

UNIVERSIDAD NACIONAL de LA PLATA

**Facultad de Ciencias Astronómicas y
Geofísicas**

**EVENTOS CLIMÁTICOS DE ESCALA GLOBAL Y
REGIONAL**

LIC. HORACIO SAROCHAR

Junio de 2016

TEMARIO

■ **El Niño:**

- Condiciones neutrales en el Pacífico ecuatorial
- Primeros indicios del fenómeno
- Características del fenómeno.
- Eventos a escala global que preceden y acompañan un evento “El Niño”.
- Efecto del evento El Niño en Sudamérica y en particular en Argentina
- Parámetros que se observan: SOI, SST, etc.
- Situación actual y pronóstico a mediano plazo.

■ **El agujero de ozono**

- El espectro electromagnético: descripción y propiedades de las ondas
- El espectro de la radiación solar. La radiación UV
- Función del Ozono en la estratosfera.
- Primeros indicios de la disminución de la capa de ozono. Efecto de los CFC
- Situación actual.

El calentamiento global

- **El calentamiento global y Cambio climático.**
- **El Sol como fuente de energía del planeta. Balance energético Tierra – Atmósfera.**
- **El efecto invernadero, causas naturales y su influencia en el desarrollo de la vida en a Tierra.**
- **Gases de invernadero en la atmósfera, su origen natural.**
- **Aumento de los gases de efecto invernadero, posible influencia de la actividad humana.**
- **Previsiones a futuro, realidades.**
- **Posturas contrarias al efecto antropogénico en el calentamiento global.**
- **Otros episodios de calentamiento global en el pasado.**
- **Discusión sobre las dos posiciones.**

SISTEMAS DE CIRCULACIÓN GLOBAL



COMPONENTES DE LA CIRCULACIÓN GENERAL

- **Los centros de baja presión (B) se caracterizan por movimientos divergentes en altura, lo que es compensado por movimientos de ascenso. En consecuencia, el espacio dejado en los niveles bajos por el aire que asciende es llenado por aire que converge al nivel del suelo.**
- **Por el contrario, los centros de alta presión (A) se caracterizan por presentar convergencia en niveles altos de la troposfera, lo que provoca descenso (también denominado *subsistencia*) y la consiguiente divergencia en superficie.**

ESTRUCTURA VERTICAL DE CICLONES Y ANTICICLONES

TROPOPAUSA

DIVERGENCIA

CONVERGENCIA

ASCENSO

DESCENSO

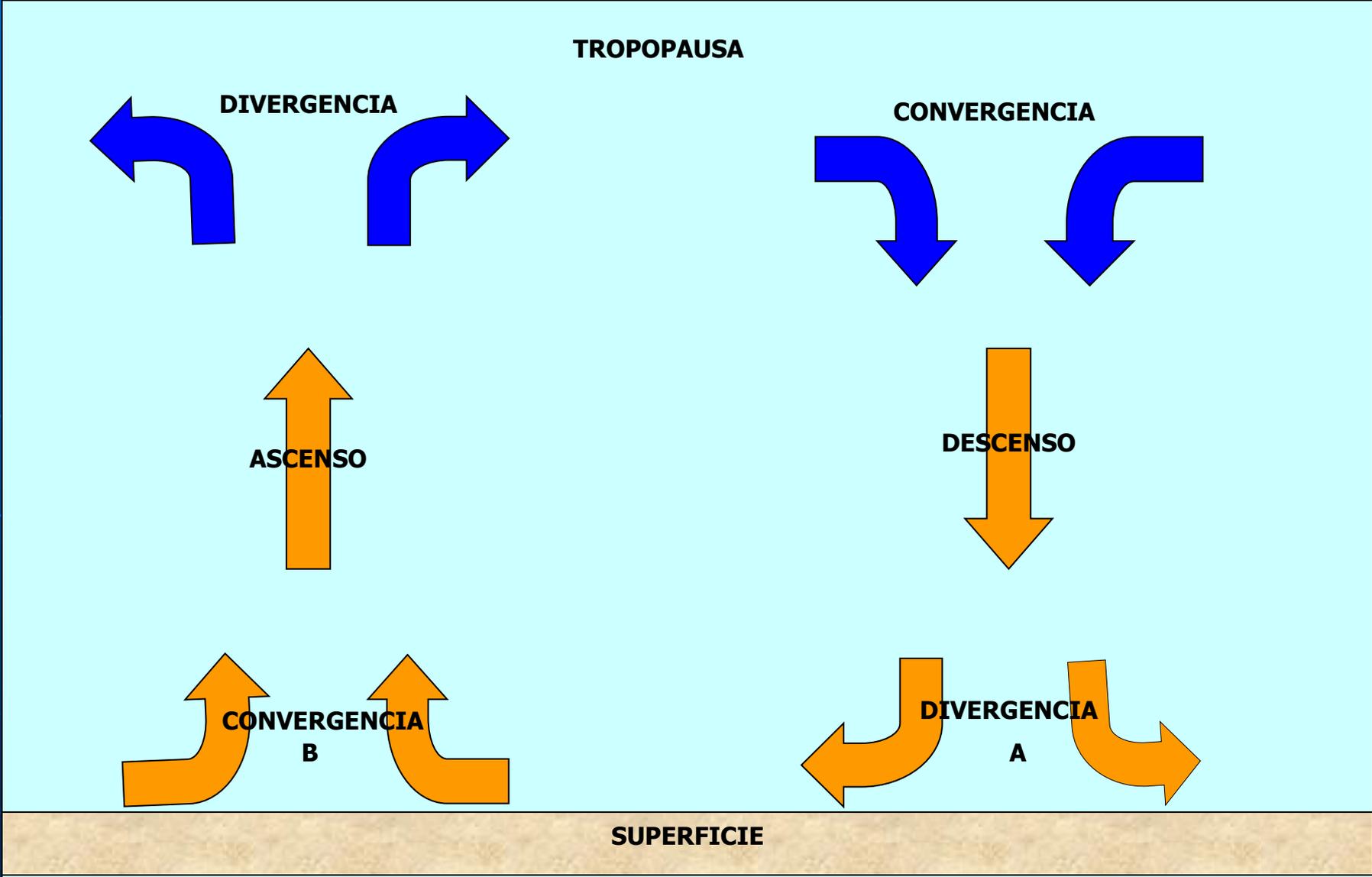
CONVERGENCIA

B

DIVERGENCIA

A

SUPERFICIE



CIRCULACIÓN A ESCALA GLOBAL

Modelo de una celda

- Propuesto por el meteorólogo inglés George Hadley en 1735
- Plantea un modelo de circulación de una celda en la que el aire cálido asciende en el ecuador y desciende en los polos (convección directa)
- Propone una primera explicación para la redistribución de la energía solar en el planeta

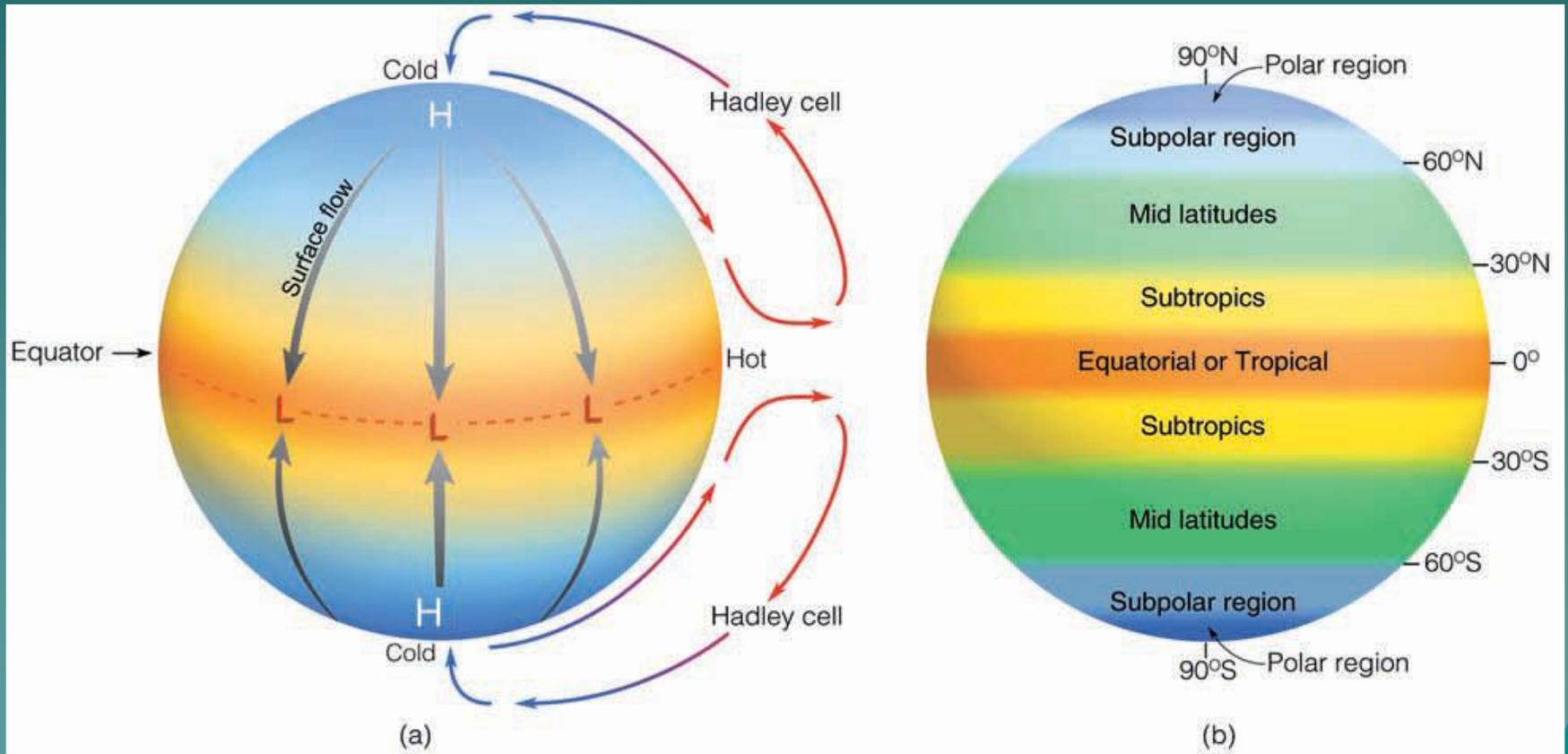
Supuestos

- la Tierra está uniformemente cubierta de agua
- El Sol incide normalmente sobre el ecuador
- No considera la rotación del planeta

Dificultad

- Al no considerar la fuerza de Coriolis, no explica la distribución de vientos observada en el planeta

Modelo de circulación global de una celda



Modelo de circulación global de tres celdas

Celdas de Hadley:

- Se observan a gran escala, tanto espacial como temporal, como células de circulación *alrededor del Ecuador* en ambos hemisferios.
- Las *Bajas presiones* dominantes provocan convergencia de aire al nivel de la superficie, ascendiendo, divergiendo a gran altura y dirigiéndose a los polos.

Celdas de Ferrel:

- El aire enfriado, desciende nuevamente hacia la superficie cerca de los 30° de latitud, en donde se divide. Parte fluye hacia el Ecuador, a compensar el aire ascendente. En este trayecto es desviado por la fuerza de Coriolis resultando vientos del sudeste en el Hemisferio Sur y del noreste en el Hemisferio Norte. Son los vientos *Alisios*, uno de los sistemas de vientos más regulares del planeta.
- Otra parte del aire que descendente se dirige hacia los Polos. En este caso el aire se desvía hacia la izquierda en nuestro hemisferio (derecha en el Hemisferio Norte) tan fuertemente que en latitudes medias (entre 30° y 60°), se producen corrientes desde el oeste hacia el este, resultando vientos del noreste en el Hemisferio Sur y del sudoeste en el Hemisferio Norte.

Los vientos Alisios

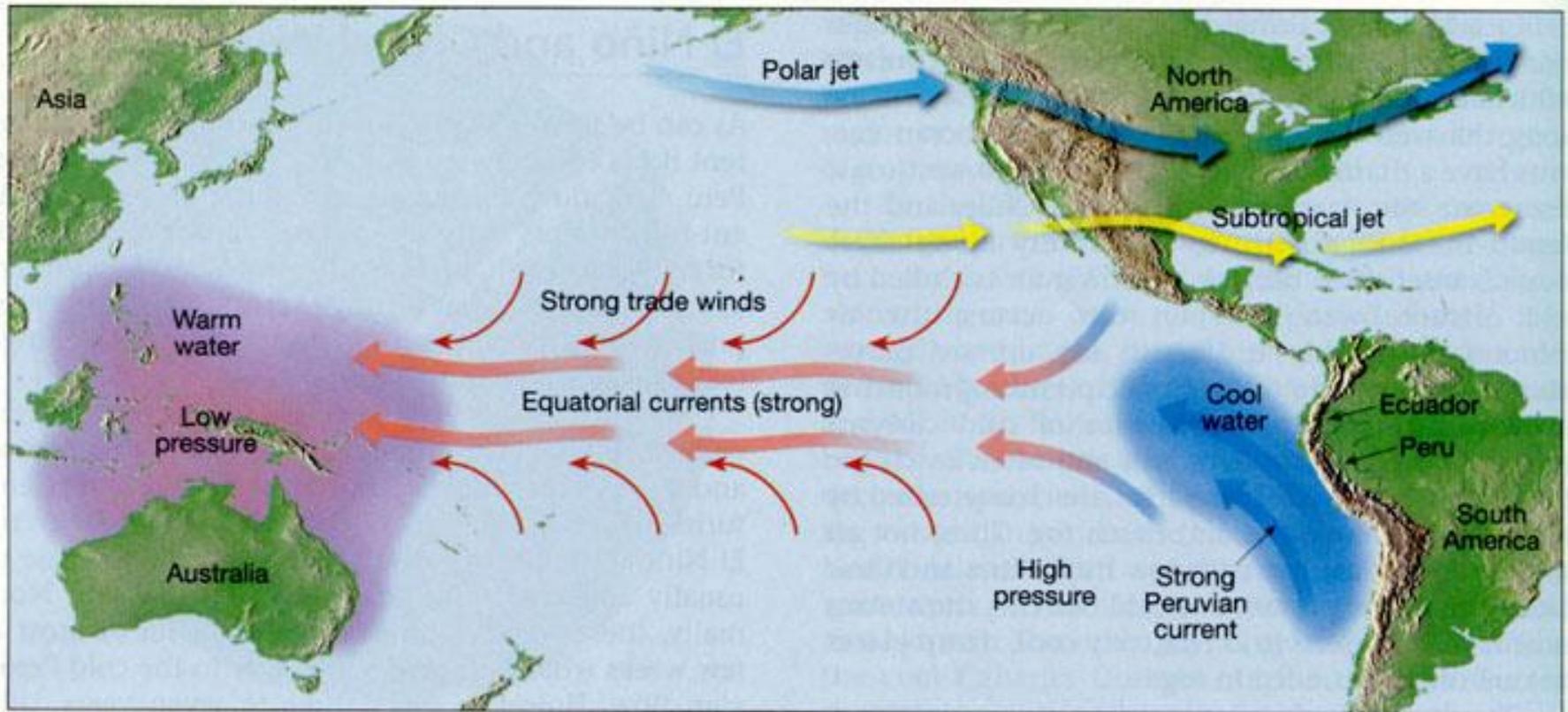
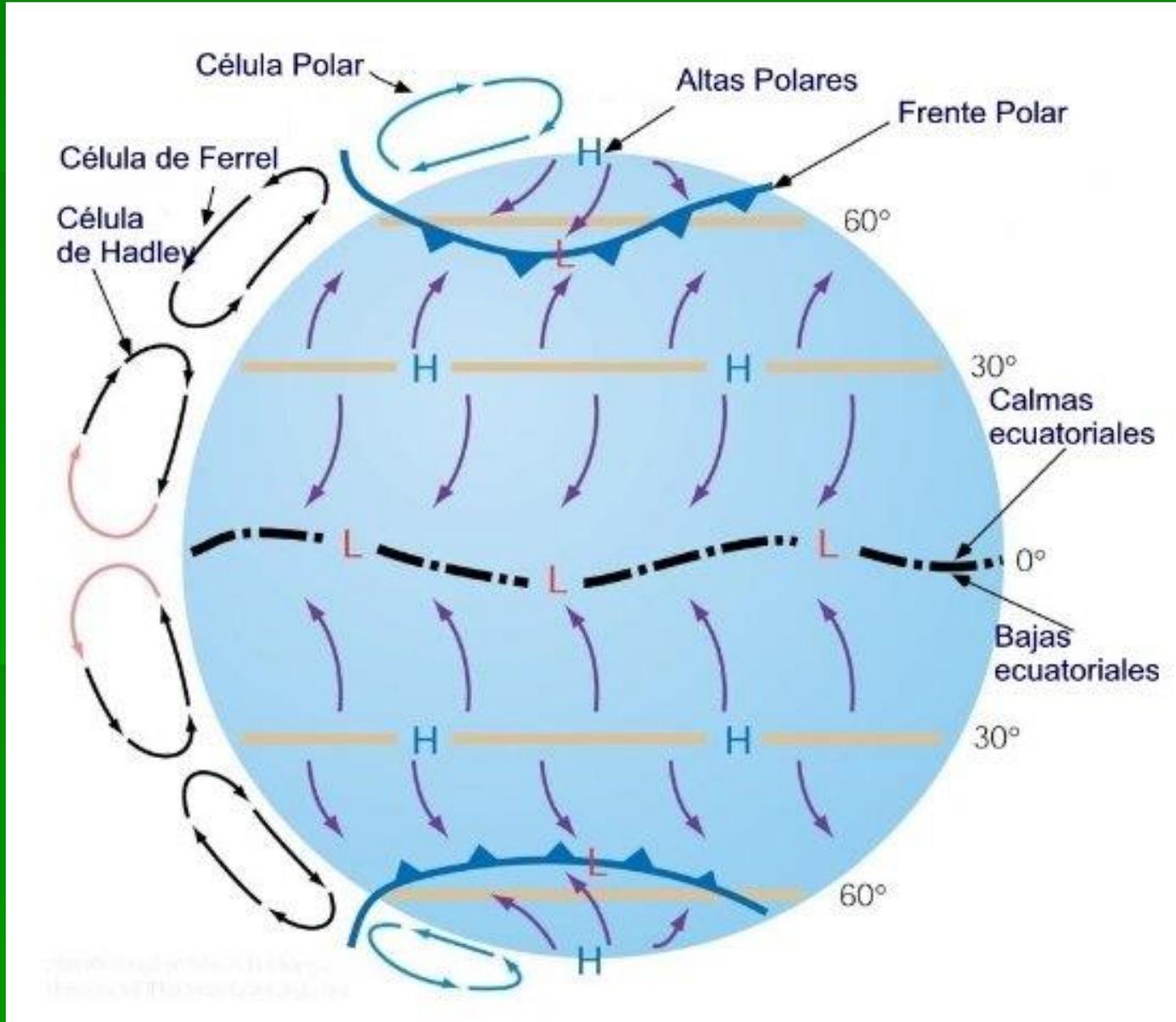


Fig.6 Normally, the trade winds and strong equatorial currents flow toward the west. At the same time, an intense Peruvian current causes upwelling of cold water along the west coast of South America.

Celdas Polares:

- ▶ En las regiones polares el aire se enfría, desciende y se mueve con dirección sudeste en el Hemisferio Sur y noreste en el Hemisferio Norte, efecto de Coriolis.
- ▶ Al abandonar las zonas polares, transita sobre superficies más calientes y absorbe calor, tornándose más liviano y tendiendo a ascender, lo que ocurre aproximadamente alrededor de los 60° de latitud N y S. En su ascenso, el aire alcanza los niveles superiores, en donde se divide.
- ▶ Parte de él retorna a los Polos donde desciende hacia la superficie. Otra parte se dirige a grandes alturas hacia el ecuador. Al llegar aproximadamente a los 30° de latitud N y S, descienden junto con el aire proveniente del ecuador.
- ▶ Aparecen *franjas de bajas presiones alrededor de los 60° de latitud*, en donde se desarrollan depresiones que favorecen un activo intercambio de calor entre las latitudes medias y altas. Es conocido como el *Cinturón de Bajas Migratorias*, que generalmente se desplazan en dirección al este.
- ▶ Finalmente encontramos los *Anticiclones Polares*.

Modelo de circulación global de tres celdas

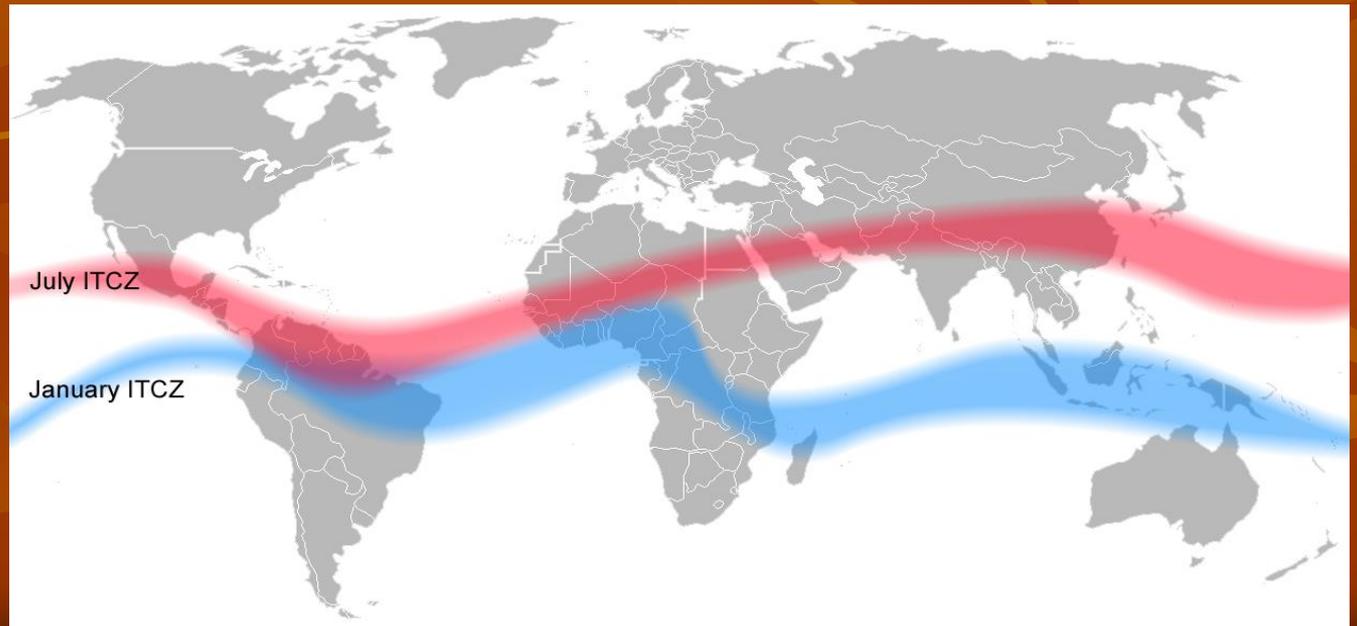


ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL



Las *Bajas presiones ecuatoriales*, donde convergen en superficie los vientos Alisios de ambos hemisferios, dan origen a la *Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)* la cual oscila a uno y otro lado del ecuador siguiendo la temporada estival en cada hemisferio.

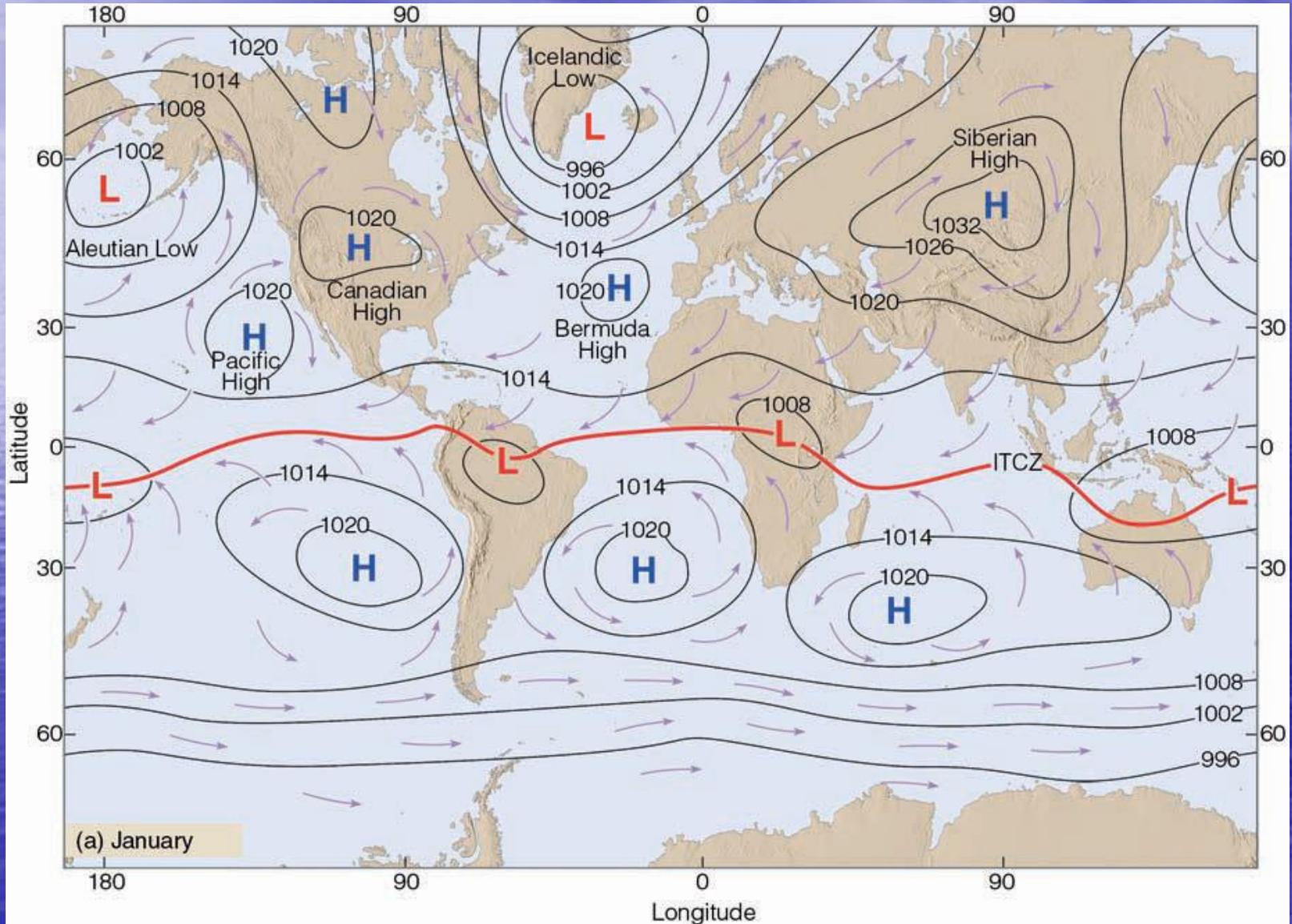
Es en esta franja del planeta *donde se generan las perturbaciones tropicales* (Ondas del Este, Depresiones Tropicales, Tormentas Tropicales y eventualmente los Huracanes o Ciclones Tropicales). .



