

# Pronósticos a corto y largo plazo, y de cambio de clima: ¿Qué es posible según la ciencia?

Eugenia Kalnay  
University of Maryland  
High Level Task Force for the  
Global Framework for  
Climate Services

15<sup>ava</sup> Reunión de la Asociación Regional III de la OMM  
Bogotá, 22-29 Septiembre 2010

Gracias por las imágenes de Geert Jan Van Oldenborgh (KNMI) y  
Joe Casola de la National Academy of Sciences

# Pronósticos a mediano plazo, estacionales y de cambio de clima: cómo son posibles?

Charney introdujo el pronóstico numérico del tiempo en 1950

Lorenz en 1963 mostró que hay **un límite de dos semanas para predecir el tiempo**, aún teniendo modelos y observaciones perfectas.

¿Hay una contradicción entre el límite de dos semanas y predicciones de meses? ¿Es posible hacer proyecciones de cambio de clima?

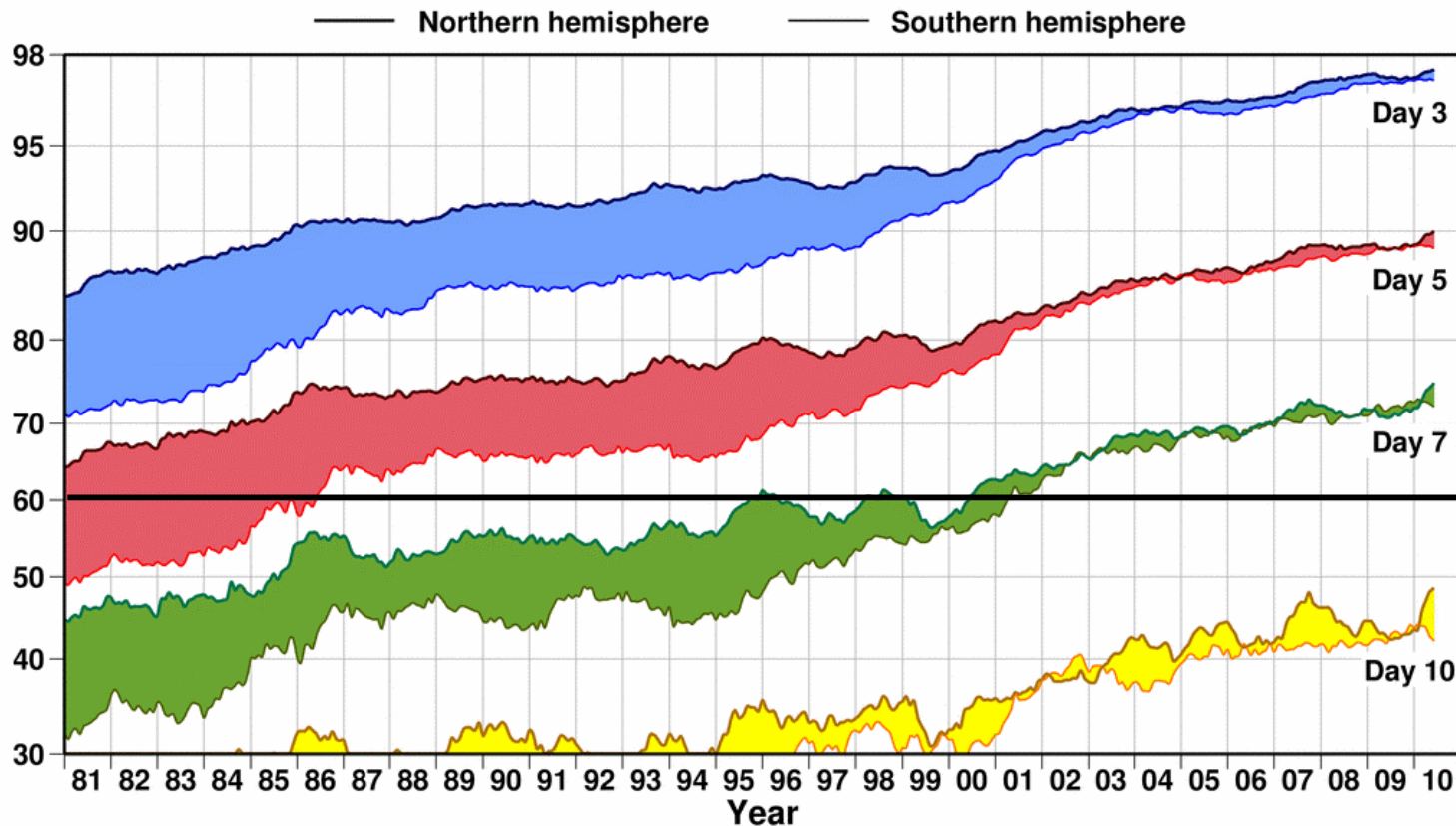


# Pronósticos a mediano plazo, estacionales y de cambio de clima: ¿por qué son posibles?

- Cuando Lorenz mostró que debido al caos **no se puede** pronosticar el tiempo más de **dos semanas**, los pronósticos en el HN tenían validez por menos de dos días. En el HS menos de un día.
- En ese momento la teoría del caos solo tenía interés académico.
- Pero la ciencia ha progresado muchísimo... ahora nos estamos acercando al límite de Lorenz...

# Pronósticos del tiempo: útiles si $AC > 60\%$

Anomaly correlation (%) of ECMWF 500hPa height forecasts

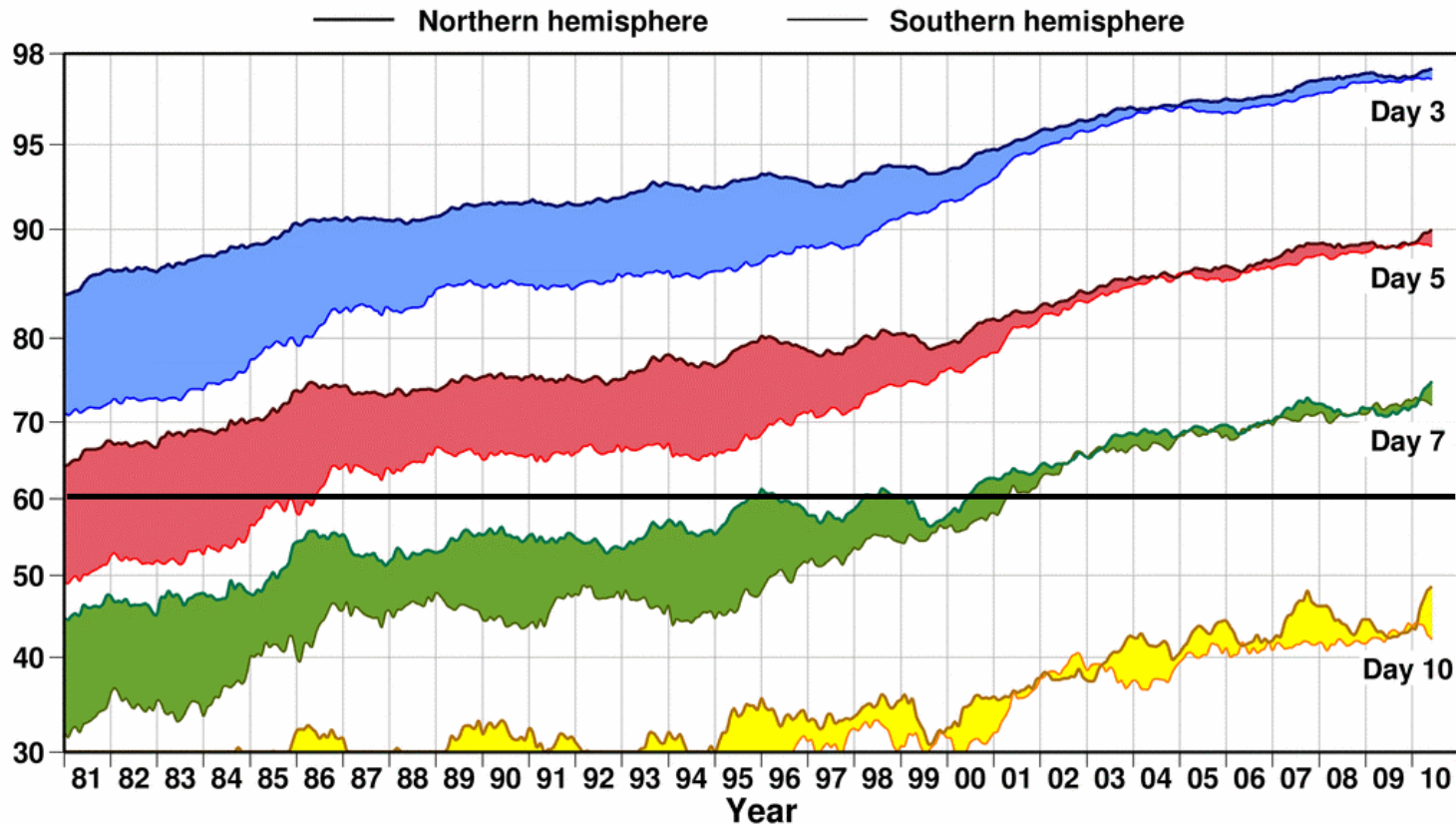


Courtesy of ECMWF. Adapted and extended from Simmons & Hollingsworth (2002)

Lorenz (1963) introdujo la idea del caos, que limita a unos 15 días la predecibilidad del tiempo. En 1960, el pronóstico a dos días era inservible en el HN, a un solo día en el HS. Ahora son útiles por más de una semana!



## Anomaly correlation (%) of ECMWF 500hPa height forecasts



Courtesy of ECMWF. Adapted and extended from Simmons & Hollingsworth (2002)

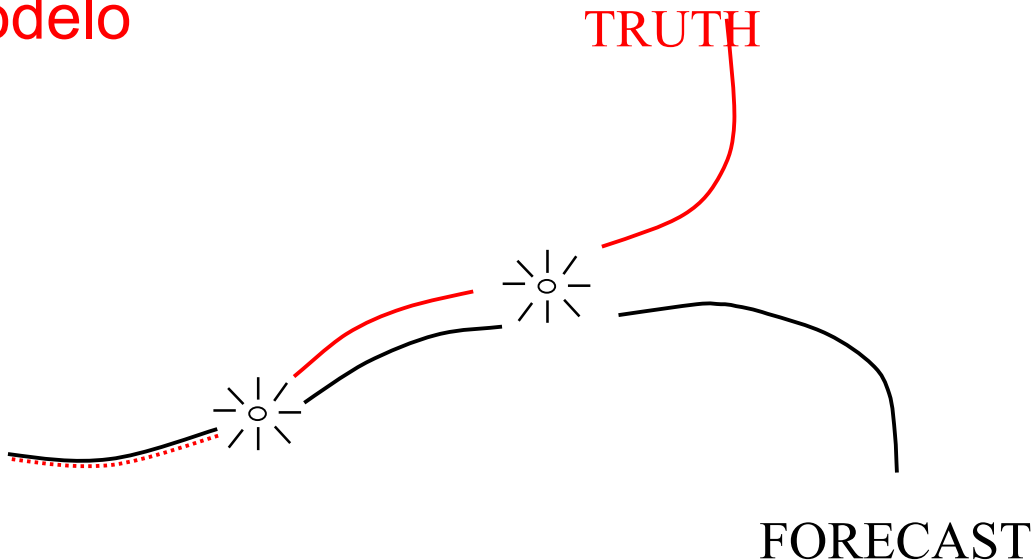
Las mejoras del pronóstico numérico se deben a:

- Mejoras del modelo
- Mejoras de las observaciones
- Mejoras de la asimilación de datos (4D-Var, y pronto **EnKF**)

Los pronósticos para el HS son tan buenos como para el HN!

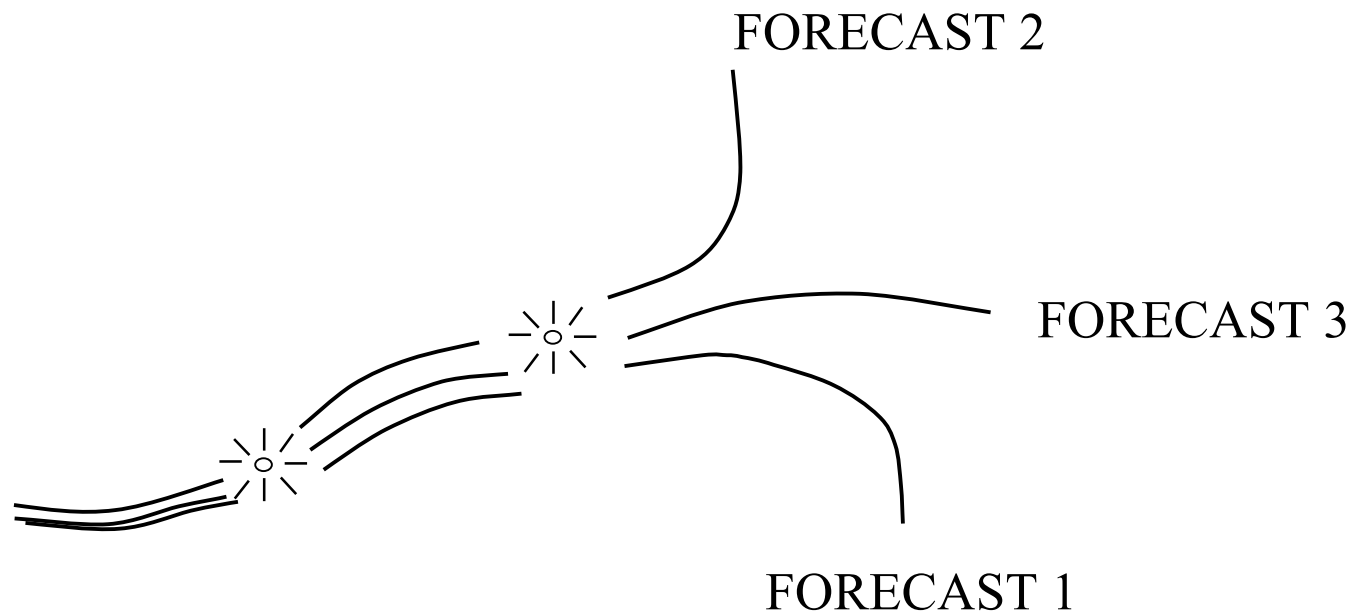
# Pronóstico Numérico del Tiempo

- Creamos modelos para simular la atmósfera
- Las inestabilidades aumentan los errores del pronóstico (**CAOS**).
- Los modelos necesitan condiciones iniciales (el análisis de hoy)
- Las condiciones iniciales tienen errores
- Los errores crecen debido a las inestabilidades y a los errores del modelo



