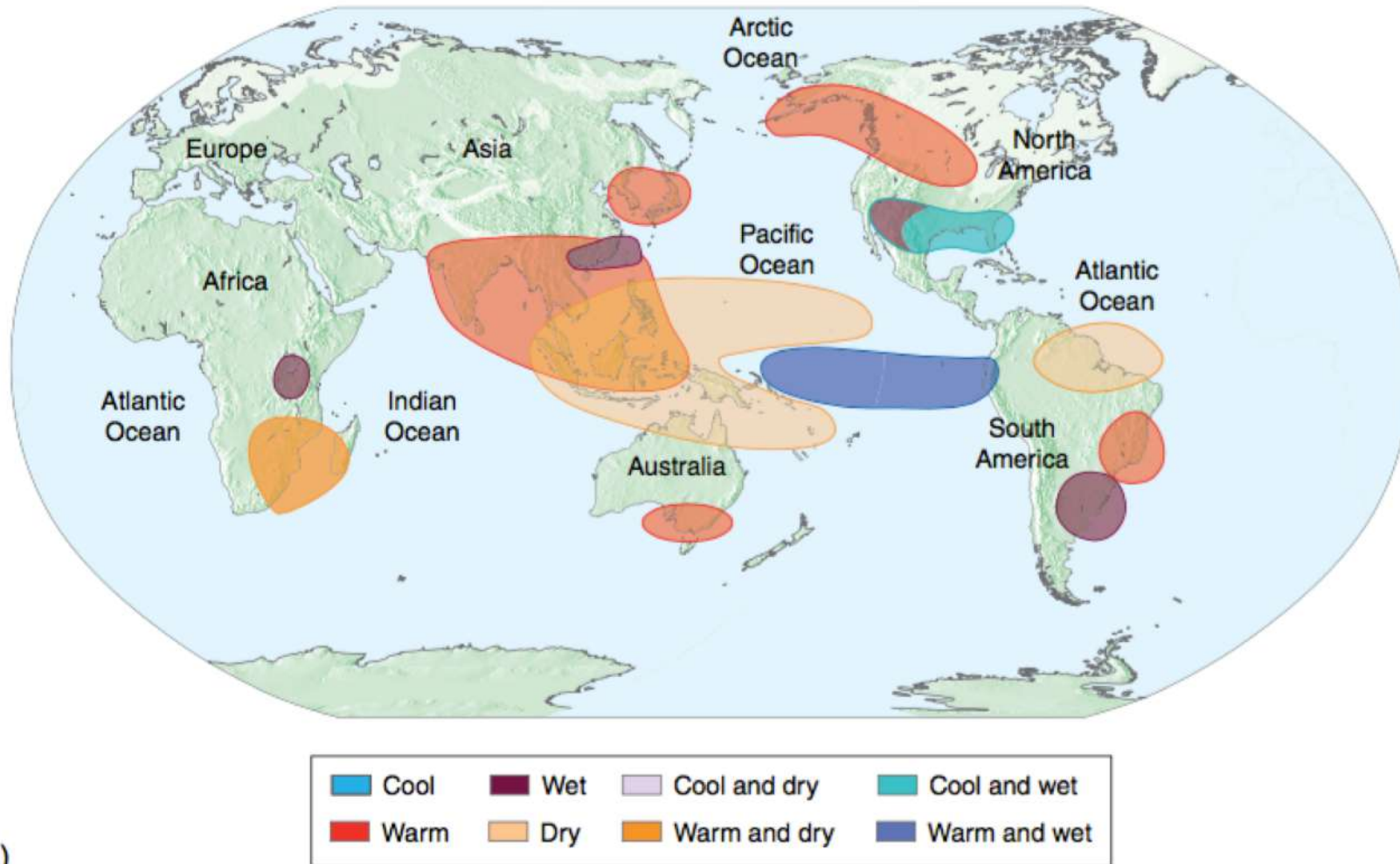


FIGURE 4.16 Ocean response to La Niña.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña



(a)