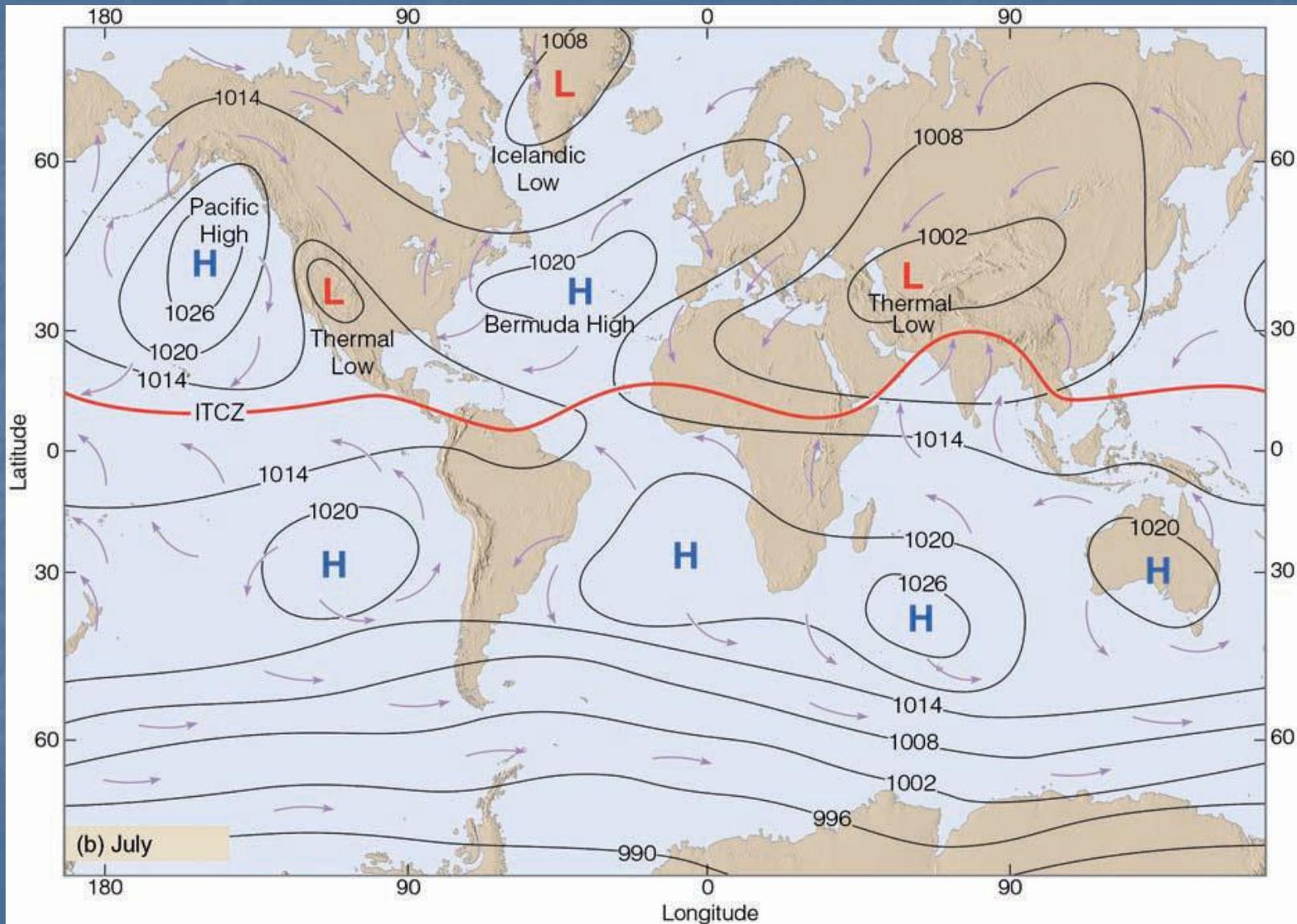
CIRCULACIÓN EN LATITUDES MEDIAS

- Entre los 30° y 60° de latitud, en ambos hemisferios, aparece una *franja* ocupada por *Altas presiones* en latitudes medias, Se trata de los *Anticiclones Semipermanentes*, que preferentemente ocupan las áreas oceánicas.
- Estos sistemas de Alta presión se originan por acción combinada de la zona de subsidencia de las celdas de Hadley y la subsidencia de la *celda Ferrel* ; suelen ser muy persistentes y se mantienen oscilando alrededor de esas latitudes con gran regularidad.
- En la vecindad de Sudamérica existen dos de estos centros de altas presiones y se los conoce como *Anticiclón Semipermanente del Pacífico Sur* y *Anticiclón Semipermanente del Atlántico Sur*.
- Se desplazan siguiendo el movimiento de la ZCIT

Zona de Convergencia Itertropical y Anticiclones Semipermanentes – mes de Enero

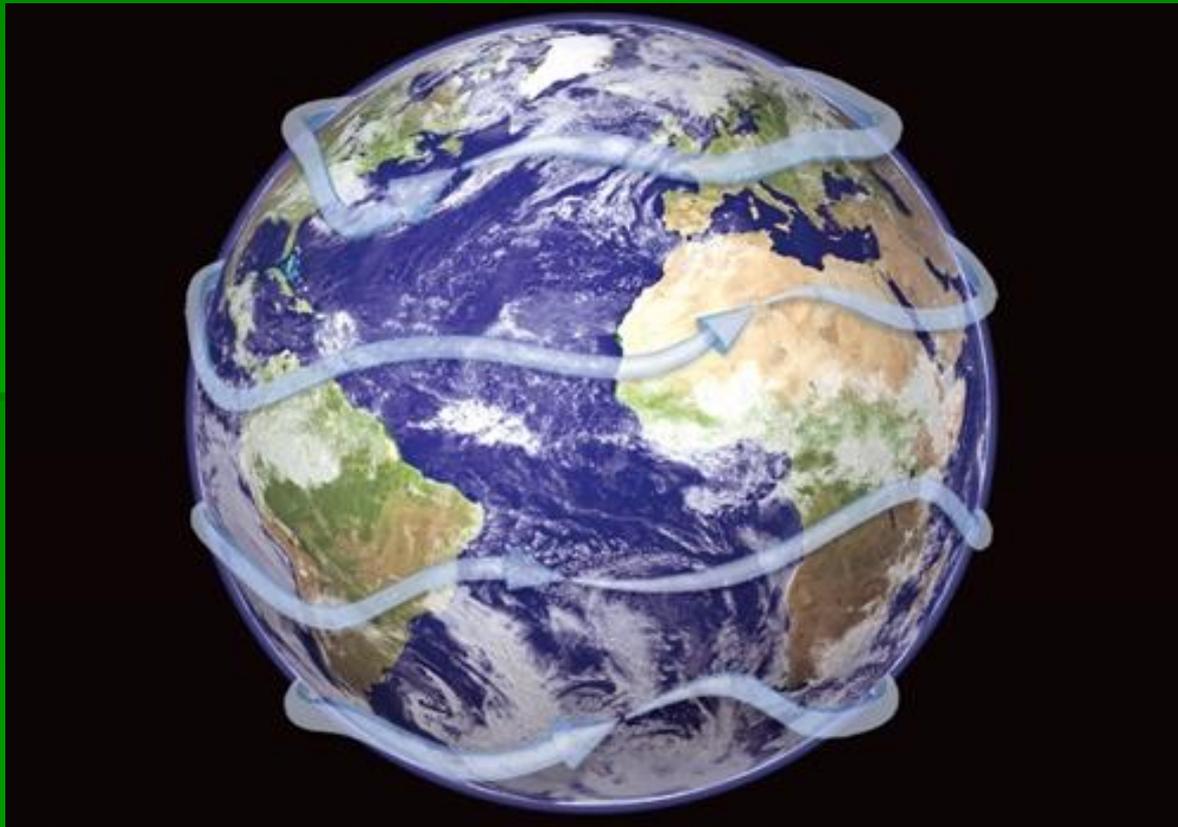


Zona de Convergencia Itertropical y Anticiclones Semipermanentes – mes de Julio

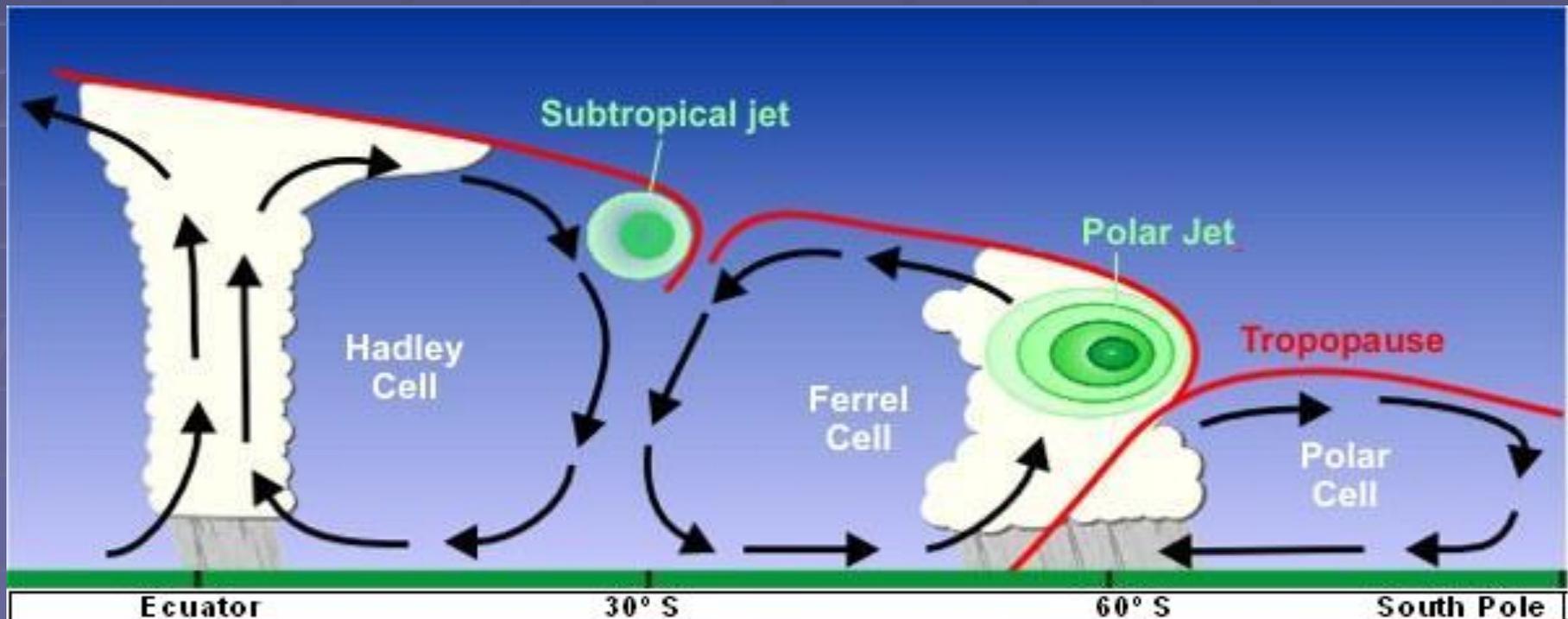


CORRIENTES EN CHORRO (JETS)

- Son fuertes y estrechas corrientes de aire concentradas a lo largo de un eje casi horizontal en la alta troposfera o en la estratosfera, caracterizadas por una fuerte cizalladura (o cortante) vertical y horizontal del viento.
- Presentan uno o dos máximos de velocidad pudiendo ser estos de hasta 100 nudos y, ocasionalmente, hasta 200 nudos.
- Las corrientes en chorro discurren, normalmente, a lo largo de varios miles de kilómetros, en una franja de varios centenares de kilómetros de anchura y con un espesor de unos pocos kilómetros.

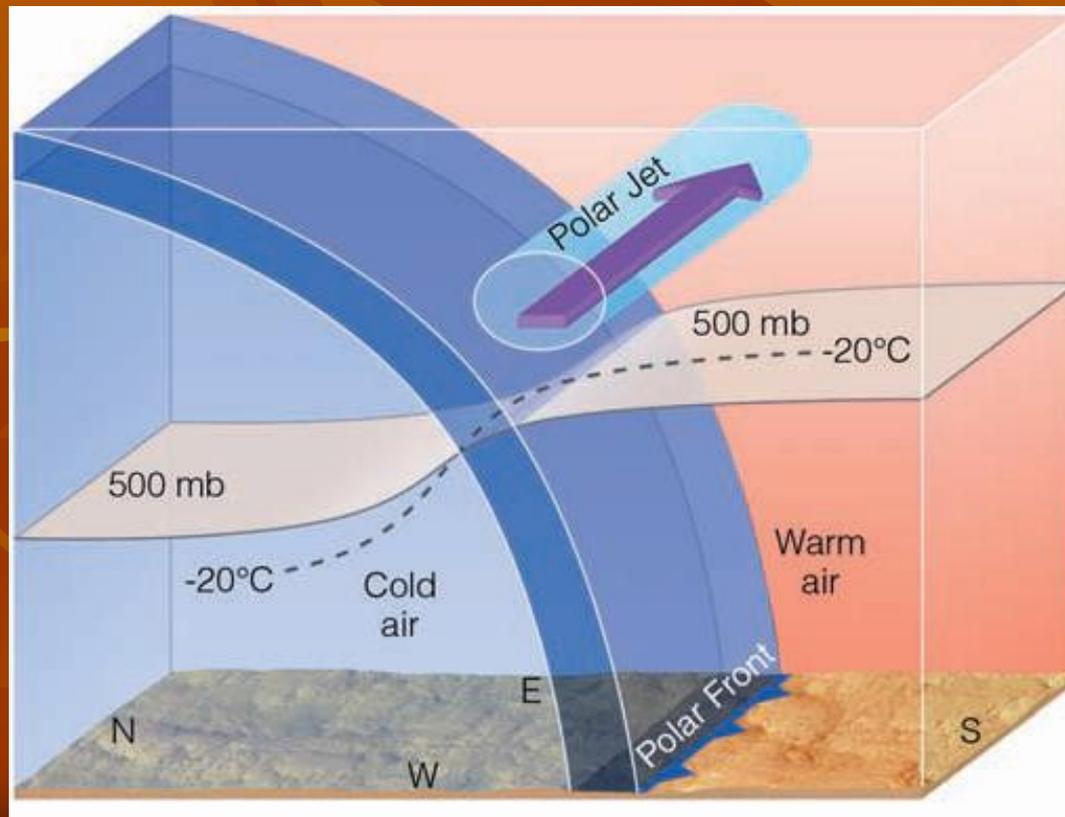


- Las principales corrientes en chorro de la Tierra están localizadas cerca de la tropopausa, Se trata de vientos oestes, tanto en el hemisferio norte como en el sur. Su camino tiene normalmente una forma serpenteante.
- Las corrientes más fuertes son las polares ubicadas en torno a los 7 a 10 km sobre el nivel del mar, y las corrientes subtropicales más altas y más débiles, alrededor de 10 a 13 km.
- Las corrientes en chorro están causadas por una combinación de la fuerza de Coriolis y el calentamiento atmosférico debido a la radiación solar.
- Se forman en las zonas de contacto de masas de aire que, registran diferencias significativas de temperatura tal y como sucede en las regiones polares y en las zonas cálidas subtropicales.



El Jet del frente polar

- Este Jet aparece en la zona de interacción de las masa de aire polares con las masas subtropicales, alrededor de los 60° de latitud (frente polar).
- Se intensifica en invierno y se desplaza hacia las latitudes menores, lo contrario ocurre en la época estival
- Es uno de los principales mecanismos de transporte de calor entra las latitudes medias y las regiones polares



Interacciones entre la Atmósfera y los Océanos

En su interacción con los océanos, la circulación atmosférica genera tres efectos principales:

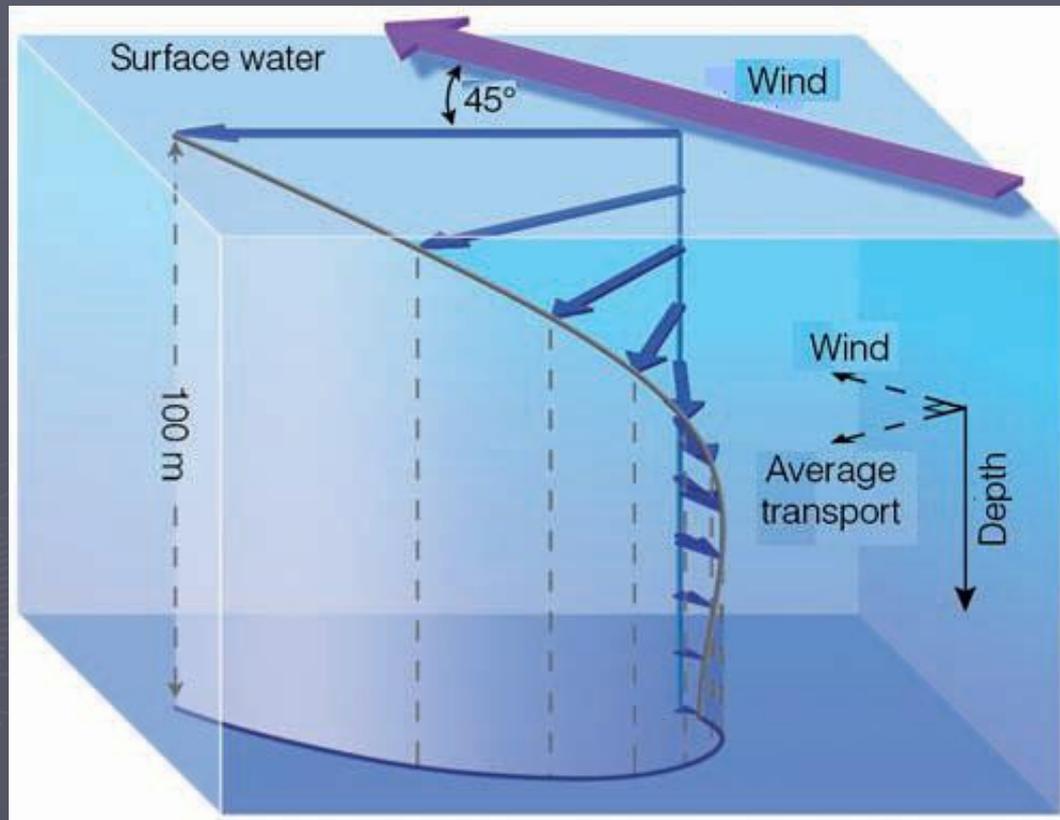
- Las corrientes marinas
- El efecto de Upwelling
- El fenómeno El Niño – Oscilación Sur

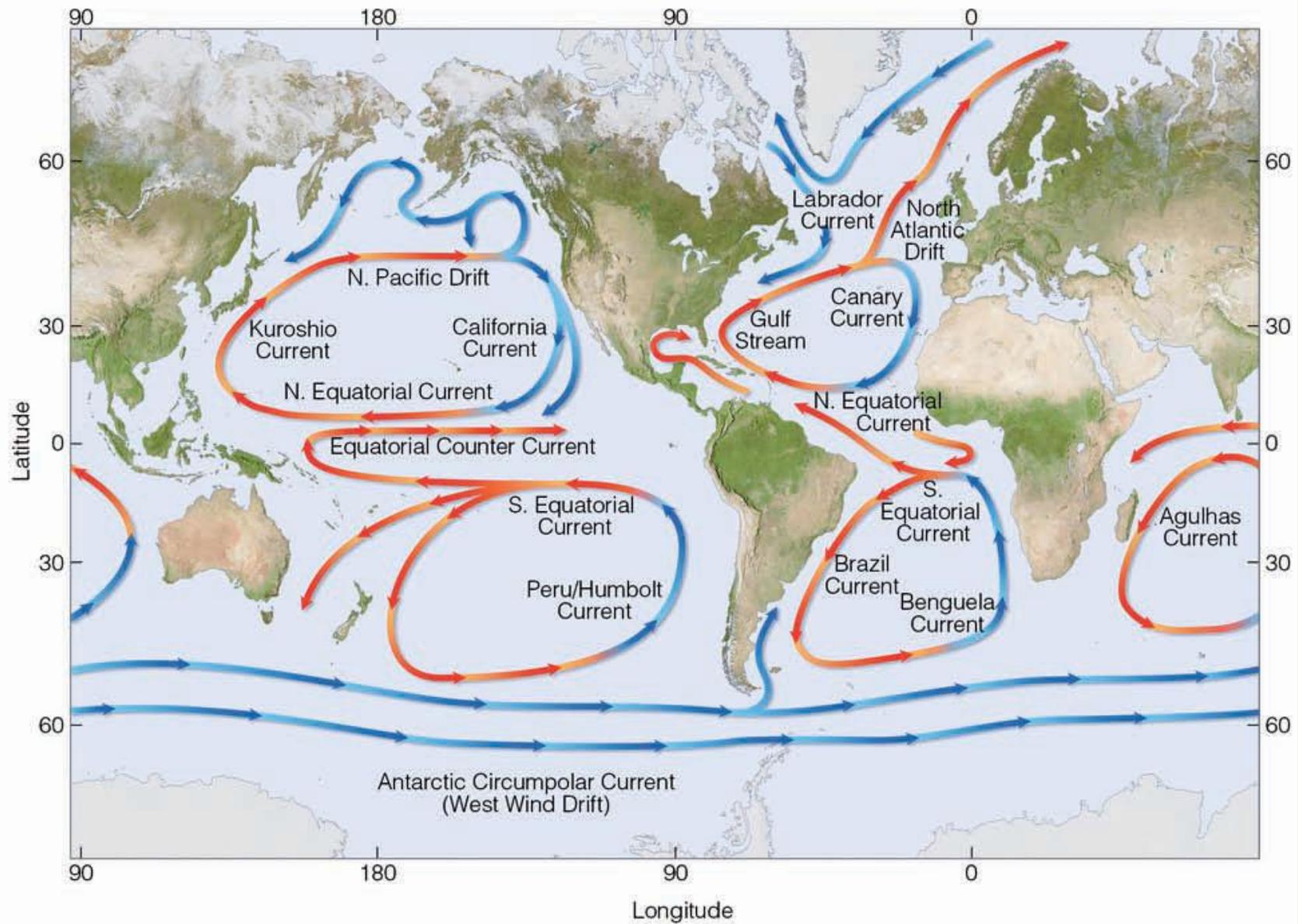
Corrientes marinas

- Cuando el aire circula sobre la superficie de mares y océanos, se produce una combinación de efectos entre la fuerza de coriolis y la fricción
- El efecto es que se generan desplazamientos de masa de agua que se denominan “corrientes marinas”, las que siguen aproximadamente la dirección de los vientos, pero con un desvío de aproximadamente 45°
- En el hemisferio sur ese desvío es hacia la izquierda de la dirección del viento, en el Hemisferio Norte es hacia la derecha
- Junto con la circulación atmosférica, son fundamentales para la redistribución del calor en el planeta

ESPIRAL DE ECKMAN

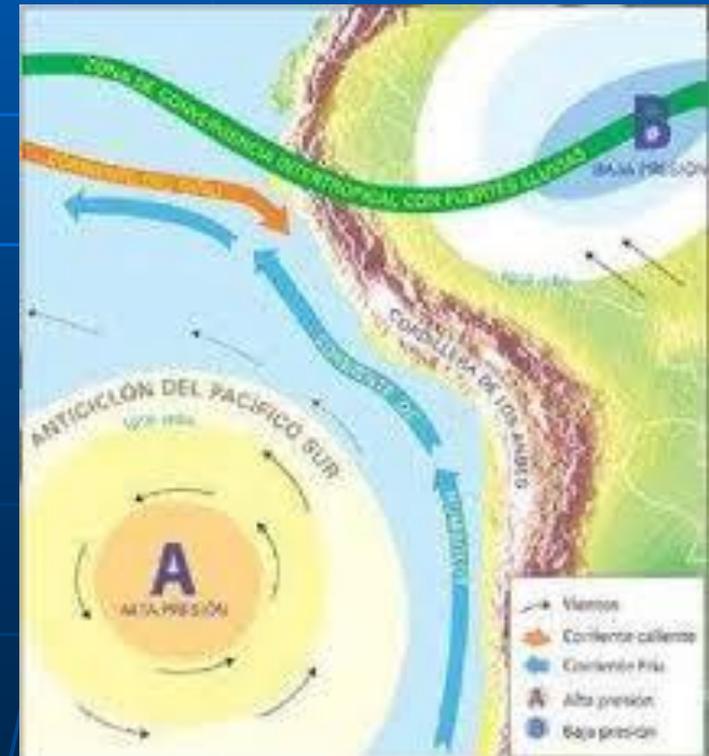
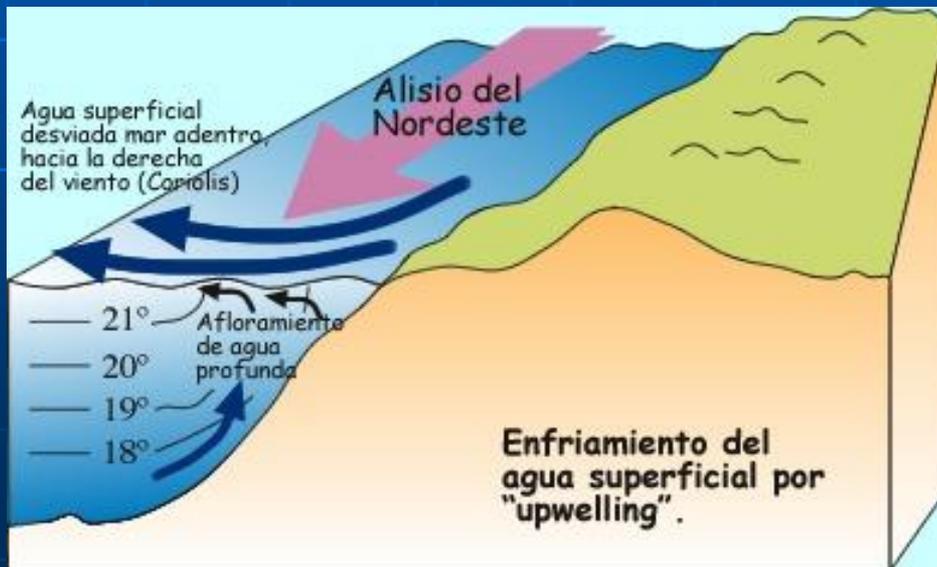
Es un modelo que acerca una explicación a la variación de la intensidad y dirección del flujo de agua de mar con la profundidad. Se debe a una combinación entre la Fuerza de Coriolis y la fricción del viento con la superficie marina





Upwelling

- Se produce en las costas occidentales de los continentes, por acción de los anticiclones semipermanentes.
- Las aguas superficiales se retiran de las costas permitiendo la surgencia (upwelling) de aguas profundas y cargadas de nutrientes, los cuales favorecen el desarrollo de innumerables especies marinas y da la base de una importantísima industria pesquera en todas las regiones en que se verifica.
- En la costa Oeste de Sudamérica se relaciona con la corriente de Humbolt

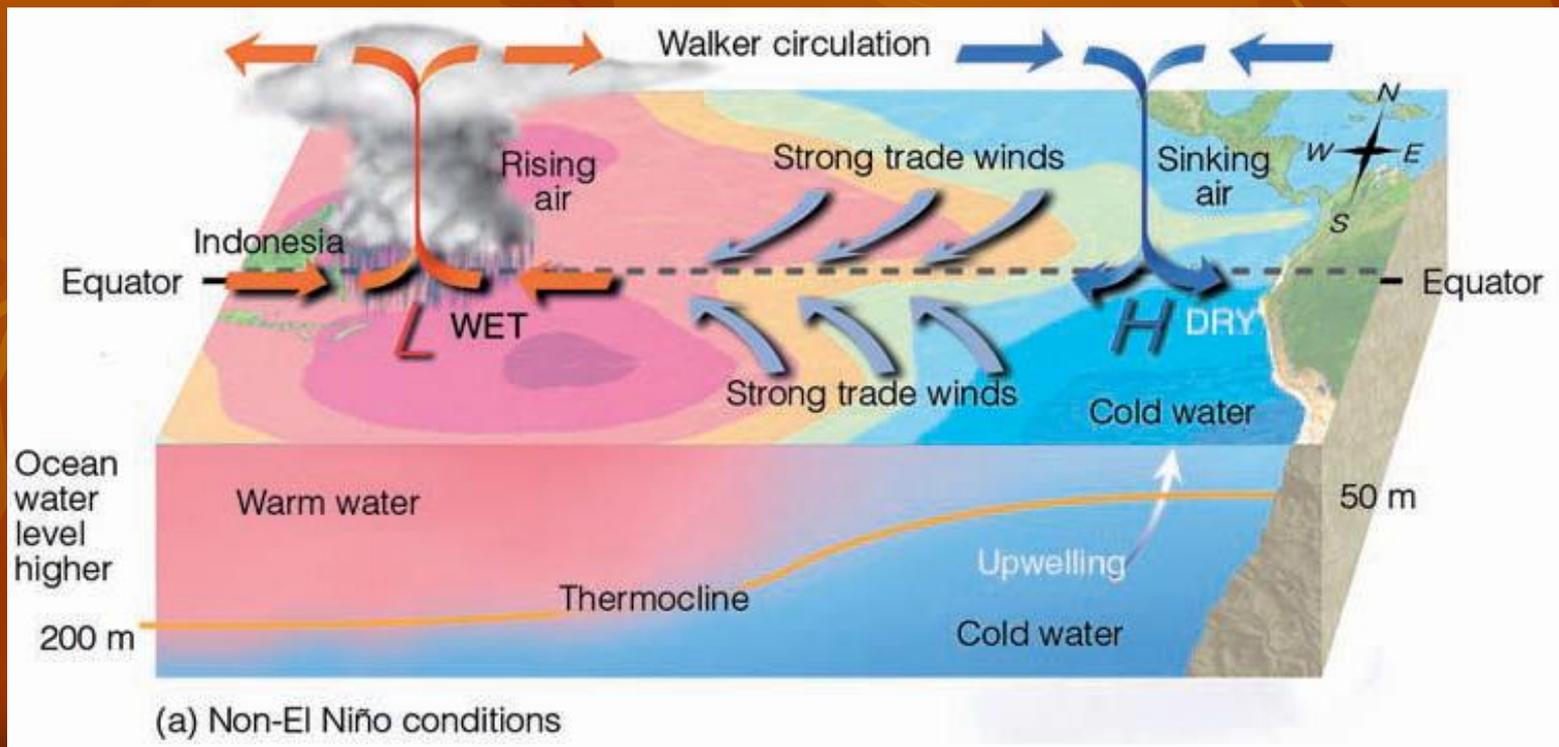


SITUACIÓN NORMAL

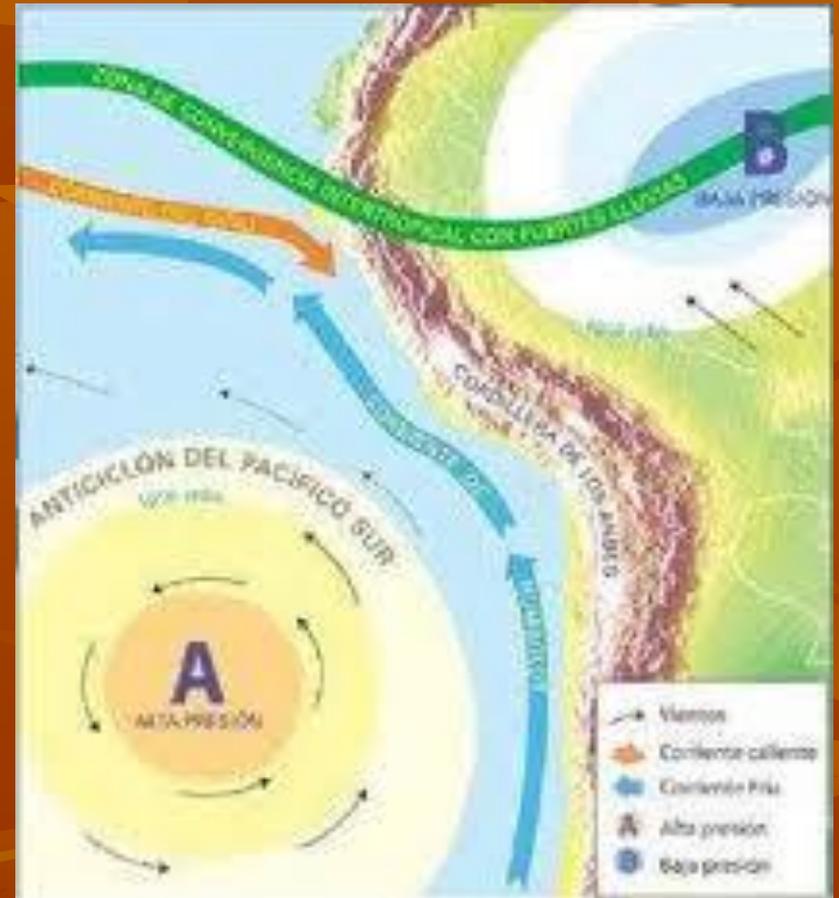
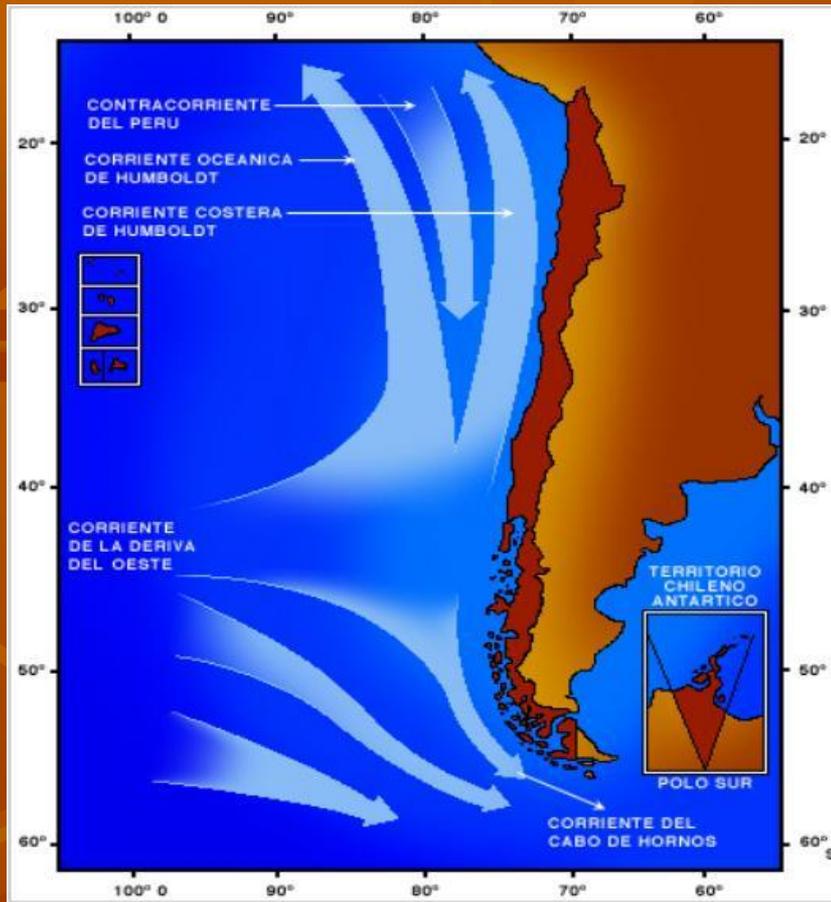
En su situación normal, la temperatura de la superficie del mar (SST) en el Pacífico ecuatorial es mayor en la región de Indonesia y norte de Australia si se la compara con la temperatura de la región central u oriental, sobre la costa sudamericana.

