

# TEMA 5

# EVENTOS EXTREMOS EN LATITUDES TROPICALES



TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller

# Apartado 5.1

# HURACANES



TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller

# LOS HURACANES

## □ Introducción

- Estructura ciclónica móvil
- Diámetro aproximado 600 km (1/3 del tamaño de una perturbación extratropical)
- Duración de días a una semana.
- Intensidad: presión en el núcleo puede alcanzar 870 mb.
- Energía: puede exceder la que necesitan muchos países durante todo un año → exportación de excedentes energéticos acumulados en latitudes tropicales y equilibrar así el balance energético en dicho ámbito.
- Afectan, con calendario distinto, una amplia faja de tierras y mares del ámbito intertropical.

# LOS HURACANES

## □ Introducción

- Estructura ciclónica móvil
- Pone en juego enormes cantidades de energía: la energía puesta en marcha por un ciclón tropical es capaz de exportar los excedentes energéticos acumulados en latitudes tropicales y equilibrar así el balance energético en dicho ámbito.
- Afectan, con calendario distinto, una amplia faja de tierras y mares del ámbito intertropical.

# LOS HURACANES

## □ Etimología

- Problemas: designado con diferentes nombres, en diferentes partes del mundo
  - Huracán (Caribe), "Willy-Willy" (Australia), tifón (extremo oriente)
- Técnicamente ciclón tropical por:
  - Organización ciclónica del campo de presión
  - Forma circular (100-400 km de diámetro)
  - Gradiente de presión elevado (núcleo central puede bajar hasta  $< 900$  hPa).

# LOS HURACANES

## □ Etimología

- Reciben un nombre cuando una tormenta tropical se convierte en huracán, a partir de una lista creada por la OMM para cada uno de los océanos
- 1953-1977: nombres femeninos.
- 1978 y posterior en el Pacífico Oriental: alternancia de nombres masculinos y femeninos.
- 1979 y posterior en el Atlántico N.
- Se retira el nombre (durante al menos 10 años) de huracanes especialmente dañinos (Andrew 1992, Hugo 1989).

# LOS HURACANES

**TABLE 24.2**

**Atlantic Hurricane Name List**

2008	2009	2010	2011	2012	2013*
Arthur	Ana	Alex	Arlene	Alberto	Andrea
Bertha	Bill	Bonnie	Bret	Beryl	Barry
Cristobal	Claudette	Colin	Cindy	Chris	Chantal
Dolly	Danny	Danielle	Don	Debby	Dean
Edouard	Erika	Earl	Emily	Ernesto	Erin
Fay	Fred	Fiona	Franklin	Florence	Felix
Gustav	Grace	Gaston	Gert	Gordon	Gabrielle
Hanna	Henri	Hermine	Harvey	Helene	Humberto
Ike	Ida	Igor	Irene	Isaac	Ingrid
Josephine	Jaoquin	Julia	Jose	Joyce	Jerry
Kyle	Kate	Karl	Katia	Kirk	Karen
Laura	Larry	Lisa	Lee	Leslie	Lorenzo
Marco	Mindy	Matthew	Maria	Michael	Melissa
Nana	Nicholas	Nicole	Nate	Nadine	Noel
Omar	Odette	Otto	Ophelia	Oscar	Olga
Paloma	Peter	Paula	Philippe	Patty	Pablo
Rene	Rose	Richard	Rina	Rafael	Rebekah
Sally	Sam	Shary	Sean	Sandy	Sebastien
Teddy	Teresa	Tomas	Tammy	Tony	Tanya
Vicky	Victor	Virginie	Vince	Valerie	Van
Wilfred	Wanda	Walter	Whitney	William	Wendy

\*Hurricane names retired in 2007 will be replaced on the 2013 list.



## TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

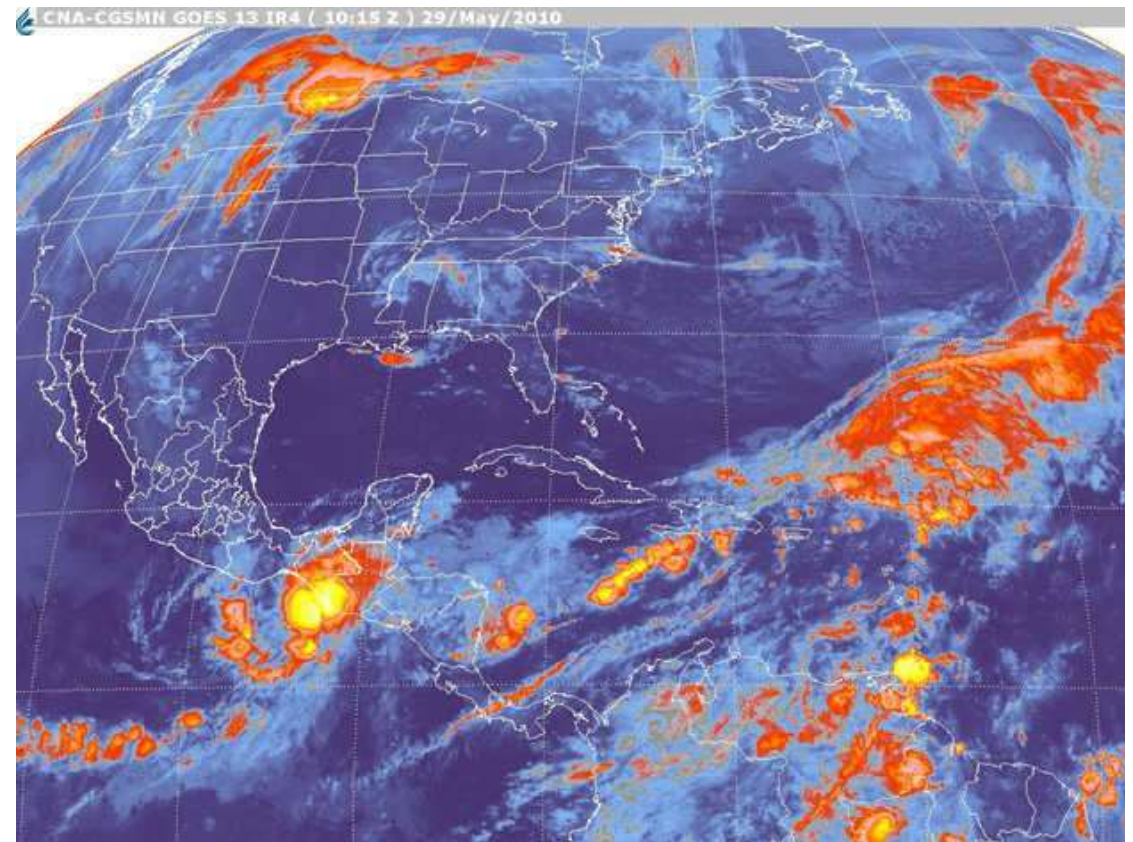
### Taller

# LOS HURACANES

## □ Clasificación

- **Perturbación tropical:**

- Cluster desorganizado de nubes de tormenta con velocidades inferiores a 20 nudos.
- Única isobara cerrada alrededor del mínimo de presión





# LOS HURACANES

## □ Clasificación

- **Depresión tropical:**
  - Clúster de nubes de tormenta con un núcleo de baja presión bien definido en superficie (isobaras cerradas) y vientos y vientos hasta 34 nudos



# LOS HURACANES

## □ Clasificación

- **Tormenta tropical:**
  - Velocidad del viento superior a los 34 kt



# LOS HURACANES

## □ Etimología

### • Huracán:

- Huracán (estricto) viento > 117 km/h
- A su vez subdividida en 5 clases, siendo la 5ª la más grave (vientos de > 249 km/h)

**Table 12-2 The Saffir-Simpson Scale**

Category	Pressure mb	Wind Speed		Storm Surge		Damage
		km/hr	mph	m	ft	
1	≥ 980	119–154	74–95	1–2	4–5	Minimal
2	965–979	155–178	96–110	2–3	6–8	Moderate
3	945–964	179–210	111–130	3–4	9–12	Extensive
4	920–944	211–250	131–155	4–6	13–18	Extreme
5	< 920	> 250	> 155	> 6	> 18	Catastrophic

# LOS HURACANES

## □ Clasificación

- **Diferencias** entre un huracán y una borrasca de latitudes medias:
  - Masas de aire → homogéneas (huracán, sistemas frontales), heterogéneas (borrasca o perturbación extratropical)
  - Nubosidad → cumulonimbos (huracán), diversidad asociada a los sistemas frontales
- Existen transiciones

# LOS HURACANES

## □ Formación

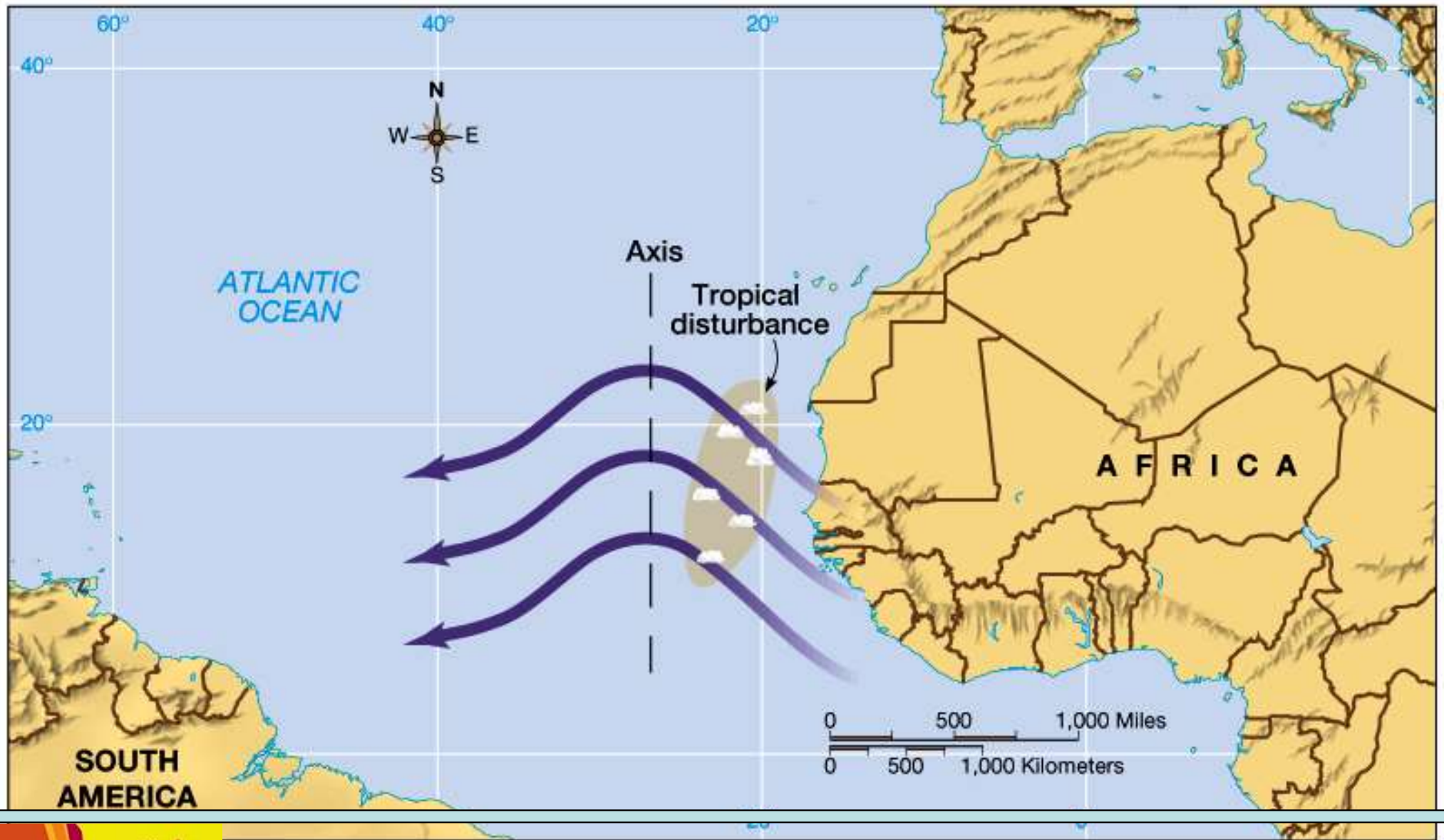
- **Máquina térmica que transforma energía termodinámica en cinética**
- **Manifestación de la necesaria disipación de energía acumulada en latitudes tropicales** (equilibrio térmico global)
- Condición inicial → cluster de nubes de tormenta que se organiza

# LOS HURACANES

## □ Formación

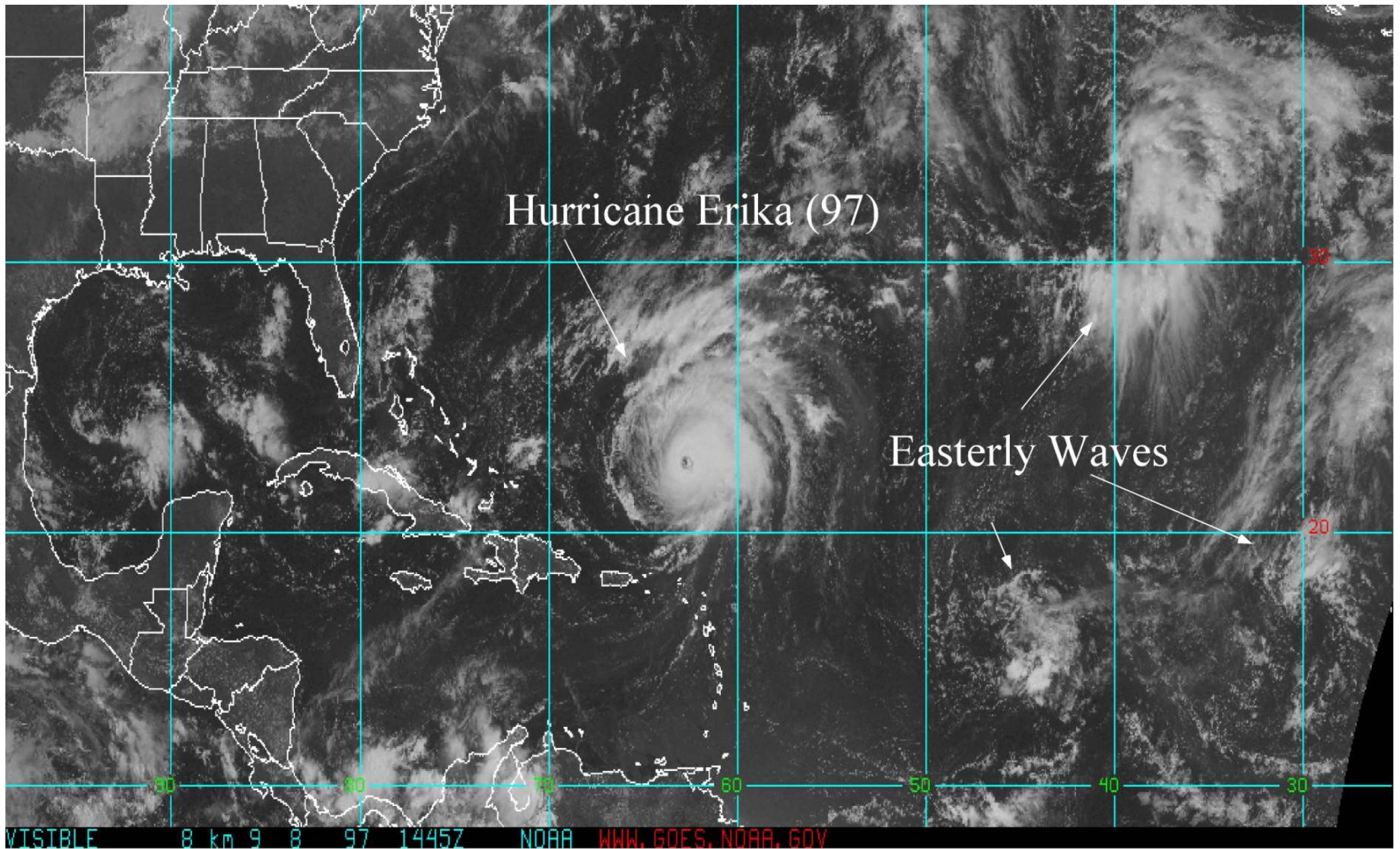
- ¿Qué provoca la formación de cluster de nubes de tormenta en los trópicos?
  - Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ): nubes “poit au noir”
  - Irregularidades en el desplazamiento de los alisios (pe. Ondas del E)
  - “lignes du grain” o líneas de turbonada nacidas en el monzón, que luego pasan a los alisios
  - Frentes fríos procedentes de latitudes medias

# LOS HURACANES



TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller



Courtesy of NOAA



## TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller

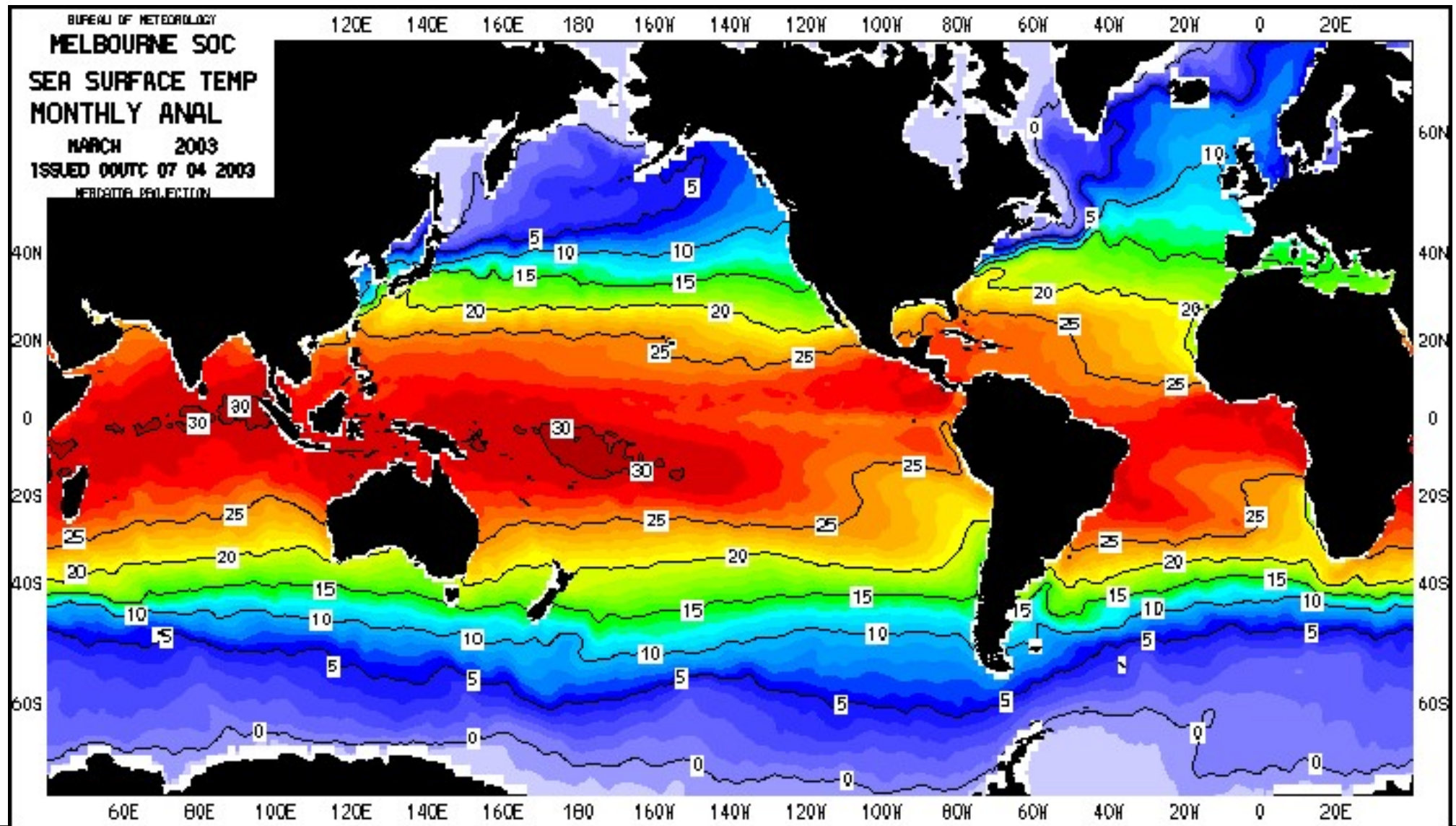


# LOS HURACANES

## □ Formación

- Conversión de nubes de tormenta en huracán → acumulación de calor y vapor de agua sobre un gran espesor → sectores occidentales de océanos
  - Temperatura del mar  $> 27^{\circ}\text{C}$
  - Capa de agua cálida profundidad  $> 60\text{ m}$
- La condensación de grandes cantidades de vapor de agua → liberación de calor latente en la parte central (elevadas temperaturas en el ojo; núcleo cálido)
- Esta energía permite el mantenimiento de las ascendencias

# LOS HURACANES



# LOS HURACANES

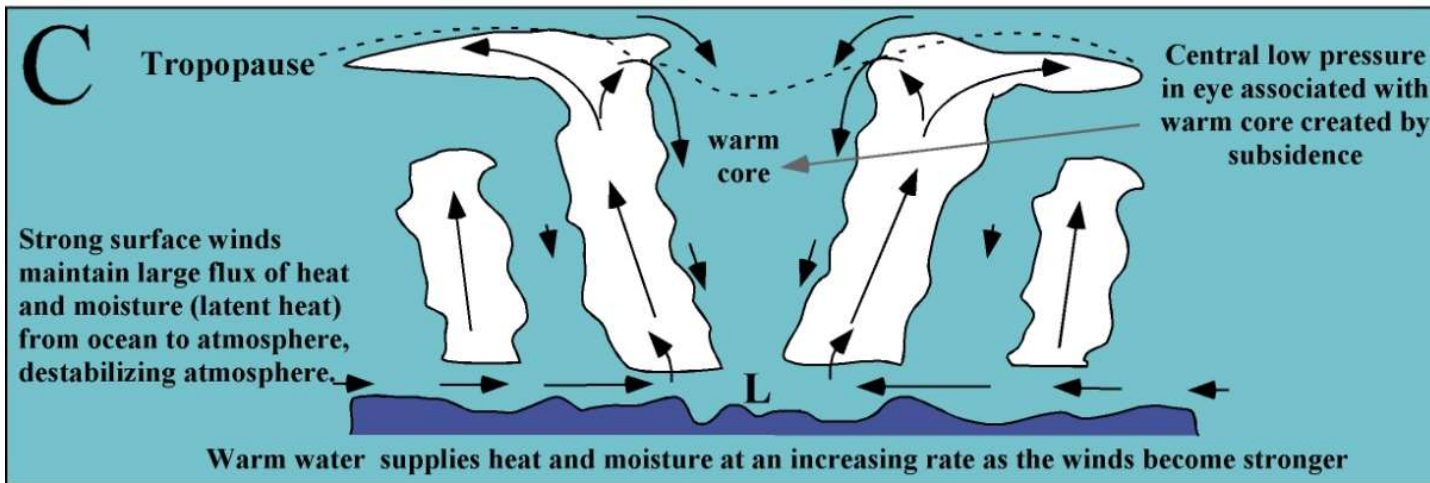
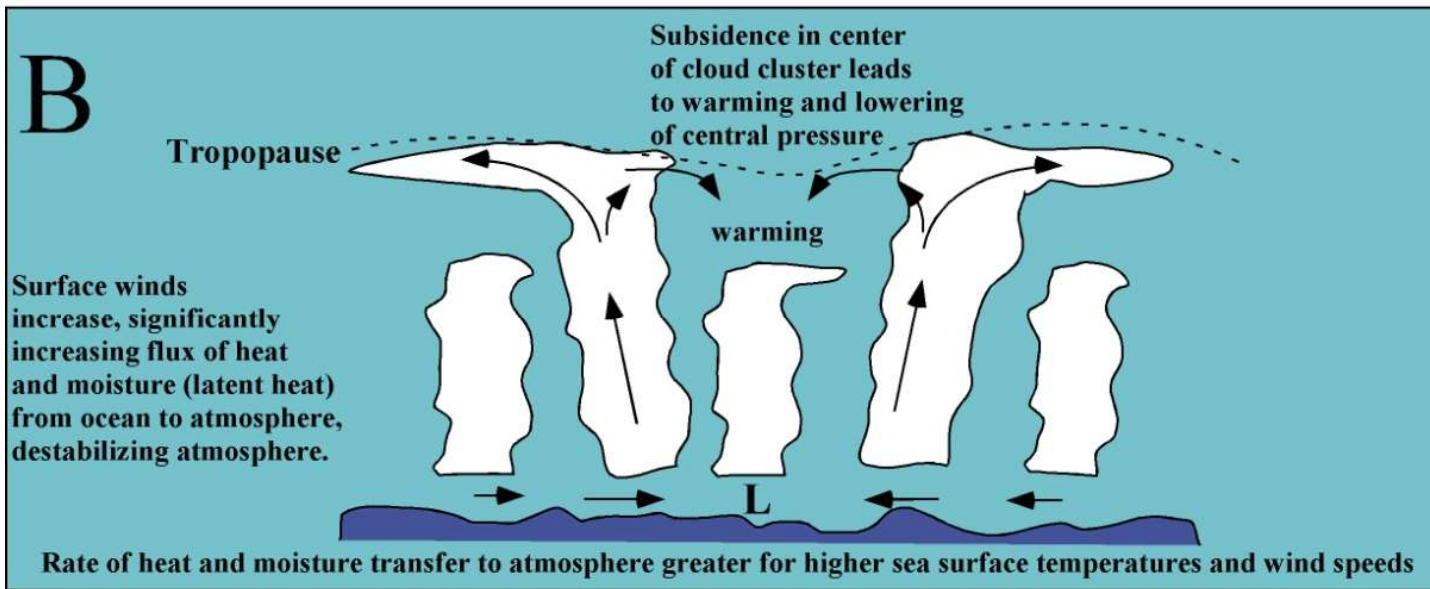
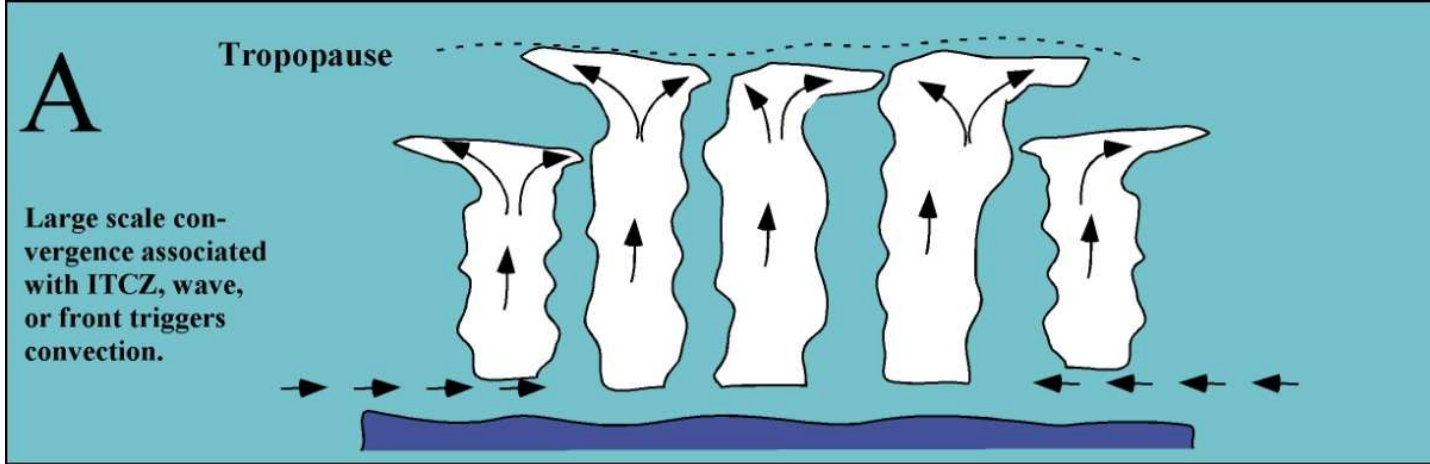
## □ Formación

- Conversión de Cluster de nubes de tormenta en huracán
  - No vientos fuertes en altitud → la cizalladura reduce el mecanismo de tiro (los huracanes nacen lejos de las corrientes Jet subtropicales) (200 mb - 850 mb < 10 kt).
  - La fuerza de Coriolis debe supercar un valor crítico → solo se forman en latitudes entre 5°-20°

# LOS HURACANES

## □ Formación

- Conversión de Cluster de nubes de tormenta en huracán
  - Divergencia en las capas altas de la atmósfera
  - Flanco occidental de un anticiclón
  - Flanco oriental de una vaguada → descenso en latitud de los meandros de la circulación del W (divergencia en altura)



# LOS HURACANES

## □ Formación

### HURRICANE FORMATION

#### Trigger Mechanisms for initial Thunderstorms

1. Intertropical convergence zone
2. Easterly waves in trade wind flow
3. Cold fronts extending into tropics

#### Environment required for Hurricane formation

1. Sea surface temp  $> 27^{\circ}\text{C}$
2. Deep layer of warm water
3. Weak wind shear
4. At least  $5^{\circ}$  from equator

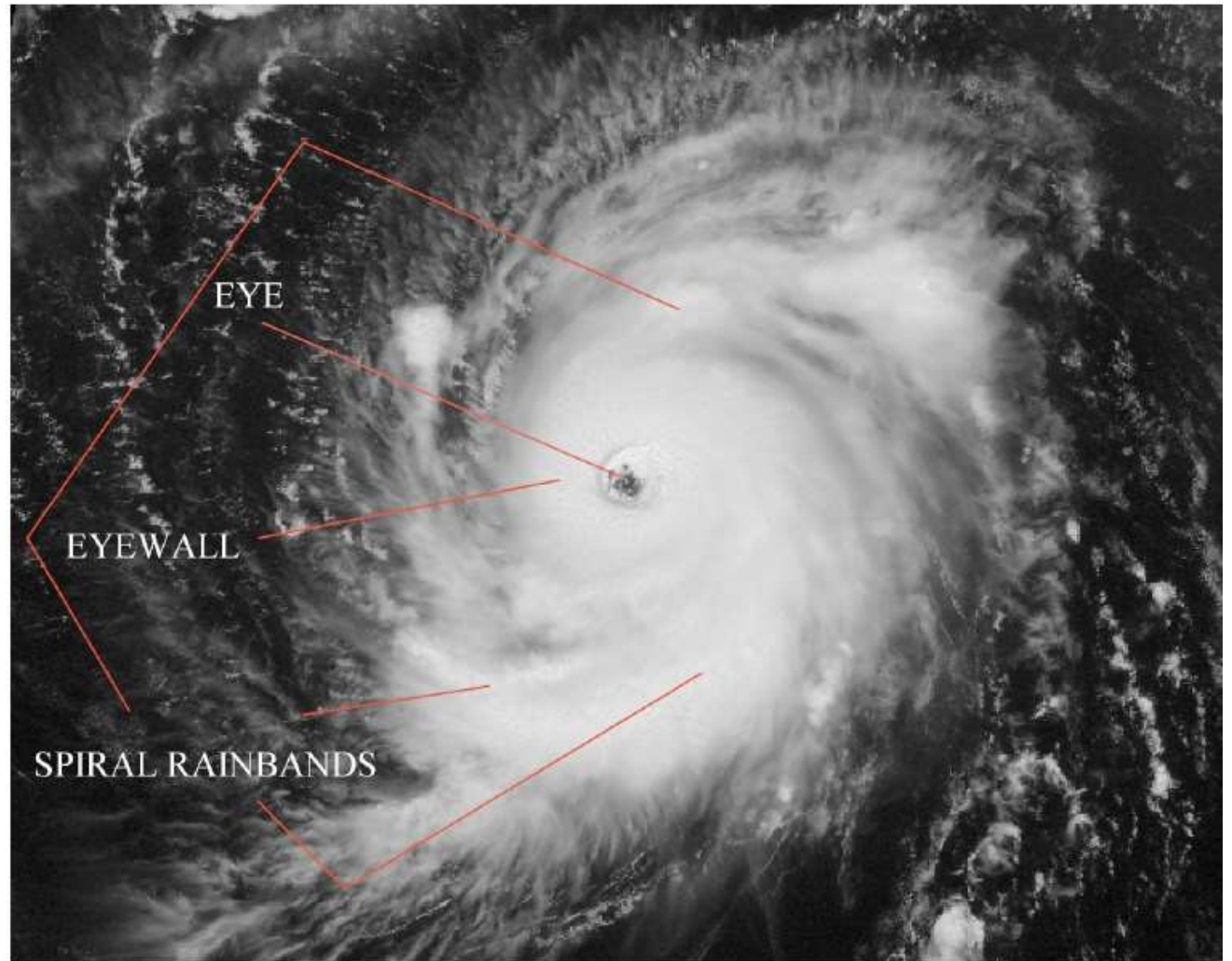
#### Spin up of thunderstorm clusters into Hurricane

1. Wind induced transfer of heat from the ocean to the atmosphere
2. Conservation of angular momentum

# LOS HURACANES

## □ Estructura

- Ojo central
- Banda nubosa de grandes cumulonimbus (pared)
- Espiral de bandas nubosas individuales, con movimientos verticales suaves y baja precipitación

