



Facultad de Ciencias

Universidad de la República



Clima: predictabilidad y cambio

Marcelo Barreiro

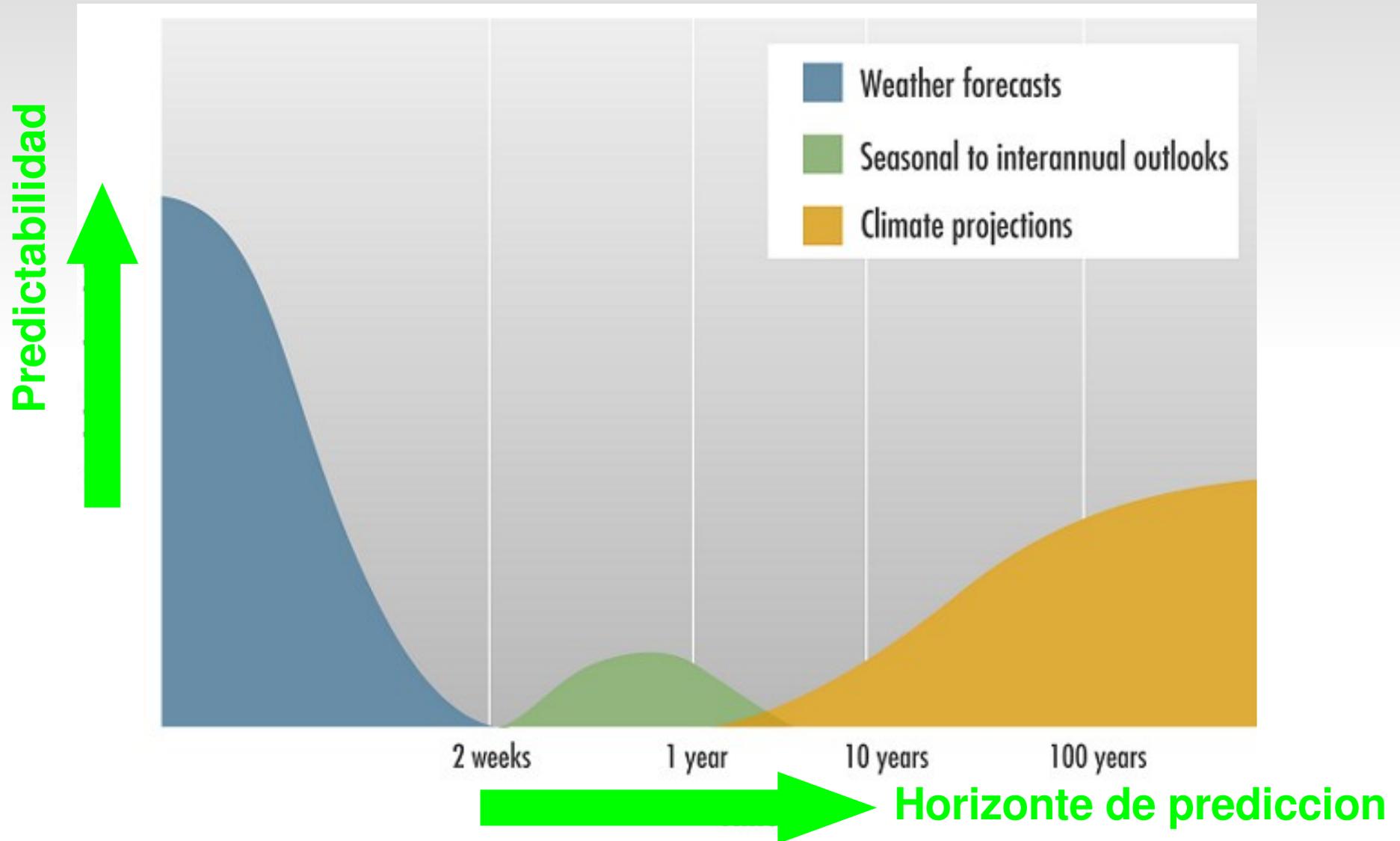
Unidad de Ciencias de la Atmósfera

Facultad de Ciencias

Universidad de la República

XVIII Encuentro de Profesores de Física
IX Encuentro Internacional de Educación en Física
Paysandú, 24 de setiembre de 2008

La capacidad de predecir (predictabilidad) la evolución de variables atmosféricas depende de la escala de tiempo



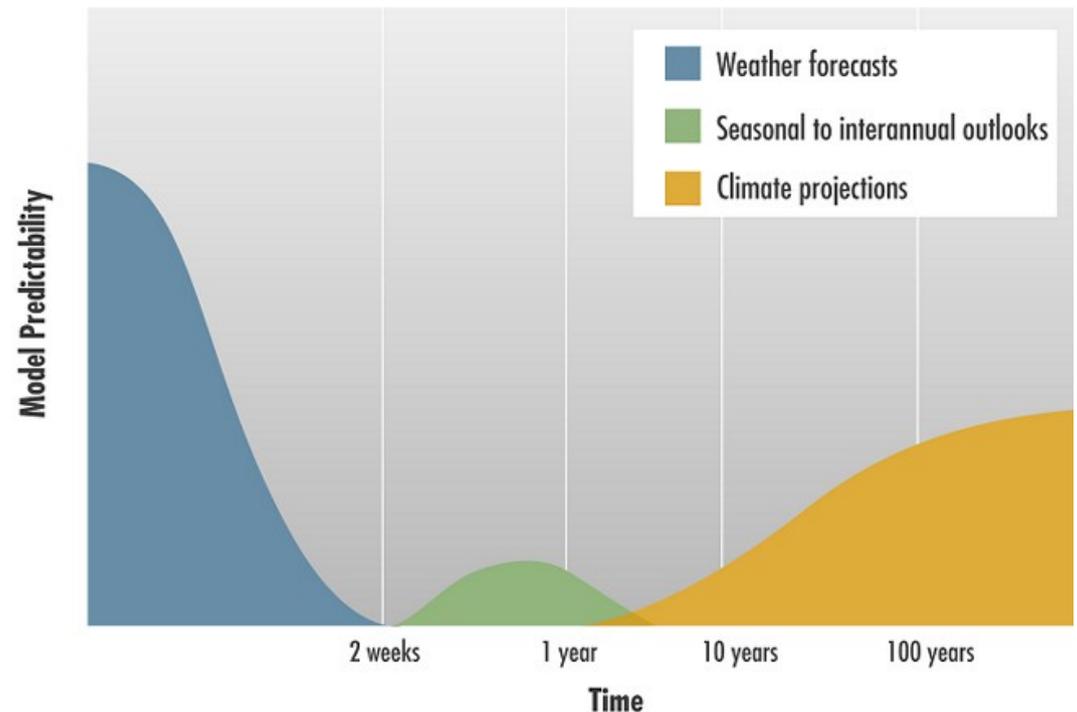
Si no pueden predecir el tiempo de acá a 3 días, como es posible predecir de acá a 10 años?

Elementos del sistema climático



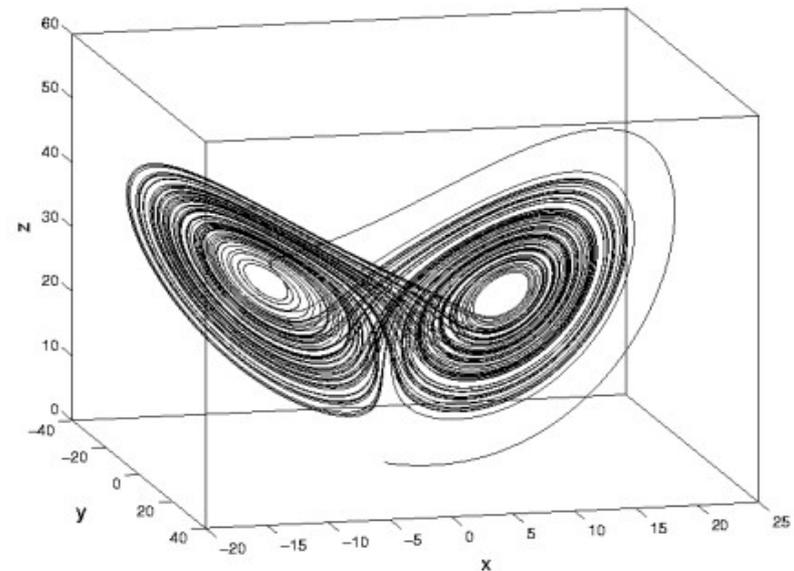
Estructura de la charla

- Predicción numérica del tiempo.
- Predicción climática estacional.
- Proyecciones climáticas
- Resumen

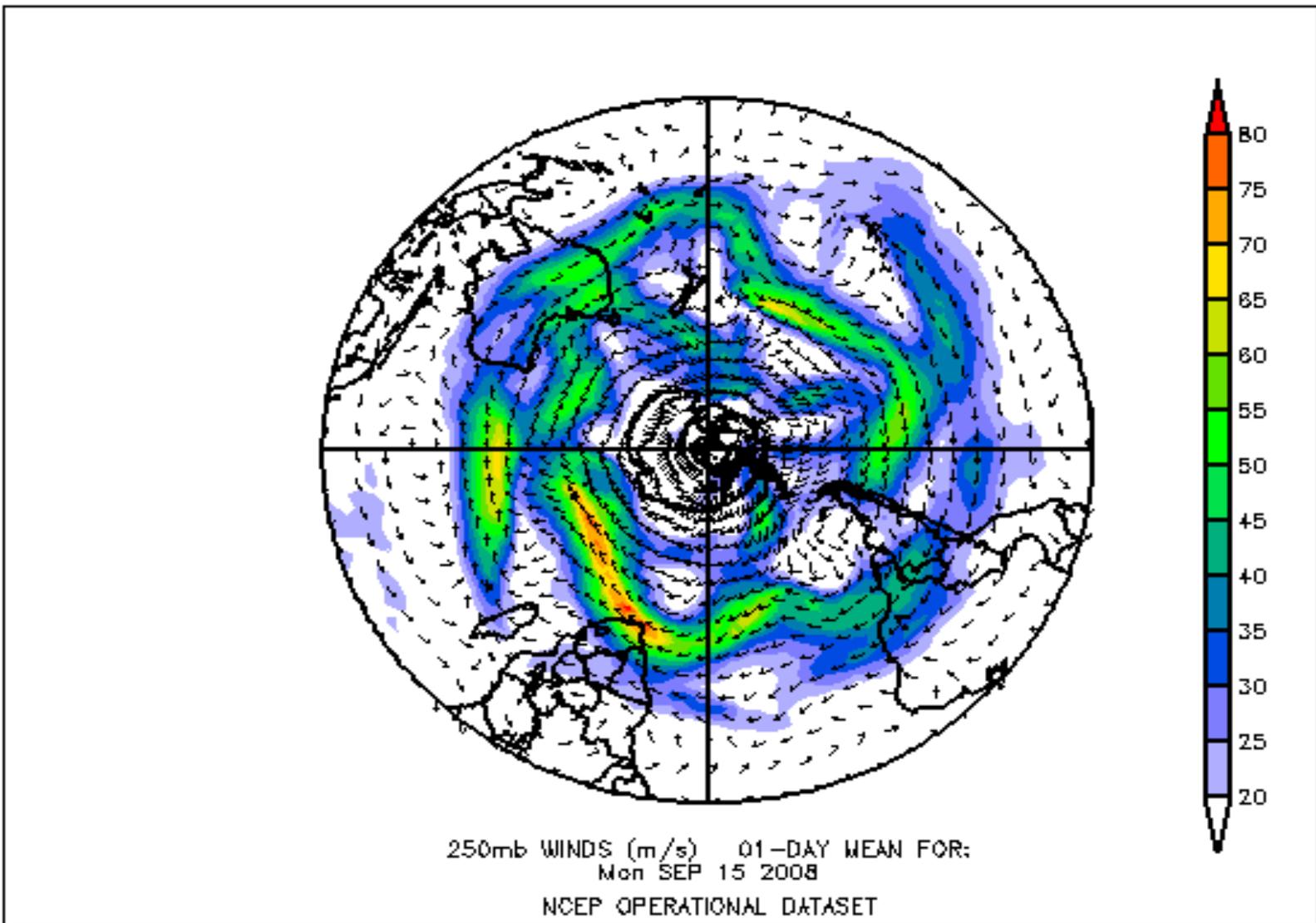


Predicción numérica del tiempo

- Dependiente de las condiciones iniciales – predictabilidad del primer tipo.
- Se quiere pronosticar el estado de la atmósfera de hoy a 1 semana. Tiene un límite debido al comportamiento caótico de la atmósfera.