Por este efecto, la presión atmosférica en el Oeste del Pacífico tiende a ser menor que en el centro – Este.

Al mismo tiempo, los vientos alisios se mantienen firmes hacia el oeste, empujando las aguas cálidas en esa dirección.

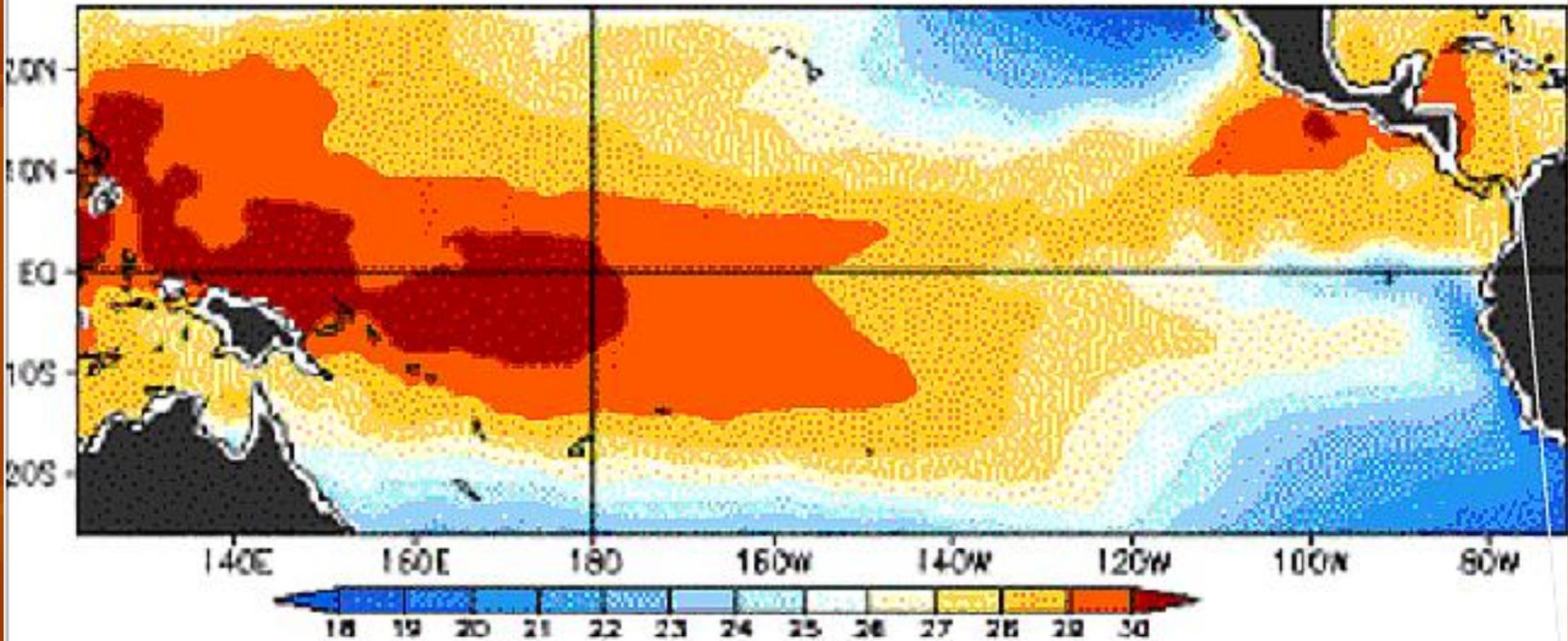


LA CORRIENTE DE HUMBOLDT



Temperatura de la superficie del mar (SST) situación normal

Observed Sea Surface Temperature (°C)



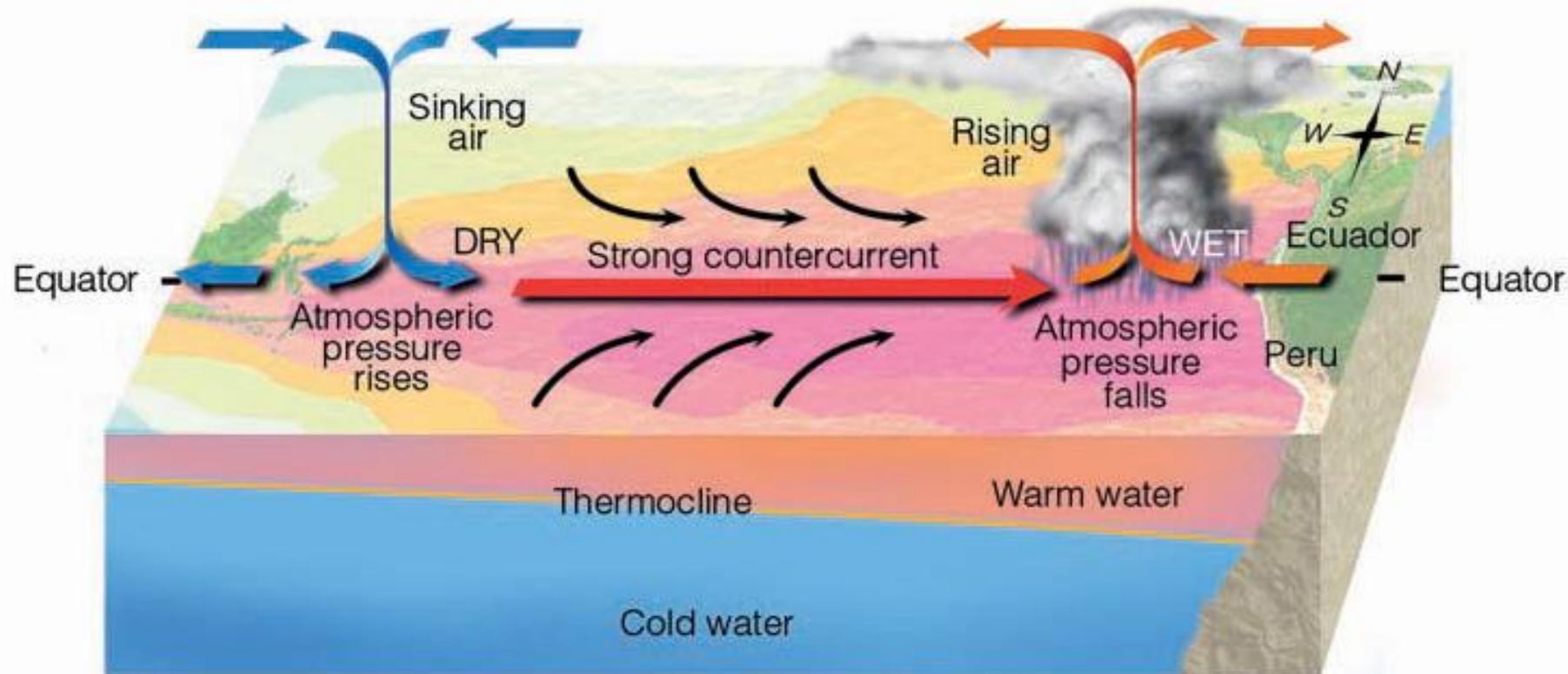
LA OSCILACIÓN SUR (OS)

- Se denomina así a la diferencia estandarizada de presiones medias mensuales entre Tahití (Pacífico ecuatorial – central) y la localidad de Darwin (norte de Australia).
- Da origen al Índice de Oscilación Sur (IOS)
- Normalmente esta diferencia es positiva, dado que en promedios mensuales, la presión en Tahiti es mayor que en Darwin.
- En una situación de normalidad, la región norte de Australia esta dominada por bajas presiones y el nivel de precipitaciones es importante.
- Cuando se dan conjuntamente un IOS negativo y un evento El Niño, este se ve potenciado, dándose un evento El Niño – Oscilación del sur (ENSO).
- En un evento ENSO los vientos alisios ecuatoriales debilitan notablemente su intensidad, llegando a invertir su circulación.

EL NIÑO

- El Niño es un evento oceánico y climatológico que se origina en el Océano Pacífico ecuatorial pero que tiene implicancias a escala regional y global
- A finales del siglo XIX los pescadores de Perú denominaron con el nombre de "El Niño Jesús" a una corriente oceánica caliente proveniente del oeste, que se hacía evidente normalmente cerca de la Navidad.
- Esta corriente desplazaba a las habituales aguas frías de la corriente de Humboldt, la cual baña las costas de Chile y Perú.
- Dicha corriente transporta agua fría que tiene su origen en la Antártida y que bordea la costa oeste de Sudamérica. Es por tanto, una corriente surgente y fría, que crea zonas de pesca muy productivas.
- La corriente de El Niño invierte la circulación oceánica en todo el Pacífico ecuatorial, ocasionando cambios climáticos que llevan a una alteración de los ecosistemas.
- Esta situación se da anualmente y se extiende unas pocas semanas

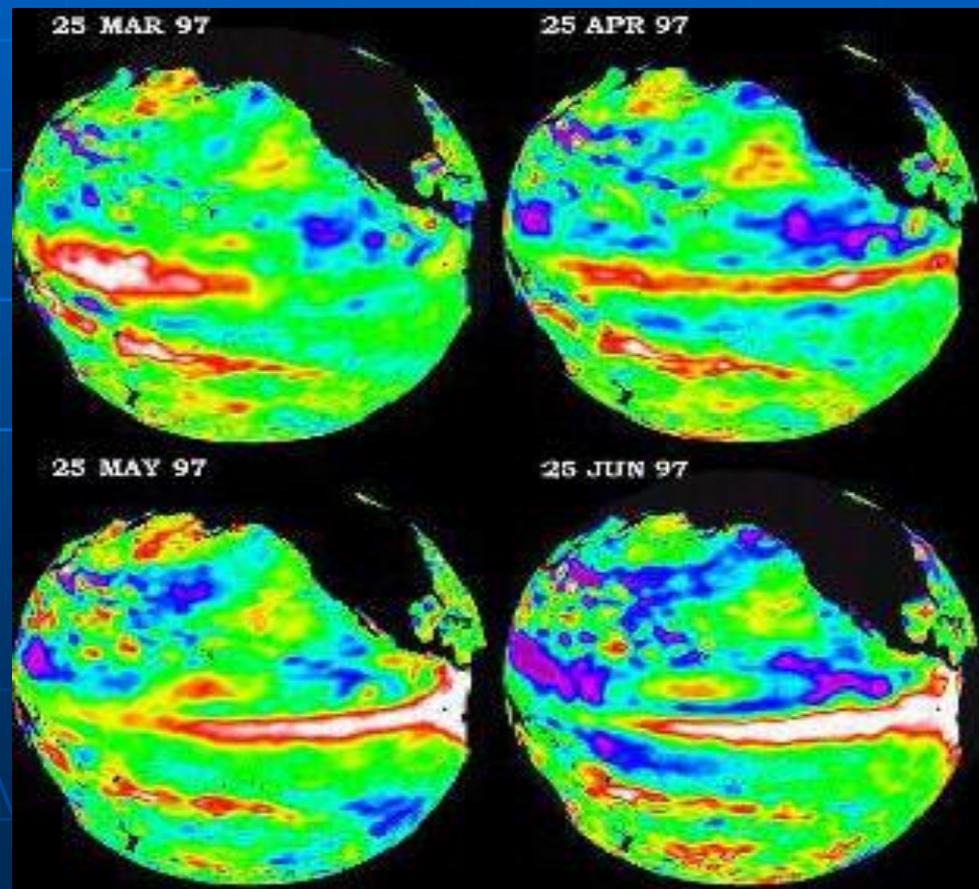
- La región del norte de al norte de Australia y mares adyacentes experimentan precipitaciones escasas e incluso sequías.
- La costa pacífica de Sudamérica, especialmente al sur del Ecuador, registra precipitaciones muy por encima de lo normal.
- Esto sucede normalmente entre diciembre y marzo y su período de ocurrencia varía entre tres y cinco años.



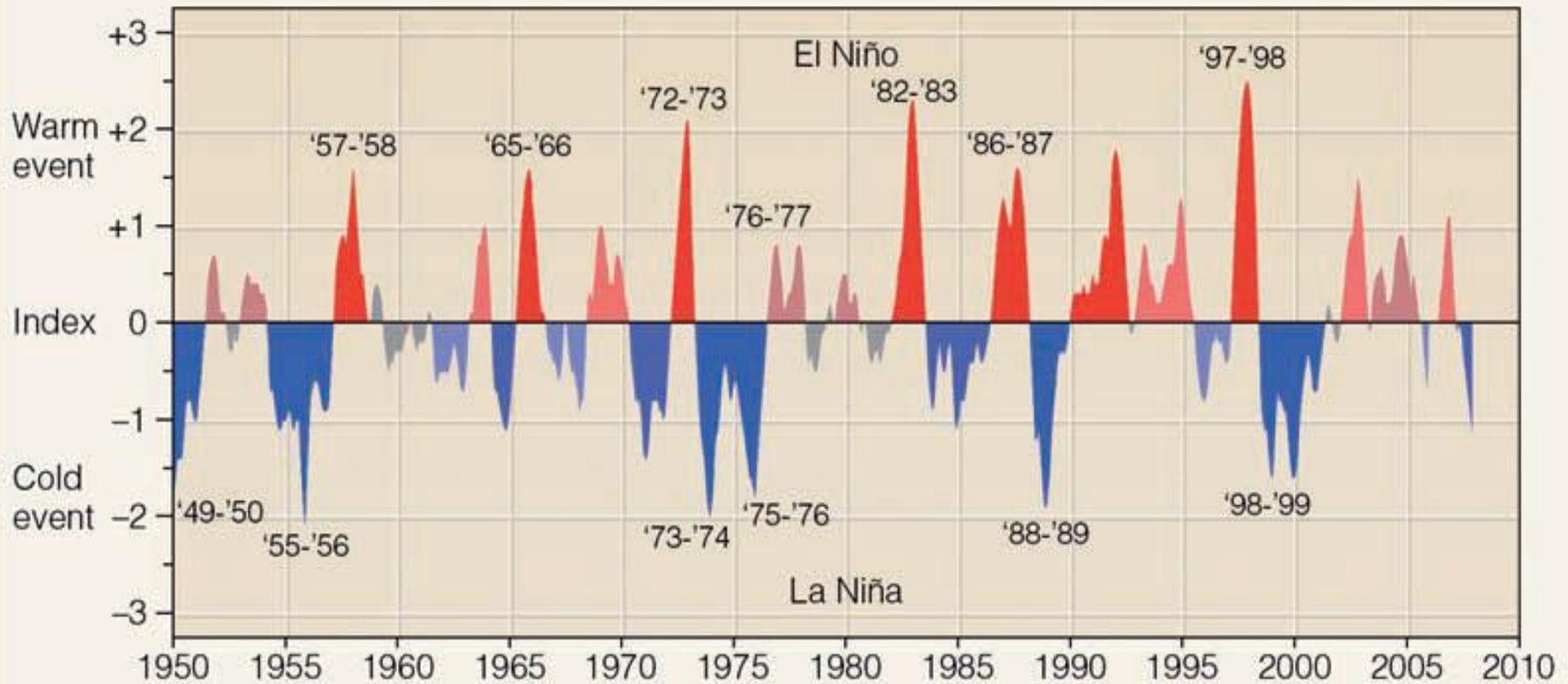
(b) El Niño Conditions

Se verifica es un potente desplazamiento de masas de agua marina más cálidas desde la región de Oceanía Occidental hacia Sudamérica, con un consecuente aumento hacia el Este de las SST.

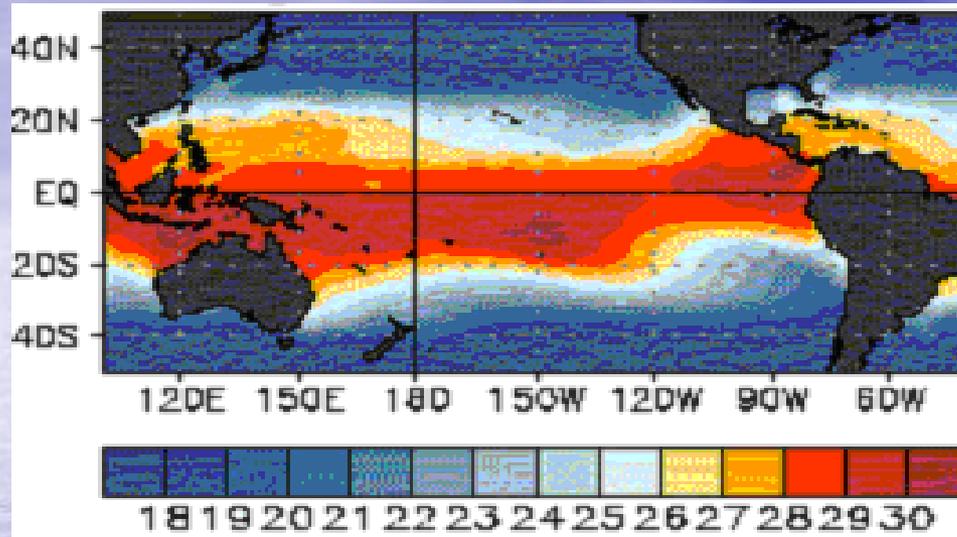
Esto provoca una mayor evaporación y disponibilidad de vapor de agua en regiones regularmente secas y con bajas precipitaciones



Anomalías de Temperatura de la superficie del mar en promedios móviles de tres meses, para el período 1950 – 2010.

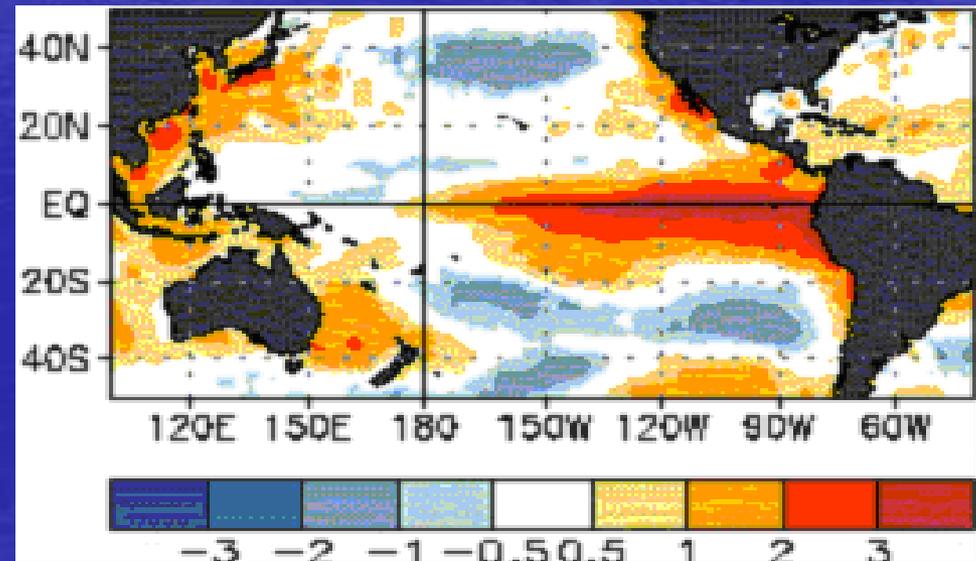


El Niño , Enero – Marzo de 1998



Temperatura de la superficie del mar (SST)

Anomalías de Temperatura de la superficie del mar (SST)



Efectos

- ▶ La corriente de Humboldt se retira y se detiene el efecto de surgencia de materias orgánicas desde el fondo marino.
- ▶ El aumento de temperatura del agua del mar afecta los la vida marina, las especies mueren o migran
- ▶ El aumento de temperatura del agua del mar que reduce considerablemente la captura de pesca y las economías regionales se resienten.



Efectos

- Se producen importantes incrementos en las precipitaciones en la costa pacífica de América del Sur, donde las lluvias son regularmente escasas.
- El aumento de precipitaciones provoca inundaciones, deslizamientos de tierra y enormes daños a las propiedades privadas y economías regionales.
- El proceso comienza a revertirse y normalizarse hacia el mes de marzo

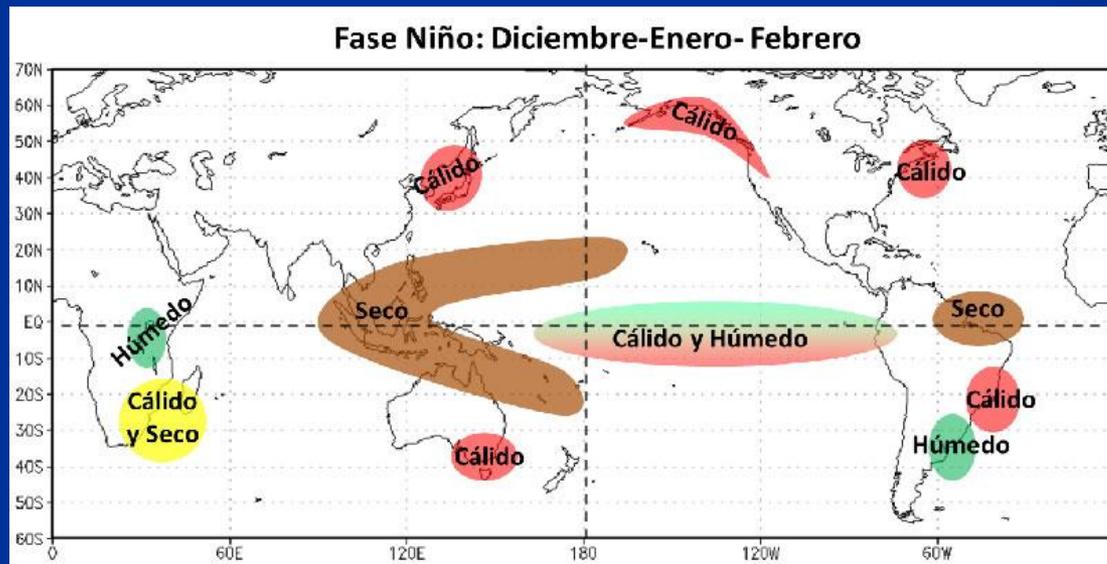


Efectos

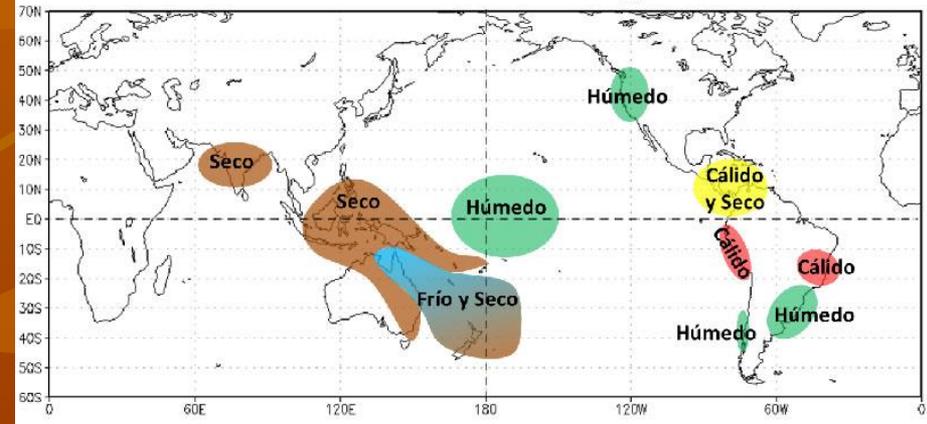
- En el Nordeste de Brasil, se produce un efecto inverso ya que el movimiento de ascenso intensificado en el oeste, impide la formación de lluvia y se produce sequías.
- En la Argentina el efecto a distancia ejercido por El Niño, también llamado "Teleconexión" puede producir un aumento de precipitaciones durante la primavera, previa al proceso, en una extensa región del Litoral centrada aproximadamente en la provincia de Corrientes.
- Durante pleno verano los indicios sobre efectos locales no son muy claros, pero si El Niño se prolonga varios meses más, también suelen producirse mayores precipitaciones que las normales en la misma región durante los meses de abril y mayo.
- En cambio en el Noroeste argentino el fenómeno de El Niño está asociado a una fuerte reducción de las lluvias de verano.

■ Efectos globales (teleconexiones)

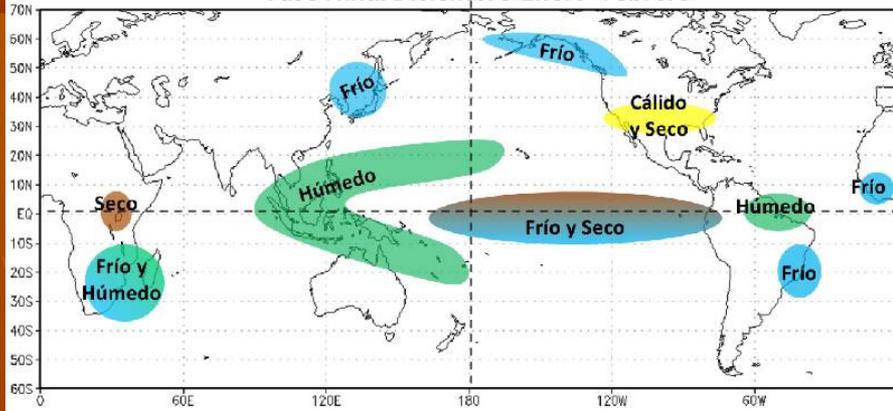
- Se observó que los cambios en la temperatura del agua del mar no se limitan sólo a la región del Pacífico ecuatorial, sino que también influyen en el clima en diferentes partes del mundo.
- Surge el término “teleconexiones”. Los mecanismos por los cuales se dan estas teleconexiones no son comprendidos del todo y aún son objeto de investigación científica.
- Sin embargo se puede hacer una caracterización utilizando las observaciones ya documentadas en diferentes regiones del mundo.



