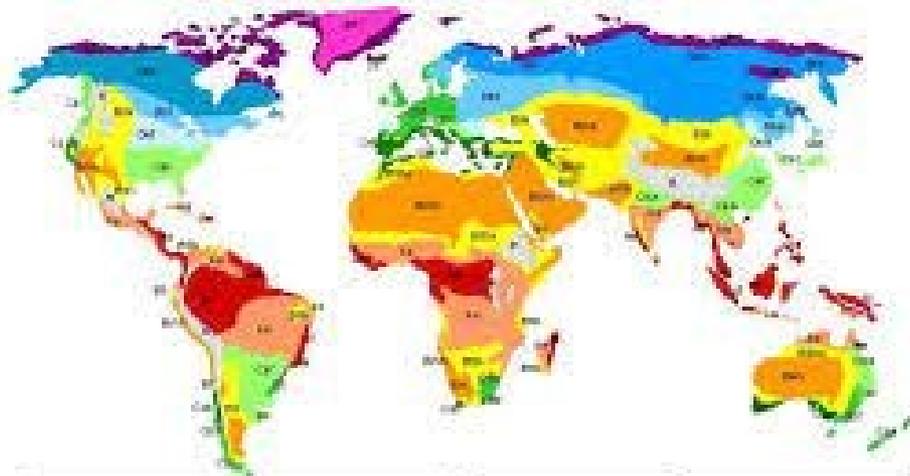
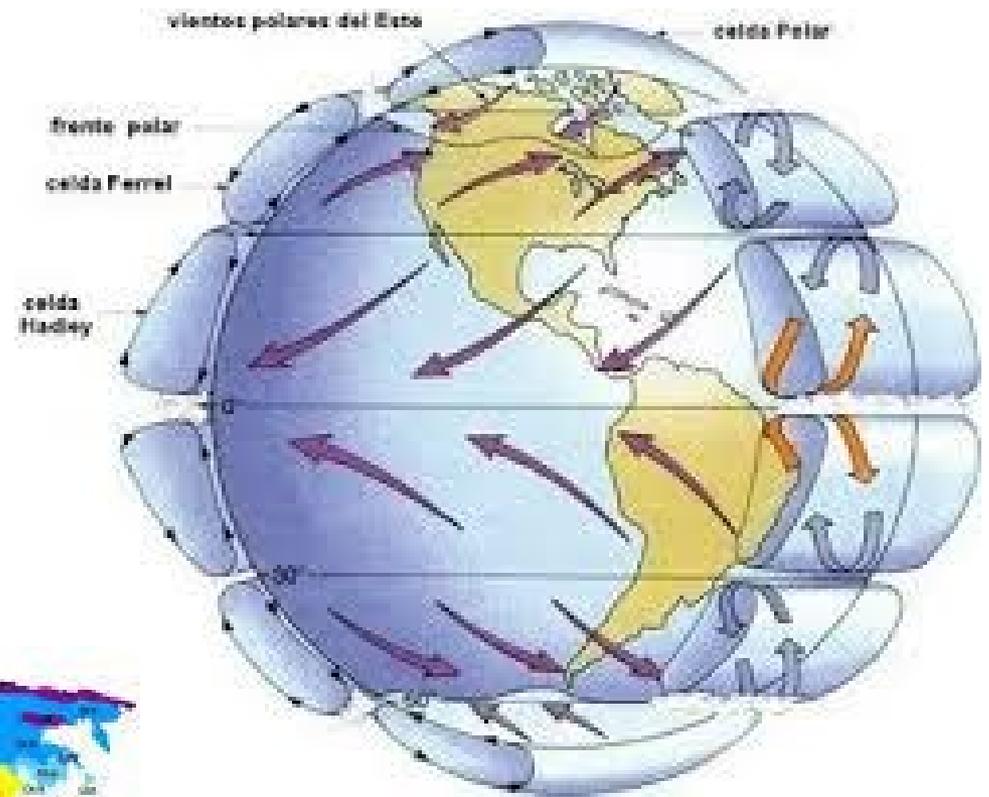


Universidad de Chile  
Departamento de Geofísica

Introducción a la Meteorología

# Circulación General de la Atmósfera

Prof. René Garreaud  
[www.dgf.uchile.cl/rene](http://www.dgf.uchile.cl/rene)



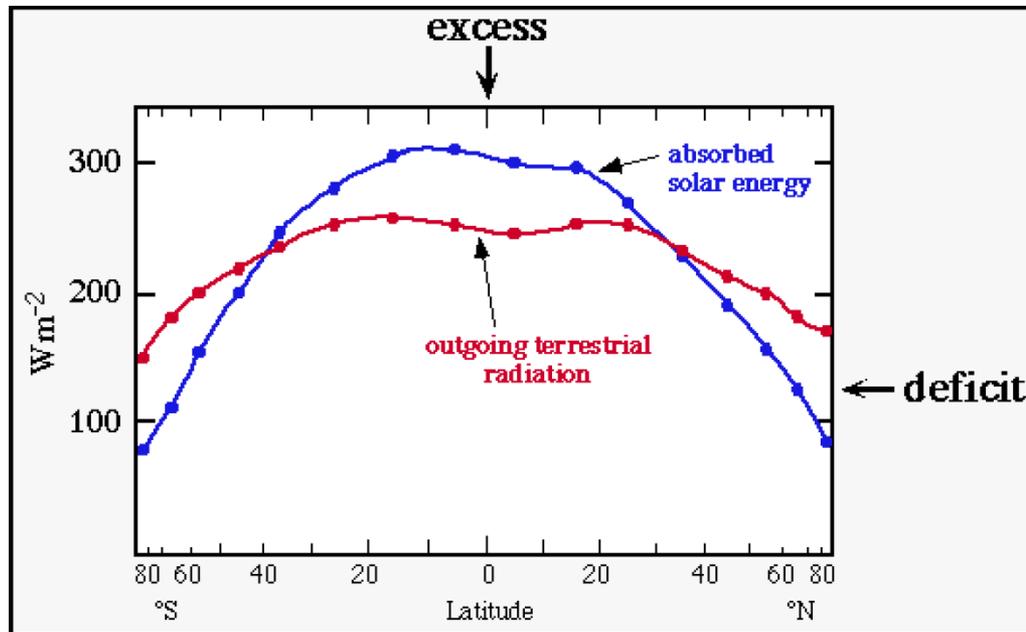
CLIMA TEMPERADO LATITUDINAL		CLIMA ÁRIDO		CLIMA POLAR		CLIMA SUBTROPICAL	
Temperado húmedo oceánico	ET, Af	Desértico	BWh, BSh	Ártico	EF	Mediterráneo y subtropical	Csa, Csb
Desértico oceánico	BWh, BSh	Desértico	BWh, BSh	Subtropical húmedo	Cfa, Cfb	Subtropical húmedo	Cfa, Cfb
				Temperado del suroeste oceánico	Csb, Cfb	Continental húmedo, invierno frío	Dfa, Dfb
						Continental húmedo, verano fresco	Dsa, Dsb
						Subártico	Dfd, Dfb
						Alta montaña	Hf
						Alta montaña	Hf

# Porque se mueve la atmosfera? (y los océanos)

Low latitude areas receive more solar energy than high latitudes (because of earth sphericity). Low latitudes are also warmer, so they emit more infrared energy back to space (OLR  $\sim T^4$ ), but this effect doesn't compensate excess of insolation. There is an radiative imbalance between low and high latitudes, that would produce an increase (decrease) of temperature at low (high) latitudes.

Actually, thermal structure of the planet is nearly in steady state. There must be a net transport of energy to compensate the radiative imbalance.

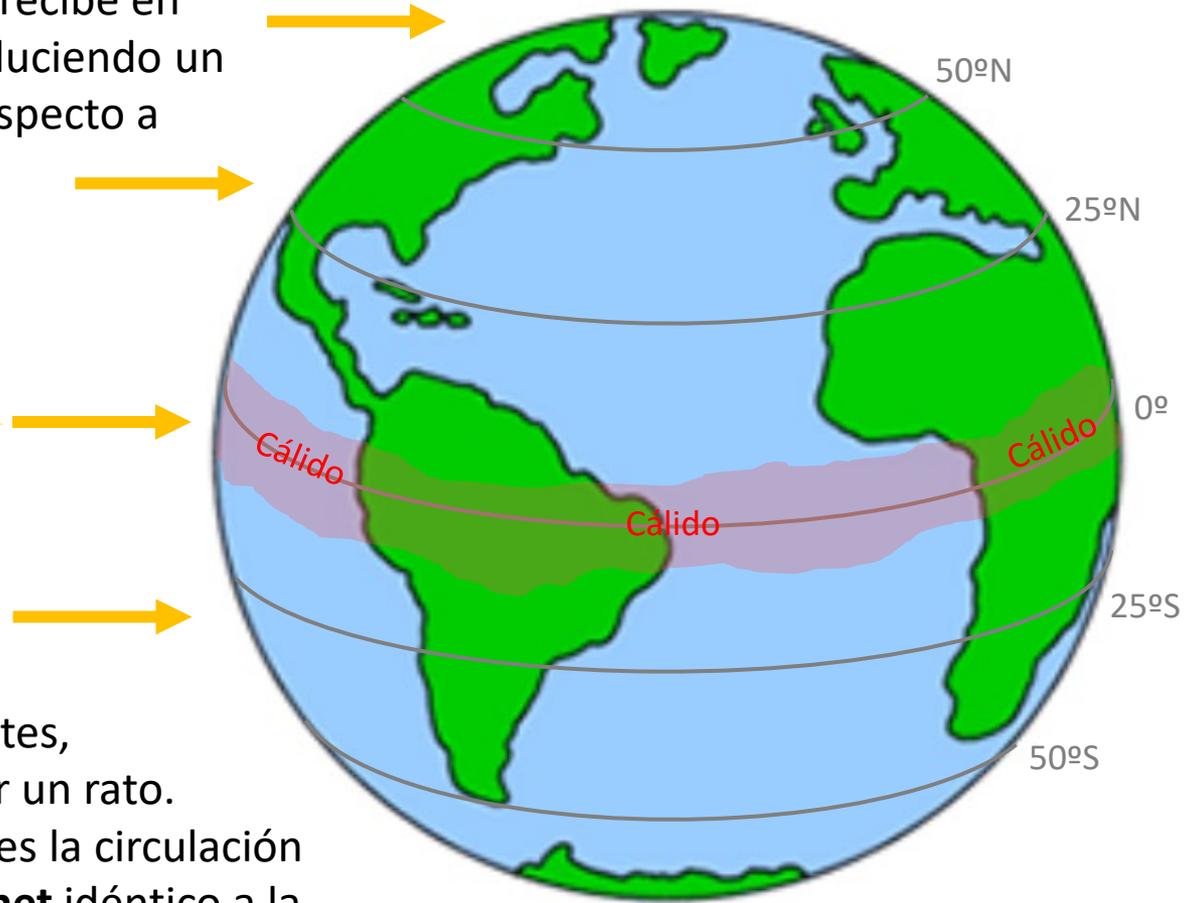
$$0 \approx \frac{\partial T}{\partial t} = E \downarrow - E \uparrow + \text{Transporte Oceano Atmosfera}$$



Vamos a comenzar desarrollando un modelo conceptual de como circula la atmosfera empleando conceptos que hemos visto en este curso. Luego contrastamos con la realidad, simulada con un modelo completo y luego contra las observaciones

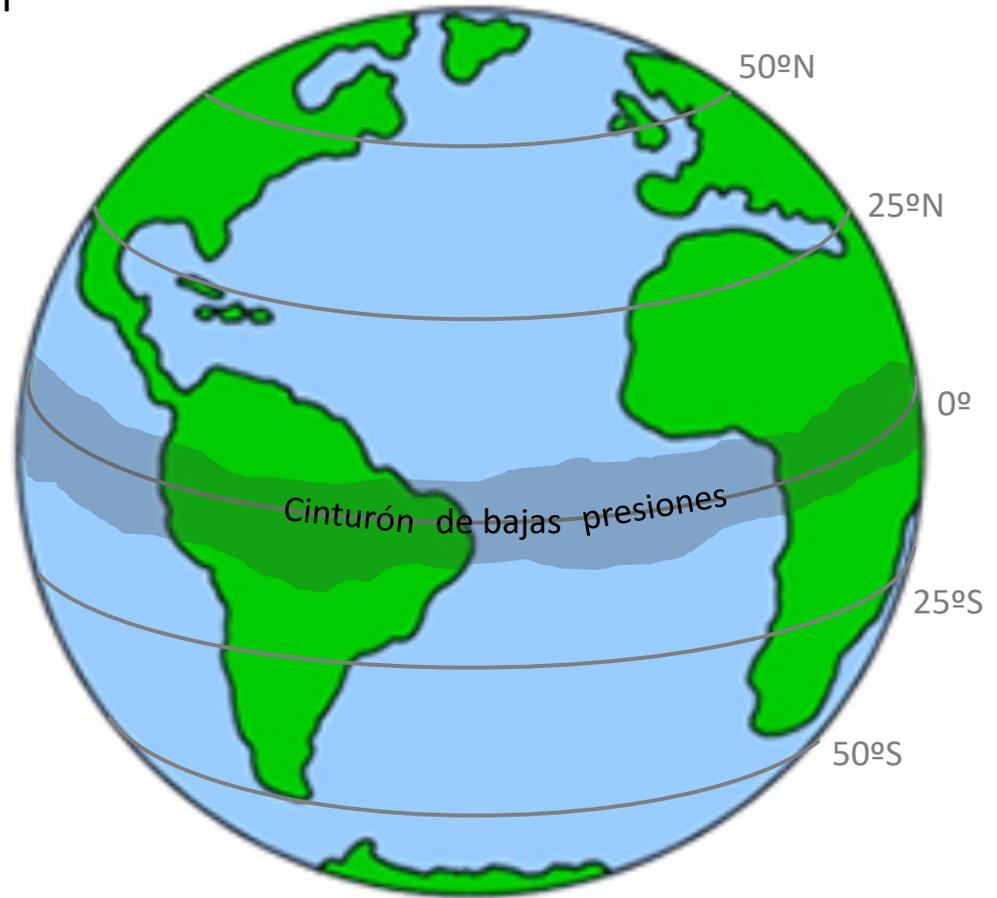


Los rayos del sol llegan de forma paralela a nuestro planeta, pero debido a la esfericidad terrestre, la zona ecuatorial recibe en promedio mas energía, produciendo un calentamiento superficial respecto a latitudes mas altas