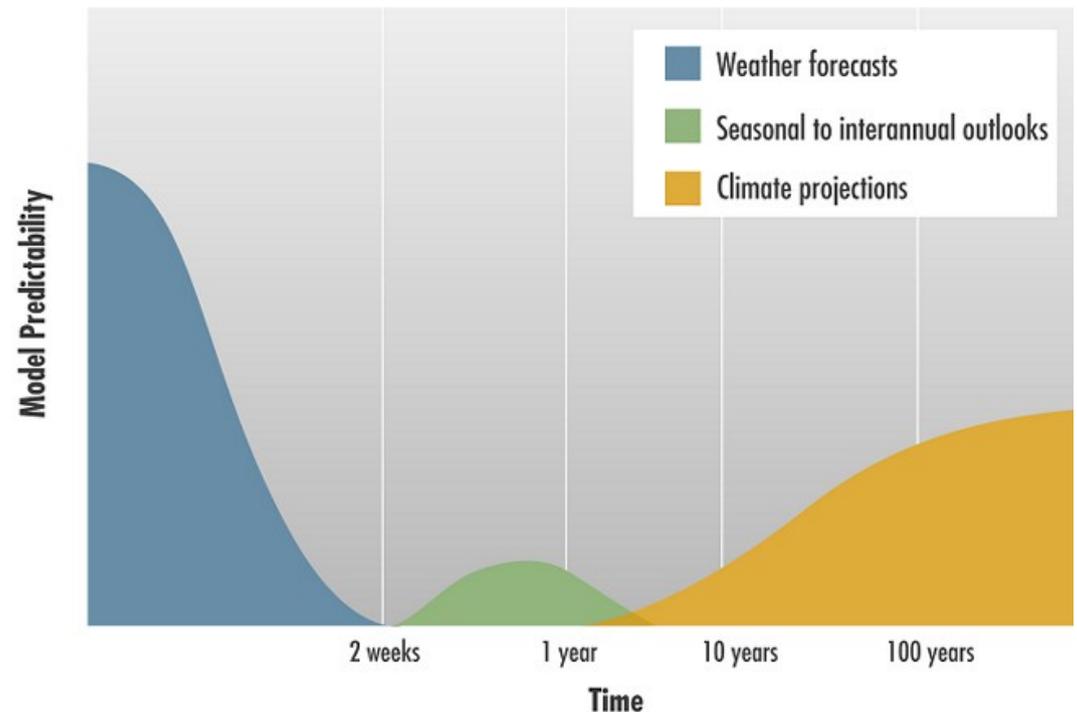
“El aleteo de una mariposa en Brasil puede dar lugar a un tornado en Texas.”



El pronóstico del tiempo invernal en nuestras latitudes se basa en determinar la evolución de la corriente en chorro, la cual cambia continuamente debido a la existencia de inestabilidades hidrodinámicas en la atmósfera.

Estructura de la charla

- Predicción numérica del tiempo.
- Predicción climática estacional.
- Proyecciones climáticas.
- Resumen.



Predicción climática estacional

- Depende de las condiciones de borde – predictabilidad del 2do tipo.
- Se quiere predecir las propiedades estadísticas de la atmósfera con 3-6 meses de antelación.
 - Variables importantes: temperatura de superficie del mar, humedad del suelo.



La evolución de una variable atmosférica X puede descomponerse en dos partes:

$$X = XI + XF$$

donde

XI es la evolución debido a la variabilidad intrínseca de la atmósfera.

- la escala temporal asociada es de máximo 15 días.
- para tiempos suficientemente largos XI se comporta como ruido (tiempos de decorrelación cortos).

XF es la evolución debido a cambios en las condiciones de borde
(temperatura de superficie del mar, humedad del suelo).

- la escala temporal depende de la TSM, que puede llegar a ser de 6-9 meses.

Experimento imaginario

- Supongamos que controlo el tiempo (del reloj) y puedo hacer el siguiente experimento:
 - ✓ Hago evolucionar a la atmósfera desde el 24 de setiembre por unos 6 meses.
 - ✓ Repito este experimento N veces, pero comenzando con condiciones iniciales el 24/9 un poquito diferentes.
 - ✓ Cada experimento $k=1\dots N$ da una evolución diferente de la variable atmosférica X

$$X_k = XF_k + XI_k$$

- Pero $XF_k = XF$ pues la parte forzada no depende de las condiciones iniciales, sino de las condiciones de borde (TSM) que son siempre las mismas.
- Entonces el promedio de los N experimentos da:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum X_k = \frac{1}{N} \sum XF_k + \frac{1}{N} \sum XI_k$$

$$\bar{X} = XF + \frac{1}{N} \sum XI_k$$

- Si N es suficientemente grande y XI se comporta como ruido

$$\frac{1}{N} \sum XI_k \sim 0$$



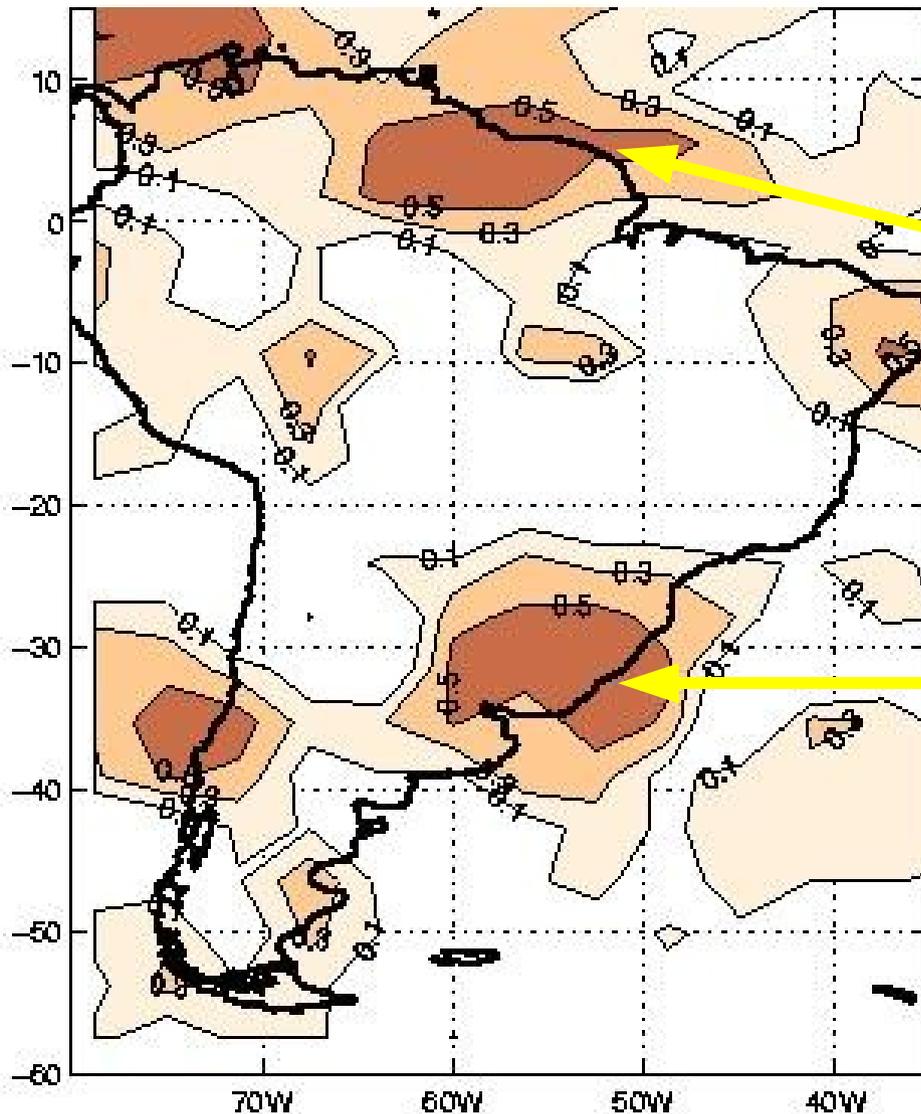
$$\bar{X} \sim XF$$

La evolución promedio de la variable X estará dada por la señal forzada por las condiciones de borde.

Calculo de predictabilidad usando MCGA

- Si bien no podemos controlar la atmósfera, sí podemos usar un MCGA para hacer ese experimento.
- Imponiendo la evolución histórica de temperatura de superficie de mar en un MCGA y considerando N condiciones iniciales atmosféricas diferentes podemos estudiar la predictabilidad de una variable atmosférica.
 - ✓ El promedio de las N simulaciones es una estimación de la evolución forzada por las TSM.
 - ✓ Donde la correlación entre la evolución simulada forzada y la observada sea “grande”, esa variable tiene predictabilidad.
 - ✓ Notar que esta predictabilidad es potencial pues dependerá de conocer a priori la TSM. También depende del modelo.

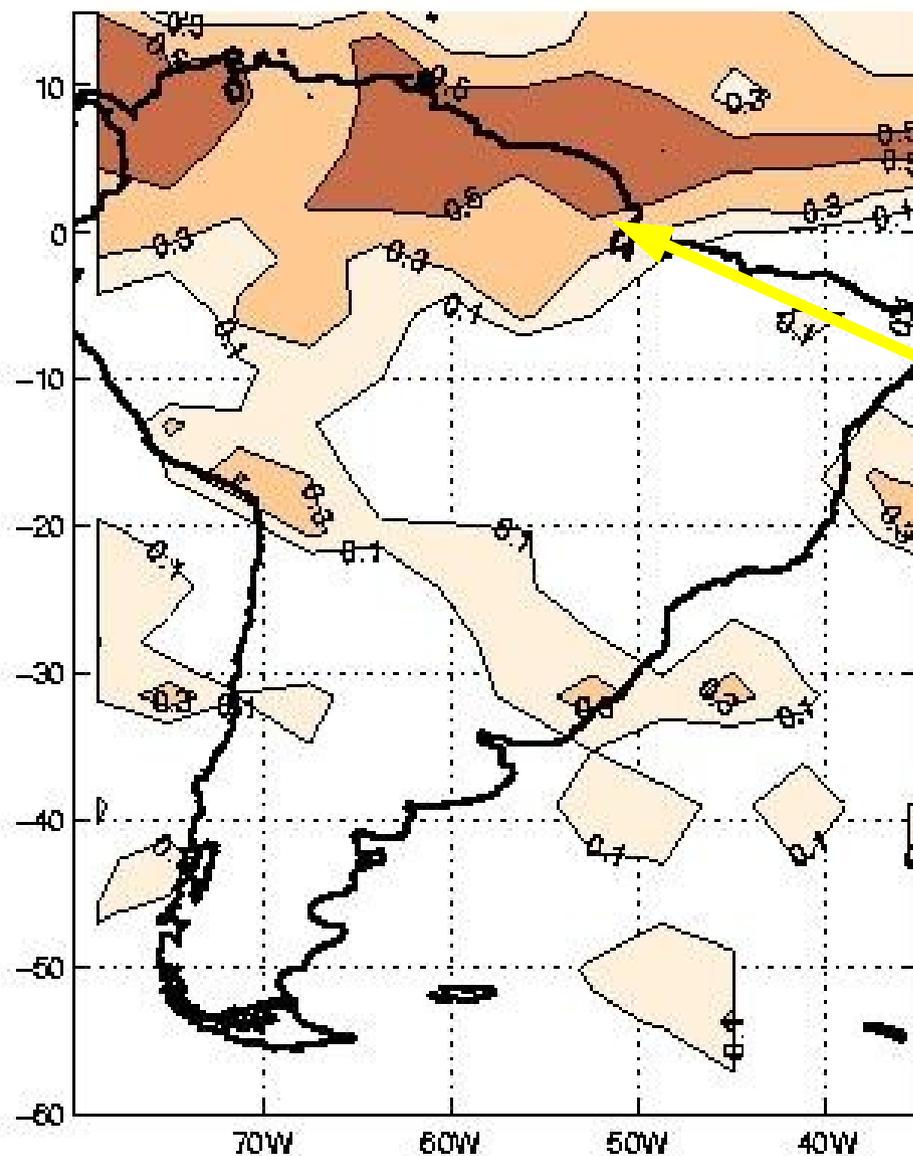
Predictabilidad potencial de lluvias en América del Sur



Primavera

Dos regiones con predictabilidad potencial.

Uruguay es una de ellas.