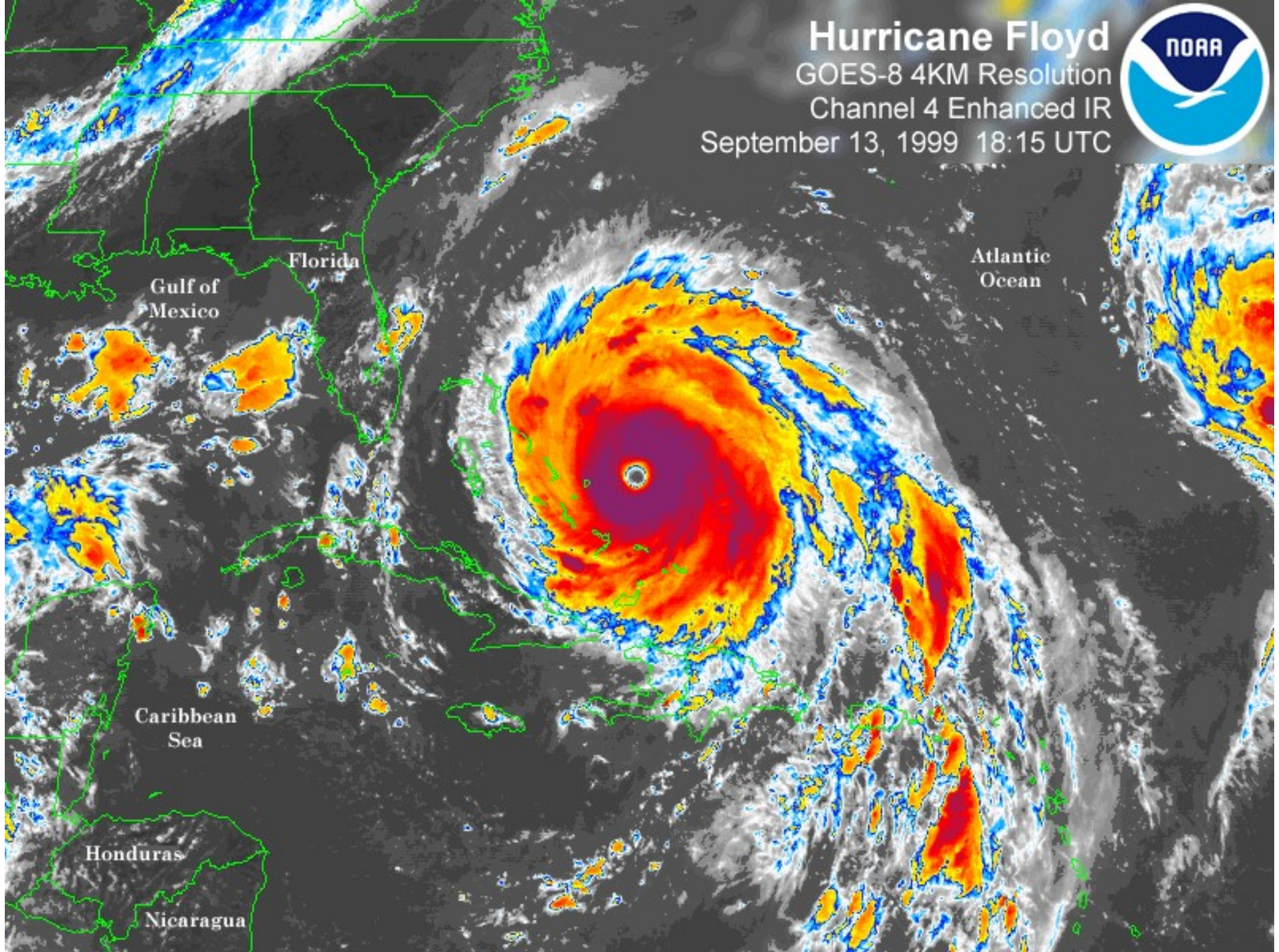


# Hurricane Floyd

GOES-8 4KM Resolution

Channel 4 Enhanced IR

September 13, 1999 18:15 UTC



Florida

Gulf of Mexico

Atlantic Ocean

Caribbean Sea

Honduras

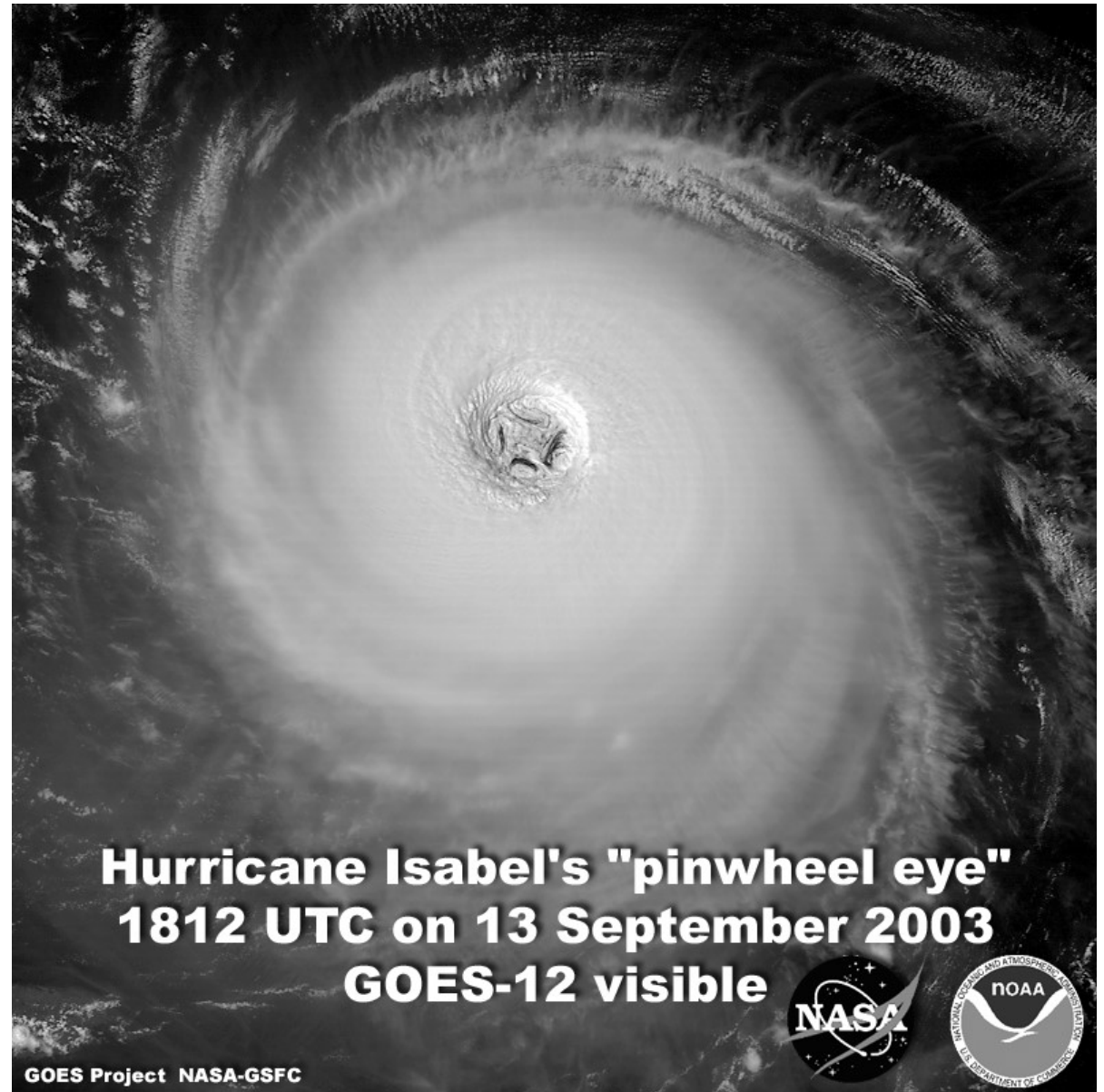
Nicaragua



# LOS HURACANES

## □ Estructura

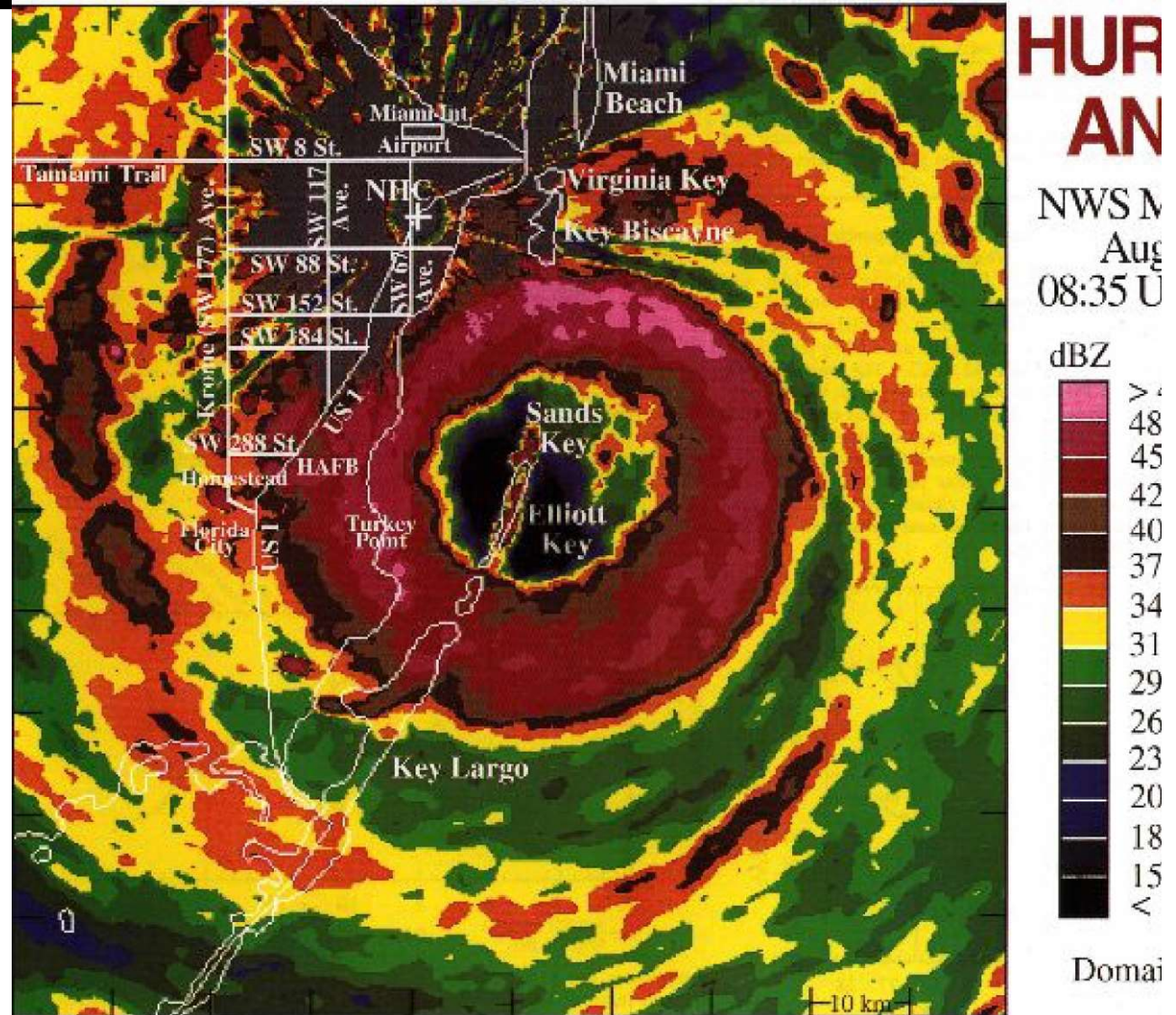
- Ojo central
- Zona de aire descendente, cielos claros y vientos ligeros
- Tamaño: diámetro 25 km, cuando se encoje indica intensificación
- Velocidad del ojo: 20 km/hr → la mejoría es transitoria y no durará más de 1 h.



# LOS HURACANES

## □ Estructura

- La pared → vientos más fuertes, nubes más altas y precipitaciones más intensas (hasta 2500 mm/día)

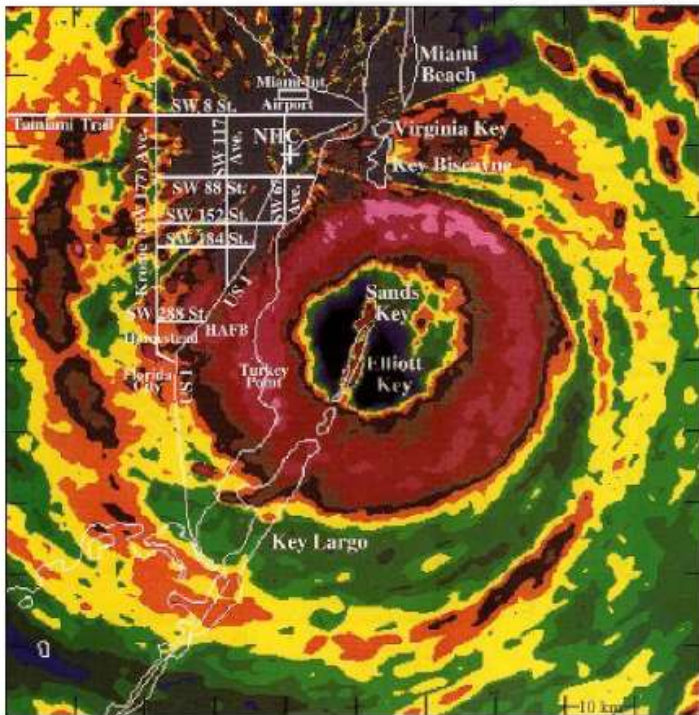


Courtesy NOAA/National Climate Data Center

# LOS HURACANES

## □ Estructura

Hurricane Andrew (1992)



Courtesy NOAA/National Climate Data Center

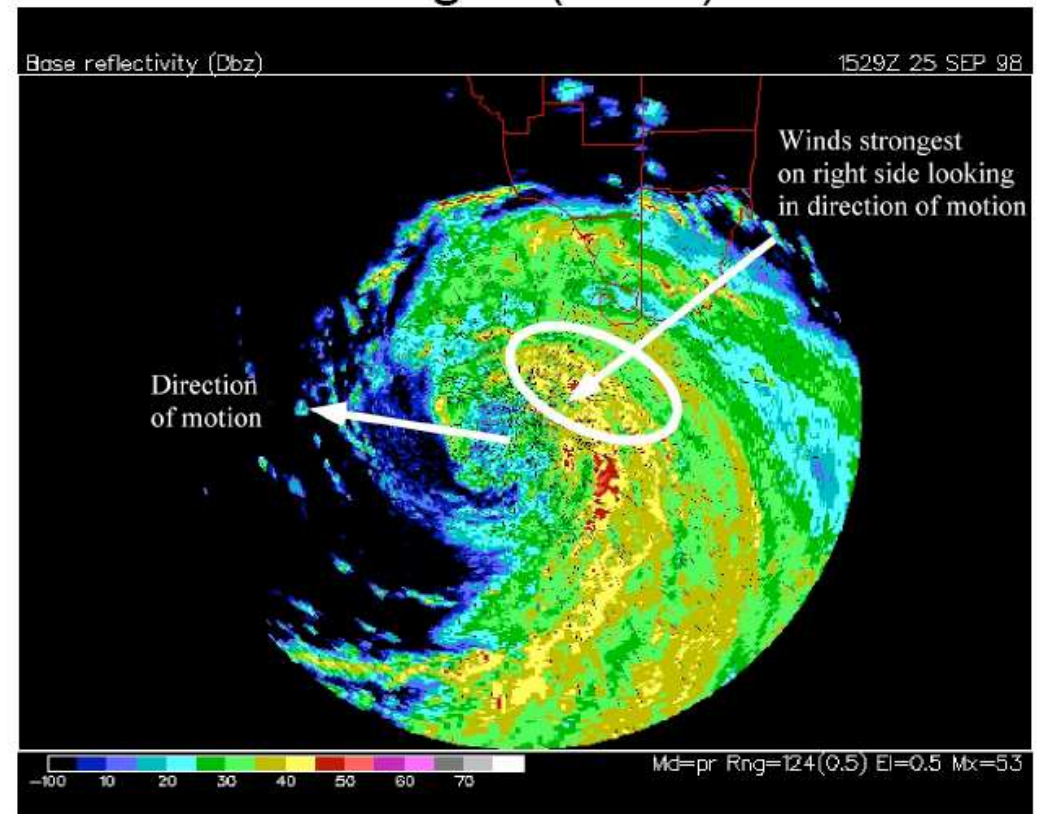
### HURRICANE ANDREW

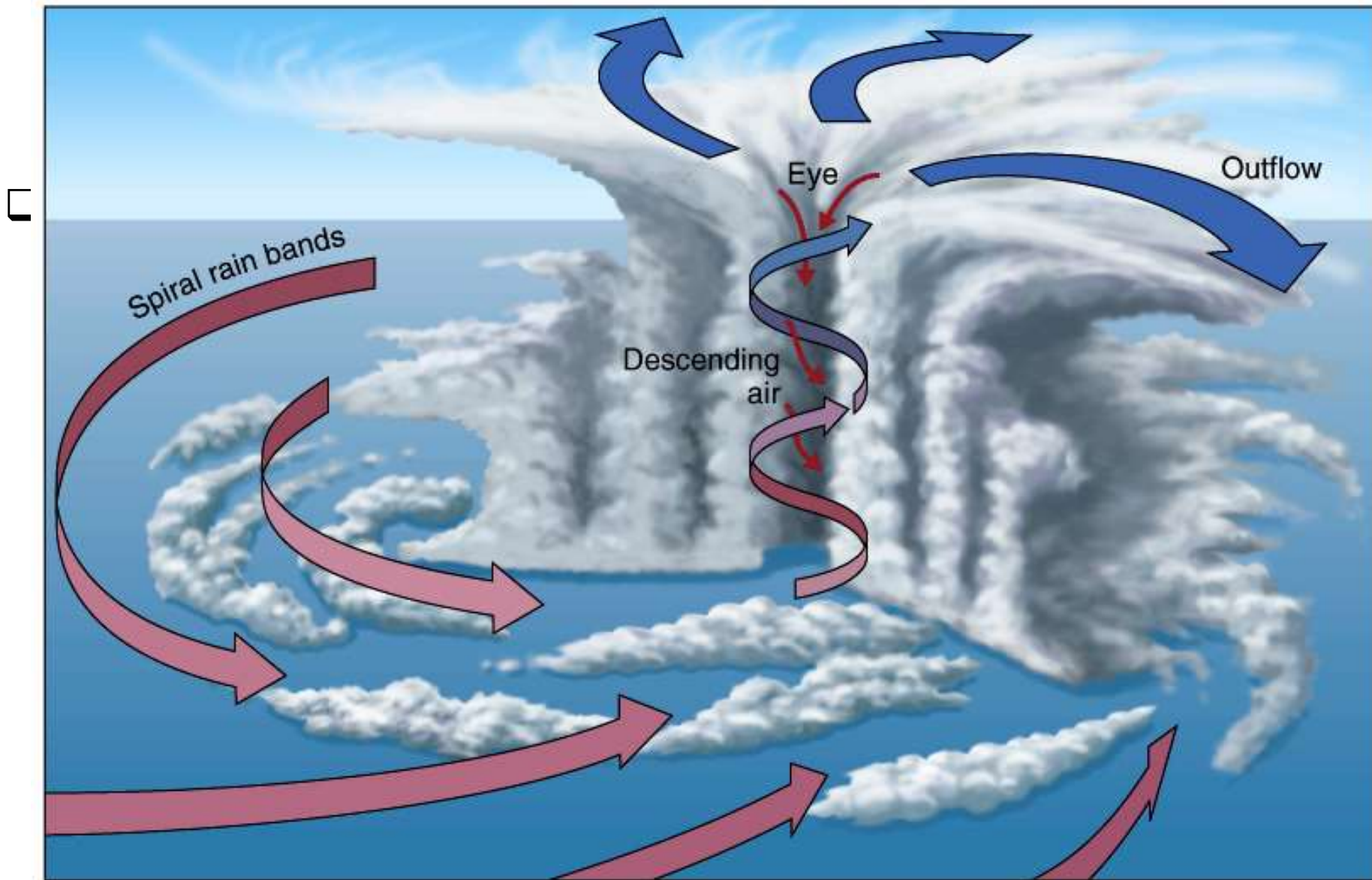
NWS MIAMI RADAR  
August 24, 1992  
08:35 UTC 04:35 EDT



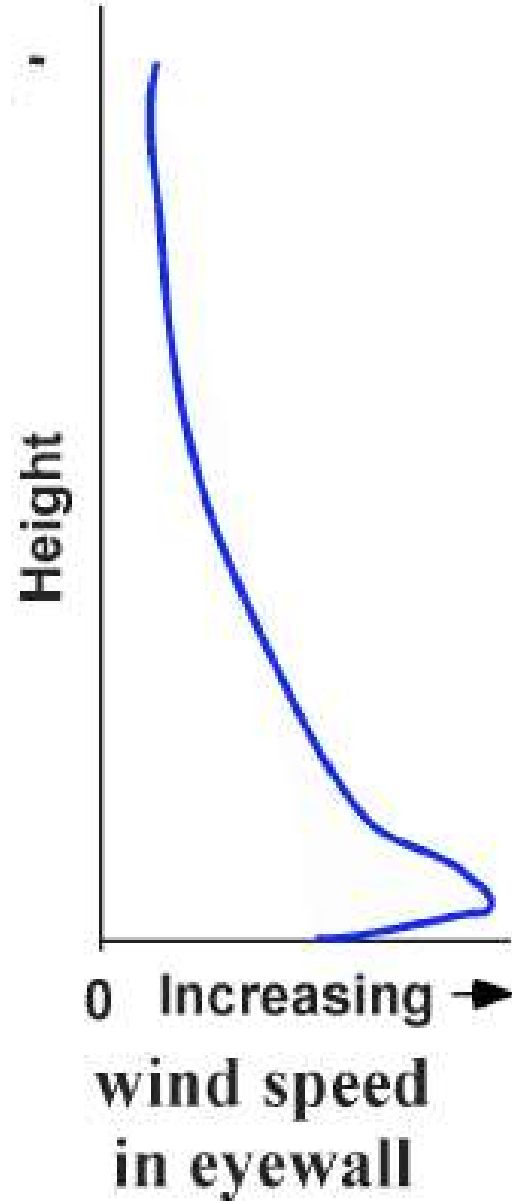
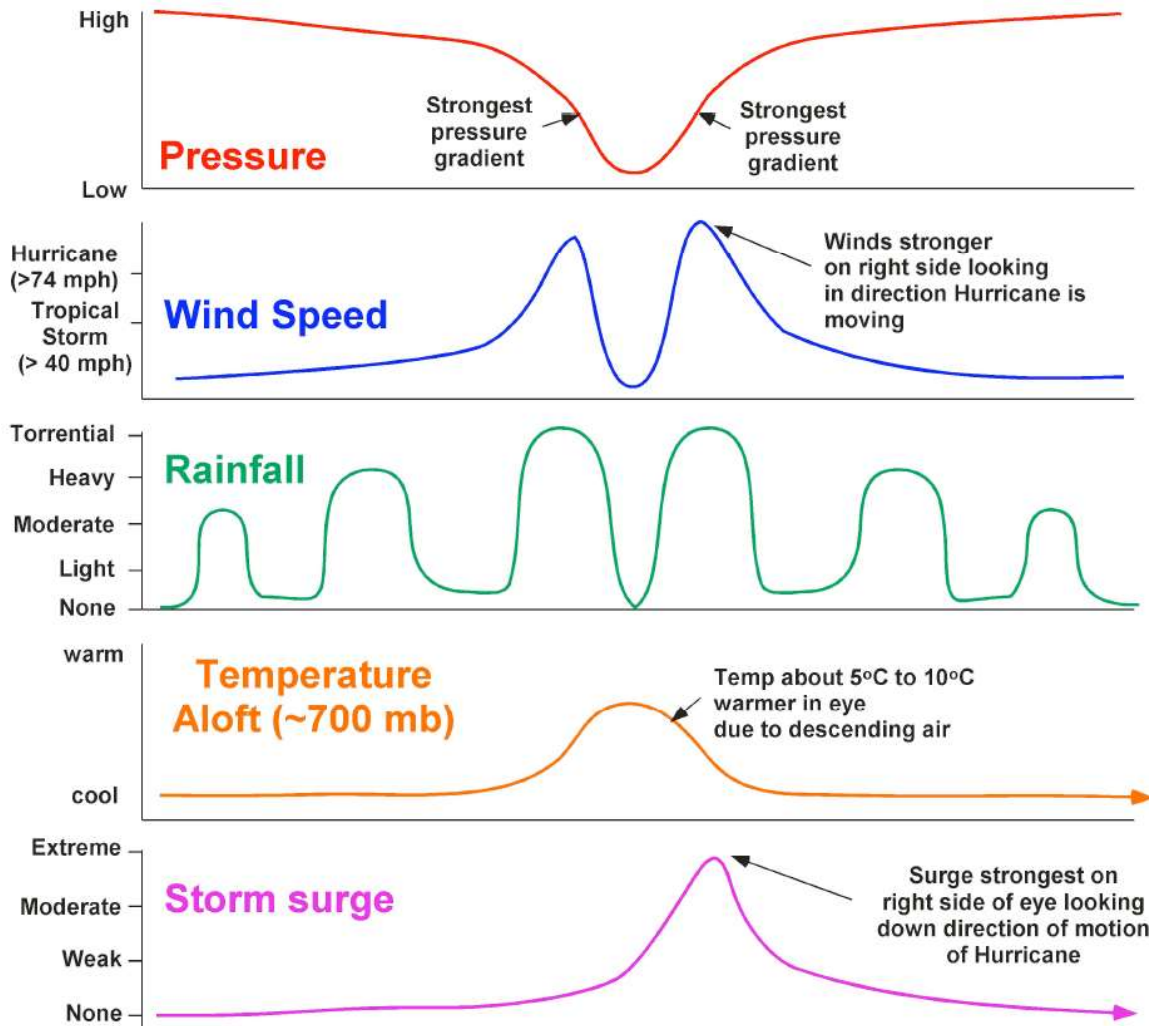
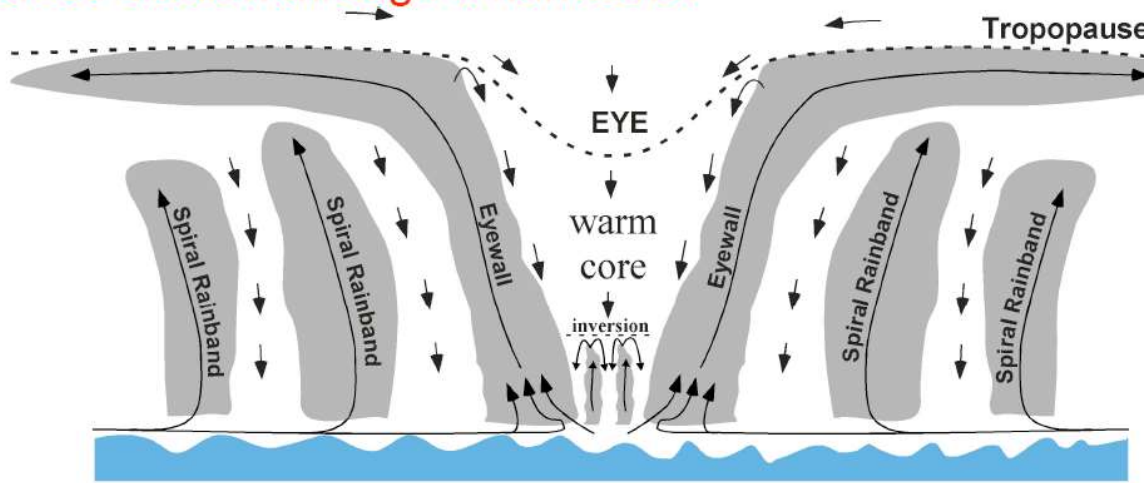
Domain: 100 x 100 km

Hurricane Georges (1998)





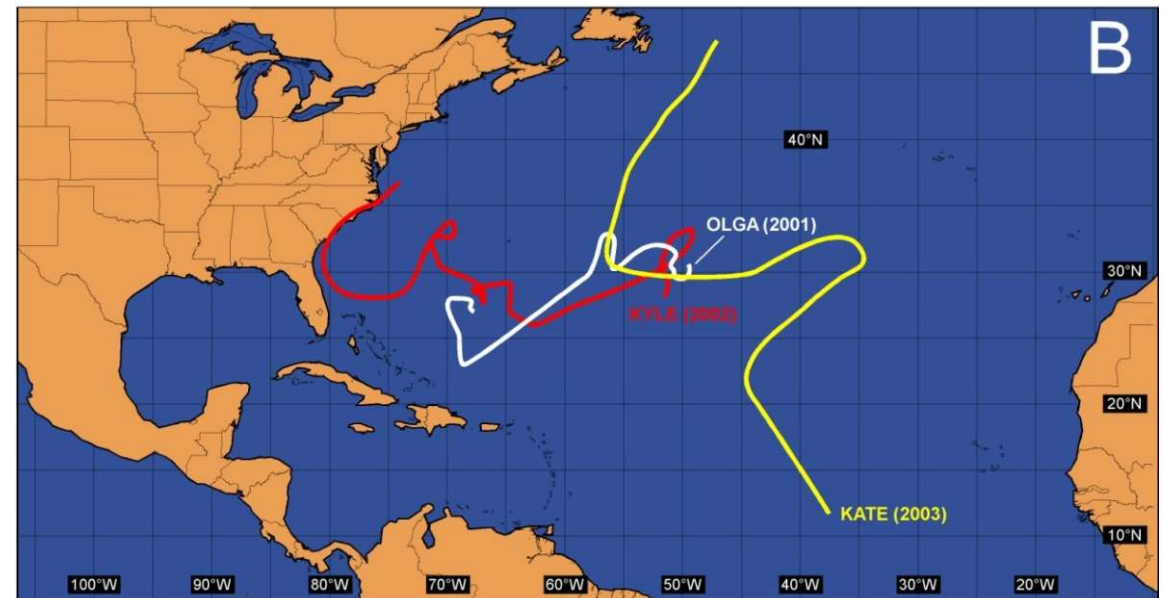
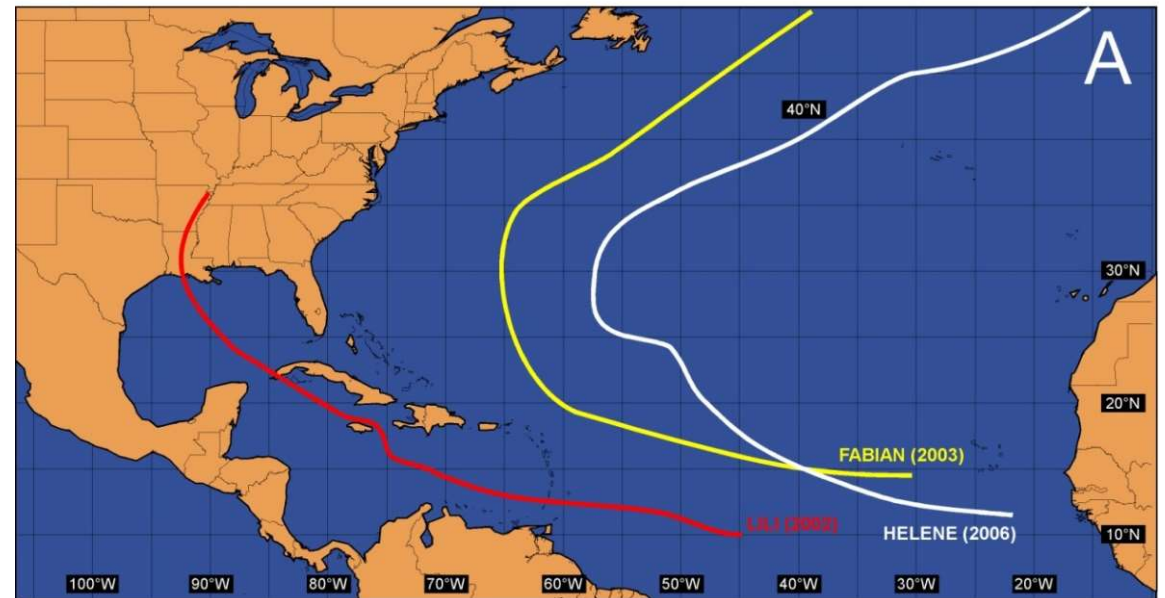
# Cross-section through a hurricane:



# LOS HURACANES

## □ Movimiento

- Velocidad del orden de 15-30 km
- Trayectoria tortuosa (previsión problemática) → si los vientos en altura son flojos se desplazan lentamente y con cambios de dirección constantes

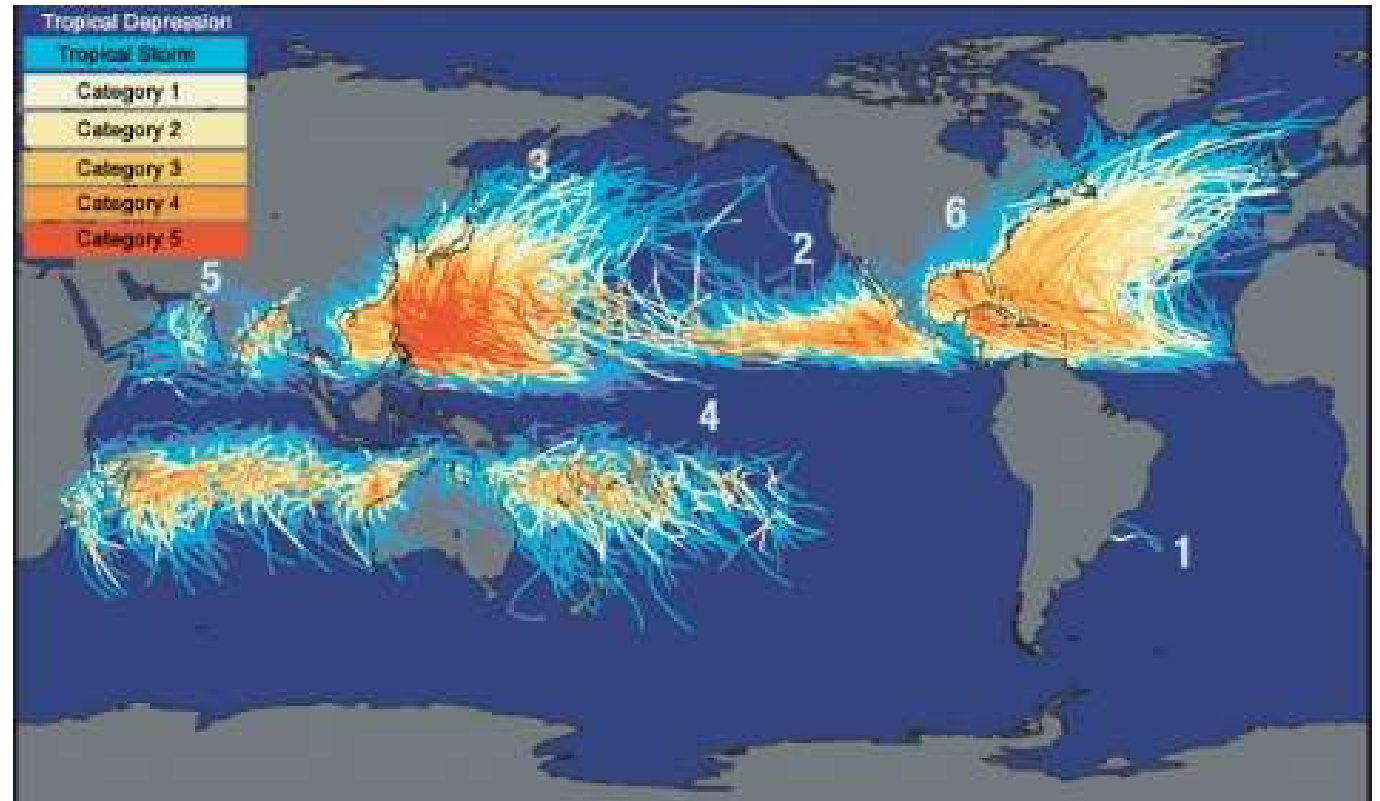


© Kendall/Hunt Publishing

# LOS HURACANES

## □ Movimiento

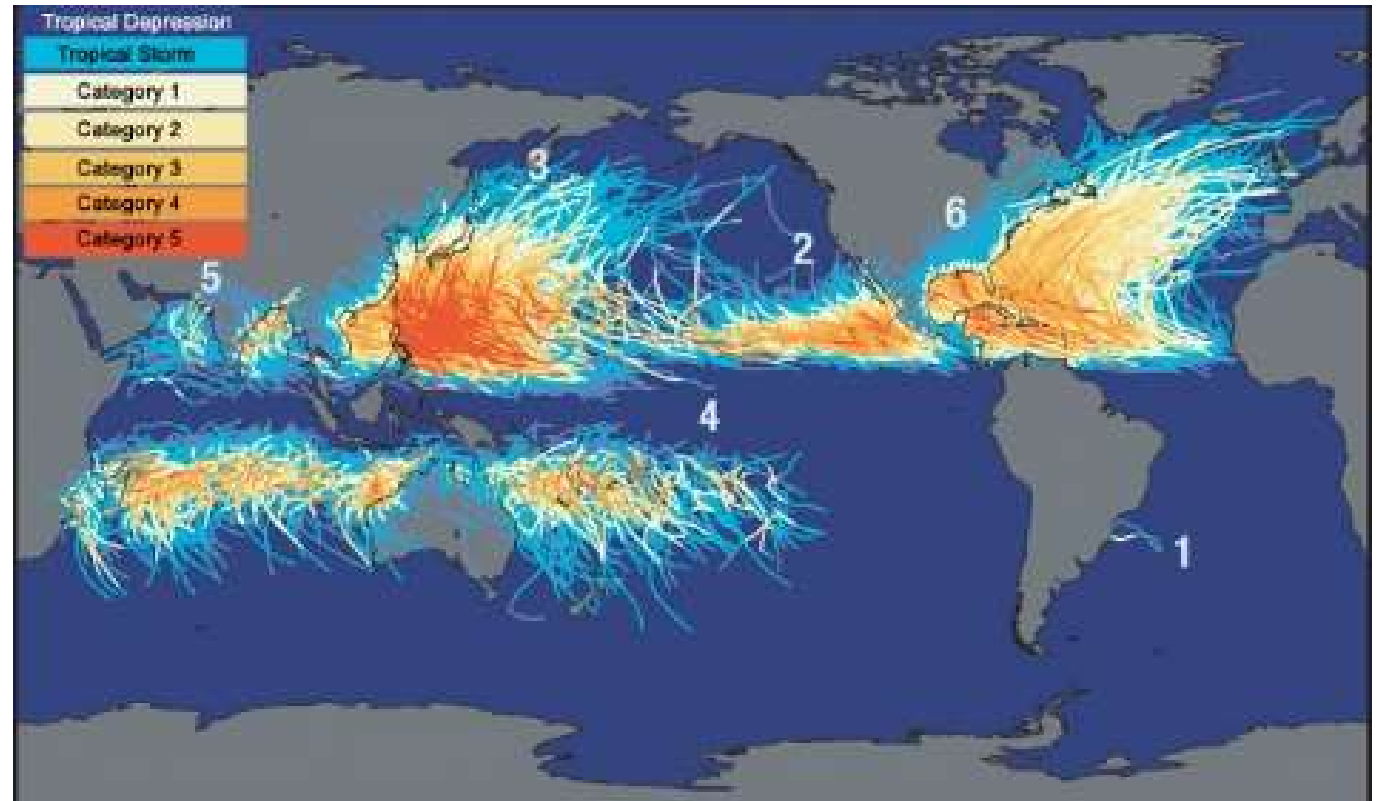
- A escala global, siguen el margen de los anticiclones subtropicales
- En los trópicos de E a W (alisios)
- En zonas subtropicales 180° cambio de dirección.



# LOS HURACANES

## □ Movimiento

- En zonas templadas W a E (westerlies).
- Si coinciden con un seno de bajas presiones tienden a viajar en la parte frontal.

