

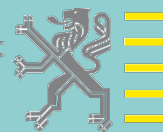


Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Oficina Regional de Ciencia para
América Latina y el Caribe



Programa
Hidrológico
Internacional



Flemish government

Introducción al marco general para la simulación de la variabilidad decadal para el manejo de los recursos hídricos

Koen Verbist, PhD
UNESCO-PHI



Arthur Greene, PhD
International Research Institute
for Climate and Society

International Research Institute
for Climate and Society
EARTH INSTITUTE | COLUMBIA UNIVERSITY



Introducción

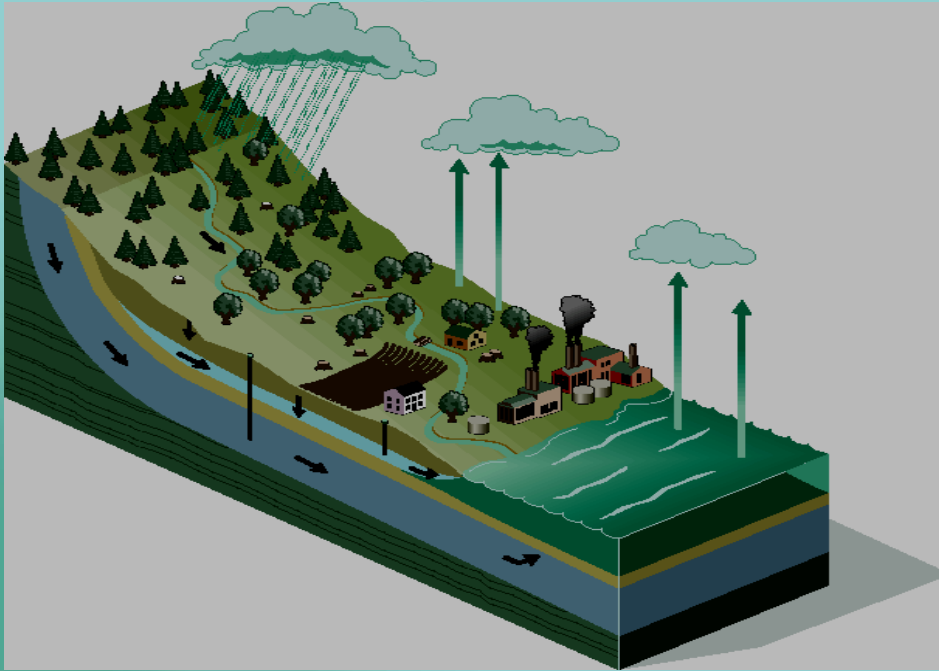
Objetivo

Desarrollo de escenarios probabilísticos para condiciones climáticas a corto plazo para cuencas vulnerables en América Latina, basado en un análisis histórico de la variabilidad climática, en combinación con una evaluación de la relación actual y proyectada con el cambio climático. En combinación con modelos de apoyo a la decisión estos escenarios climáticos a corto plazo informan sobre la vulnerabilidad futura de la oferta hídrica en estos entornos de estrés hídrico.

Objetivos Específicos

1. Una nueva herramienta para descomponer la variabilidad climática y proyectarla para condiciones climáticas futuras
2. Modelos de Manejo del Agua disponibles y calibrados para por lo menos tres diferentes cuencas hidrográficas
3. Series probabilísticas climáticas a corto plazo (2020-2050) disponible a nivel de estaciones de monitoreo en las cuencas pilotos
4. Future water resources at the station level visualized by online interactive maps