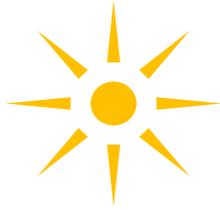


Aunque en estos esquemas Están dibujados los continentes, Nos olvidaremos de ellos por un rato. Estamos imaginando entonces la circulación atmosférica en un **Aqua-Planet** idéntico a la tierra excepto por la ausencia de continentes

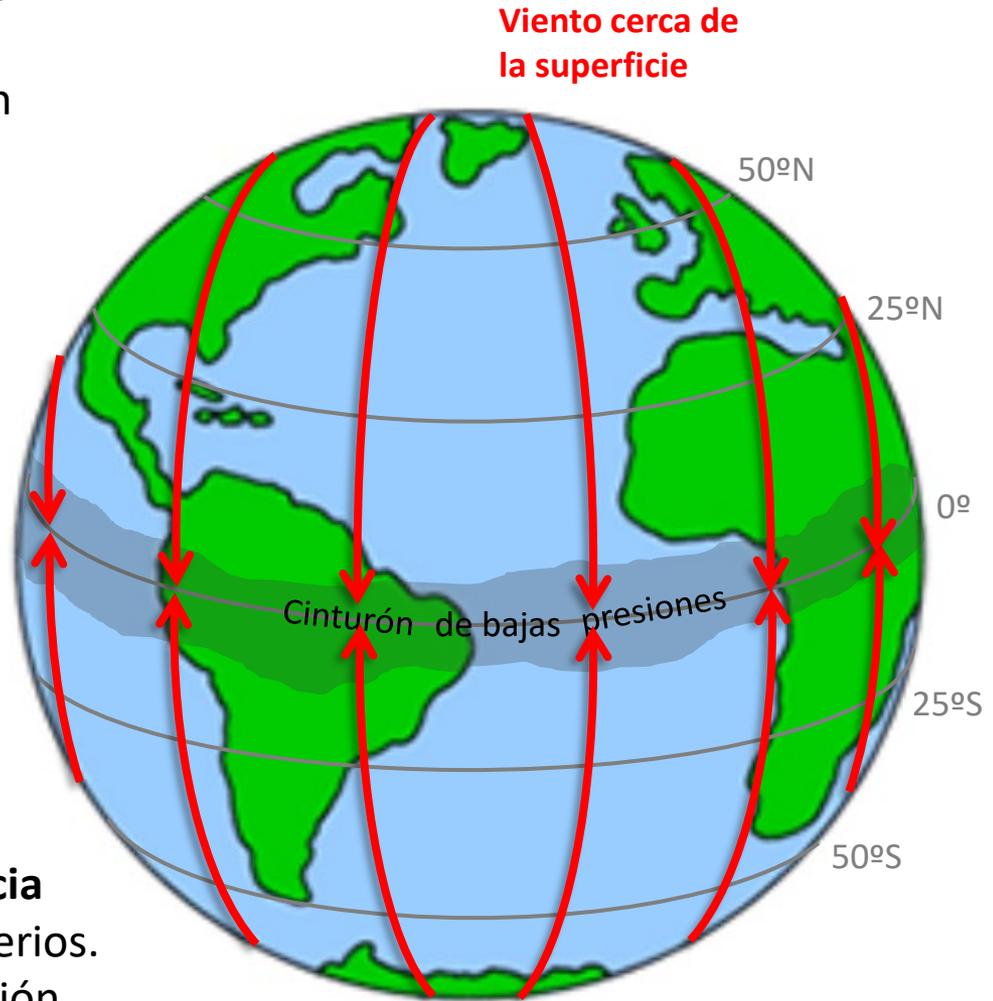
Empleando las ecuaciones de estado e hidrostática se puede mostrar que el calentamiento superficial da lugar a un **cinturón de bajas presiones** en torno al ecuador terrestre. Luego veremos que este vaguada circumpolar se mueve al norte y al sur con las estaciones....



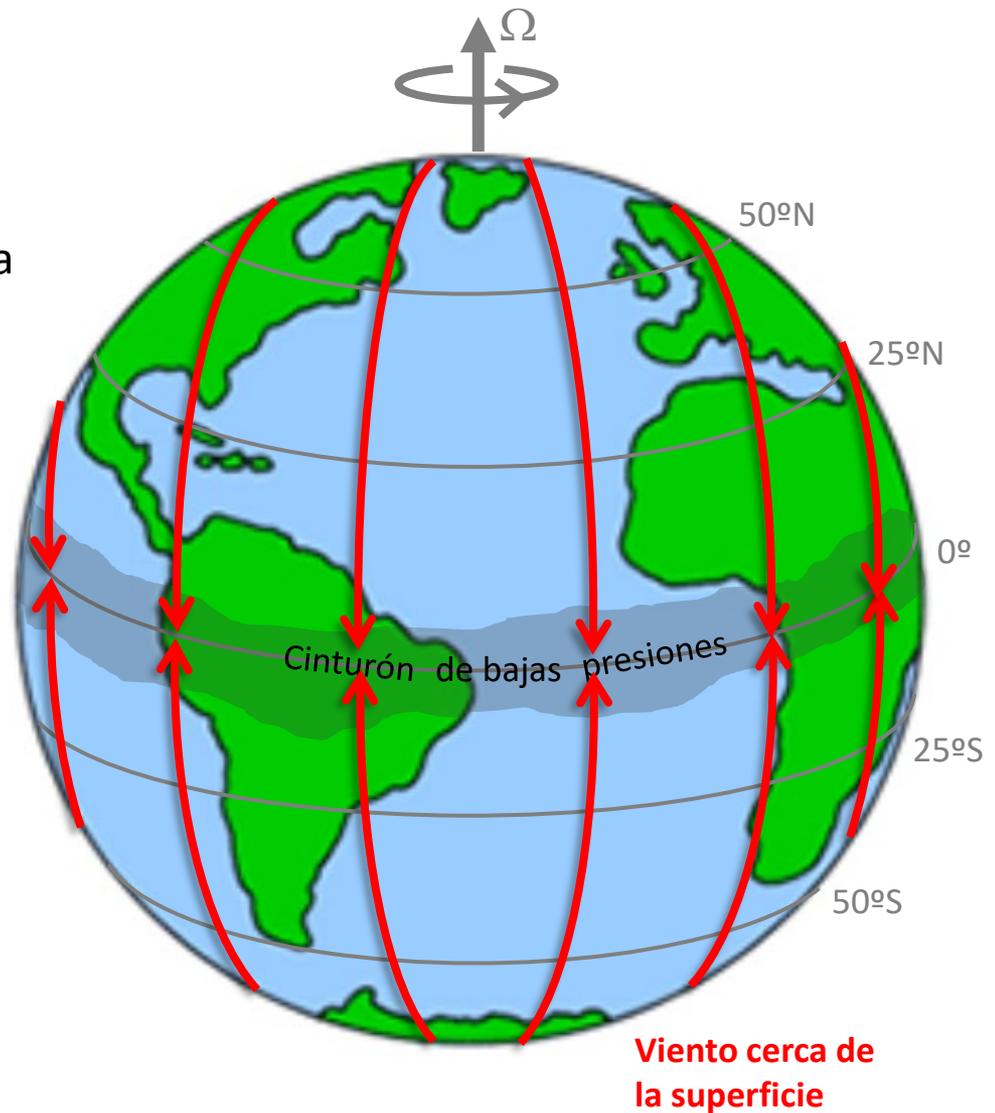
Empleando las ecuaciones de estado e hidrostática se puede mostrar que el calentamiento superficial da lugar a un **cinturón de bajas presiones** en torno al ecuador terrestre. Luego veremos que este vanguardia circumpolar se mueve al norte y al sur con las estaciones....



El gradiente de presión entre la zona ecuatorial y latitudes mas altas fuerza **vientos que se dirigen hacia el ecuador** terrestre en ambos hemisferios. En principio el viento solo tiene dirección meridional (N-S) y se extiende desde los polos al ecuador.



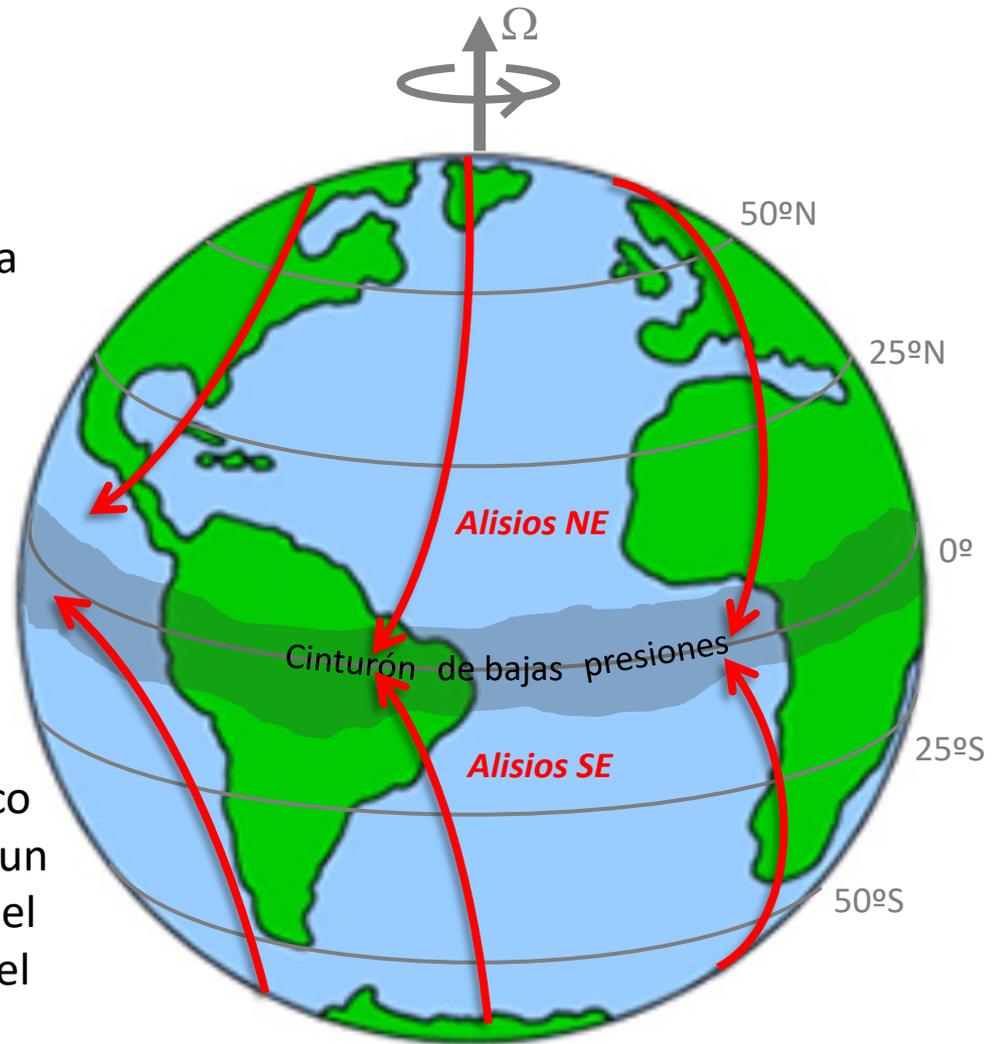
Pero se nos había olvidado **que la tierra rota sobre su eje.....**de manera que debemos considerar la **fuerza de Coriolis**, lo que resulta en una desviación del viento hacia la izquierda en el Hemisferio Sur y a la derecha en el Hemisferio Norte.



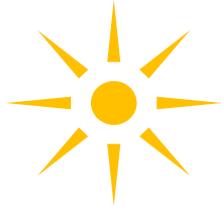
Pero se nos había olvidado que la tierra rota sobre su eje....de manera que debemos considerar la **fuerza de Coriolis**, lo que resulta en una desviación del viento hacia la izquierda en el Hemisferio Sur y a la derecha en el Hemisferio Norte.