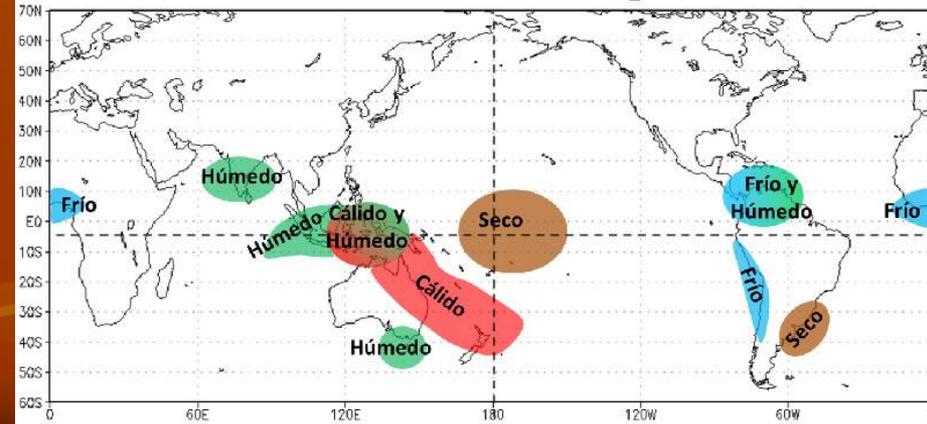
Fase Niña: Junio - Julio - Agosto



Fase Niña: Diciembre-Enero- Febrero



Fase Niña: Junio - Julio - Agosto



Evento El Niño 1997 – 1998: variación del caudal del río Paraná en Resistencia/Corrientes y en Santa Fe/Paraná



Presidencia de la Nación
Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable



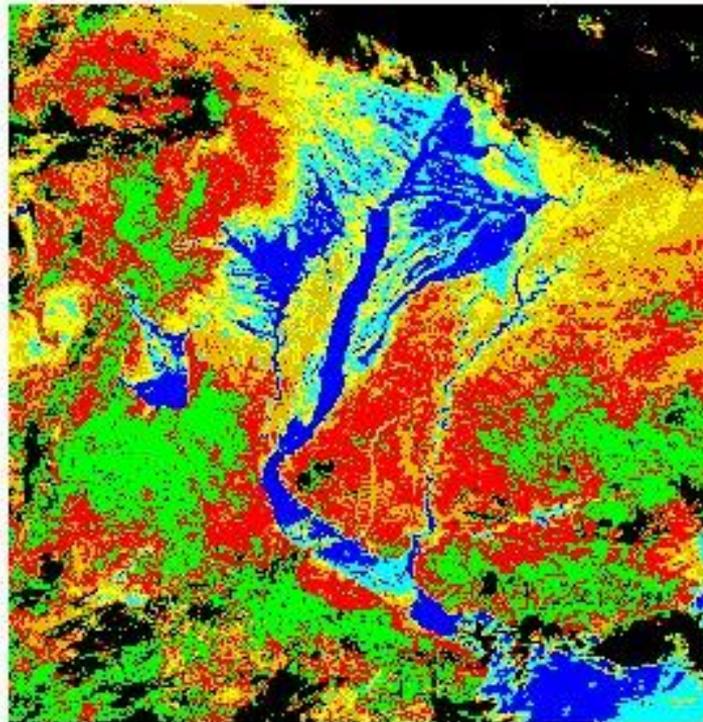
INA- Instituto Nacional del Agua y del Ambiente
Sistema de Alerta Hidrológico
de la Cuenca del Plata

Río Paraná - CAUDALES



— Registros Diarios RESISTENCIA-CORRIENTES — Registros Diarios SANTA FE-PARANÁ
- - - Medios Mensuales RESISTENCIA-CORRIENTES - - - Medios Mensuales SANTA FE-PARANÁ

La **Escena Satelital** obtenida a partir del satélite NOAA-AVHRR muestra la extensión de los anegamientos que se registraban sobre las provincias de Formosa, Corrientes, Entre Ríos, Chaco y Santa Fe en el mes de mayo de 1998.



Situación de anegamiento en el NEA
Imagen NOAA 14 del 2/5/1998

Azul . agua
Celeste - sin piso
Verde - pasturas
Rojos - monte / vegetacion

César REBELLA (INTA)
Stella CARBALLO (INTA)
Tomas HARTMANN (INTA)
Pablo MERCURI (INTA)

EL FENÓMENO EL NIÑO – OSCILACIÓN DEL SUR (ENOS)

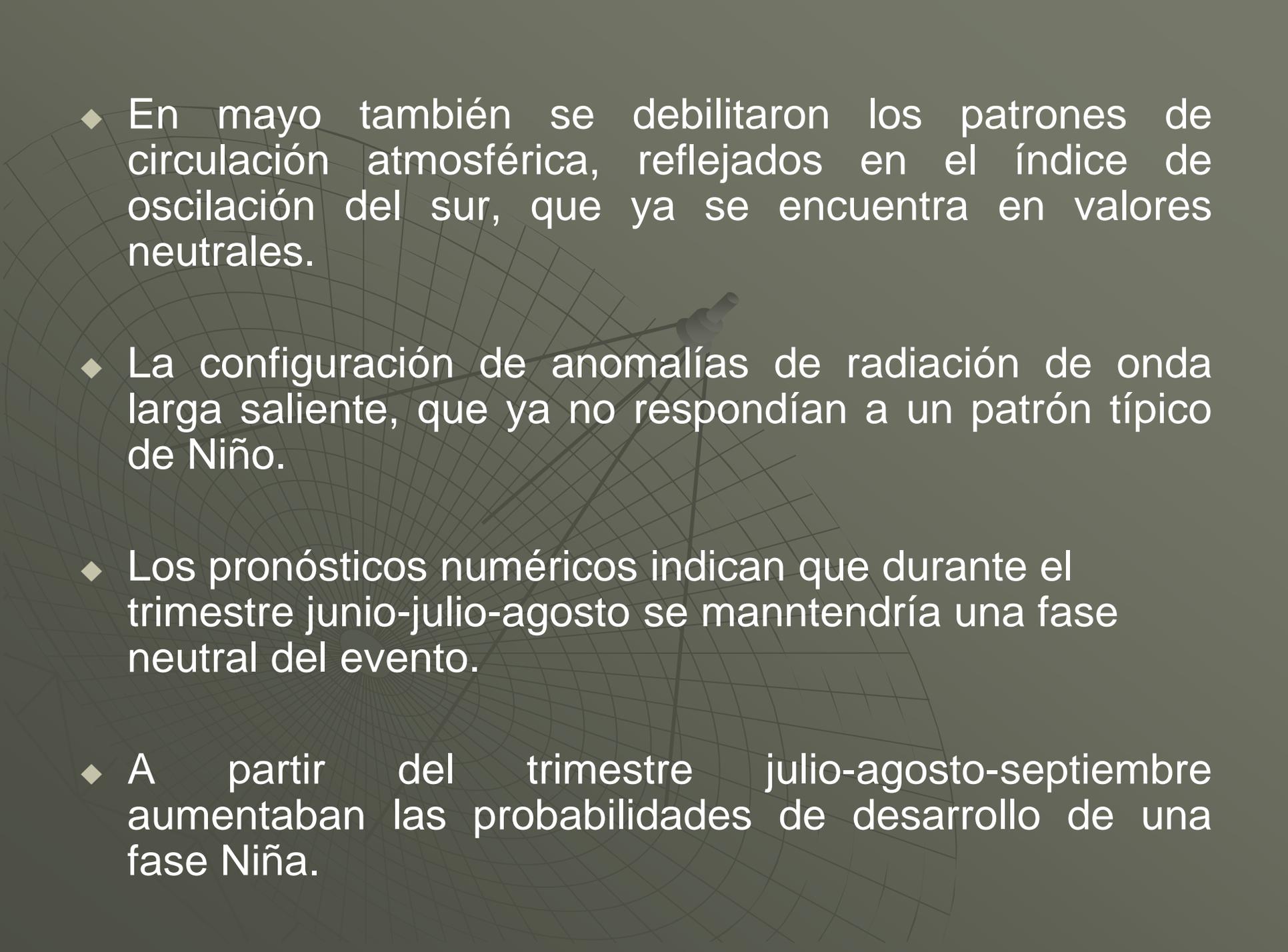
CONDICIONES de NIÑO FUERTE (octubre de 2015)

- La temperatura superficial del mar (TSM) fue superior a la normal alrededor y al este de la línea de fecha en el océano Pacífico ecuatorial.
- La convección se mantuvo superior a la normal alrededor de la línea de fecha, mientras que en Indonesia y norte de Australia fue inferior a la normal.
- El Índice de Oscilación del Sur como promedio móvil de 30 días se mantuvo negativo, quedando el que termina el día 03 de octubre con un valor de $-21,8$.
- Los vientos alisios en julio estuvieron debilitados al oeste de 130°W en el océano Pacífico ecuatorial.
- Las condiciones se correspondían con las de un evento Niño fuerte.

- Para Septiembre de 2015, los pronósticos computacionales, durante el trimestre octubre-noviembre-diciembre indicaban altas probabilidades de que se mantendría la fase Niño.

Condiciones en Mayo de 2016

- ◆ Las condiciones en Mayo de 2016 se corresponden con las de una fase neutral.
- ◆ Desde el mes de marzo se observó un debilitamiento de la señal del Niño.
- ◆ Se registró una disminución de las anomalías positivas de la temperatura del mar (superficiales y subsuperficiales).

- 
- ◆ En mayo también se debilitaron los patrones de circulación atmosférica, reflejados en el índice de oscilación del sur, que ya se encuentra en valores neutrales.
 - ◆ La configuración de anomalías de radiación de onda larga saliente, que ya no respondían a un patrón típico de Niño.
 - ◆ Los pronósticos numéricos indican que durante el trimestre junio-julio-agosto se mantendría una fase neutral del evento.
 - ◆ A partir del trimestre julio-agosto-septiembre aumentaban las probabilidades de desarrollo de una fase Niña.

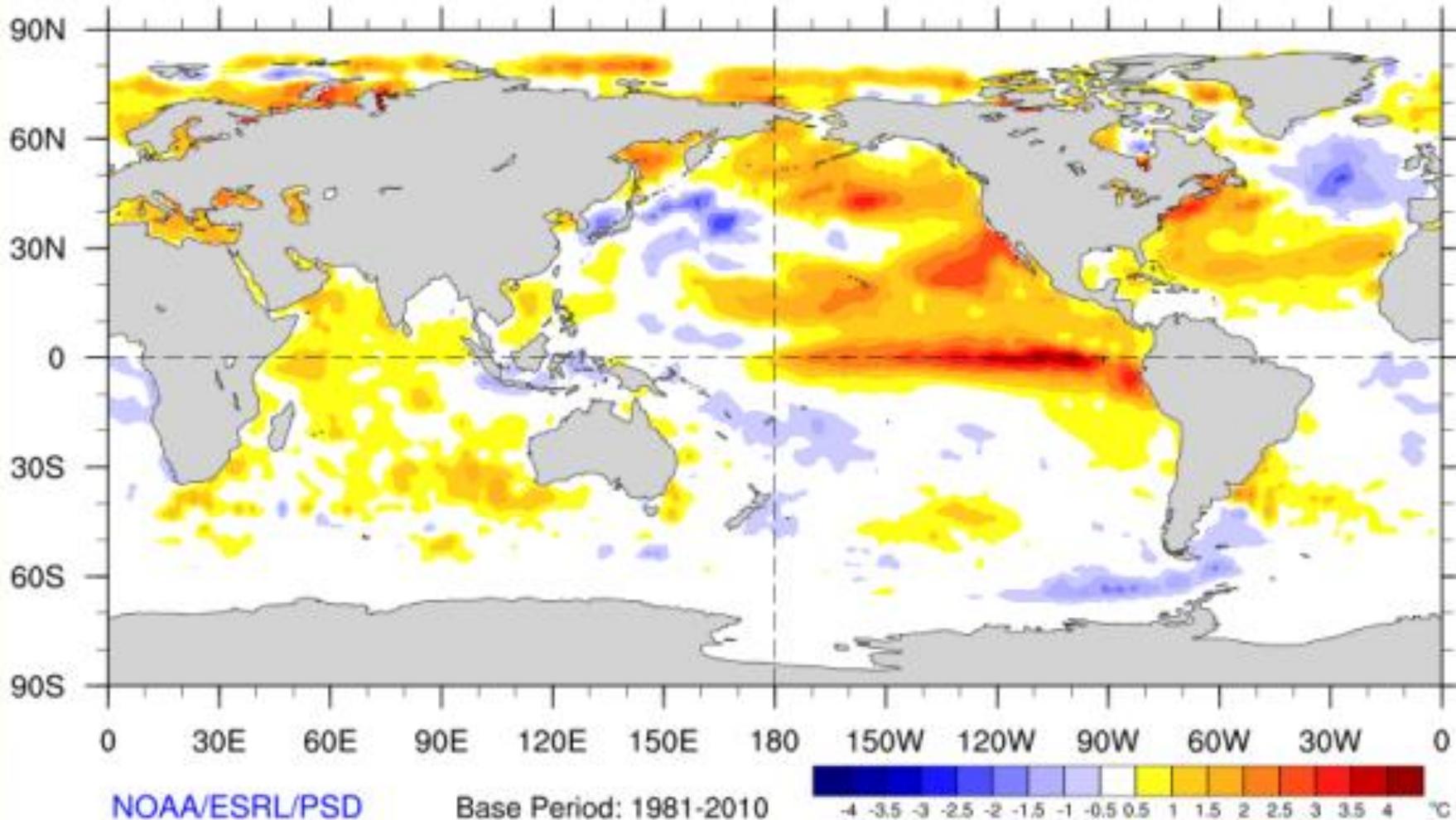
Temperatura de agua de mar (TSM)- promedio mensual

- Durante el mes de septiembre de 2015 al igual que en los meses previos se observaron anomalías positivas de la TSM en el océano Pacífico ecuatorial, entre la costa sudamericana y la línea de fecha.
- Las máximas anomalías se encontraban entre 120°W y 90°W con algunos valores superiores a $+3^{\circ}\text{C}$.
- En febrero de 2016, se siguieron observando anomalías positivas de la TSM en el océano Pacífico ecuatorial, entre la costa sudamericana y la línea de fecha.
- Los valores de dichas anomalías habían disminuido respecto de los meses previos, evidenciando un debilitamiento de la señal.
- Durante el mes de mayo de 2016 aún se observaron anomalías positivas de la TSM en el océano Pacífico ecuatorial, al norte y al sur del ecuador.
- Sobre el ecuador, entre la costa Sudamericana y 140°W se observan anomalías negativas.

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

Monthly SST Anomaly

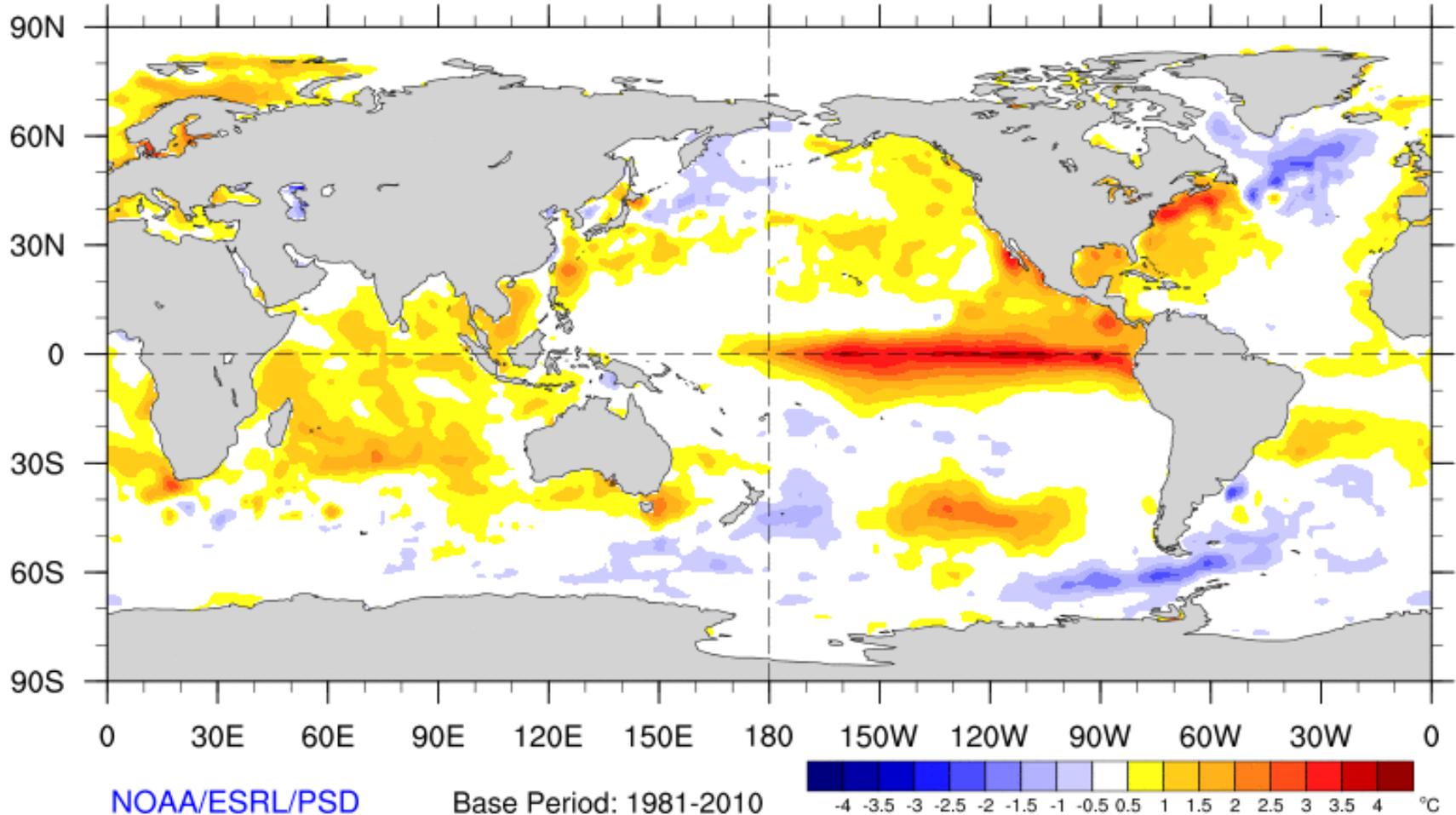
2015/08/30 - 2015/09/26



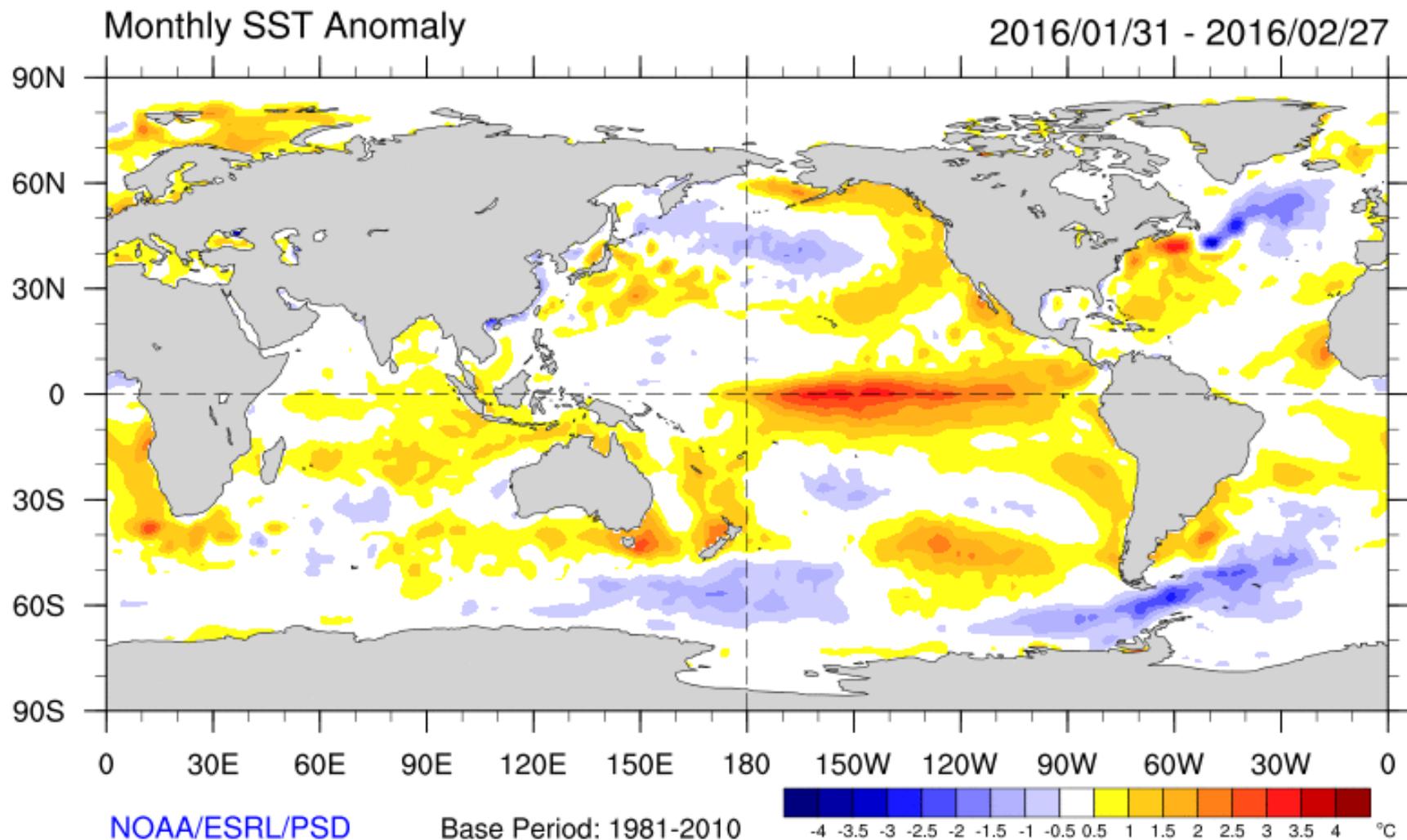
***Anomalías de la temperatura superficial del mar en Septiembre de 2015.
Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC***

Monthly SST Anomaly

2015/12/06 - 2016/01/04



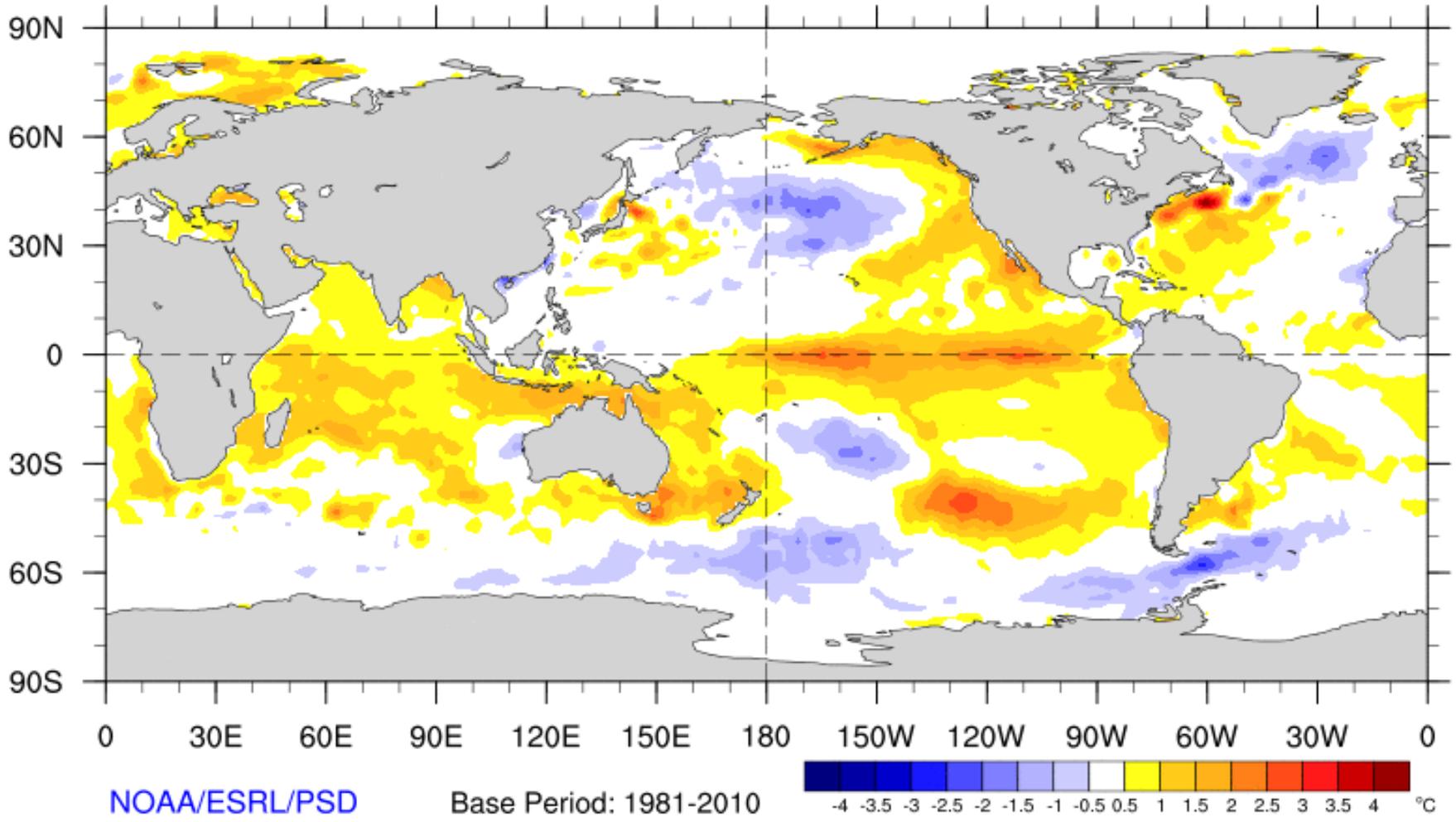
***Anomalías de la temperatura superficial del mar en diciembre de 2015.
Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC***



***Anomalías de la temperatura superficial del mar en febrero de 2016.
Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC***

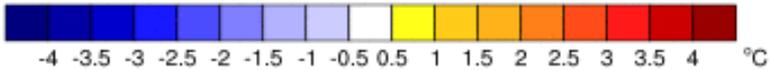
Monthly SST Anomaly

2016/02/28 - 2016/03/26



NOAA/ESRL/PSD

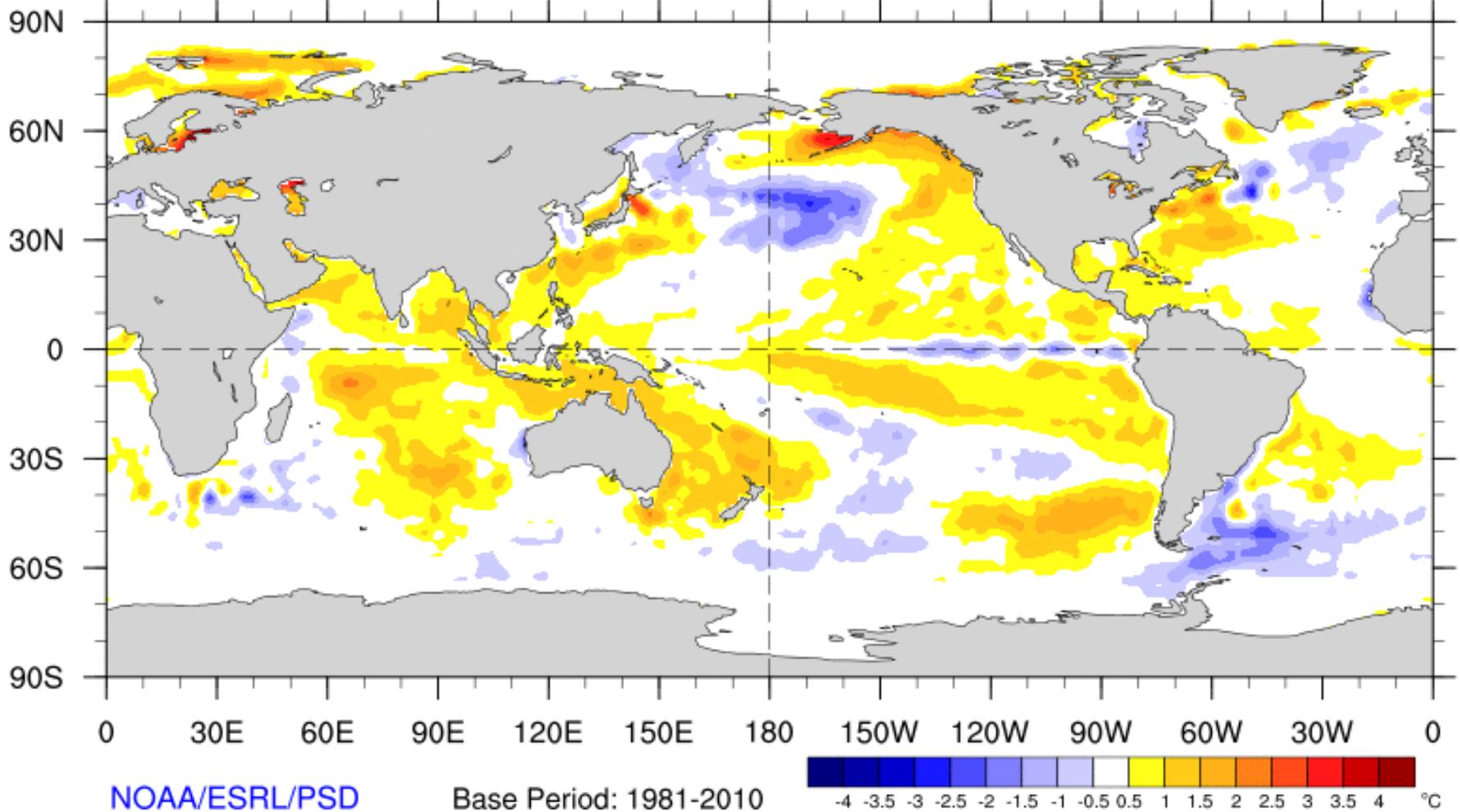
Base Period: 1981-2010



Las anomalías están calculadas con respecto al promedio 1981-2010 FUENTE: NOAA-CIRES/CDC