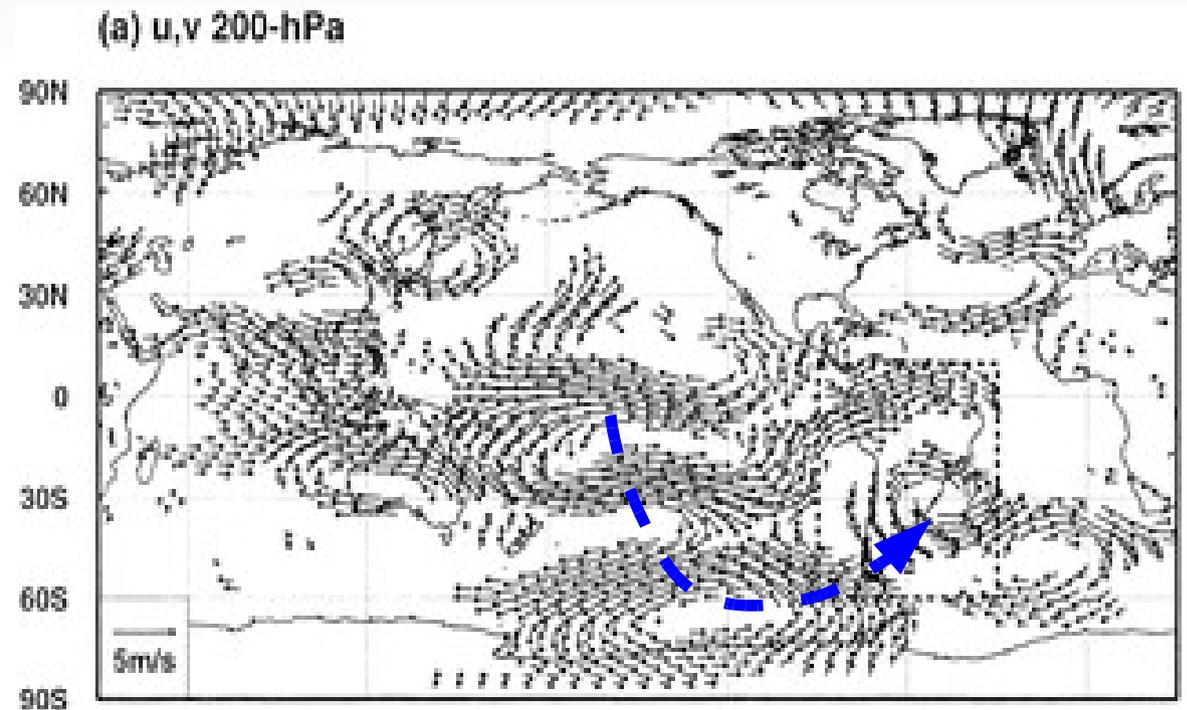
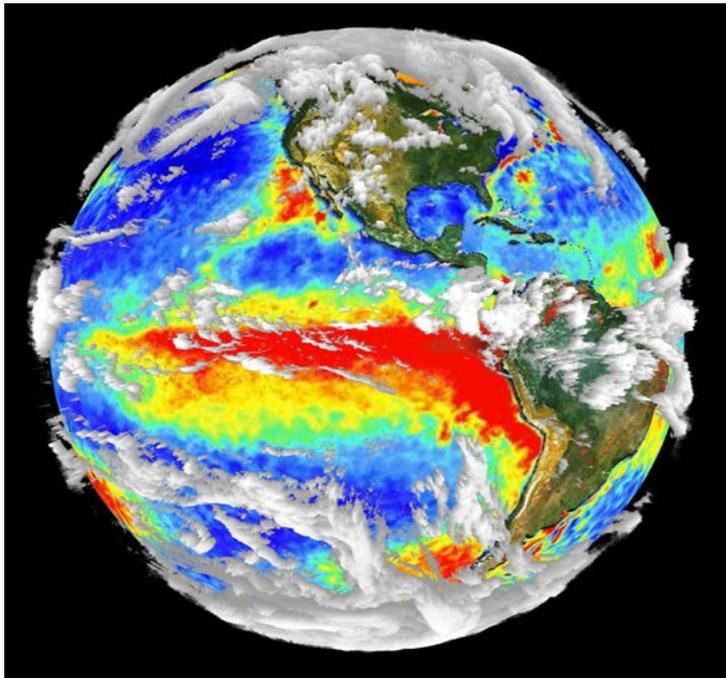
Verano

Únicamente la zona ecuatorial tiene predictabilidad potencial relativamente alta.

En Uruguay es mucho menor que en primavera.

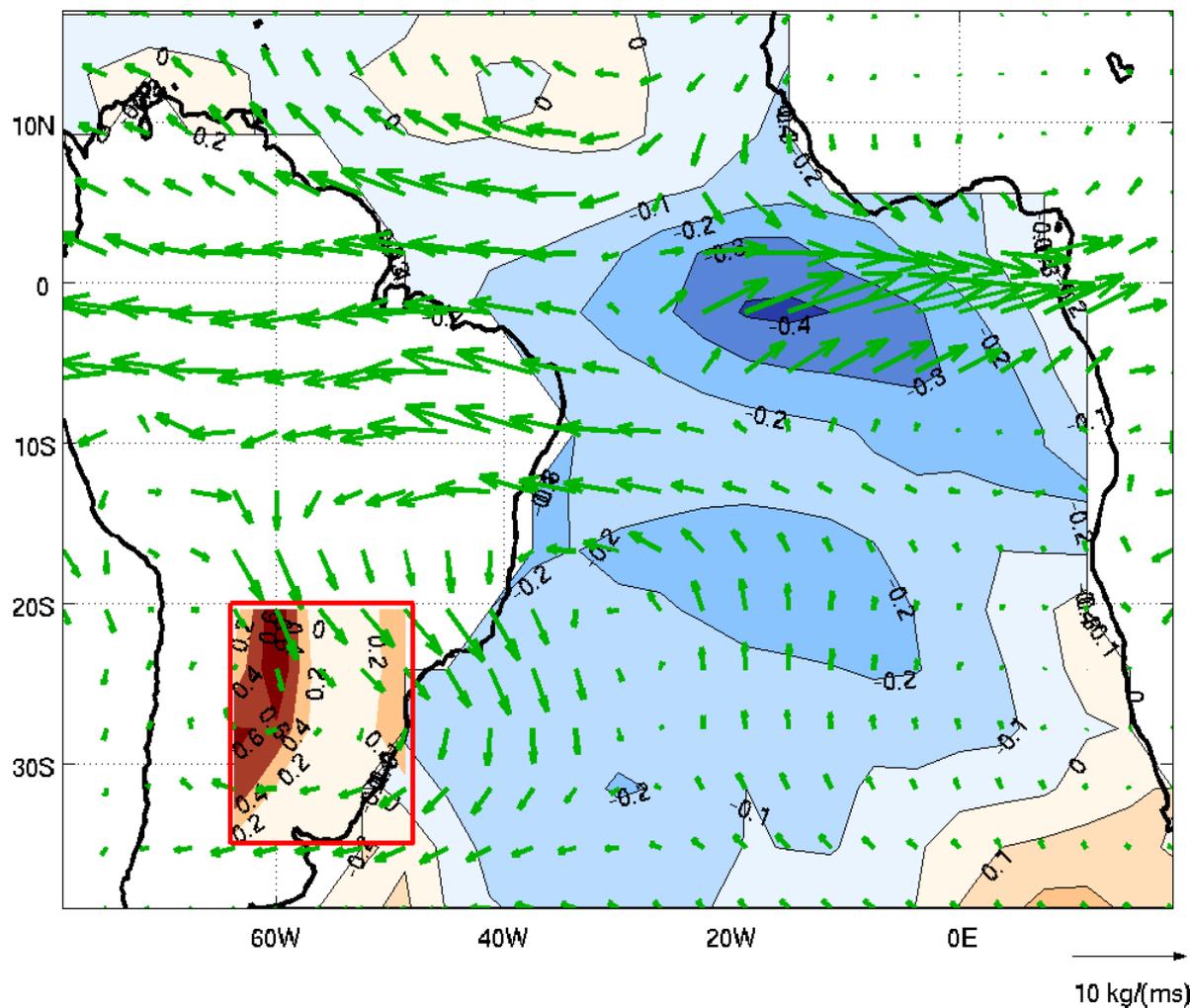
Como influyen las TSM las lluvias sobre Uruguay? A través de teleconexiones

- **El Niño: Cambios en la precipitación tropical genera ondas estacionarias en la atmósfera que afectan la circulación atmosférica sobre Uruguay en primavera.**

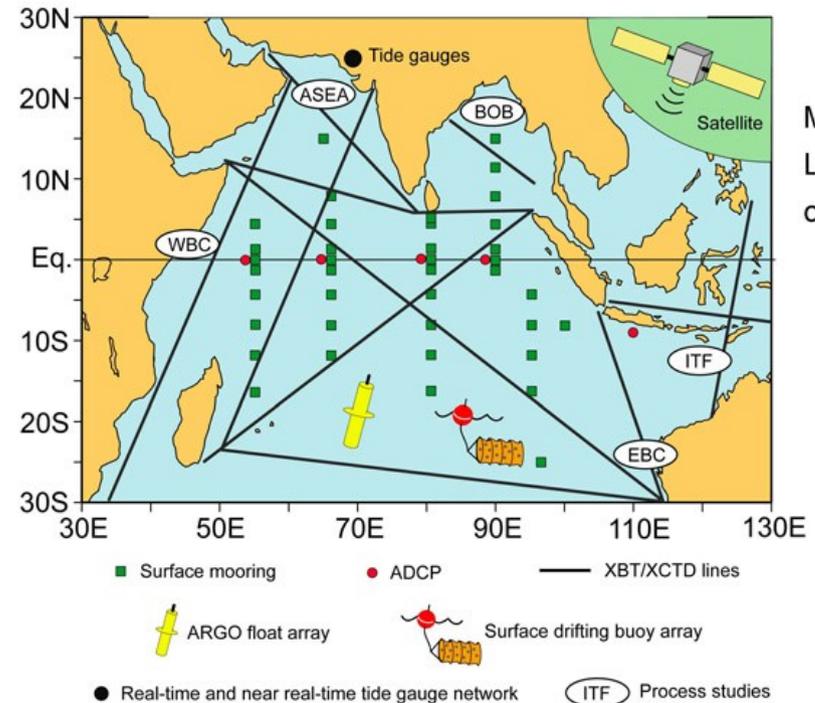
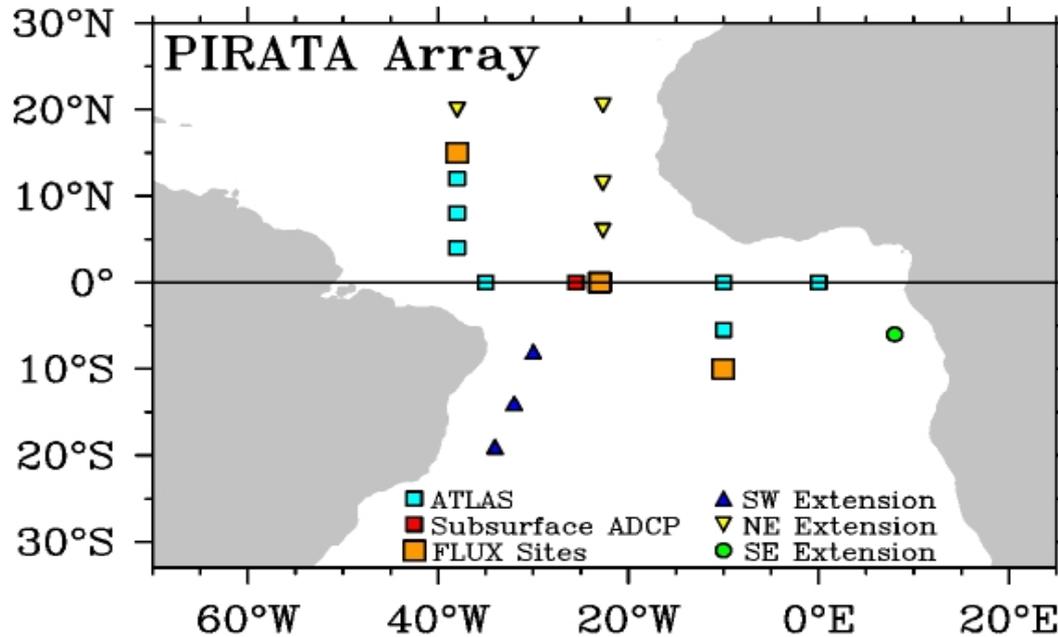
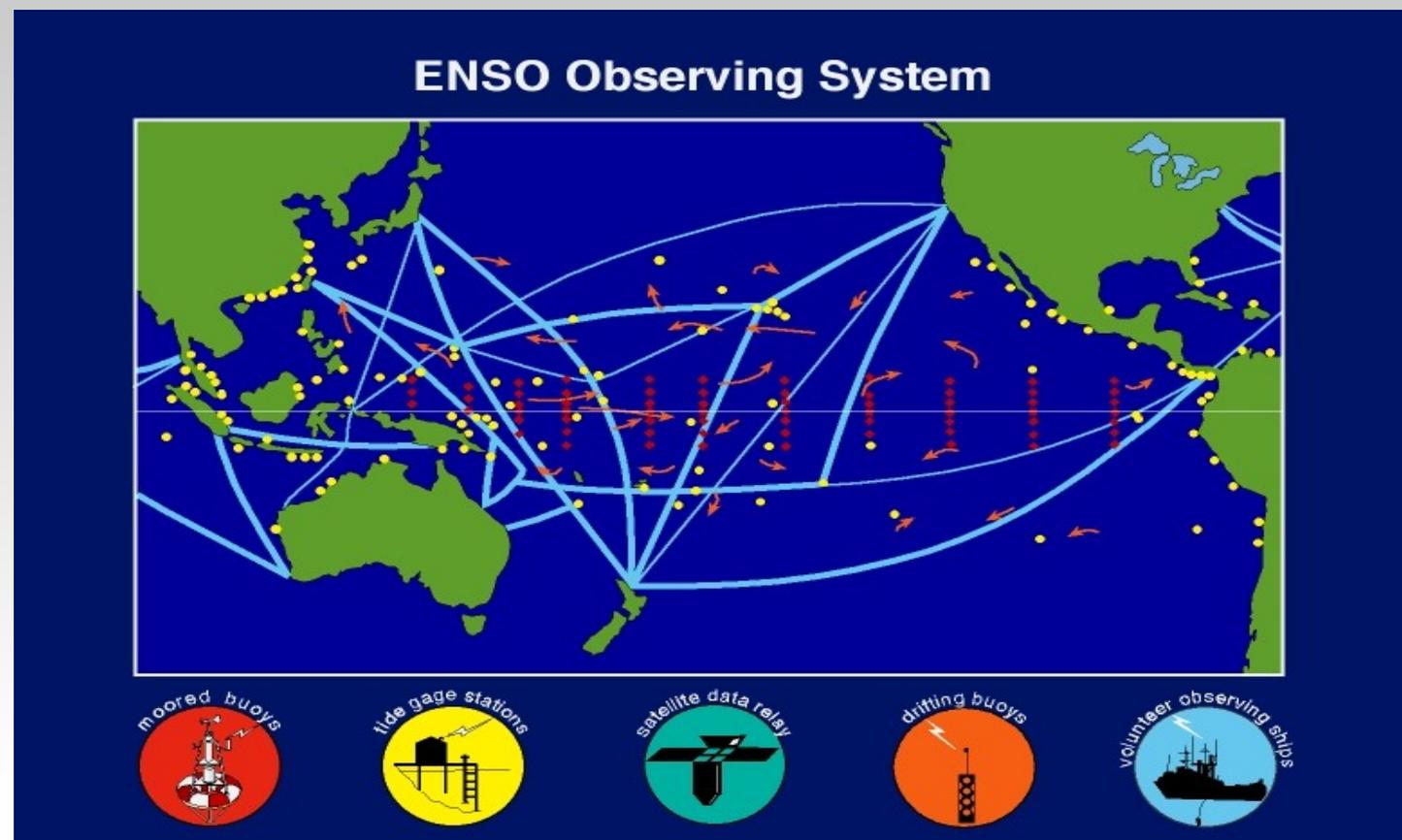