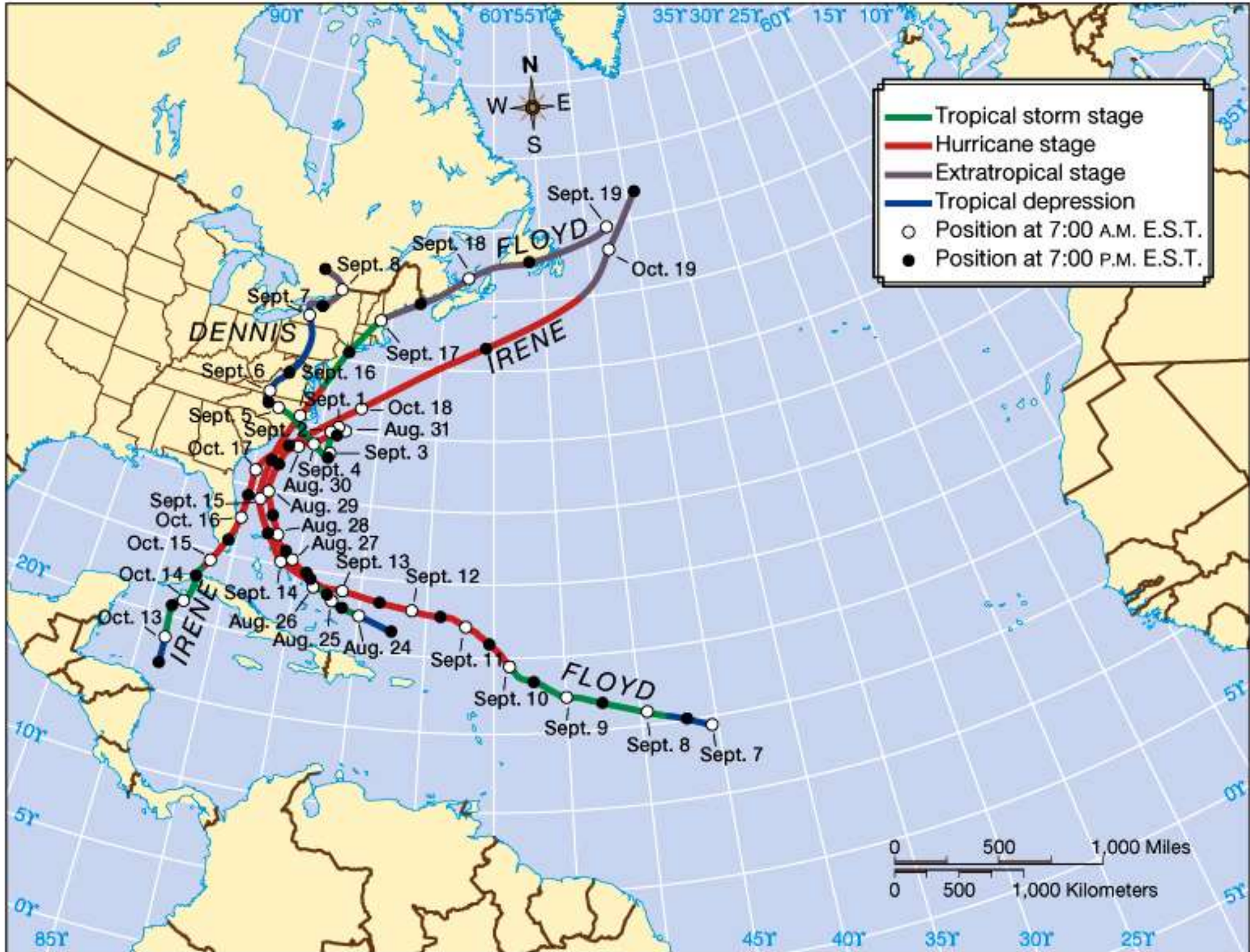




# LOS HURACANES

## □ Movimiento

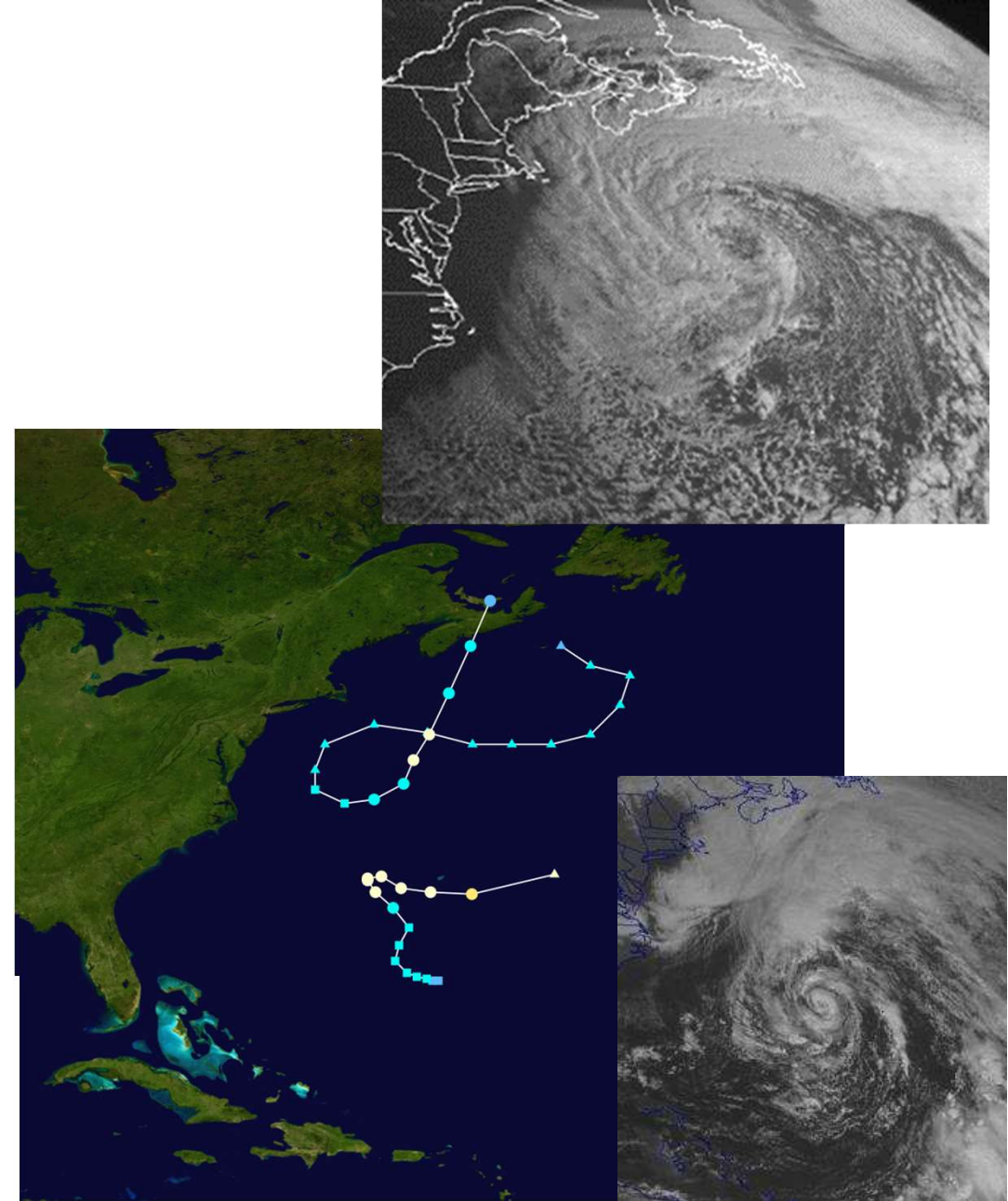
- Una pequeña isla apenas la afecta, pero llegar a un continente supone su degeneración por 2 razones
  - Deja de alimentarse por cesar la evaporación de vapor latente
  - El movimiento turbillonar es alterado por el frotamiento sobre un sustrato rugoso que destruye el paralelismo entre flujo e isobaras



# LOS HURACANES

## □ Movimiento

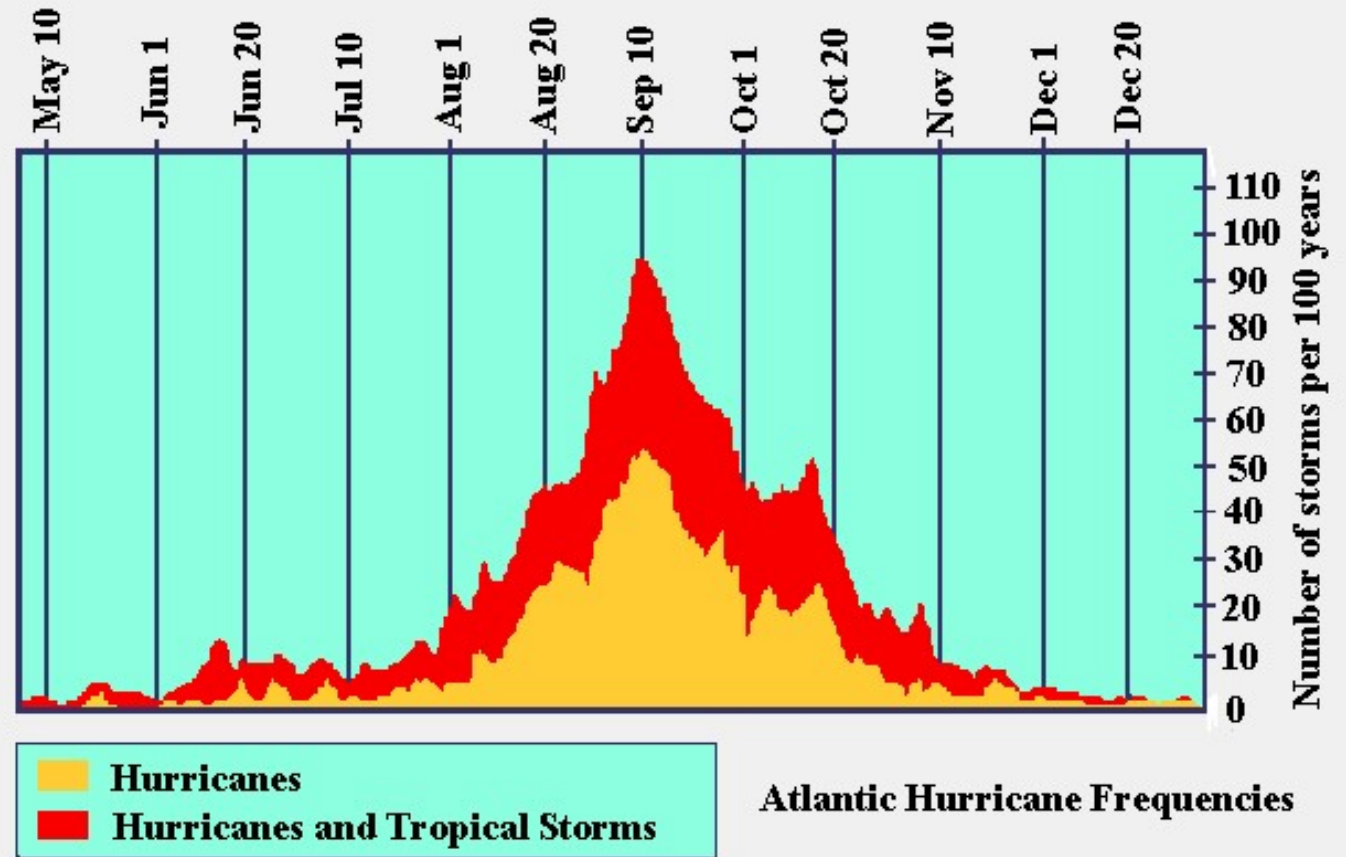
- Su ciclo de vida no siempre termina en la zona intertropical: pueden alcanzar latitudes medias e integrarse en la circulación W-E, transformados en perturbaciones templadas



# LOS HURACANES

## □ ¿Cuándo?

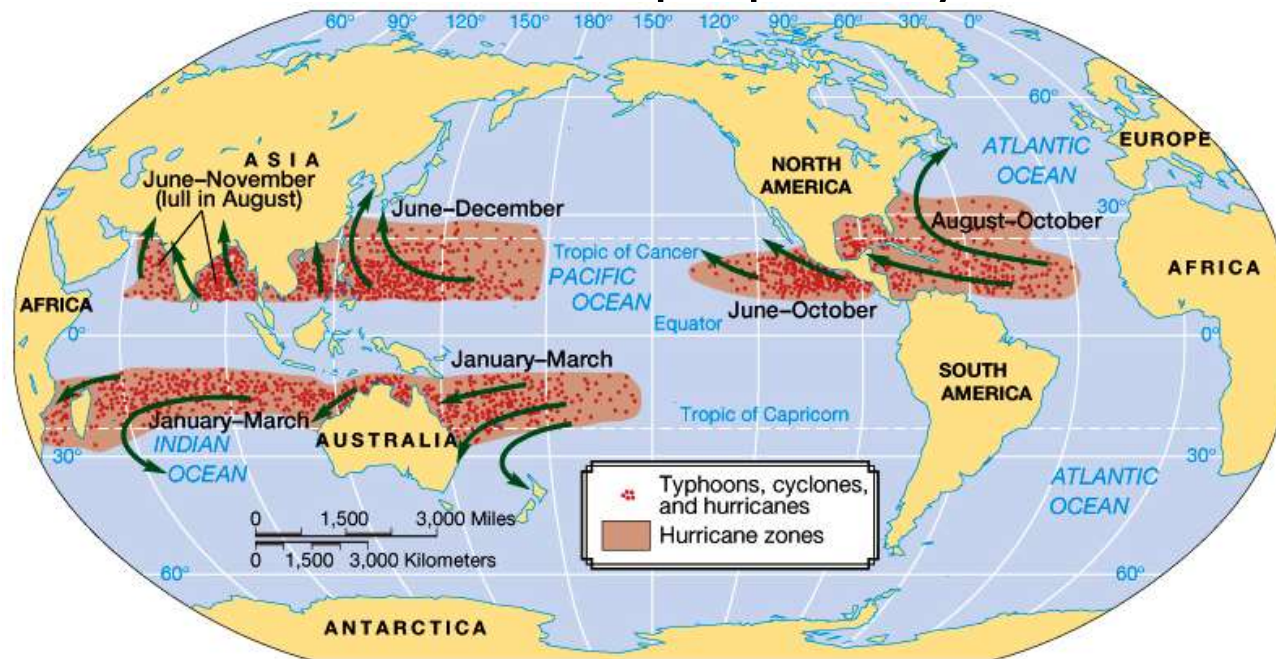
- Frecuencia: verano y otoño (máxima temperatura del mar)



# LOS HURACANES

## □ ¿Dónde?

- Pacífico Noroccidental (Taiwán, Japón, Filipinas) puede sufrir huracanes en invierno (Diciembre - Febrero) → mar todavía muy cálido
- No América del Sur: océano pequeño y fresco.



# LOS HURACANES

**Table 12-1 Maximum, Minimum, and Average Number of Hurricanes (and Their Counterparts) per Year over Various Parts of the World's Oceans, 1968 to 1989 (1968 to 1990 for the Southern Hemisphere)**

Basin	Maximum	Minimum	Average
Atlantic	12	2	5.4
Eastern Pacific	14	4	8.9
Western Pacific	24	11	16.0
Northern Indian Ocean	6	0	2.5
Southwestern Indian Ocean	10	0	4.4
Southeastern Indian Ocean/Australia	7	0	3.4
Australia/Southwestern Pacific	11	2	4.3
Global	65	34	44.9

Source: Colorado State University



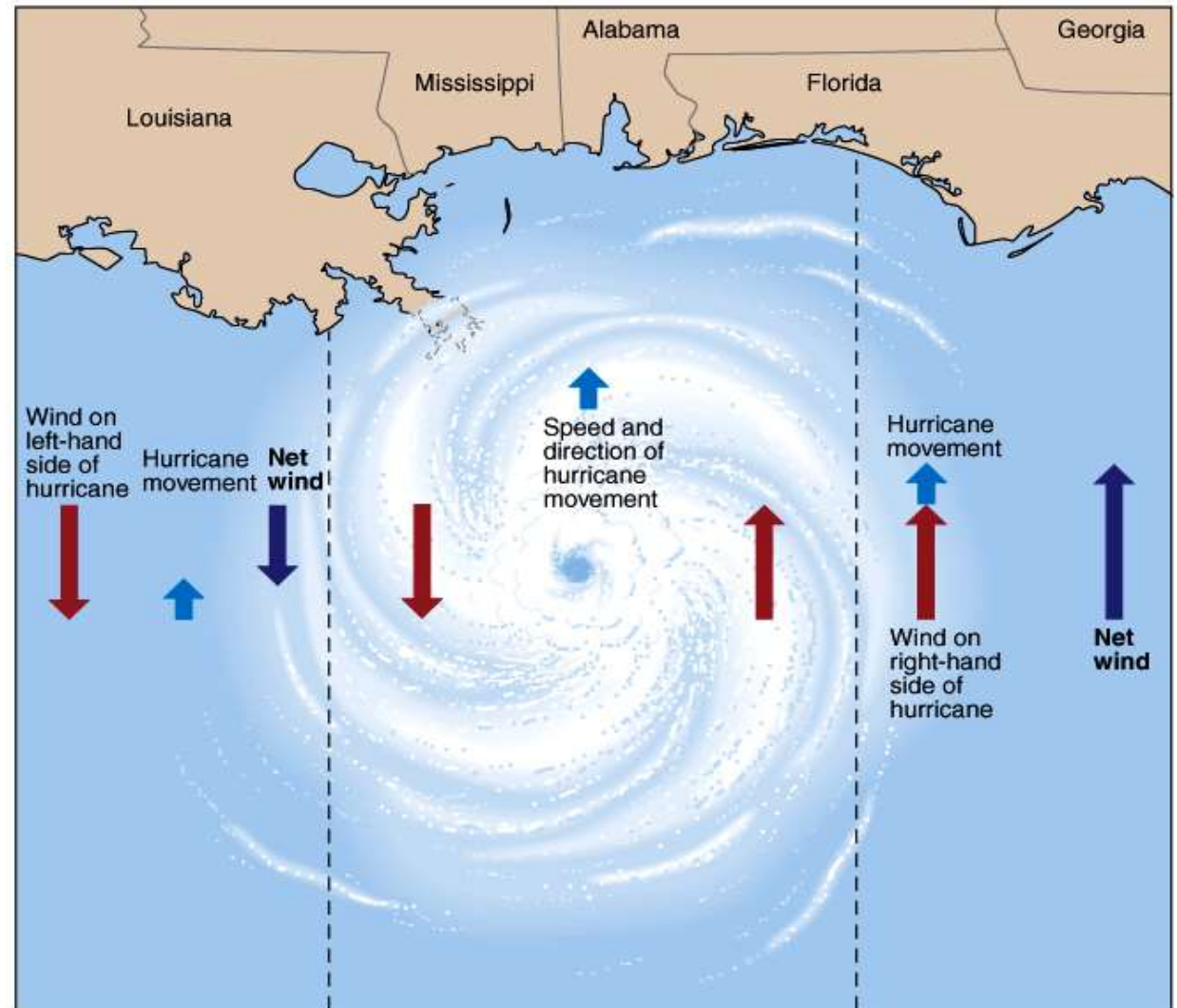
TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller

# LOS HURACANES

## □ Impactos (tierra)

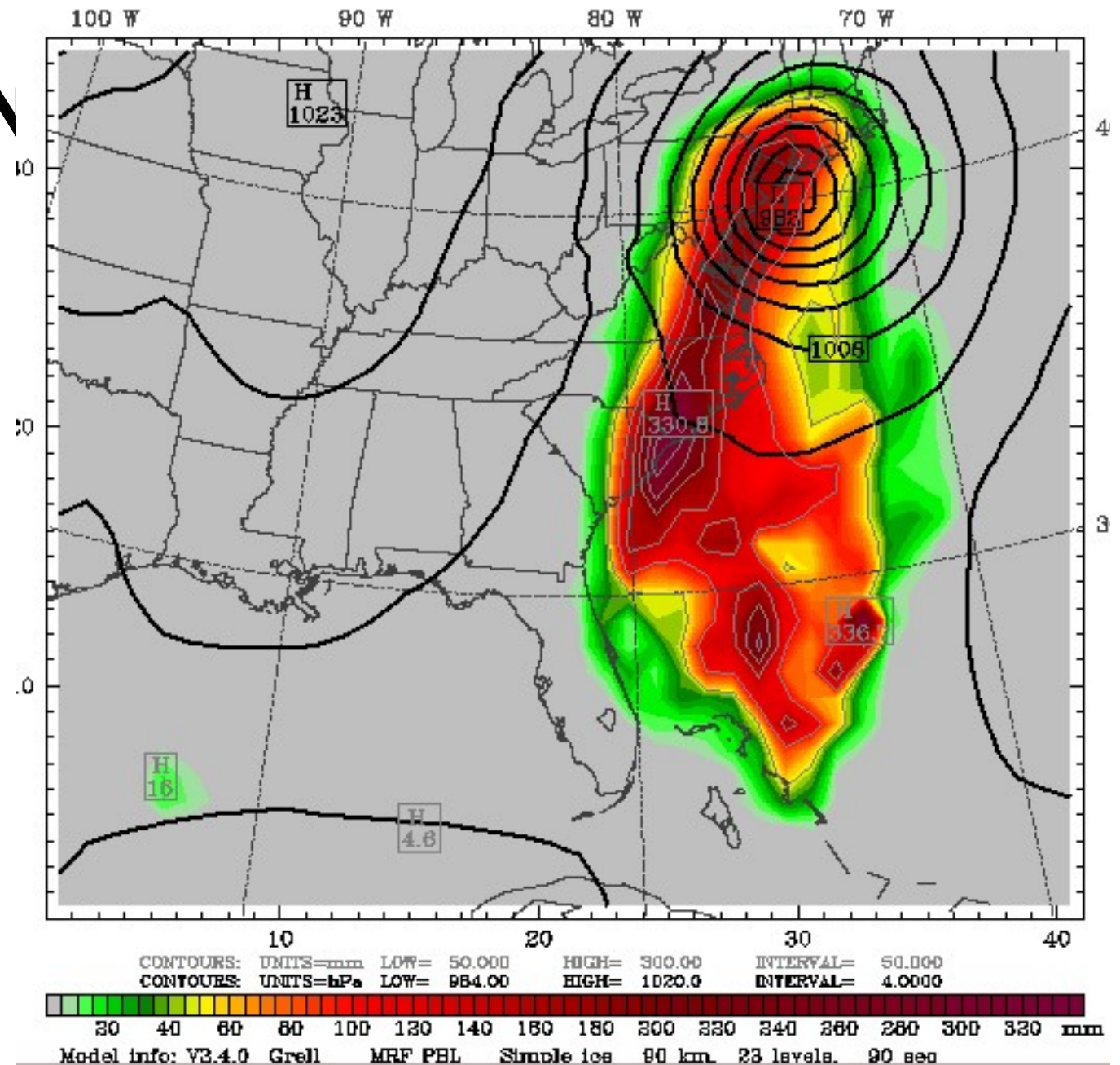
- Sistema en rotación rápida, con vientos paralelos a las isobaras: hasta 300 km/h
- La zona de vientos más fuertes lado E → combinación con movimiento sistema



# LOS HURACAN

## □ Impactos (tierra)

- Precipitaciones cuantiosas: un desplazamiento lento puede acumular 1000 mm/24 h





# LOS HURACANES

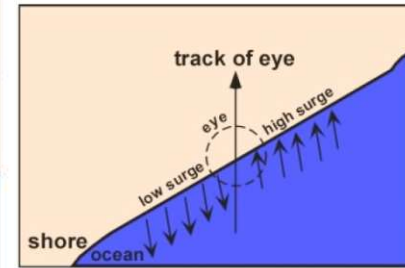
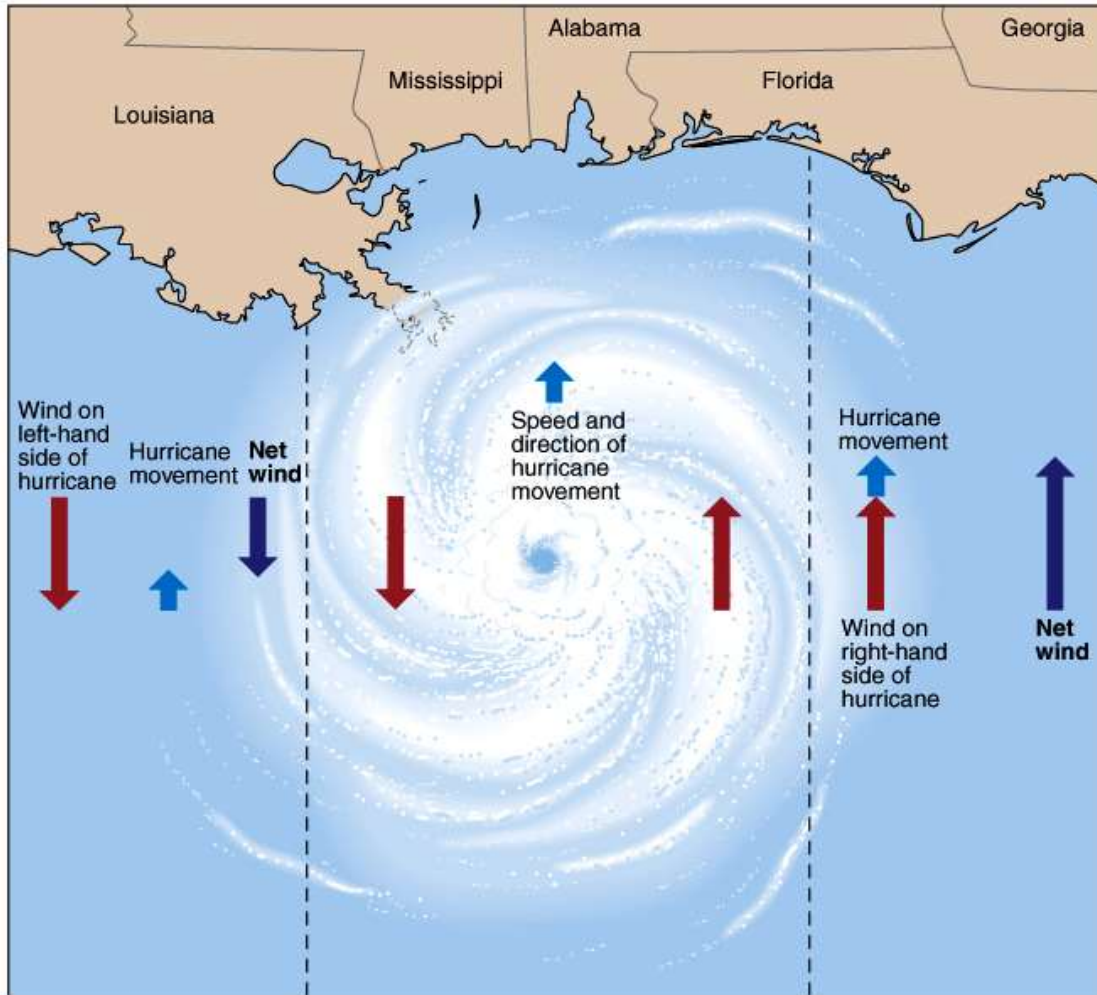
## □ Impactos (mar)

- Oleaje (alta mar)

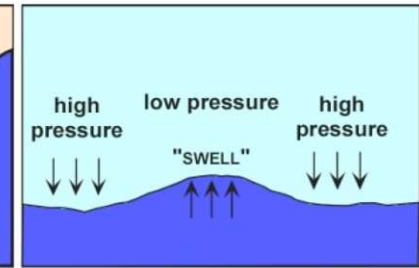
- Storm surge (costa)

- Elevación del nivel del mar inducida por un huracán, normalmente en el lado derecho (acumulación del viento y del movimiento de traslado)
- Causas
  - ✓ El viento empuja y apila el agua contra la costa
  - ✓ Barómetro inverso 1 cm/mb.
  - ✓ Mareas vivas
  - ✓ Elevación promedio, 1-2 m; Huracán Camille costa de Misissipi 1969 7 m

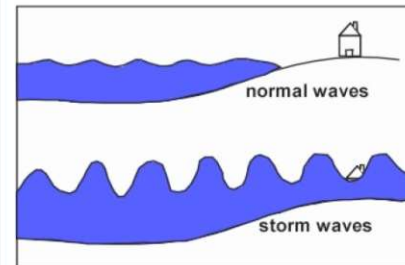
# LOS HURACANES



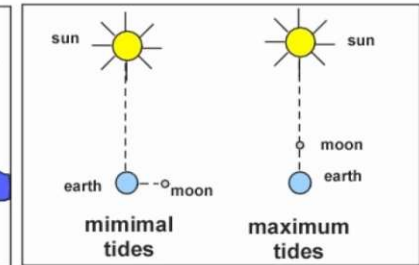
Onshore Winds



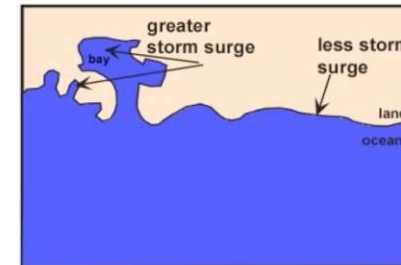
Low Pressure Swell



Wave Height



Tides



Shape of Coastline

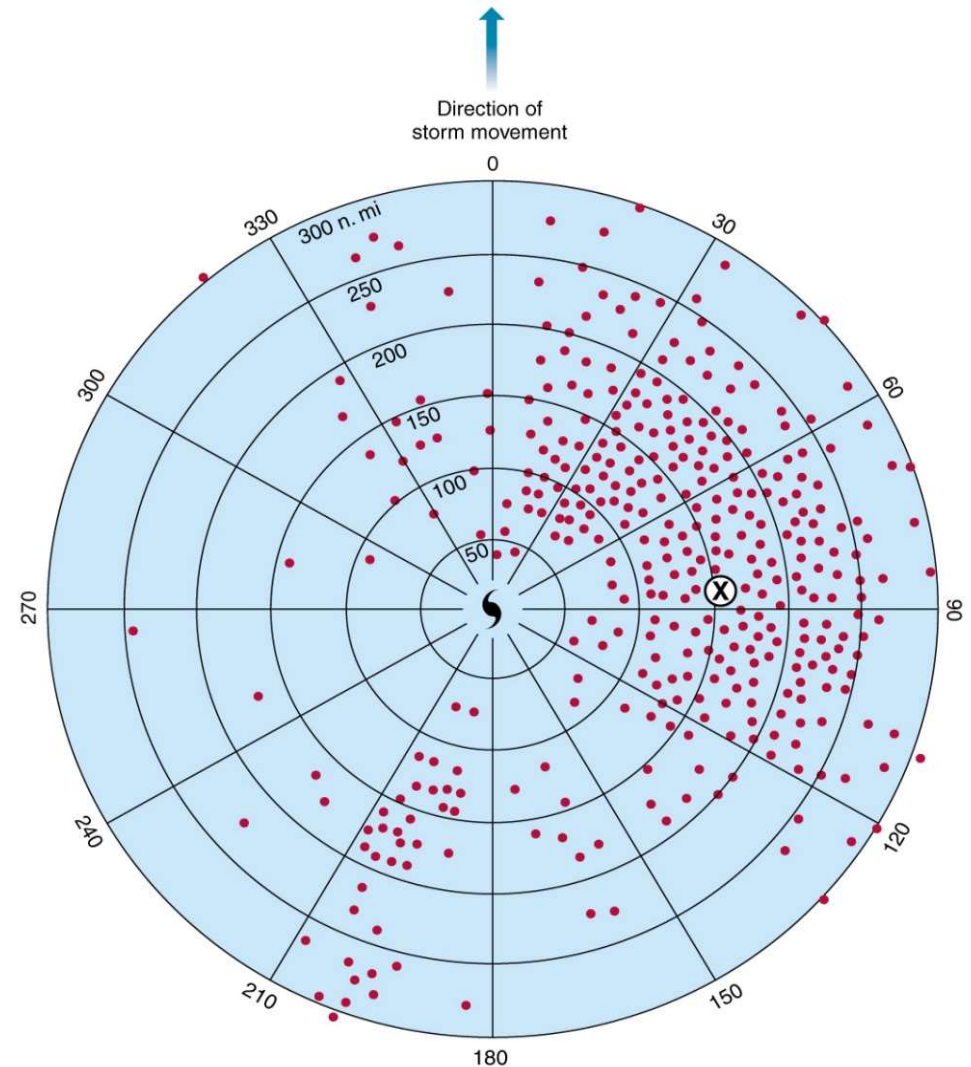
© 2002 Kendall/Hunt Publishing

# LOS HURACANES

## □ Impactos

### • Tornados

- En el cuadrante delantero derecho.
- La fricción al tomar tierra incrementa el riesgo de tornados
- Lejos del ojo del huracán (en teoría) vientos + débiles.
- Menor duración que los tornados clásicos



# LOS HURACANES

## □ Impactos

- Pérdida de vidas humanas
  - Bangladesh, 500,000 1970.
  - Mitch → 20,000 América Central, 1998.
  - Jeanne (tormenta tropical) Haití septiembre 2004.
- Daños materiales (EEUU)
  - Andrew: > \$ 3 mil millones (1992)
  - Año 2004: (\$21-39 mil millones)
  - Charley: >\$11 miles de millones
  - Frances: \$2-10 miles de millones
  - Ivan: \$4-10 miles de millones
  - Jeanne: \$4-8 miles millones

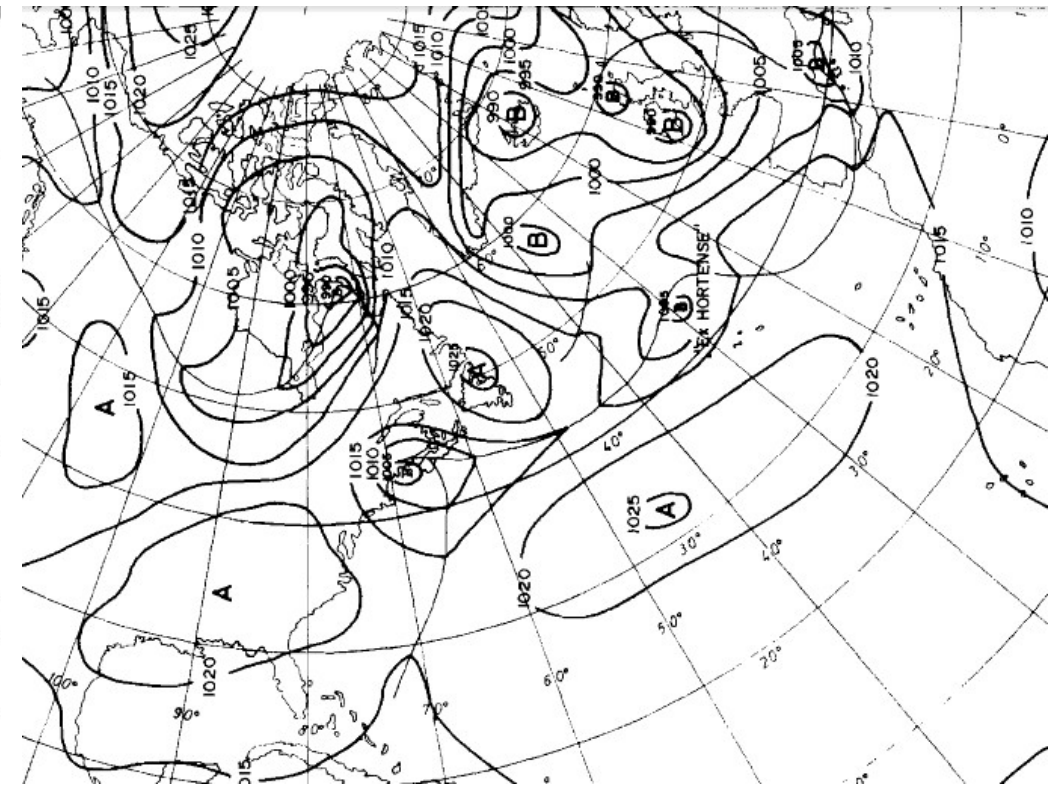
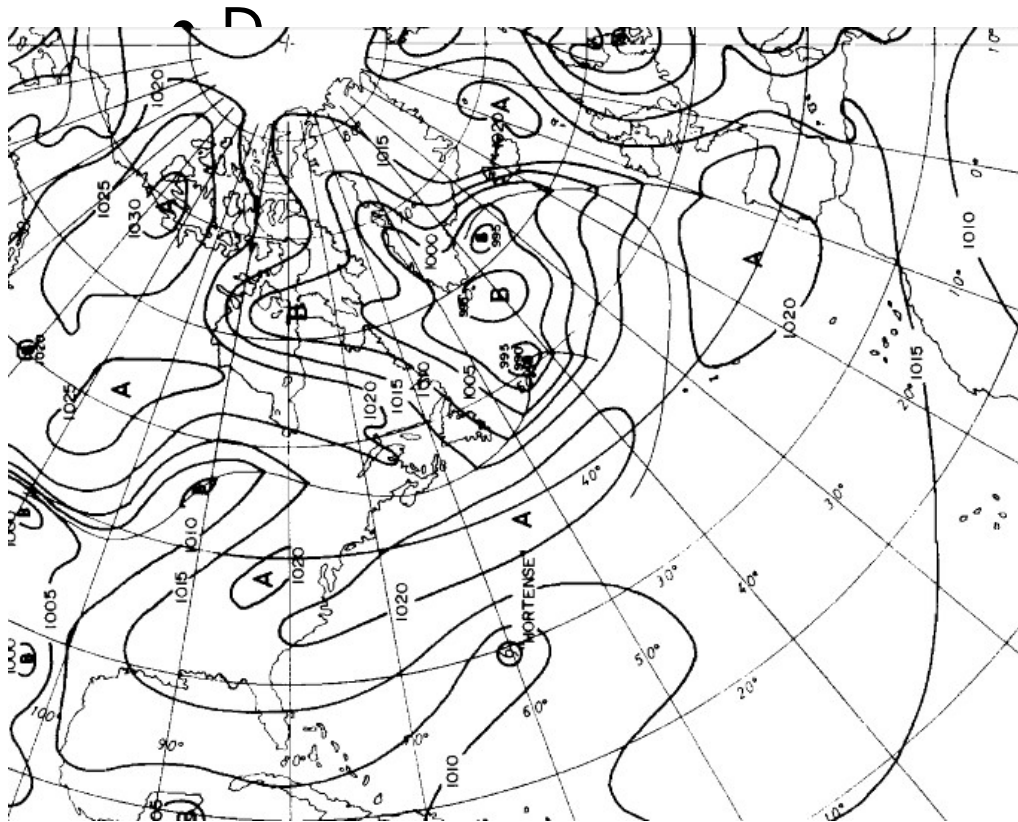
# LOS HURACANES

## □ **Sistemas de previsión y alerta**

- Alerta de huracanes: prevision de la llegada de un huracán a partir de las 24 h siguientes
- Aviso de huracán: llegada prevista en menos de 24 horas con los siguientes parámetros.