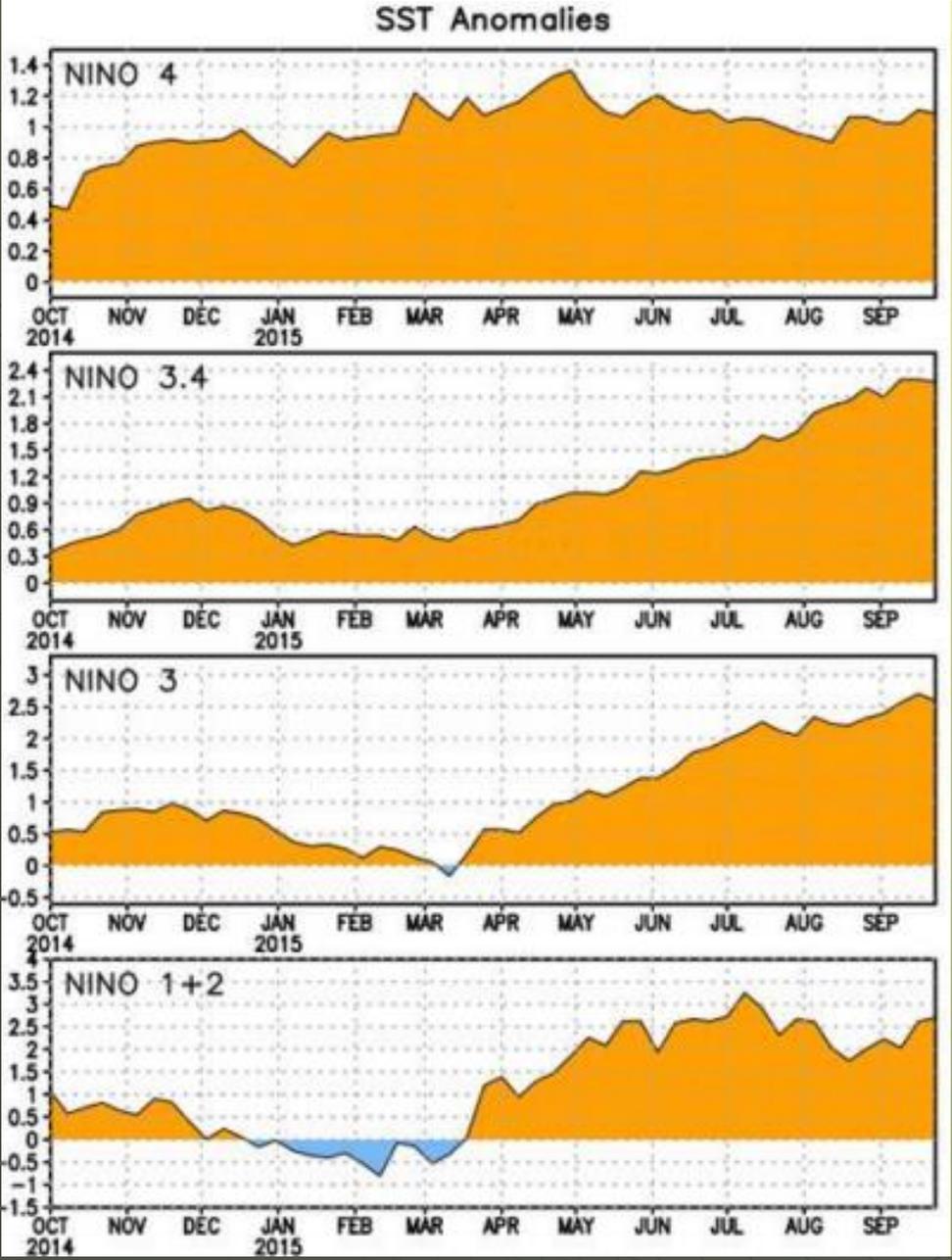
Monthly SST Anomaly

2016/05/08 - 2016/06/04



Anomalías de la temperatura superficial del mar en mayo de 2016. Período de referencia 1981-2010 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC

Evolución de la TSM por regiones



Niño 4	+1.1 °C
Niño 3.4	+2.3 °C
Niño 3	+2.6 °C
Niño 1+2	+2.7 °C

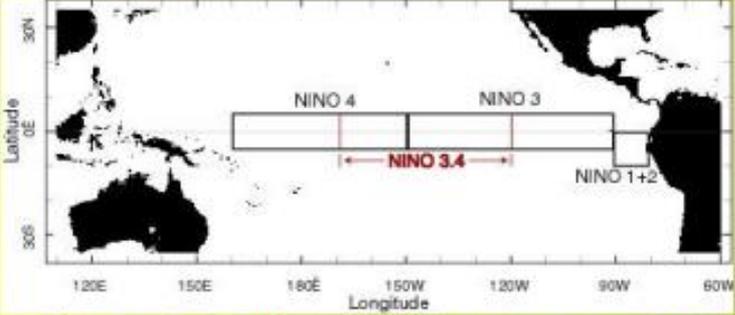
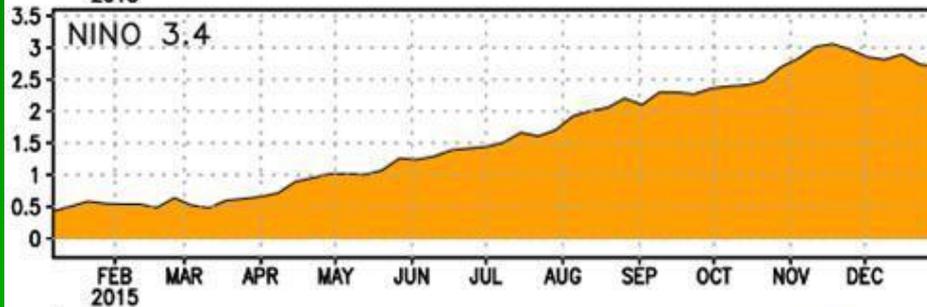
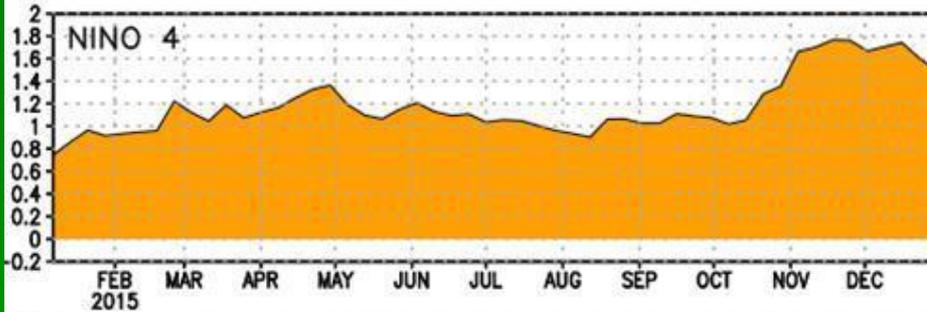


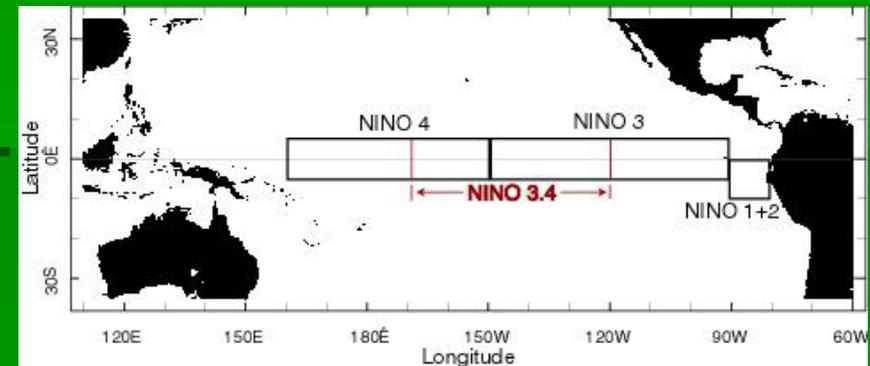
Figura 2: Regiones Niño - Fuente: IRI

SST Anomalies

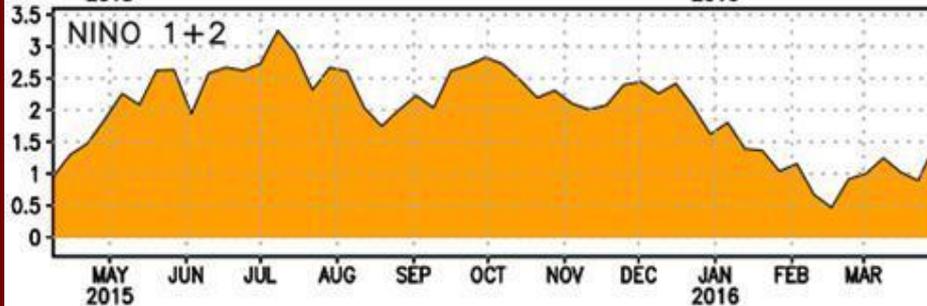
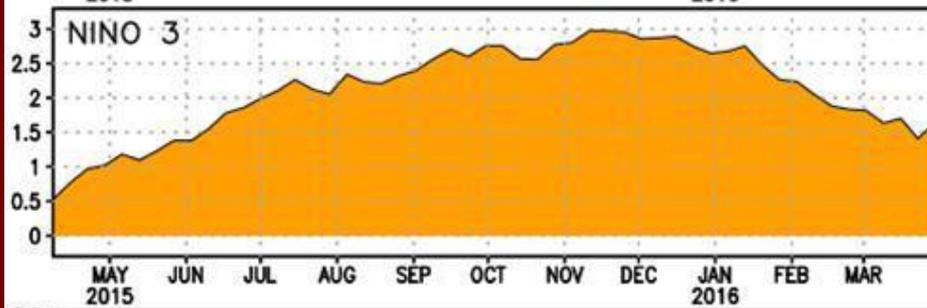
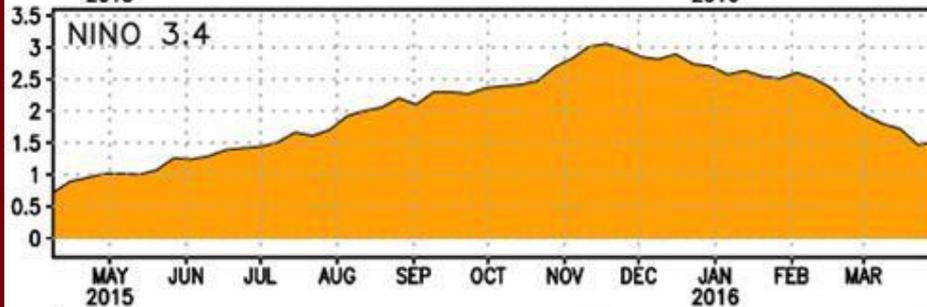
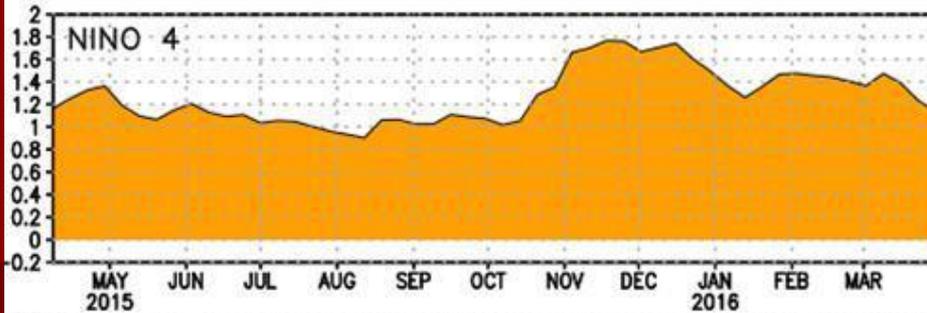


Evolución de la TSM por regiones

Niño 4	+1.5 °C
Niño 3.4	+2.7 °C
Niño 3	+2.6 °C
Niño 1+2	+1.6 °C

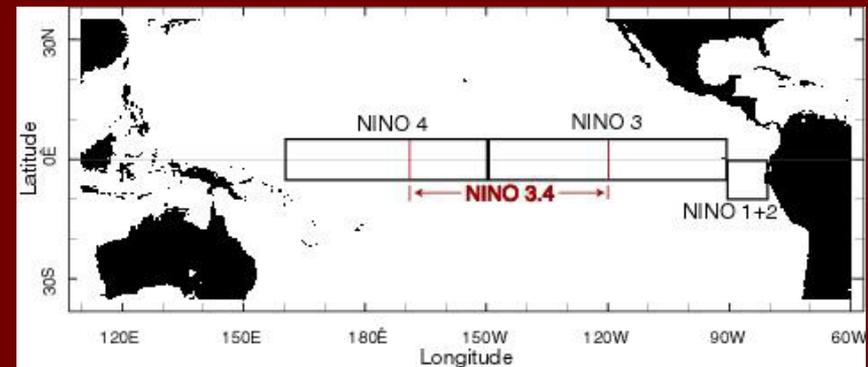


SST Anomalies



Evolución de la TSM por regiones

Niño 4	+1.1 °C
Niño 3.4	+1.5 °C
Niño 3	+1.6 °C
Niño 1+2	+1.5 °C

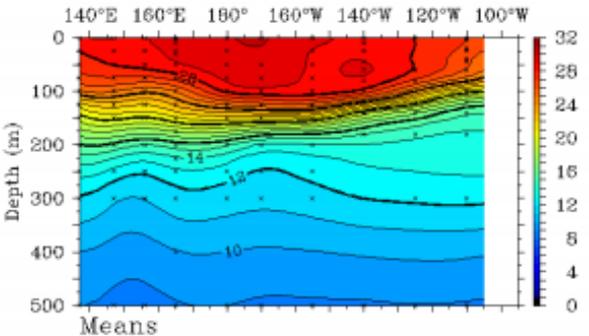


TSM subsuperficial

- Durante el mes de septiembre de 2015, en los niveles sub-superficiales del Pacífico ecuatorial se observaron anomalías positivas al este de la línea de fecha, con profundidades inferiores a 200 m.
- Dicho núcleo cálido se mantiene desde los meses previos alimentando el intenso calentamiento observado cerca de la costa sudamericana.
- Anomalías negativas se observan al oeste de 170°W, entre 150 y 250 m, aproximadamente.
- En el promedio que terminó el 28 de septiembre este núcleo cálido tenía anomalías superiores a +5°C y el núcleo frío tenía anomalías del orden de -2°C.

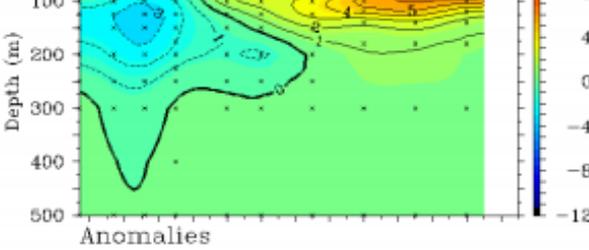
TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 8 2015 2°S to 2°N Average



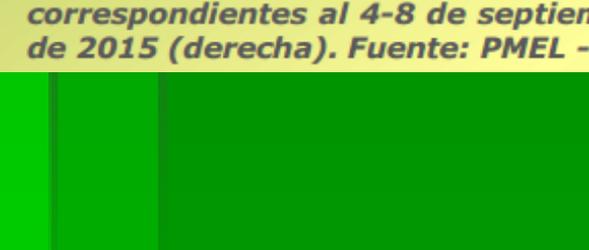
TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 18 2015 2°S to 2°N Average



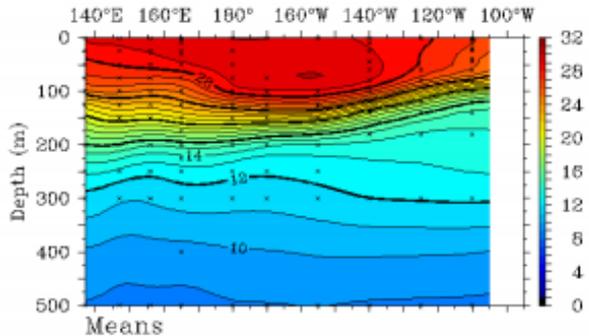
TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 28 2015 2°S to 2°N Average



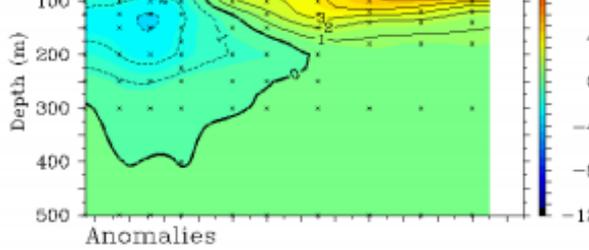
TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 8 2015 2°S to 2°N Average



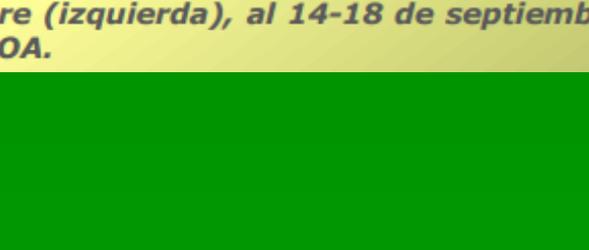
TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 18 2015 2°S to 2°N Average



TAO/TRITON 5-Day Mean Temperatures (°C)

Ending on September 28 2015 2°S to 2°N Average



NO Project Office/PMEL/NOAA Sep 30 2015

Figura 4 - Corte profundidad vs. Longitud de la TSM y sus anomalías, en el Pacífico ecuatorial, correspondientes al 4-8 de septiembre (izquierda), al 14-18 de septiembre (centro) y al 24-28 de septiembre de 2015 (derecha). Fuente: PMEL - NOAA.

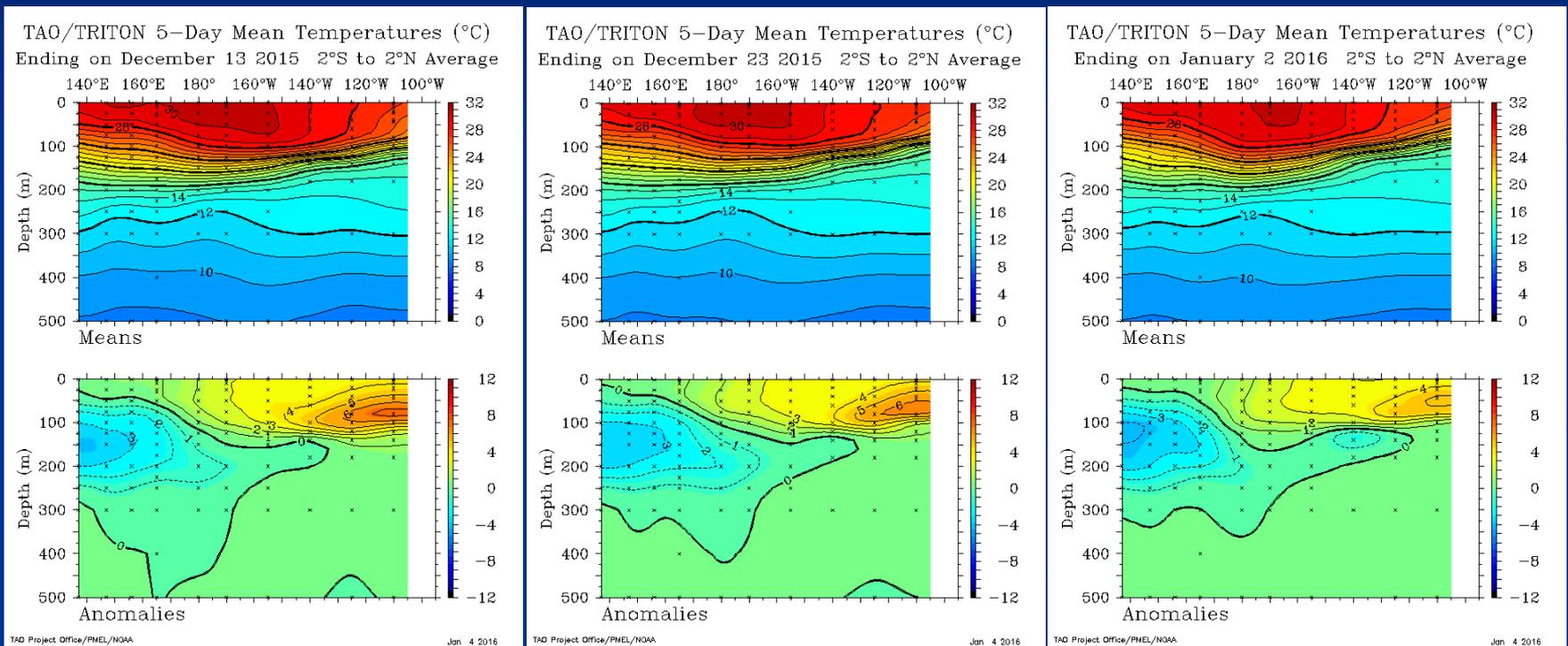


Figura 4 – Corte profundidad vs. Longitud de la TSM y sus anomalías, en el Pacífico ecuatorial, correspondientes al 9-13 de diciembre (izquierda), al 19-23 de diciembre (centro) y al 29 de diciembre de 2015-2 de enero de 2016 (derecha). Fuente: PMEL - NOA.

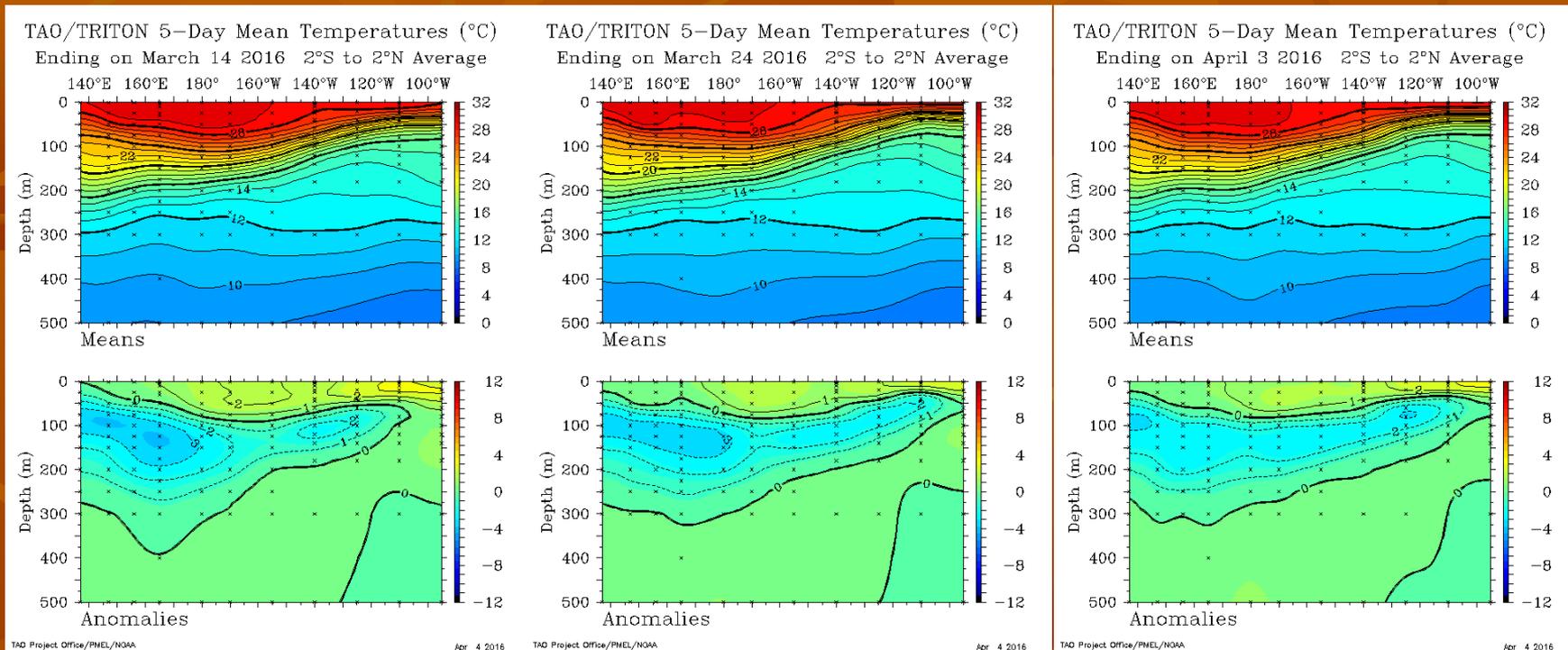
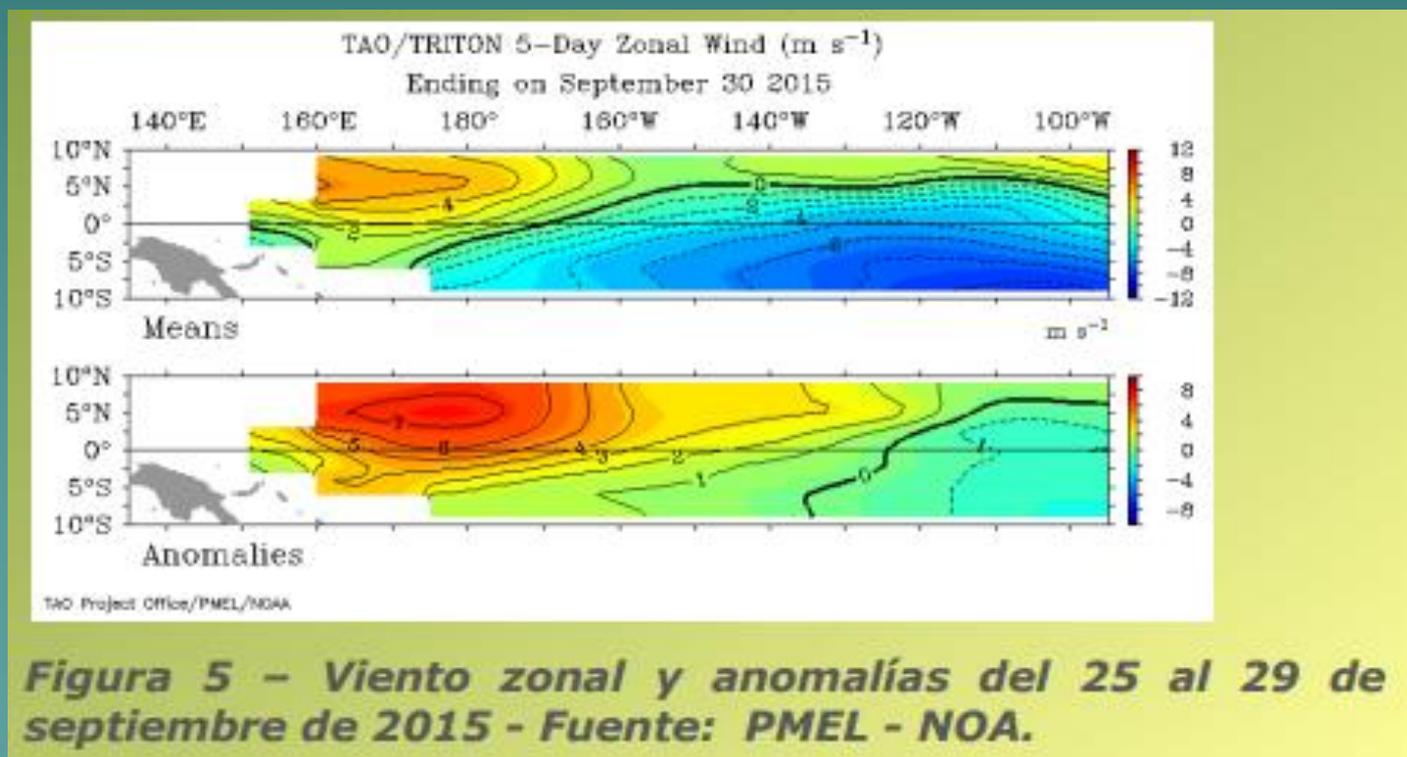


Figura 4 – Corte profundidad vs. Longitud de la TSM y sus anomalías, en el Pacífico ecuatorial, correspondientes al 10-14 de marzo de 2016 (izquierda), al 20-24 de marzo de 2016 (centro) y al 30 de marzo-3 de abril de 2016 (derecha). Fuente: PMEL - NOA.