Durante el verano, la señal del océano Pacífico se debilita disminuyendo la predictabilidad. La influencia de otros océanos puede ayudar.

El Atlántico puede influir las lluvias cambiando la circulación de superficie que trae humedad a la región.

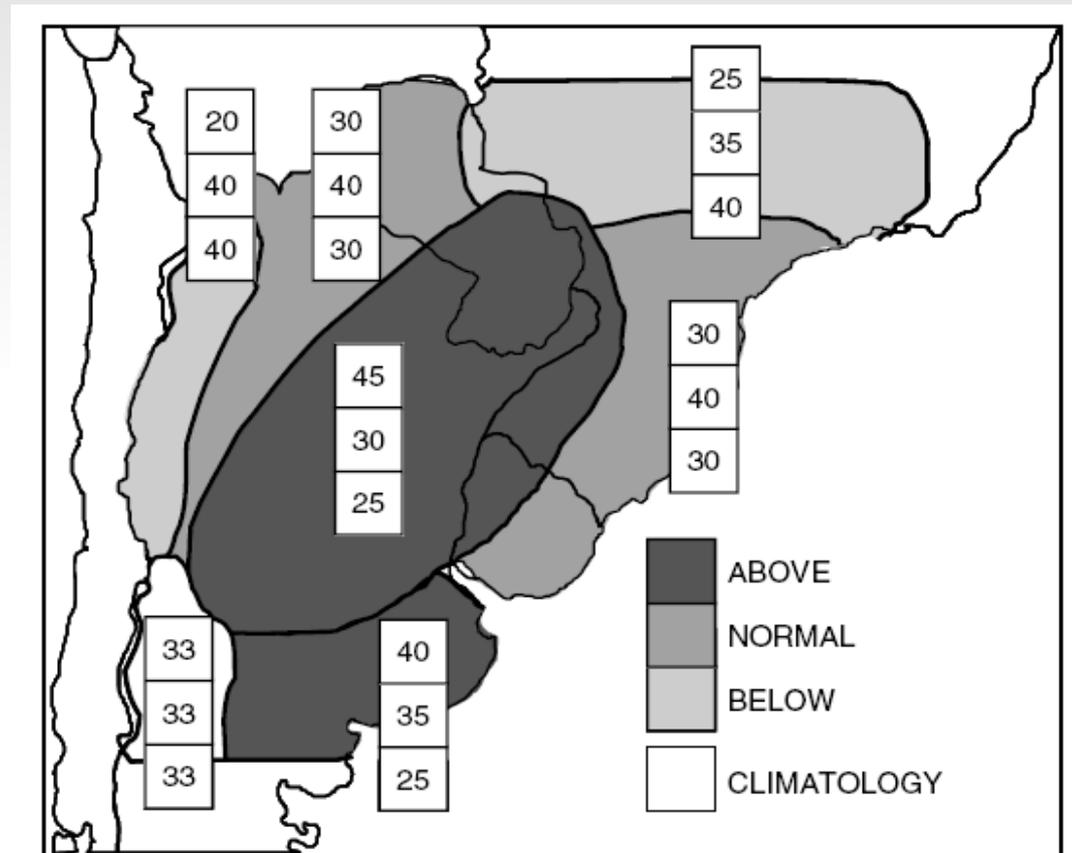
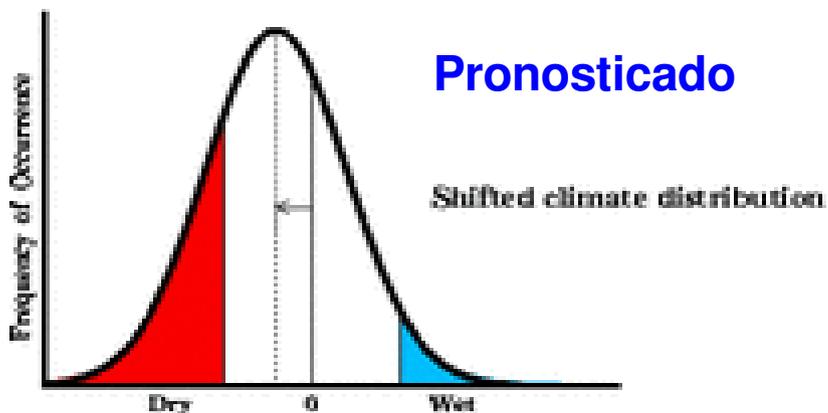
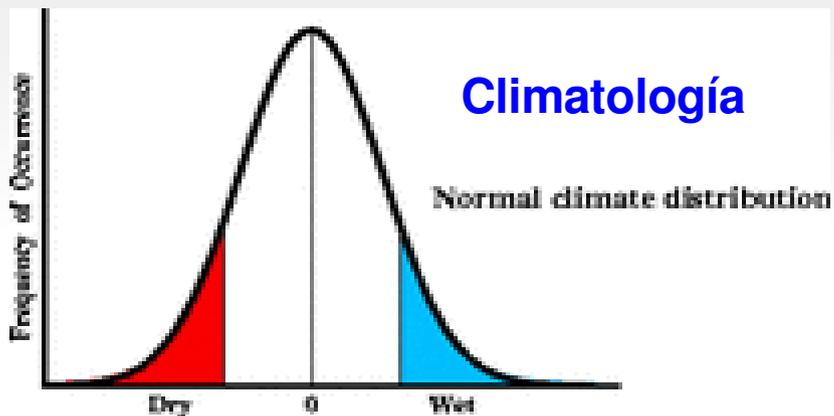


Sistemas de observación de los océanos tropicales.



Como se dan las predicciones estacionales de lluvias?

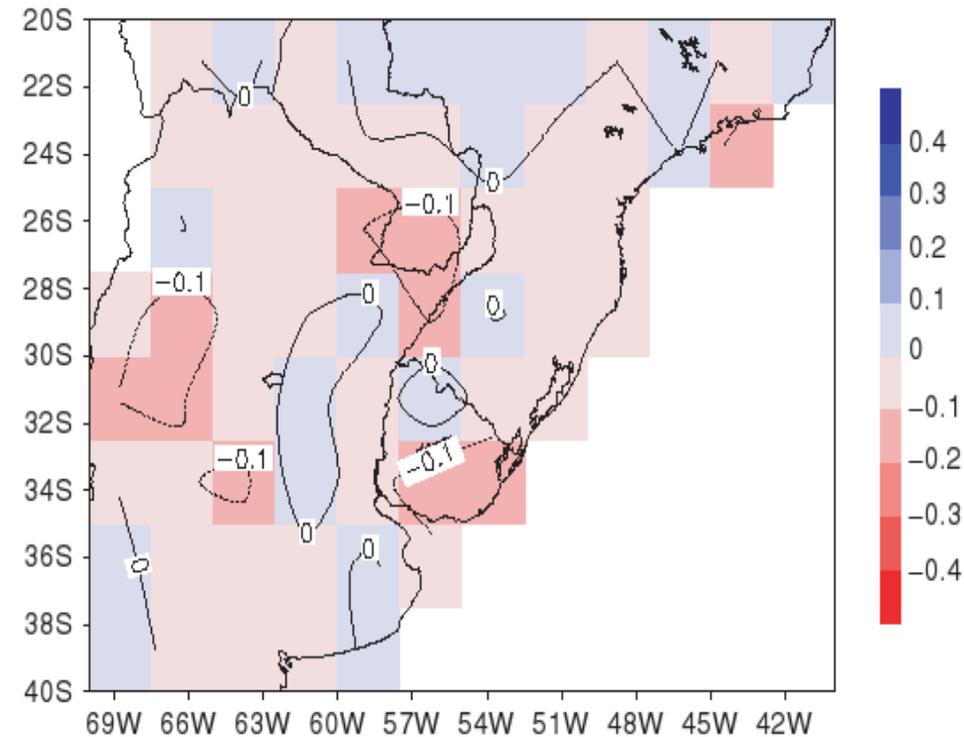
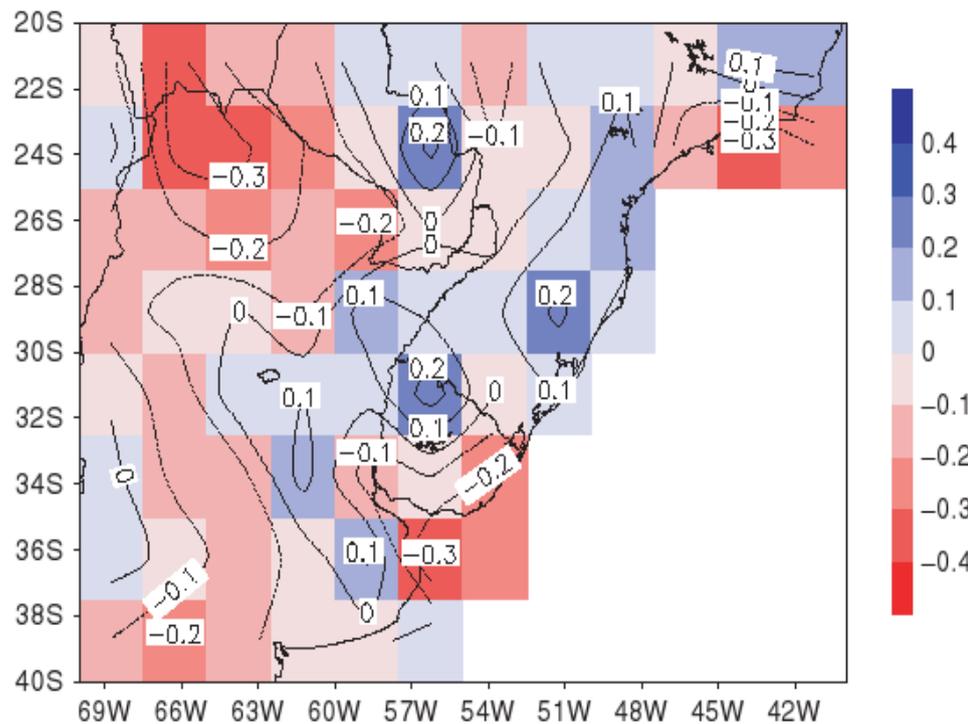
Cambios en las distribuciones de probabilidad



Pero todavía queda mucho por mejorar...