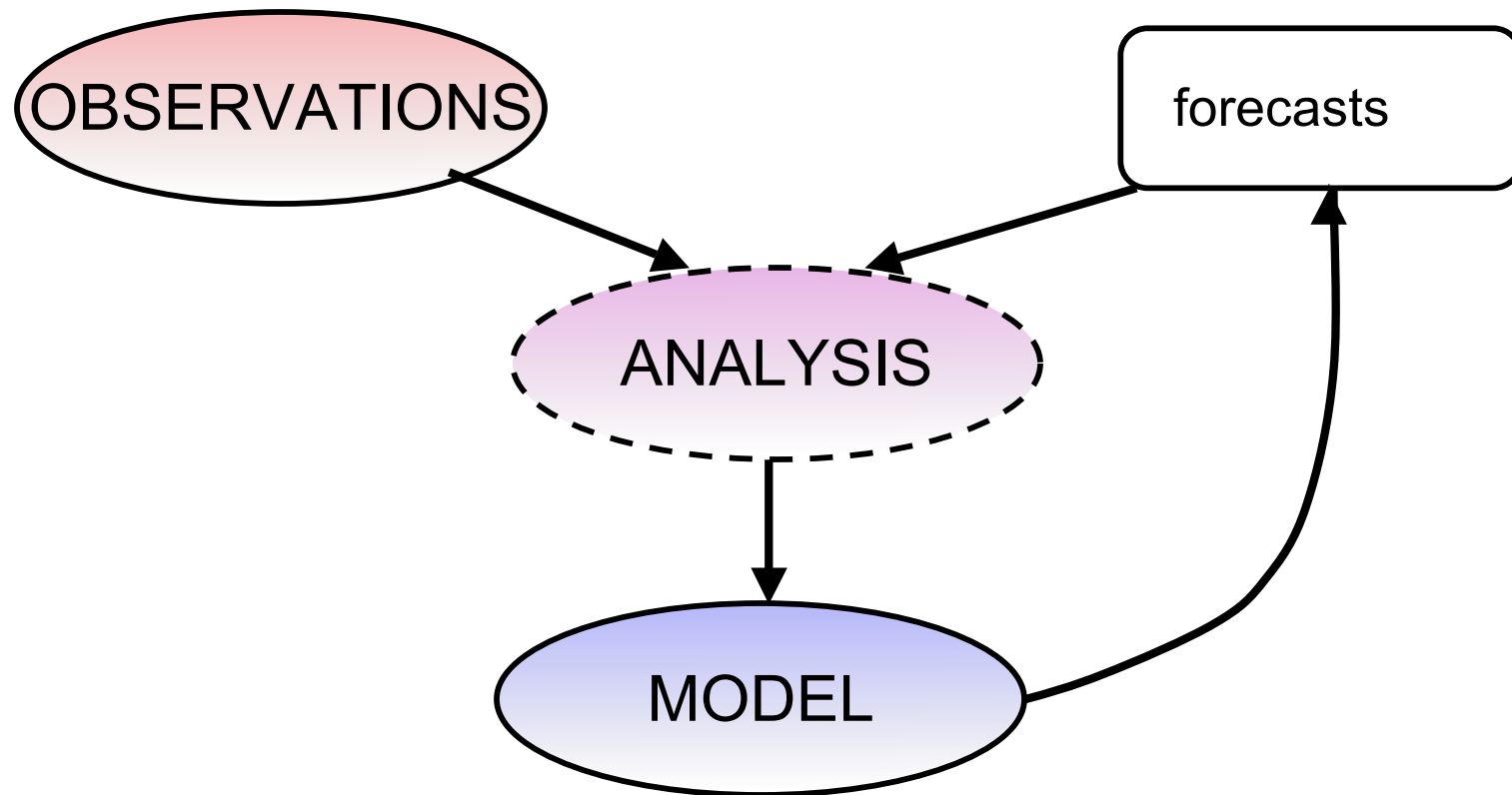
# Pronósticos de Ensamble

- Creamos ensambles de pronósticos para simular la incertidumbre de los pronósticos. **Debemos incluir:**
- Incertidumbres en las **condiciones iniciales** (los errores en el análisis de hoy)
- Incertidumbres **en los modelos** (deficiencias de los modelos)

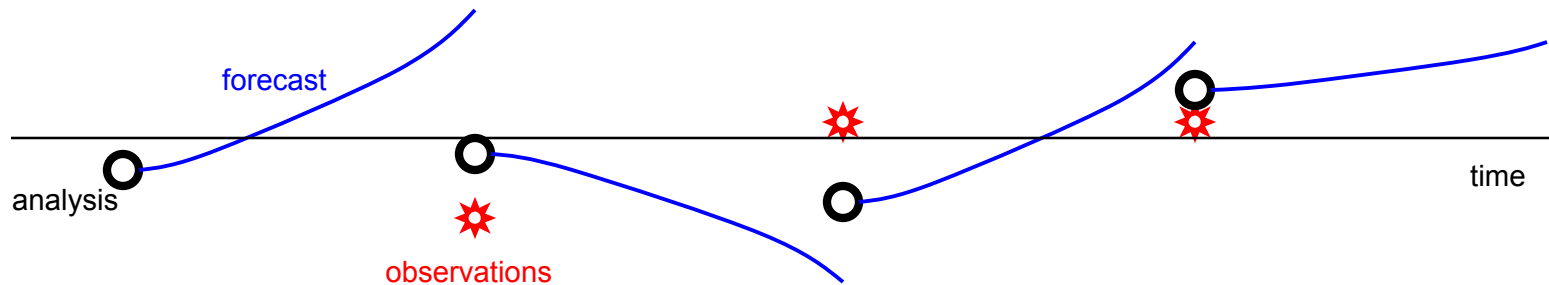


Asimilación de datos: Debemos continuar mejorando **observaciones**, **análisis** y **modelos**

---



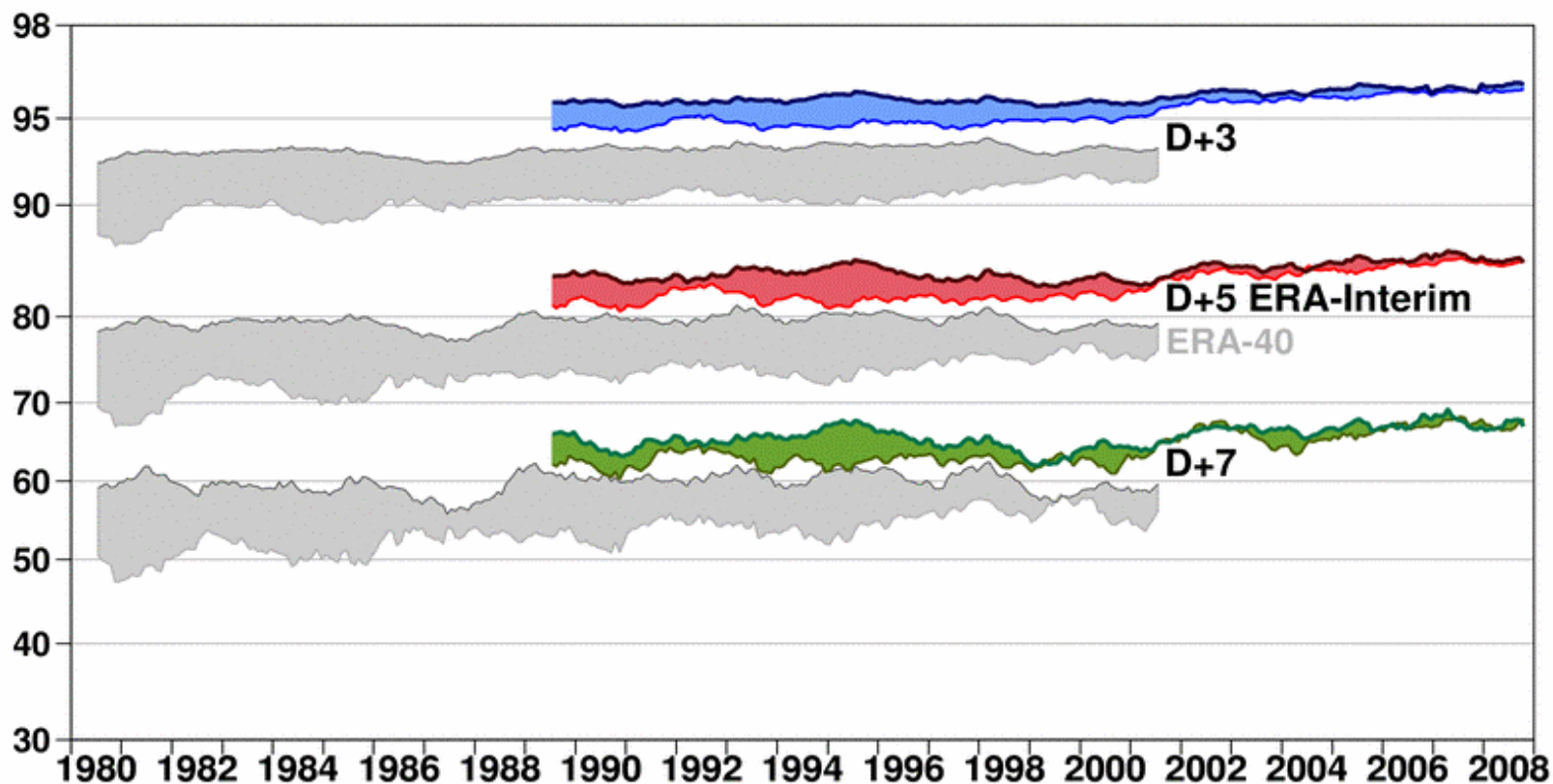
# ASIMILACION DE DATOS



El análisis combina el pronóstico con las observaciones

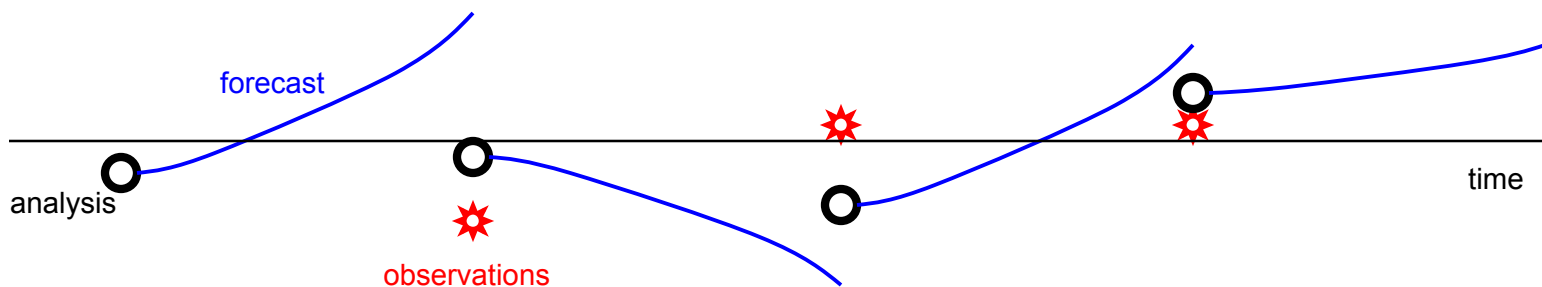


## ERA-Interim (4D-Var) vs. ERA-40 (3D-Var) (Dee, 2009)

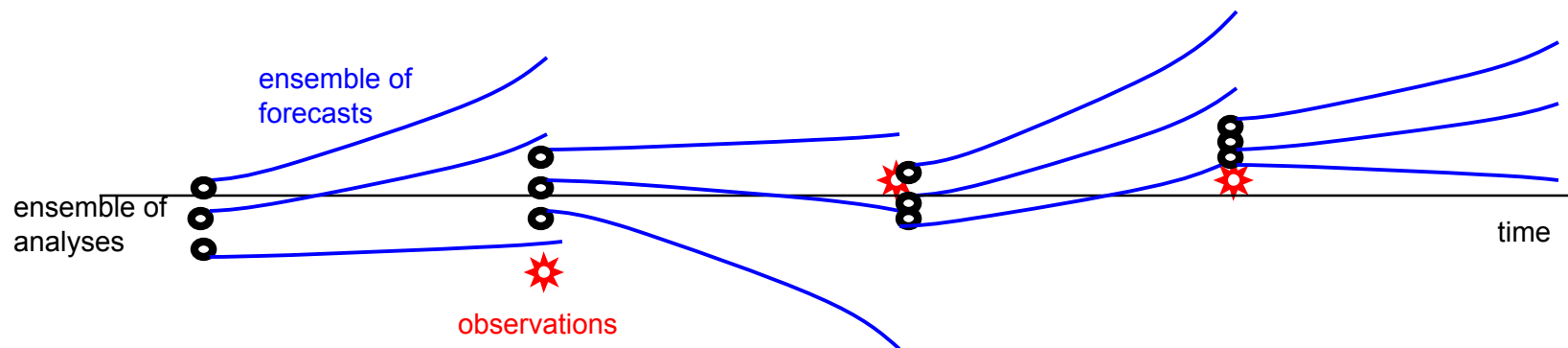


ERA-Interim y ERA-40 usaron exactamente las mismas observaciones así que las mejoras reflejan 5 años de desarrollo del modelo y asimilación de datos.

# DATA ASSIMILATION: EnKF



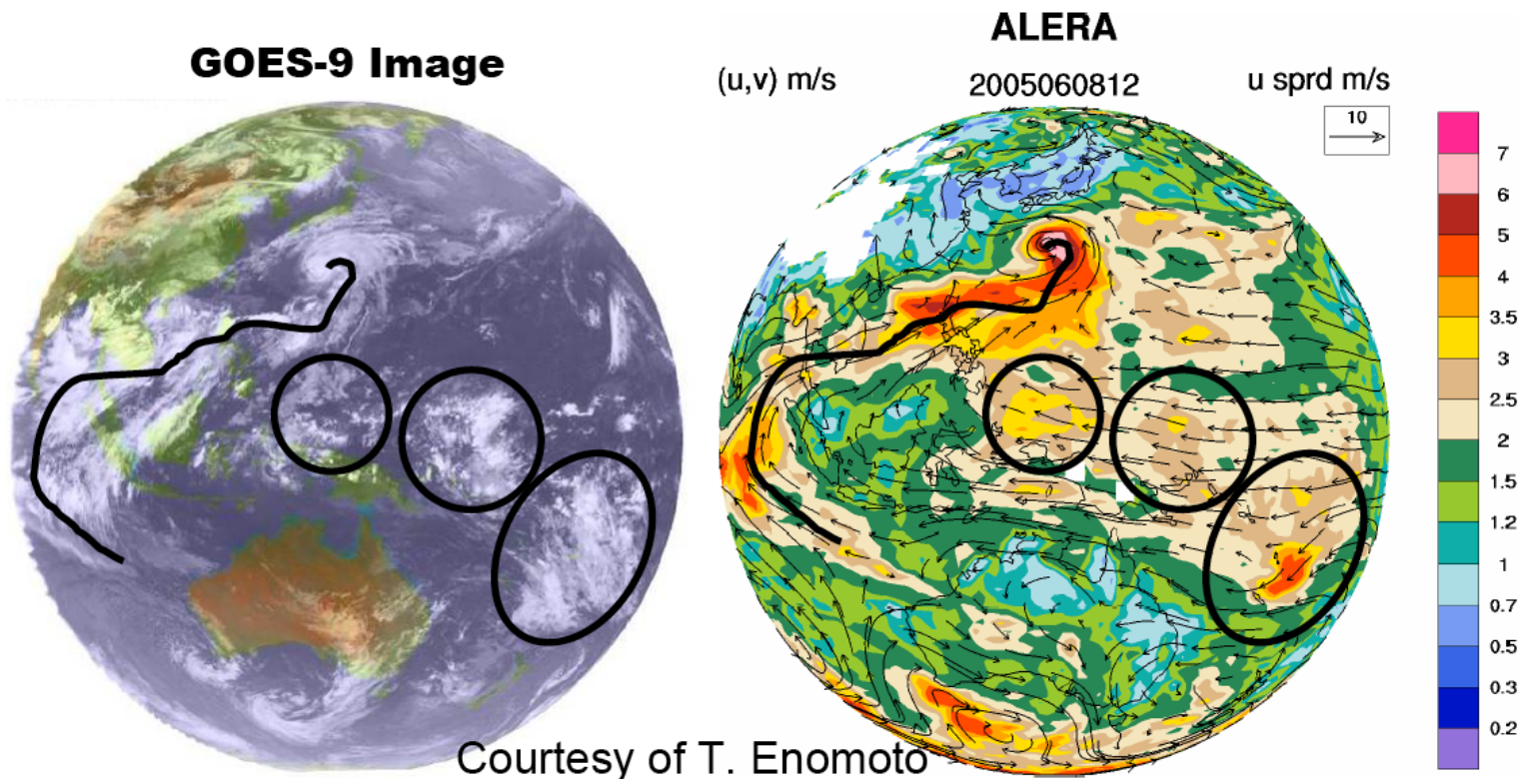
## Ensemble Kalman Filter



El análisis combina el pronóstico con las **observaciones**.  
Los ensambles dan la **incertidumbre** del pronóstico y del análisis:  
Dan la **matriz de covarianza del error** entre todas las variables.