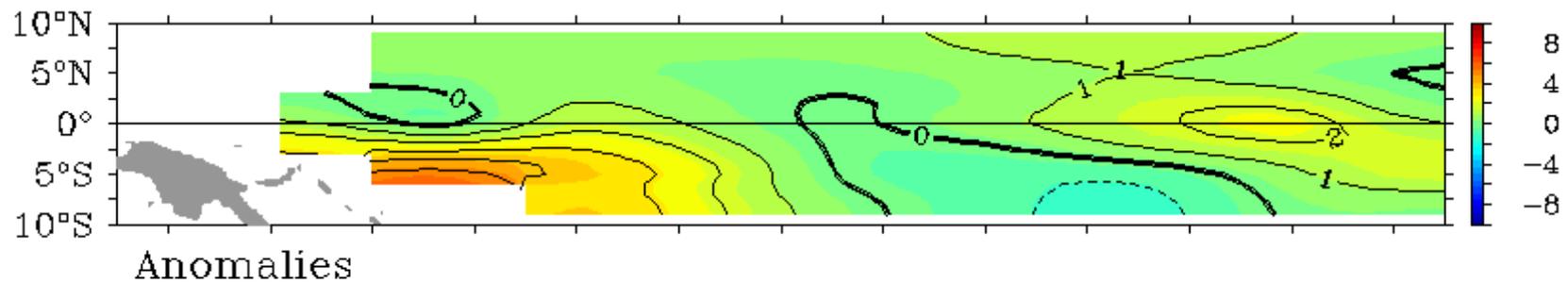
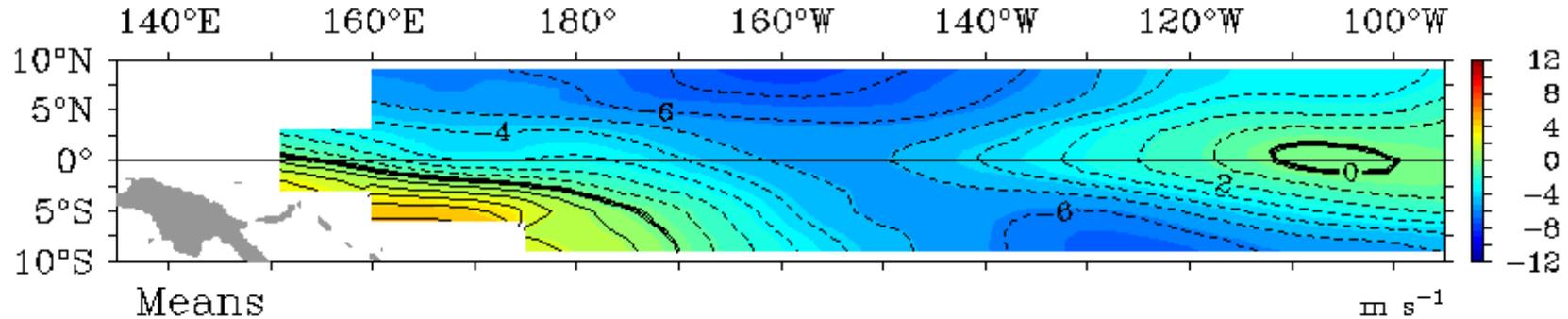
Vientos Alisos

- ◆ En el promedio mensual de septiembre los vientos alisios se encontraron debilitados al oeste de 160°W en el océano Pacífico ecuatorial, condiciones compatibles con un evento Niño. En el promedio de 5 días que termina el 30 de septiembre (Figura 5) se observa un campo de anomalías similar al mensual.



TAO/TRITON 5-Day Zonal Wind (m s^{-1})

Ending on April 3 2016



TAO Project Office/PMEL/NOAA

En el promedio mensual de marzo de 2016 los vientos alisios se encontraron debilitados entre 170°W y 160°E, en el océano Pacífico ecuatorial. En el promedio de 5 días que termina el 3 de abril se observa un campo con máximas anomalías positivas al oeste de 140°W y al sur del ecuador. También hay un máximo de anomalías positivas centradas en 110°W.

Convección

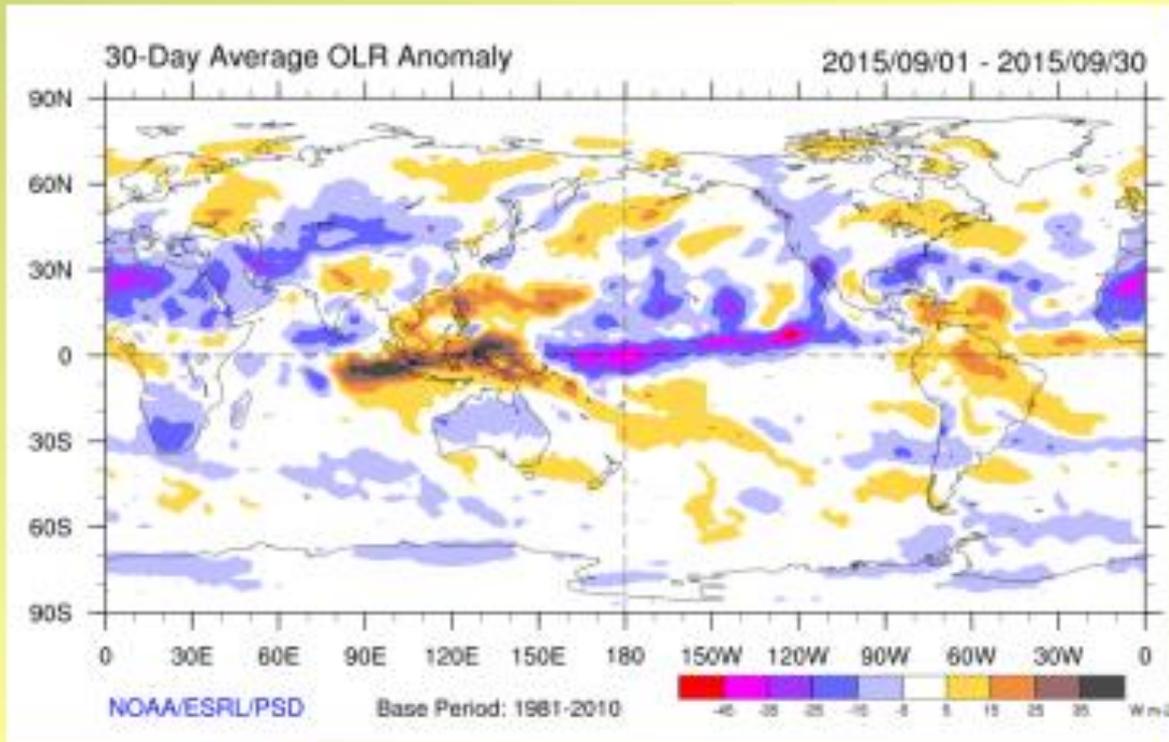
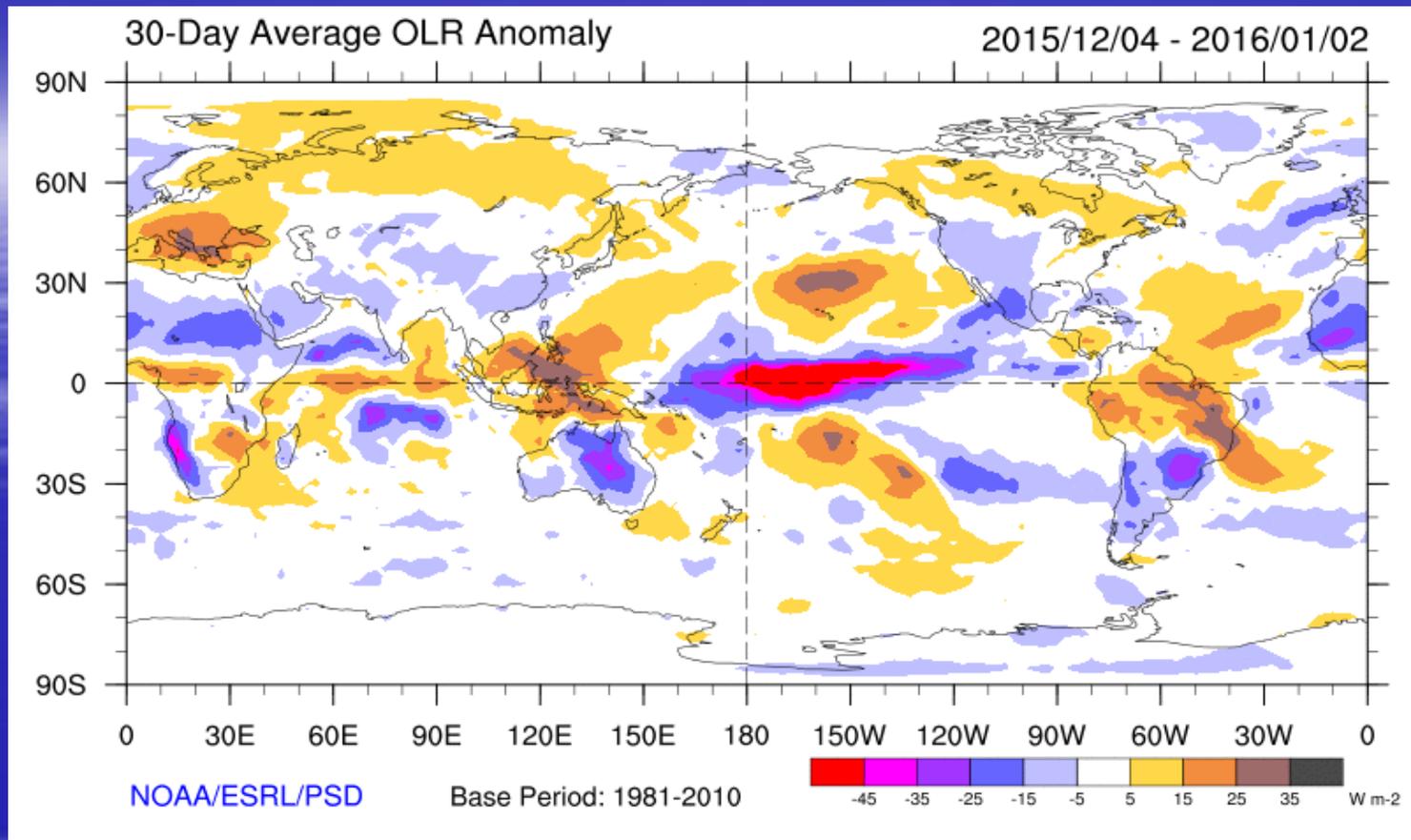


Figura 6 – Anomalías de radiación de onda larga saliente (OLR) del 1 al 30 de septiembre de 2015 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC

Durante el mes de septiembre de 2015, en promedio la actividad convectiva fue superior a la normal entre 120°W y 150°E.

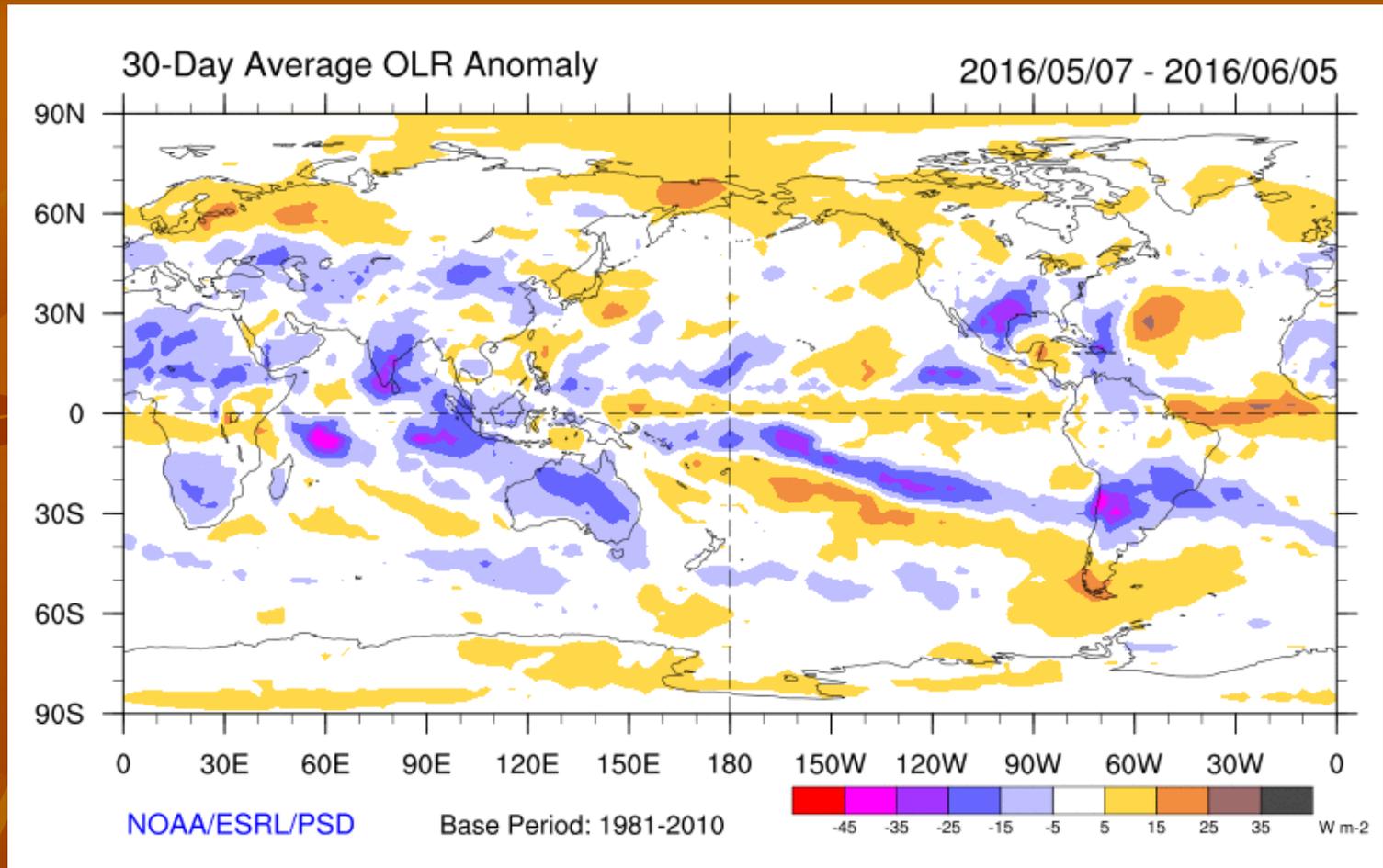
Por otro lado fue inferior a la normal en la región de Indonesia y norte de Australia.



Anomalías de radiación de onda larga saliente (OLR) del 4 de diciembre de 2015 al 2 de enero de 2016 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC

En Diciembre de 2015, en promedio la actividad convectiva fue superior a la normal entre 120°W y 170°E.

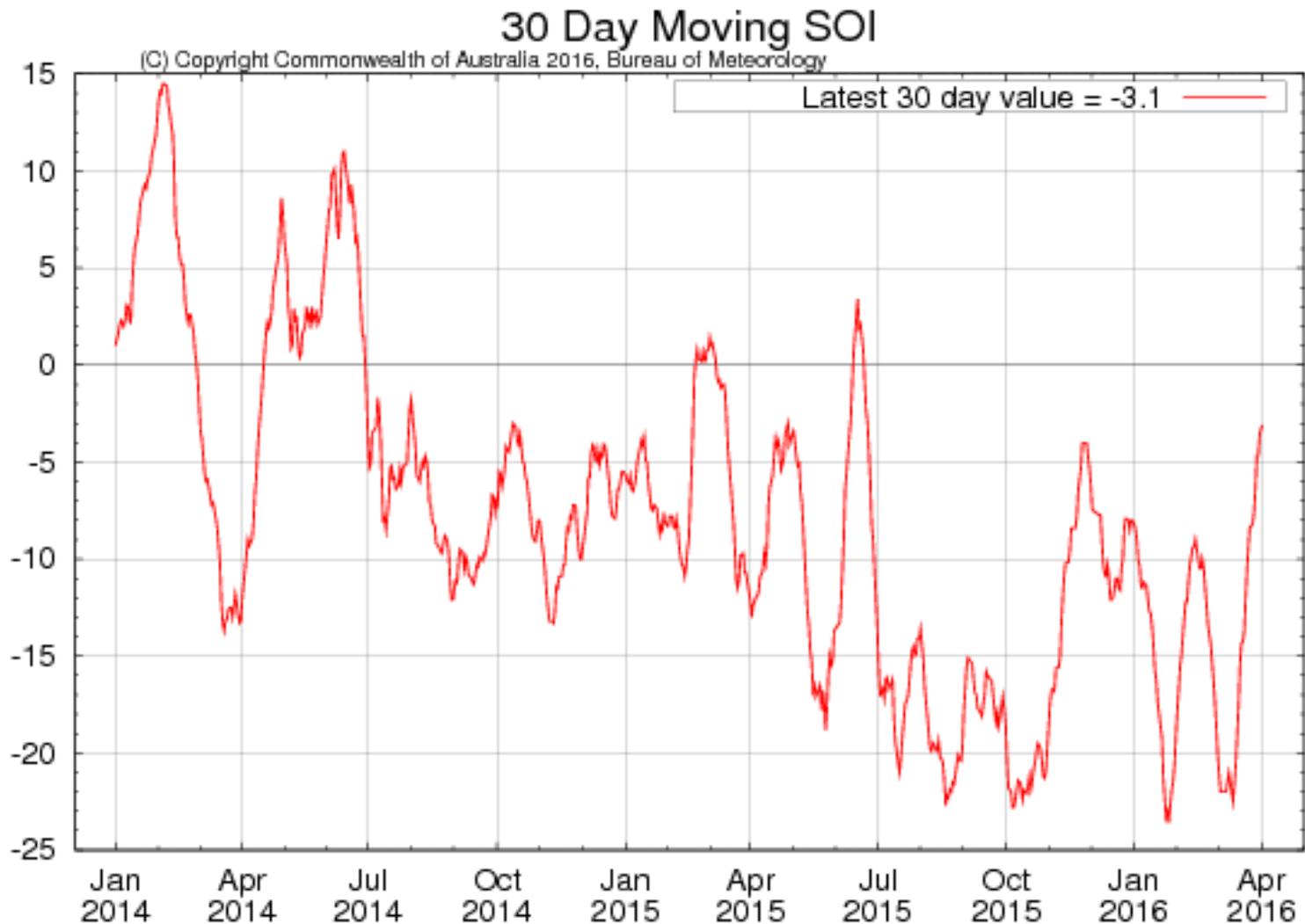
Además, fue inferior a la normal en la región de Indonesia y norte de Australia.



Anomalías de radiación de onda larga saliente (OLR) del 07 de mayo al 5 de junio de 2016 - Fuente: NOAA-CIRES/CDC

Durante el mes de mayo la actividad convectiva fue inferior a la normal entre 150°E y la costa Sudamericana y superior a la normal en la región de Indonesia y norte de Australia.

- ◆ **El IOS se mantuvo en valores negativos ininterrumpidamente desde julio de 2015, consistente con la fase Niño.**
- ◆ **Desde fines de mayo, retornó a valores positivos, quedando neutral.**
- ◆ **El promedio móvil que termina el 5 de junio quedó con un valor de +0.3.**
- ◆ **El índice de Oscilación del Sur (IOS) como promedio mensual se mantenía en valores negativos desde marzo de 2015.**
- ◆ **En mayo 2016 se debilitó y aumentó abruptamente, quedando el promedio para dicho mes en +2.8.**



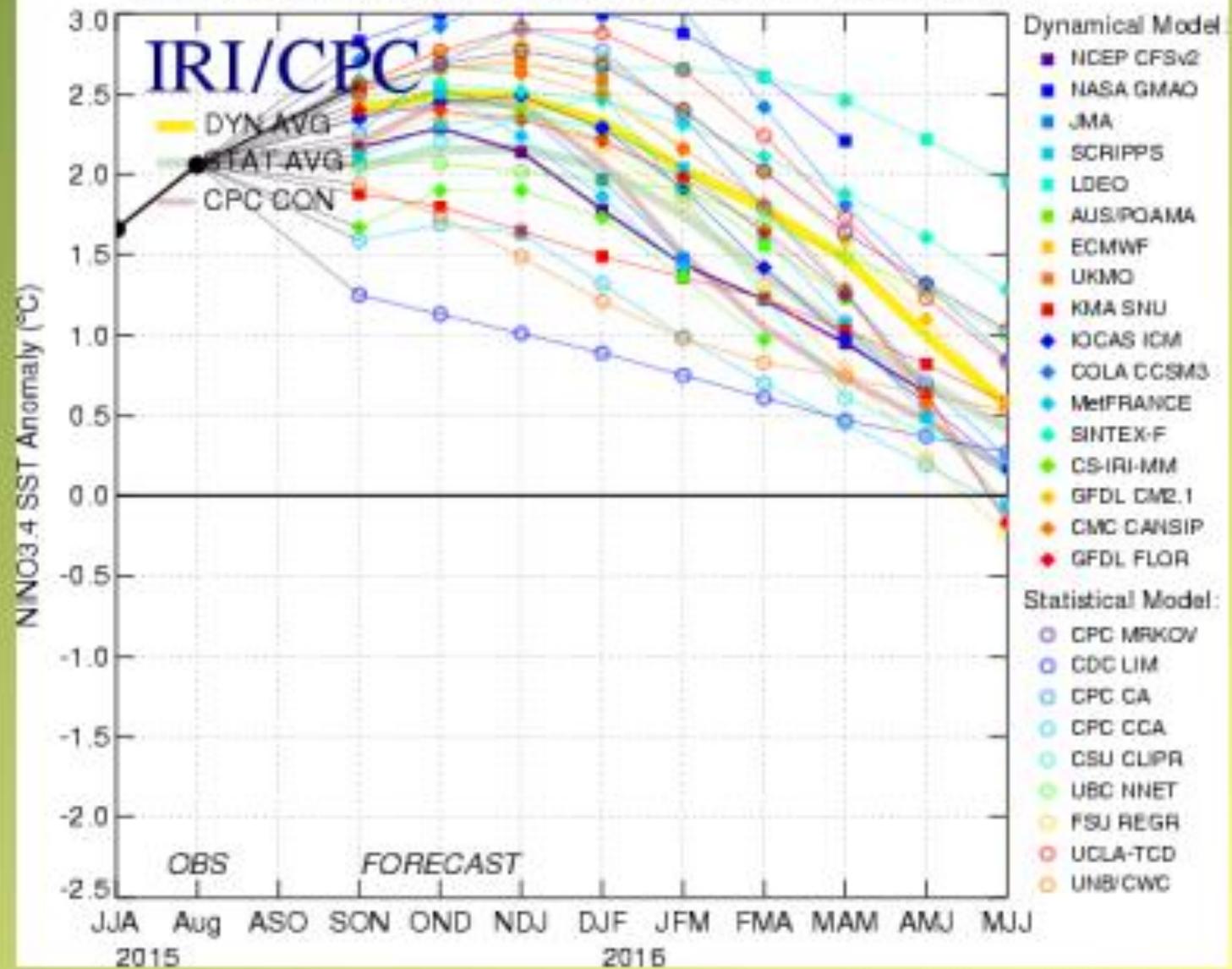
Índice de oscilación del sur: promedio móvil de 30 días

Fuente: Bureau of Meteorology (BOM) y Servicio Meteorológico Nacional

PREDICCIONES en 2015

- Los pronósticos computacionales en la región Niño 3.4 previeron anomalías de TSM superiores a las normales en el trimestre octubre – noviembre - diciembre 2015 (OND).
- El valor promedio de todos los modelos fue de $+2.4^{\circ}\text{C}$, lo cual correspondía a un Niño intenso.
- A más largo plazo dichas anomalías aumentaron manteniendo el pronóstico de Niño por lo menos hasta el verano.
- Expresado en valores probabilísticos, existía una probabilidad del 100% de que las condiciones sean de Niño durante el trimestre OND 2015.
- A más largo plazo las probabilidades de Niño se mantienen altas, aumentando su intensidad hacia fines de la primavera/principios de verano.

Mid-Sep 2015 Plume of Model ENSO Predictions

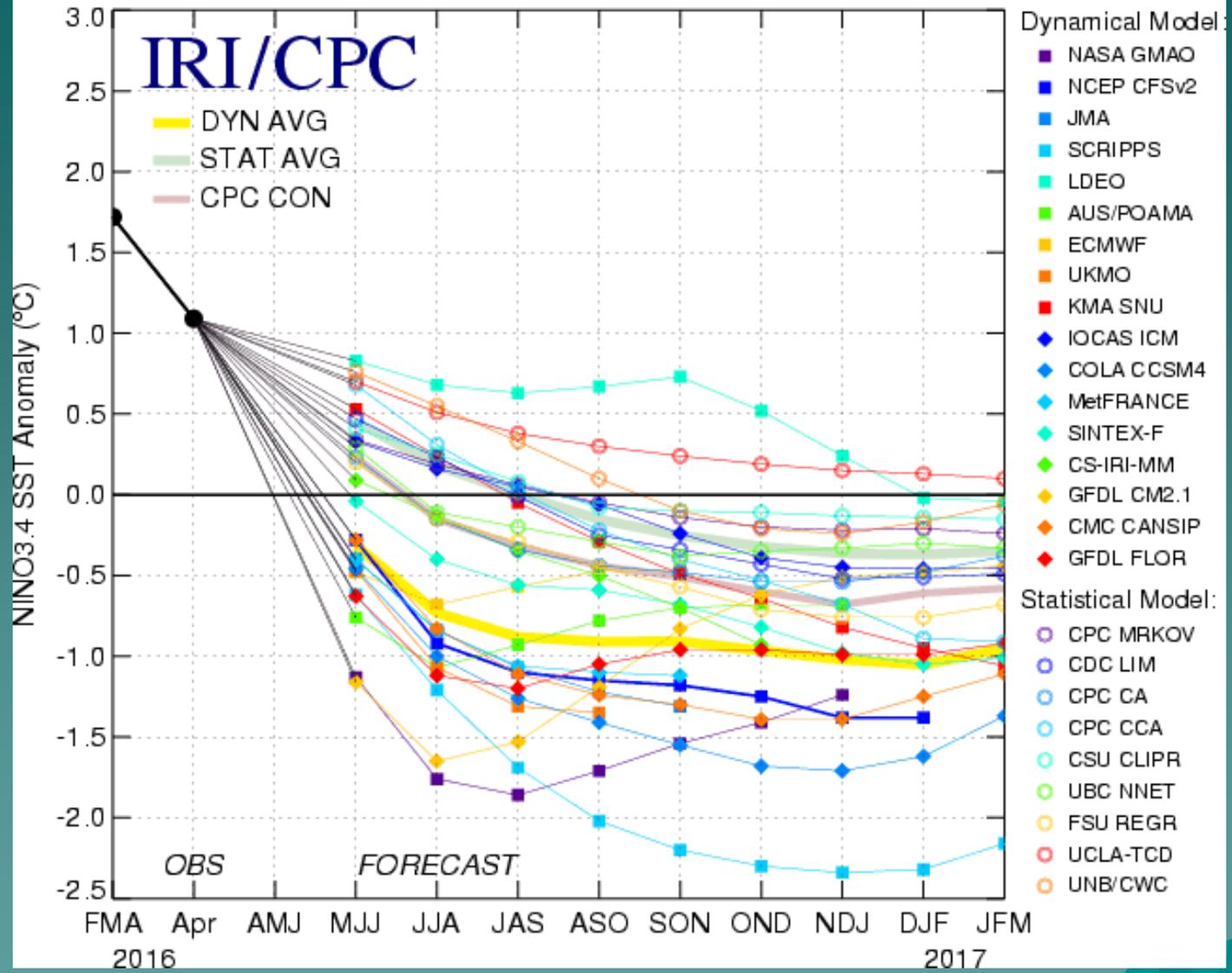


FUENTES: CPC- NOAA – EE.UU., Bureau of Meteorology - Australia - IRI

Predicciones en 2016

- ◆ Los pronósticos computacionales en la región Niño 3.4 prevén anomalías cercanas a las normales ($\pm 0,5$ °C) en el trimestre junio-julio-agosto 2016.
- ◆ El valor promedio de todos los modelos es de -0.4°C , lo cual corresponde a condiciones neutrales.
- ◆ A más largo plazo dichas anomalías disminuyen con amplia dispersión entre modelos.
- ◆ En promedio indican anomalías negativas para los futuros trimestres.
- ◆ Expresado en valores probabilísticos, existe una probabilidad del 54% de que las condiciones sean neutrales durante el trimestre invernal JJA 2016.

Mid-May 2016 Plume of Model ENSO Predictions



FUENTES: CPC- NOAA – EE.UU., Bureau of Meteorology - Australia - IRI





Sea Surface Temperatures in the Equatorial Pacific Ocean

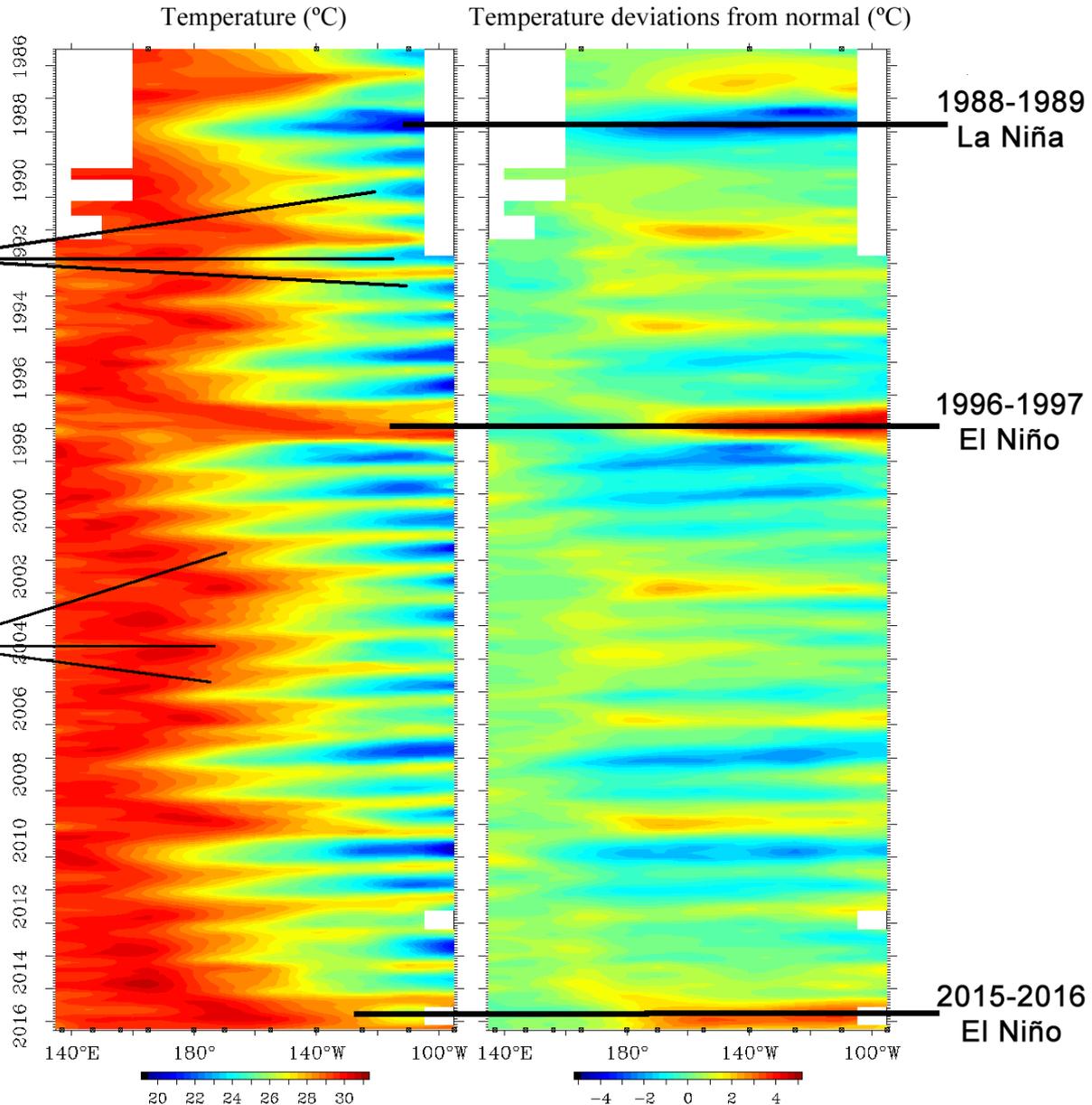
Monthly Mean SST 2°S to 2°N

Blue scallops indicate the seasonal cooling typically seen in the the Eastern Pacific in a region called the "cold tongue".