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

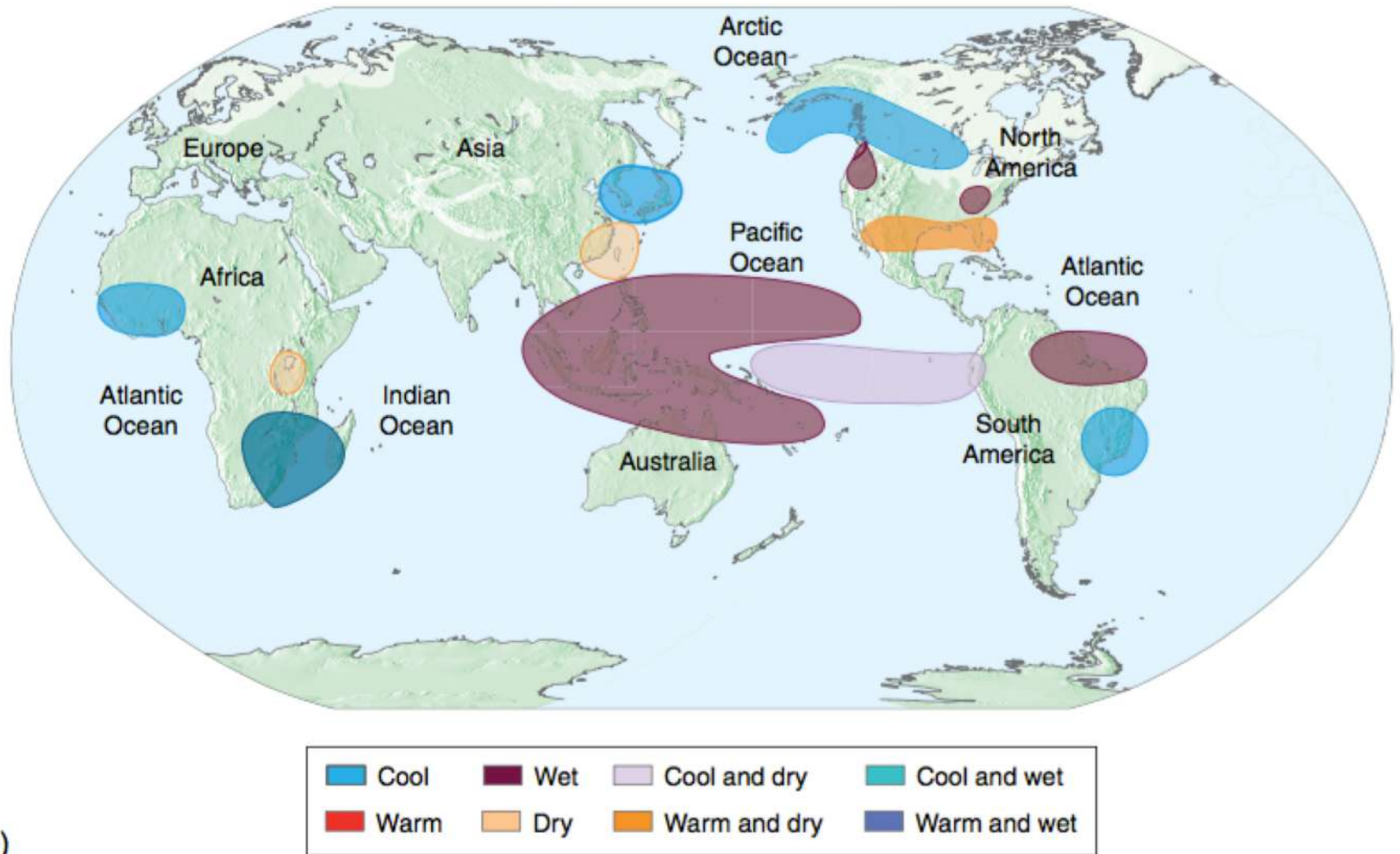


FIGURE 4.17 Global climate anomalies. (a) El Niño winter. (b) La Niña winter.