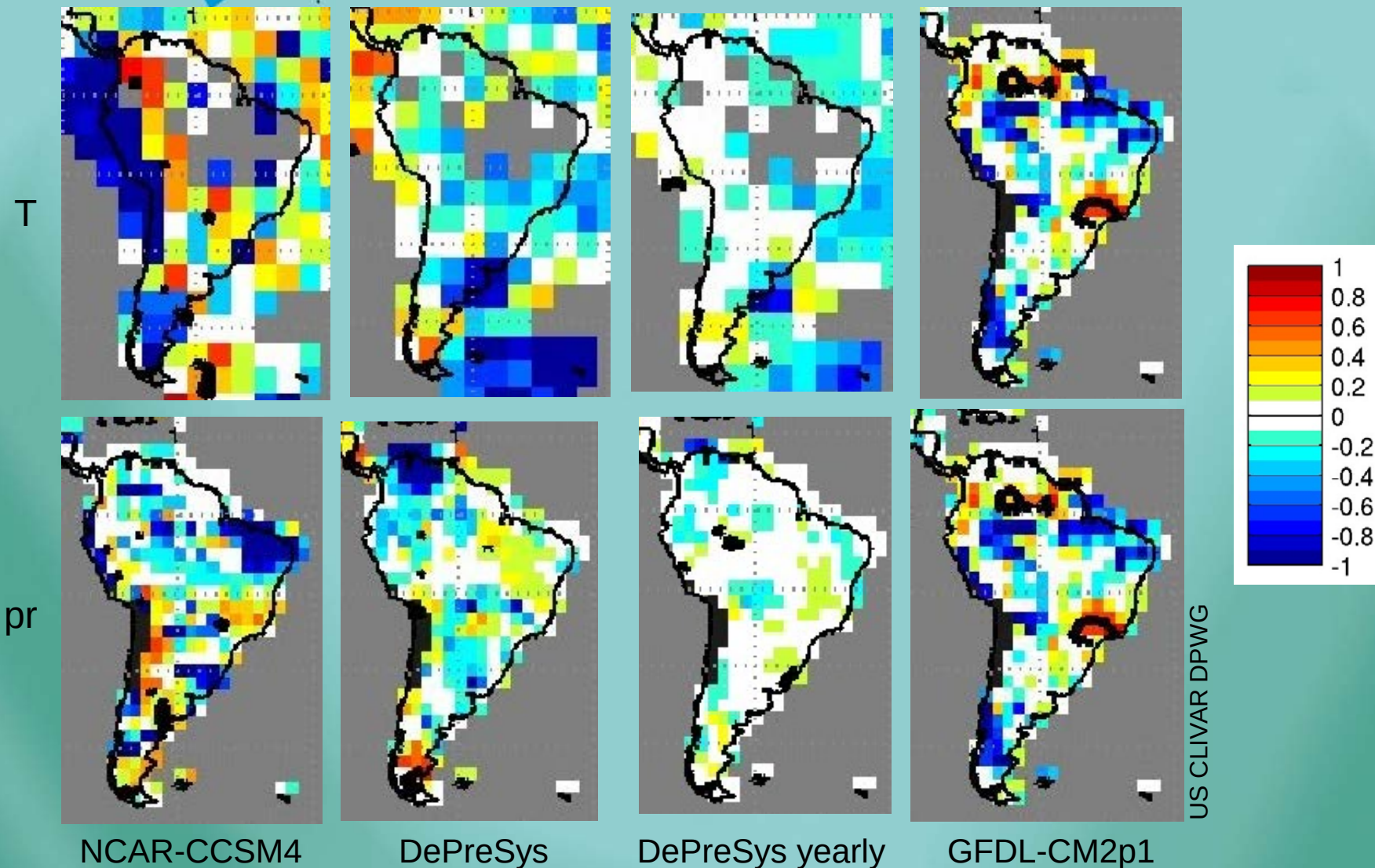
Preguntas que queremos enfrentar con respecto a recursos futuros de los recursos hídricos



- Suficiente recursos hídricos?
- Cuál será la frecuencia de sequías?
- Qué pasará con los eventos extremos?