# LOS HURACANES

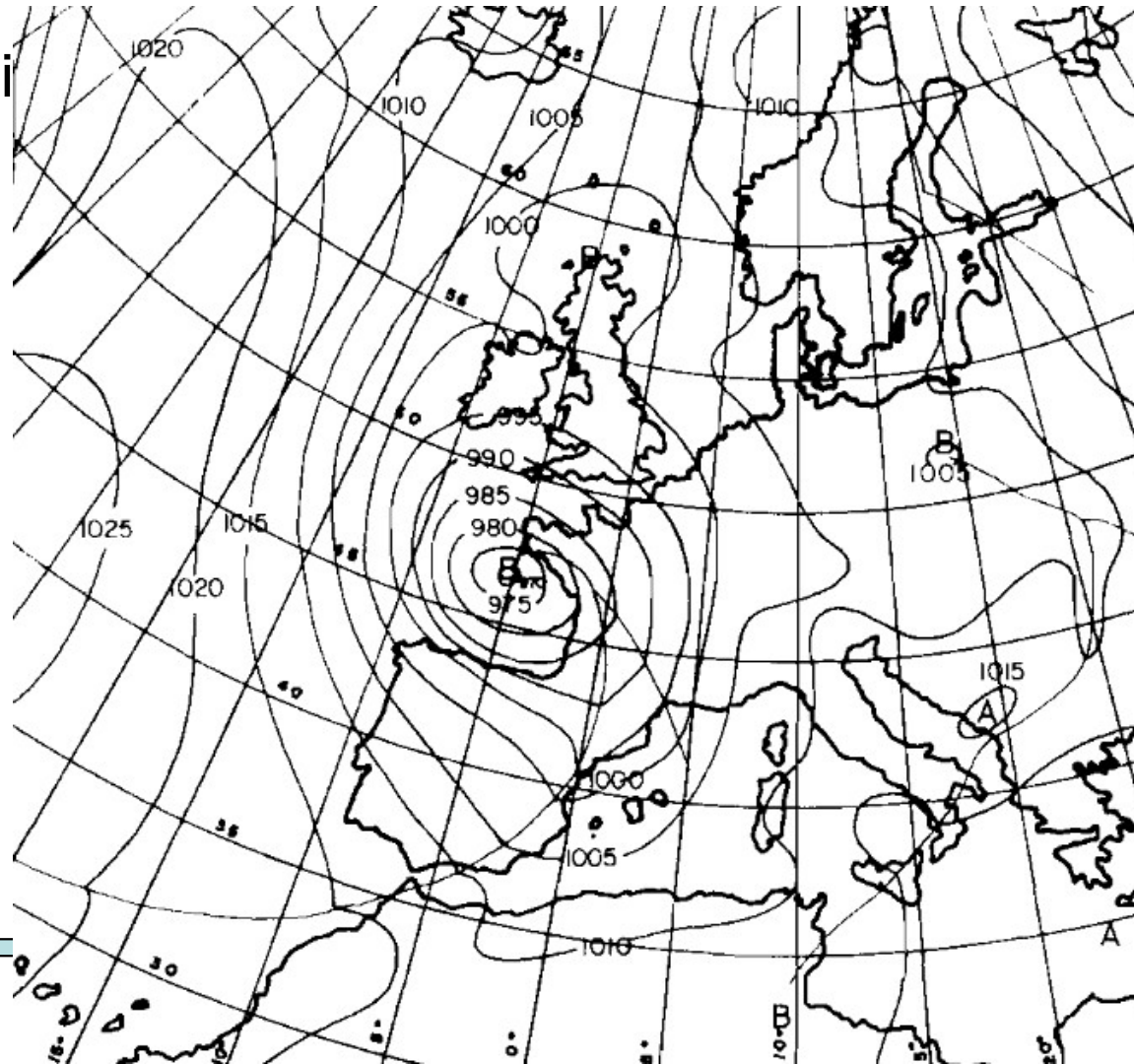
## □ ¿Huracanes en latitudes medias?



# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Hortensia



Taller

# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Proceso “**Transición extra-tropical**” (etapa post-tropical)
  - Transformación de un ciclón tropical (núcleo cálido y simétrico) en un ciclón extratropical (núcleo frío y asimétrico).
  - Este proceso ocurre cuando un ciclón tropical:
    - se traslada sobre aguas más frescas, normalmente  $< 26^{\circ} \text{C}$ , o
    - interactúa con una zona baroclina (zona frontal), o
    - interactúa con un sistema extratropical, o
    - se traslada sobre tierra o
    - una combinación de estos elementos.



# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Proceso “**Transición extra-tropical**” (etapa post-tropical)
  - Generalmente entre 30 ° y 40 ° de latitud.
  - Sustitución de la fuente de energía primaria del sistema: de la liberación de calor latente de la condensación (convección) a los procesos baroclínicos (contraste entre masas de aire).

# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Proceso “**Transición extra-tropical**” (etapa post-tropical)
  - El sistema de baja presión pierde su núcleo cálido y se convierte en un sistema de núcleo frío
  - El tamaño aumenta, mientras que el núcleo se debilita.
    - Sin embargo, puede volver a fortalecerse debido a un aporte de energía baroclina (dependiendo de las condiciones ambientales que rodean el sistema).
  - Pérdida de la forma simétrica

# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Proceso “**Transición extra-tropical**” (etapa post-tropical)
  - Este proceso ocurre en el Atlántico Norte en septiembre y octubre, cuando la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura de la superficie del mar es mayor.

# LOS HURACANES

Ophelia, 8/12  
octubre de 2017

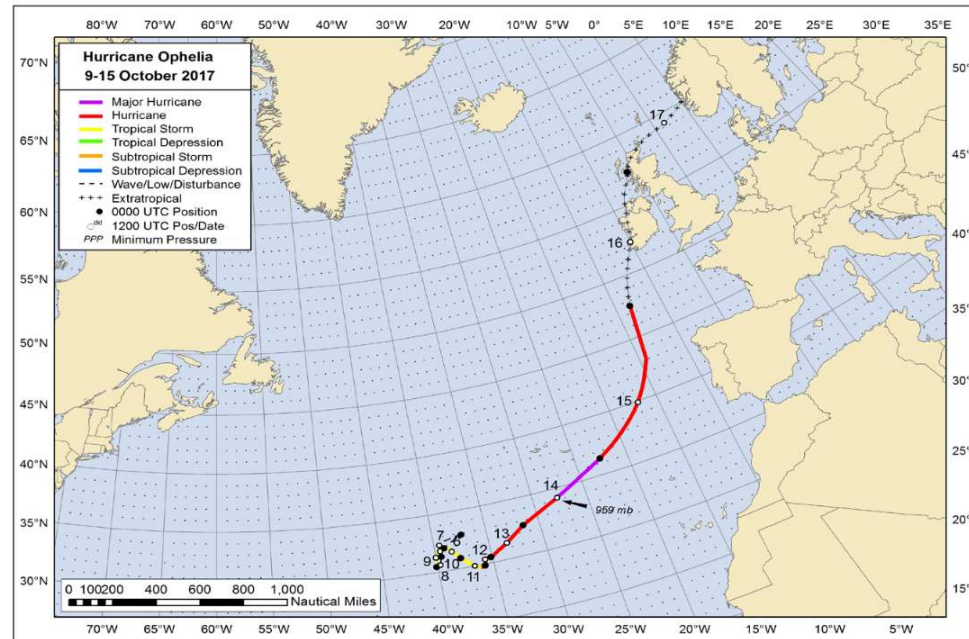
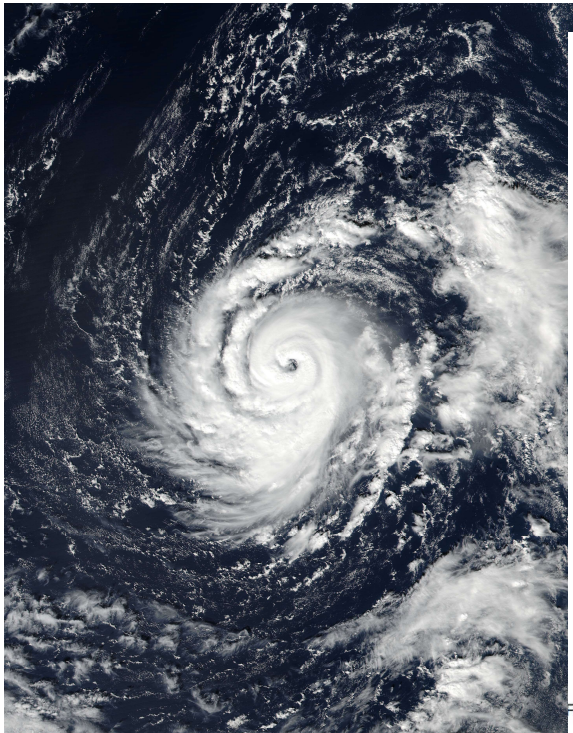
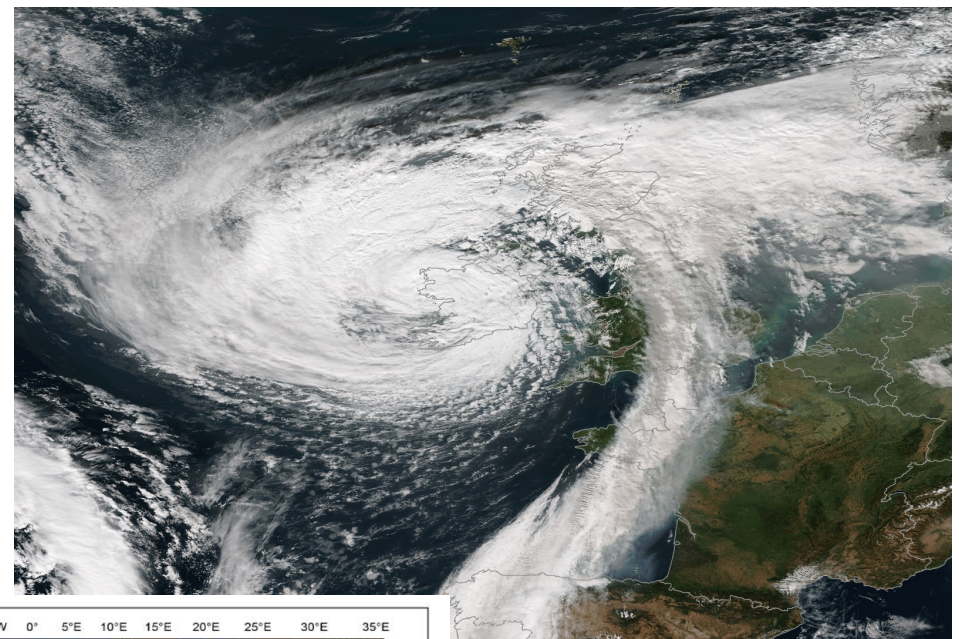


Figure 1. Best track positions for Hurricane Ophelia, 9–15 October 2017. The track during the extratropical stage on 16–17 October is partially based on analyses from the NOAA Ocean Prediction Center, Met Éireann (Irish National Meteorological Service) and the UKMET (United Kingdom Meteorological Office).

# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

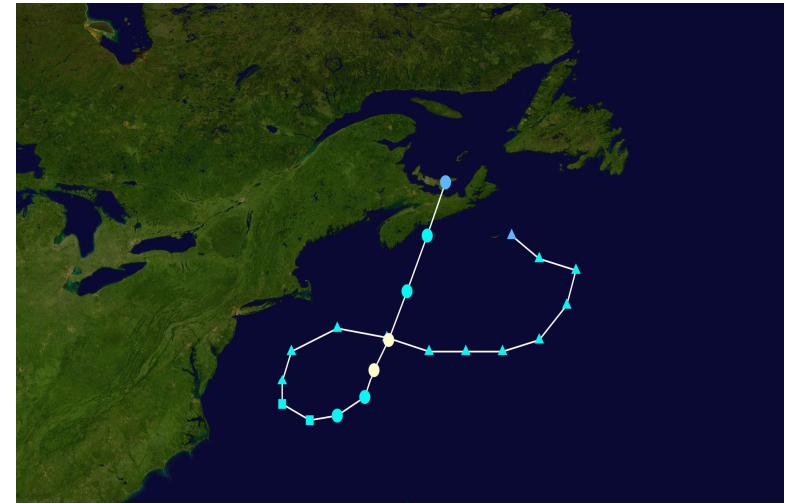
- Proceso “**Transición tropical**”
  - En raras ocasiones, un ciclón extratropical puede convertirse en un ciclón tropical: si llega a aguas más cálidas y una menor cizalladura vertical del viento.
  - Ejemplo: la Tormenta Perfecta de 1991.



# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

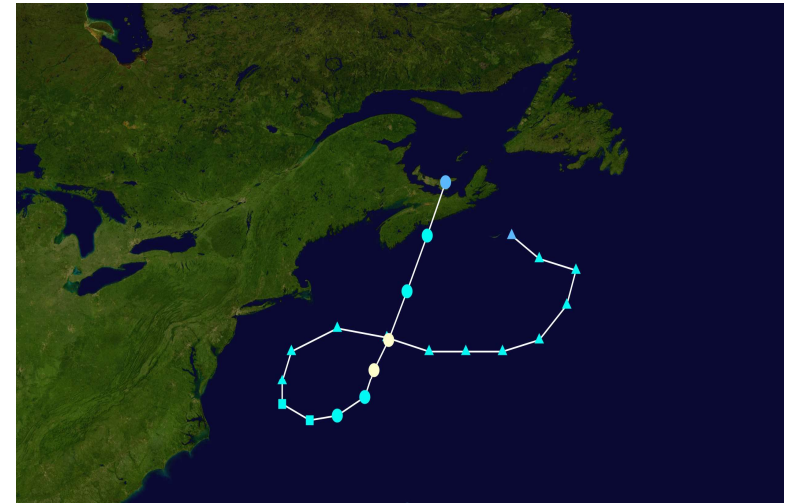
- Etapas de "The perfect storm 1991"
  - Inicial: nor'easter que absorbe al Huracán Grace al desplazarse hacia el S → reforzamiento debido al contraste entre el aire frío (al NW) y el cálido y húmedo del huracán → movimiento retrógrado hacia el SW y W, inusual en este tipo de sistemas



# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

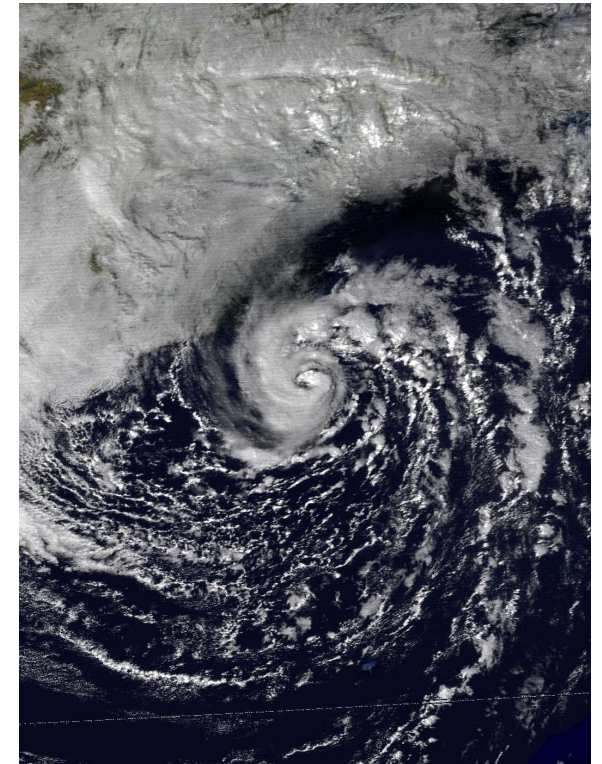
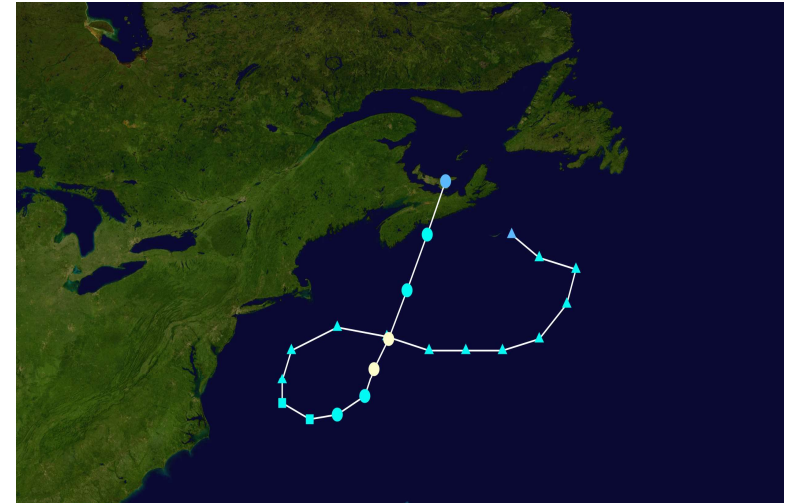
- Etapas de "The perfect storm 1991"
  - Conversión en huracán (30/1 de noviembre)
  - El sistema atravesó las aguas cálidas de la Corriente del Golfo → organización de bandas de convección alrededor del núcleo



# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Etapas de "The perfect storm 1991"
  - Conversión en huracán.  
Aparición de un ojo (nov 1) + formación de un núcleo cálido → huracán de categoría 1  
(velocidad máxima sostenida 120 km/h)
  - Aceleración hacia el NE y rápido debilitamiento (tormenta tropical)

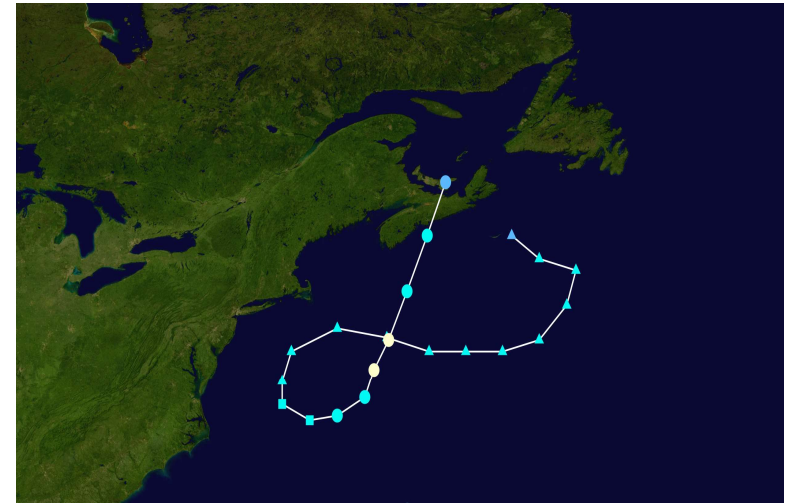




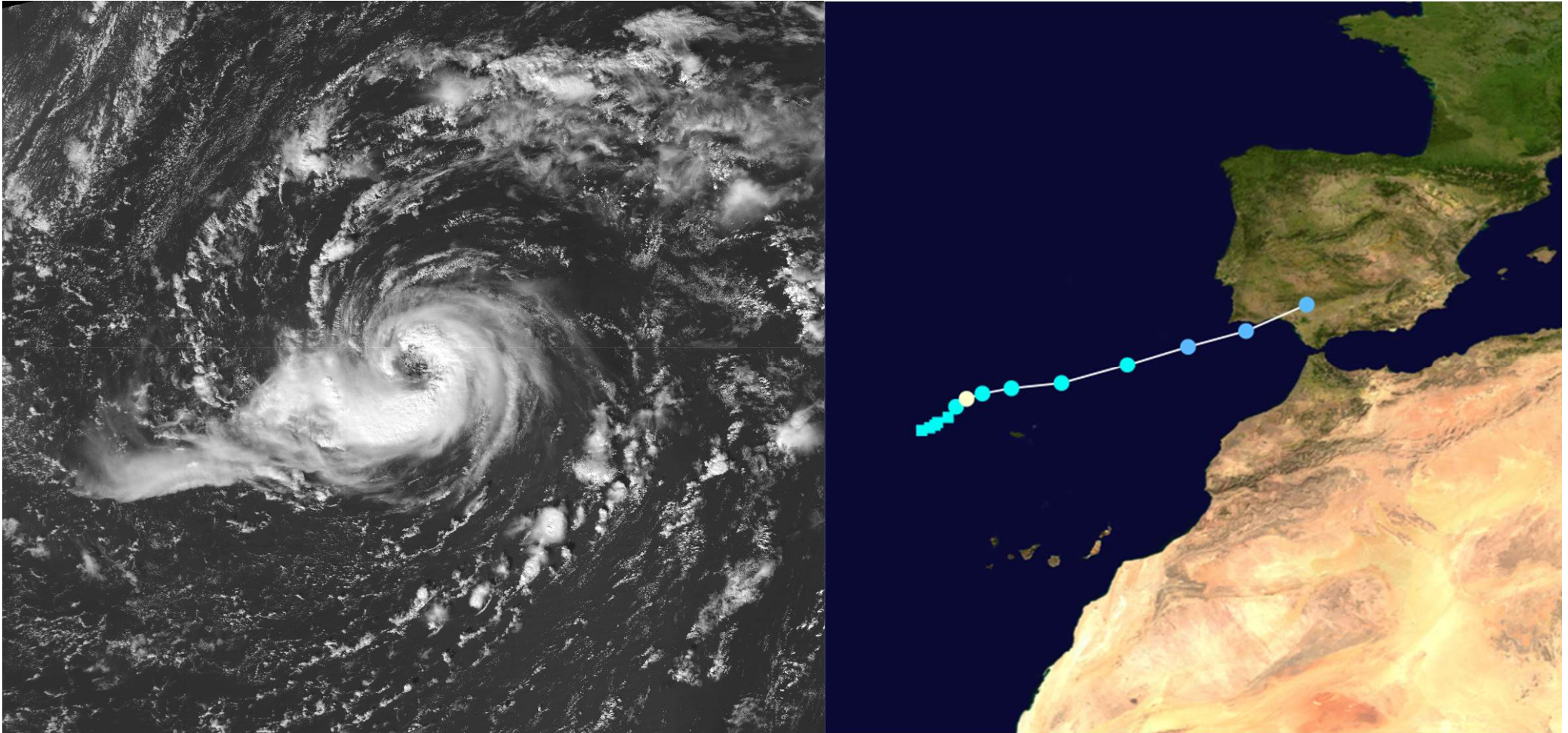
# LOS HURACANES

## □ ¿Huracanes en latitudes medias?

- Etapas de "The perfect storm 1991"
  - Final: debilitamiento al acercarse a tierra, convertido nuevamente en tormenta tropical:
    - ✓ Vientos sostenidos 72 km/h
    - ✓ Bandas curvadas de lluvia en el lado occidental del sistema.



# LOS HURACANES



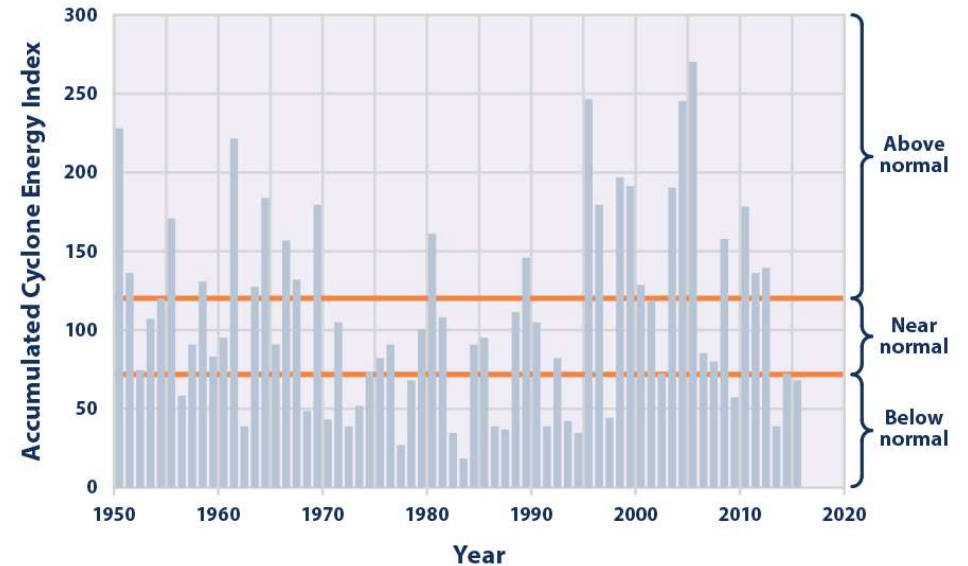
# LOS HURACANES

## □ Cambio climático y huracanes

- No hay indicios aumento del número de huracanes/ tormentas tropicales en el Atlántico, pero...

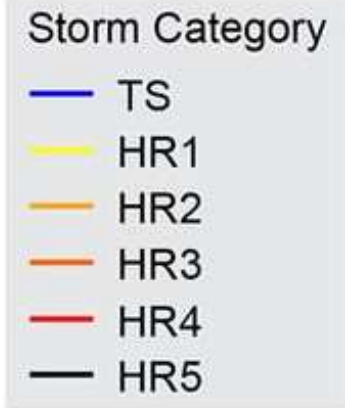
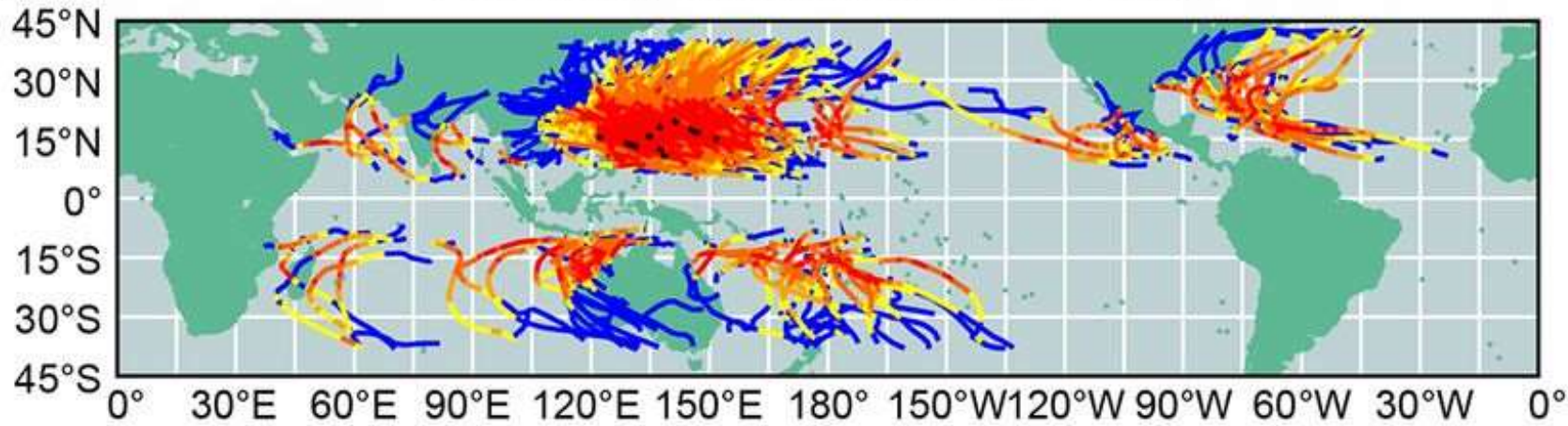
- Aumento de la temperaturas del mar: el vapor de agua disponible en la troposfera es mayor → combustible adicional → más huracanes fuertes.

- Desplazamiento hacia los polos

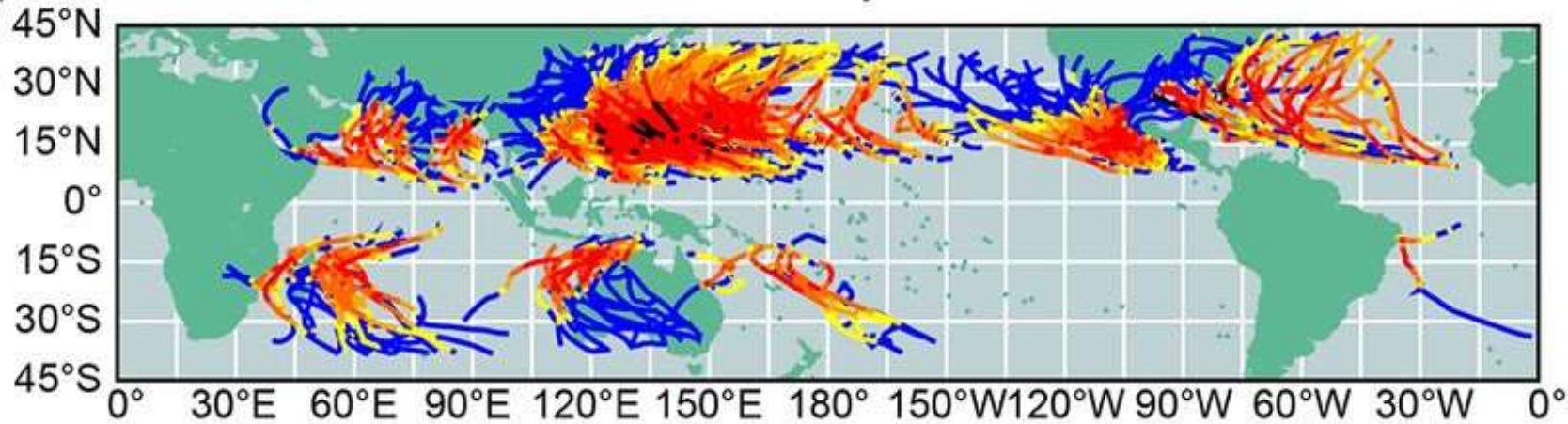


29 sep 2019, cat 5

a) Present Day Simulation: 244 Cat 4–5 storms



b) RCP4.5 Late 21st Century: 313 Cat 4–5 storms



# Apartado 5.2

## ENSO



TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

Taller

# ENSO

## □ Introducción

- En los trópicos
  - La temperatura de la superficie del mar está muy influida por los vientos de superficie.
  - La circulación atmosférica está muy influida por la temperatura del mar.
- Por lo tanto, estrechas interacciones entre la componente oceánica y la atmosférica

# ENSO

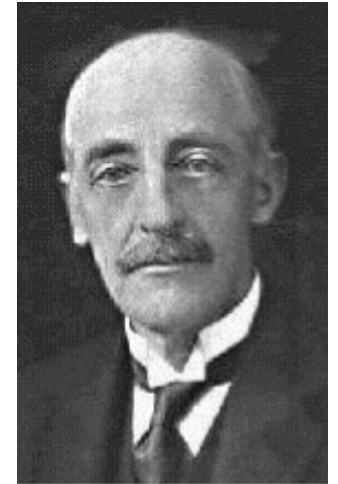
## □ Introducción

- Variación periódica irregular en la componente atmosférica (vientos, presión → Oscilación del Sur) y oceanográfica (temperatura del mar → El Niño/Niña) en el Pacífico Meridional.
- Las fases extremas
  - Causan notables efectos en el tiempo y en el clima a escala global
  - Persiste durante periodos prolongados y sus efectos varían en intensidad.

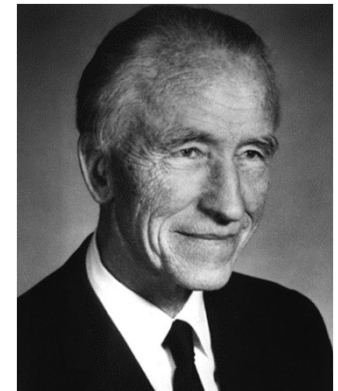
# ENSO

## □ Introducción

- s. XVI-XVIII: épocas de ausencia de pescado frente a la costa de Perú-Chile (+ aguas cálidas), en torno a la Navidad (El Niño).
- Hambruna en la India (1899) por una sequía. Buscando cómo predecir el monzón, G. Walker, director del Servicio Meteorológico India, identifica una oscilación de la presión atmosférica: si asciende sobre Australia e Indonesia (Darwin), desciende sobre la India y Pacífico Central (Tahiti).
- J. Bjerknes (1969) confirma que El Niño y SO son manifestaciones del mismo fenómeno, producto de las interacciones entre atmósfera y océano.



*Sir Gilbert Walker*



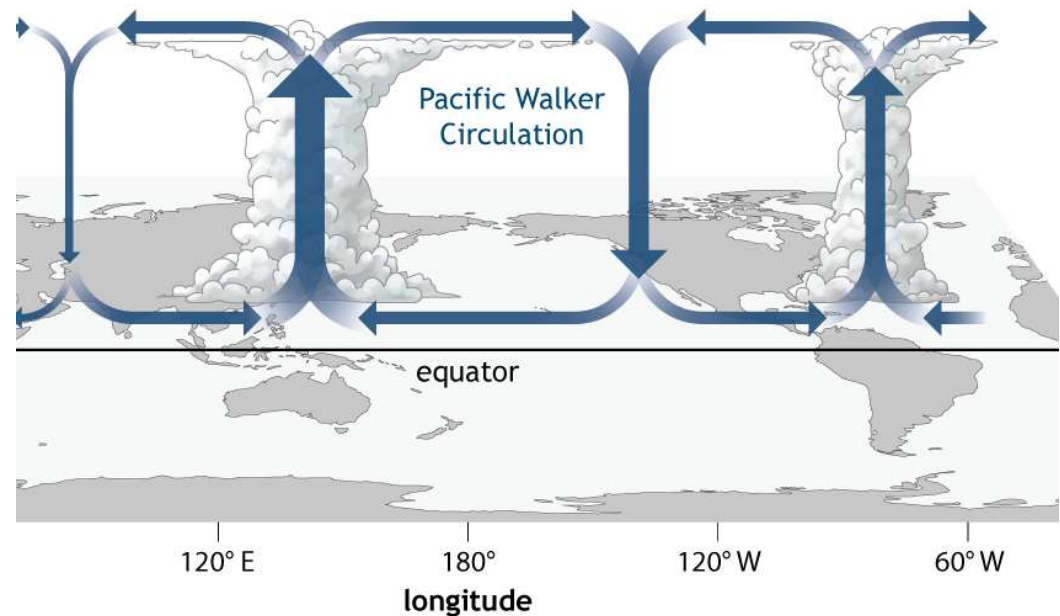
*Jacob Bjerknes*



# ENSO

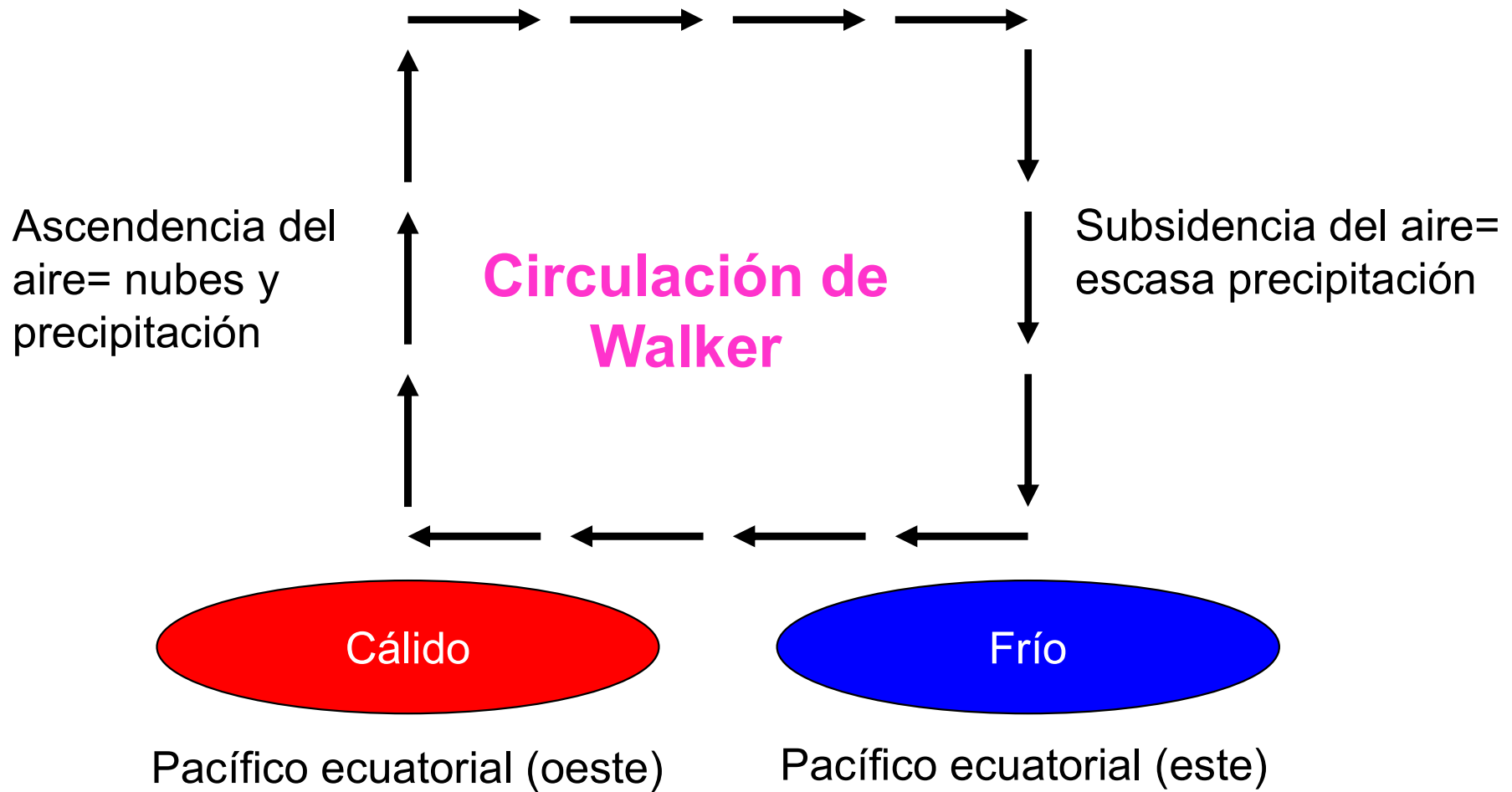
## □ La oscilación del Sur

- Relacionada con la Circulación de Walker
  - Circuito zonal (que se añade a los desplazamientos meridianos –célula de Hadley)
  - Causada por el gradiente de presión entre las altas presiones del Pacífico E (Anticiclón de Pascua) y las bajas presiones sobre Indonesia.