Noten que este viento cuasi-geostrofico aun converge en el ecuador, pero con un angulo generando los **vientos alisios** del NE en el Hemisferio Norte y del SE en el Hemisferio Sur



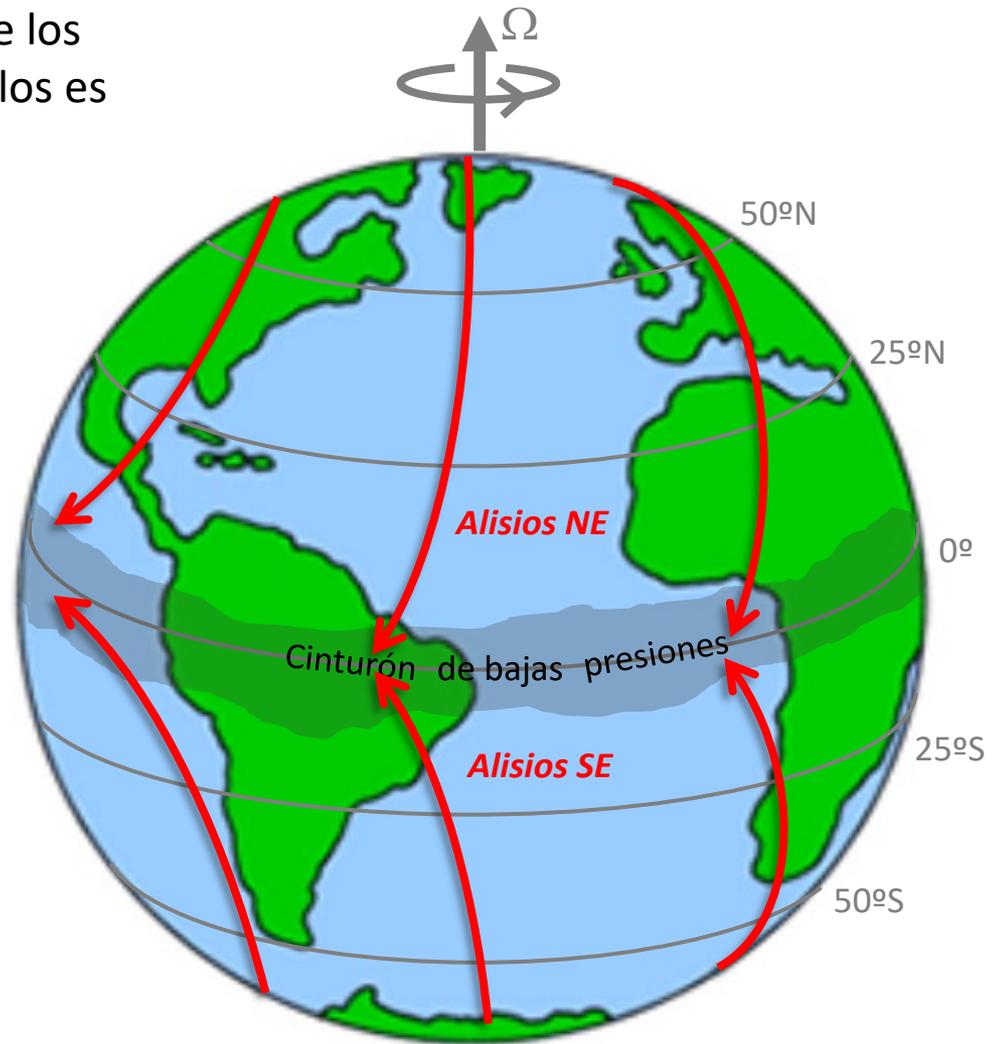
El aire es mayormente incompresible por lo que la convergencia de los alisios en latitudes bajas resulta en **ascenso** hasta la **Tropopausa tropical** (~15 km). El aire luego **diverge** hacia ambos polos formando una celda térmica en cada hemisferio



Como los alisios han soplado sobre los océanos el aire está cargado de humedad que condensa al ascender dando lugar a nubes de tormenta y copiosa precipitación en la zona tropical. Este complejo se denomina **Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)**



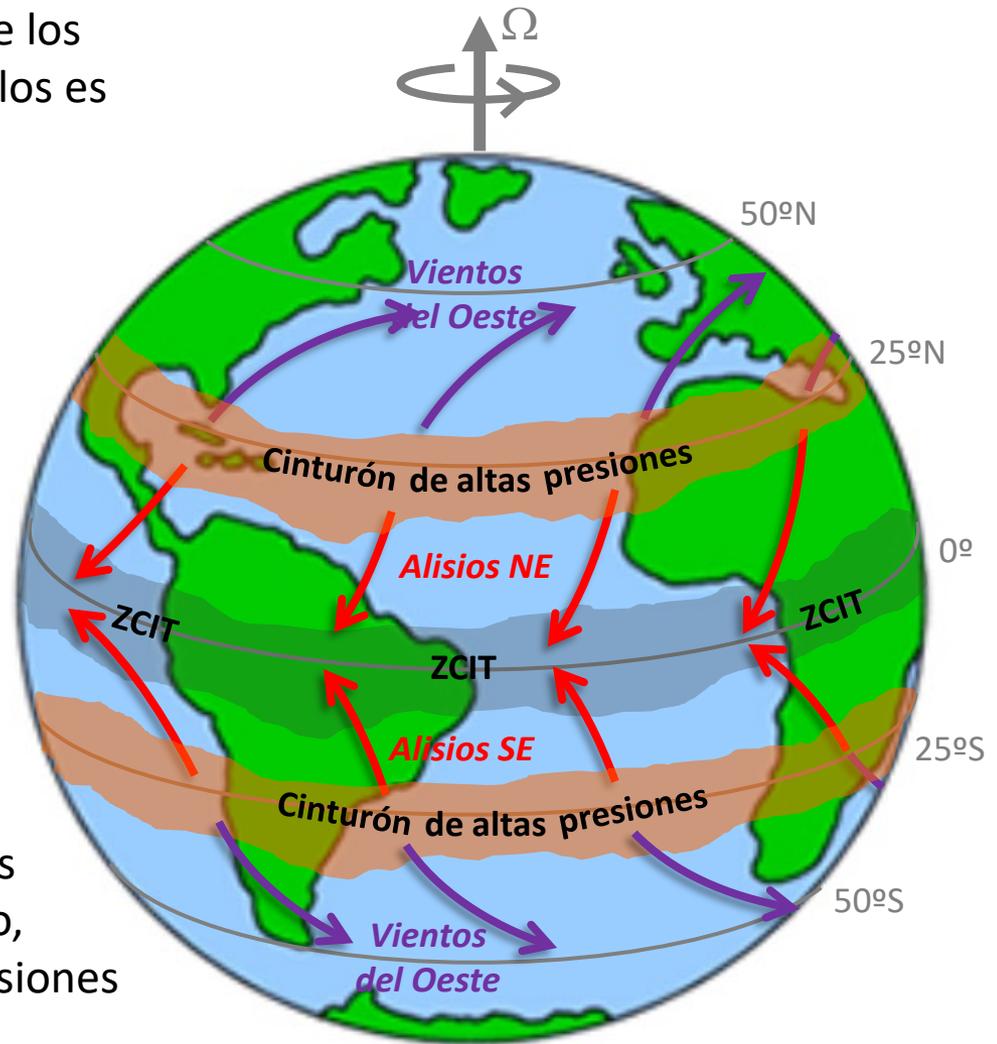
Un buen argumento para justificar que los Alisios no pueden originarse en los polos es que si así fuera, el viento del este sobre todo el planeta genera un torque contrario a la rotación terrestre que en el largo plazo detendría a la tierra!



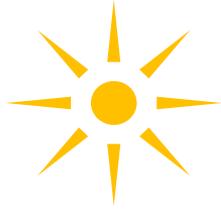
Un buen argumento para justificar que los Alisios no pueden originarse en los polos es que si así fuera, el viento del este sobre todo el planeta genera un torque contrario a la rotación terrestre que en el largo plazo detendría a la tierra!



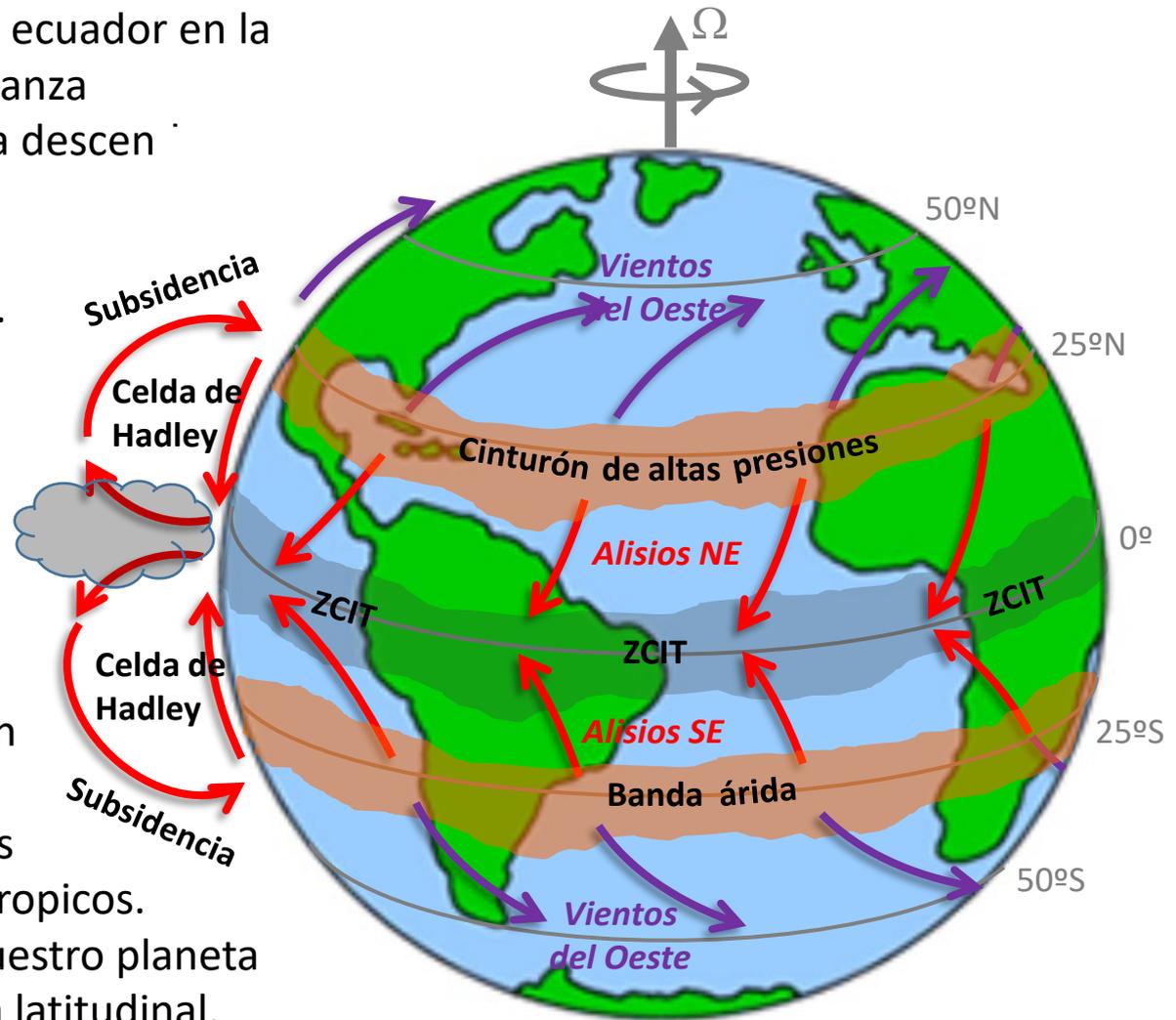
Esto justifica la presencia de vientos del oeste en superficie en latitudes medias (40-60°) de ambos Hemisferios. Por equilibrio Geostrofico, se requiere de una banda de altas presiones en latitudes subtropicales (20-30°)



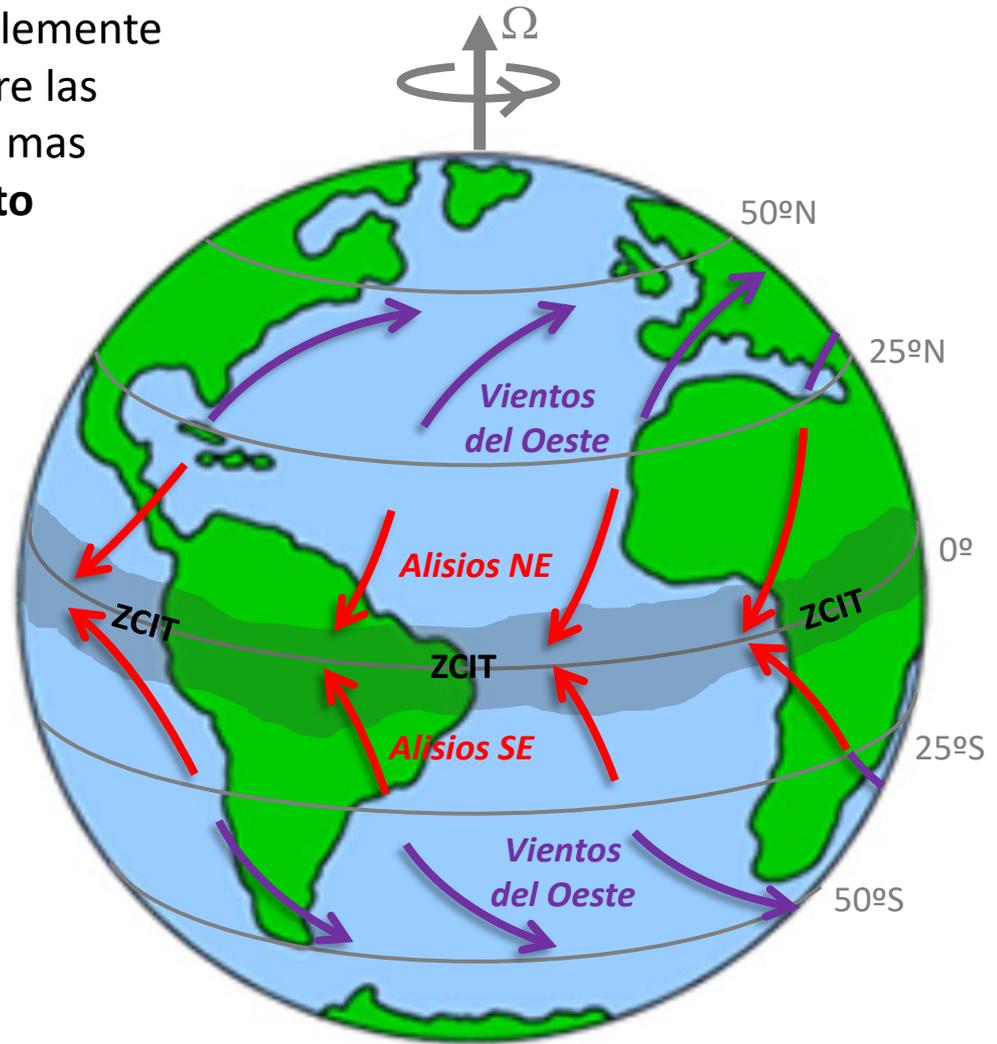
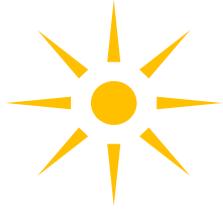
El aire que diverge desde el ecuador en la troposfera alta tampoco alcanza los polos. El aire comienza a descender justamente en latitudes subtropicales manteniendo la banda de altas presiones. Esta circulación térmica es llamada **celda de Hadley**



La **subsistencia** en el margen externo de las celdas de Hadley produce condiciones secas y estables en los subtropicos. Los grandes desiertos de nuestro planeta se encuentran en esa franja latitudinal.