# El EnKF da la incertidumbre en el análisis!

(ALERA: AFES-LETKF Experimental Reanalysis)



Courtesy of T. Enomoto  
and Takemasa Miyoshi

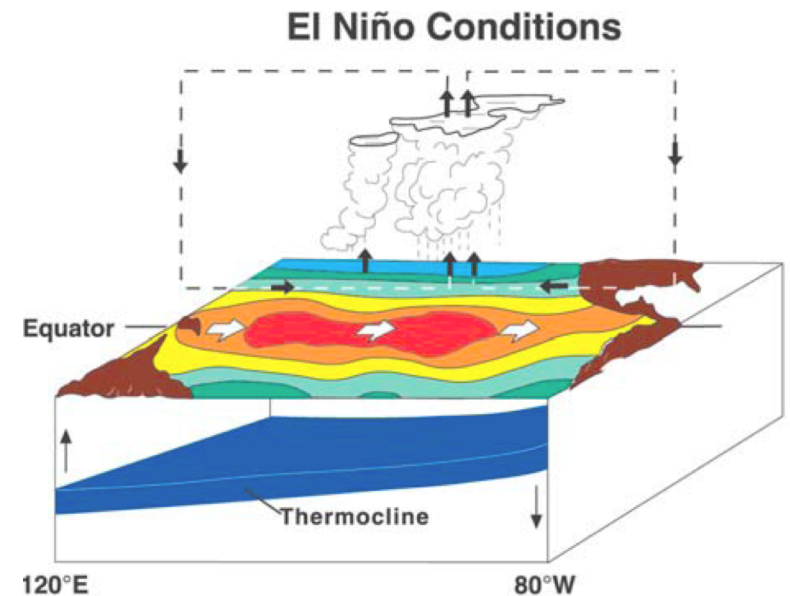
# Cómo es posible pronosticar a largo plazo, más allá de la barrera de dos semanas?

Lorenz mostró que no es posible pronosticar más de dos semanas porque la escala de las ondas de tiempo es de unos 5 días.

Pero El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO) tiene una escala de tiempo mucho más larga (años).

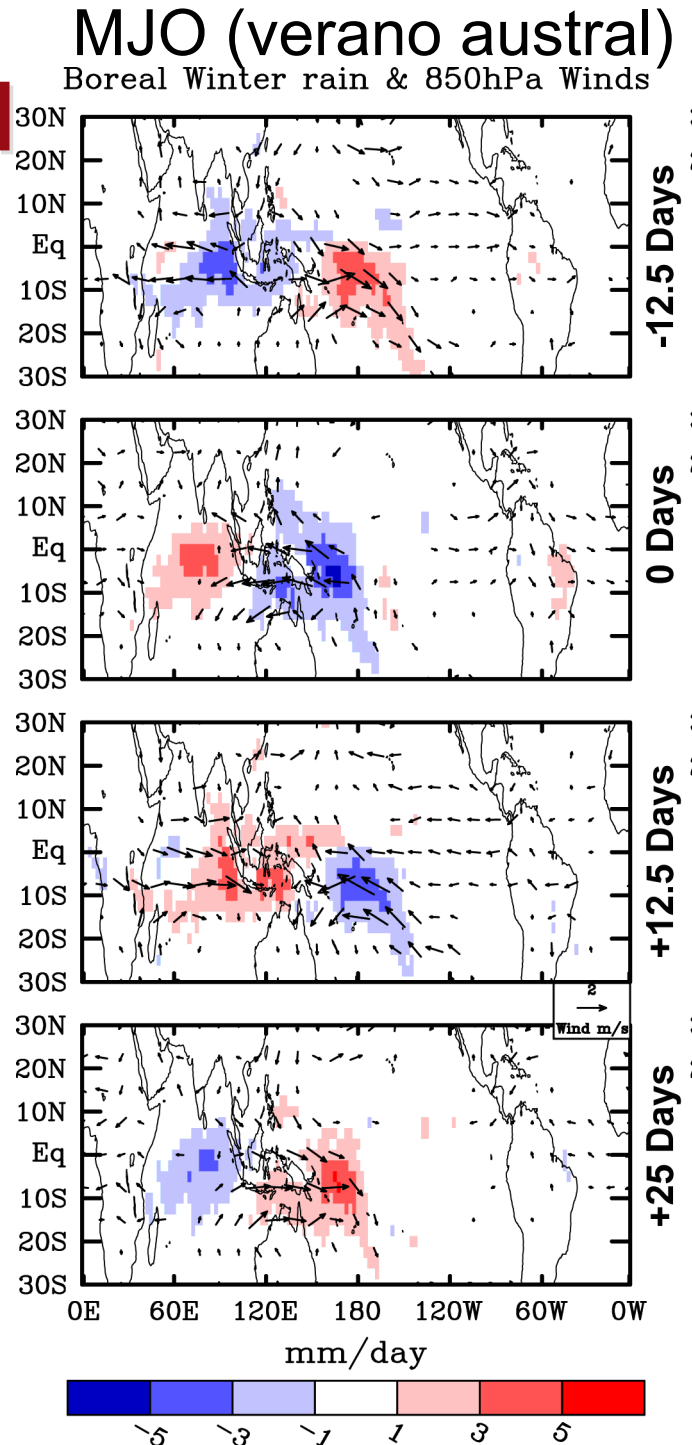
Esto introduce una **fuentes de predecibilidad** más allá del límite de dos semanas.

Permiten predecir anomalías del clima, pero **no predecir el tiempo**.



# Fuentes de predecibilidad a largo plazo

- El Niño y Oscilación del Sur (ENSO, 6-12 meses)
- Oscilación de Madden y Julian (MJO, 1-2 meses)
- Memoria de la tierra (e.g., humedad del suelo, nieve, 2-4 semanas)
- Volcanes que llegan a la estratósfera (1-2 años)
- Memoria del océano acoplado a la atmósfera (meses)
- Cambio de clima: algunas tendencias son claramente predecibles

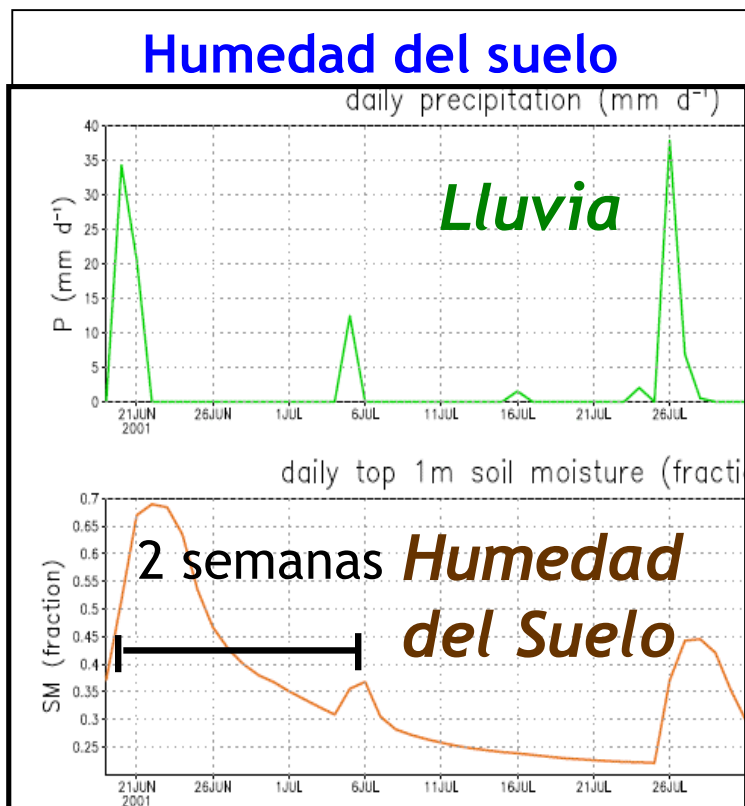




# El límite de predecibilidad del tiempo es sólo 2 semanas.

Que nos permite hacer pronósticos a largo plazo, o del impacto del cambio de clima?

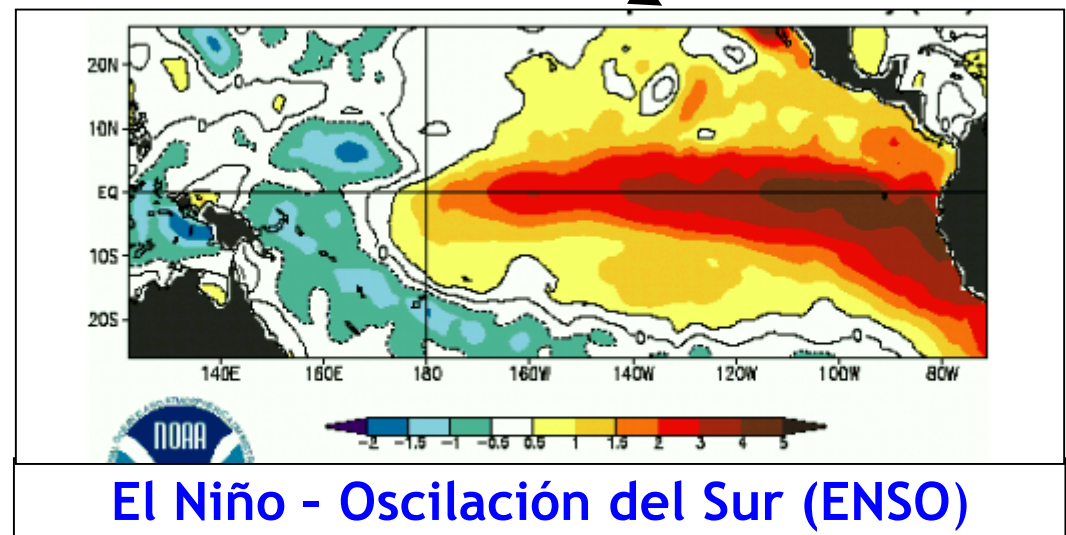
Hay otras fuentes de predecibilidad más allá de 2 semanas!  
Por ejemplo:



2-4 semanas

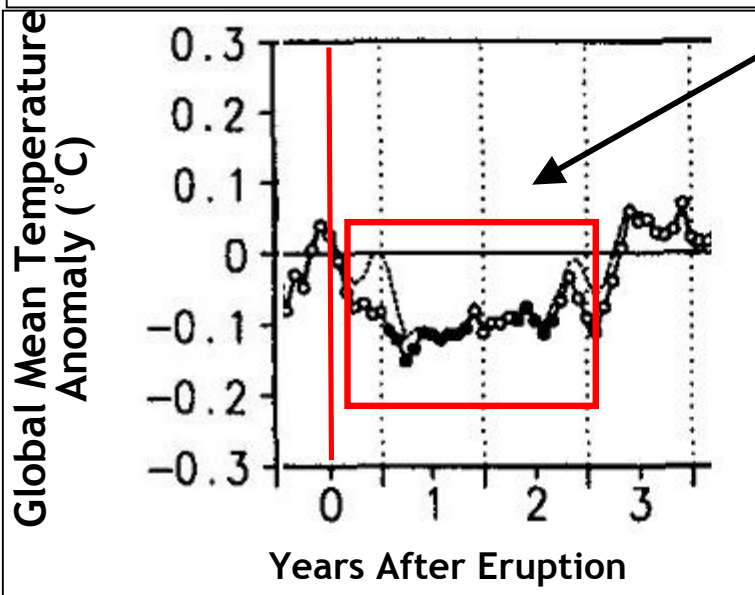
Escalas de tiempo

1-2 años



# Otros ejemplos de fuentes de predecibilidad más allá de 2 semanas:

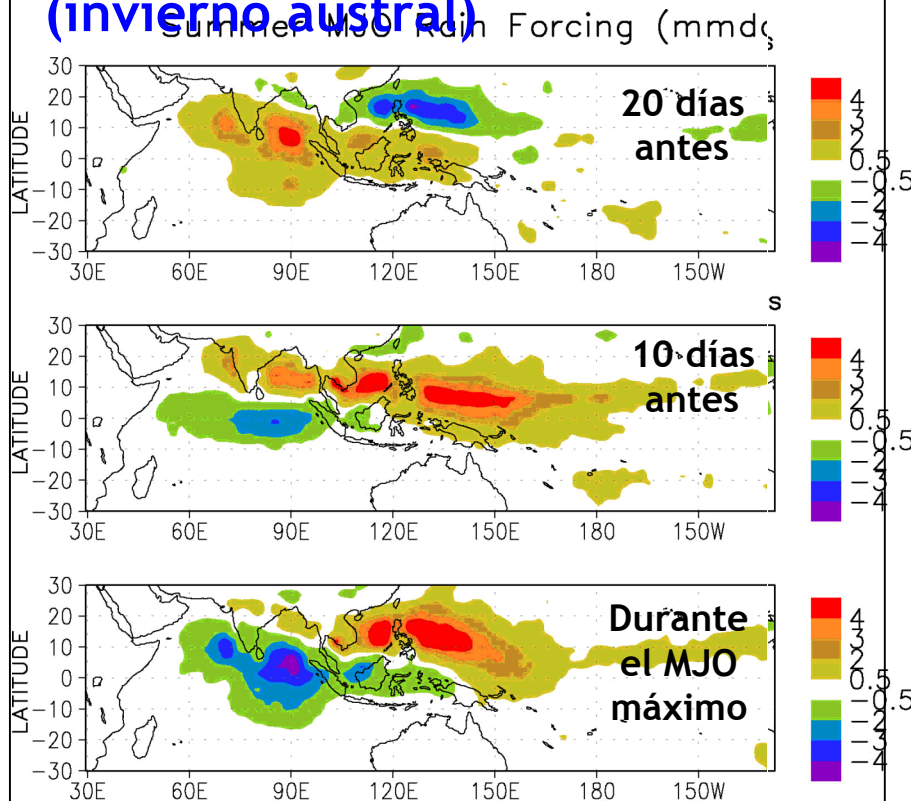
## Erupciones volcánicas



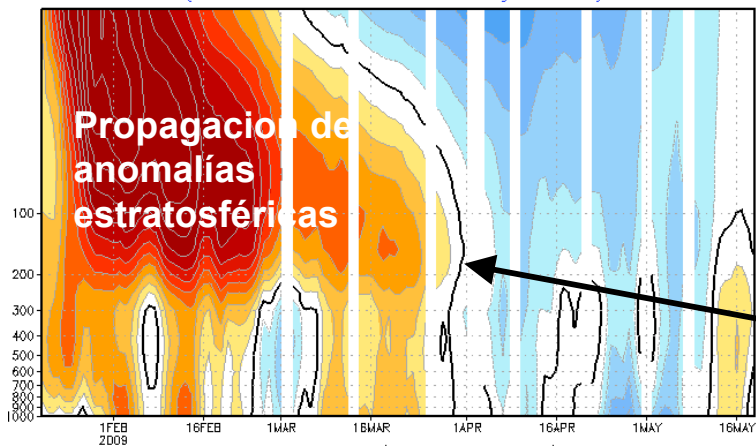
meses a años

1-2 meses

## Oscilaciones de Madden-Julian (invierno austral)



Normalized GPH anomaly (65°N–90°N)  
(20Jan2009 – 19May2009)