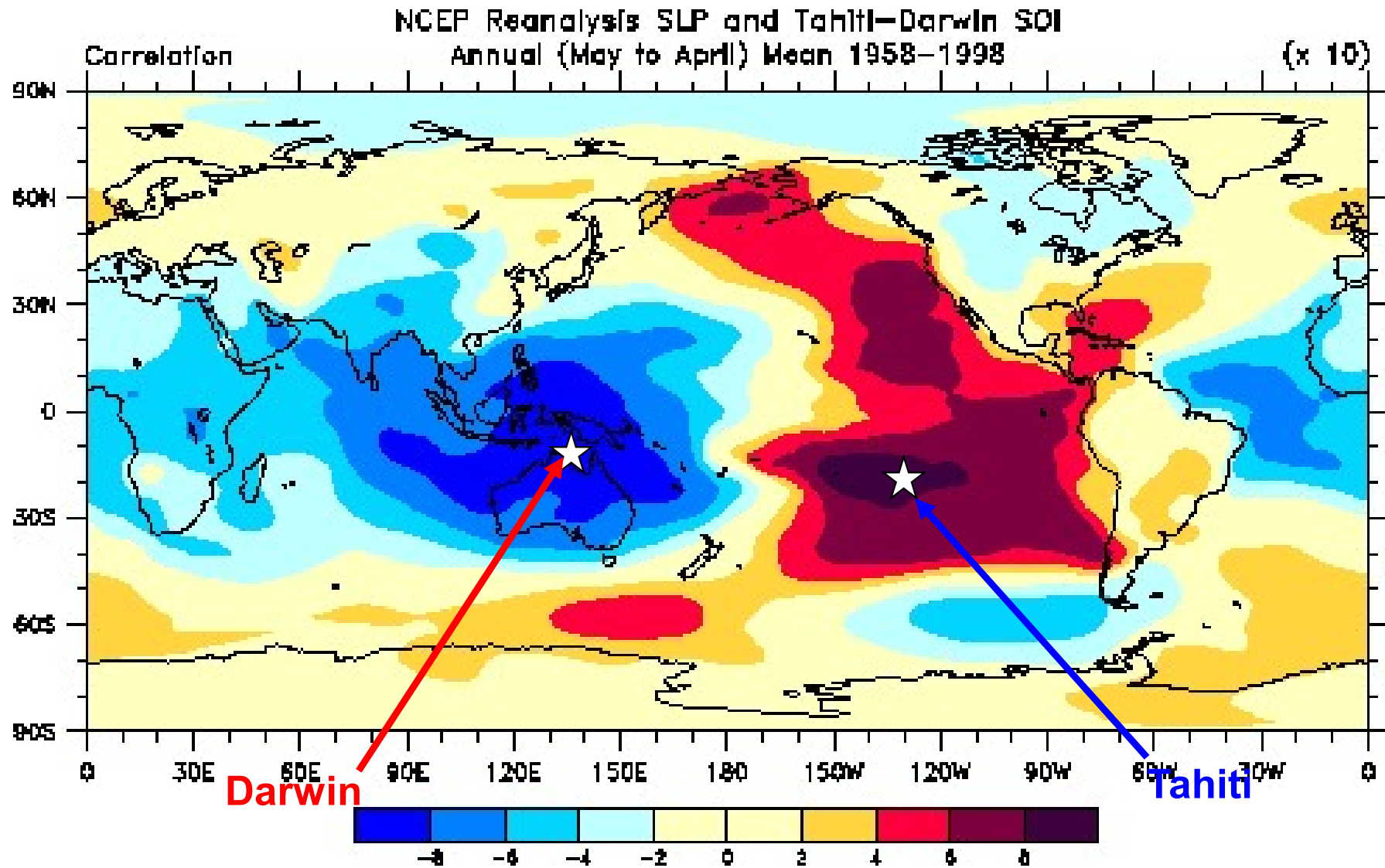


NOAA

# Temperatura del mar y circulación atmosférica



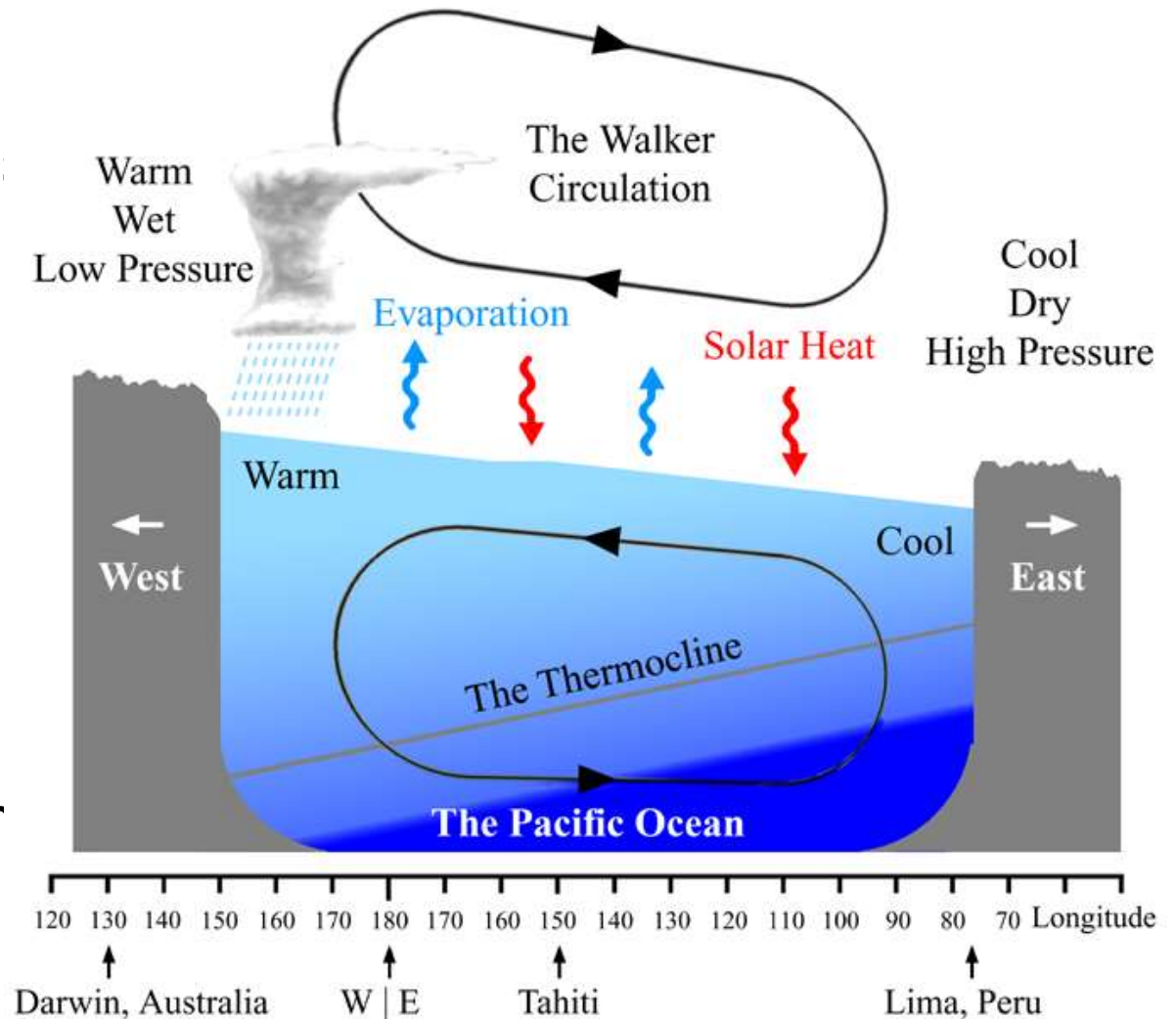
# ENSO



# ENSO

## □ Oscilación del Sur

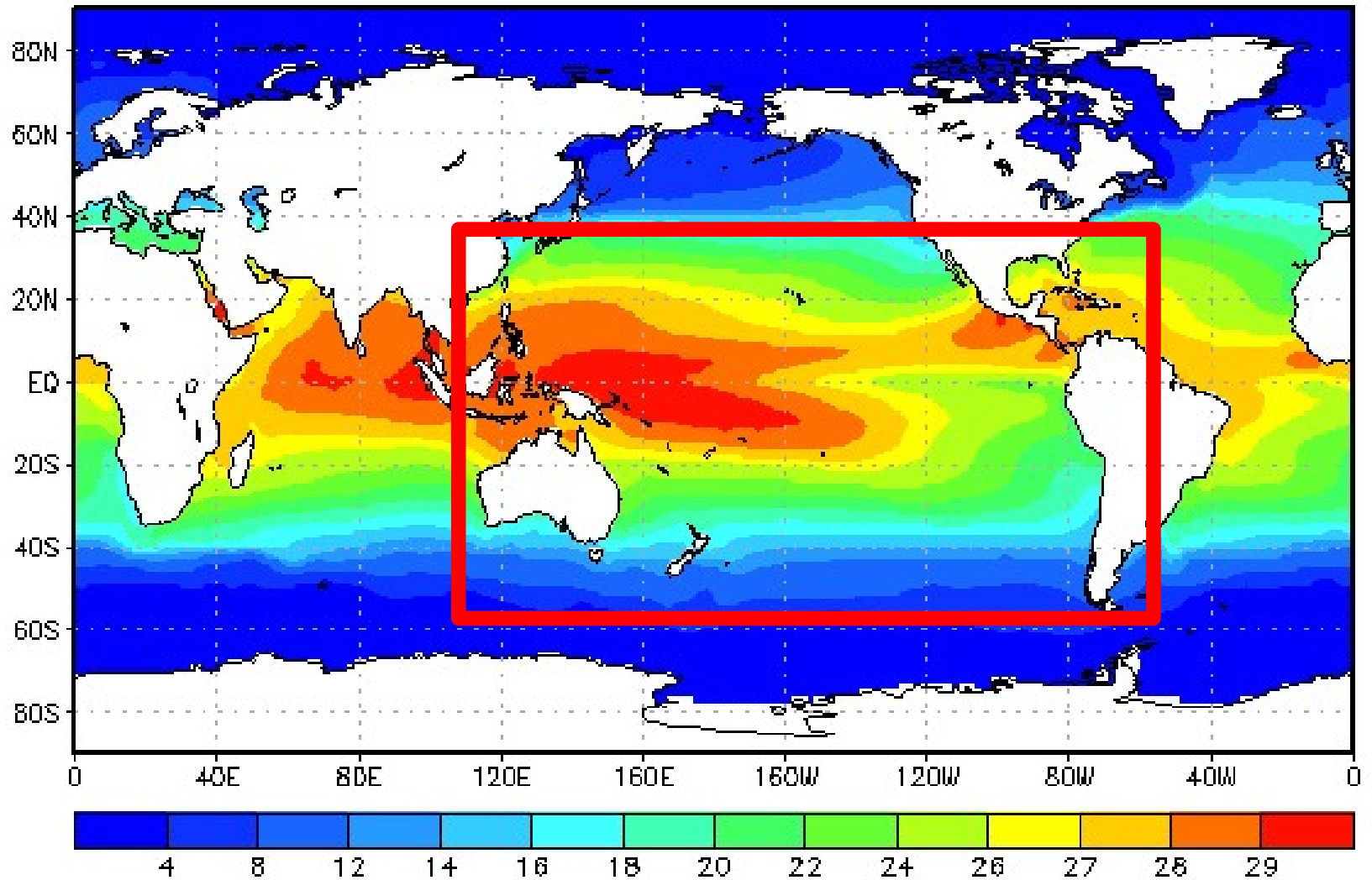
- Pacífico Oriental: alisio (viento del E) empujan agua; transferencia de calor y humedad desde las capas bajas de la atmósfera.
- Pacífico Occidental: aire cálido y húmedo → bajas presiones; mar aproximadamente 60 cm más alto.
- Circuito de retorno hacia el Pacífico Oriental.



# ENSO

Temperatura del océano

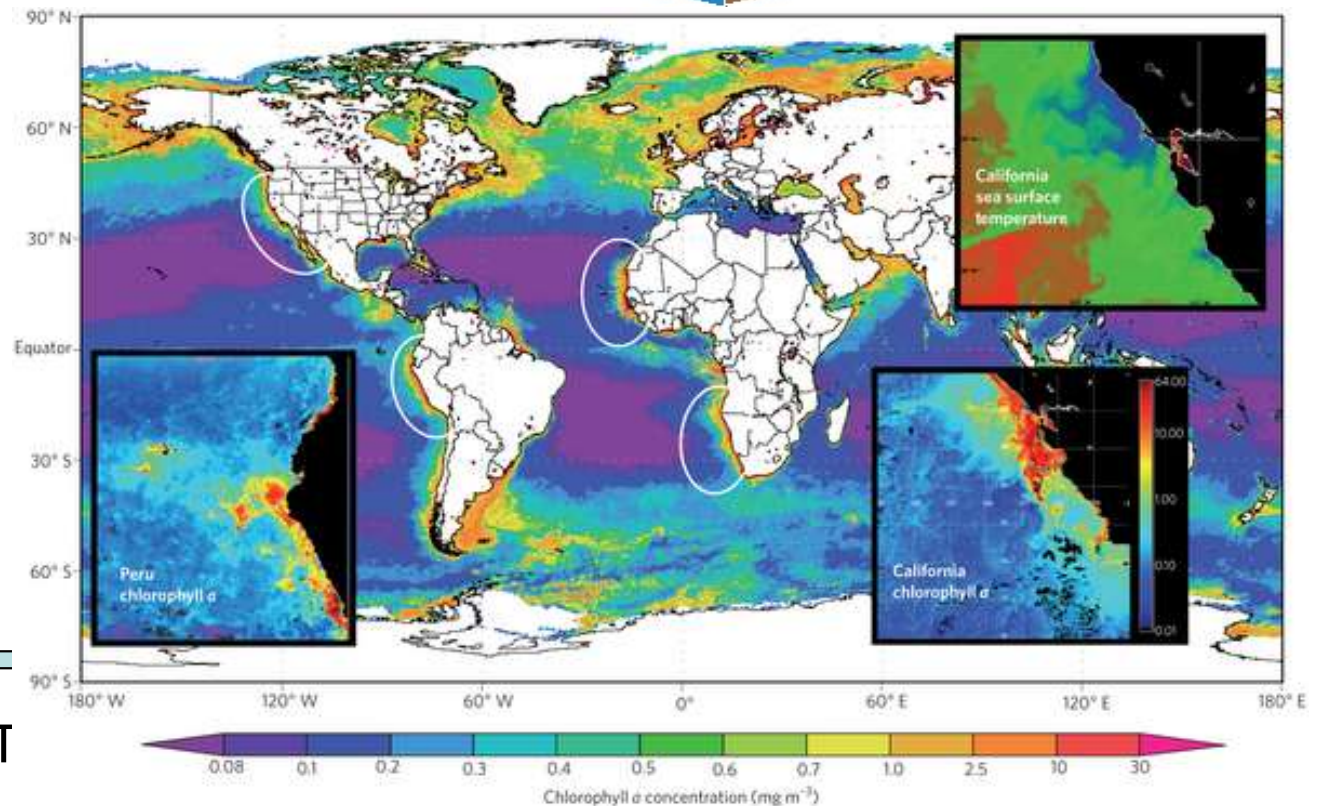
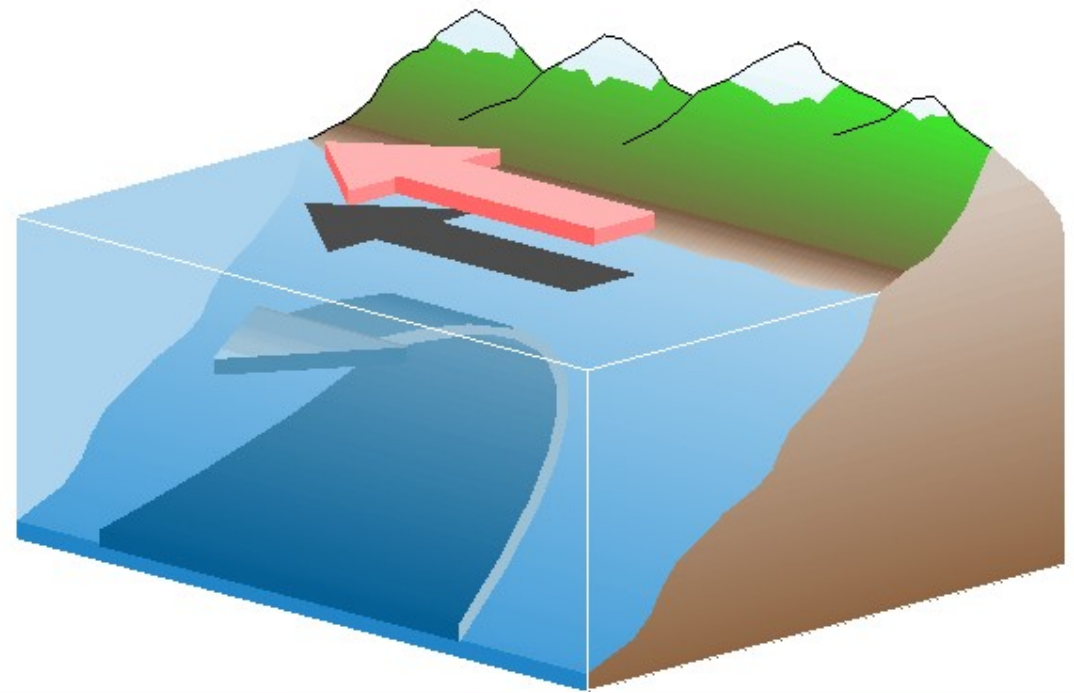
Annual Mean Global SST (C)  
Climatology: 1982-1995



# ENSO

## □ Upwelling

- Afloramiento de aguas frías frente a la costa de Perú/Chile
- Proporciona gran riqueza de nutrientes (pesca)

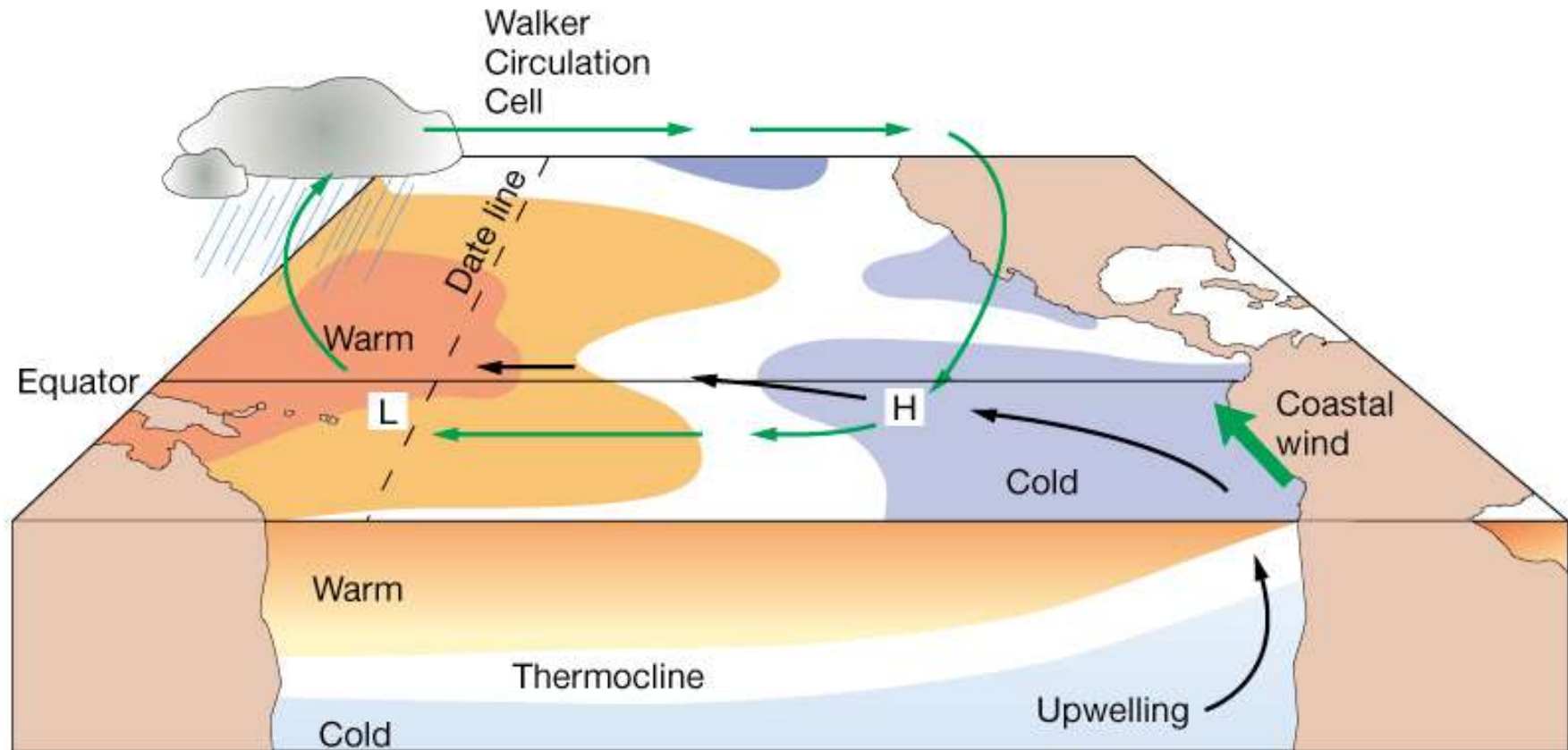


T

Taller

# ENSO

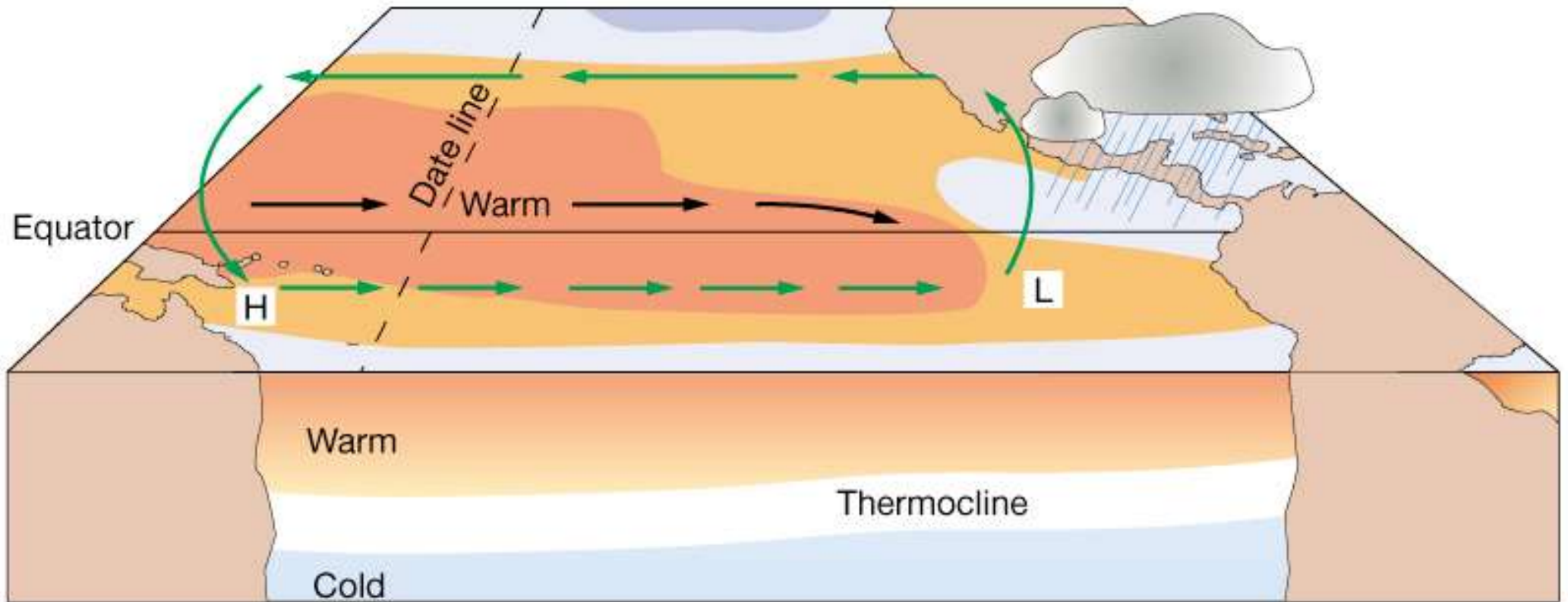
## □ Condiciones normales



(a) Normal conditions

# ENSO

## □ El Niño

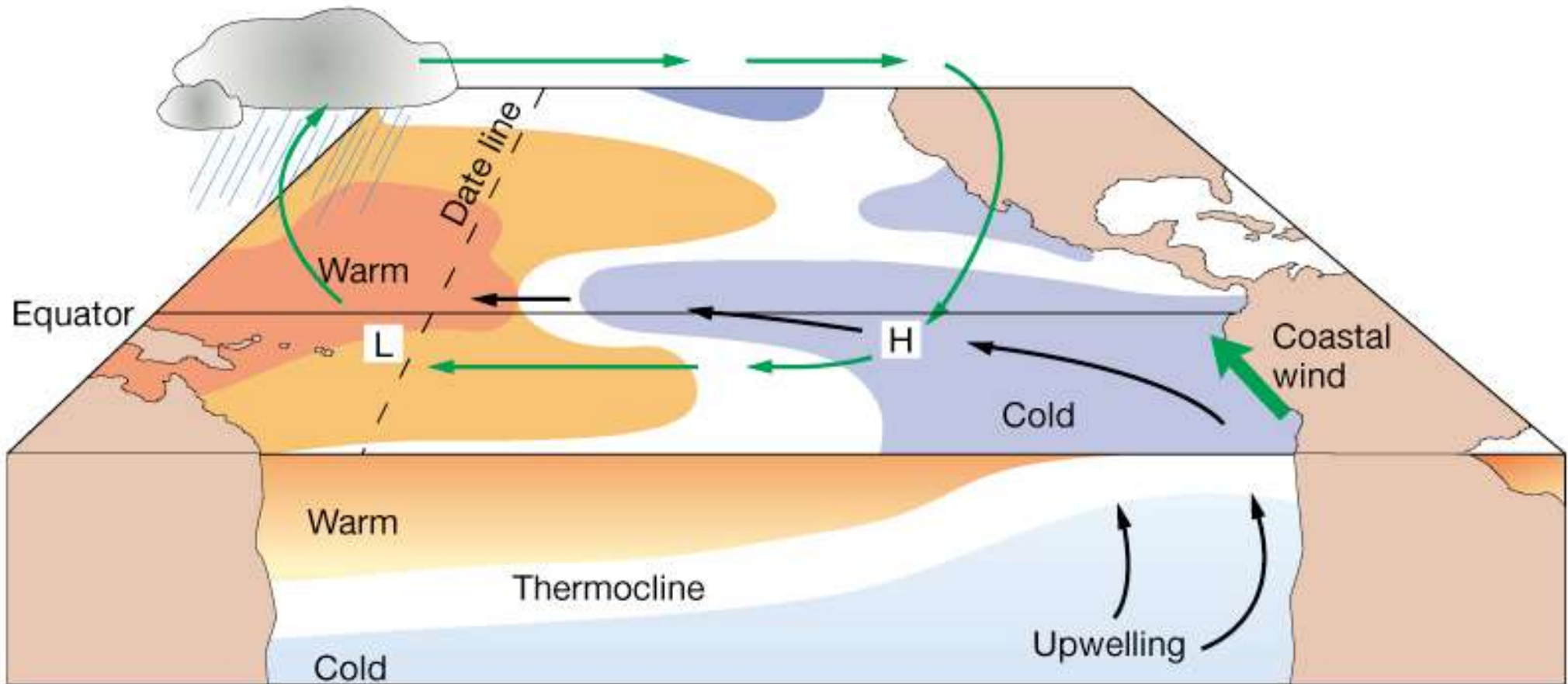


(b) El Niño conditions



# ENSO

## □ La Niña



(c) La Niña conditions

# ENSO

## □ ¿Cómo medir su intensidad?

- Índices basados en las anomalías de la SST (diferencia con respecto al promedio a largo plazo) en 4 regiones del Pacífico ecuatorial
- Índices basados en la diferencia de la presión entre Tahiti y (menos) Darwin (Southern Oscillation Index, SOI).

### Nino 3.4

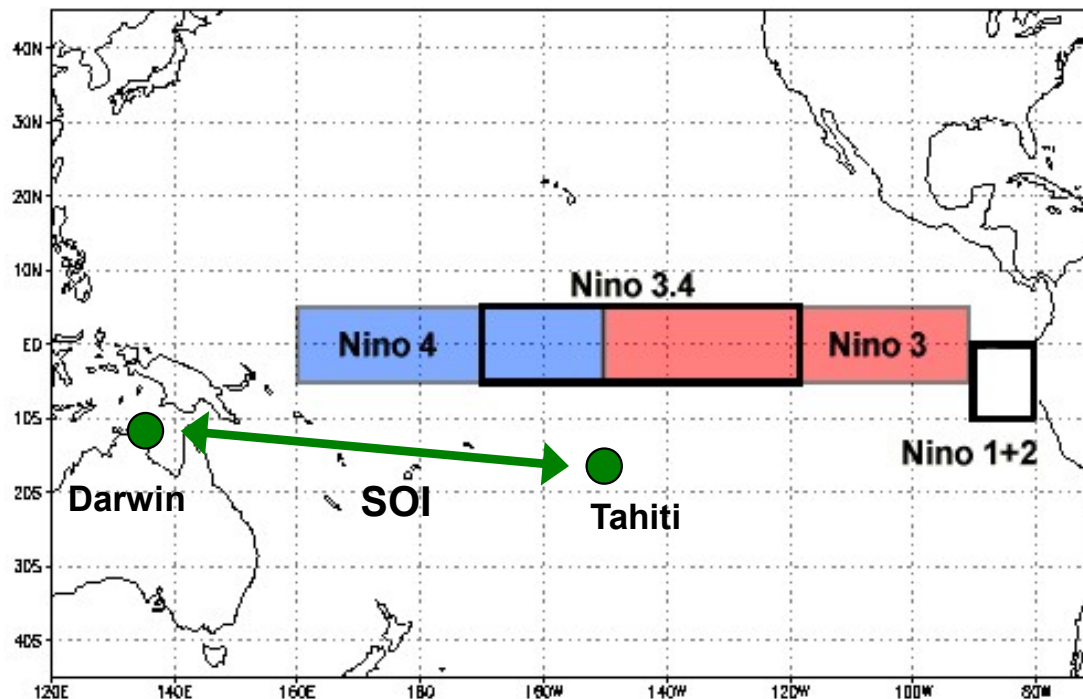
Zona de máxima relación con el desplazamiento de la convección tropical

### Nino 4

Zona mejor correlacionada con la dinámica latitudes medias

### SOI

Correlacionado con Nino 3.4 SST



### Nino 3

Zona de máxima variabilidad en SSTs durante todo un ciclo ENSO

### Nino 1+2

Zona que primero se caliente en un Nino

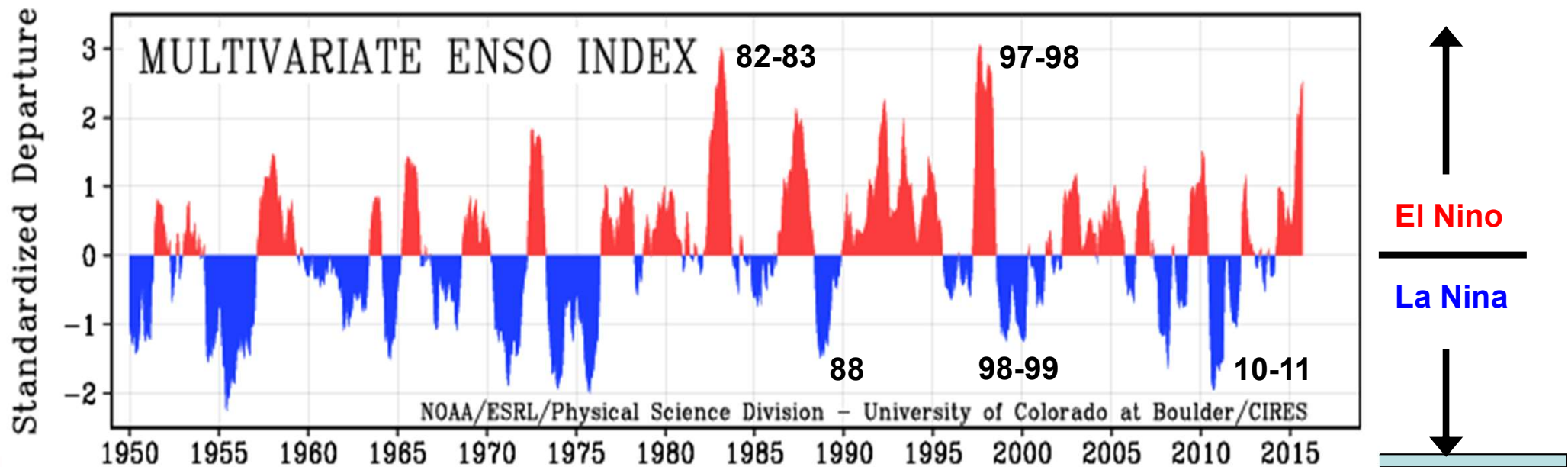
# ENSO

## □ ¿Cómo medir su intensidad?

- Índice Multivariado ENSO (MEI): combina anomalías of SST (Nino3.4), presión de superficie (SOI), viento, temperatura del aire y nubosidad

**El Nino** = valor  $> +1.0$

**La Nina** = valor  $< -1.0$



TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

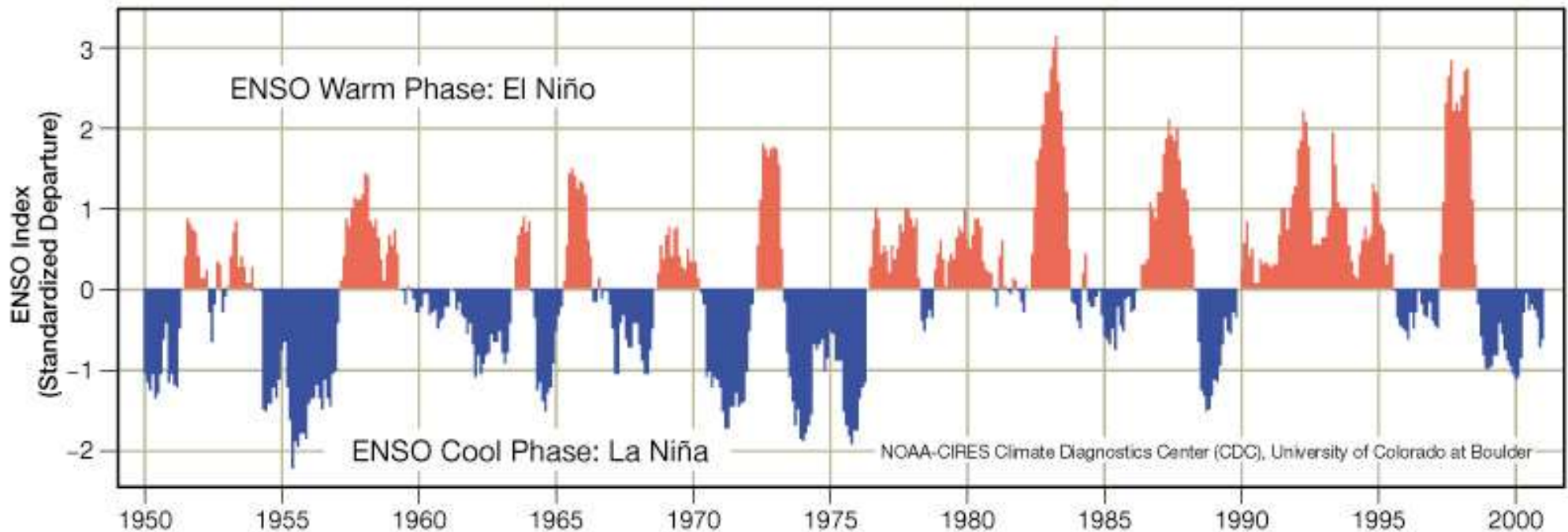
Taller



# ENSO

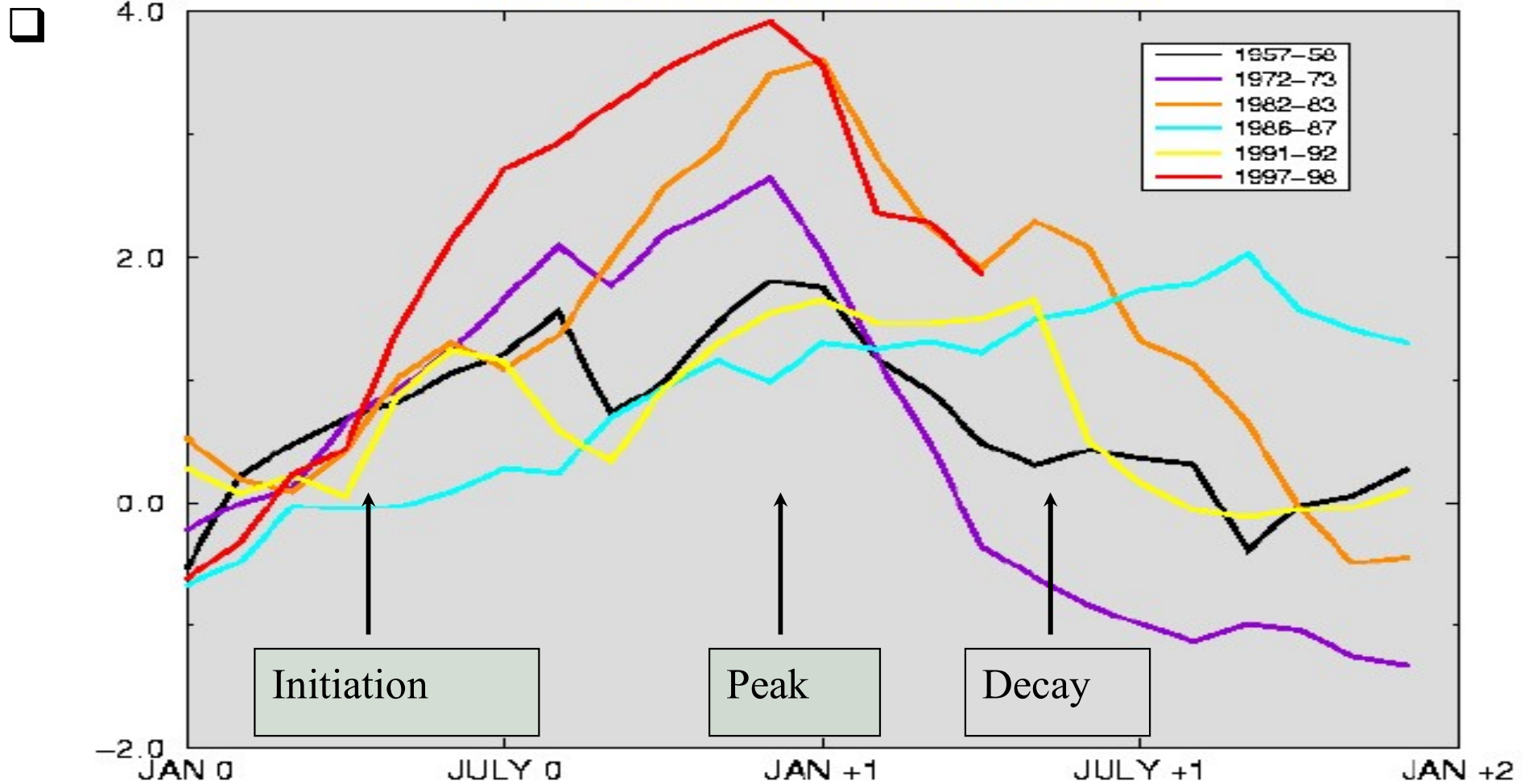
## □ Cronología

- Alternancia de Niños y Niñas con ciclos de 2-12 años.