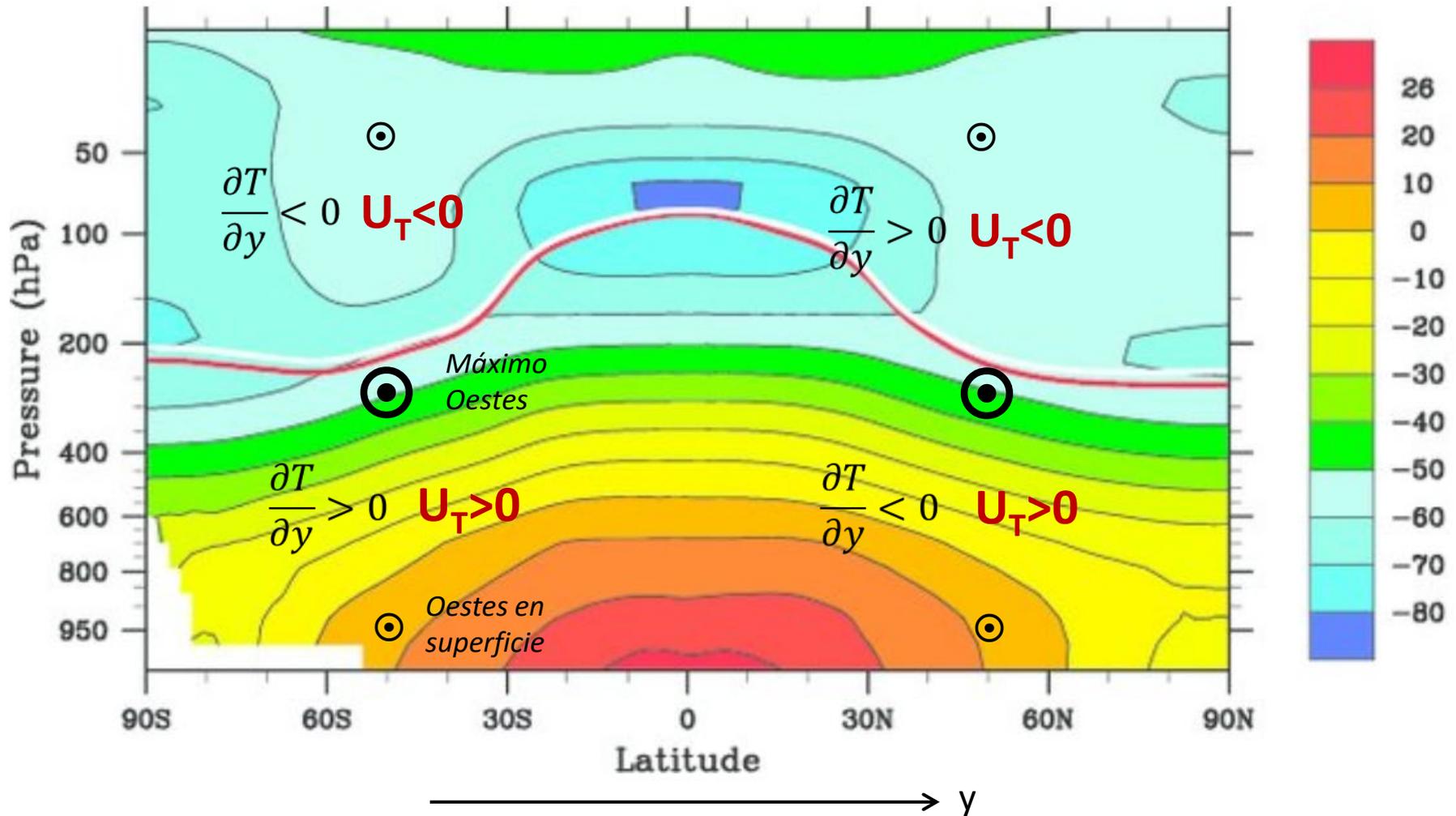


Entonces los vientos del oeste (o simplemente los oestes) dominan en superficie sobre las latitudes medias. Para saber que pasa mas arriba recurrimos al concepto de **viento térmico** que nos permite calcular el cambio del viento geostrófico con la altura en base al gradiente horizontal de temperatura

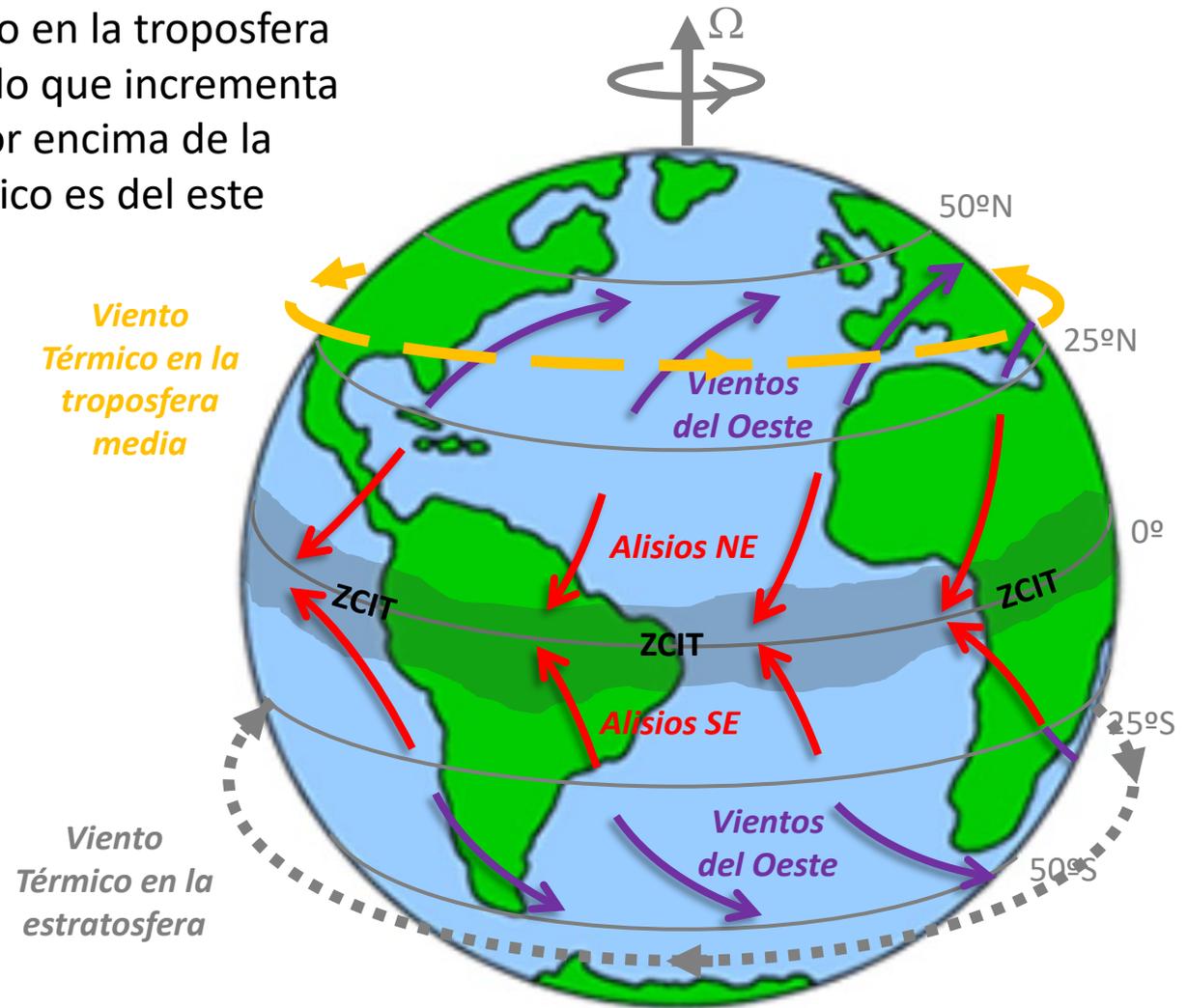


$$U_{Termico} = -\frac{R}{f} \ln\left(\frac{p_{inf}}{p_{sup}}\right) \frac{\partial \bar{T}}{\partial y}$$

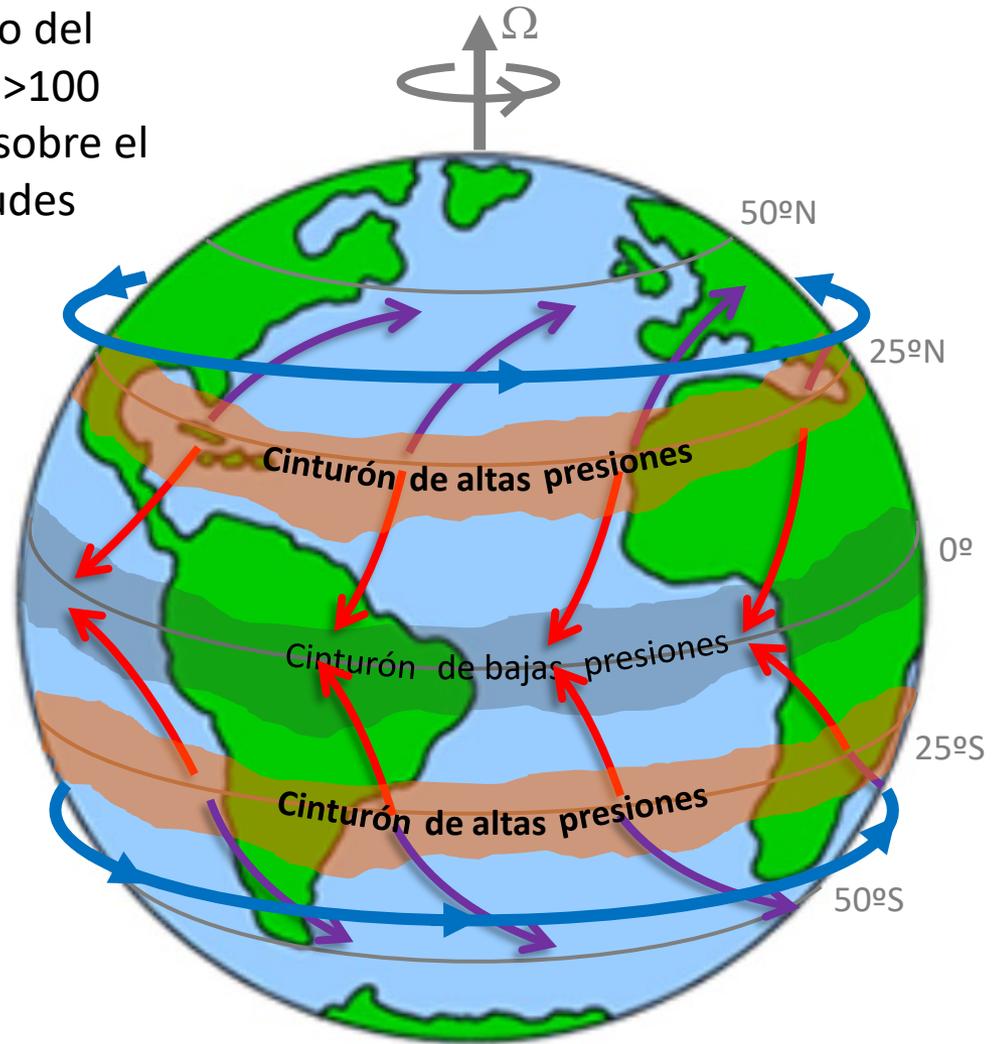
Promedio zonal (todas las longitudes) y anual (todos los meses) de la temperatura del aire (°C)



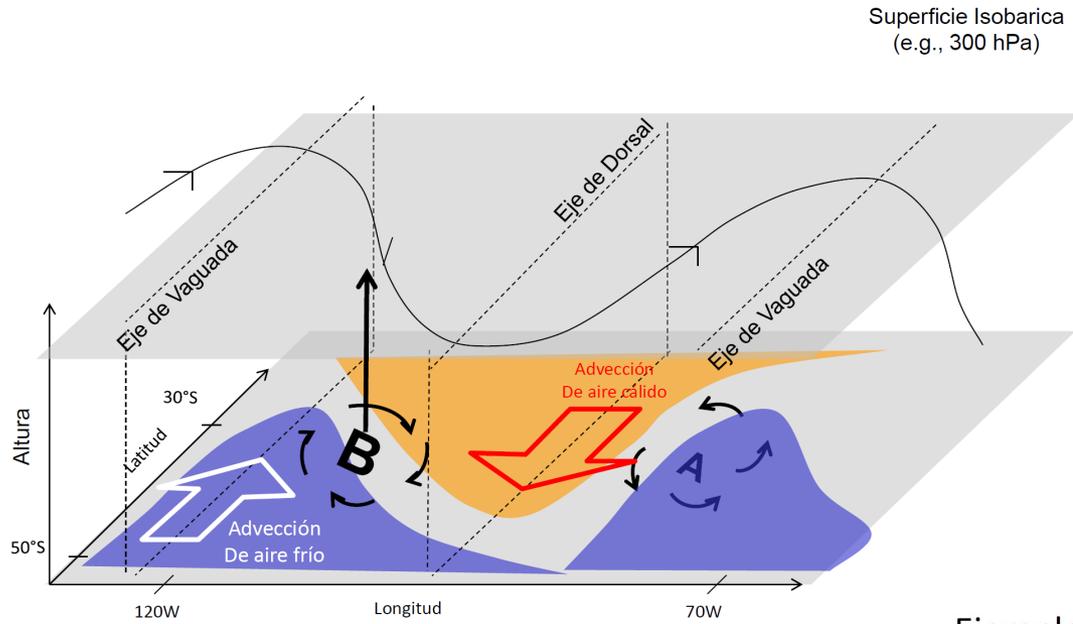
Entonces, el viento térmico en la troposfera media y alta es del oeste, lo que incrementa los oestes con la altura. Por encima de la tropopausa el viento térmico es del este y los oestes comienzan a debilitarse.