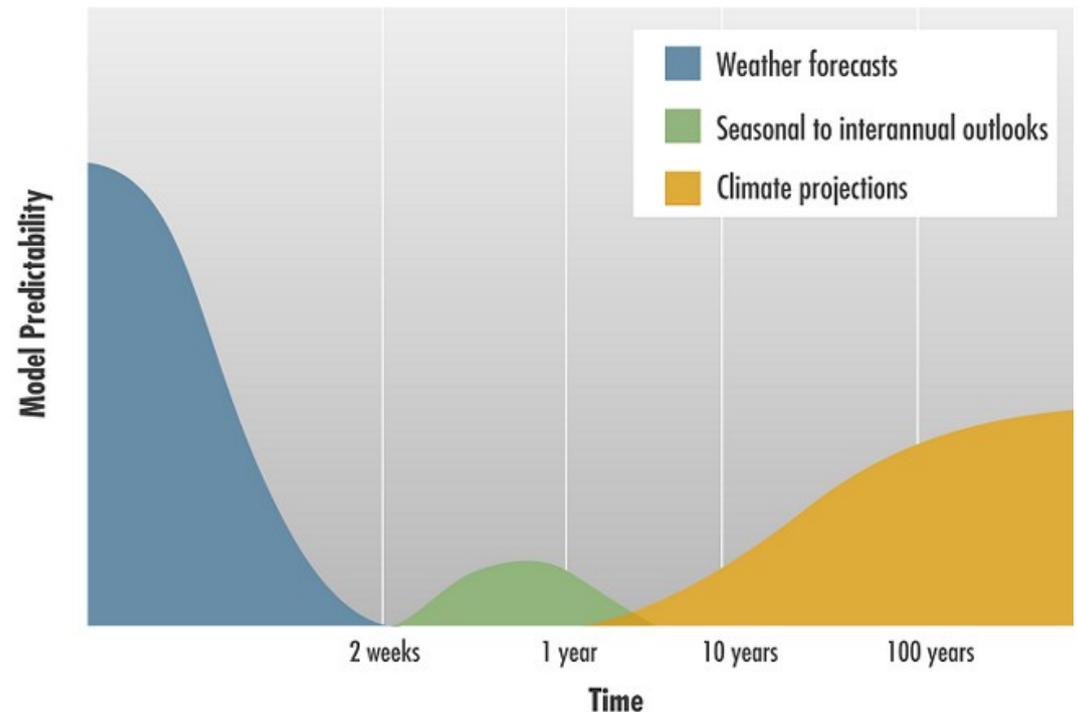
**International Research Institute
for climate and society**

**Foro regional de
perspectivas climáticas**



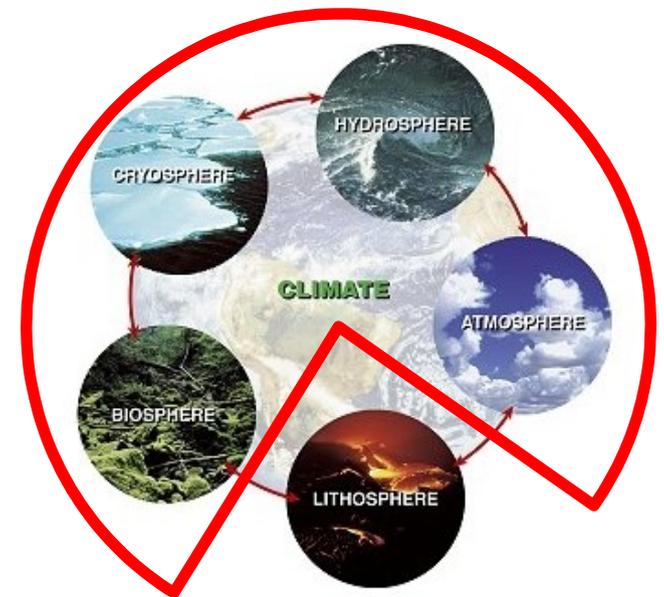
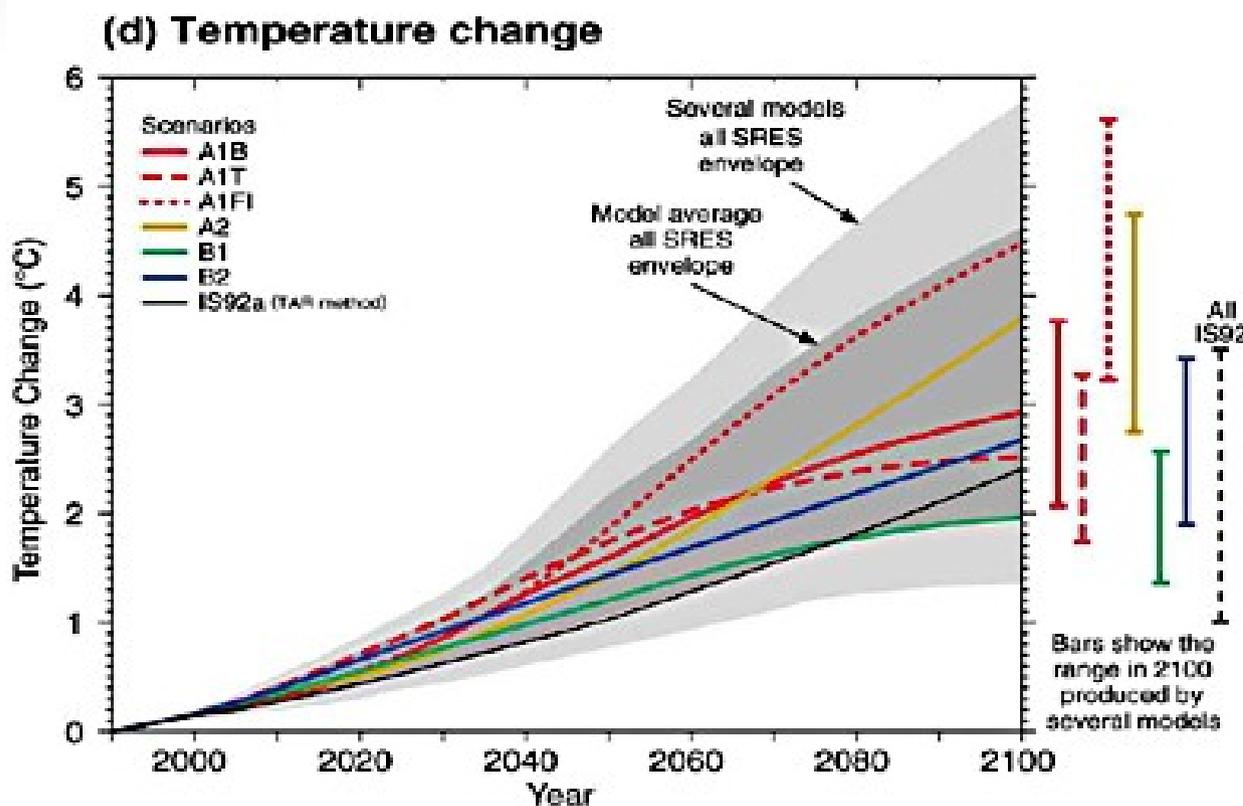
Estructura de la charla

- Predicción numérica del tiempo.
- Predicción climática estacional.
- Proyecciones climáticas.
- Resumen.

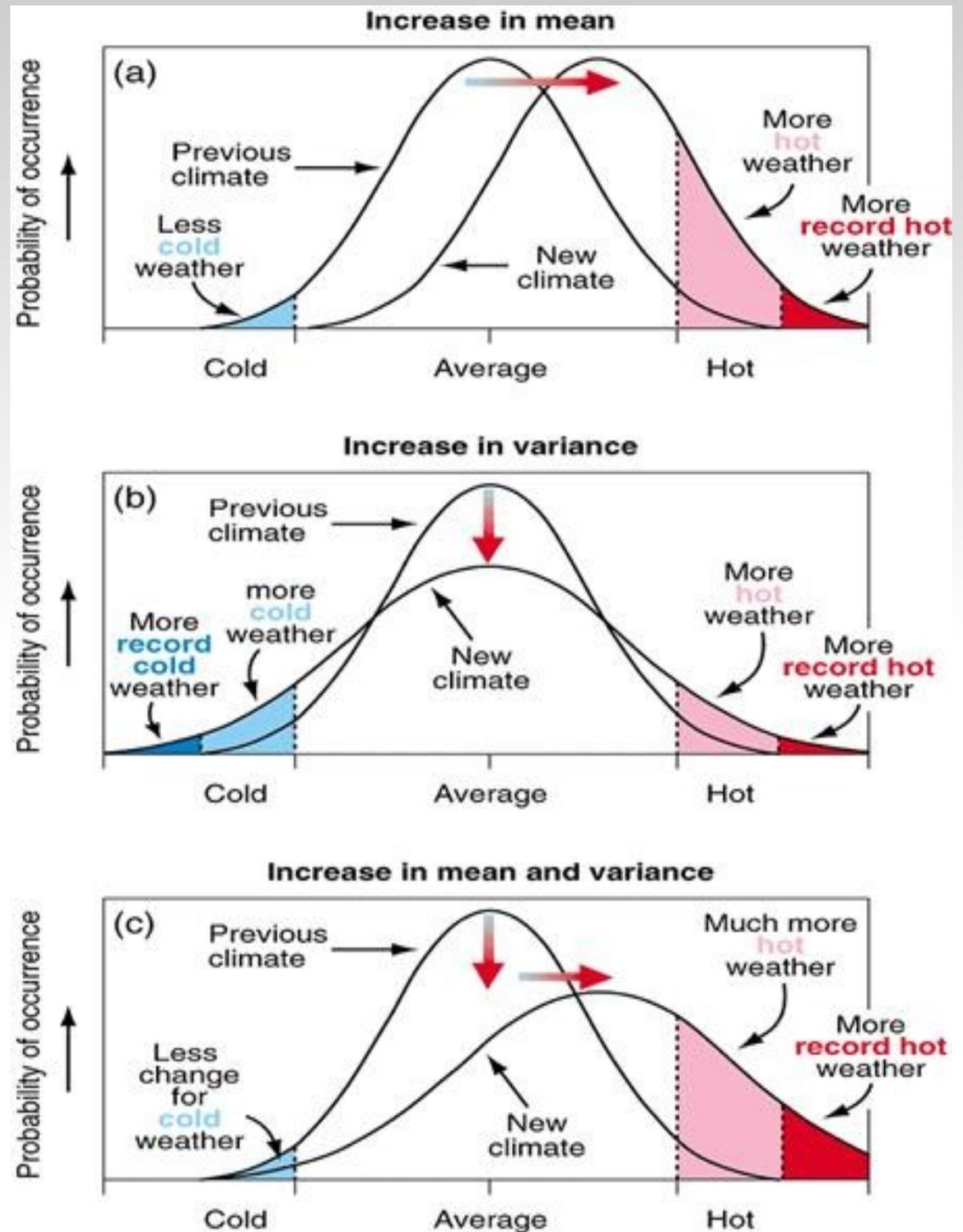


Proyecciones Climáticas

- Las proyecciones buscan dar una idea de los cambios en las distribuciones estadísticas de variables atmosféricas en el clima del siglo XXI.
- La predictabilidad es una mezcla de predictabilidad de 1er y 2do tipo

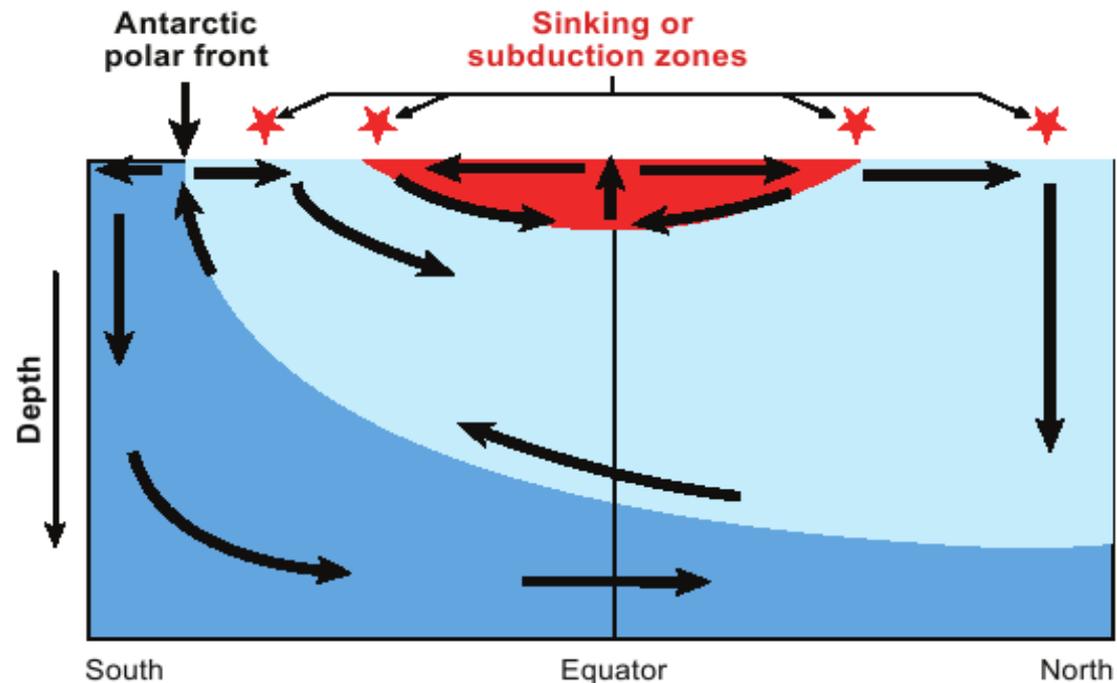


- Posibles cambios en la distribución de probabilidades de temperatura.