## NINO3 SST COMPARISON

REYNOLDS OI SST (LAST DATA APR. 98)



# ENSO

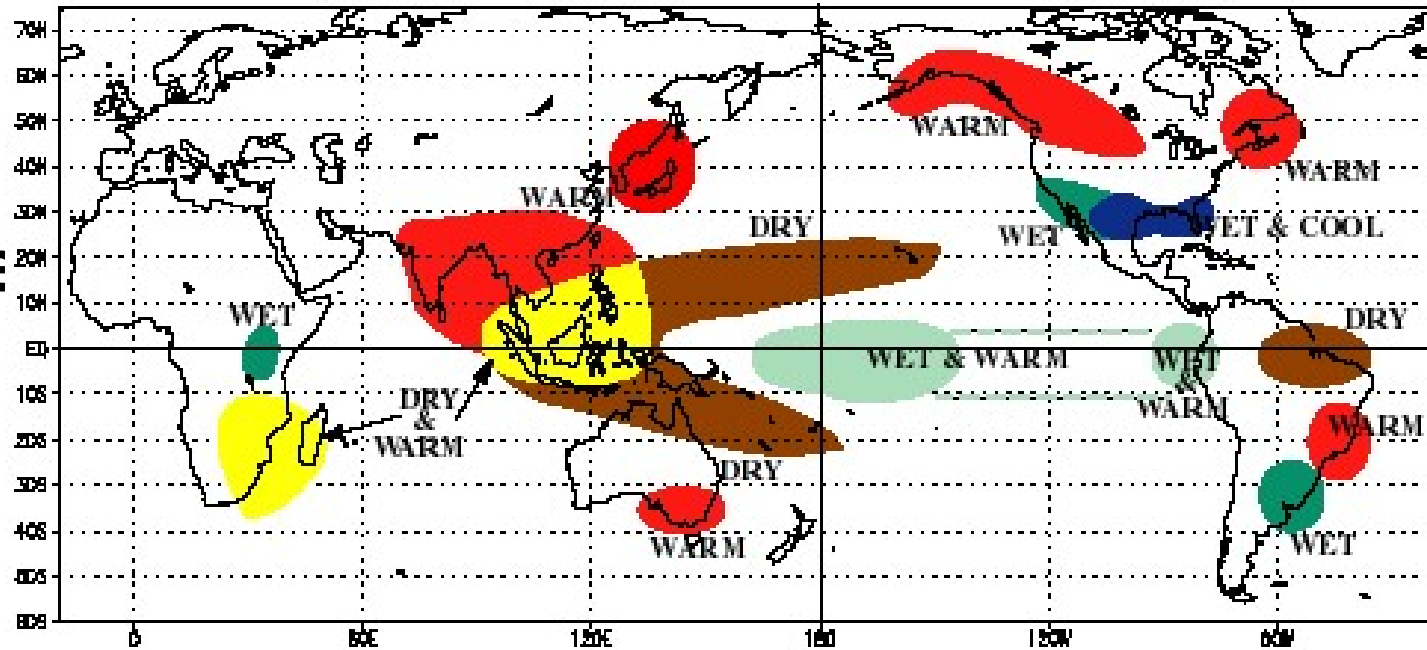
## □ Consecuencias climáticas

- Se extienden progresivamente por todo el planeta
- Afectan sobre todo a países tropicales, cuya economía (sector primario) es débil
- Menor capacidad de adaptación a la variabilidad natural del clima: el mismo episodio de lluvias torrenciales puede causar graves inundaciones en una zona y sólo causar problemas menores en otro lugar preparado para ese tipo de eventos.

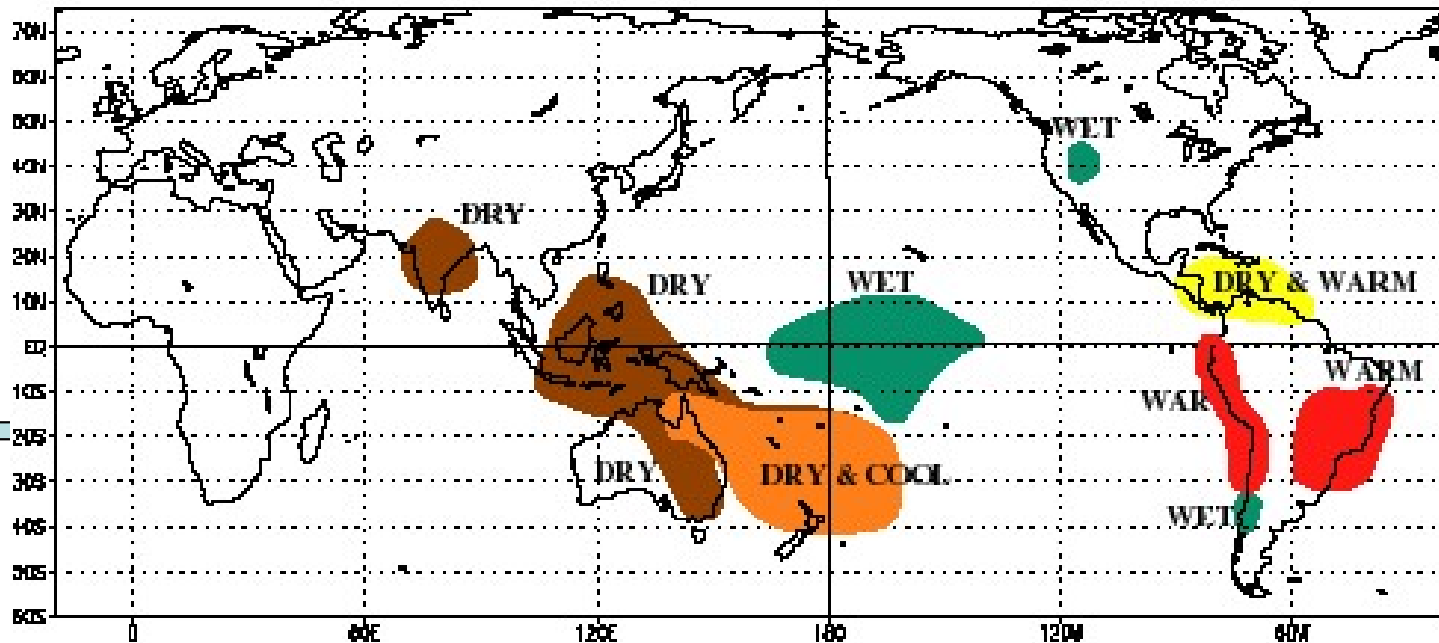
# WARM EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY

## ENSO

### Consecue



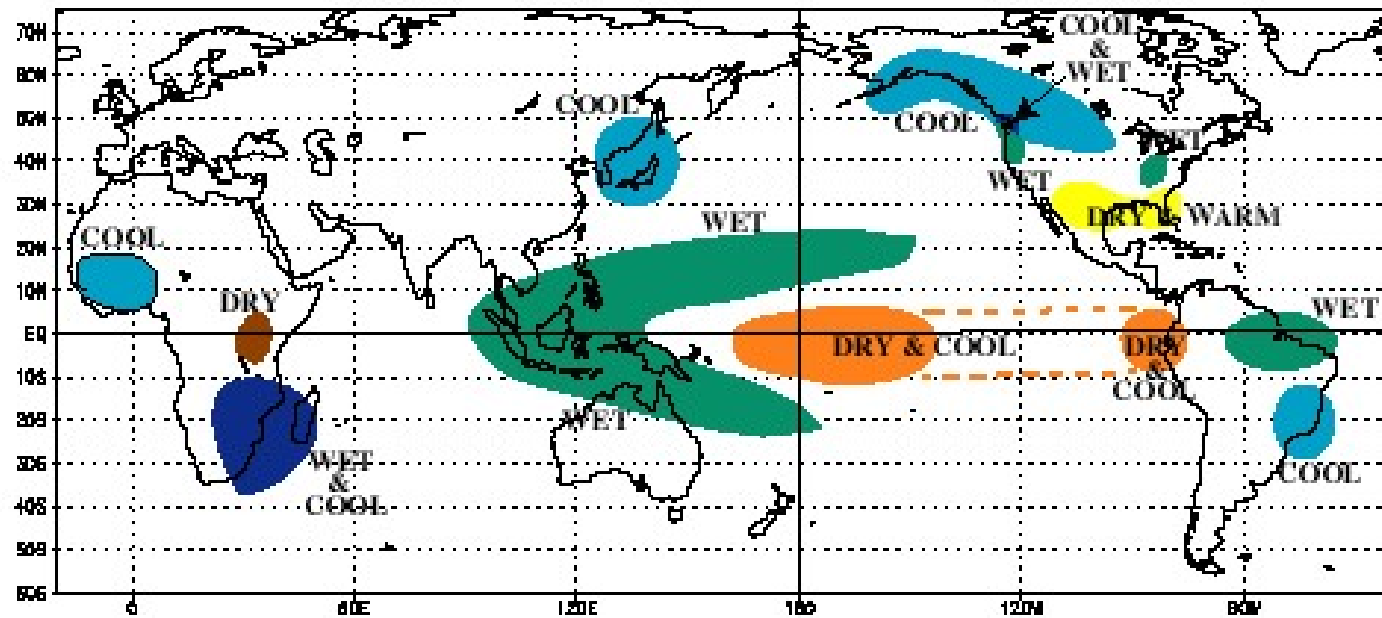
# WARM EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST



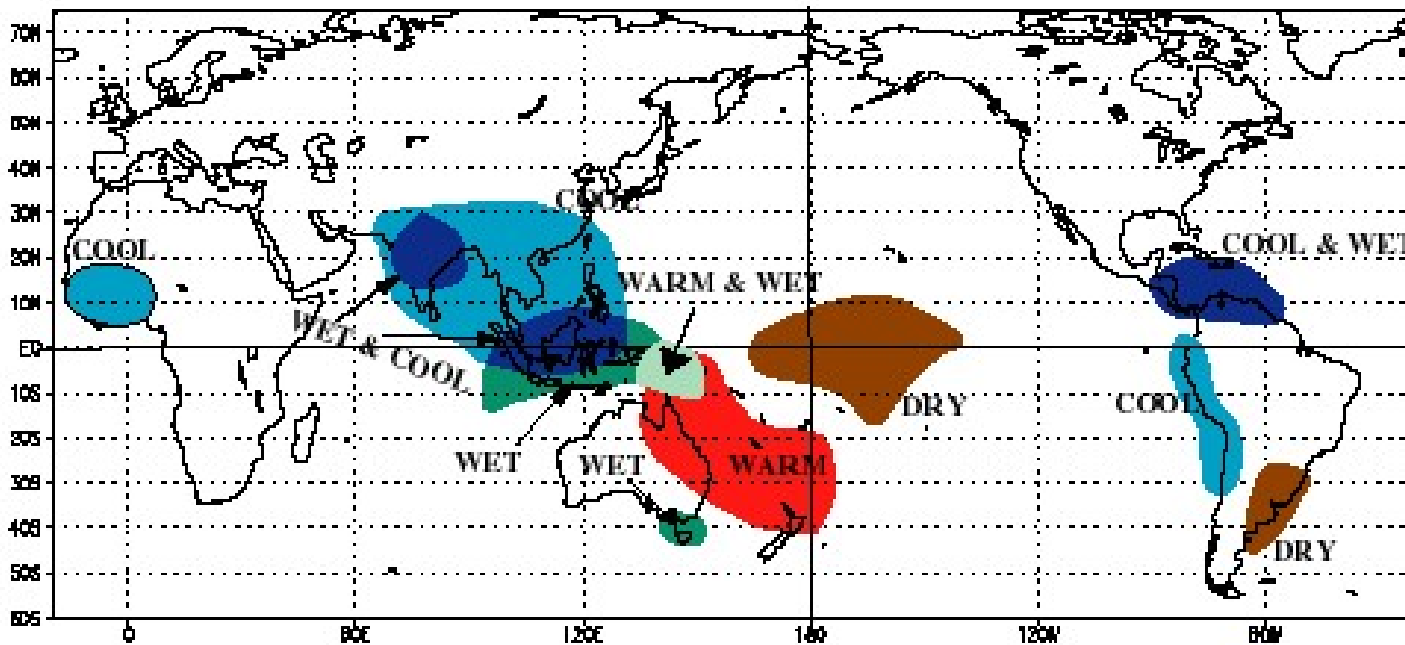
# COLD EPISODE RELATIONSHIPS DECEMBER - FEBRUARY

## ENSO

### □ Consequ

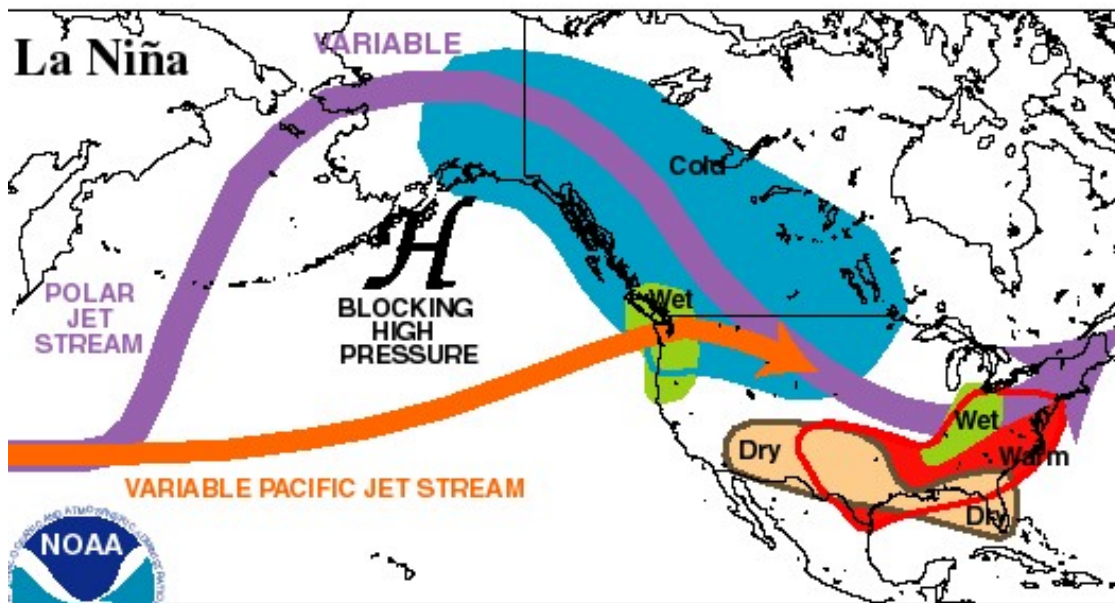
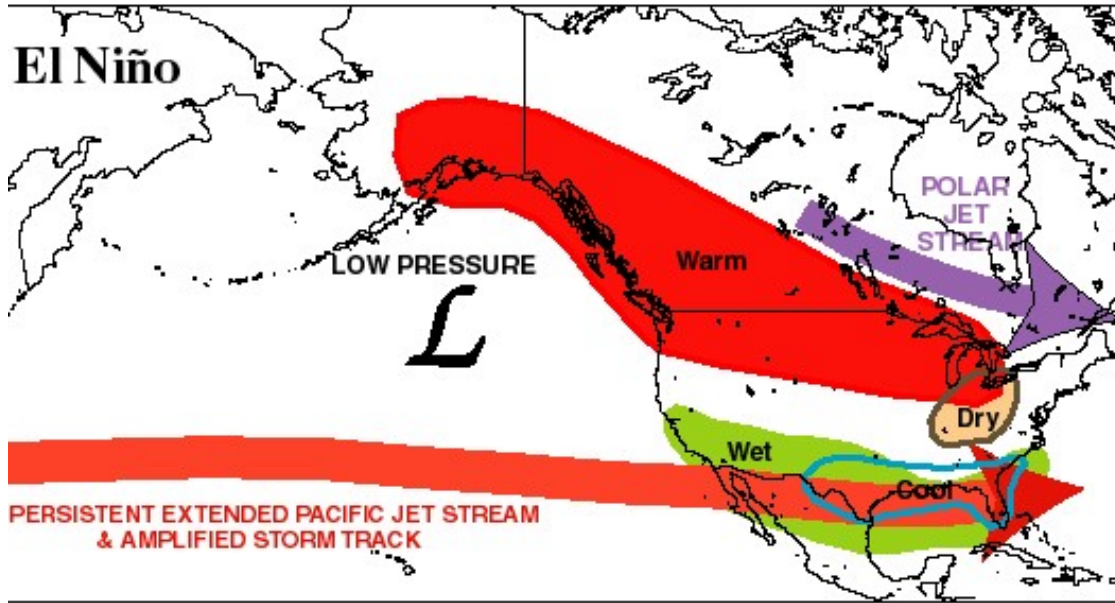


# COLD EPISODE RELATIONSHIPS JUNE - AUGUST





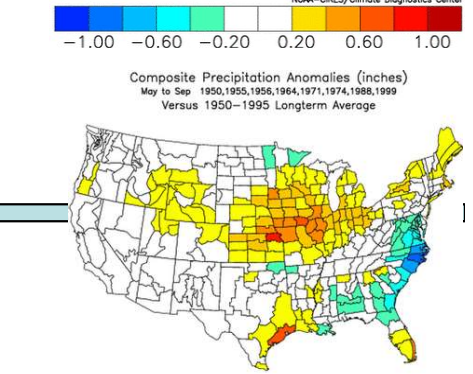
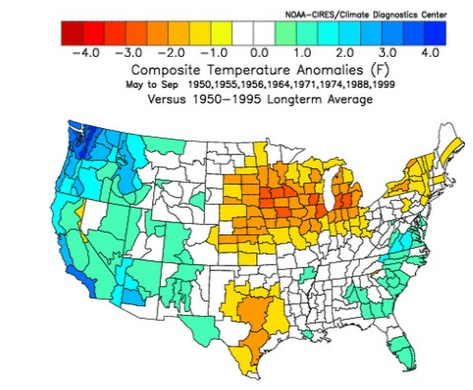
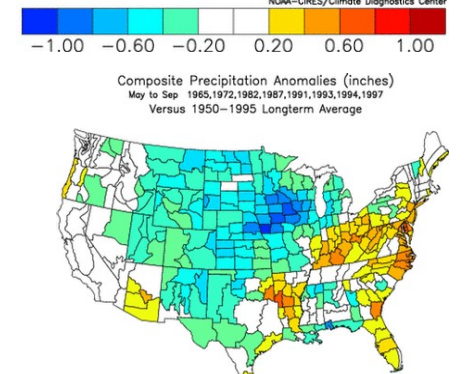
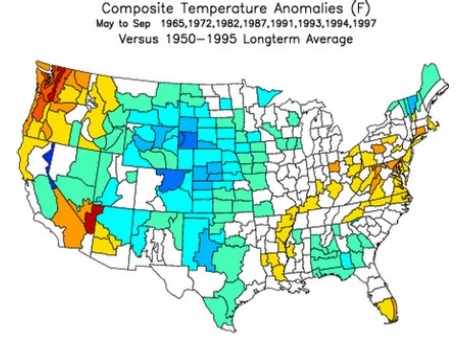
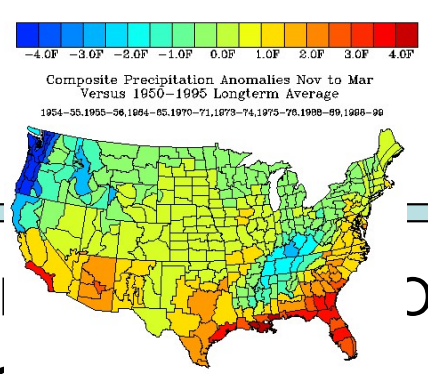
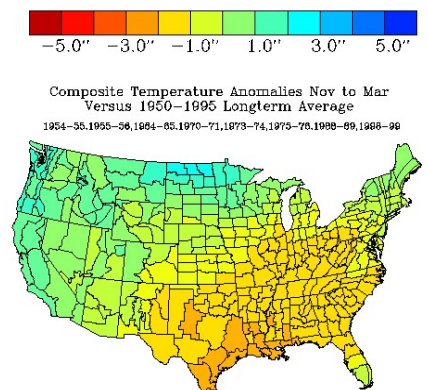
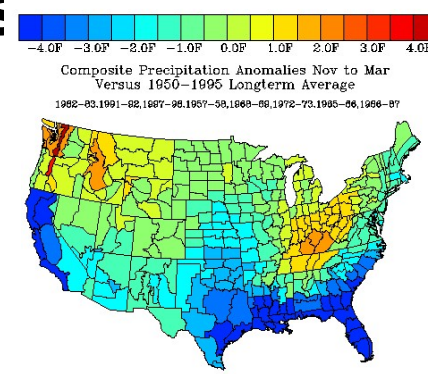
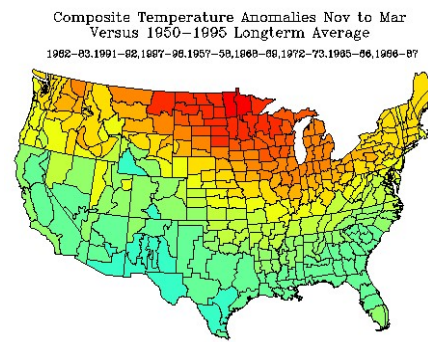
# TYPICAL JANUARY-MARCH WEATHER ANOMALIES AND ATMOSPHERIC CIRCULATION DURING MODERATE TO STRONG EL NIÑO & LA NIÑA



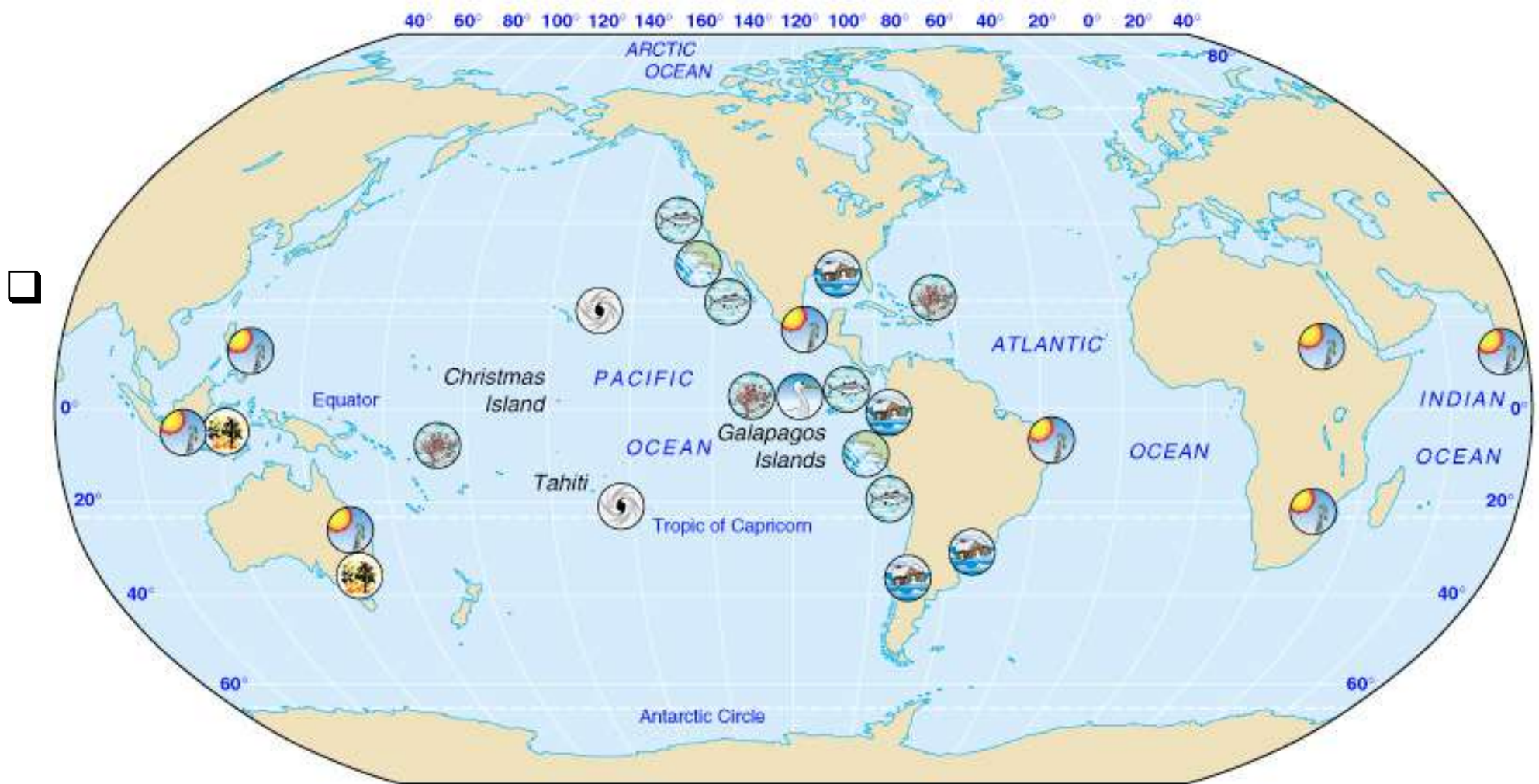
Climate Prediction Center/NCEP/NWS



4º Curso ES



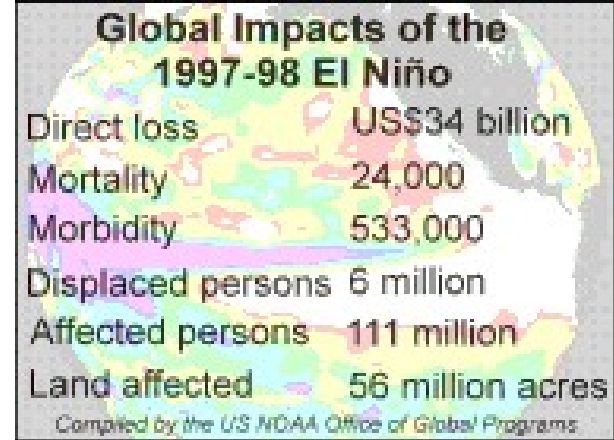
DS



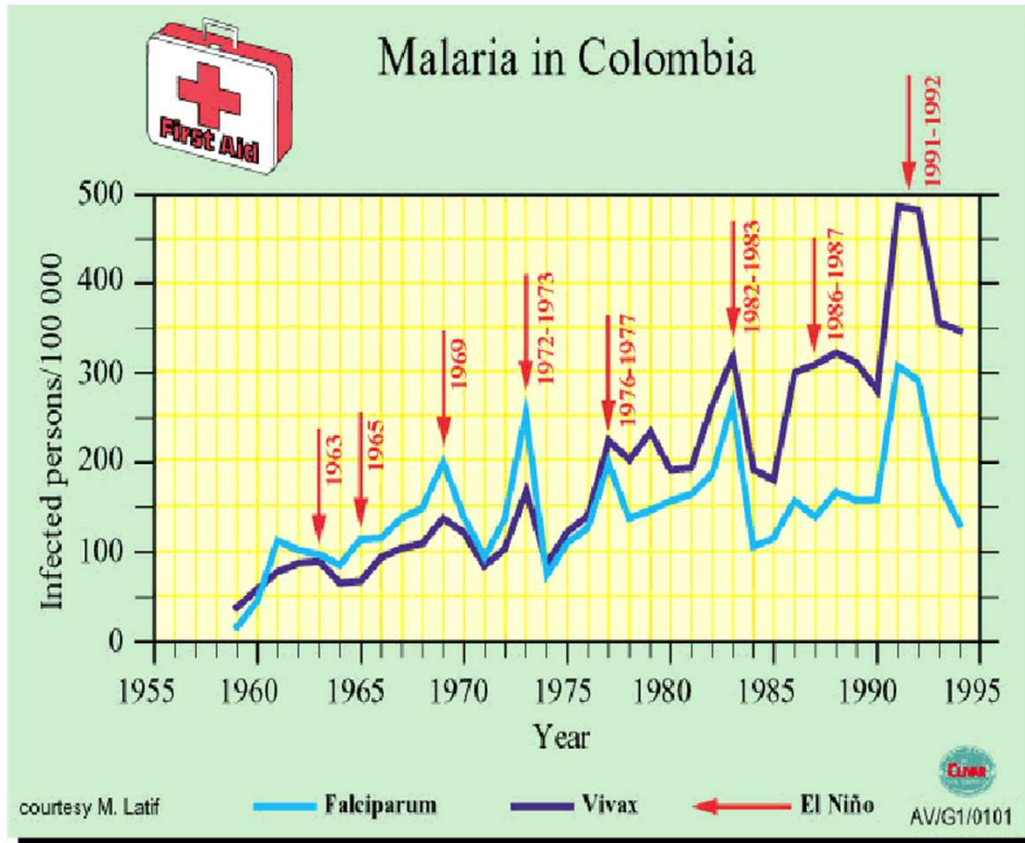
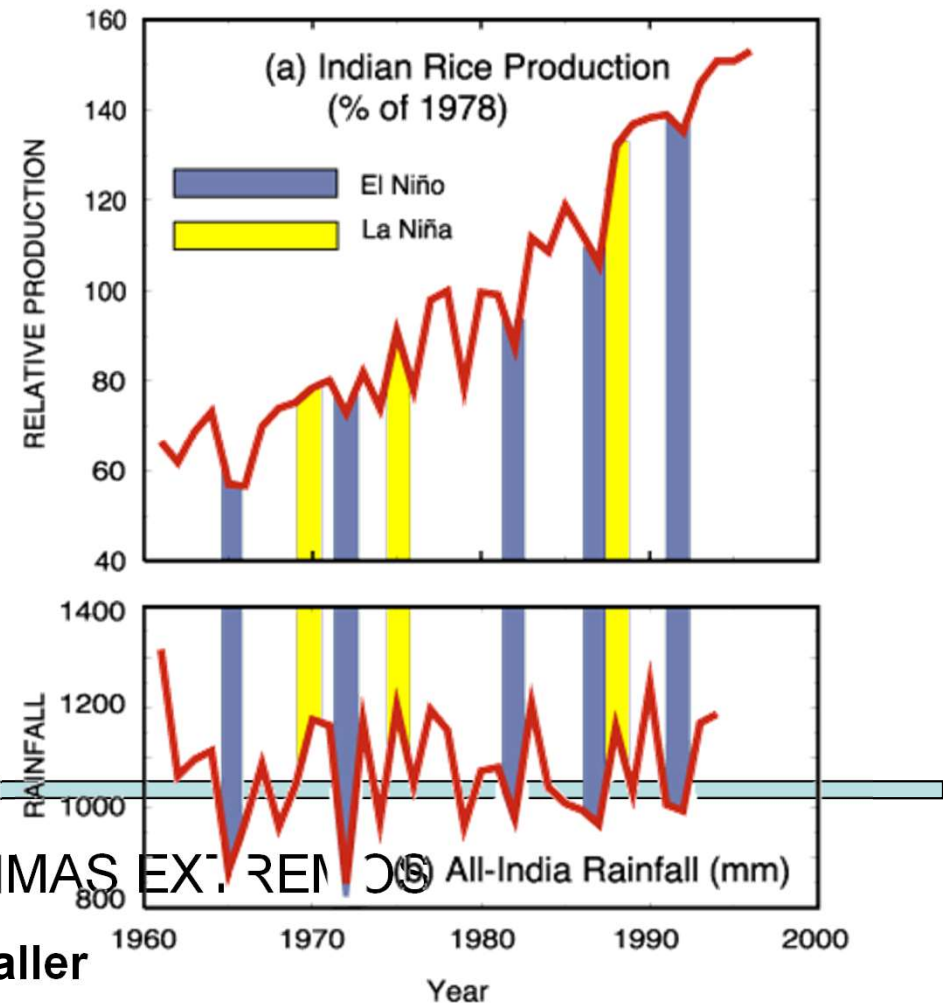
	Marine life impacted		Coastal Erosion		Coral reef damage		Forest Fires
	Floods		Drought		Bird life impacted		Tropical Storms

# ENSO

## Consecuencias



Relationship of Indian Rice Production and Indian Rainfall

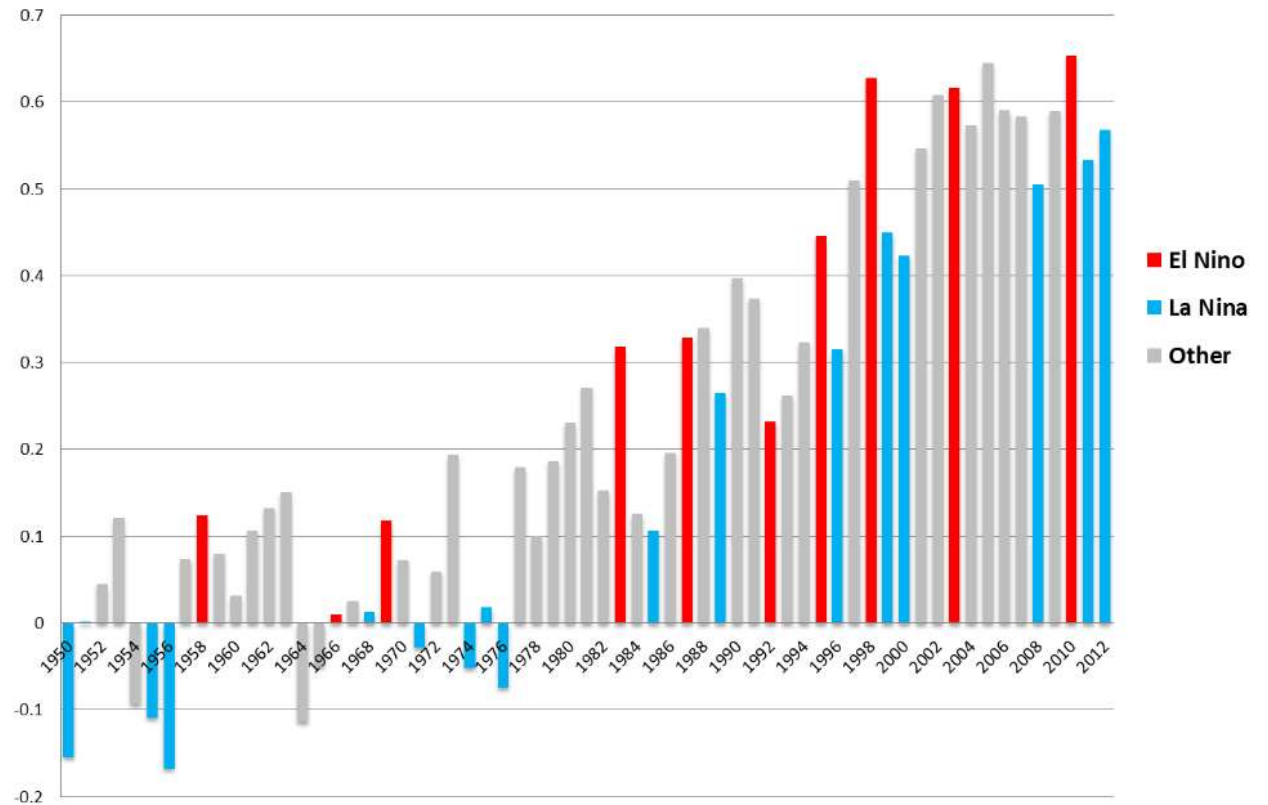


# ENSO

## □ Relación con el calentamiento global

- Los eventos cálidos incrementan las temperaturas (añaden al calentamiento global).
- Los eventos fríos amortiguan el calentamiento global.