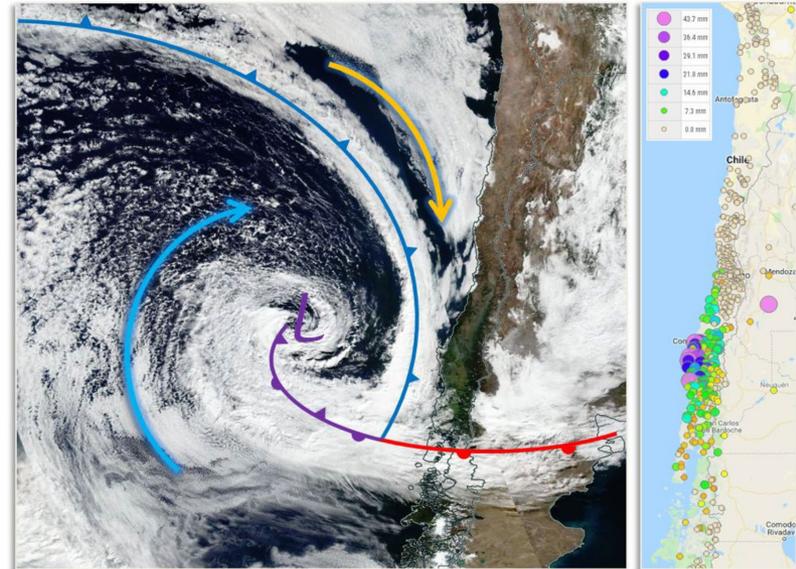
En consecuencia, se genera un máximo del viento del oeste (**corriente en chorro**, >100 km/h) a unos 10 kilómetros de altura sobre el límite entre la zona subtropical y latitudes medias de ambos hemisferios.



# Estructura tri-dimensional de la onda en desarrollo



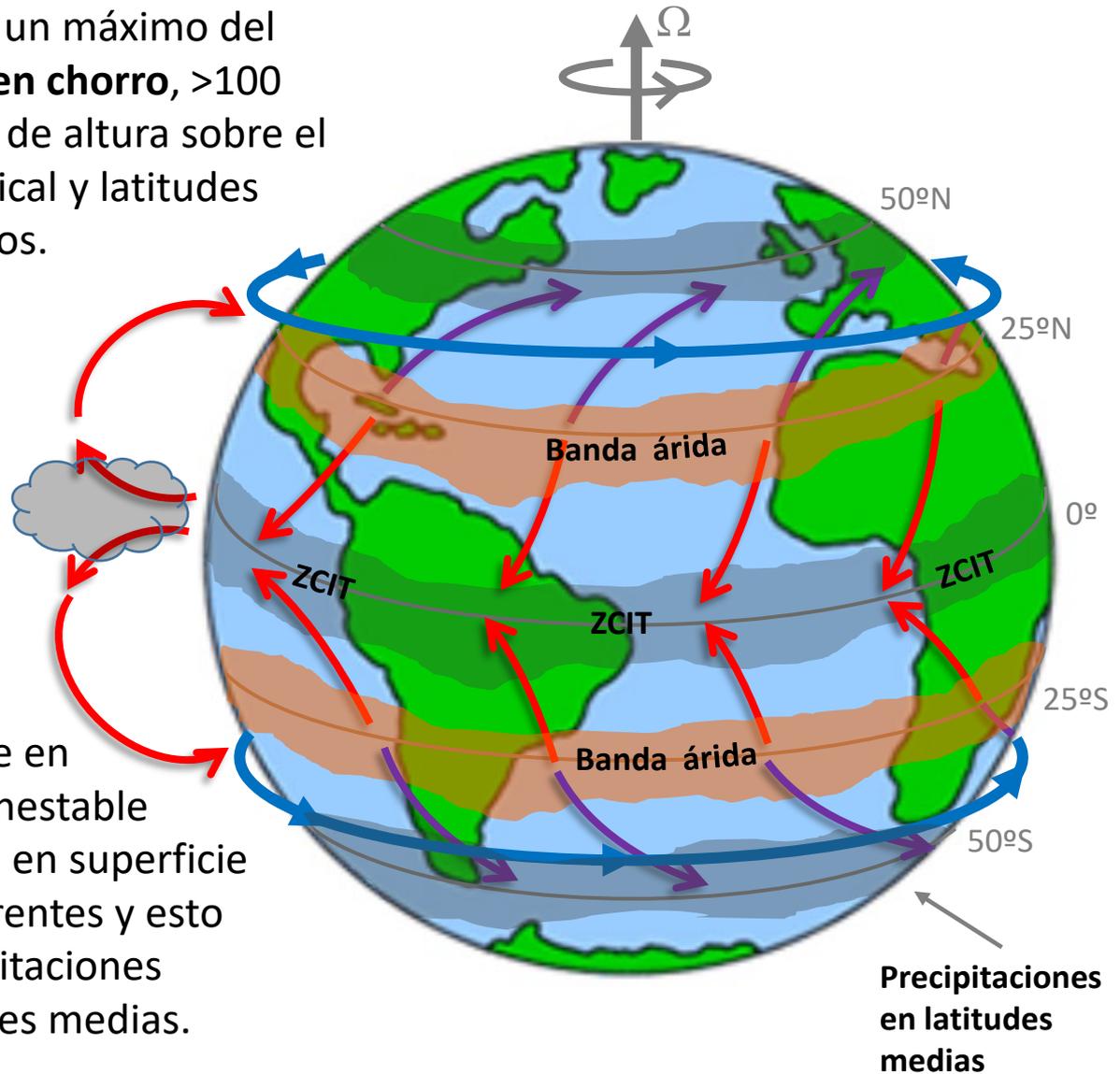
Ejemplo de una baja + frente llegando a Chile



En consecuencia, se genera un máximo del viento del oeste (**corriente en chorro**, >100 km/h) a unos 10 kilómetros de altura sobre el límite entre la zona subtropical y latitudes medias de ambos hemisferios.



Como vimos en sistemas de latitudes medias la corriente en chorro es intrínsecamente inestable dando origen a depresiones en superficie las cuales a su vez forman frentes y esto últimos producen las precipitaciones características de las latitudes medias.



Las inferencias que hemos hecho sobre la circulación general de la atmosfera se basan en principios básicos, algunas aproximaciones y unas pocas evidencias observacionales

## **Será así la circulación en la realidad?**

Antes de contrastar nuestro modelo conceptual contra las observaciones consideremos los resultados de un modelo completo de la atmosfera sobre un Aquaplanet como la tierra.

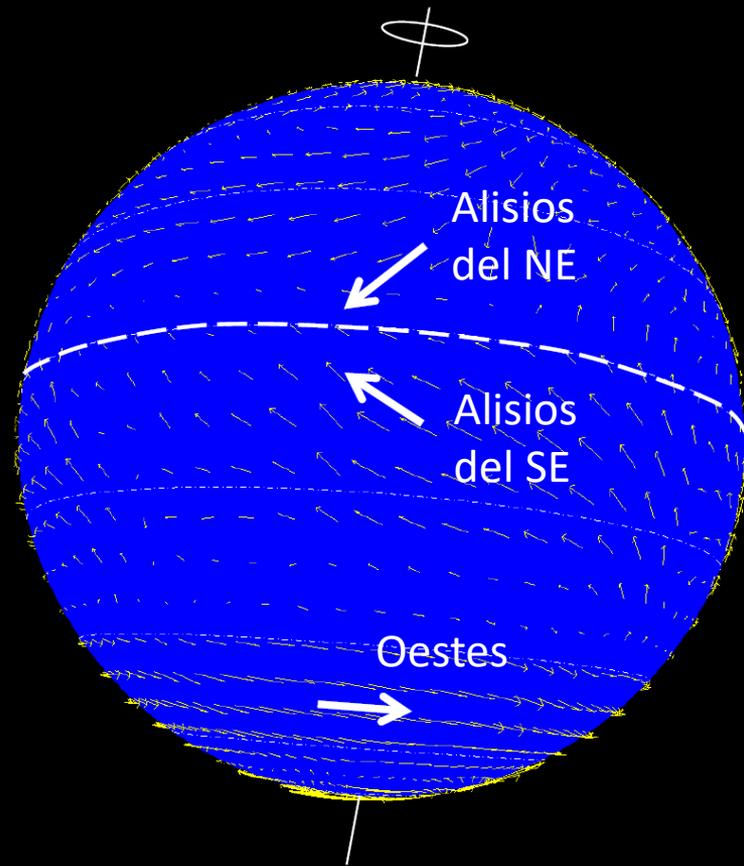
Aquí estamos usando el modelo PLASIM y se muestra el viento en superficie....so far, so good.

Las inferencias que hemos hecho sobre la circulación general de la atmosfera se basan en principios básicos, algunas aproximaciones y unas pocas evidencias observacionales

### Será así la circulación en la realidad?

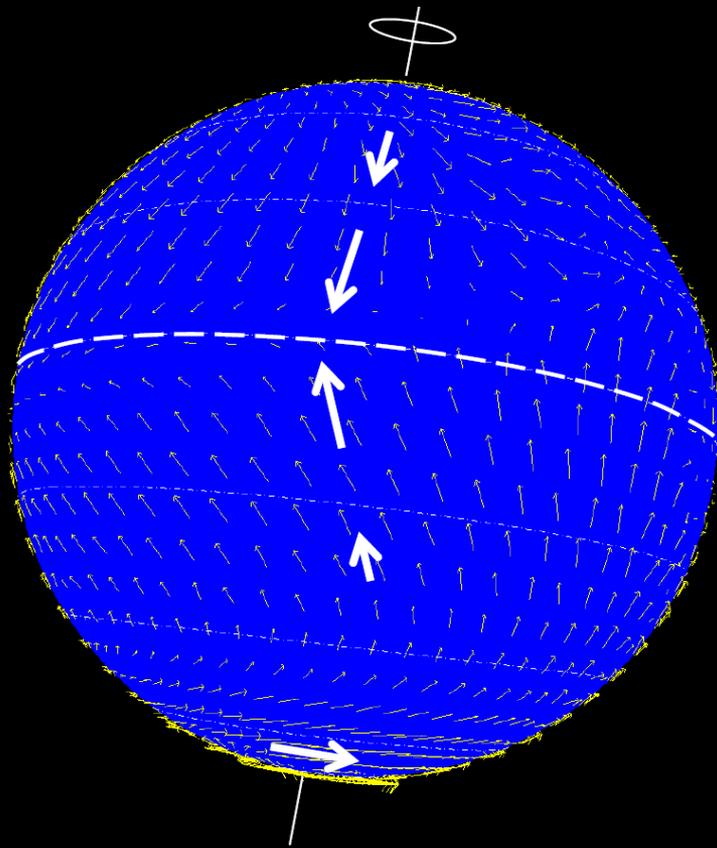
Antes de contrastar nuestro modelo conceptual contra las observaciones consideremos los resultados de un modelo completo de la atmosfera sobre un Aqua-planet como la tierra.

Aquí estamos usando el modelo PLASIM y se muestra el viento en superficie....so far, so good.

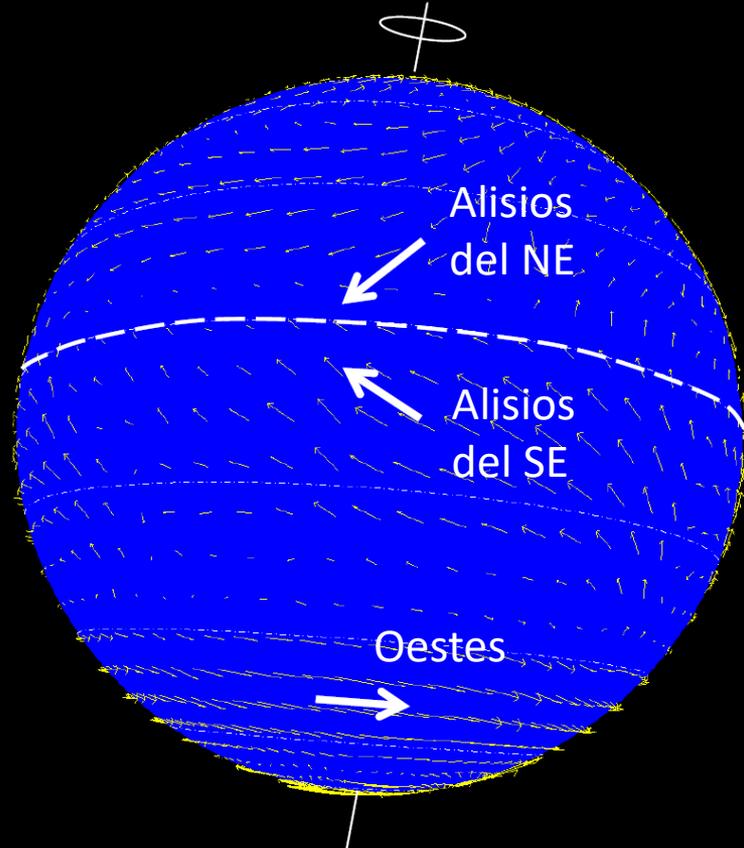


$$\Omega = \Omega_0 = 2\pi/24 \text{ hrs}^{-1}$$

Una ventaja de este tipo de modelo es que podemos hacer experimentos. Por ejemplo, si disminuimos la rotación de la tierra la Celda de Hadley se expande hacia los polos...