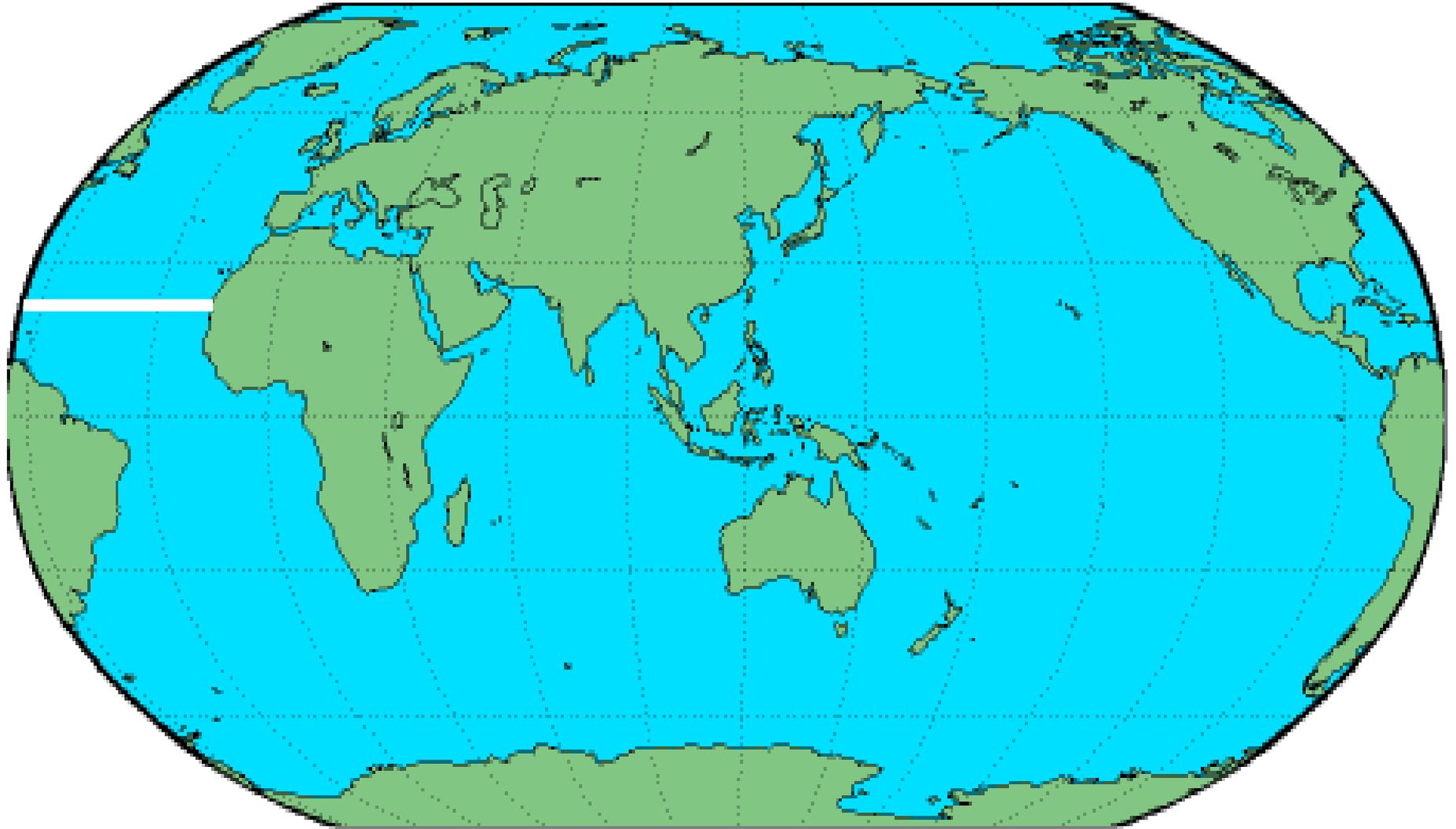


Donde aparece la predictabilidad de 1er tipo en las proyecciones climáticas?

- La circulación oceánica tiene escalas de tiempo características de 100 años. Por lo tanto cualquier proyección climática dependerá de las condiciones iniciales de la circulación.



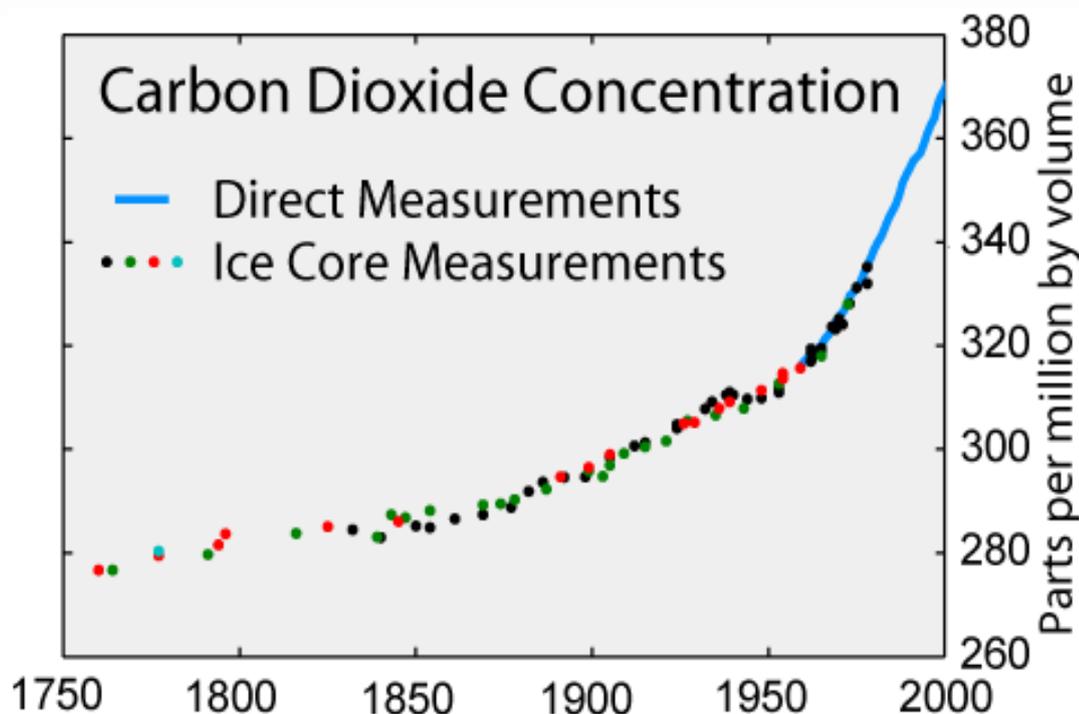
Circulación termohalina



Rapid- Programa para monitorear la evolución de la circulación termohalina en 26.5°N.

Donde aparece la predictabilidad de 2do tipo en las proyecciones climáticas?

- La composición química atmosférica actúa como forzante externo al sistema climático en escalas mayores a 10-20 años. Actividad humana: CO₂, CH₄, NO_x, aerosoles.
- El PICC usa escenarios de emisión de gases antropogénicos que dependen de la actividad económica y población.

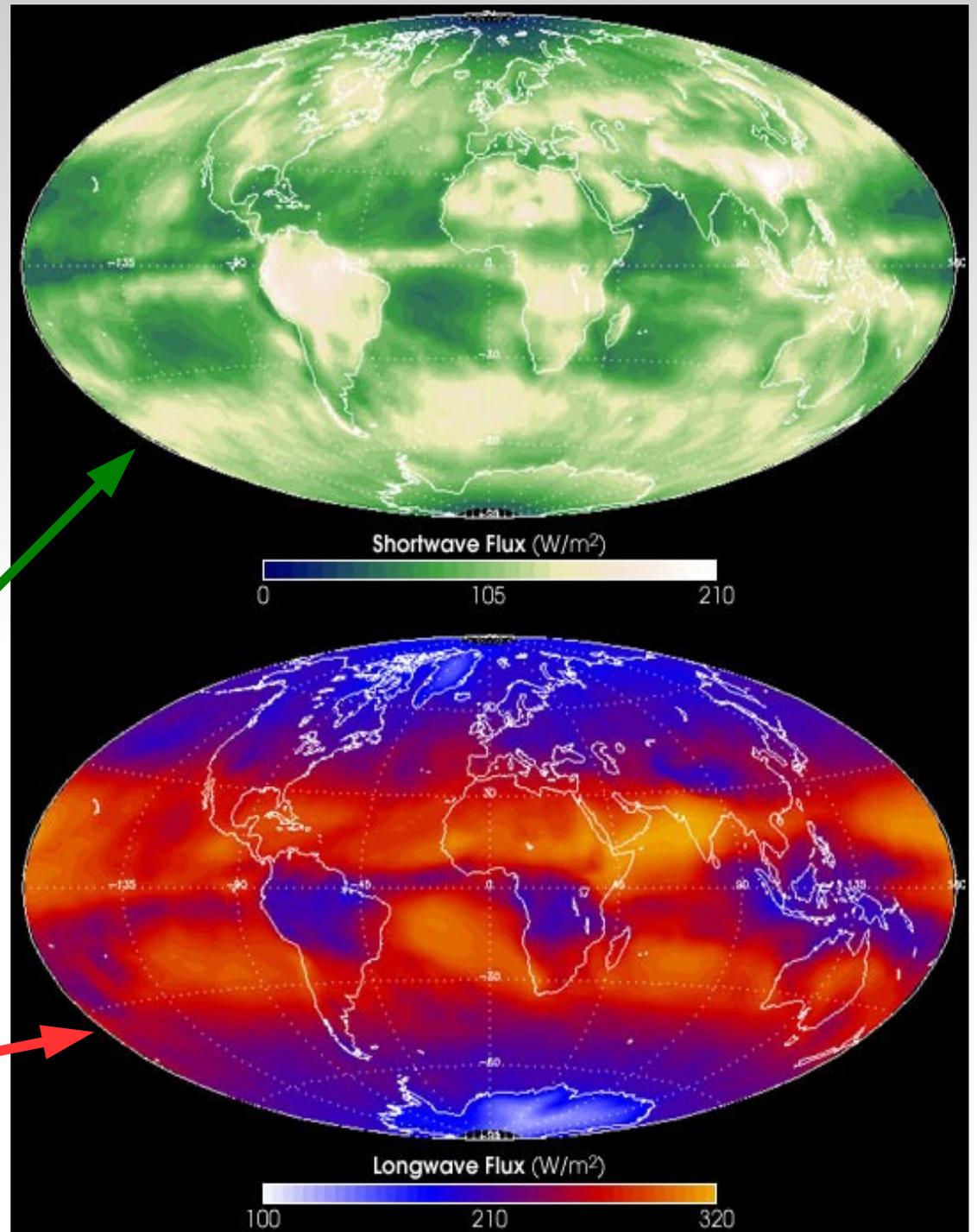


La composición química atmosférica afecta el clima pues cambia el balance energético terrestre.