Annual Global Temperature Anomalies  
1950 - 2012



# ENSO

## □ Relación con el calentamiento global

- En las últimas décadas, los Niños han sido más frecuentes que las Niñas → ¿fluctuación aleatoria o consecuencia del calentamiento global?
- Respuesta: aún no existe consenso
  - El cambio climático provocado por el ser humano no afecta al fenómeno de El Niño (A. Barnston).
  - Importancia del calentamiento global por la superposición de fenómenos: «El calor oculto en los océanos está aflorando y provocará una aceleración de las temperaturas»

# ENSO

## □ Relación con el calentamiento global

- ¿Qué pasará en el futuro?
  - Diferentes predicciones según modelos climáticos.
  - Niños más frecuentes e intensos al comienzo del calentamiento (mientras se calienta la capa superficial del planeta) con una posterior estabilización.
  - Equilibrio entre factores estabilizadores y desestabilizadores.
- ENSO es considerado un elemento potencial de reequilibrio global → bajo condiciones de calentamiento global, puede intensificar o alterar la frecuencia de eventos extremos a escala global

# **TEMA 5.3**

# **LOS MONZONES**

# DEFINICIÓN

## □ ¿Qué es el monzón?

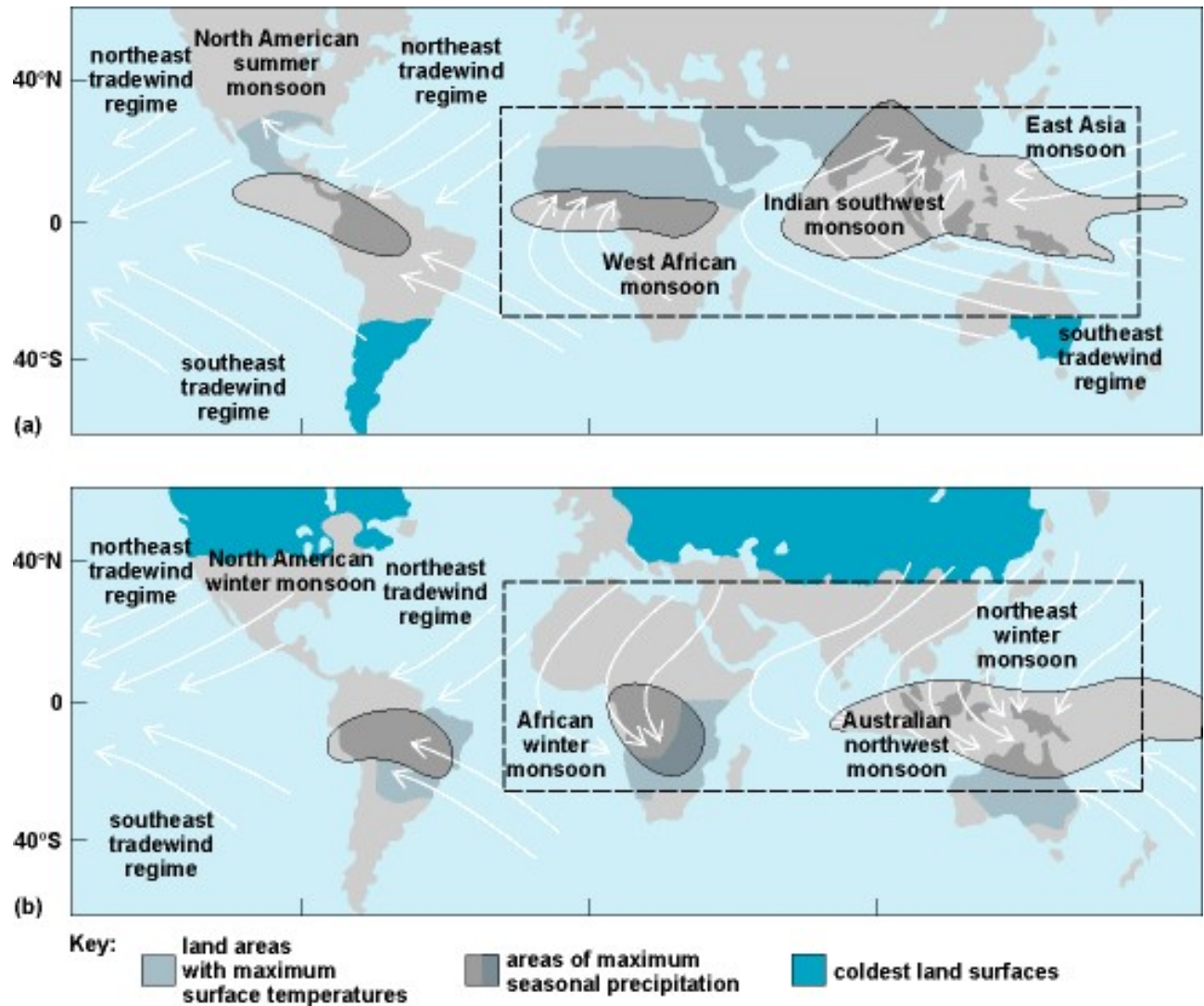
- Una circulación planetaria que se invierte a lo largo del año
- Genera importantes contrastes estacionales en las condiciones atmosféricas (sobre todo precipitación)
- La causa inicial es el contraste térmico entre la tierra y el mar (Edmund Halley –comenta- fue el primero en identificar este mecanismo).



# DEFINICIÓN

## □ Sistemas monzónicos

- Asia-Australia (cuyo componente fundamental es el monzón de la India)
- África (cuya influencia sobre las ondas del E a su vez influye en la estación de huracanes).
- América



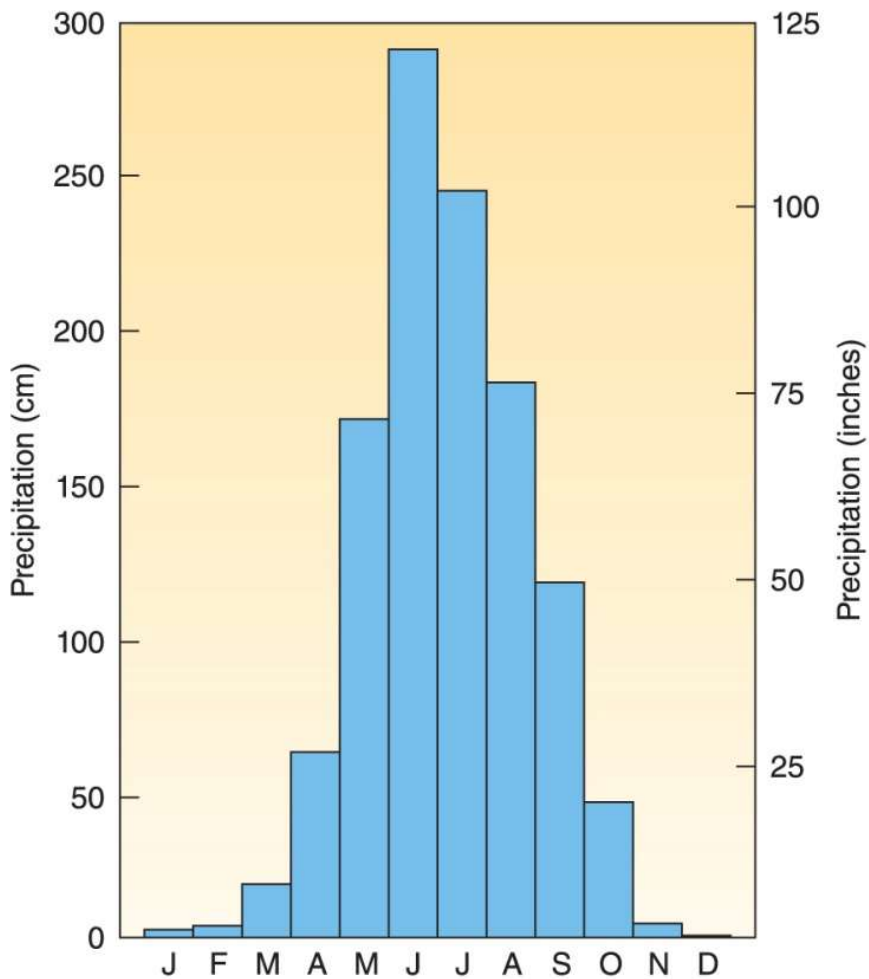
# DEFINICIÓN

## □ Características

- Precipitaciones abundantes durante el Verano, inviernos muy secos
- Inversión estacional del viento
- Grandes movimientos trans-ecuatoriales del flujo de humedad desde el Hemisferio N

# MONZÓN

Cherapunji, India



© 2013 Pearson Education, Inc.



Estación seca

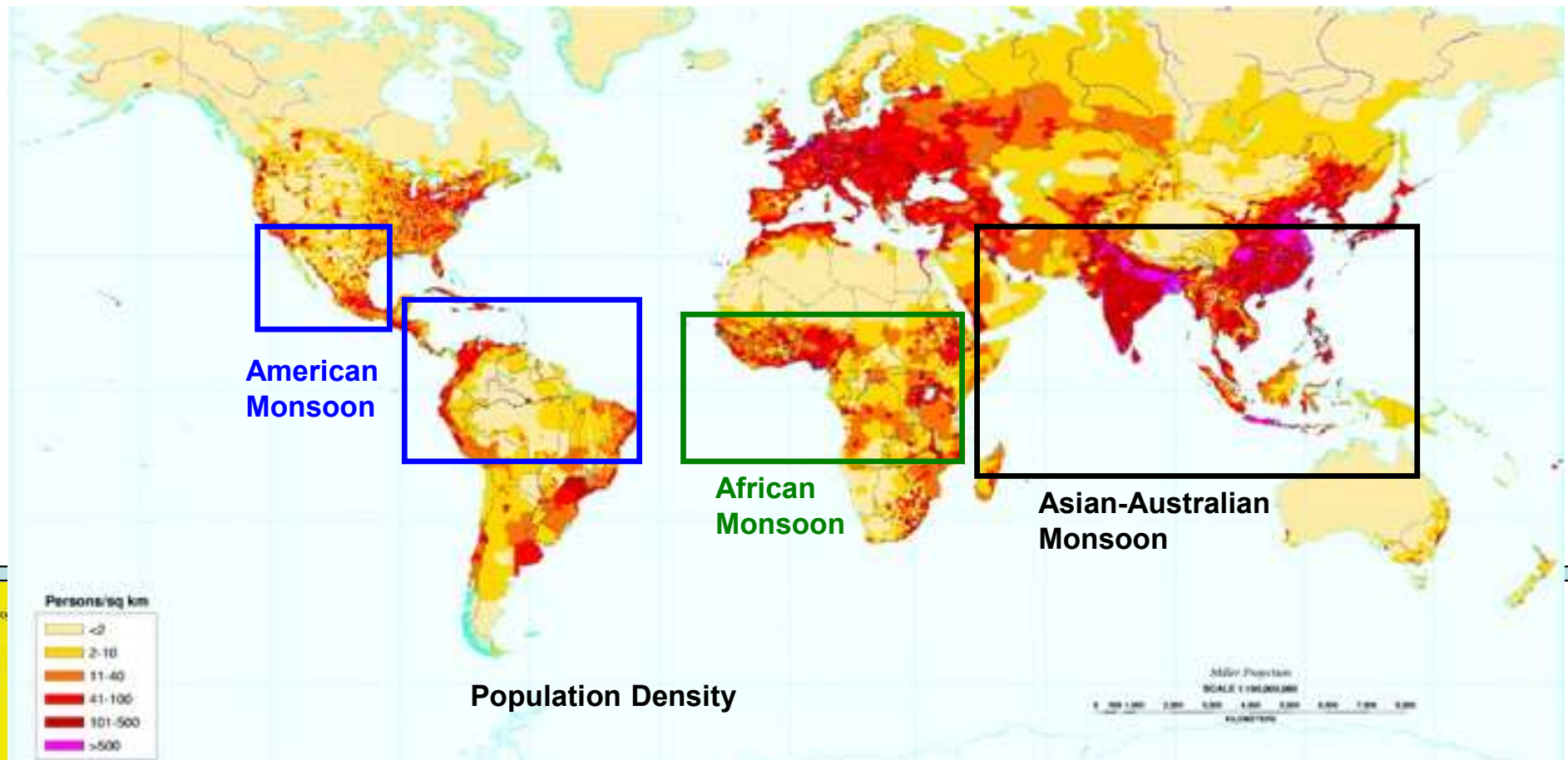


Estación de lluvias

# MONZÓN

## □ Impactos

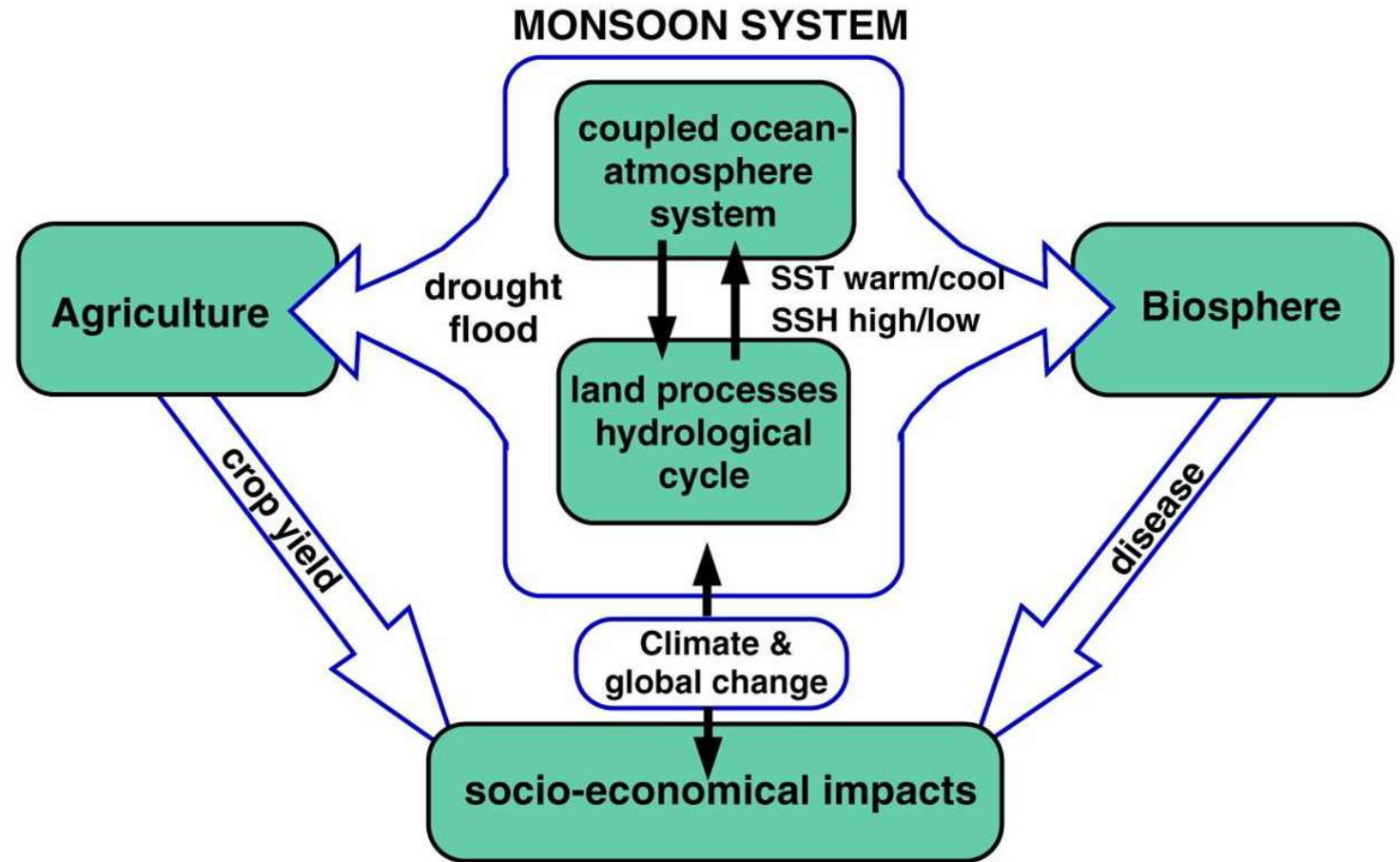
- Escala global: las regiones sometidas a monzones cubren aproximadamente  $\frac{1}{2}$  de los trópicos ( $\frac{1}{4}$  de toda la superficie terrestre) y el  $\sim 65\%$  de la población mundial



# MONZÓN

## □ Impactos.

- Economía basada en la agricultura
- La variabilidad interanual en las fechas de comienzo y en la cantidad de precipitación puede ser catastrófica

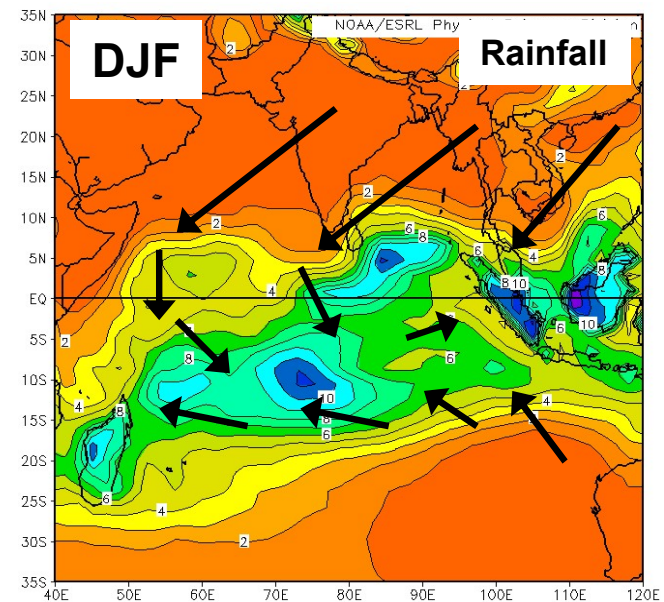
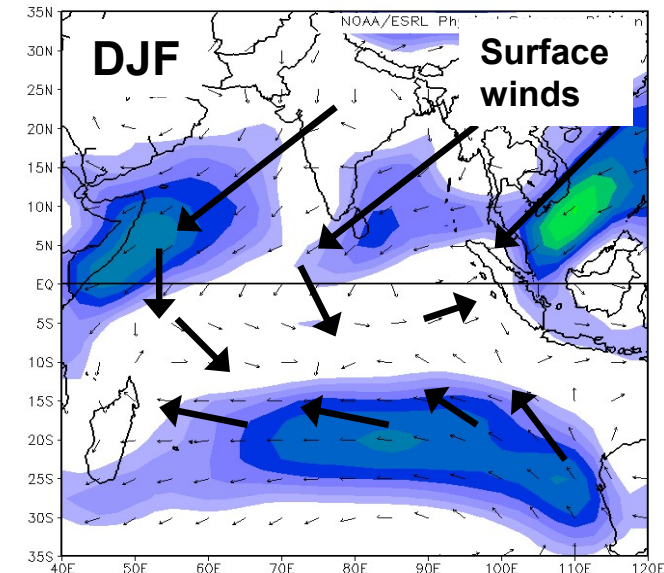


# MONZÓN DE LA INDIA

## □ Variabilidad estacional (estación seca)

- Diciembre hasta febrero
- Predominio de vientos continentales (NE)
- Convección localizada en el Océano Índico → precipitación mínima sobre el continente

### Estación seca

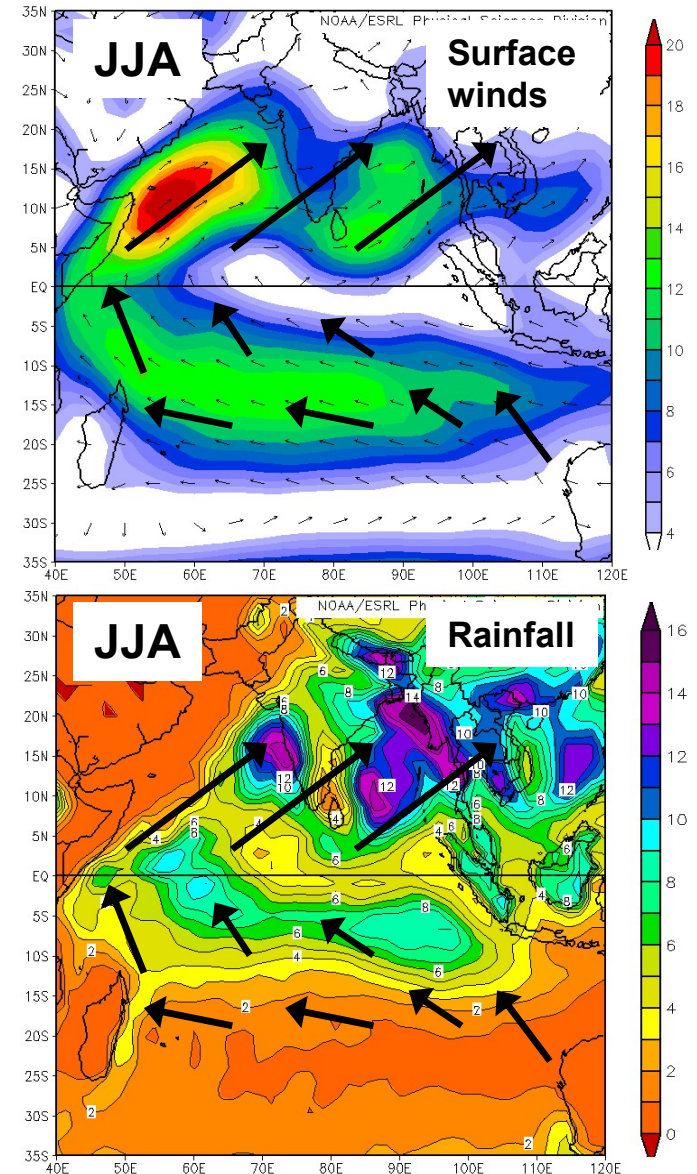


# MONZÓN DE LA INDIA

## □ Variabilidad estacional (estación húmeda)

- Junio hasta agosto
- Predominio de vientos húmedos procedentes del SW
- Precipitaciones abundantes, con 3 máximos espaciales:
  - ✓ Costa occidental de la India
  - ✓ Bahía de Bengala
  - ✓ Laderas sur del Himalaya

### Estación húmeda



# MONZÓN DE LA INDIA

- Meseta Tibetana: actúa como fuente de calor → ayuda al inicio y posterior mantenimiento del monzón)

## □ Importancia de la topografía

- Muy importante durante la estación húmeda (algo menos durante la seca)
- Sin estos mecanismos, el SE de Asia sería un desierto
- La zonas altas de África Oriental actúan de barrera para los vientos del E en las

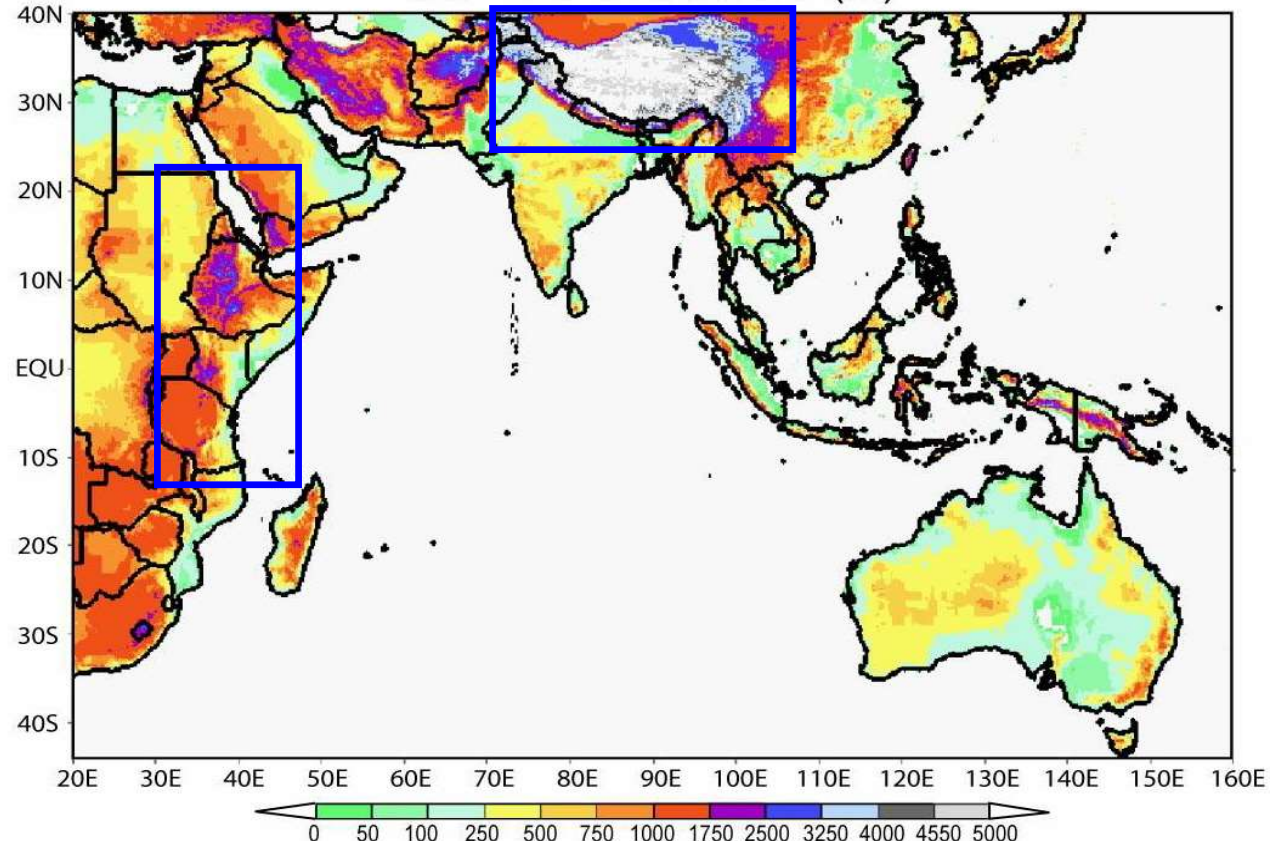
capas bajas

(aceleración del flujo)

TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

TALLER

1/6° TOPOGRAPHY (m)



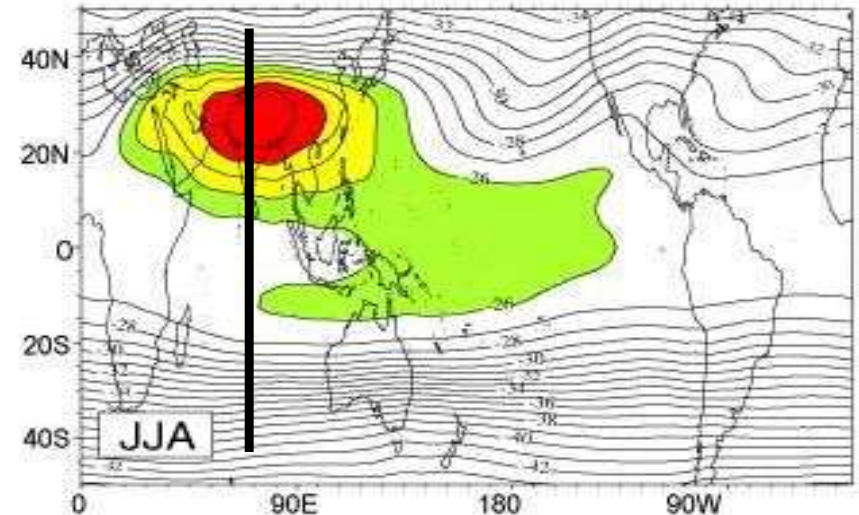


# MONZÓN DE LA INDIA

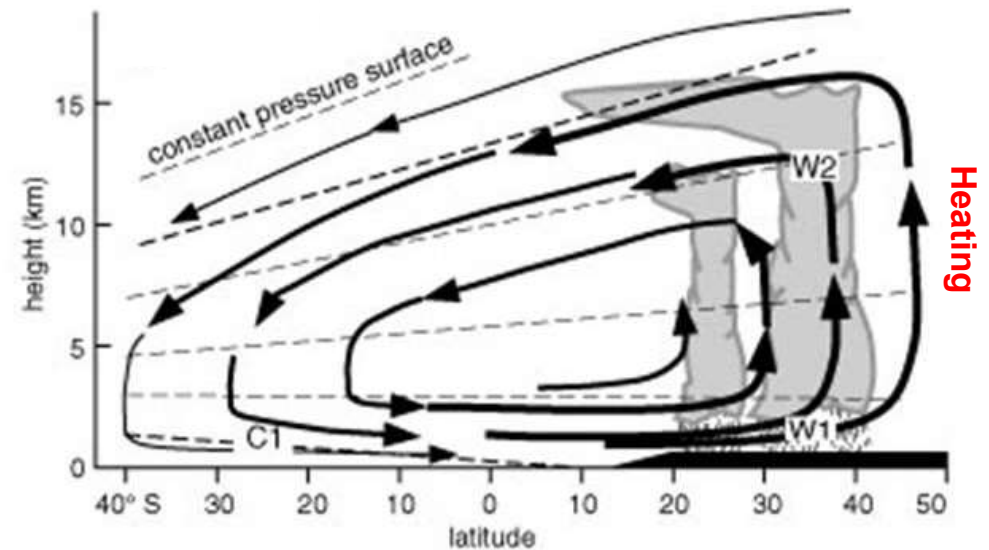
## □ Meseta del Tibet.

- La radiación solar calienta los niveles medios de la atmósfera sobre el Himalayas mediante flujos de calor sensible → incrementa el espesor de la atmósfera → gradiente de presión regional en niveles altos → flujo marítimo hacia el continente
- Además...

Mean Temperature (200-500mb)



N-S cross-section through Monsoon

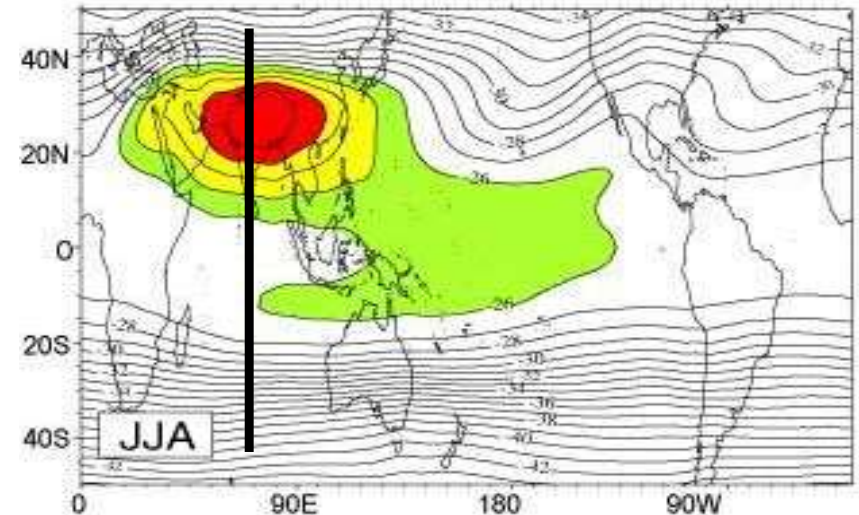


# MONZÓN DE LA INDIA

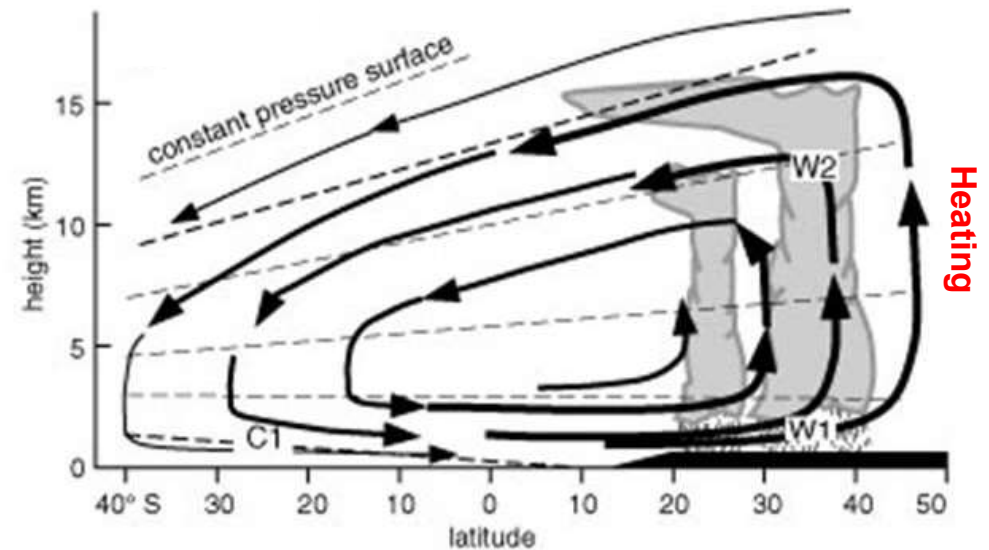
## □ Meseta del Tibet.

- Disminución de la presión en superficie: atrae aire cargado de humedad desde el océano Índico
- Convergencia entre masas de aire y elevación forzada en montañas generan una intensa convección y liberación de calor latente, que continúan alimentando el monzón

Mean Temperature (200-500mb)



N-S cross-section through Monsoon

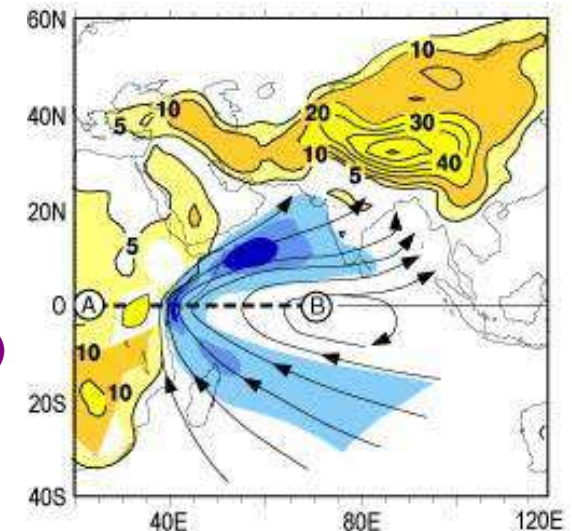


# MONZÓN DE LA INDIA

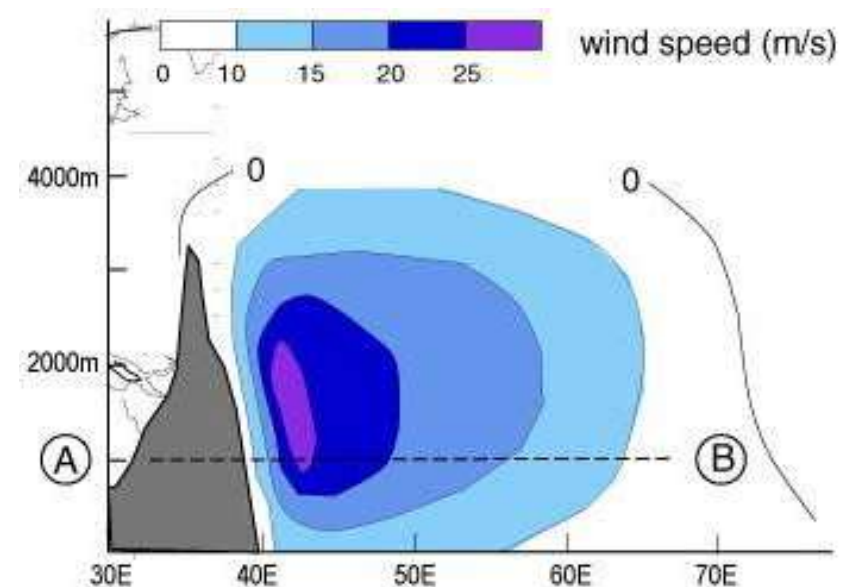
## □ Impacto de las montañas de África Oriental

- El flujo del E en capas bajas es bloqueado por el terreno y desviado hacia el NE ( Jet de Somalia)
- Aceleración adicional de este flujo por el calor del subcontinente Indio

Low Level Flow (z = 1 km)



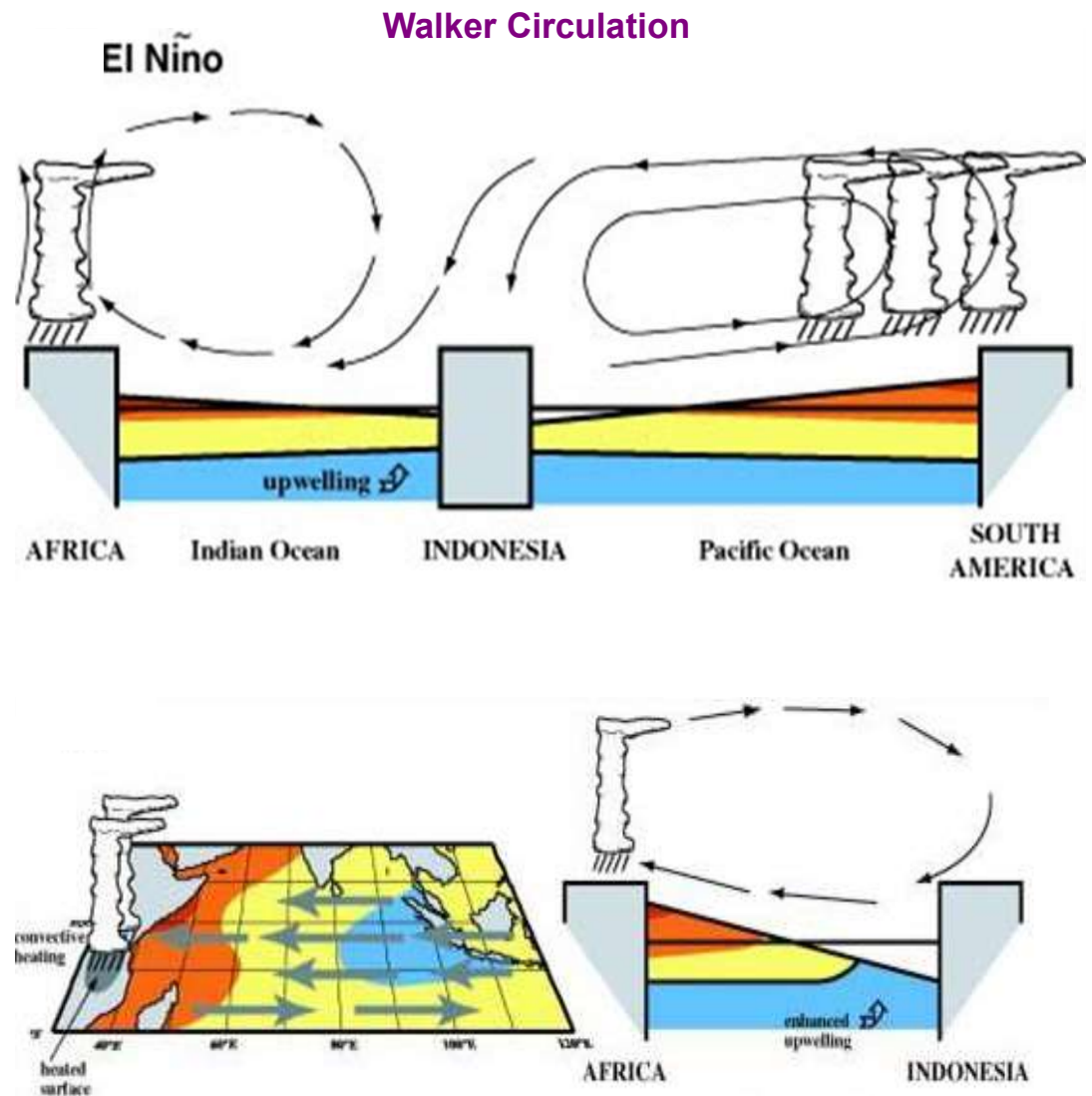
E-W cross section (A-B)