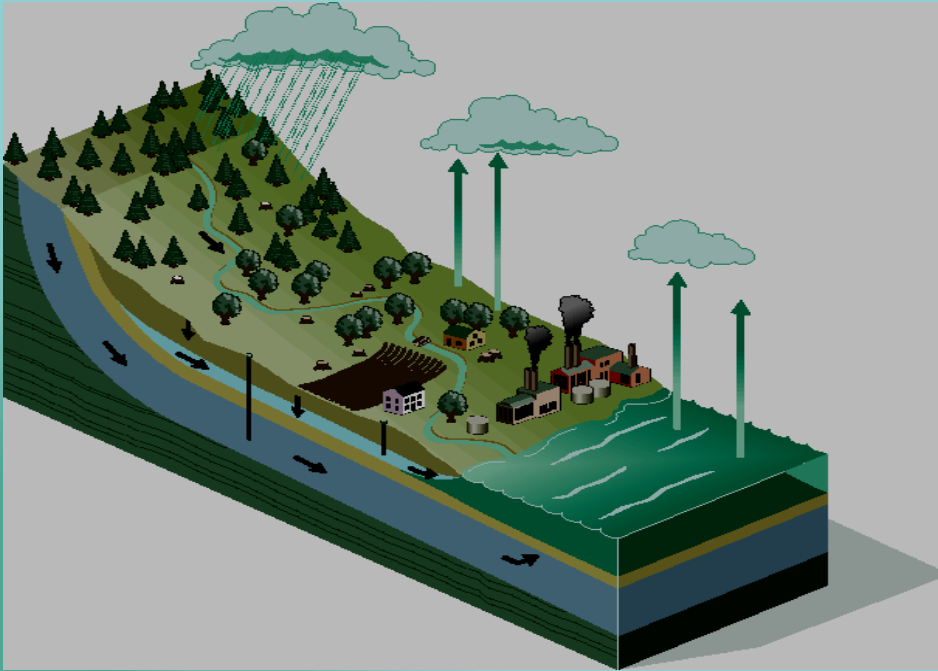
- Pronósticos decadales confiables, sobre todo a nivel regional/local, son todavía desafíos del futuro.

Predictibilidad decadal dinámico: Todavía por demostrarse



MSSS for mean of years 2-5, initialized vs. uninitialized models

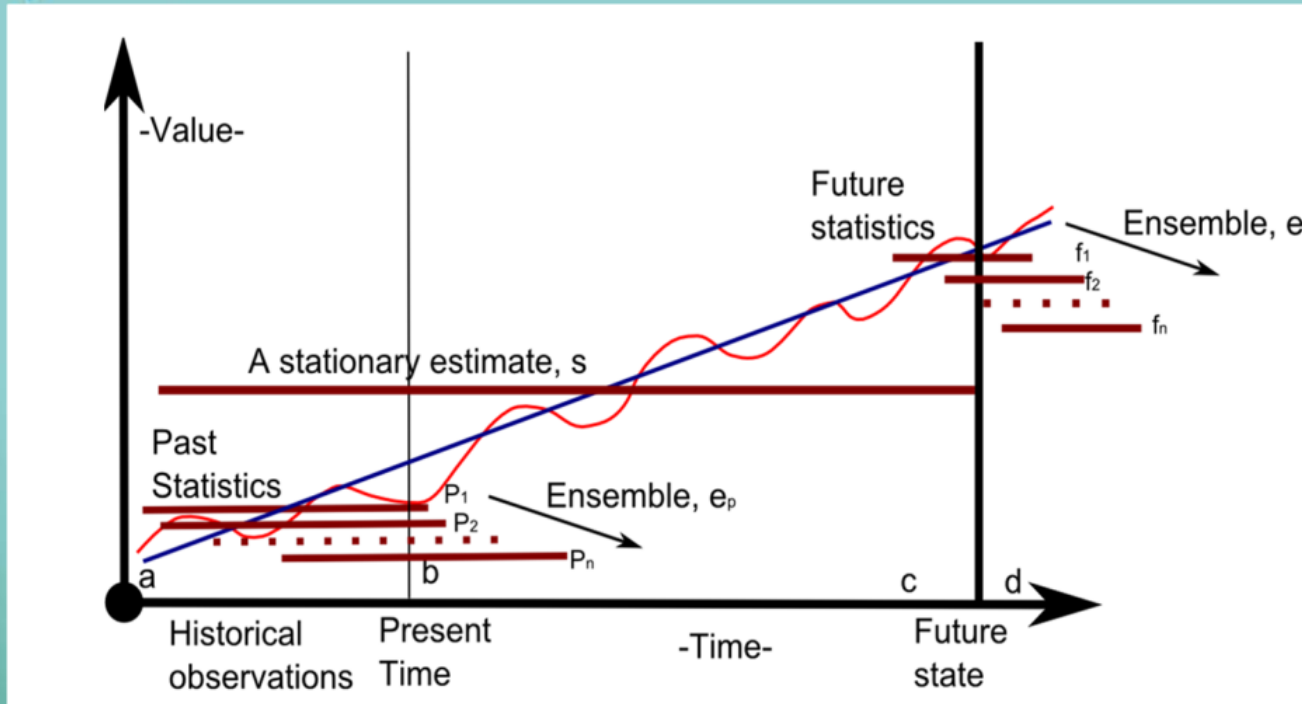
Preguntas que queremos enfrentar con respecto a recursos futuros de los recursos hídricos



- Suficiente recursos hídricos?
- Cuál será la frecuencia de sequías?
- Qué pasará con los eventos extremos?