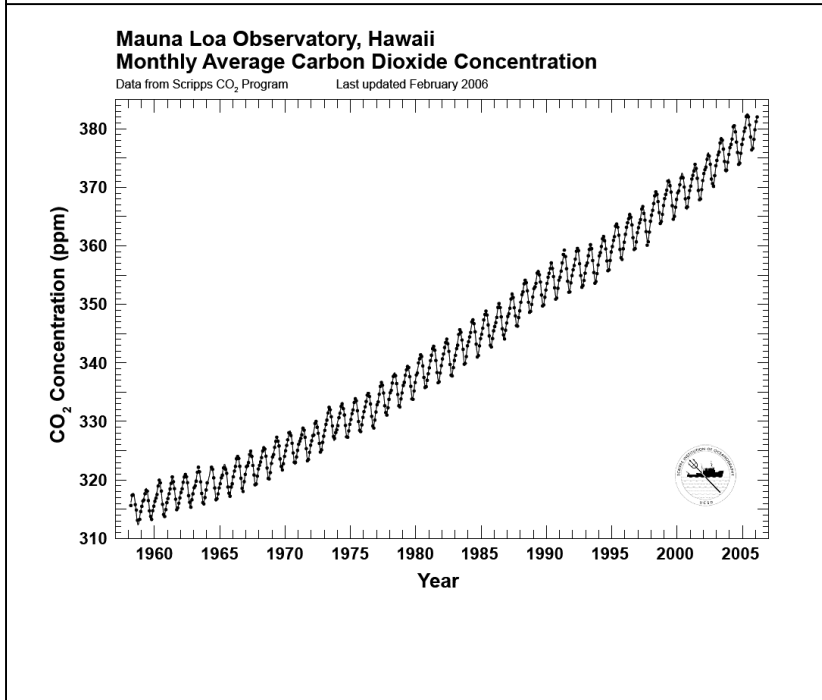


2-3 semanas

# Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

El impacto de cambio de clima antropogénico es también una fuente de predecibilidad a largo plazo (¡pero sería preferible no tener esta fuente!)

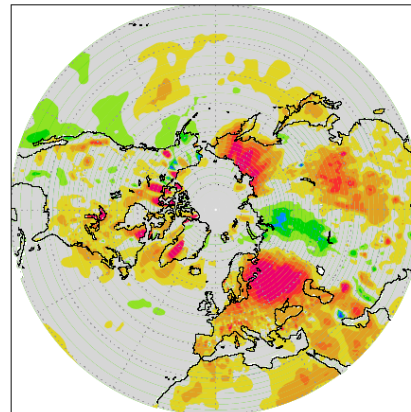
## Procesos no estacionarios



Temperaturas record en 135 años en el verano del HN (fríos record en Bolivia y Argentina)

SST, land 2m Temperature

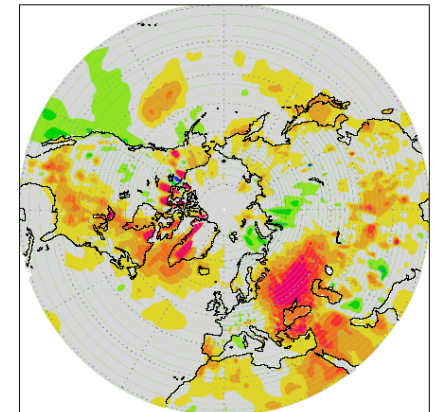
tmp2m-clim7100 Jul2010  
GHCN/CAMS t2m



July

sst-clim7100 Jul2010  
Reynolds v2 SST

tmp2m-clim7100 Aug2010  
GHCN/CAMS t2m



August

Source: NCEP GHCN/CAMS T2m analysis, NCEP OI v2 SST

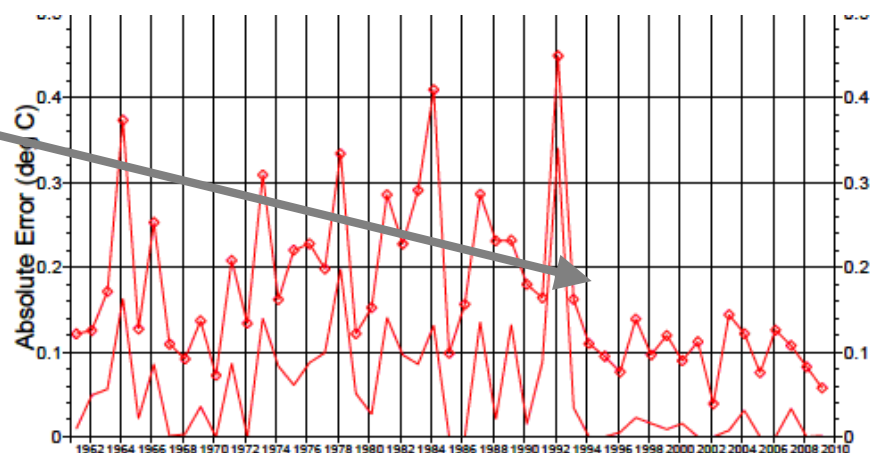
# Predicción de El Niño-Osc. del Sur

- ENSO es una **inestabilidad** de la atmósfera acoplada al océano.
- También hay caos, pero ahora las escalas de tiempo de El Niño son **estacionales**, no de **días**.
- Como ocurrió con el pronóstico del tiempo, los **métodos estadísticos solían ser mejores que los modelos dinámicos acoplados** para pronosticar ENSO.
- Esto se debe a que los métodos estadísticos están basados en un **modelo perfecto: la naturaleza**.
- Ahora, igual que con el pronóstico del tiempo, los modelos dinámicos acoplados de la atmósfera y el océano han mejorado tanto que **los pronósticos dinámicos son mejores que los pronósticos estadísticos**.

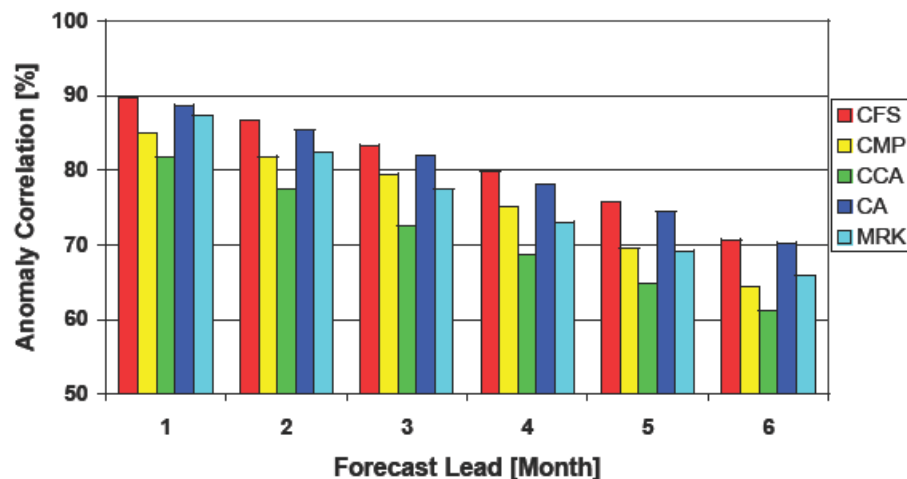
# Progreso en la Predicción de ENSO

- Las observaciones de las boyas TAO/TRITON han sido cruciales en el progreso en los pronósticos de ENSO.
- Los modelos dinámicos eran mucho peores que los estadísticos. Ahora son mejores.
- El uso de ensambles de multimodelos también ayuda al pronóstico.

Errors in Nino3.4 Predictions since 1962



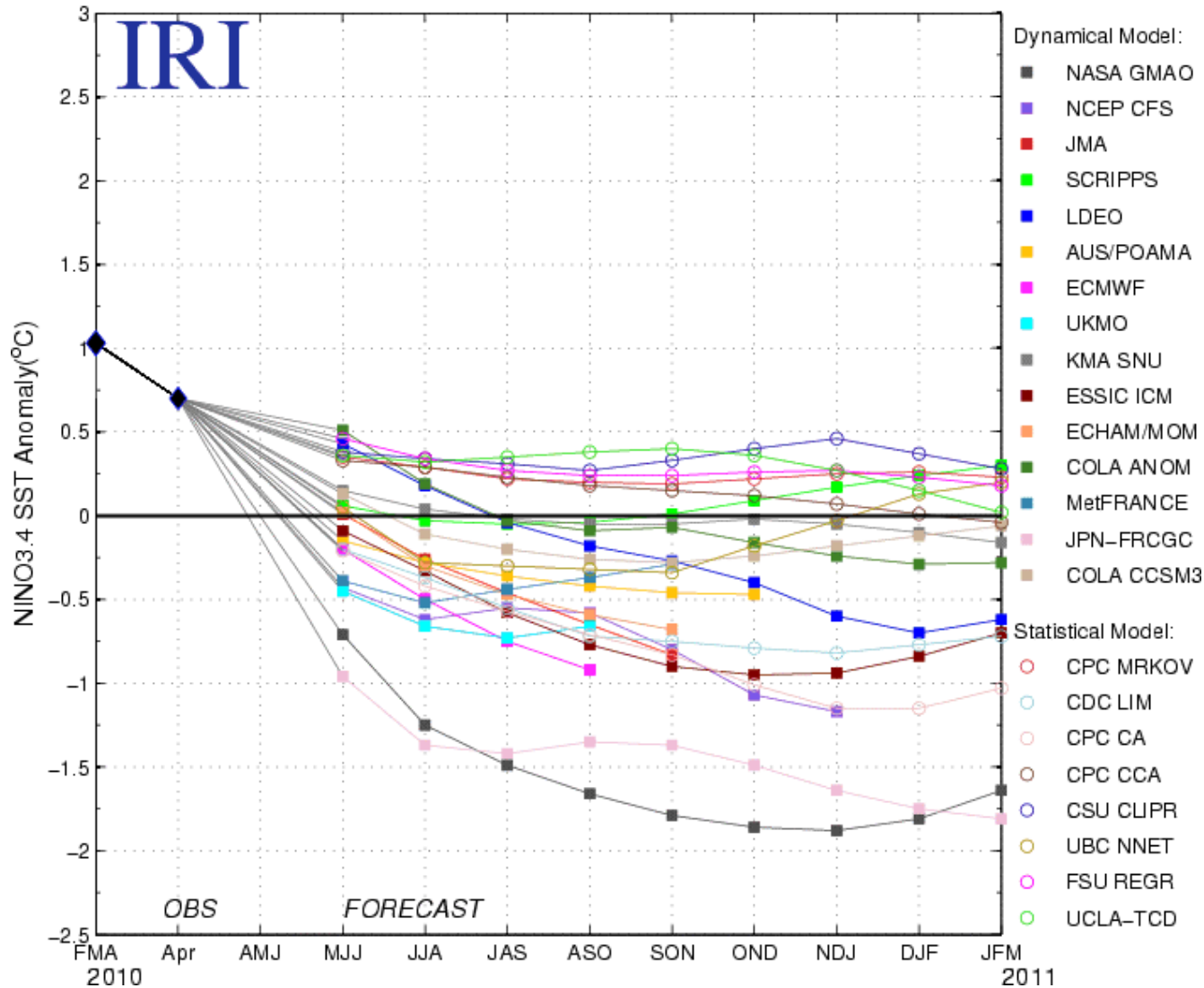
Skill in SST Anomaly Prediction for Nino-3.4  
[DJF 81/82 to AMJ 04]