# MONZÓN DE LA INDIA

## □ Impacto de ENSO

- Sequías severas y hambrunas han sido habituales durante eventos El Niño
- Aumento de la temperatura del mar + inversión de la circulación de Walker → incremento de la convección sobre el sector oriental del Océano Índico y de África (no se desvía hacia el NE)



# MONZÓN DE LA INDIA

## □ Impacto de ENSO (Niños)

- Un menor flujo monzónico del SW → menos convección y liberación de calor latente → monzón más débil
- El flujo de retorno hacia latitudes polares que resulta de la mayor convección ecuatorial crea movimientos subsidentes sobre el continente → supresión adicional de la convección

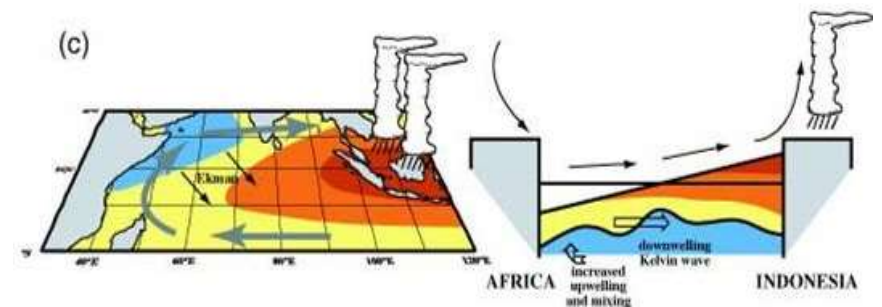
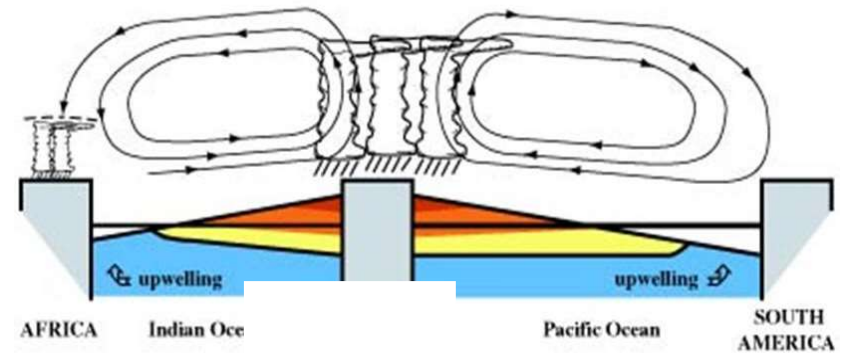
# MONZÓN DE LA INDIA

## □ Impacto ENSO (Niñas + años normales)

- Temperaturas altas del mar + convección sobre el Pacífico ecuatorial occidental origina una acentuación de la circulación "normal" de Walker e intensifica la subsidencia sobre el oeste del océano Índico
- La subsidencia intensifica el flujo normal del monzón → precipitaciones más abundantes → riesgo de grandes inundaciones durante los eventos La Niña más intensos

### Walker Circulation

(a) Non-El Niño



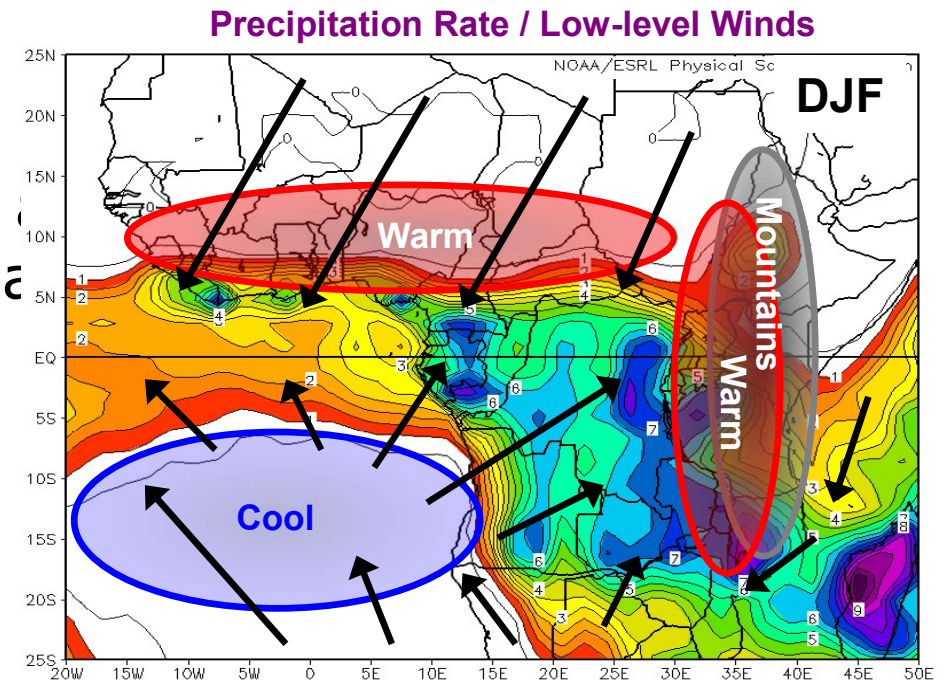
TIEMPOS Y CLIMAS EXTREMOS

TALLER

# MONZÓN DE ÁFRICA

## ▢ Variabilidad anual

- Inversión del flujo de continental marítimo en las capas bajas (de N a S)
- DJF
- Flujo continental del NE sobre el Sahel → precipitación confinada a una estrecha banda costera.
- Flujo marítimo del SW en la Cuenca del Congo → intensa convección al W de las mesetas elevadas de África oriental (actúan como Fuente de calor)

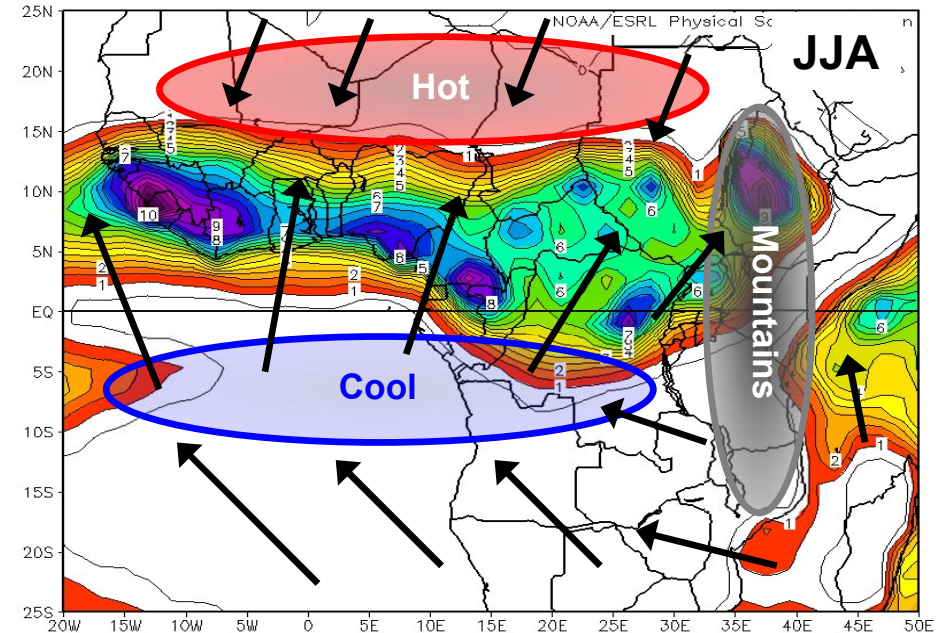


# MONZÓN DE ÁFRICA

Precipitation Rate / Low-level Winds

## □ Variabilidad anual

- JJA
- Flujo del SW sobre el Sahel, con intensa convección extendiéndose hasta el paralelo  $\sim 15^{\circ}\text{N}$
- Sahara: actúa como fuente de calor (superficial) atrayendo la circulación monzónica
- Flujo del SE sobre África del Sur  $\rightarrow$  estación seca

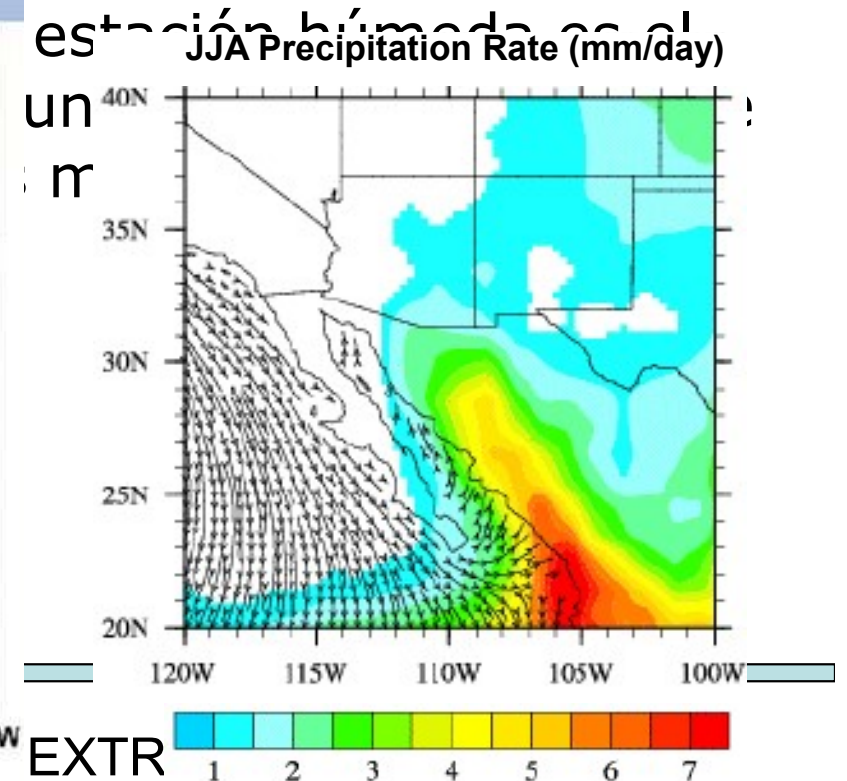
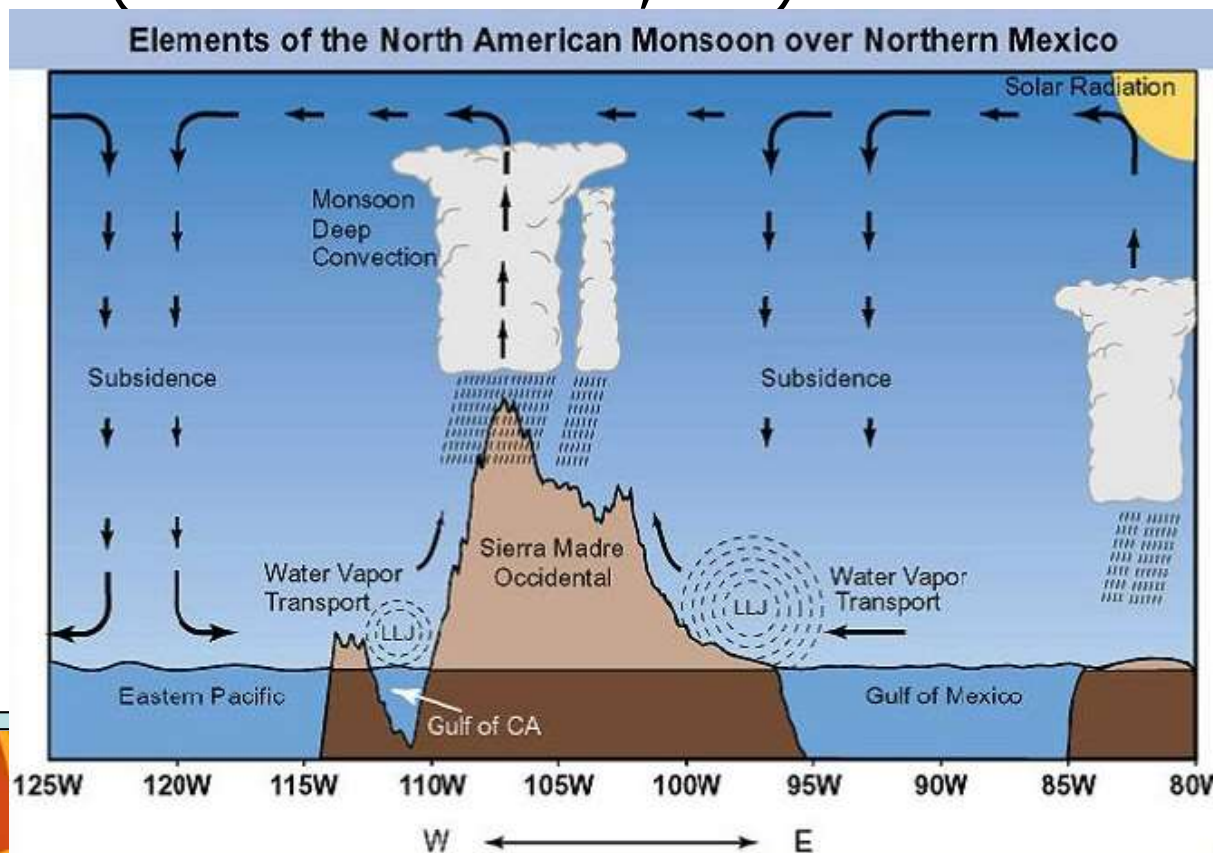




# MONZÓN DE AMÉRICA

## □ Variabilidad anual

- Inversión del flujo superficial a lo largo de costa oeste de Méjico de continental (estación seca en DEF) a marítimo (estación húmeda, JJA)



TALLER

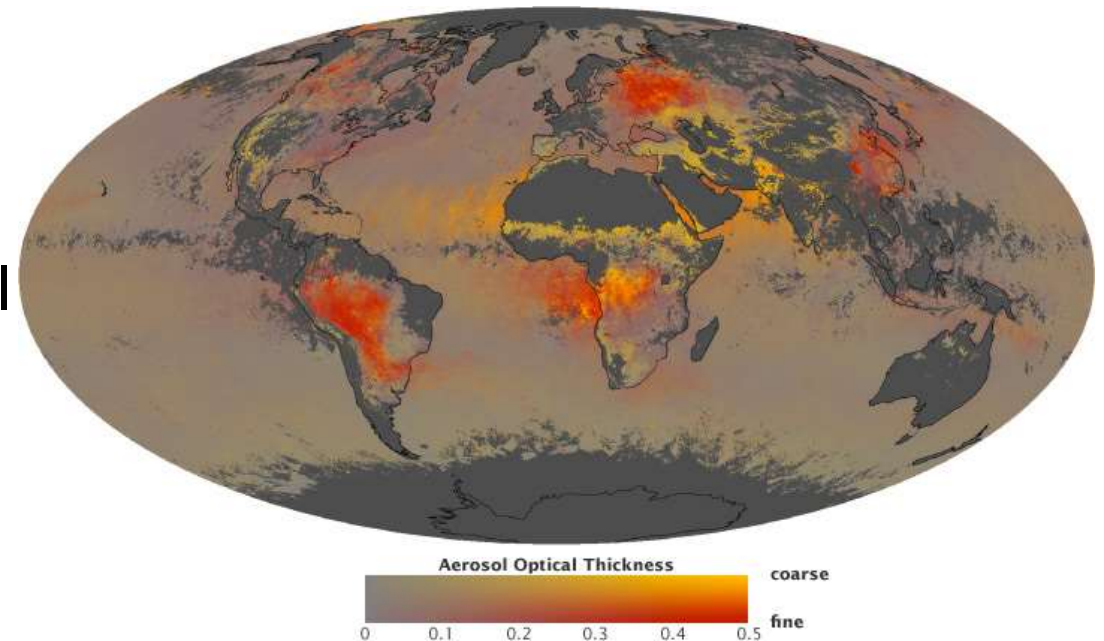
# Apartado 5.4

## Tempestades de arena e intrusiones de polvo sahariano

# Tormentas de arena

## □ Definición.

- Común en zonas áridas y semiáridas
- Tormenta de arena: lugares donde la arena es el tipo de suelo más frecuente).
- Intrusión de polvo (material particulado): cuando son partículas más finas que alcanzan mayores distancias.



# Tormentas de arena

## □ Impactos sobre el medio ambiente.

- Influencia en el sistema climático global.
- Inyección de nutrientes (hierro) en los ecosistemas marinos
- Pérdida de suelo
- Abrasión sobre las plantas (crecimiento)
- Eliminación de materia orgánica → reducción de la productividad agrícola.

# Tormentas de arena

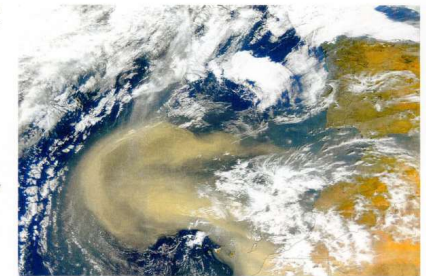
## □ Impactos sobre las actividades humanas y la salud.

- Reducción de la visibilidad → dificultades en el transporte (sobre todo aéreo)
- Empeoramiento de problemas respiratorios
- Transporte de vectores (bacterias, esporas) que causan enfermedades a grandes distancias



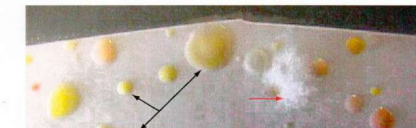
### African Dust Carries Microbes Across the Ocean: Are They Affecting Human and Ecosystem Health?

Atmospheric transport of dust from northwest Africa to the western Atlantic Ocean region may be responsible for a number of environmental hazards, including the demise of Caribbean corals; red tides; amphibian diseases; increased occurrence of asthma in humans; and oxygen depletion (eutrophication) in estuaries. Studies of satellite images suggest that hundreds of millions of tons of dust are transported annually at relatively low altitudes across the Atlantic Ocean to the Caribbean Sea and southeastern United States. The dust emanates from the expanding Sahara/Sahel desert region in Africa and carries a wide variety of bacteria and fungi.



The U.S. Geological Survey, in collaboration with the NASA/Goddard Spaceflight Center, is conducting a study

Figure 1. The satellite image, acquired by NASA/Goddard Spaceflight Center's SeaWiFS Project and ORBIMAGE on February 26, 2000, shows one of the largest Saharan dust storms ever observed by SeaWiFS as it moves out over the eastern Atlantic Ocean. Spain and Portugal are at the upper right; Morocco is at the lower right.



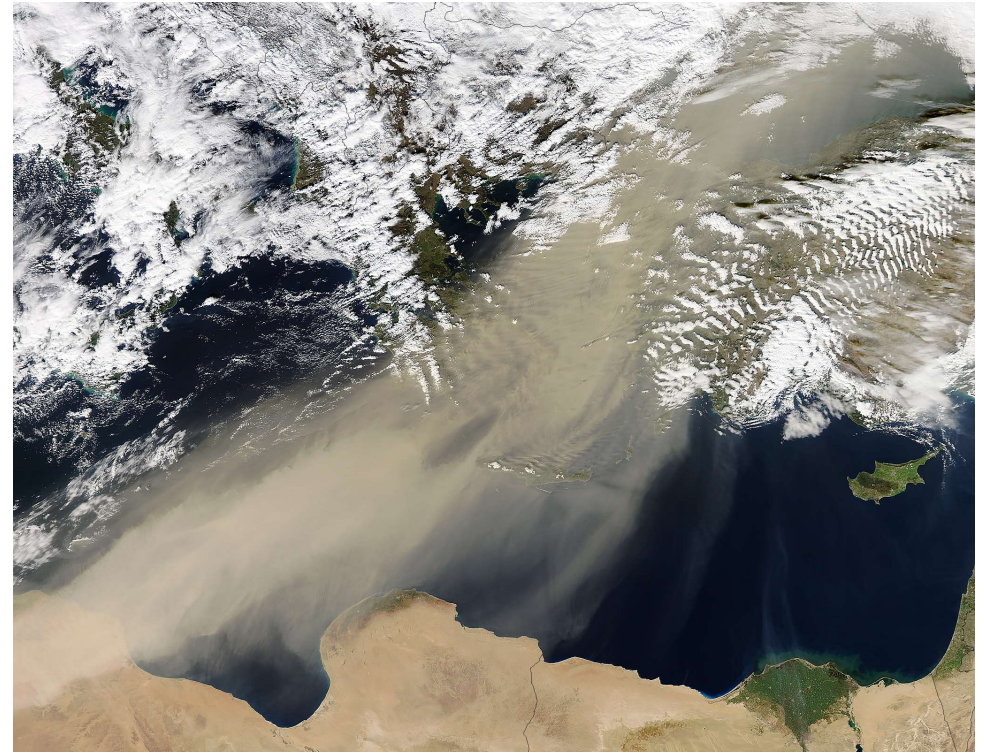
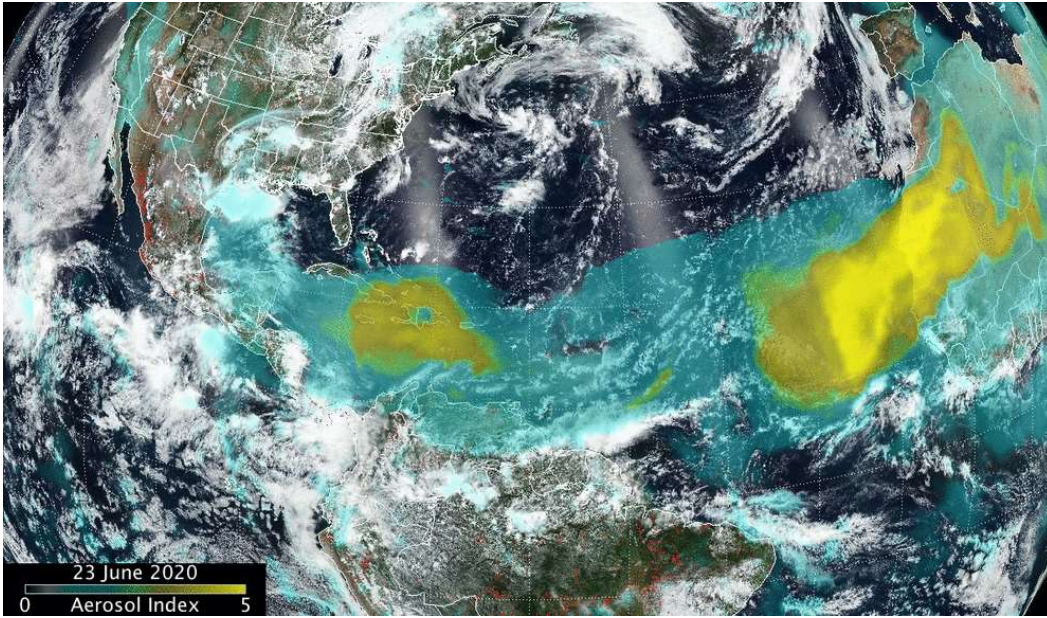
to identify microbes—bacteria, fungi, viruses—transported across the Atlantic in African soil dust. Each year, millions of tons of desert dust blow off the west African coast and ride the trade winds across the ocean, affecting the entire Caribbean basin, as well as the southeastern United States. Of the dust reaching the U.S., Florida receives about

# Tormentas de arena

## □ El desierto del Sahara.

- Principal fuente de material particulado en España (particularmente la Depresión de Bodelé).
- Trayectorias
  - Hacia el W (transporte Trasatlántico): Golfo de Guinea, Caribe, América del N y del S.
  - Hacia el N, atravesando el Mediterráneo y S de Europa, extendiéndose hacia Escandinavia
  - Hacia el E: Mediterráneo Oriental y Oriente Medio. Evidencias de transporte hasta Japón: el 50% del material particulado es de origen Sahariano.
- Deposición estimada según trayectorias: 170 Tg/año – Atlántico-25 Tg/año –Mediterráneo- y 5 Tg/año –Caribe-.

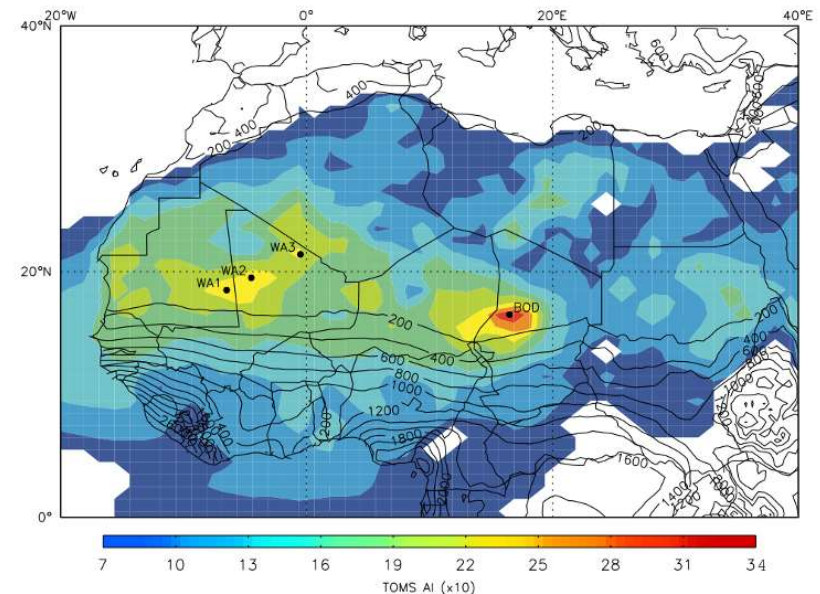
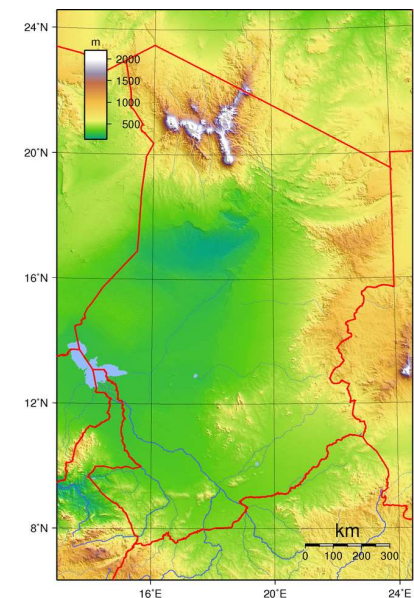
# Tormentas de arena



# Tormentas de arena

## □ Depresión de Bodelé.

- En el extremo S del Sahara.
- Cuenca endorreica ocupada por lagos secos: 500 km de largo, 150 de ancho y 160 m de profundidad: material (diatomeas) origen del polvo
- 100 días con tormentas de polvo anuales: en invierno produce 700.000 toneladas diarias



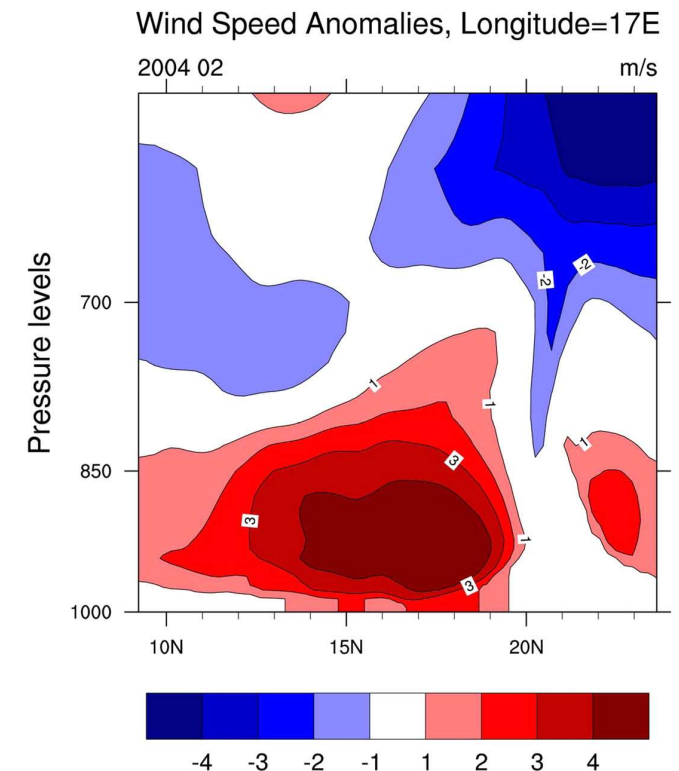
**Figure 1.** Long-term mean TOMS AI ( $\times 10$ ) over Africa north of the equator (filled contours) calculated using data from 1980–1992. Long-term mean (1961–1990) precipitation (black isohyets) is derived from a  $0.5^\circ$  by  $0.5^\circ$  rainfall data set [New *et al.*, 1999]. West African major dust hot spots are indicated as WA1, WA2, and WA3 and the Bodélé Depression in Chad as BOD.



# Tormentas de arena

## □ Depresión de Bodelé.

- Origen: formación de un chorro de viento (**Bodelé Low level Jet**) en las capas bajas, debido a la canalización entre montañas (Tibesti y Ennedi)
- Altura del máximo: 1 km sobre la superficie terrestre cerca de 18°N y 19°E.
- Velocidad mínima del viento para una tormenta: 36 km/h
- Ciclo estacional: máximo entre octubre-marzo (máxima emisión de polvo).



# Tormentas de arena

## □ Intrusiones partículas saharianas

- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/fuentes-naturales/>

The screenshot shows the 'Fuentes Naturales' page on the MITECO website. The page is in Spanish and provides information on natural sources of air pollution. It includes a navigation menu, a sidebar with links to various air quality topics, and a main content area with text and images. The text discusses the impact of natural sources on air quality and the methodology used for their identification and quantification. A sidebar on the right contains a list of related links and documents.

# Tormentas de arena

## □ Intrusiones partículas saharianas

- [https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php)

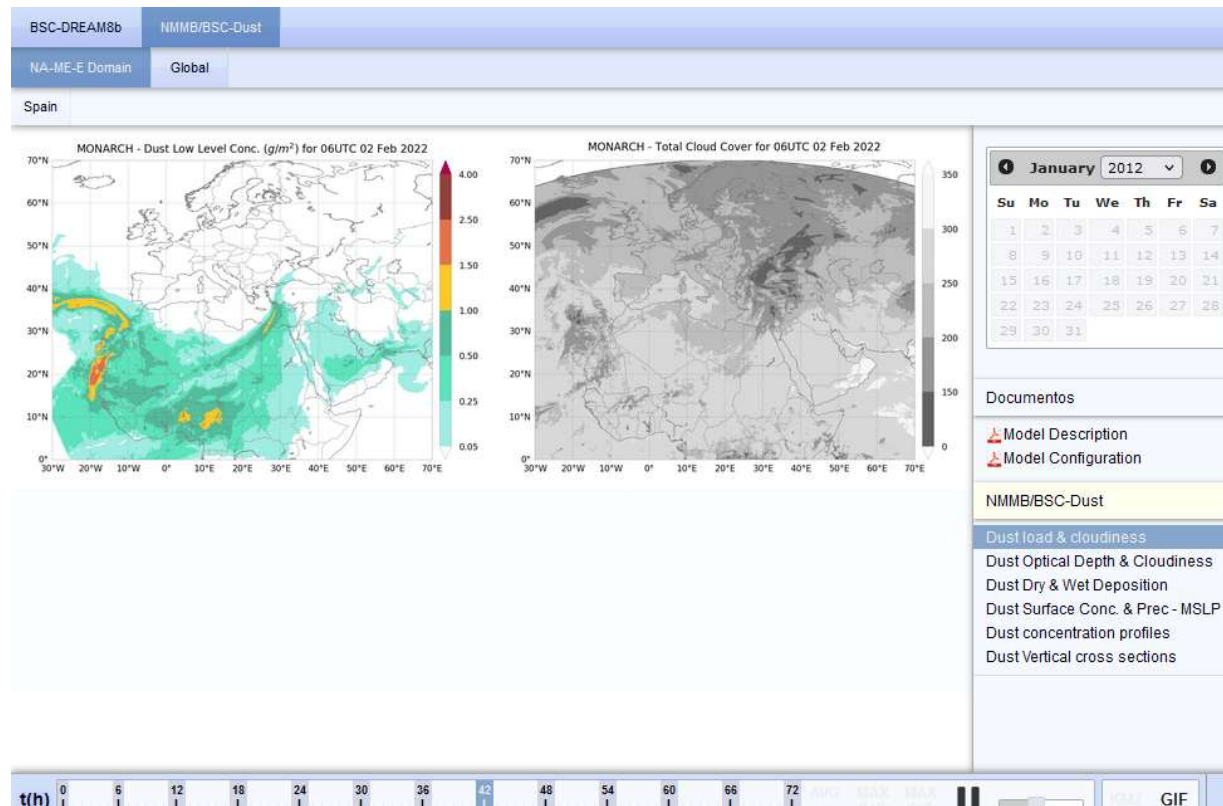


The screenshot shows the NOAA Air Resources Laboratory (ARL) website for the HYSPLIT Trajectory Model. The header includes the NOAA logo and the text "Air Resources Laboratory Advancing Atmospheric Science and Technology through Research". The breadcrumb trail is "ARL Home > READY > Transport & Dispersion Modeling > HYSPLIT > HYSPLIT Trajectory Model". The main content area features the HYSPLIT logo and a list of links: "Compute forecast trajectories", "Compute archive trajectories", "Retrieve previous model results", "Restart user session (clear user inputs)", "Current pre-computed U.S. trajectory forecasts", "Trajectory optimization for balloon flights", and "Return to main HYSPLIT page". Below the links, there are sections for "Daily Limits", "Publishing HYSPLIT results", "Citation", "Acknowledgment", and "Redistribution Permission". The footer contains the date "Modified: December 4, 2019" and various links like "Privacy", "Disclaimer", "Information Quality", "Accessibility", and "webmaster".

# Tormentas de arena

## □ Intrusiones partículas saharianas

- <https://ess.bsc.es/bsc-dust-daily-forecast>



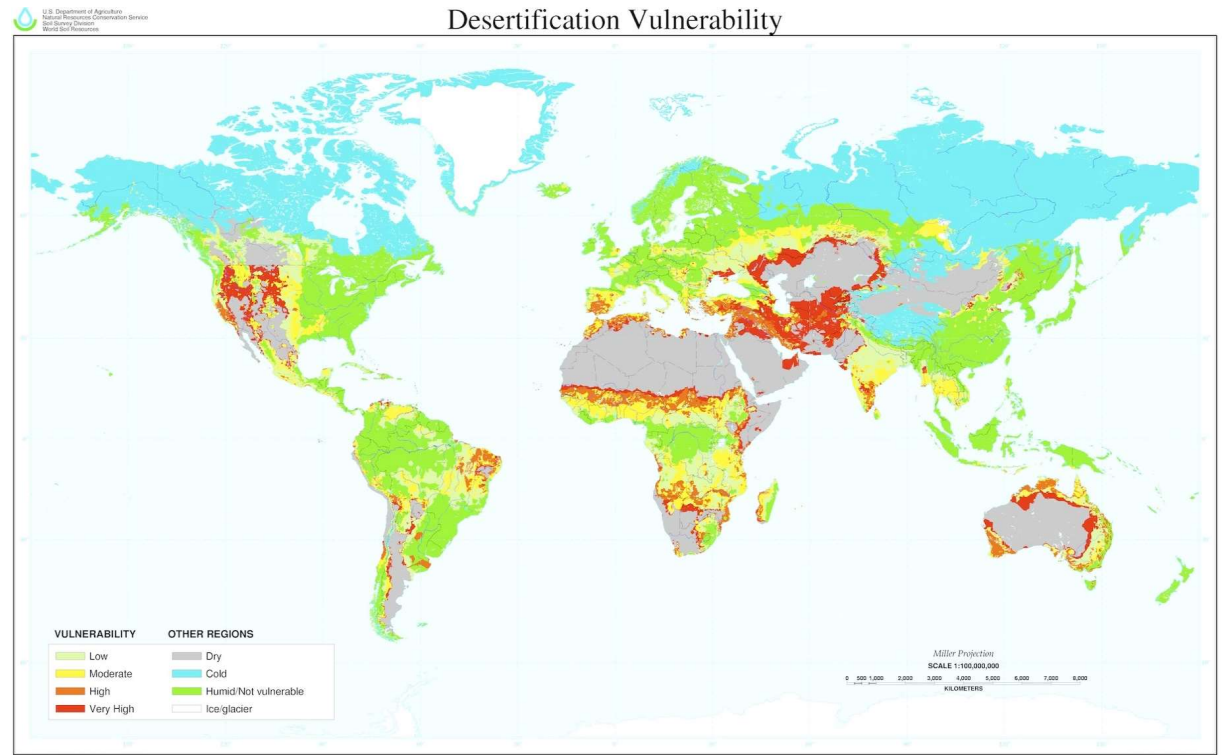
# Tormentas de arena

## □ Evolución

- Incremento desde 1950

## □ Factores que contribuyen

- Desertización
- Deseccamiento suelo



# Tormentas de arena

## □ Desertización

- Uno de los problemas ambientales más graves
- Escala global → afecta aproximadamente a 1000 millones de personas