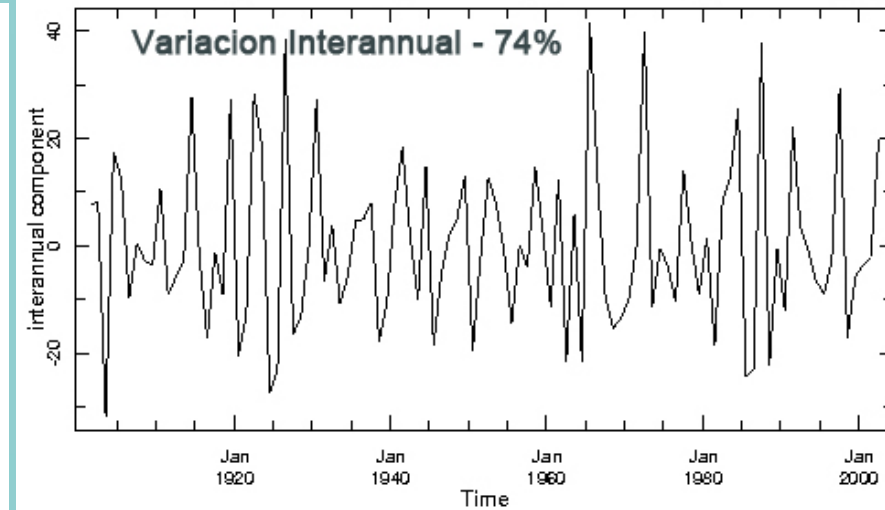
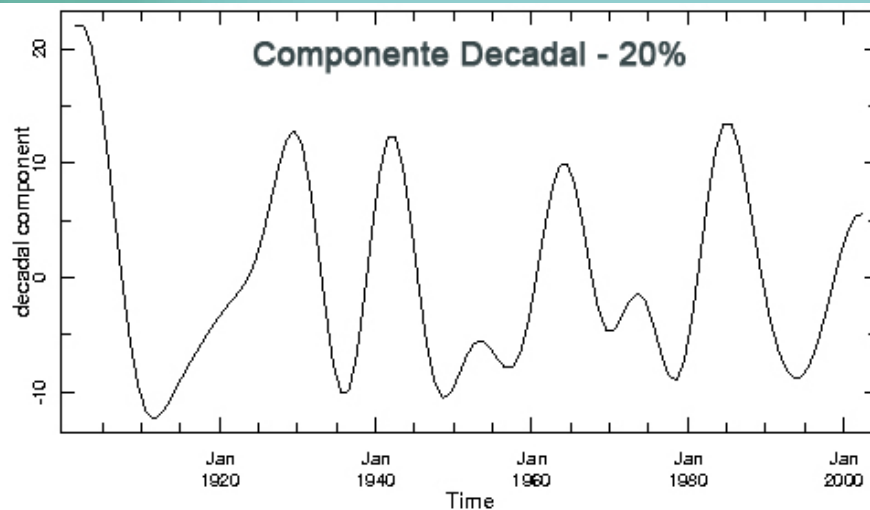
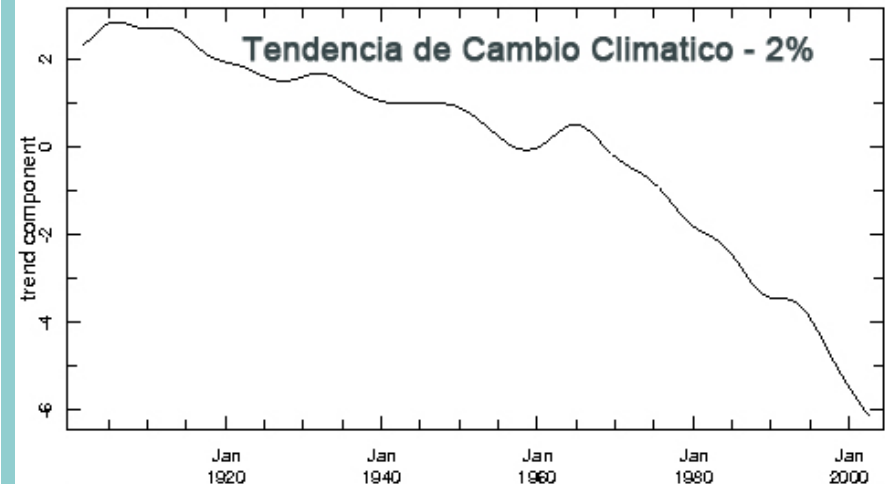
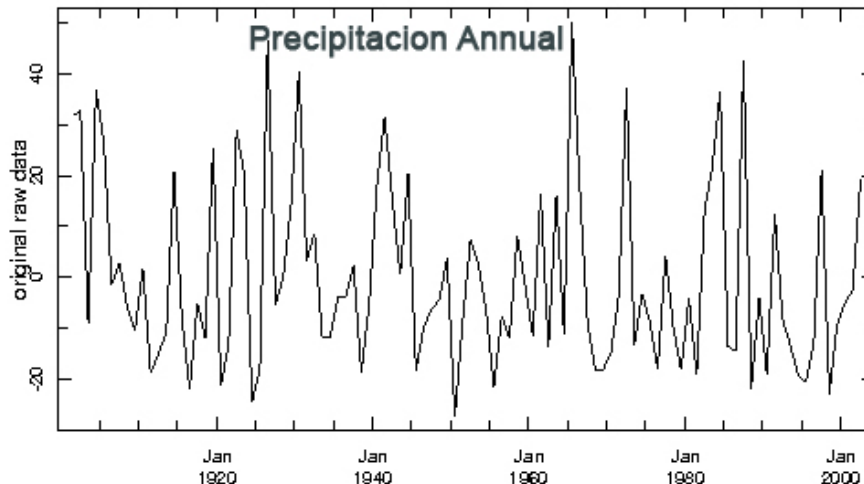
- Pronósticos decadales confiables, sobre todo a nivel regional/local, son todavía desafíos del futuro.
- Una alternativa potencialmente útil : Secuencias synteticas, condicionados por observaciones e incluyendo un componente regional del cambio climático.