# Predicción de ENSO, Mayo 2010

Model Forecasts of ENSO from *May 2010*

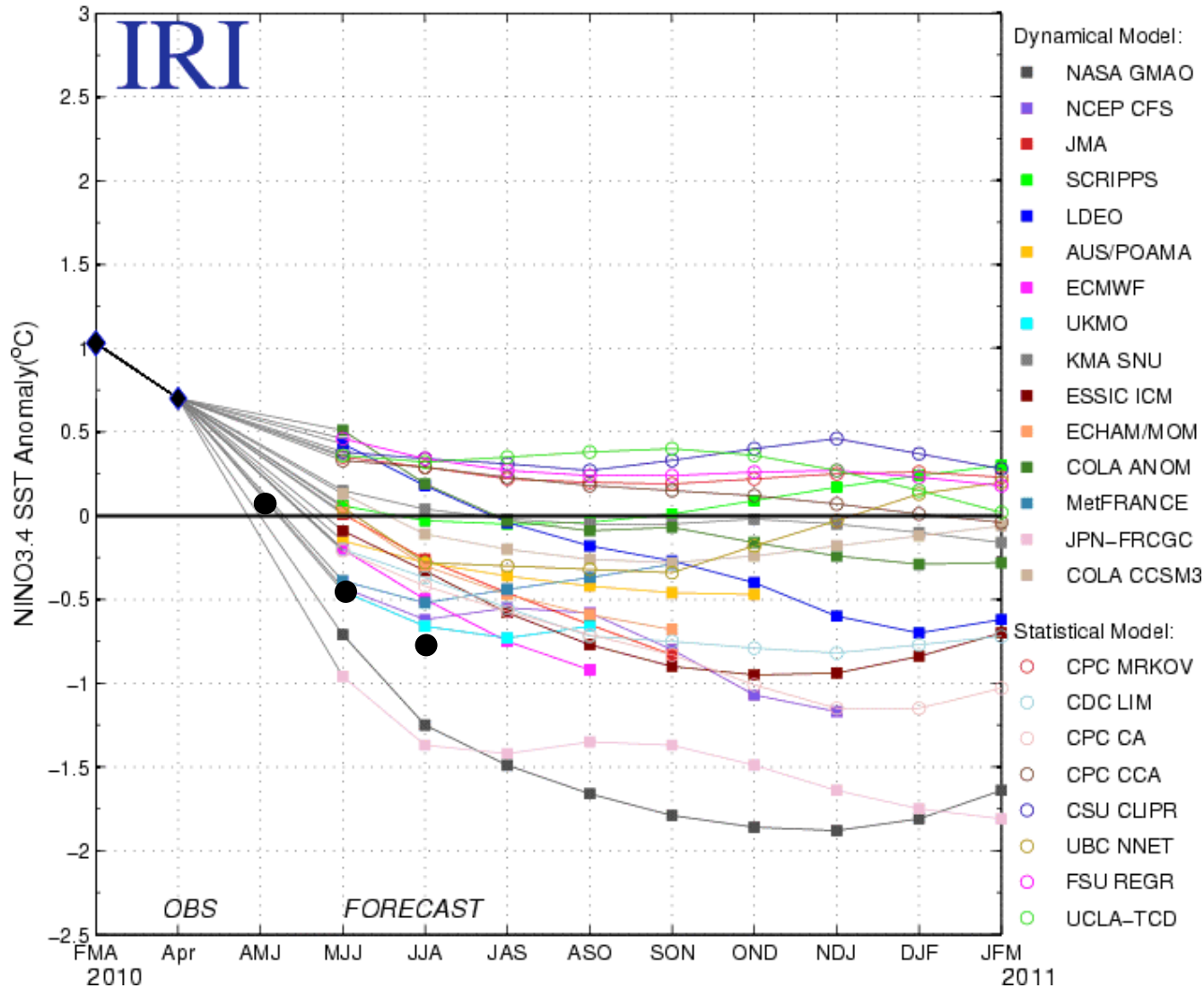


Pronósticos  
de modelos  
dinámicos

Pronósticos  
de modelos  
estadísticos

# Predicción de ENSO, Mayo 2010

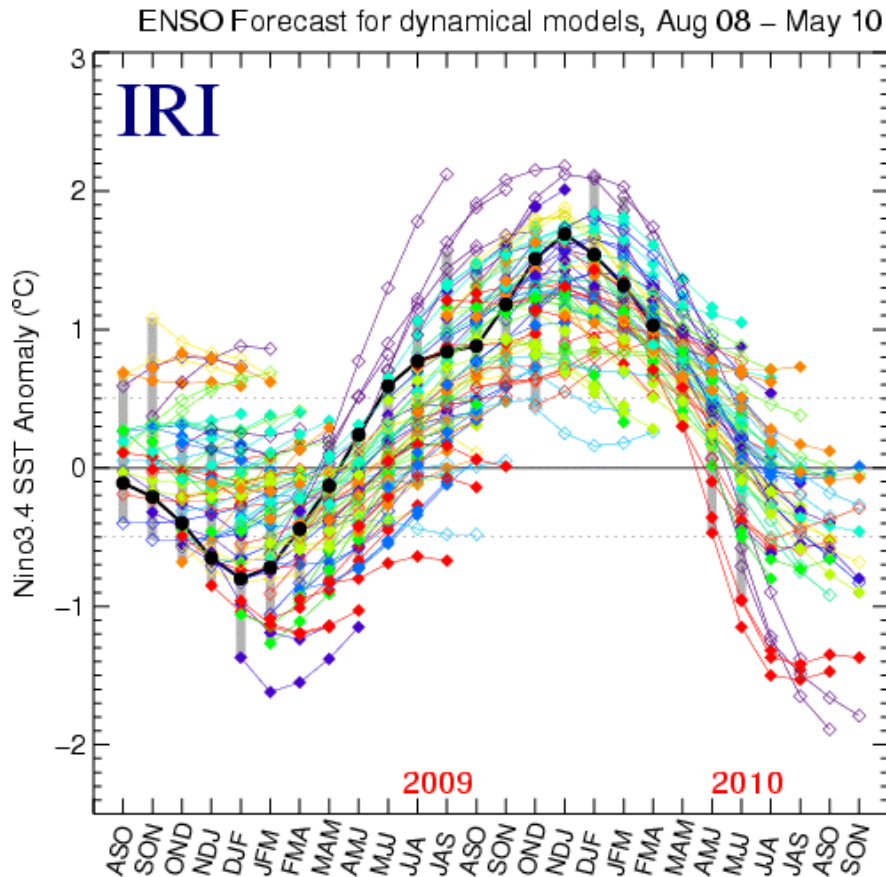
Model Forecasts of ENSO from *May 2010*



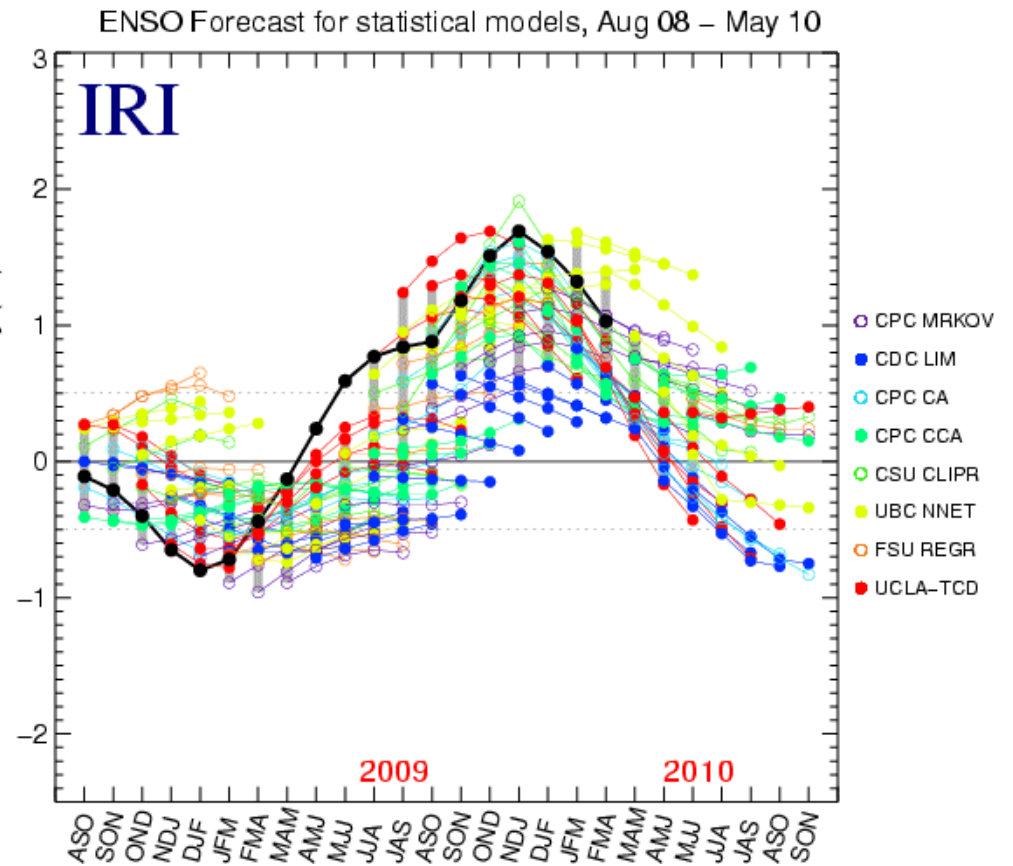
Pronósticos  
de modelos  
dinámicos

Pronósticos  
de modelos  
estadísticos

# Predicciones de ENSO (6 meses)

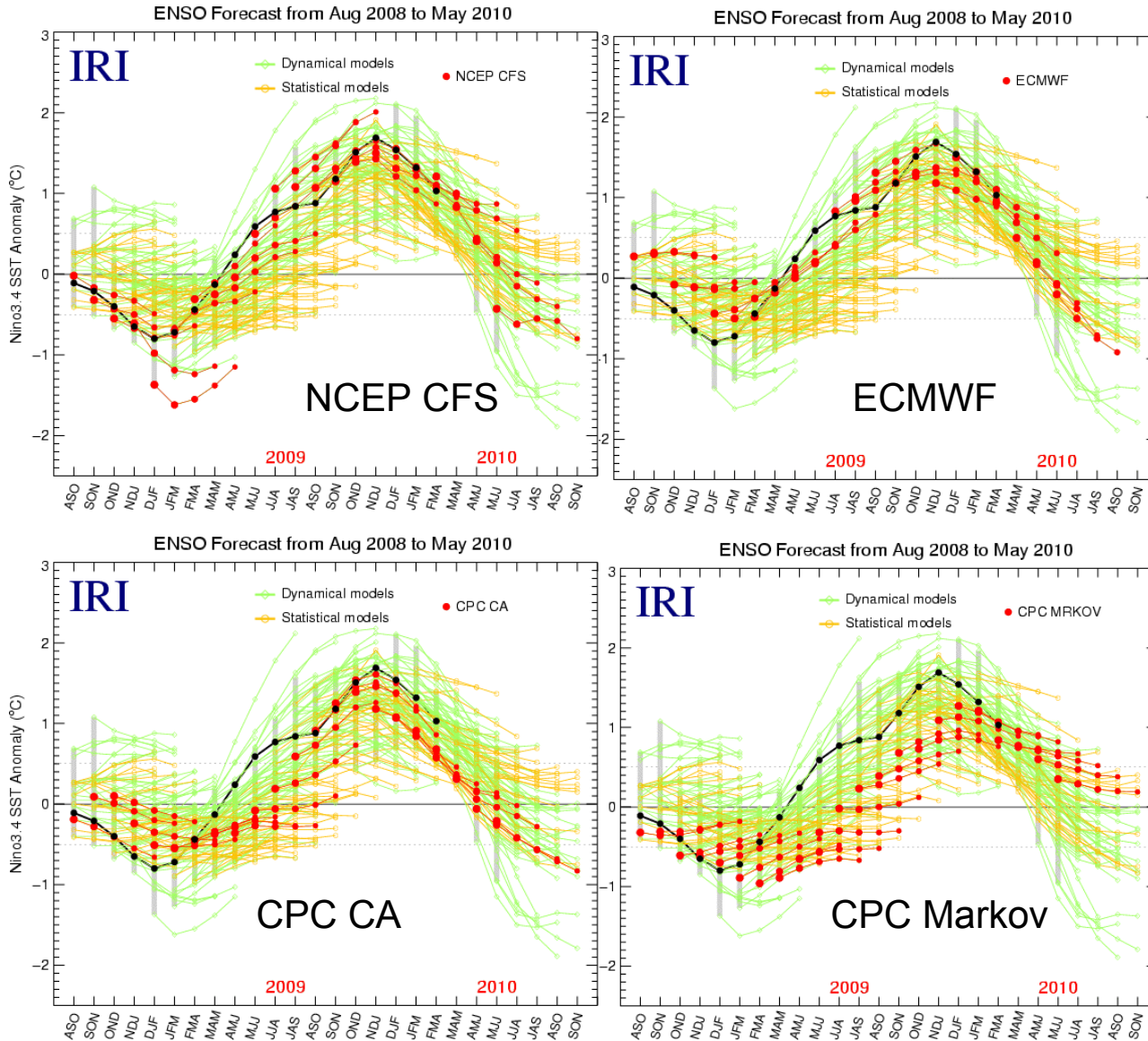


Los pronósticos dinámicos tienen convicción!



Los pronósticos estadísticos se apagan con el tiempo

# Quiénes predicen mejor ENSO?



Dos modelos acoplados dinámicos muy buenos: NCEP y ECMWF

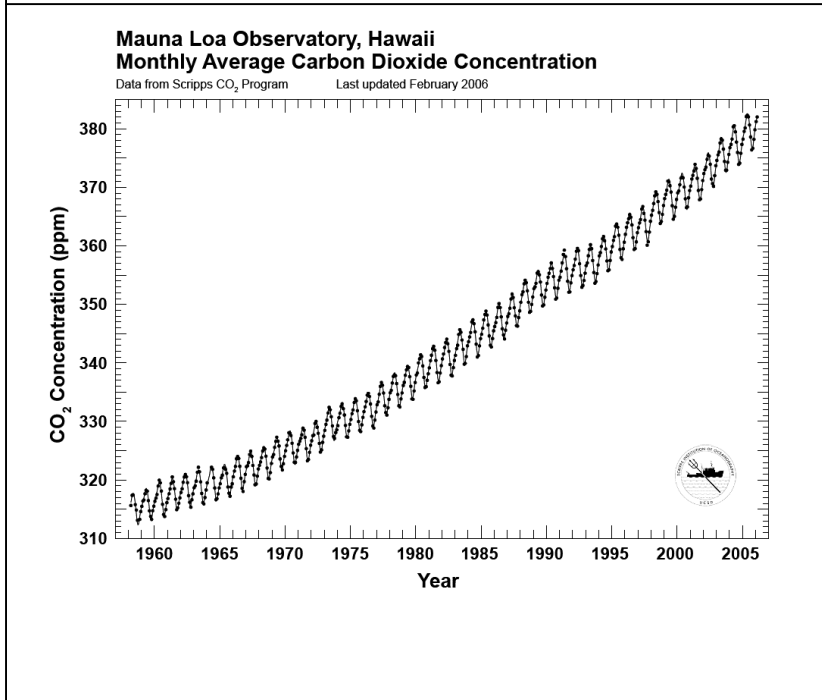
Dos modelos estadísticos muy buenos: CPC Análogo Construido y CPC Markov



# Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

El impacto de cambio de clima antropogénico es también una fuente de predecibilidad a largo plazo (¡pero sería preferible no tener esta fuente!)

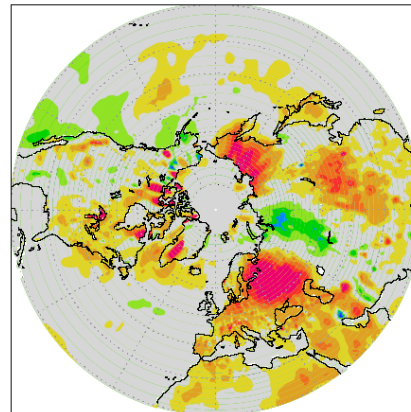
## Procesos no estacionarios



Temperaturas record en 135 años en el verano del HN (fríos record en Bolivia y Argentina)

SST, land 2m Temperature

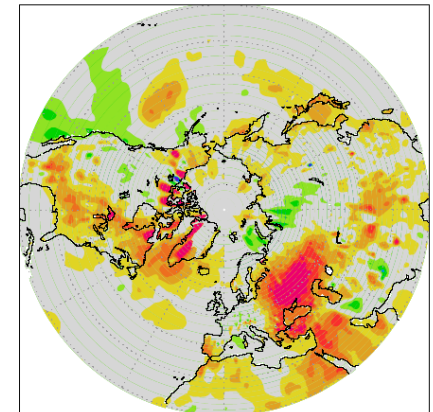
tmp2m-clim7100 Jul2010  
GHCN/CAMS t2m



July

sst-clim7100 Jul2010  
Reynolds v2 SST

tmp2m-clim7100 Aug2010  
GHCN/CAMS t2m



August

Source: NCEP GHCN/CAMS T2m analysis, NCEP OI v2 SST

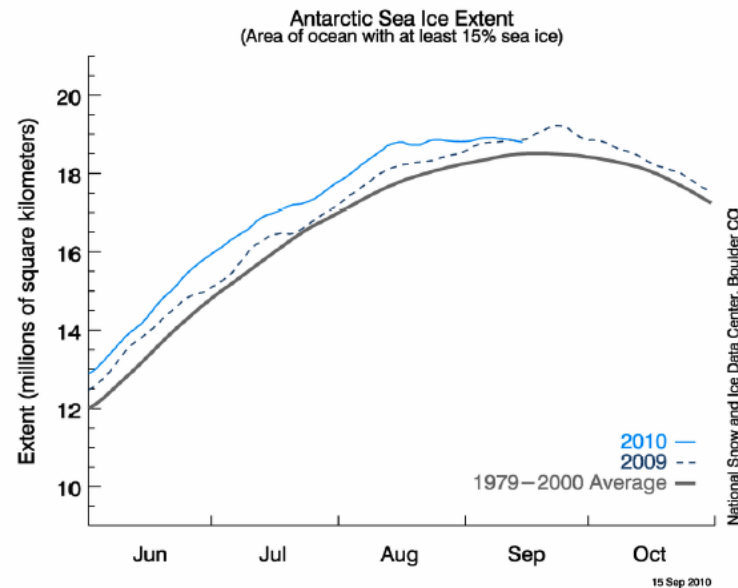
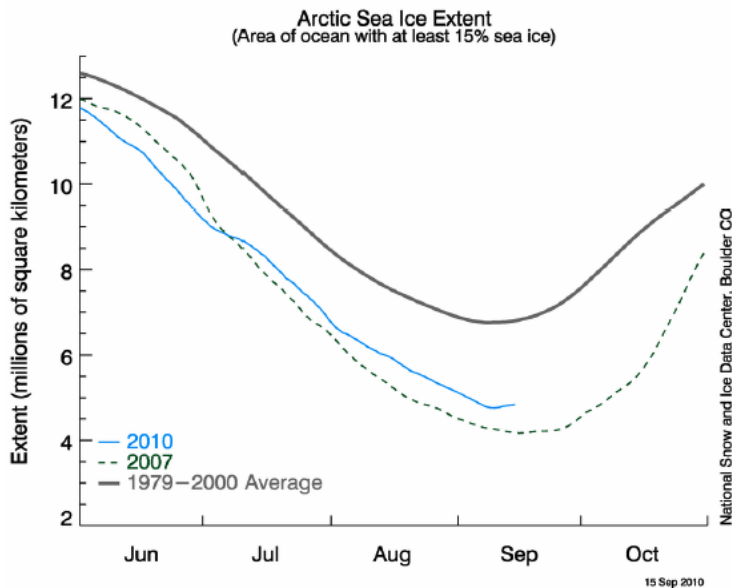


# Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

El impacto de cambio de clima antropogénico es también una fuente de predecibilidad a largo plazo (¡Pero ojalá no la tuvieramos!)