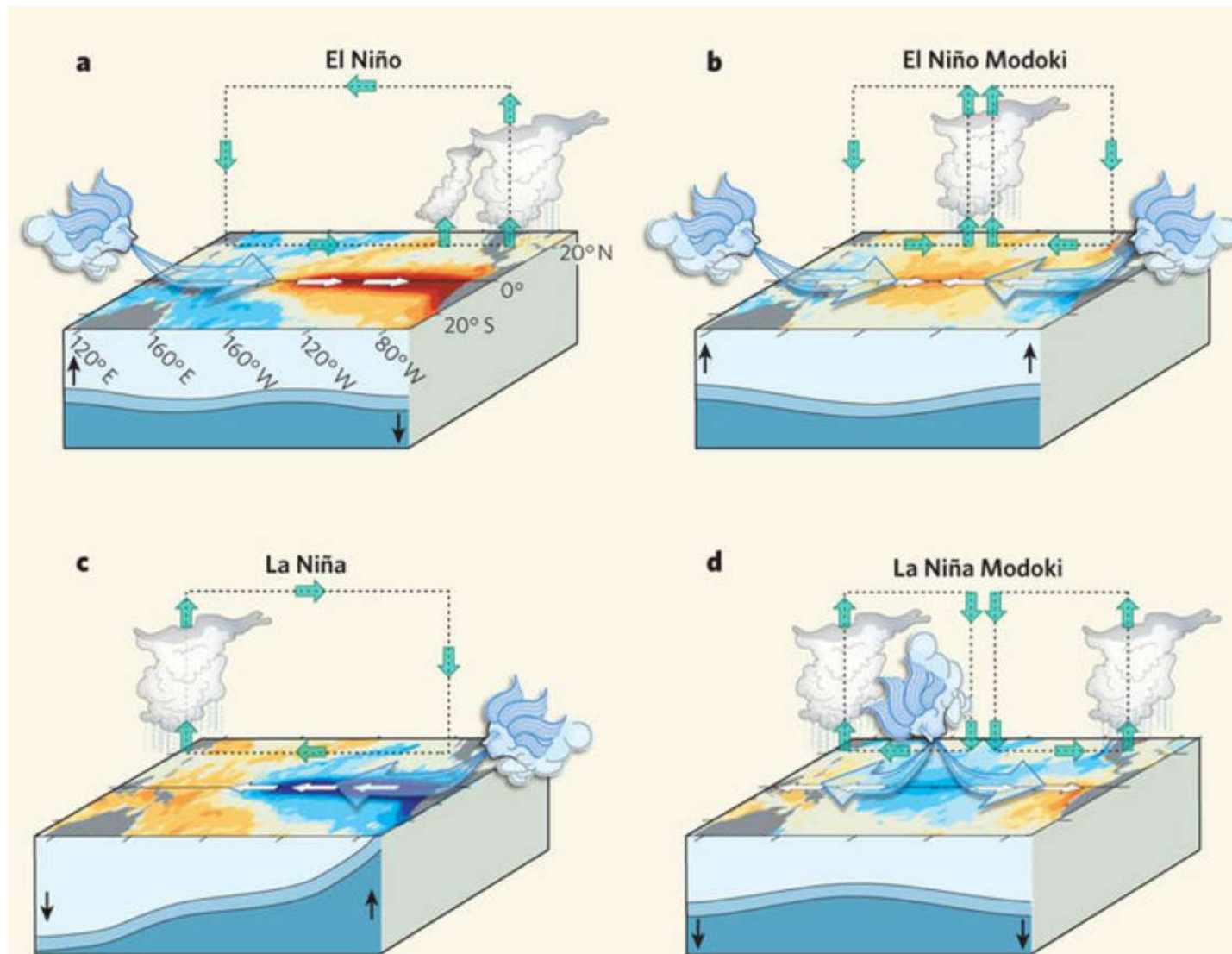
Courtesy of NOAA. Retrieved from: www.pmel.noaa.gov/elnino/impacts-of-el-nino.

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

Condition	Areas Affected
Drier than normal	Maritime Continent; southeastern Africa and Madagascar; east central Africa; eastern South America (Brazil)
Wetter than normal	Central equatorial Pacific Ocean; eastern equatorial Pacific Ocean and western South America (Ecuador, Peru); southeastern South America (southern Brazil, Argentina); southeastern United States
Warmer than normal	Japan, eastern Asia (China/Manchuria); northwestern North America (southern Alaska through U.S. Pacific Northwest into central North America); eastern Canada (Labrador, Nova Scotia)

8.4 ENSO: el fenómeno del Niño y la Niña

VARIACIONES DE ENSO



8.e Ejercicios

1. Estime la masa total del océano considerando que la profundidad media es 3,8 km y la masa total de la atmósfera, suponiendo una presión media de $1,013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$. ¿Cuál es la masa de la atmósfera en relación con la masa del océano?
2. ¿A qué se debe que la salinidad del océano Atlántico sea mayor que la del Pacífico? ¿Podría ser esta una razón de por qué no hay hundimiento de la corriente termohalina en el Pacífico Norte?
3. Hallar el promedio mensual multiannual de la region Niño 1+2 y a hallar cuantas desviaciones estandar sobre el promedio la temperatura de diciembre 1997, enero y febrero 1998 se detectaron.

- Zuñiga & Crespo (2015): Meteorología y climatología
- Stull.R Practical Meteorology (2017)
- <https://www.youtube.com/watch?v=lpeVqICLTig>