Radiación solar entrante

=

Radiación de onda larga emitida

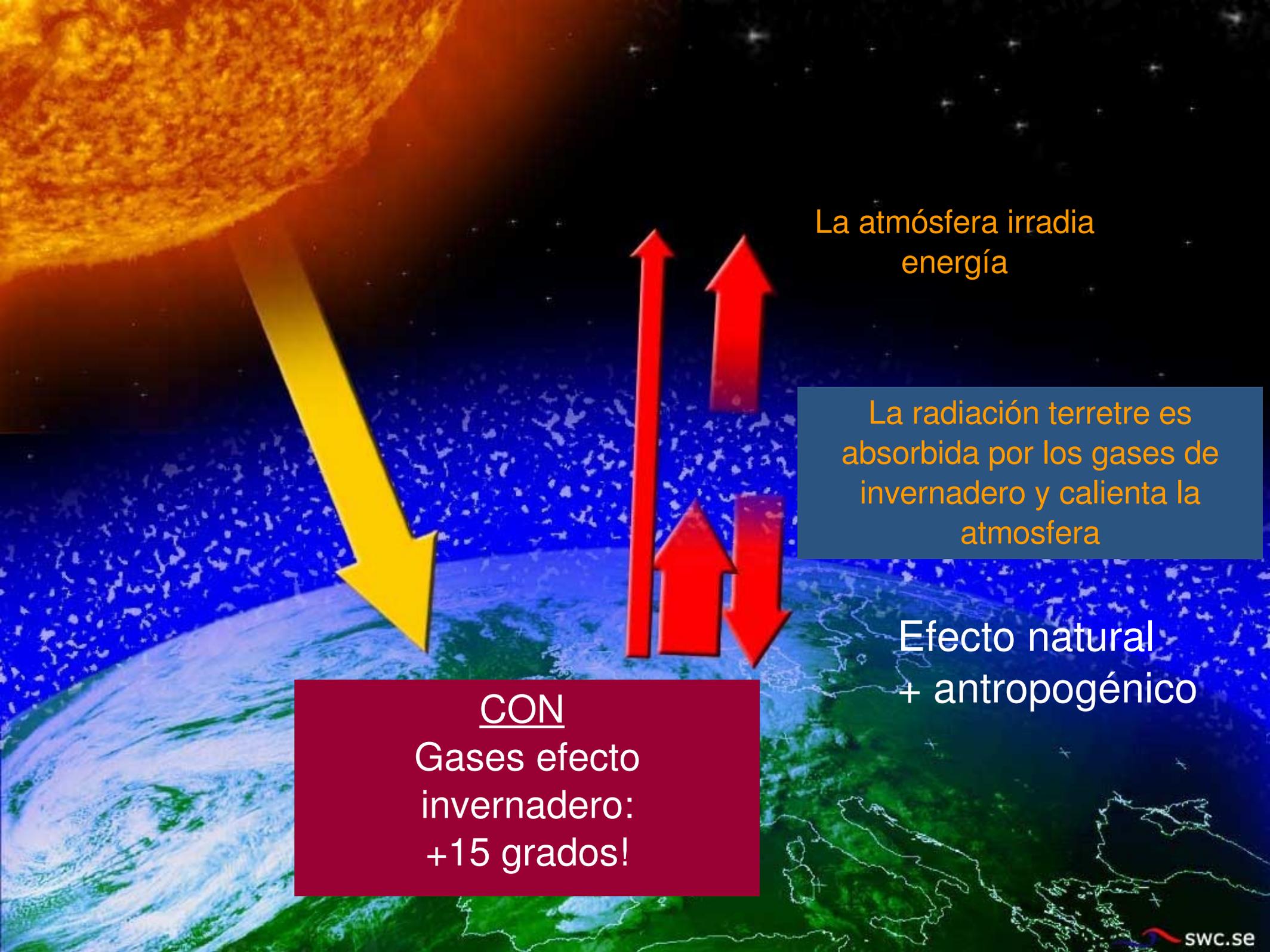


Efecto invernadero

La superficie terrestre
irradia energía

La radiación del sol
calienta la superficie
terrestre

Sin
gases efecto invernadero:
-18 degrees



La atmósfera irradia energía

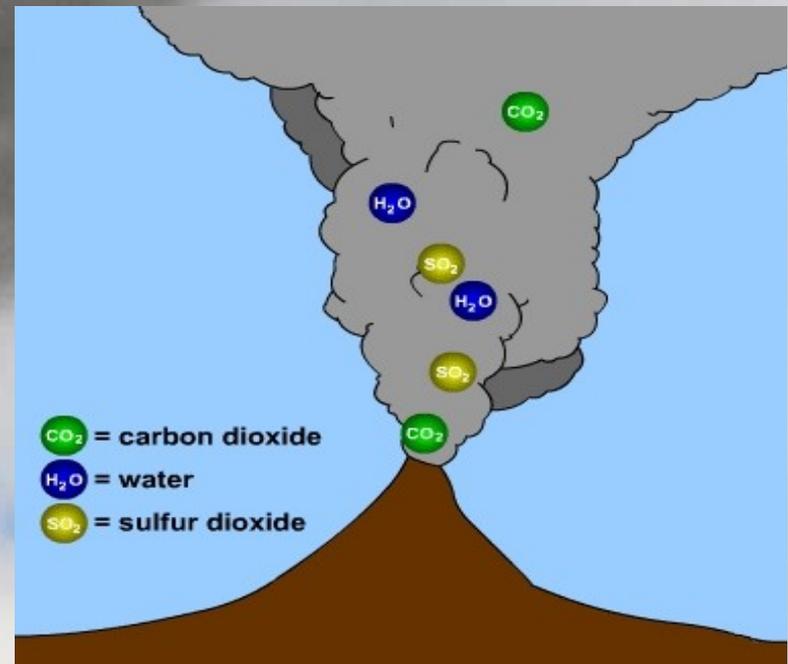
La radiación terreste es absorbida por los gases de invernadero y calienta la atmósfera

Efecto natural + antropogénico

CON
Gases efecto invernadero:
+15 grados!

Aerosoles

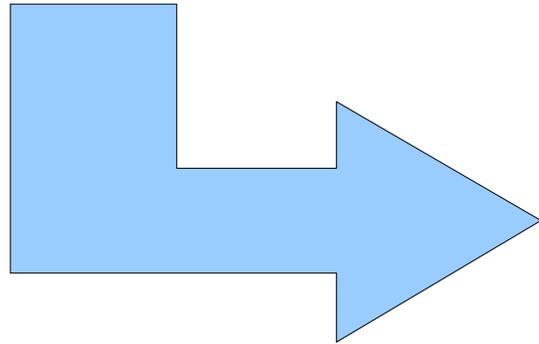
- Partículas en suspensión (sólidas, líquidas)
- Tienen un efecto de enfriamiento pues reflejan radiación solar al espacio y facilitan la formación de nubes.