## Procesos no estacionarios: la tendencia es predecible

Sea ice extent



Source: NSIDC

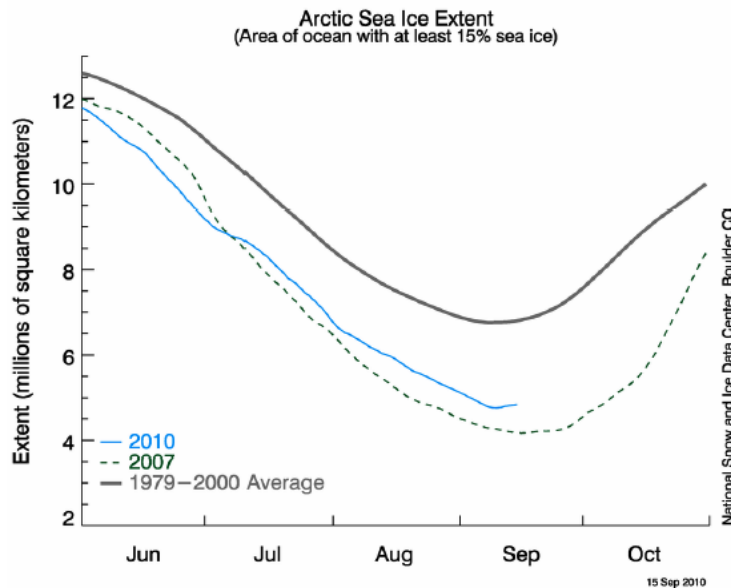
# Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

El impacto de cambio de clima antropogénico es también una fuente de predecibilidad a largo plazo (¡Pero ojalá no la tuvieramos!)

## Procesos no estacionarios: la tendencia es predecible

Sea ice extent

JAL Pilot Kobayashi picture on 29 Aug 2007

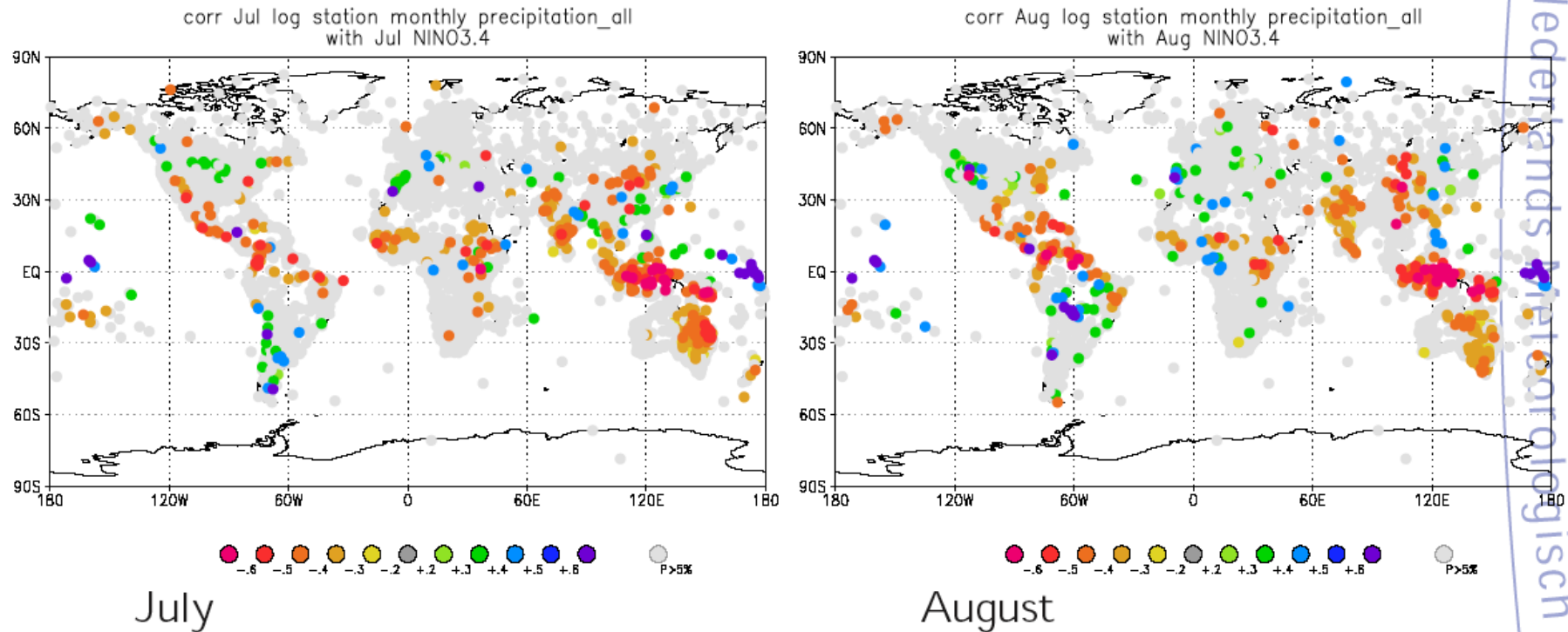


Source: NSIDC



# Cómo podemos usar ENSO para predecir llluvias?

ENSO precipitation teleconnections (Fuente: GJVO, KNMI)

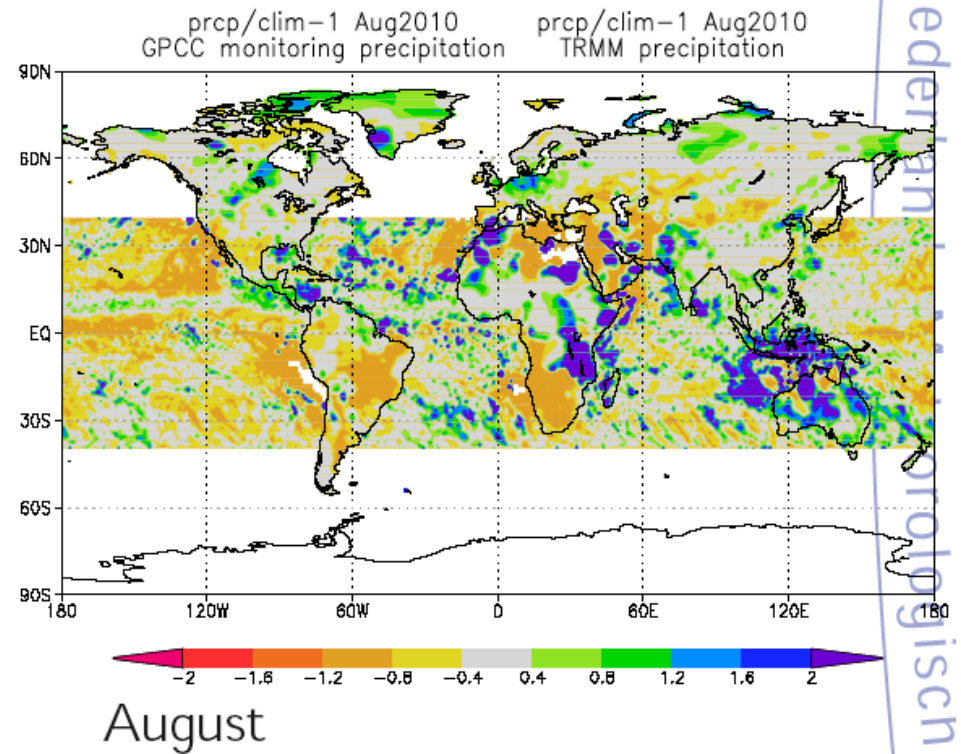
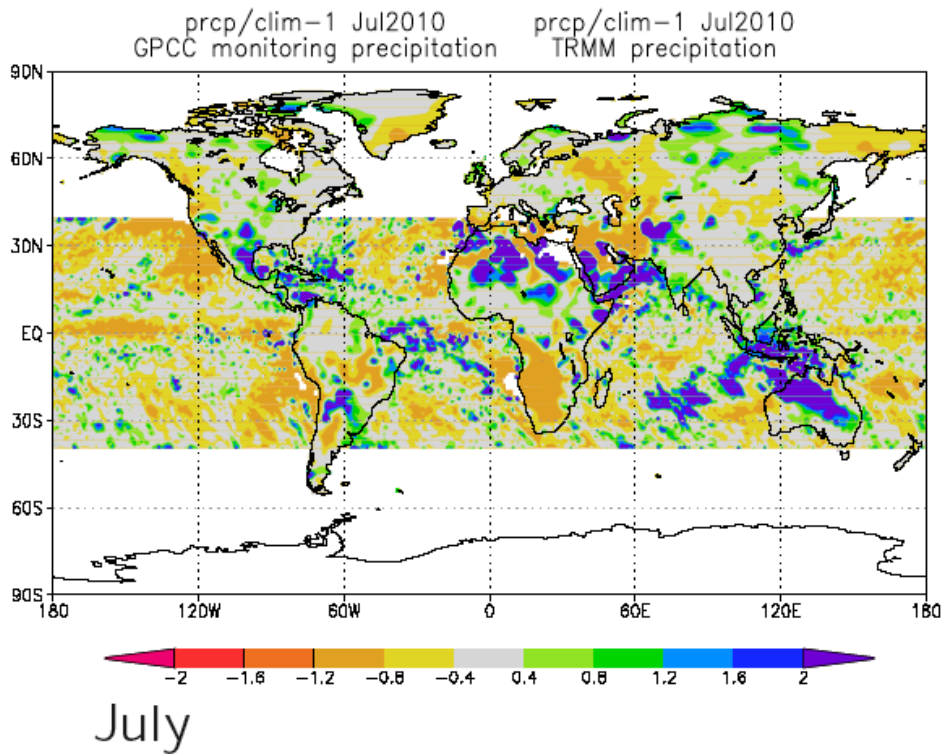


Source: GHCN v2 station data, Kaplan/NCEP Niño3.4

En Julio y Agosto había una Niña Fuerte (-1.5C anomalía):  
Si la correlación es roja (<0), esperamos llluvias fuertes

# Anomalías de precipitación en Julio y Agosto

Relative precipitation anomalies (Fuente: GJVO, KNMI)



Source: GPCCC first-guess analysis, TRMM 3A12 from GSFC/NASA

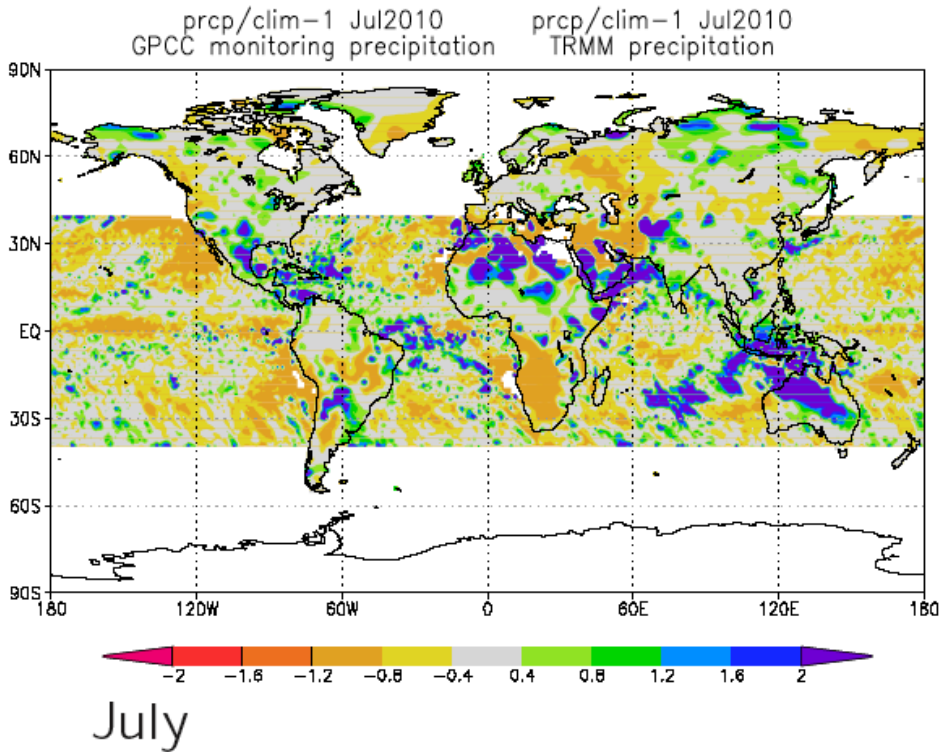
rijklijk Nederland... rologisch 1151



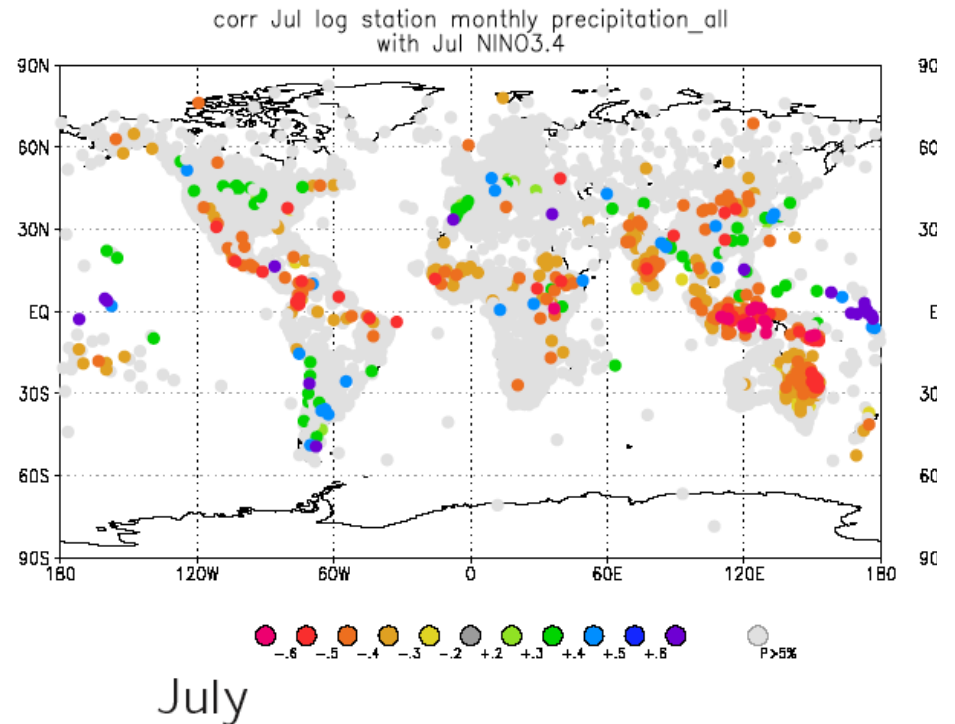
# Anomalías de precipitación en Julio y Agosto