The larger blue scallops indicate La Niña.

Red colors on the left indicate the "warm pool" typically seen in the western Pacific Ocean.

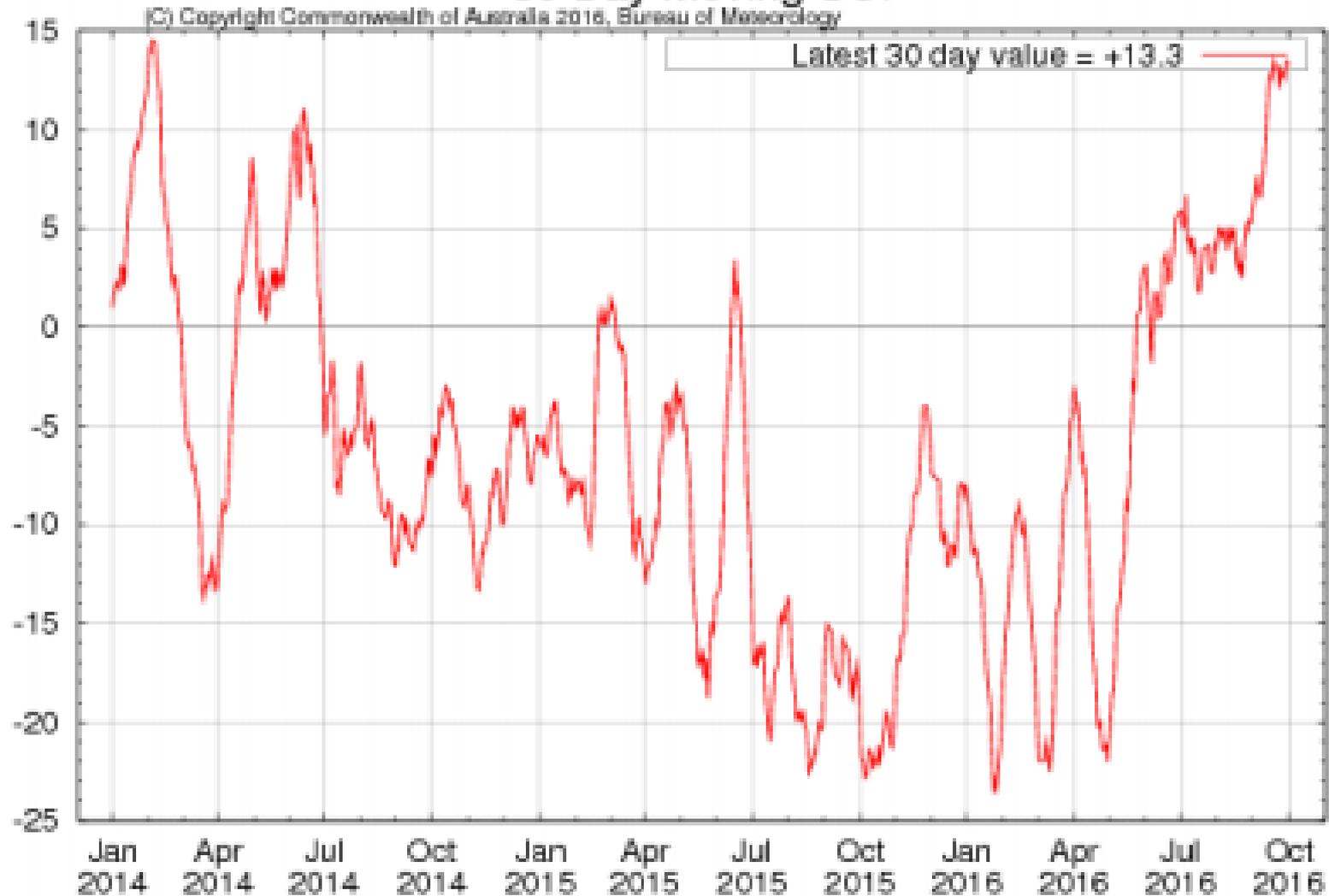
El Niño is characterized by an eastward expansion of the warm pool.



Situación Actual en Noviembre de 2016

- Las condiciones actuales se corresponden con las de una fase neutral.
- La temperatura de la superficie del mar se mantuvo más fría que lo normal en el océano Pacífico ecuatorial este, pero disminuyó su intensidad respecto de los meses previos.
- El Índice de Oscilación del Sur tuvo un aumento abrupto, indicando un posible acoplamiento de la atmósfera en respuesta al enfriamiento mencionado.
- Si bien existen probabilidades de que se desarrolle una Niña durante el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre, las mismas son apenas superiores al 50%.

30 Day Moving SOI

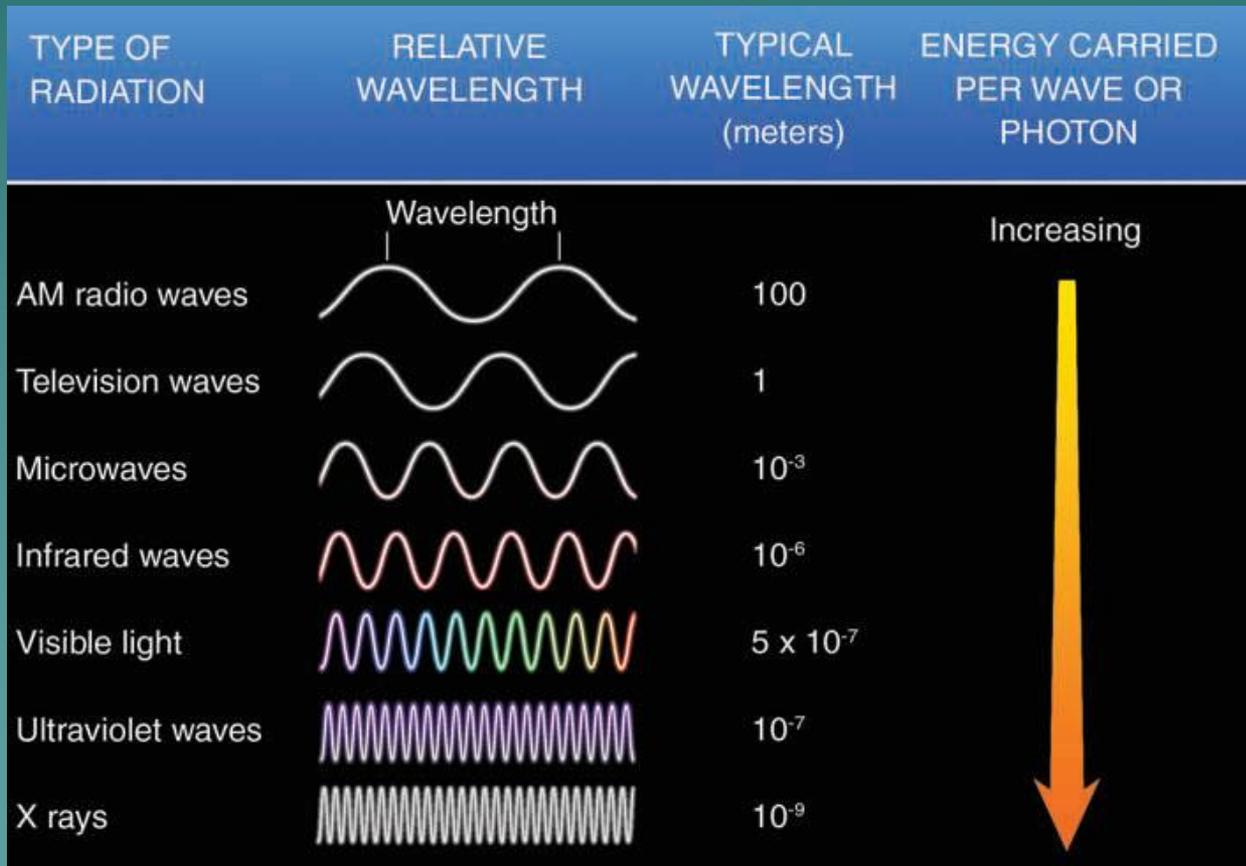


Índice de oscilación del sur: promedio móvil de 30 días (izquierda) y promedio mensual (derecha) - Fuente: Bureau of Meteorology (BOM) .

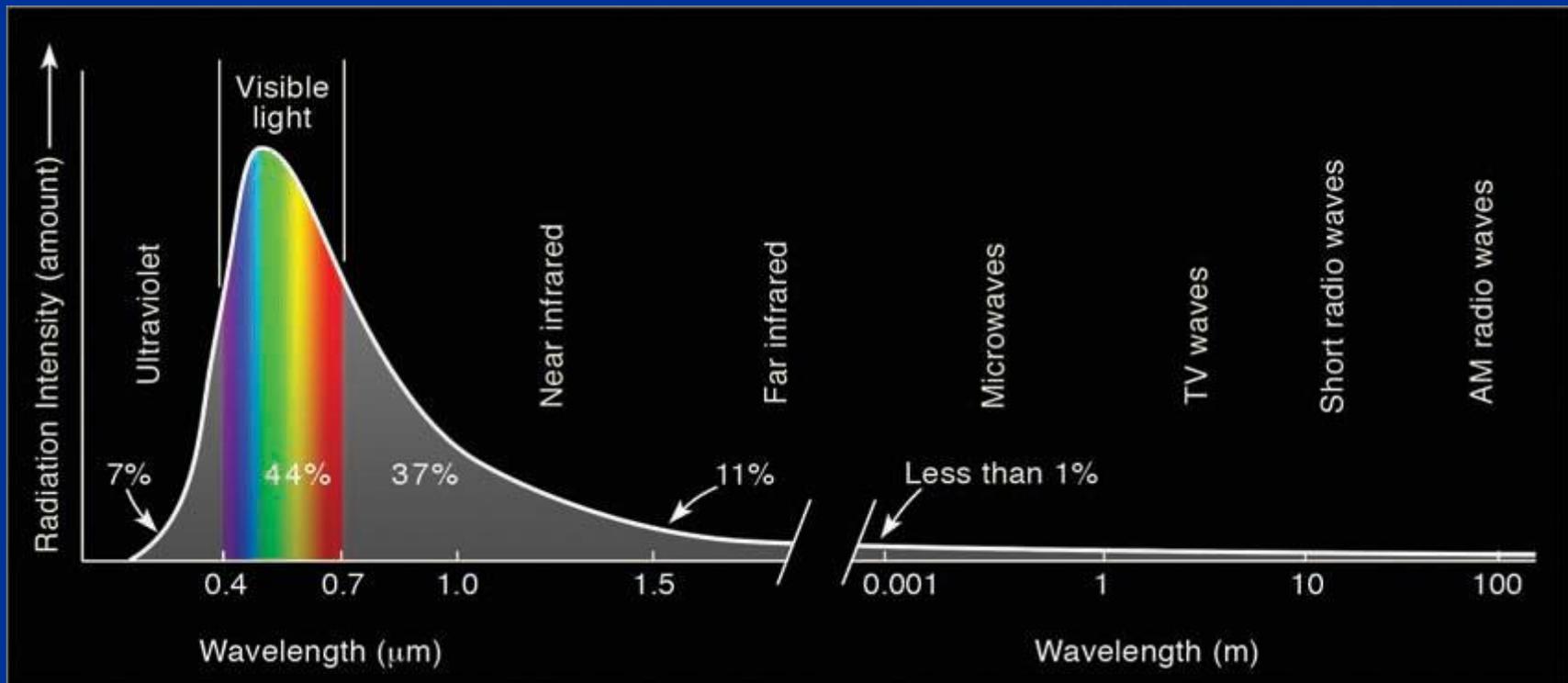
- En caso de que se desarrolle una fase fría, y de acuerdo a los modelos dinámicos y estadísticos, se espera que dicha fase sea débil.
- Los modelos numéricos, prevén en promedio un enfriamiento de -0.5 para el trimestre Octubre-
Noviembre-Diciembre, que se mantendría hasta
Diciembre 2016-Enero-Febrero 2017.

Radiación

- ◆ Puede ser definida como la emisión, propagación y absorción de la energía en forma de ondas electromagnéticas.
- ◆ El conjunto de todos los tipos de ondas electromagnéticas que existen forman lo que se denomina *“Espectro Electromagnético”*



- El proceso de radiación se diferencia de las otras formas de energía, como convección y conducción, por el hecho de que, a diferencia de estas, no necesita un medio de transmisión, ya sea sólido, líquido o gaseoso, mientras ya que la radiación se puede presentar además en el vacío.
- La radiación que llega del sol a la tierra es la fuente principal de energía para la generación de los fenómenos en la atmósfera, en los océanos y, en general, para la vida en la Tierra.



- La atmósfera tiene un papel muy importante en el mantenimiento del balance entre la radiación solar que entra al sistema terrestre y la radiación que sale de la tierra, manteniendo un promedio global de temperatura superficial del orden de 15°C.
- Si la Tierra no tuviera una atmósfera para absorber y distribuir la energía que llega del sol, entonces gran parte de esa energía solar sería reflejada inmediatamente y la temperatura media sobre la superficie terrestre estaría muy por debajo de los 0°C.
- Las diferencias, en tiempo y espacio, del campo de radiación (solar y terrestre) y las características de la superficie terrestre originan lo que se conoce como el **clima**.
- Aunado a esto, los distintos procesos dinámicos y termodinámicos entre la atmósfera, el océano y la tierra, finalmente darán origen a lo que se conoce como el estado del **tiempo meteorológico**.
- Conforme el espectro total de radiación solar (ultravioleta, UV, visible e infrarrojo, IR) penetra la atmósfera, se va modificando, de tal manera que gran parte de la radiación UV e IR son absorbidas, mientras que principalmente es la radiación visible la que llega a la superficie terrestre.

EL OZONO TROPOSFÉRICO

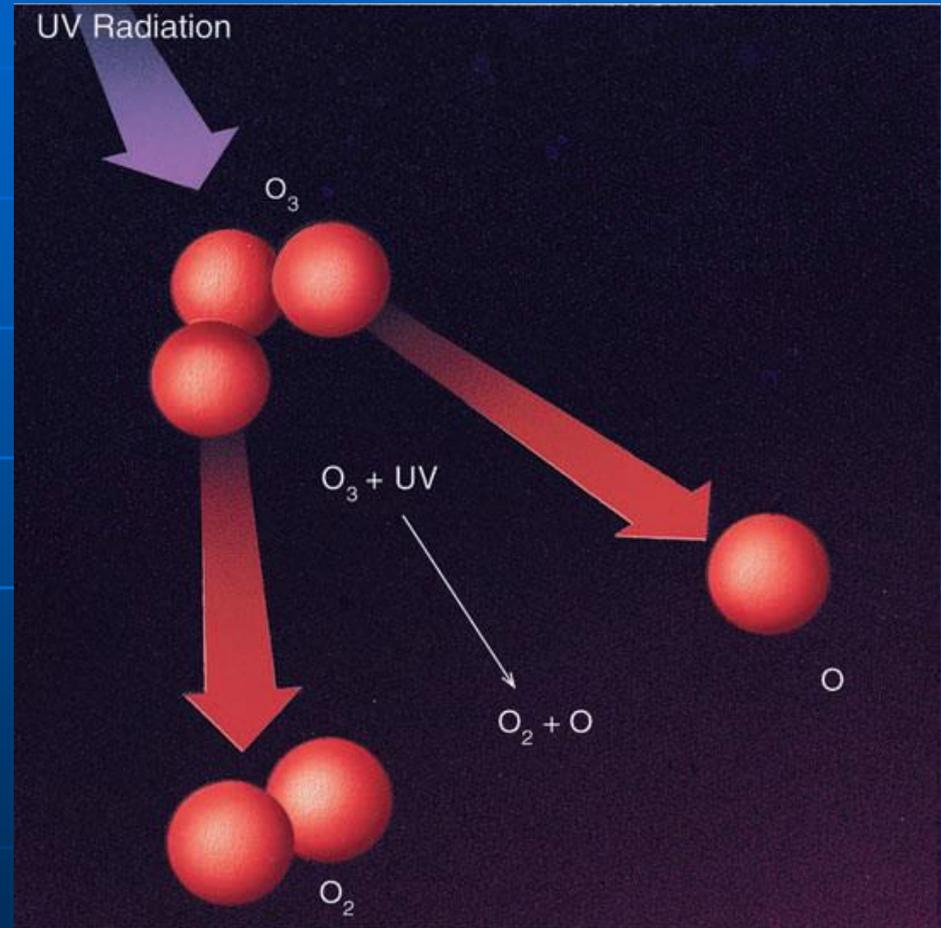
- **El Ozono existe tanto en la troposfera como en la estratosfera, en proporciones altamente variables en el tiempo y el espacio.**
- **Es un gas que se encuentra en la atmósfera que rodea a la Tierra, cuya molécula está constituida por tres átomos de oxígeno (O_3).**
- **La mayor parte de este gas se encuentra en la estratósfera baja a una altura entre los 18 y 28 Km de altura, con una densidad mayor a los 24 Km.**
- **Su función es absorber parte de la radiación ultravioleta que es dañina para los seres vivos. Esta absorción de la energía produce un aumento de la temperatura en la zona de la estratósfera durante este proceso.**

- En la troposfera se genera por reacciones fotoquímicas entre el oxígeno del aire y otras moléculas presentes, generalmente provenientes de la combustión de hidrocarburos.
- También se forma durante las tormentas eléctricas.
- En la estratosfera el ozono se forma por acción de la radiación ultravioleta que disocia las moléculas de oxígeno molecular (O_2) en dos átomos, los cuales son altamente reactivos, pudiendo reaccionar estos con otra molécula de O_2 formándose el ozono.



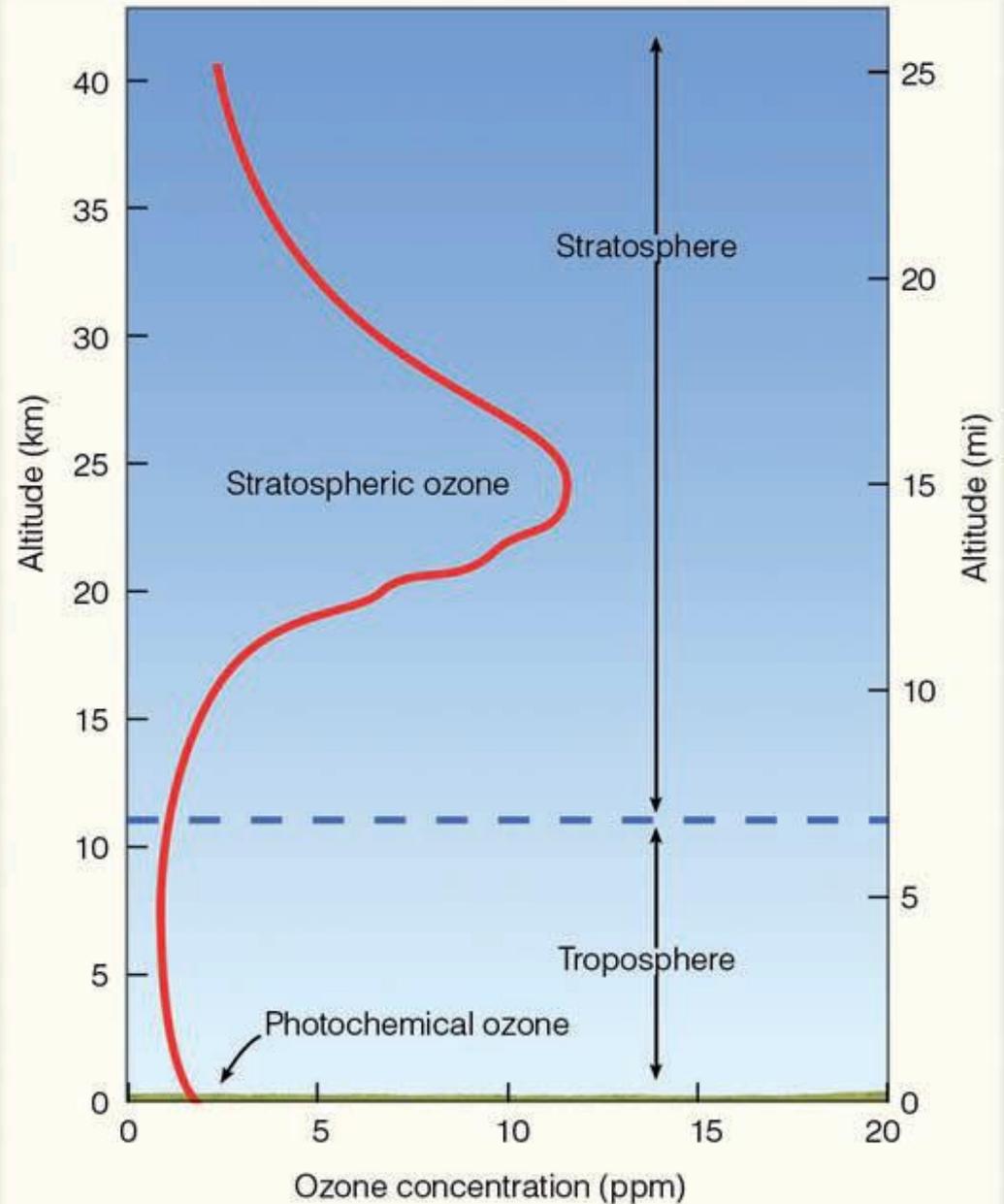
EL ROL DEL OZONO EN LA ATMOSFERA

- Cerca de superficie, el Ozono es un contaminante nocivo de gran reactividad química (oxidante), por lo cual no permanece demasiado tiempo como tal.
- El ozono existente en la estratósfera es un fuerte absorbente de radiación solar, especialmente en las longitudes de onda correspondientes al Ultra Violeta (UV).
- Esto es de suma importancia, pues de otra forma, esa radiación ultravioleta sería extremadamente dañina para los sistemas biológicos.



- Esta absorción de la radiación solar de onda corta por el ozono, es también responsable de la relativamente alta temperatura estratosférica donde, a alturas de alrededor de los 50 km. oscila entre -20 y $+10^{\circ}$.

- La mayor parte del ozono estratosférico se halla entre los 20 y los 50 km de altura, con su máxima concentración alrededor de los 25 km. Esto conforma la denominada **CAPA DE OZONO**.



Destrucción natural del ozono

- ▶ En las reacciones de destrucción del ozono, las moléculas de ozono absorben radiación ultravioleta menor a 0,320 μm ; rompiéndose en moléculas de oxígeno más átomos de oxígeno libres.



- ▶ Los átomos de oxígeno libres reaccionan con más moléculas de ozono formándose oxígeno molecular.



- ▶ En esta última reacción, puede ser perturbada debido a la presencia de sustancias como los óxidos de nitrógeno (NO_x), el hidrógeno con sus óxidos (H, OH y HO_2) y el cloro con sus óxidos (Cl, ClO y ClO_2) actúan como catalizadores acelerando la destrucción del ozono.
- ▶ En la década de los '70 los científicos Frank Sherwood Rowland y Mario Molina descubrieron una importante disminución en la concentración del Ozono sobre el continente antártico, especialmente en la primavera.

- Tiene relación con los gases Cloro fluorocarbonados, producto de las actividades humanas
- Los CFC se descomponen con la radiación UV y liberan átomos de Cloro (Cl).



- El Cloro reacciona con el Ozono liberando Oxígeno molecular y monóxido de Cloro.

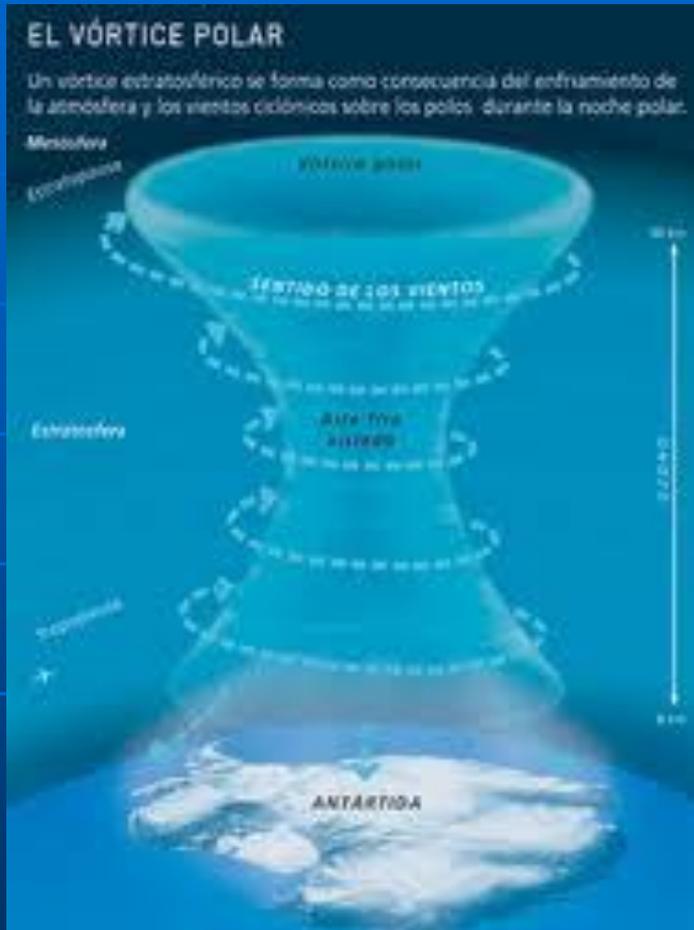


- Los átomos de Cloro (Cl) producidos en el segundo paso se reciclan destruyendo nuevas moléculas de Ozono.
- Existen otras sustancias como el Cloruro de hidrógeno (HCl) y el Óxido nitroso (N_2O) que también actúan destruyendo Ozono.

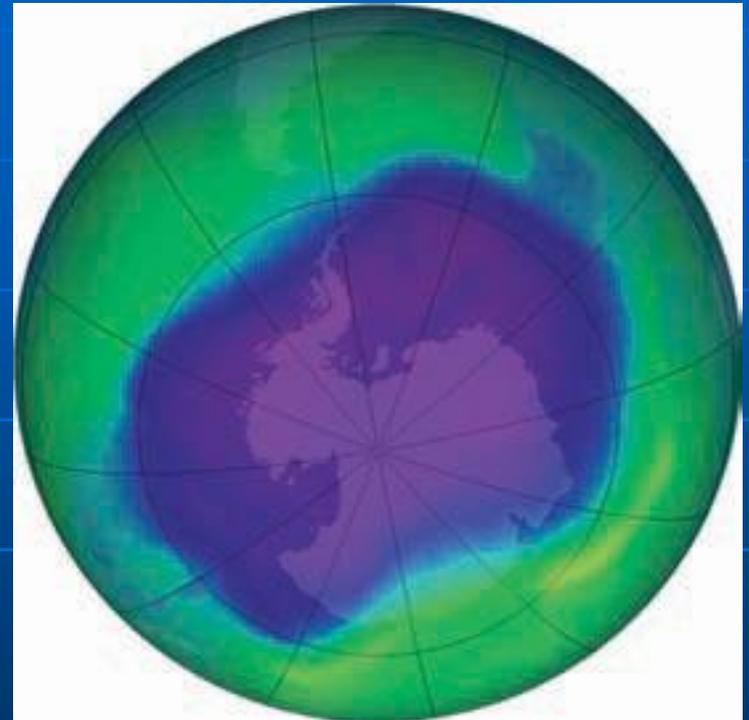
EL AGUJERO DE OZONO EN LA ANTÁRTIDA

- La Antártida es una de las zonas con mayor concentración de Ozono estratosférico en el mundo.
- La mayor parte de ese Ozono se genera en las regiones ecuatoriales y tropicales y es llevado a la Antártida por los vientos estratosféricos.
- Entre los meses de septiembre y octubre se forma alrededor del continente (alrededor de los 66° de latitud) un “cinturón” de vientos denominado ***Vórtice Polar*** aislando al continente del cálido aire proveniente de latitudes menores.