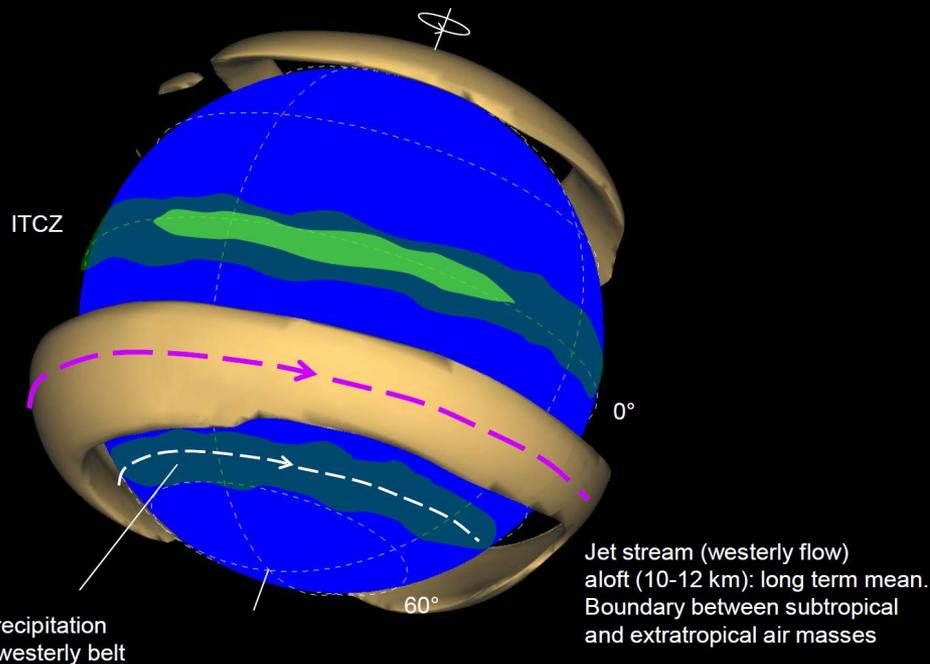
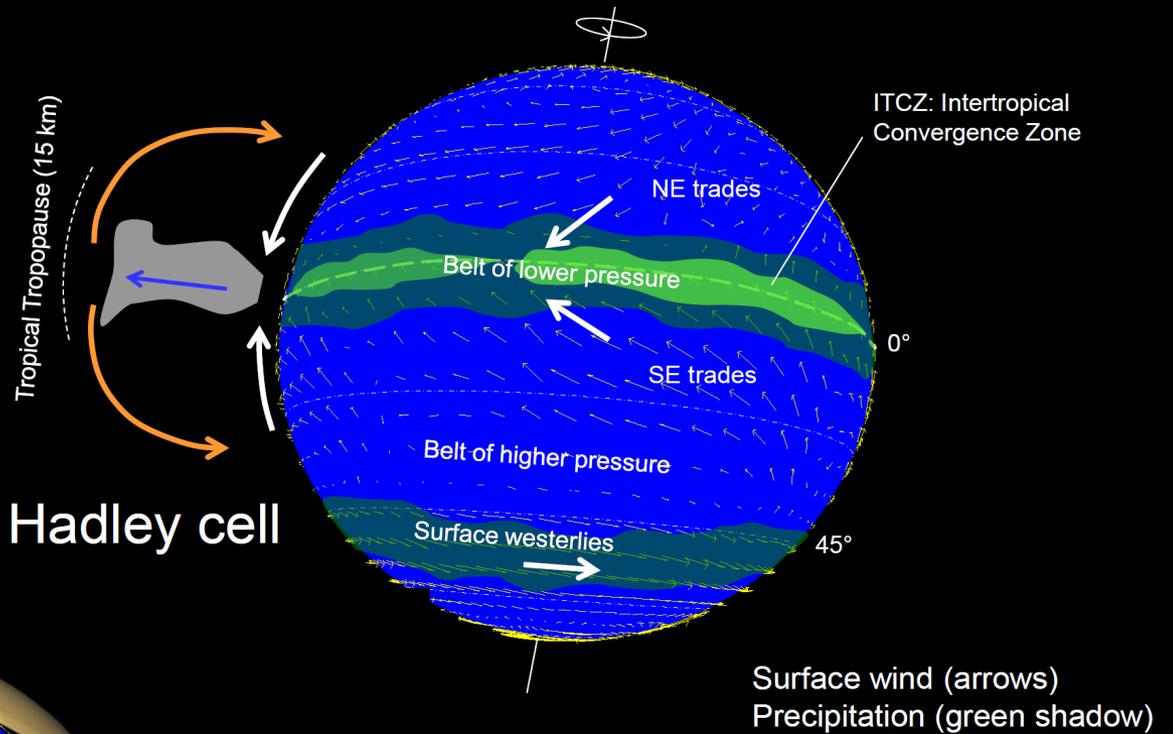


$$\Omega = \Omega_0 / 100$$



$$\Omega = \Omega_0 = 2\pi / 24 \text{ hrs}^{-1}$$

PLASIM también genera mucha lluvia sobre el ZCIT (convergencia de aire húmedo) y algo de lluvia en latitudes medias debido a las perturbaciones generadas por la corriente en chorro en altura



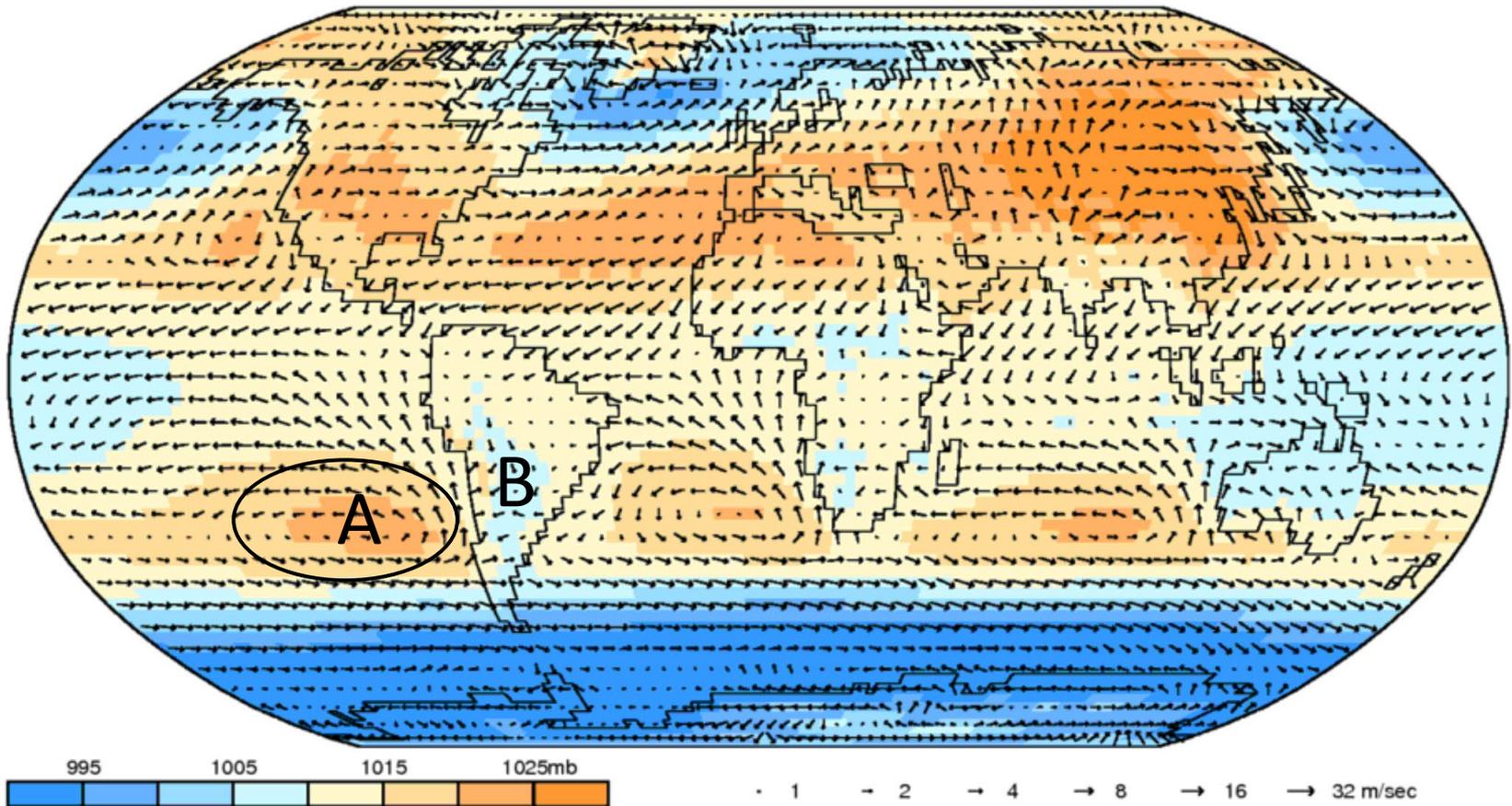
Bueno, ahora vamos a la “realidad real” (aunque tampoco existe tal cosas, las observaciones son limitadas....)



Sobre los océanos se ve algo similar a lo esperado, alisios en los subtrópicos y oestes en latitudes medias. Notar que las bandas de altas presiones han sido sustituidas por anticiclones subtropicales

## Mean Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jan



Climate Data: NCEP/NCAR Reanalysis at CDC [<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>]

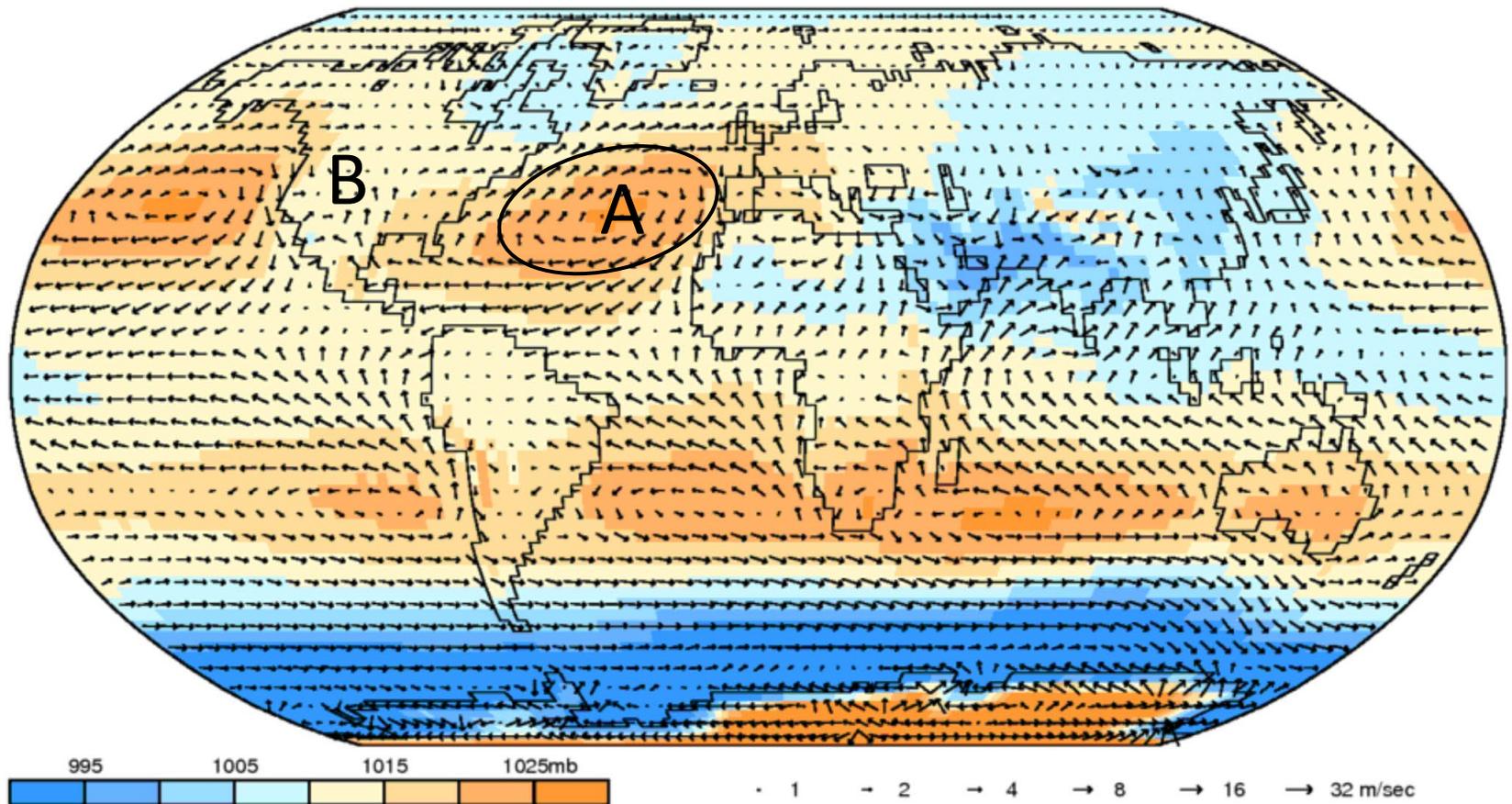
Images: <http://climvis.org>

(1971-2000 base period)

Sobre los océanos se ve algo similar a lo esperado, alisios en los subtropicos y oestes en latitudes medias. Notar que las bandas de altas presiones han sido sustituidas por anticiclones subtropicales

## Mean Sea-Level Pressure and Surface Winds

Jul



Climate Data: NCEP/NCAR Reanalysis at CDC [<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/>]

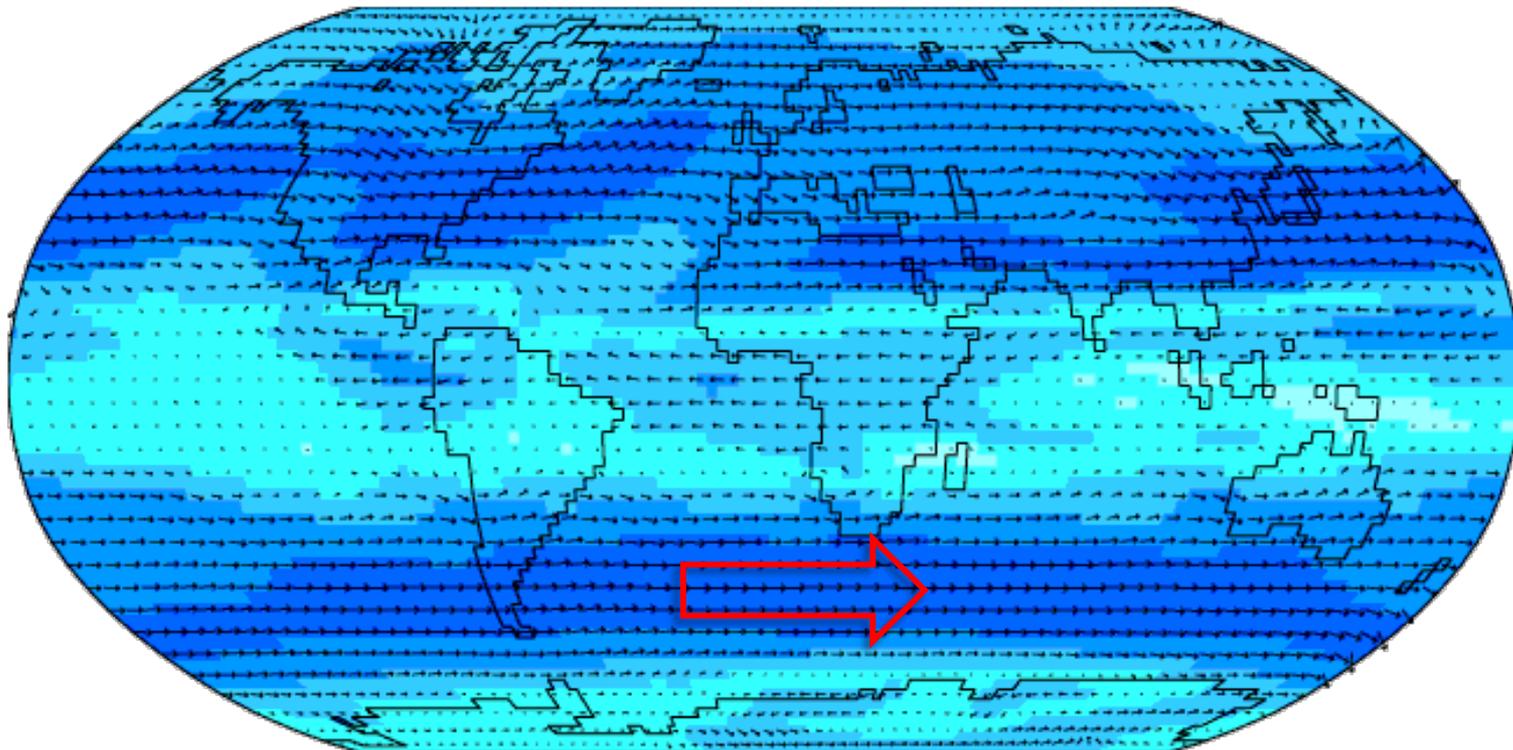
Images: <http://climvis.org>

(1971-2000 base period)

También encontramos el jet en altura....