Relative precipitation anomalies

ENSO precipitation teleconnections



Source: GPCCC first-guess analysis, TRMM



Source: GHCN v2 station data, Kaplan/N

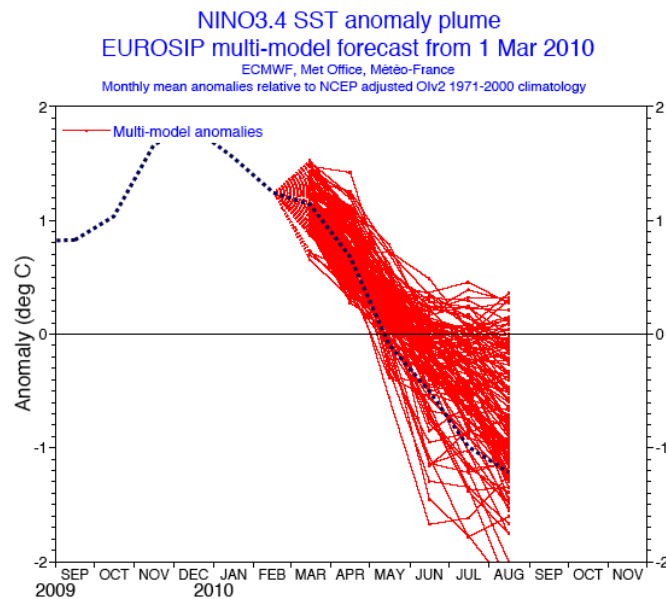
Hay bastante acierto, especialmente en México, Centroamérica, parte de Sudamérica, Indonesia y Australia  
(Fuente: GJVO, KNMI)

# Verificaciones de pronóstico de ensamble

En Marzo el ensamble estaba de acuerdo que El Niño pasaría a ser La Niña. En Junio el ensamble está confuso.

(Fuente: GJVO, KNMI)

## ENSO forecast verification

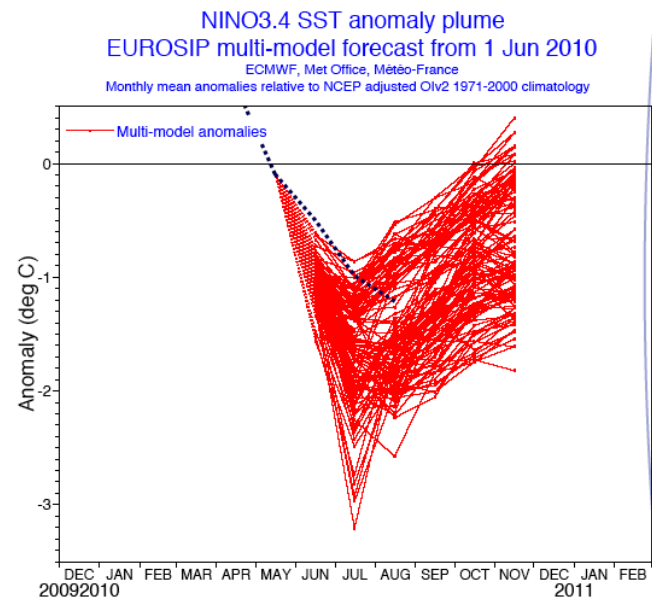


Forecast issue date: 15 Mar 2010

1 March

Source: ECMWF

Buen pronóstico



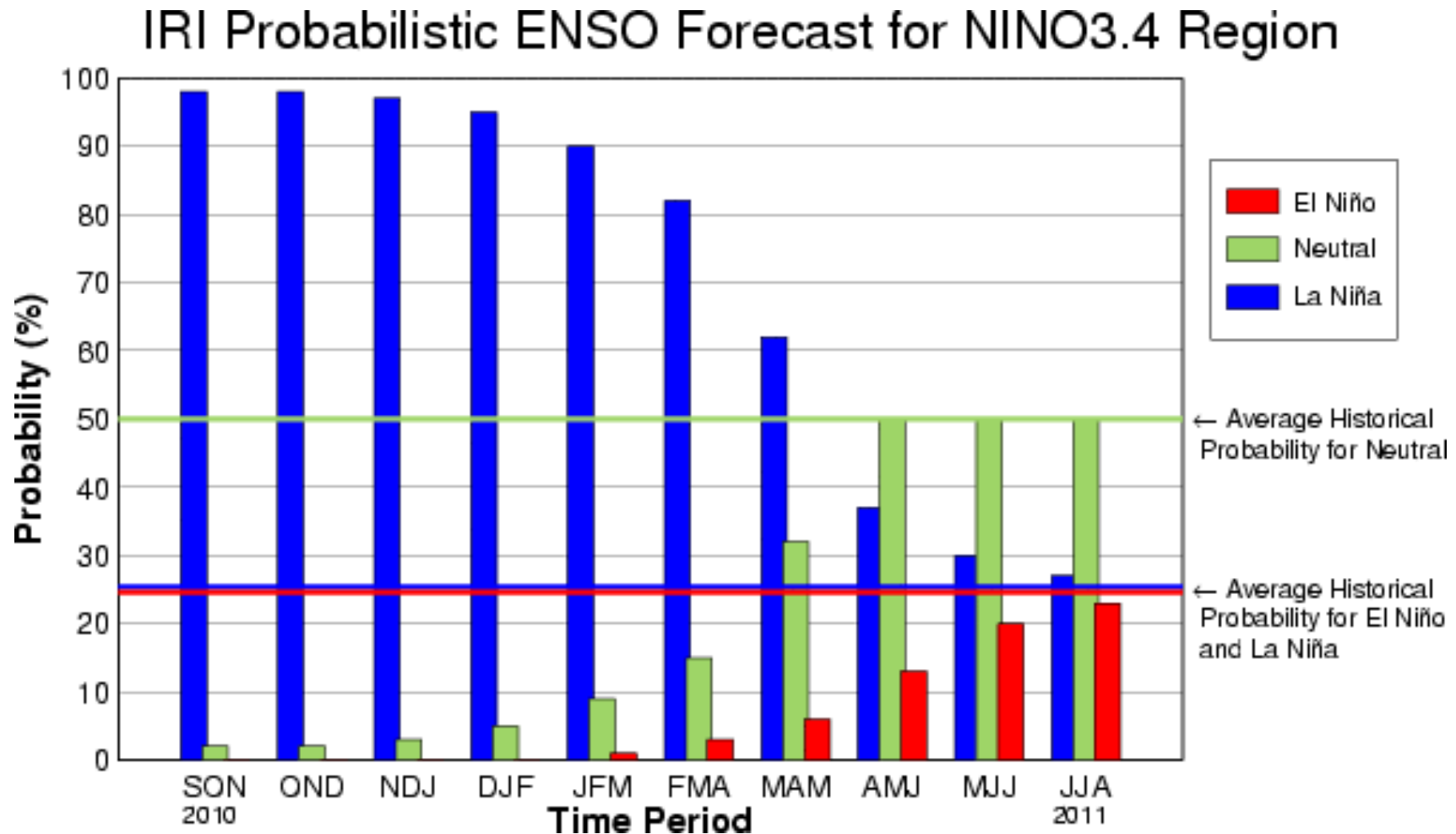
Forecast issue date: 15 Jun 2010

1 June

Confusión del ensamble

# IRI: pronósticos probabilísticos de ENSO

El pronóstico en Agosto '10 asegura que hasta Marzo '11 seguirá La Niña. Después retorna a los probabilidades climatológicas.

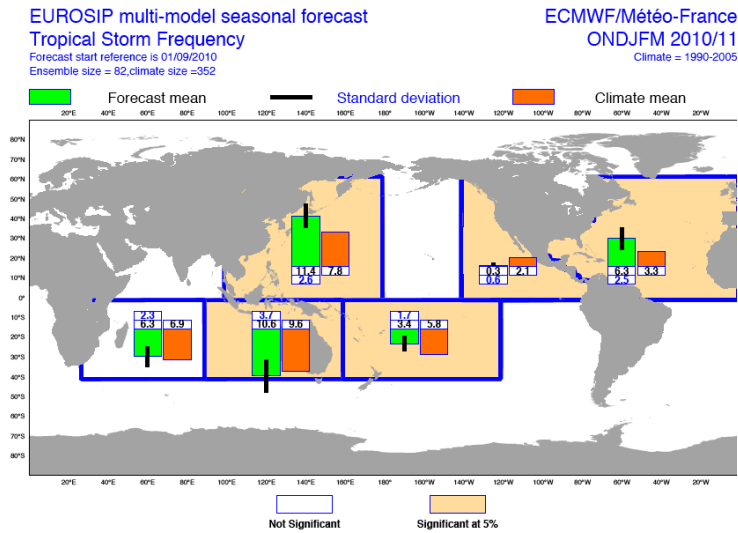


# Pronósticos tormentas tropicales, Oct'10-Marzo'11

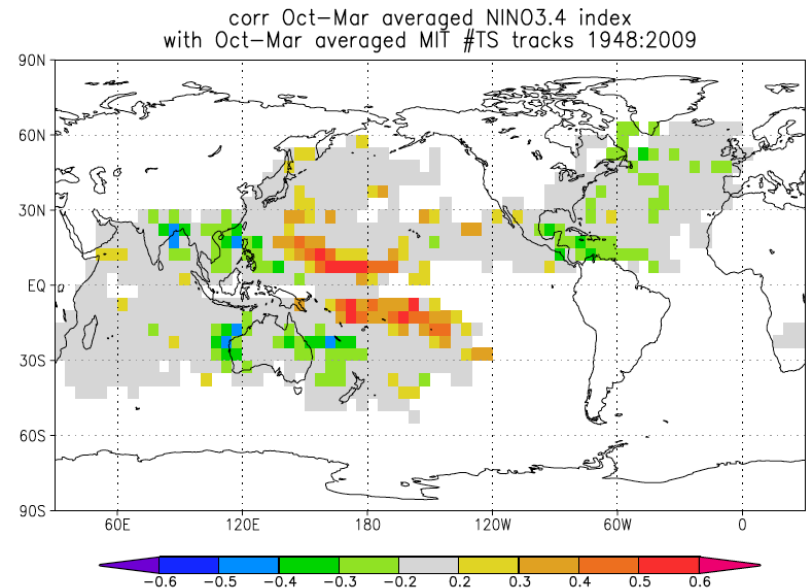
El ensamble multimodelo europeo predice una frecuencia de tormentas tropicales similar a las correlaciones de las tormentas con ENSO, excepto en el Pacífico Norte

(Fuente: GJVO, KNMI)

## Tropical storm statistical ENSO teleconnection



Source: ECMWF



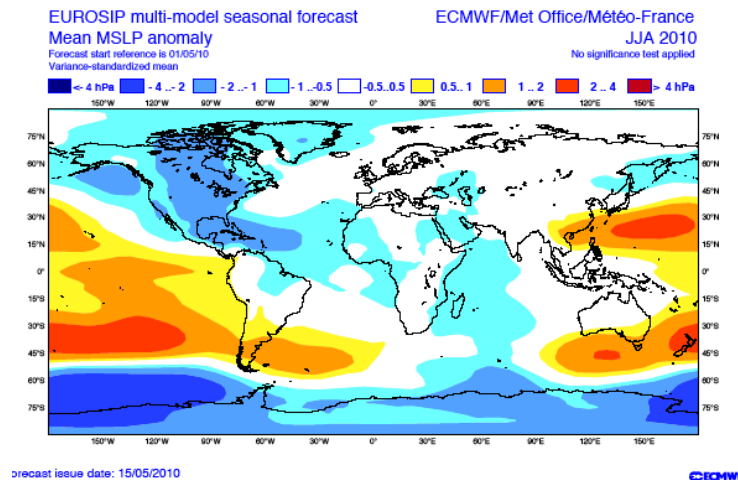


# Verificación del pronóstico estacional de PNM

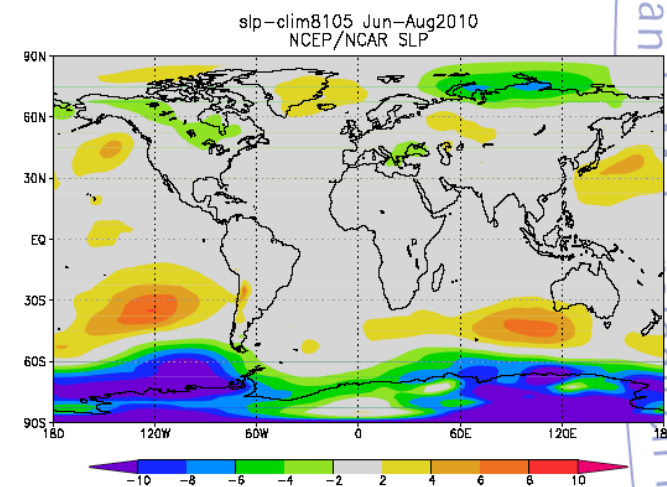
La anomalía estacional (JJA2010) de la presión del nivel del mar del ensemble verifica razonablemente en el Pacífico y en la Antártica, pero **no** en los continentes.