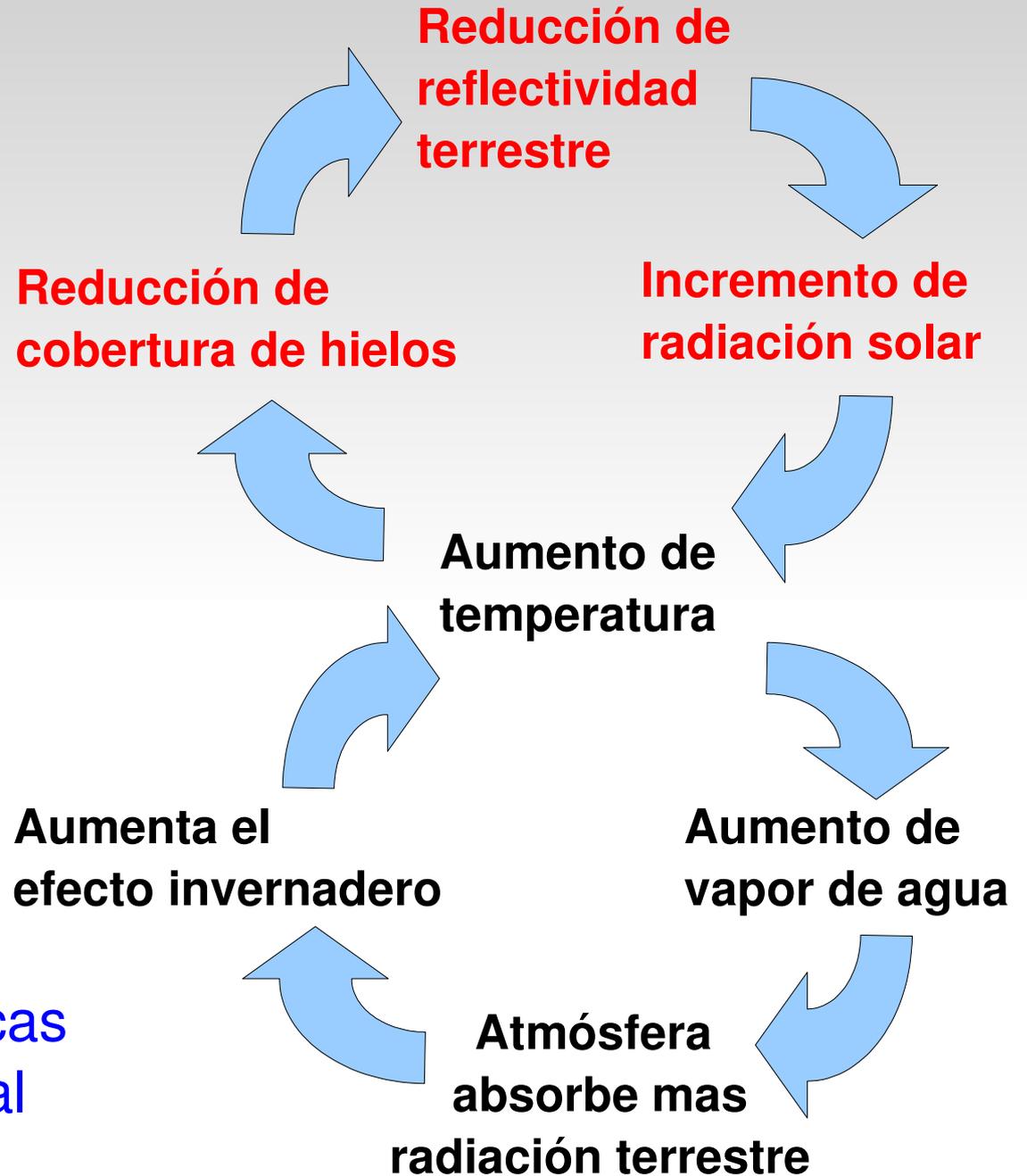
Natural + antropogénico

Retroalimentación hielo-albedo

Emisión de CO₂

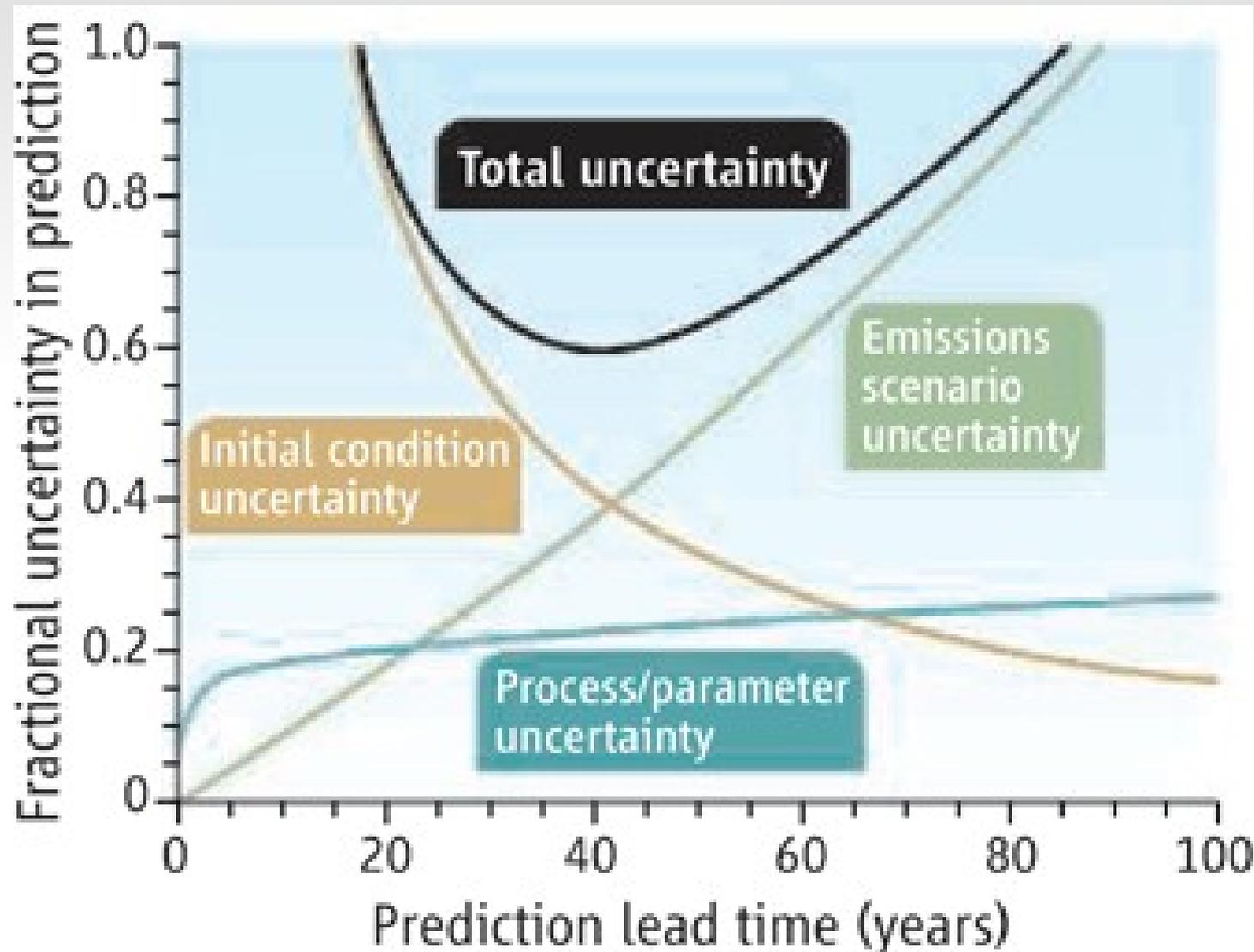


Retroalimentaciones climáticas
aumentan perturbación inicial

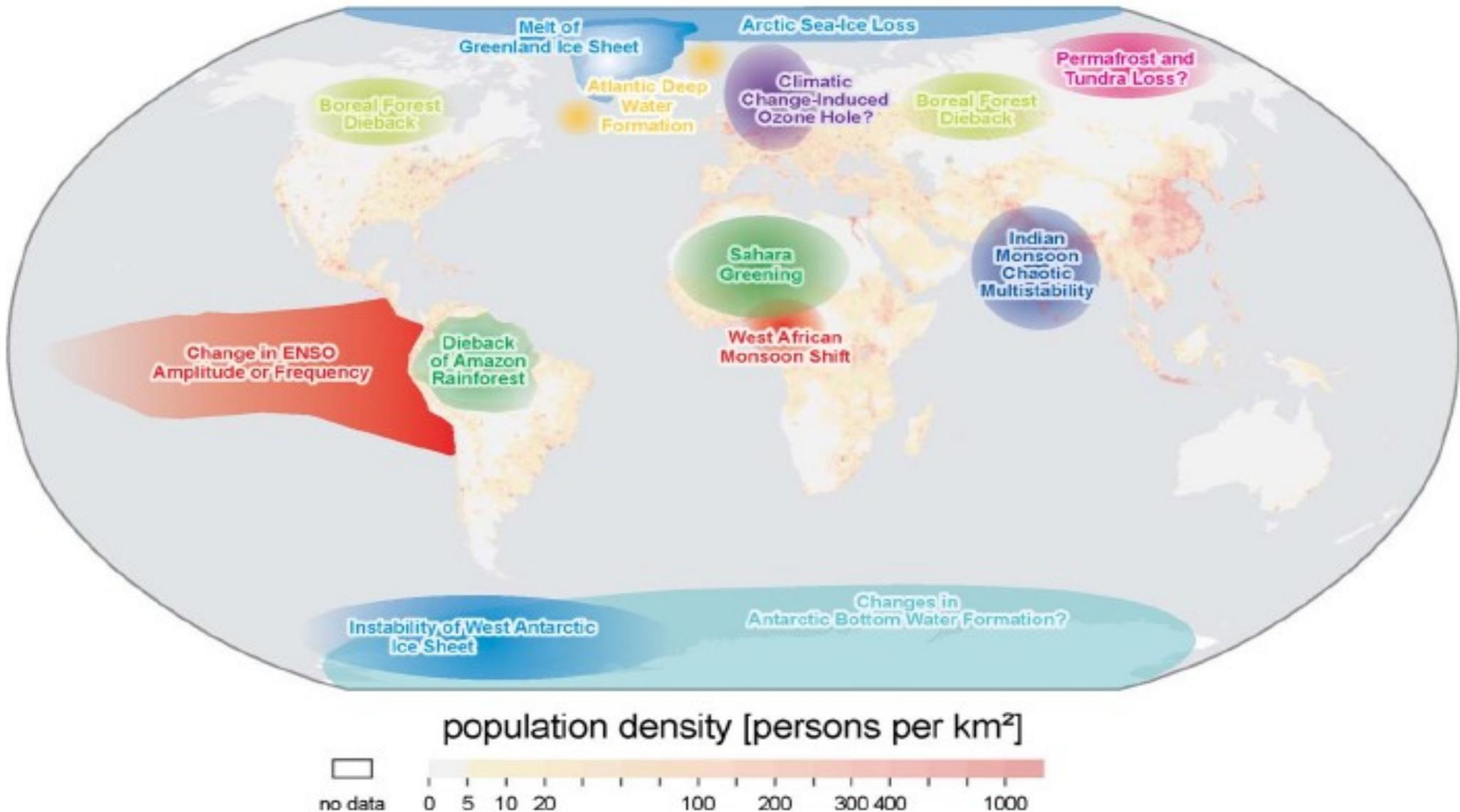


Retroalimentación de vapor de agua

De acuerdo a nuestra comprensión del sistema climático, la incertidumbre en el clima futuro tiene un mínimo entre 30-50 años



Elementos del sistema climático que pueden cambiar de forma cualitativa debido a la acción humana



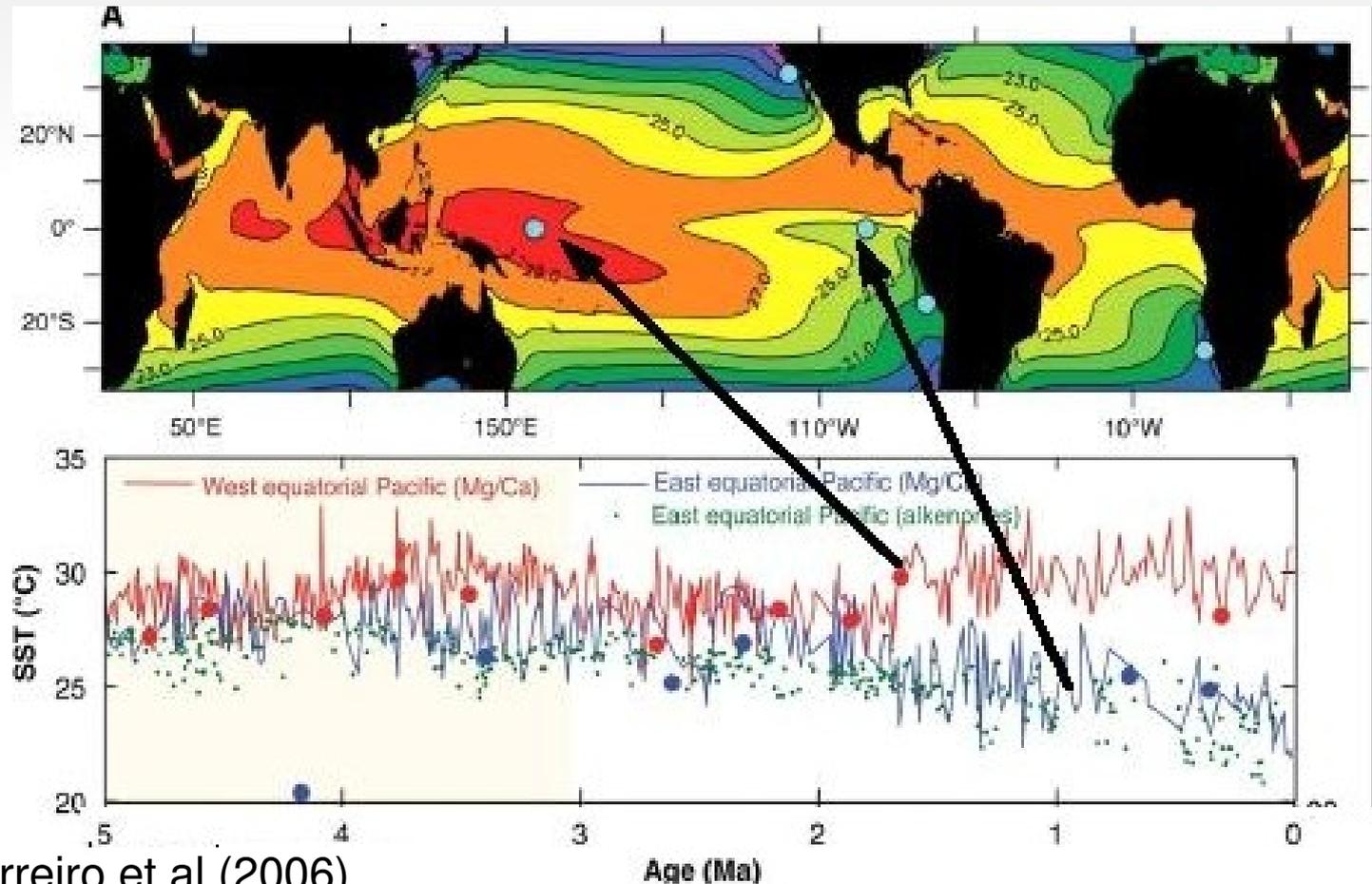
El Plioceno

Hace 3 millones de años la concentración de CO_2 era muy similar a la de hoy, pero los océanos tropicales no tenían las lenguas frías y los extratropicales estaban $3\text{-}5^\circ\text{C}$ más cálidos.

La superficie del mar era 25 m mayor y el clima $2\text{-}3^\circ\text{C}$ mas cálido.

Nos dirigimos a este tipo de clima?

Los modelos climáticos del PICC no pueden representar este período.

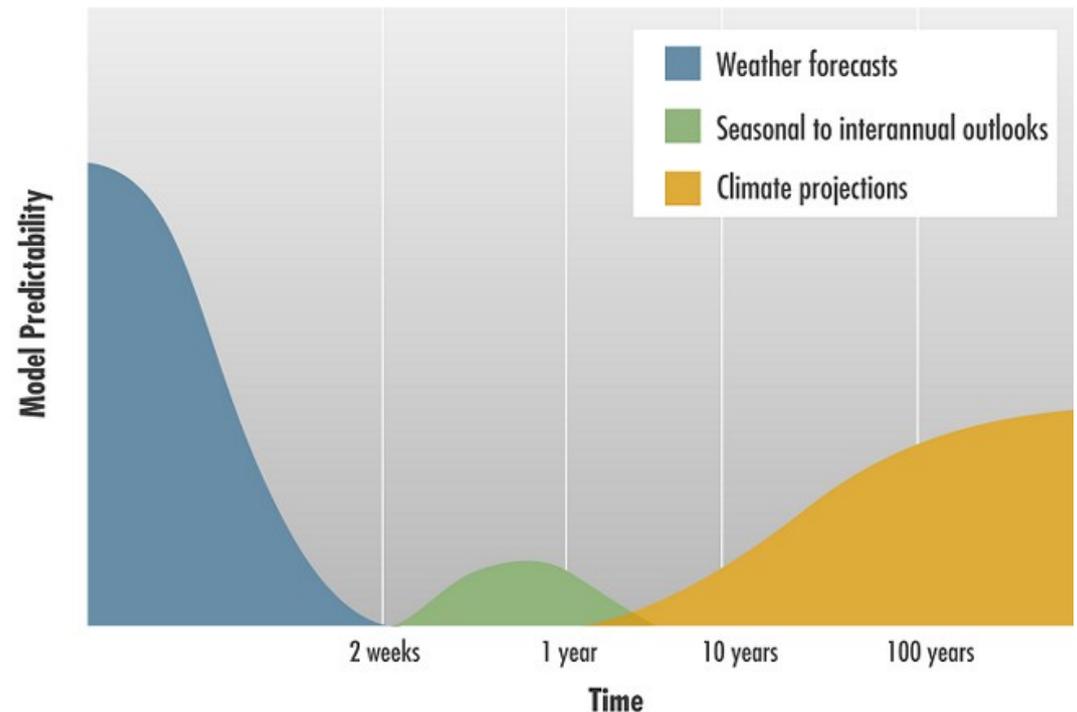


09/24/08

Fedorov et al (2006), Barreiro et al (2006)

Estructura de la charla

- Predicción numérica del tiempo.
- Predicción climática estacional.
- Proyecciones climáticas.
- Resumen.



Resumen de procesos climáticos y su predictabilidad

Escala Espacial

Resultado de la interacción entre la atmósfera y el océano.
Modelado usando MCGA-MCGO.
Predictabilidad del 2do tipo

Resultado de variabilidad interna atmosférica causada por inestabilidades hidrodinámicas.
Modelado usando MCGA
Predictabilidad del 1er tipo

Cambio climático

Variabilidad decadal

Variabilidad estacional-interanual

Resultado de la composición química atmosférica y de la dinámica oceánica. Modelado usando MCGA-MCGO-MBGQ
Predictabilidad de 1er y 2do tipo

Predicción del tiempo 7-15 días

Escala Temporal

A nivel internacional...

- 1979 World Climate Conference 1 – se crea el World Climate Research Program
- 1988: se crea el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, Informes del PICC 1990, 1995, 2001, 2007.
- 1990 World Climate Conference 2 – da lugar al Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático que llama a reducir las emisiones de GEI.
- 2009 World Climate Conference 3 –
 - Tema: *Predicción climática e información para tomadores de decisión: enfocado en avances científicos en escalas estacionales-interanuales, tomando en consideración predicciones multi-decadales, pues son esenciales para esfuerzos de adaptación en respuesta a variabilidad y cambio climático.*



Facultad de Ciencias
Universidad de la República

Muchas Gracias!



Marcelo Barreiro

Unidad de Ciencias de la Atmósfera

<http://www.fisica.edu.uy/~barreiro>