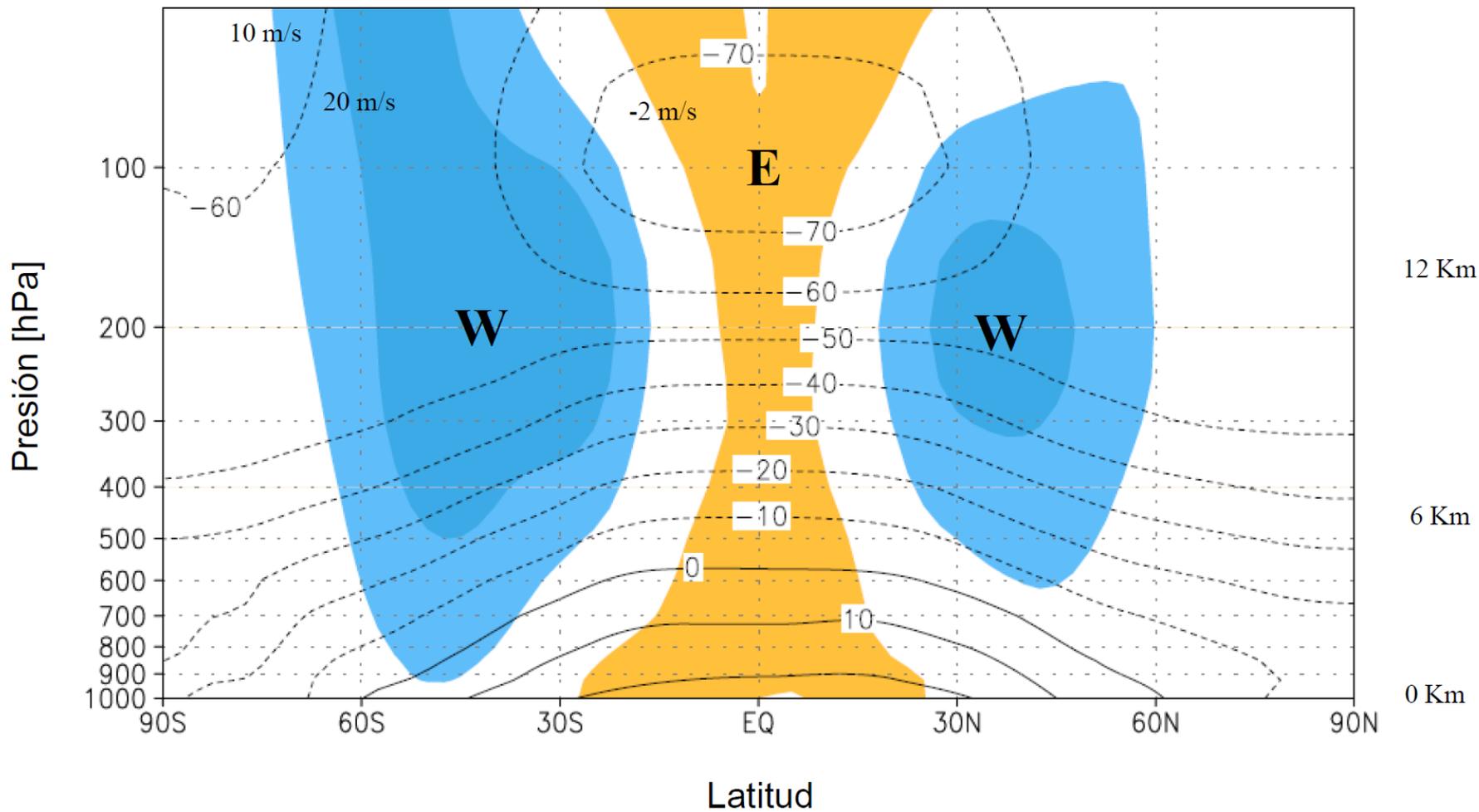
Wind Velocity Magnitudes at 500 mb Height with Wind Vectors

Dec

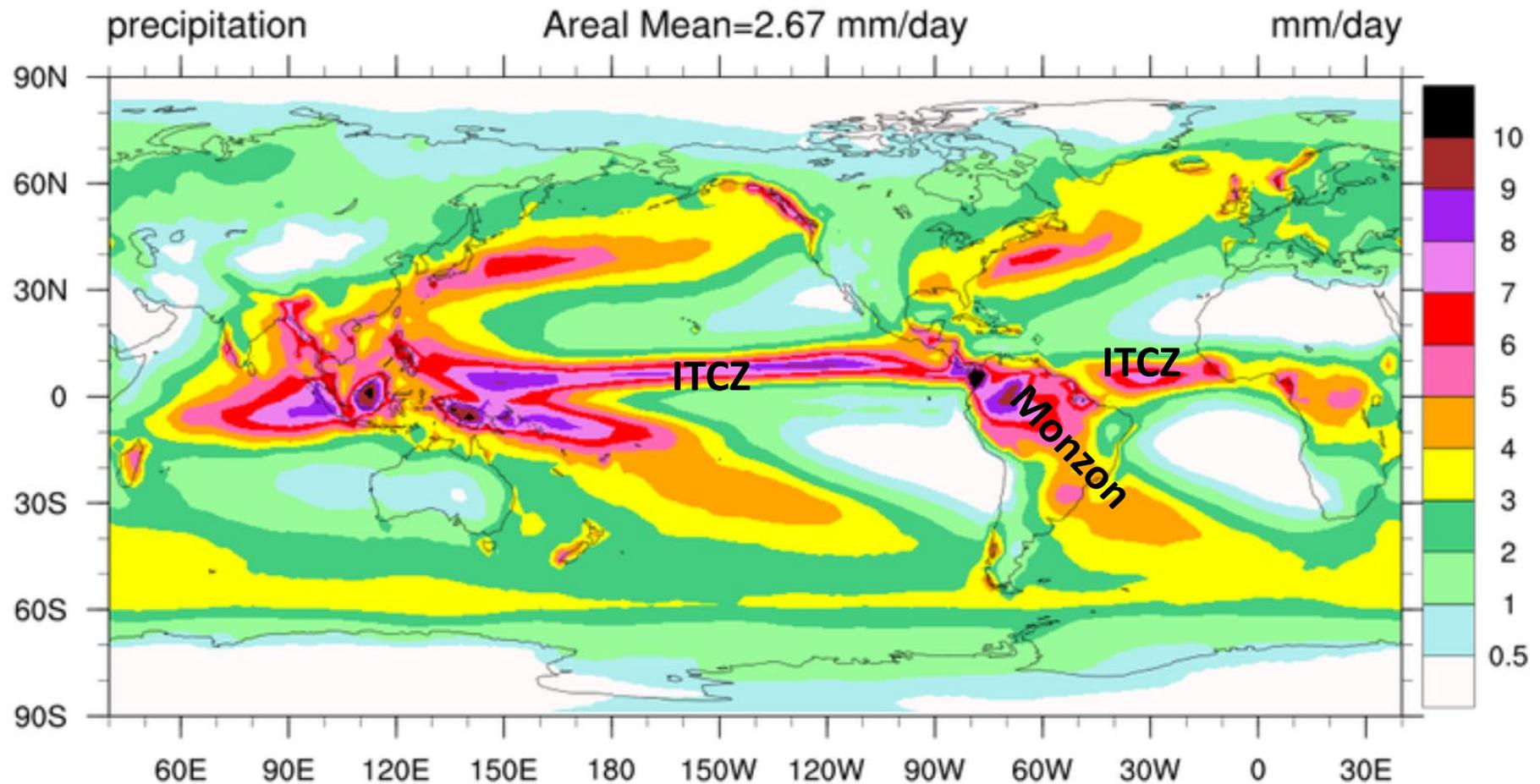


Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies  
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

# Promedio Zonal (0-360°) Climatológico (30 años) de Temperatura

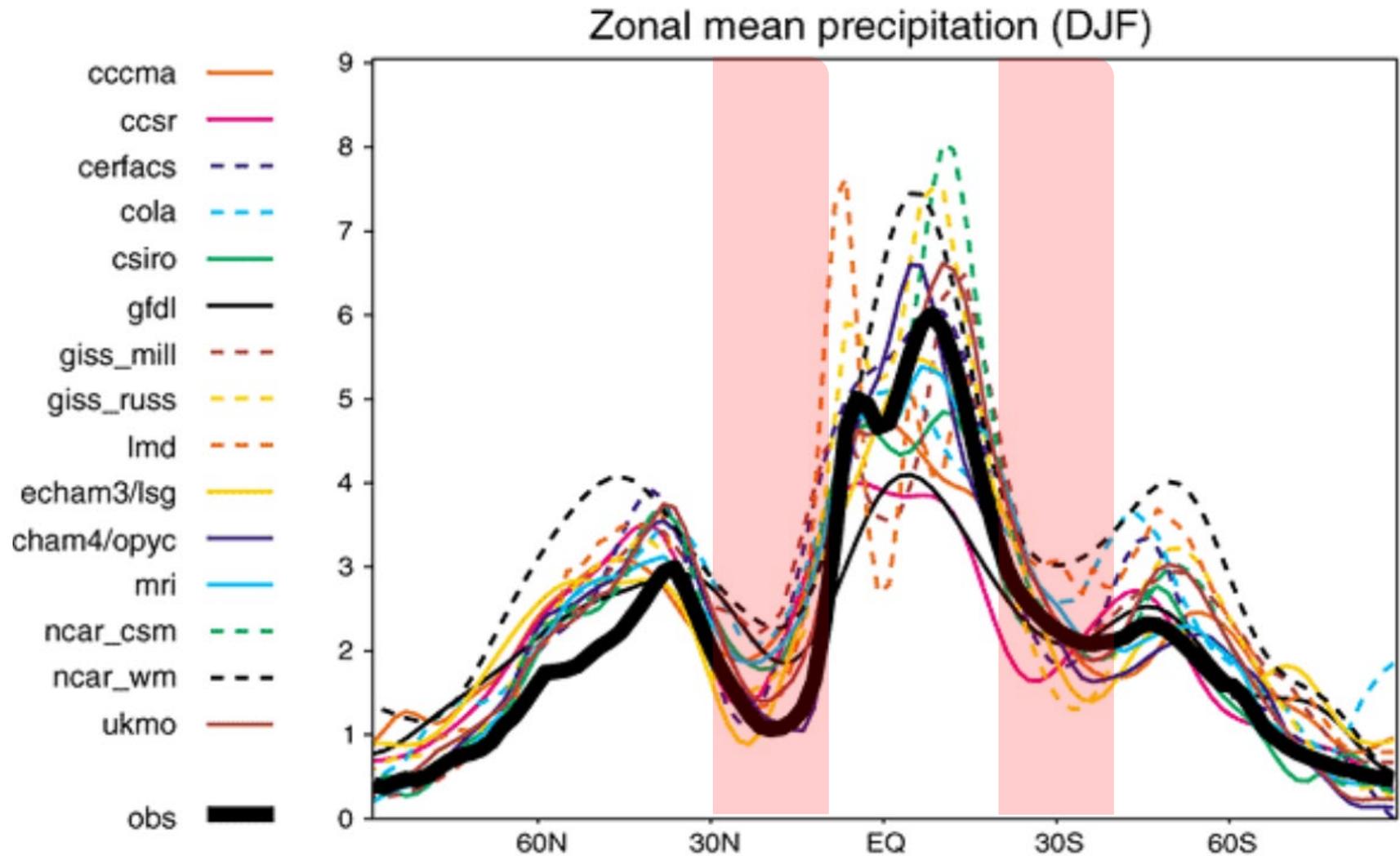


# V22\_GPCP: 1979-2010



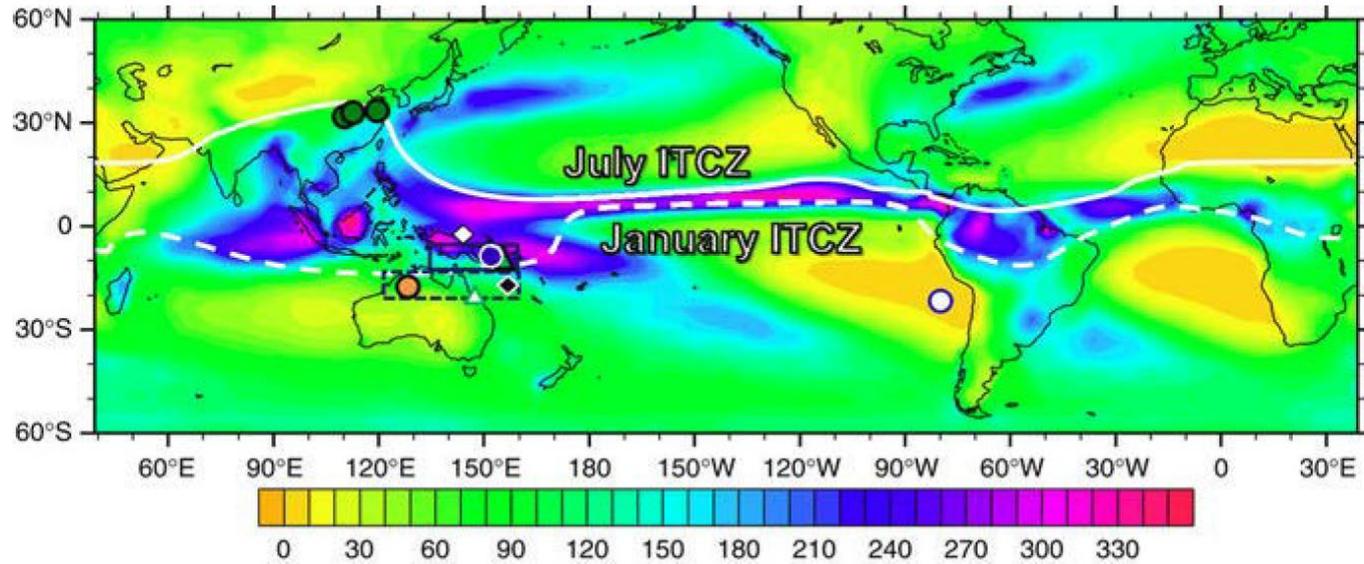
Precipitación media anual (promedio muchos meses y años) es compleja por la influencia de los **continentes** pero aun podemos distinguir el máximo sobre el **ITCZ** y **máximos secundarios en latitudes medias**. Notar además la copiosa precipitación sobre los continentes en latitudes bajas (**monzones** de verano), con máximos de lluvia que se extienden hacia el este. También es evidente el efecto de las **cadenas montañosas extratropicales**, como los Andes del sur