- Durante el largo y frío invierno polar las temperaturas pueden bajar de los $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se forman en la estratosfera nubes de hielo (nubes polares estratosféricas) cuyas partículas catalizan la acción de las sustancias destructoras del Ozono.
- Si bien cada invierno ocurriría una disminución en la concentración del Ozono antártico, este tendería a recuperarse en el verano, pero el aumento del Cloro en la estratosfera profundiza este efecto destructivo.
- El vórtice polar dificulta la reposición de Ozono perdido en el invierno, el cual no alcanza a recuperarse.



Representación del vórtice polar antártico



Modelización de la depresión en la capa de Ozono antártico para el 29 de septiembre de 2006. Fuente: NASA

- **El tiempo de vida promedio de las moléculas de CFCs es de entre 50 y 100 años, por lo que aunque hayan disminuido las emisiones de estos gases, lo que aún está presente tendrá efectos a largo plazo.**
- **Además los CFCs actúan también como gases de invernadero**
- **El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) desarrolló el Protocolo de Montreal, relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono**

- El protocolo entró en vigencia a partir del 14 de junio de 1998
- Se identificaron las principales sustancias que la afectan y se establecieron programas para sus reducciones, hasta su eventual eliminación.
- Desde el 1º de Julio de 1999, en el marco del Protocolo, los países en desarrollo iniciaron la eliminación gradual obligatoria del consumo y producción de clorofluorocarbonos (CFCs)
- A partir del 1º de Enero del 2002 dichos países detuvieron el consumo de “halones” y bromuro de metilo.

(Los halones tienen una estructura similar a los CFCs pero con átomos de Bromo en lugar de Cloro)

Evolución de la concentración de cloro en la estratosfera

Anualmente se monitorea la evolución de la capa de ozono, para ello se realizan mediciones de control y comparación en distintos lugares.



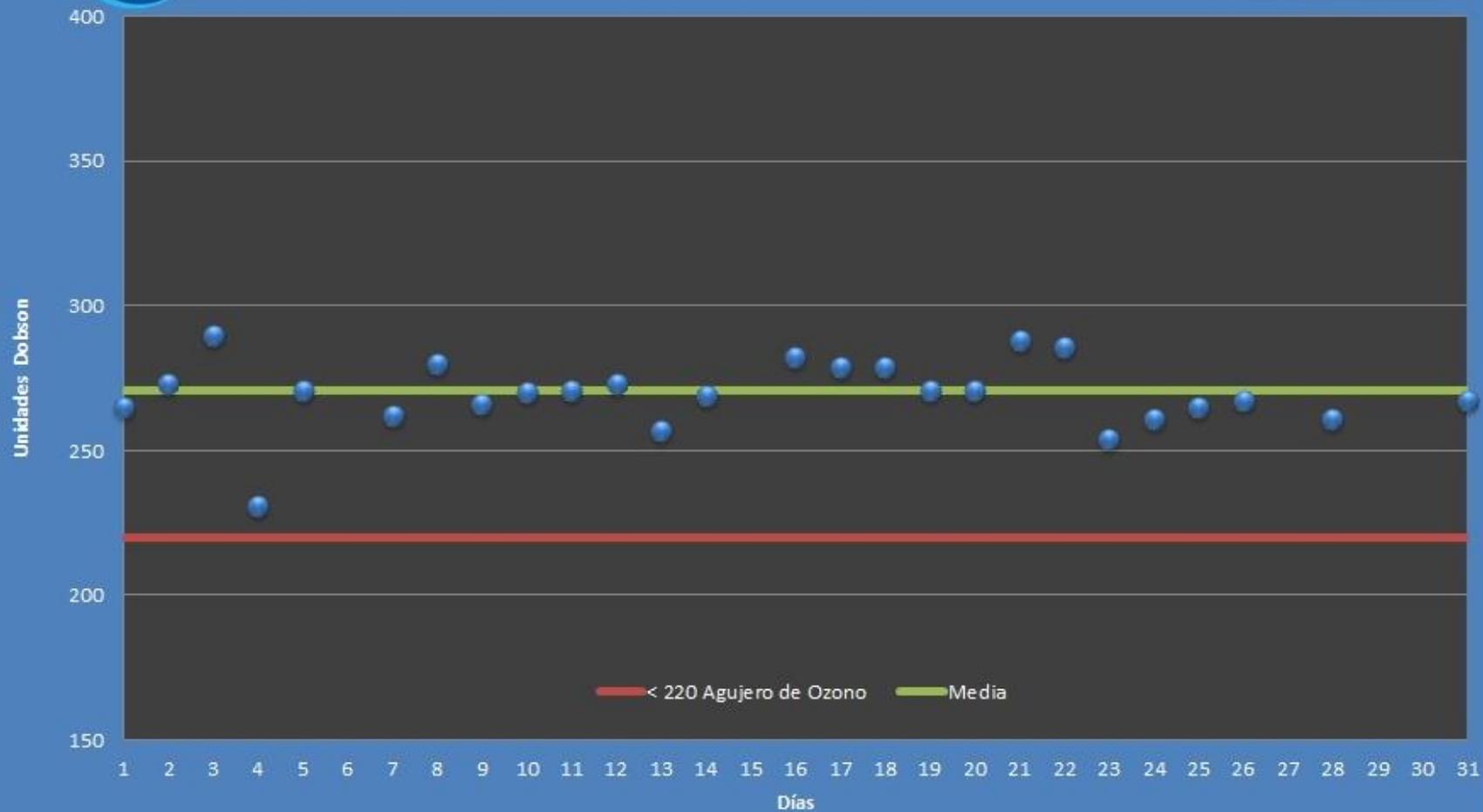
Unidades de medida

- La cantidad de ozono presente en la estratósfera se mide en Unidades Dobson (UD).
- Se define 1 UD como 0,01mm de espesor de una capa ozono en condiciones normales de presión y de temperatura (1 atm y 0 °C respectivamente).
- Así por ejemplo, si decimos 300 UD es equivalente a 3mm de espesor de la capa de ozono.
- Una cantidad de ozono total de 220 Unidades Dobson (UD) se lo considera el umbral mínimo de lo normal, valores por debajo de dicho límite se los considera que estamos en presencia de un adelgazamiento extremo de la capa de ozono, fenómeno que se lo conoce como “agujero de ozono”.

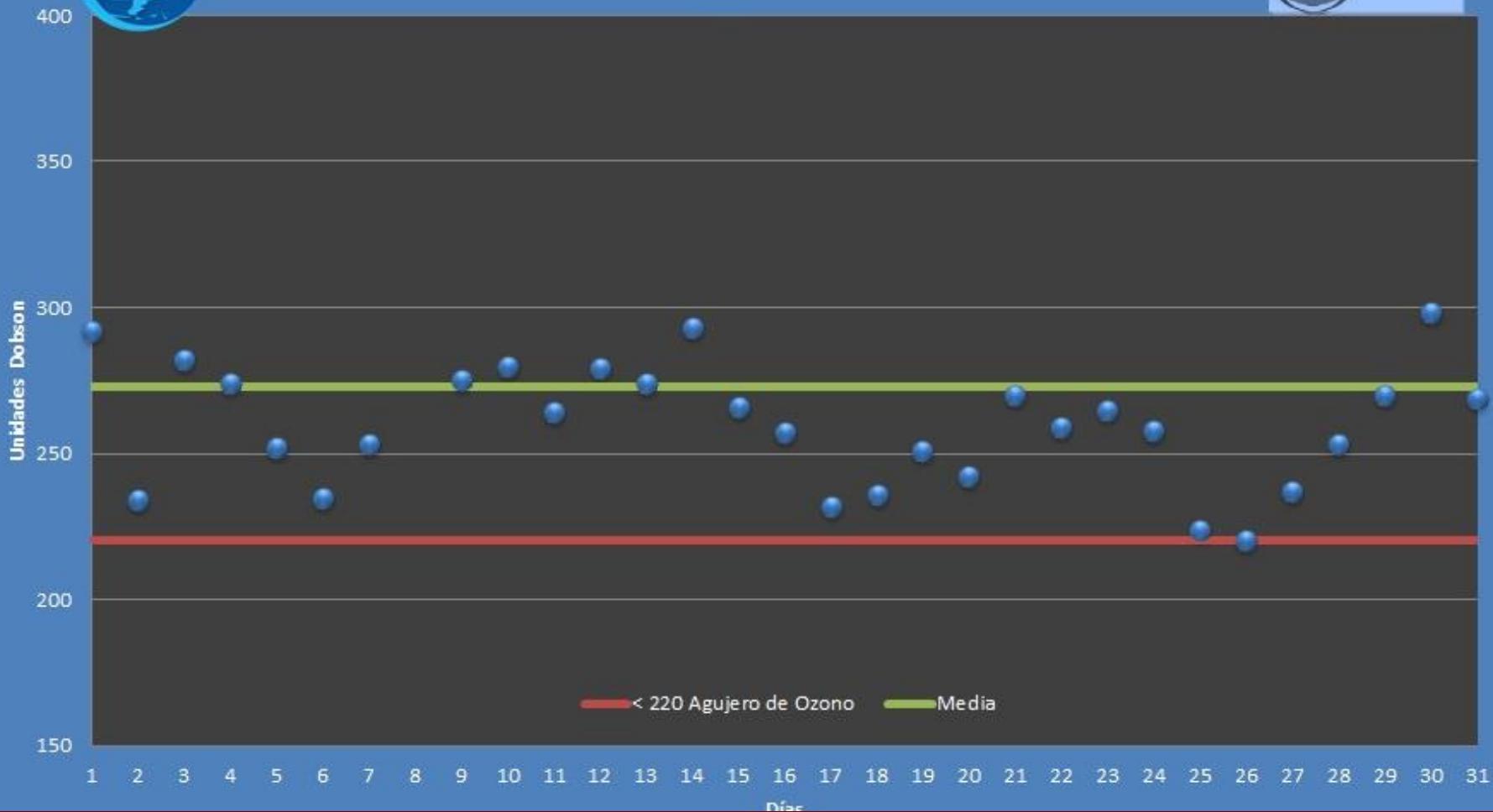
Red de medición en Argentina

- En la Argentina, El Servicio Meteorológico Nacional cuenta con cuatro puntos de medición de ozono total, a saber:
 - 1. Observatorio Central de Buenos Aires (Centro Regional de Calibración).
 - 2. Estación Comodoro Rivadavia.
 - 3. Estación VAG Ushuaia.
 - 4. Base Antártica Marambio.
- La medición se realiza con el Espectrofotómetro Dobson en las cuatro estaciones y se contribuye con ozonosondeos en Ushuaia y Marambio.

Ozono Total - Buenos Aires Mayo 2016

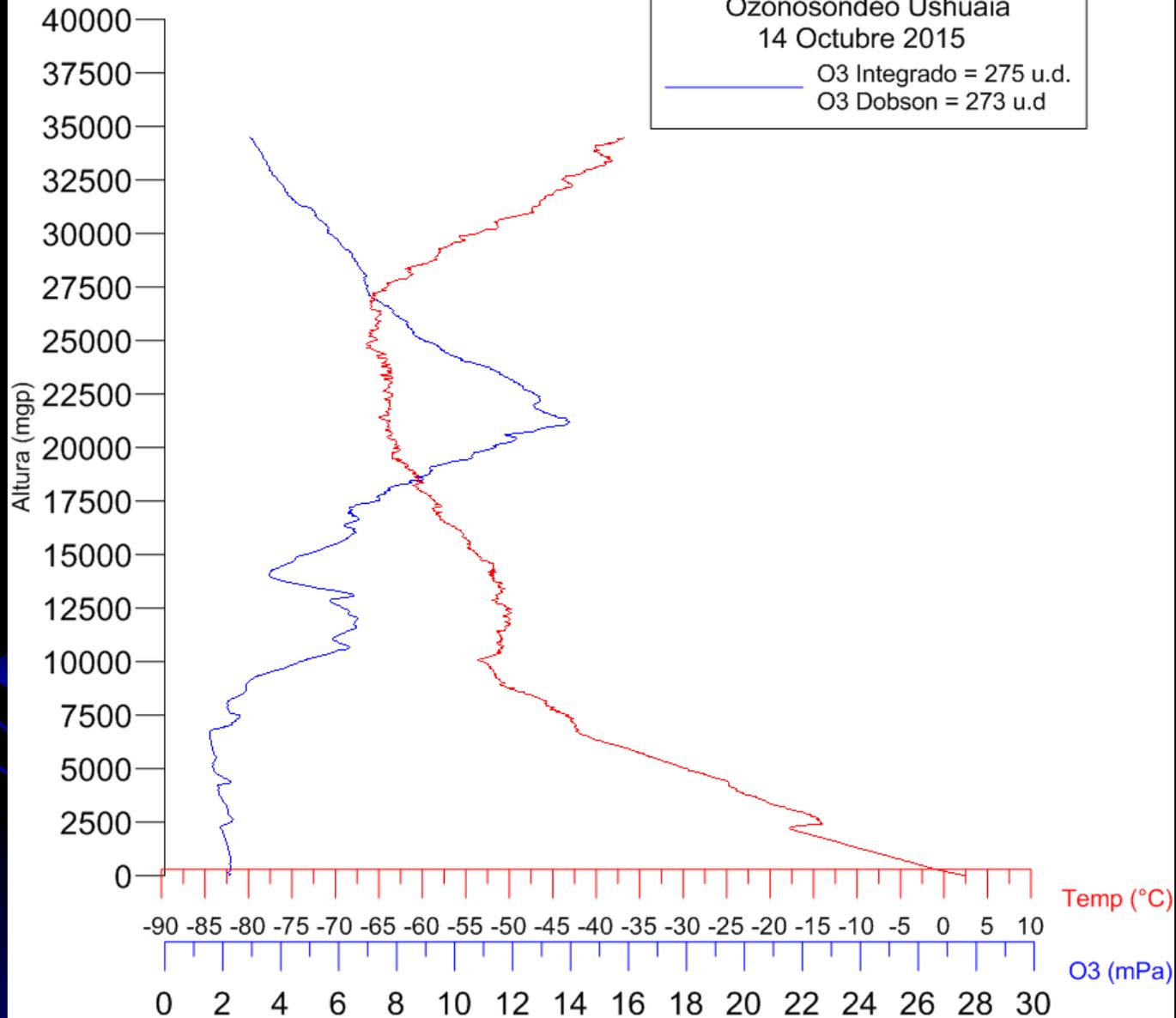


Ozono Total - Ushuaia Mayo 2016

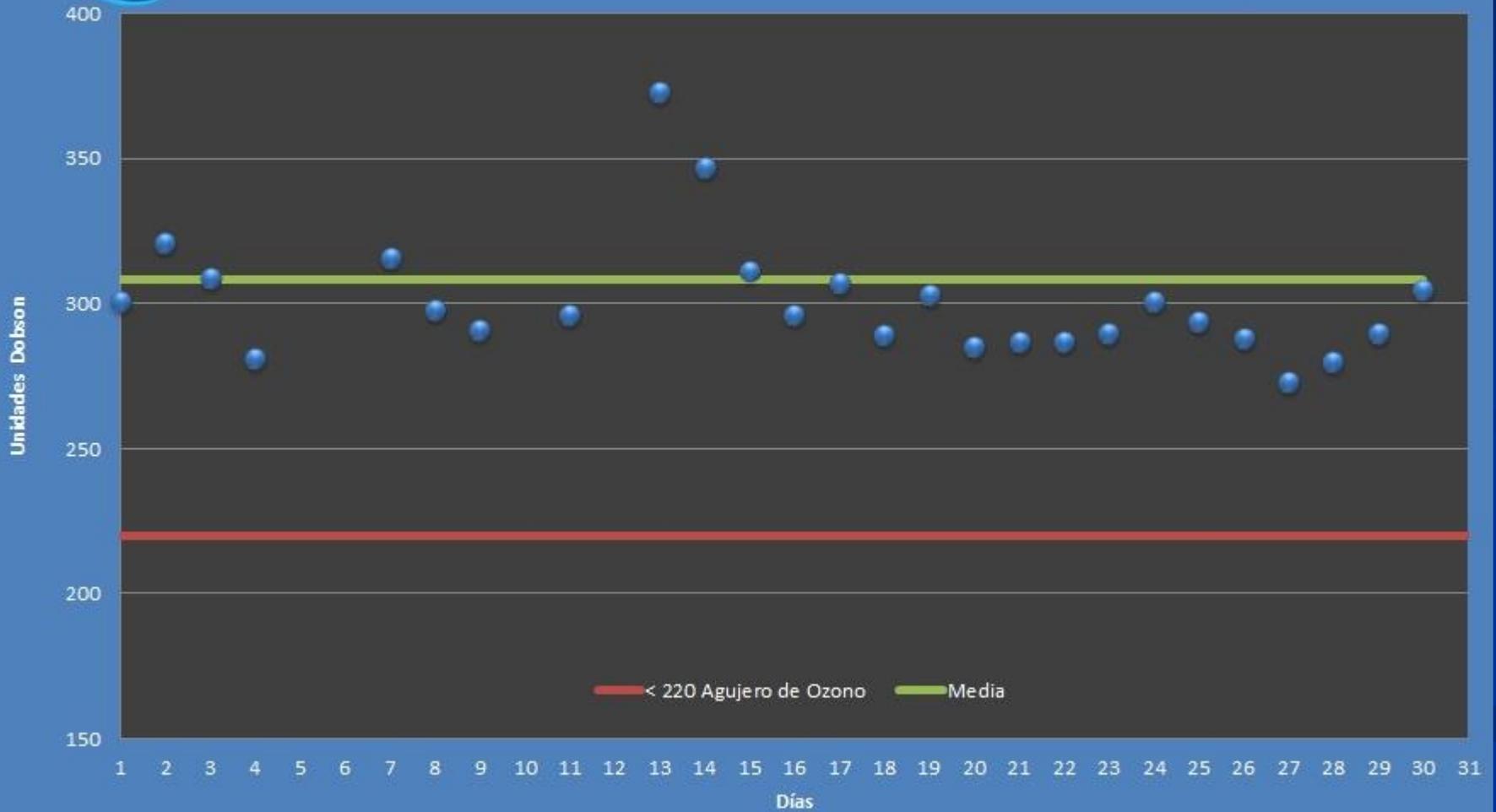


Ozonosondeo Ushuaia
14 Octubre 2015

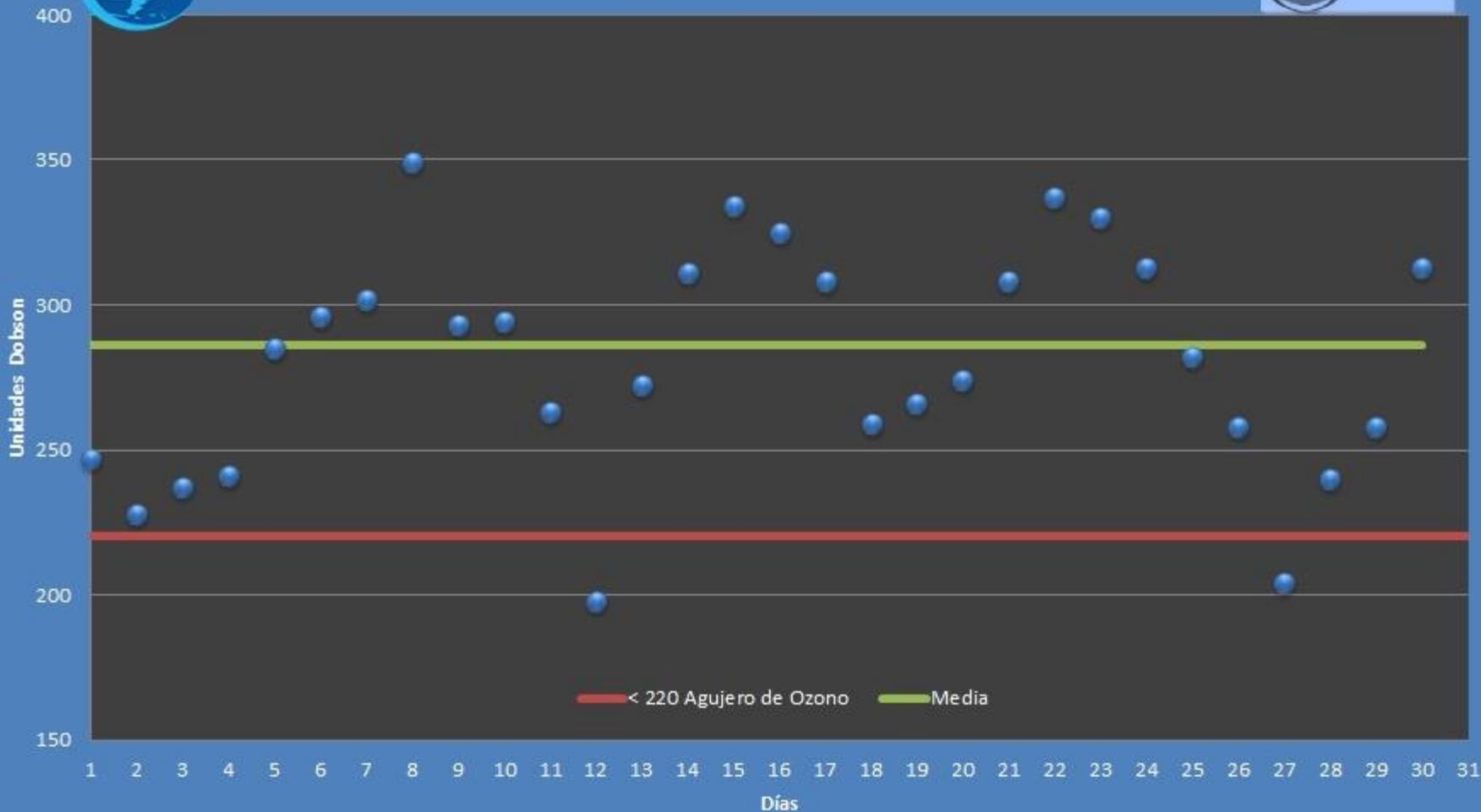
O3 Integrado = 275 u.d.
O3 Dobson = 273 u.d



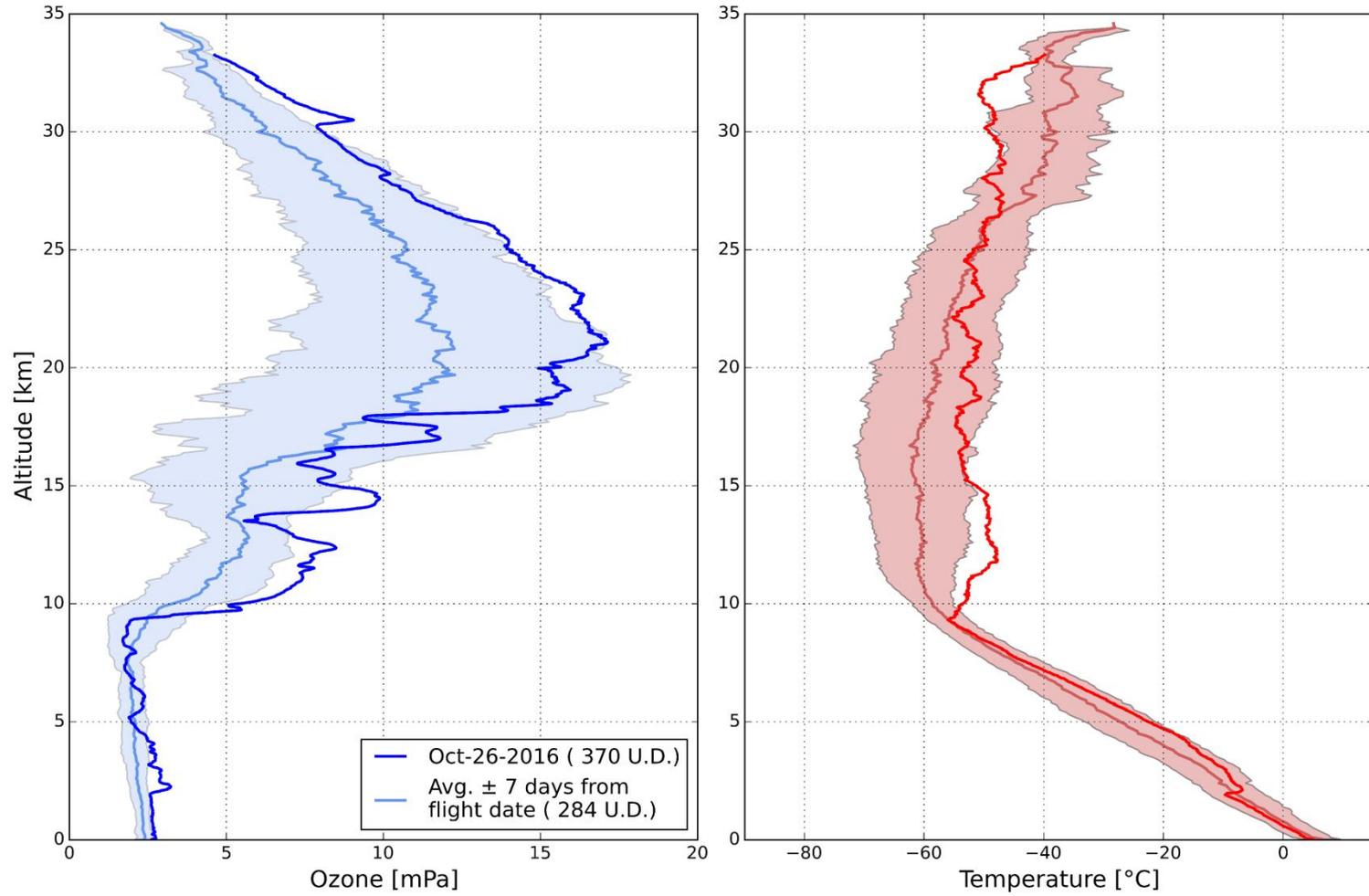
Ozono Total - Buenos Aires Septiembre 2016



Ozono Total - Ushuaia Septiembre 2016

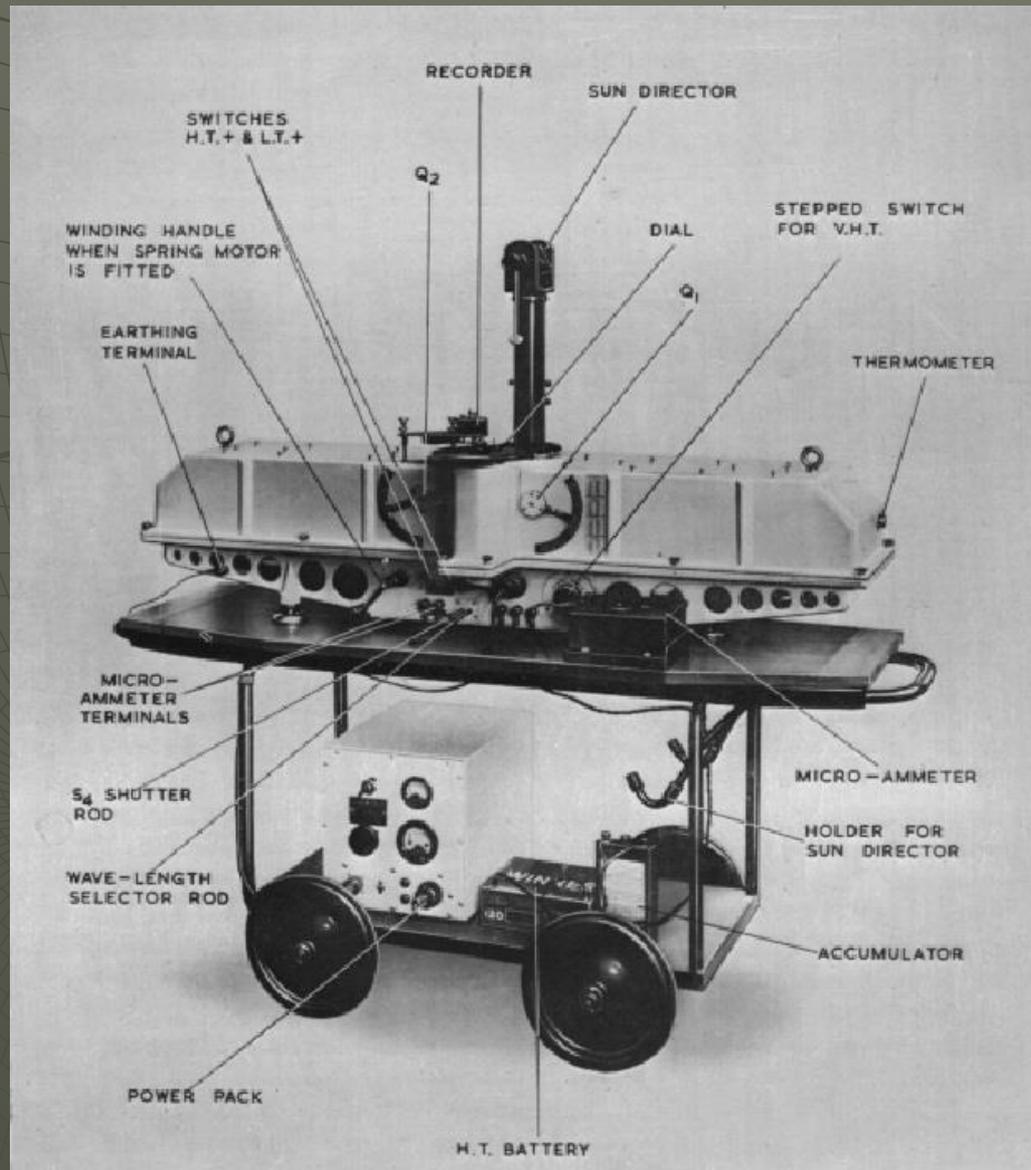


Ushuaia
October 26th, 2016



Average made over 16 sondes between 2008 and 2016

Espectofotómetro Dobson



Espectrofotómetro Dobson base Marambio – Antártida Argentina