(Fuente: GJVO, KNMI)

## Seasonal forecast verification MSL



Source: ECMWF, NCEP R1



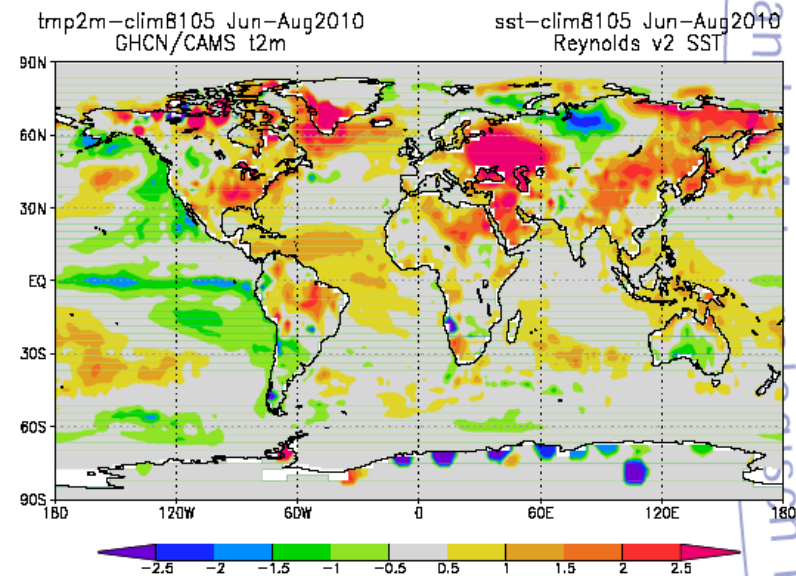
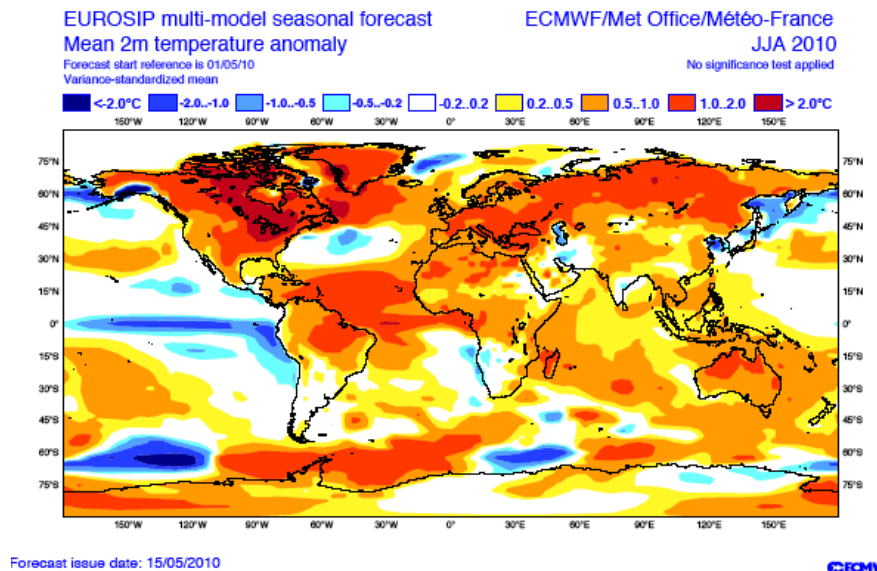
rijk  
Nederlan  
In

# Verificación del pronóstico estacional de T2m

La anomalía (JJA2010) de la temperatura de superficie del ensemble está muy bien pronosticada, por lo menos en signo, excepto en Australia, Siberia y oeste de EEUU. Esta calidad de pronóstico está asociada con la fuerte Niña.

Seasonal forecast verification T2m

(Fuente: GJVO, KNMI)



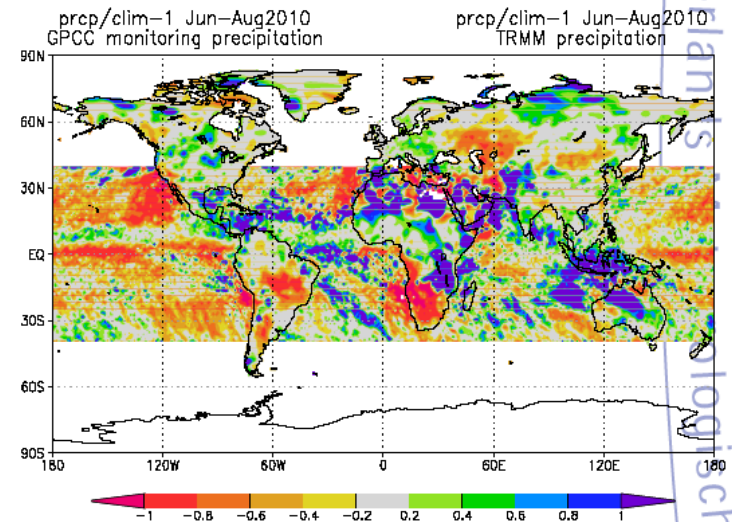
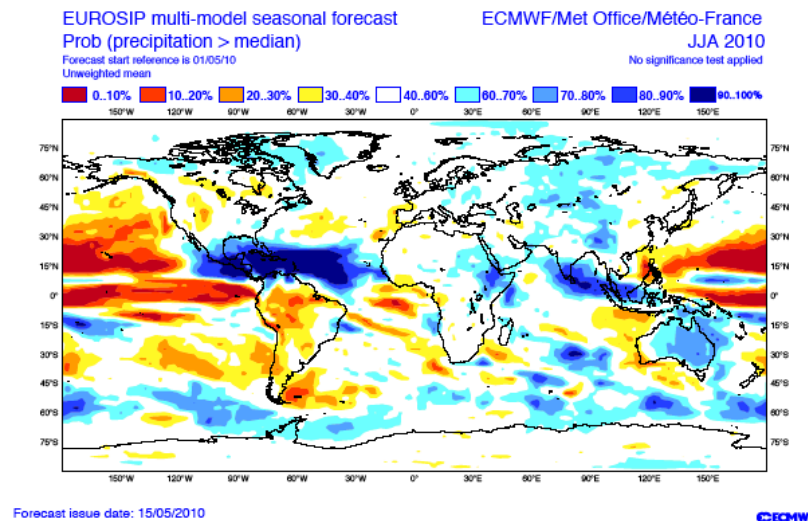
Source: ECMWF, NCEP GHCN/CAMS, NCEP OI v2 SST

# Verificación del pronóstico estacional de lluvias

La anomalía (JJA2010) de lluvias del ensamble es razonable (ej., más lluvia en Centroamerica, sequías en Sudamérica). Pronosticar lluvias a largo plazo es mucho más difícil que pronosticar temperatura.

## Seasonal forecast verification precipitation

(Fuente: GJVO KNMI)



Source: ECMWF, GPCC monitoring product+first guess, TRMM 3A12 from GSFC/NASA

# Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

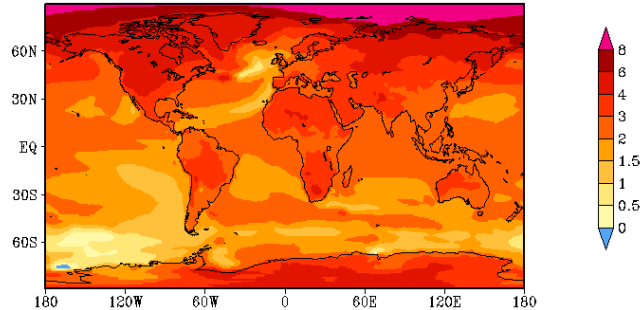
Modelo de ECMWF forzado por crecientes temperaturas del mar

## Cambio de T2m

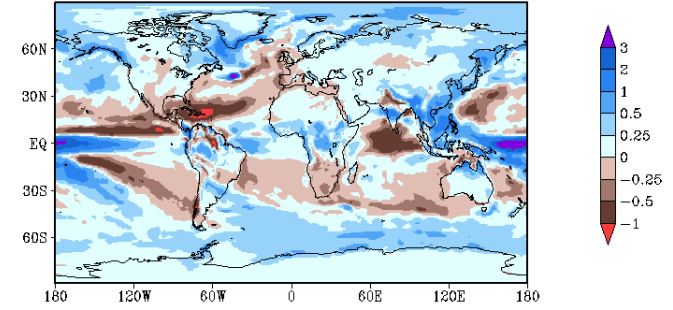
## Cambio de luvias

Resolución  
T159 ~ 100km

IFS ANN 2-m Temp (K) T159 TIMESLICE minus AMIP

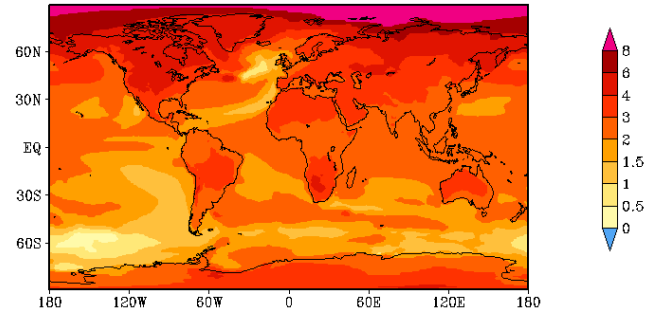


IFS ANN Precip (mm/d) T159 TIMESLICE minus AMIP

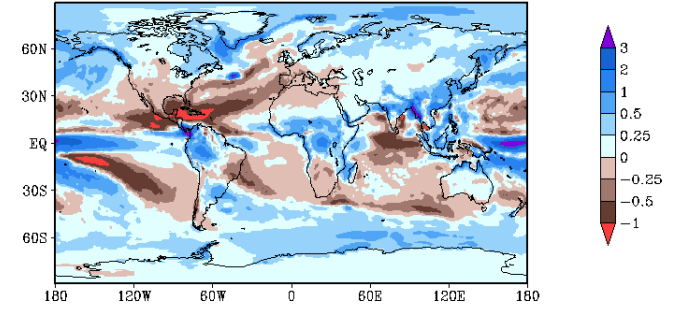


Resolución  
T1270 ~ 15km

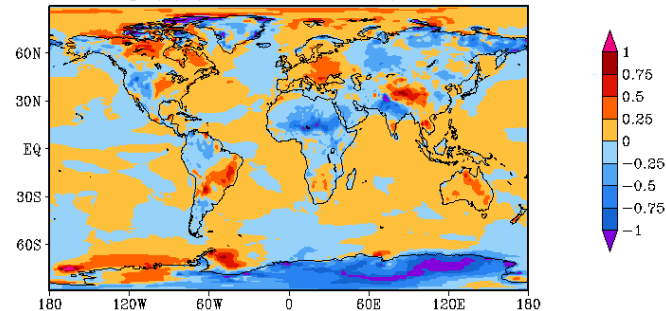
IFS ANN 2-m Temp (K) T1270 TIMESLICE minus AMIP



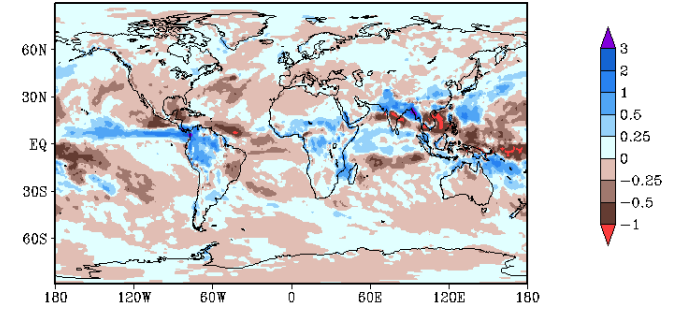
IFS ANN Precip (mm/d) T1270 TIMESLICE minus AMIP



IFS ANN 2-m Temp (K) (T1270 minus T159) TIMESLICE minus AMIP



'S ANN Precip (mm/d) (T1270 minus T159) TIMESLICE minus AMIP



Fuente: Jim Kinter

# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:

# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:
  - ✓ Habrá más calentamiento en el HN que en el HS, más calentamiento en latitudes altas que en las tropicales, (ya estamos observando estos cambios).

# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:
  - ✓ Habrá más calentamiento en el HN que en el HS, más calentamiento en latitudes altas que en las tropicales, (ya estamos observando estos cambios).
  - ✓ Las lluvias aumentarán en las zonas lluviosas y disminuirán en las zonas secas. (“los ricos se hacen más ricos...”)
  - ✓ Habrá más variabilidad y mayores extremos



# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:
  - ✓ Habrá más calentamiento en el HN que en el HS, más calentamiento en latitudes altas que en las tropicales, (ya estamos observando estos cambios).
  - ✓ Las lluvias aumentarán en las zonas lluviosas y disminuirán en las zonas secas. (“los ricos se hacen más ricos...”)
  - ✓ Habrá más variabilidad y mayores extremos
- El hielo en el Artico esta en vías de desaparición

# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:
  - ✓ Habrá más calentamiento en el HN que en el HS, más calentamiento en latitudes altas que en las tropicales, (ya estamos observando estos cambios).
  - ✓ Las lluvias aumentarán en las zonas lluviosas y disminuirán en las zonas secas. (“los ricos se hacen más ricos...”)
  - ✓ Habrá más variabilidad y mayores extremos
- El hielo en el Artico esta en vías de desaparición
- Los extremos climáticos que hemos visto recientemente son compatibles con las predicciones de cambio de clima (ej., inundaciones en Pakistán, fríos en Sud América).

# ¿Podemos predecir el impacto del cambio de clima?

- El impacto de cambio de clima antropogénico es una importante fuente de predecibilidad a largo plazo.
- Tenemos confianza en ciertas proyecciones:
  - ✓ Habrá más calentamiento en el HN que en el HS, más calentamiento en latitudes altas que en las tropicales, (ya estamos observando estos cambios).
  - ✓ Las lluvias aumentarán en las zonas lluviosas y disminuirán en las zonas secas. (“los ricos se hacen más ricos...”)
  - ✓ Habrá más variabilidad y mayores extremos
- El hielo en el Artico esta en vías de desaparición
- Los extremos climáticos que hemos visto recientemente son compatibles con las predicciones de cambio de clima (ej., inundaciones en Pakistán, fríos en Sud América).
- Pero no se puede hacer proyecciones a escalas pequeñas debido a la variación natural.

## Resumen

- **Pronóstico del tiempo:** 2 semanas de límite de predecibilidad (Lorenz, 1963). Los errores del pronóstico crecen debido a inestabilidades y de errores del modelo.

## Resumen

- **Pronóstico del tiempo:** 2 semanas de límite de predecibilidad (Lorenz, 1963). Los errores del pronóstico crecen debido a inestabilidades y de errores del modelo.
- Hemos aprendido a usar **ensambles** para el “caos”.

## Resumen

- **Pronóstico del tiempo:** 2 semanas de límite de predecibilidad (Lorenz, 1963). Los errores del pronóstico crecen debido a inestabilidades y de errores del modelo.
- Hemos aprendido a usar **ensambles** para el “caos”.
- **Inestabilidades acopladas (El Niño):** duran más.
- Los métodos **estadísticos** eran mejores que los modelos **dinámicos**, ahora los modelos son mejores



## Resumen

- **Pronóstico del tiempo:** 2 semanas de límite de predecibilidad (Lorenz, 1963). Los errores del pronóstico crecen debido a inestabilidades y de errores del modelo.
- Hemos aprendido a usar **ensambles** para el “caos”.
- **Inestabilidades acopladas (El Niño):** duran más.
- Los métodos **estadísticos** eran mejores que los modelos **dinámicos**, ahora los modelos son mejores
- **Proyecciones de cambio de clima: forzadas** por los **gases de invernadero** y el **uso de la tierra**.
- Son más predecibles si los escenarios usados para el forzante son razonables.

## Resumen

- **Pronóstico del tiempo:** 2 semanas de límite de predecibilidad (Lorenz, 1963). Los errores del pronóstico crecen debido a inestabilidades y de errores del modelo.
- Hemos aprendido a usar **ensambles** para el “caos”.
- **Inestabilidades acopladas (El Niño):** duran más.
- Los métodos **estadísticos** eran mejores que los modelos **dinámicos**, ahora los modelos son mejores
- **Proyecciones de cambio de clima: forzadas** por los **gases de invernadero** y el **uso de la tierra**.
- Son más predecibles si los escenarios usados para el forzante son razonables.
- **Los modelos y observaciones** aún pueden mejorar mucho.

Todavía hay mucho que hacer en el pronóstico del tiempo y del clima: Debemos continuar mejorando las **observaciones**, **análisis** y **modelos acoplados**.