Promedios anual (todos los meses), climatológicos (muchos años) considerando todas las longitudes (0-360°)

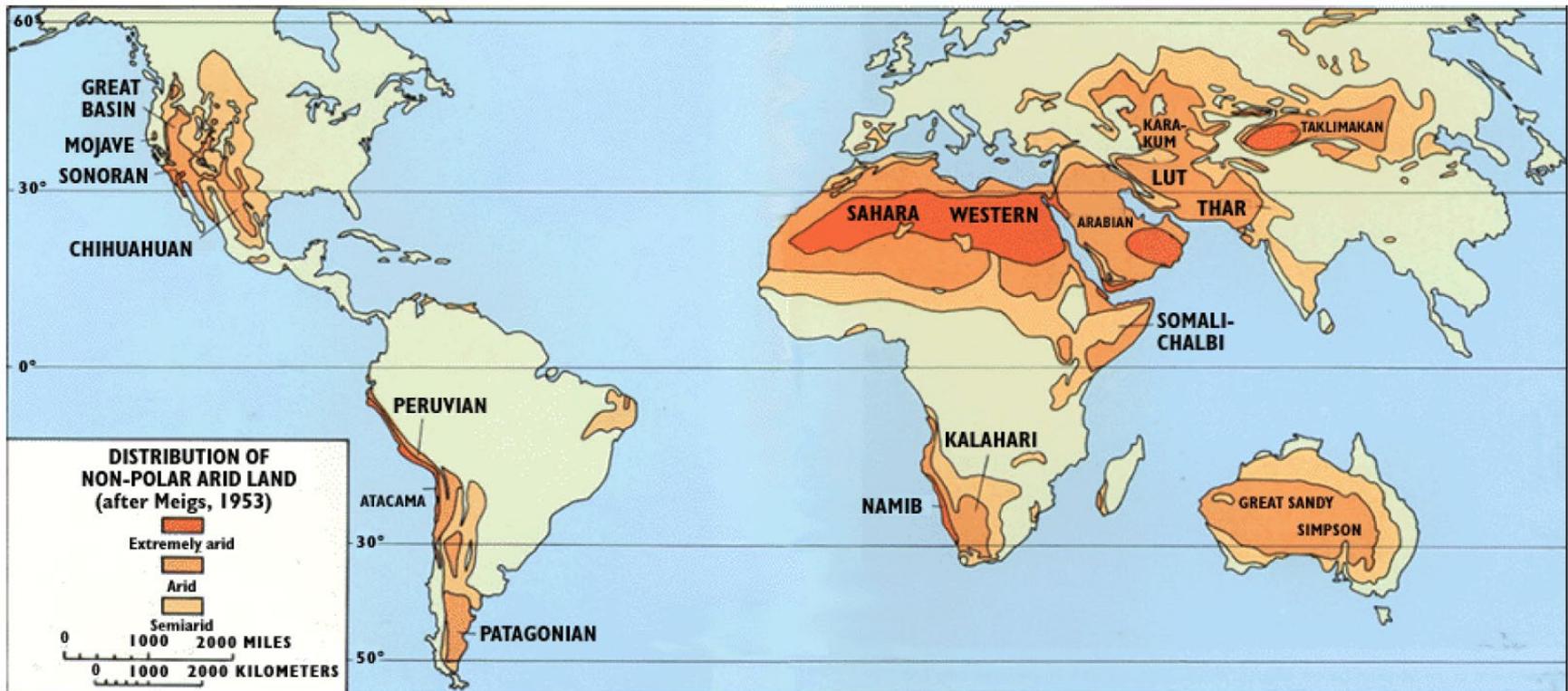


# Rama ascendente de la celda de Hadley generada por la ITCZ

Precipitación media anual (mm/mes)



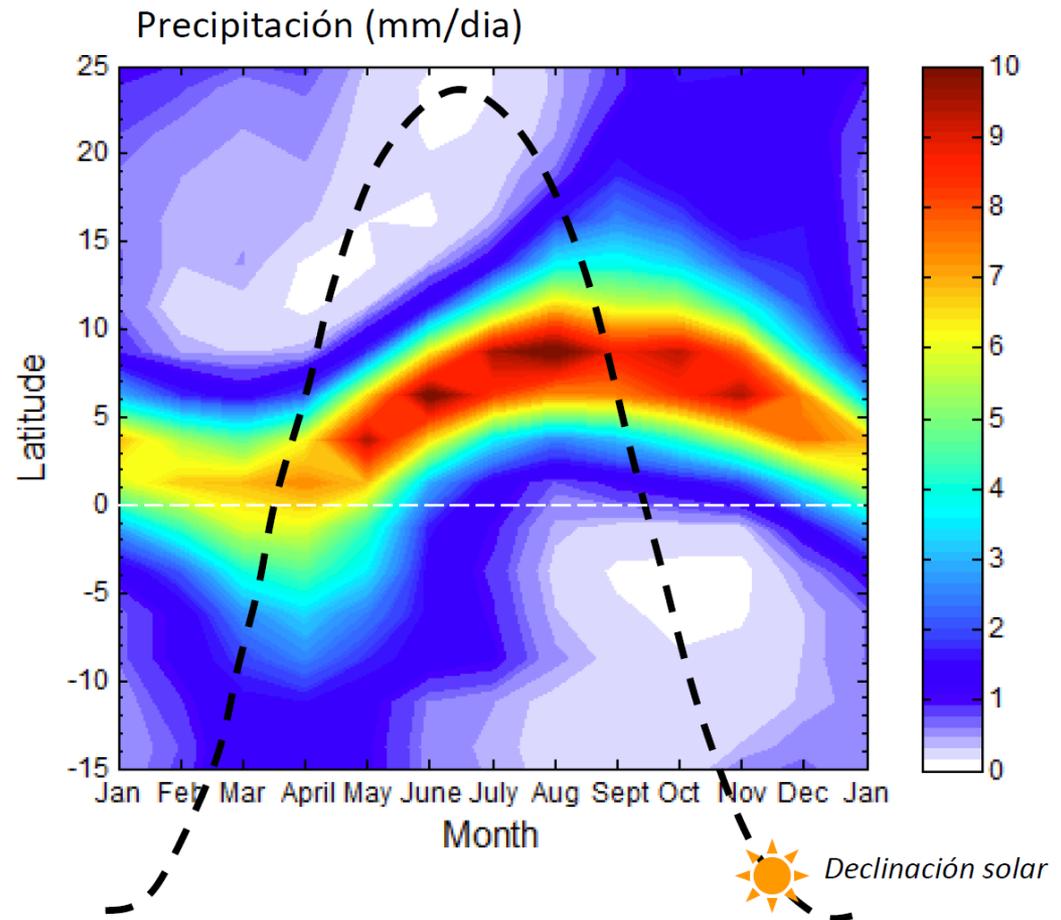
Subsistencia de la celda de Hadley mantiene una banda de altas presiones en los subtropicos y los grande desiertos del planeta



Por ahora hemos considerado que los rayos del sol siempre caen perpendiculares sobre el ecuador terrestre (equinoxio perpetuo), pero debido a la oblicuidad de la tierra la declinación solar cambia durante el año.

Esto produce una migración nortesur del ITCZ y muchos de los rasgos que hemos comentado, aunque el desplazamiento no es tan grande como el rango de la declinación debido a la inercia térmica del océano.

## Migración del ITCZ sobre el Atlántico



Circulación Atmosférica



Circulación Oceánica

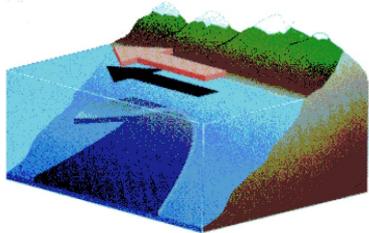
+

Bordes continentales

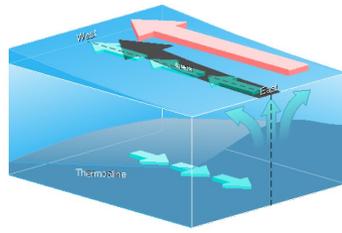


Efectos locales en TSM

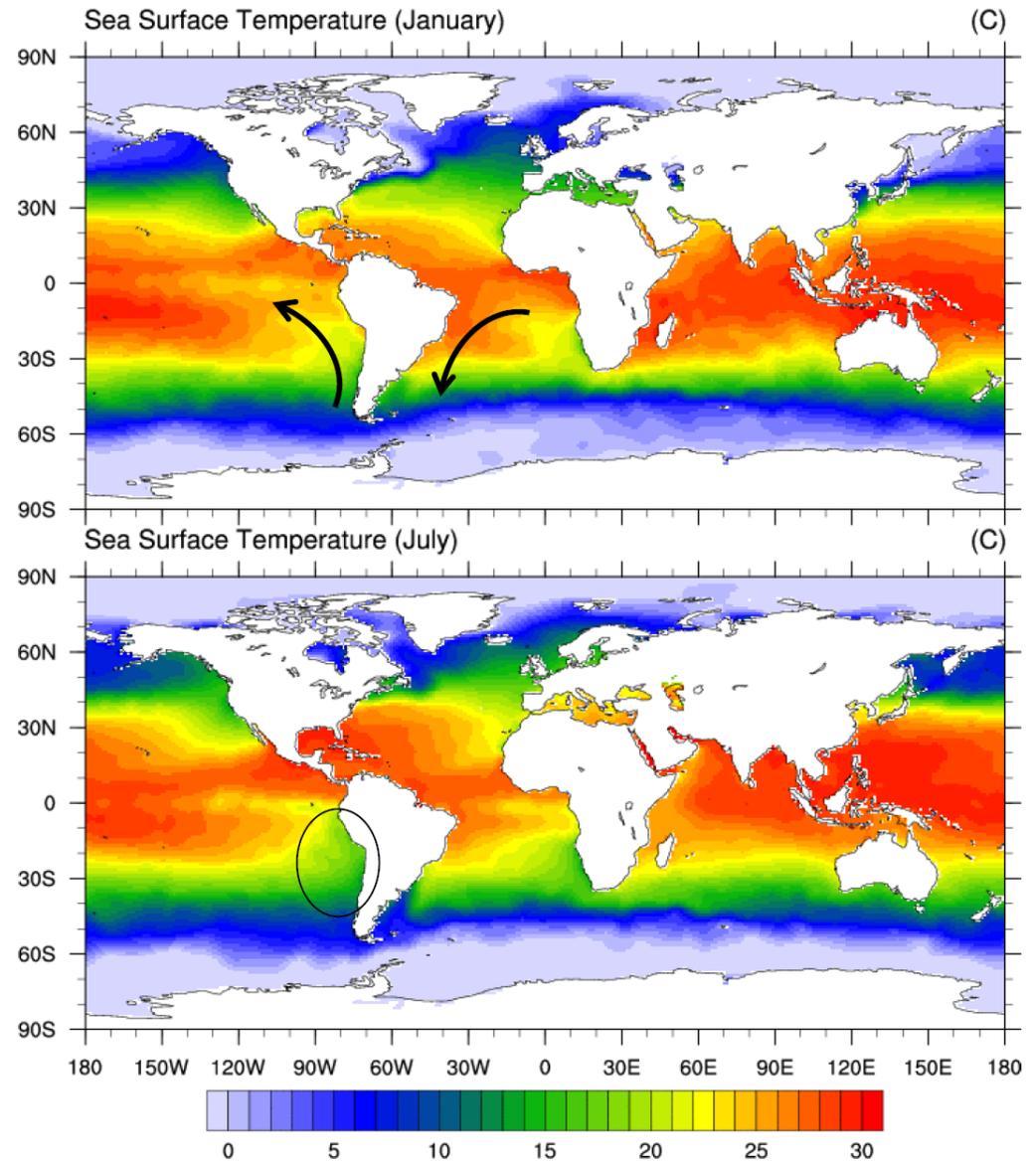
Surgencia: Afloramiento de aguas profundas (frías, ricas en O<sub>2</sub> y nutrientes) por efecto del viento



Surgencia costera



Surgencia ecuatorial



# Aspectos esenciales de la circulación general de la atmosfera observada en nuestro planeta:

- Régimen tropical ( $\pm 10^\circ$ ) con altas precipitaciones, alta humedad y temperatura, y flujo medio del este (evidente en superficie y altura)

)  
Celda de  
Hadley

- Régimen subtropical (en torno a los  $30^\circ$ ) asociado a un mínimo de precipitaciones y condiciones estables

- Régimen de latitudes medias (en torno a los  $45^\circ$ ), con condiciones variables de tiempo, precipitaciones moderadas y flujo del oeste.

)  
Regimen de  
Rossby

- Condiciones frías y secas en latitudes altas

)