Por que necesitamos secuencias estocasticas?



- No hay estacionaridad
- Estadísticas de “segmentos cortos estacionarios”
- Se requiere ensembles o secuencias para calcular estadísticas
- No es un ‘predicción del futuro’ pero una caracterización del incertidumbre climático futuro en los próximos décadas

Cuales son los componentes de la variabilidad?



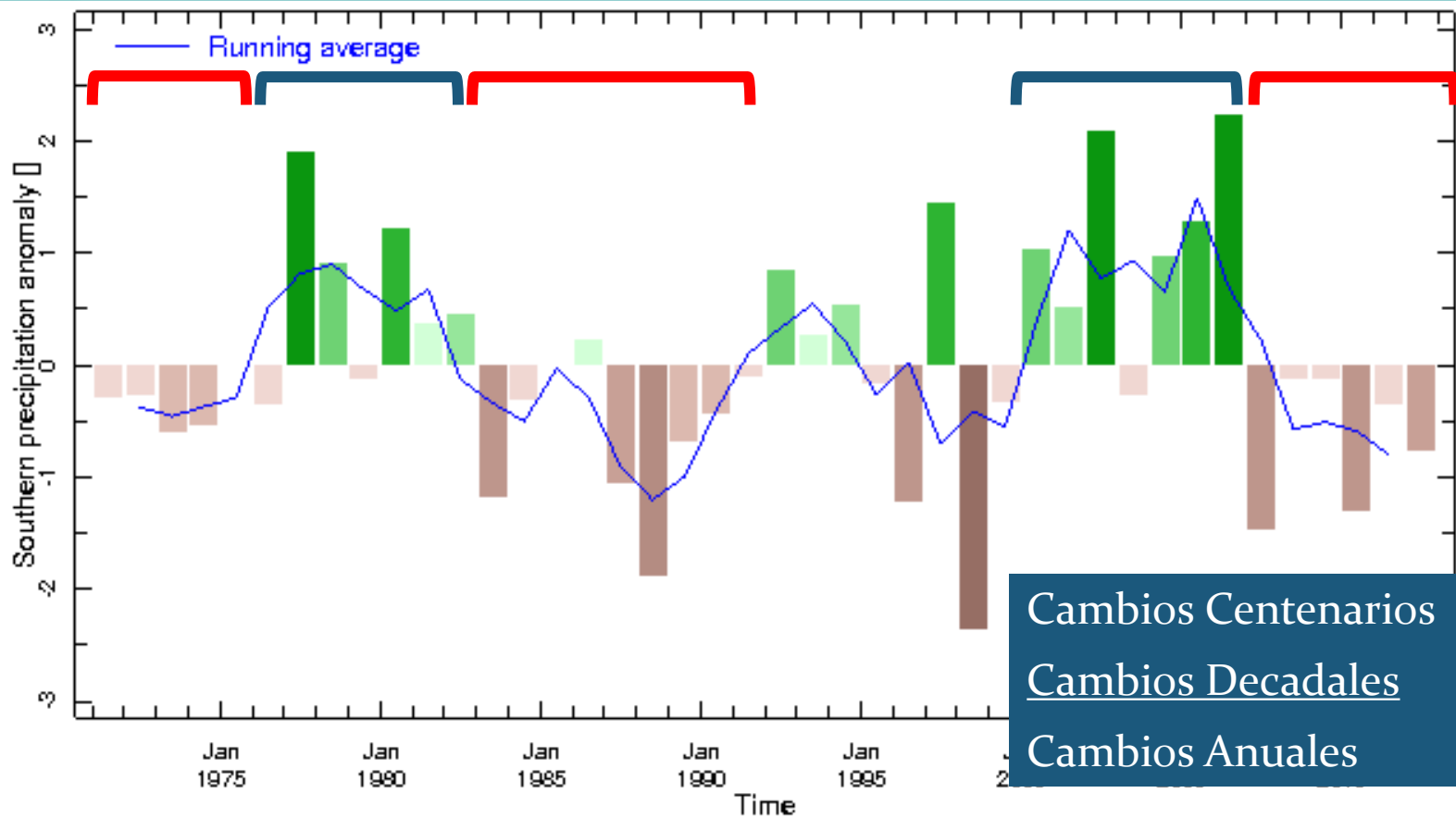
TENDENCIA

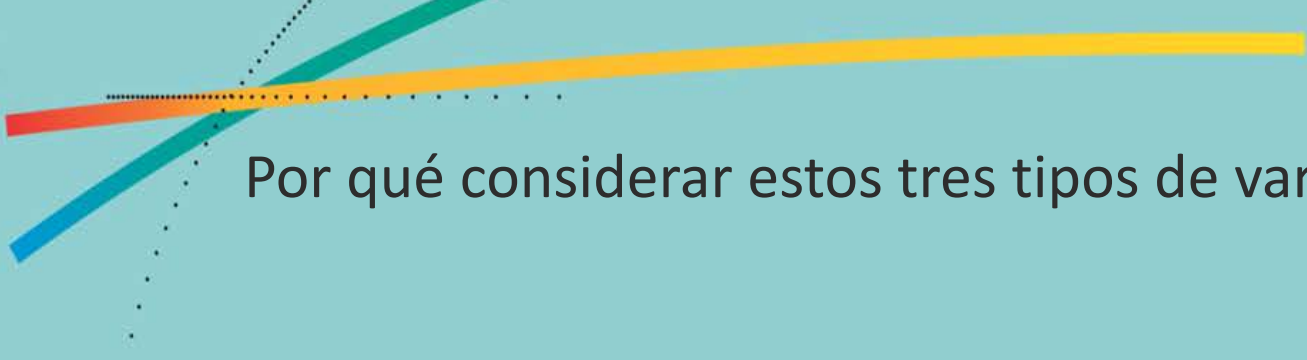
DECADAL

INTERANUAL

SUBANUAL

Cuál es la importancia de la Variabilidad Decadal?





Por qué considerar estos tres tipos de variabilidad?

Definición del Marco de Modelamiento

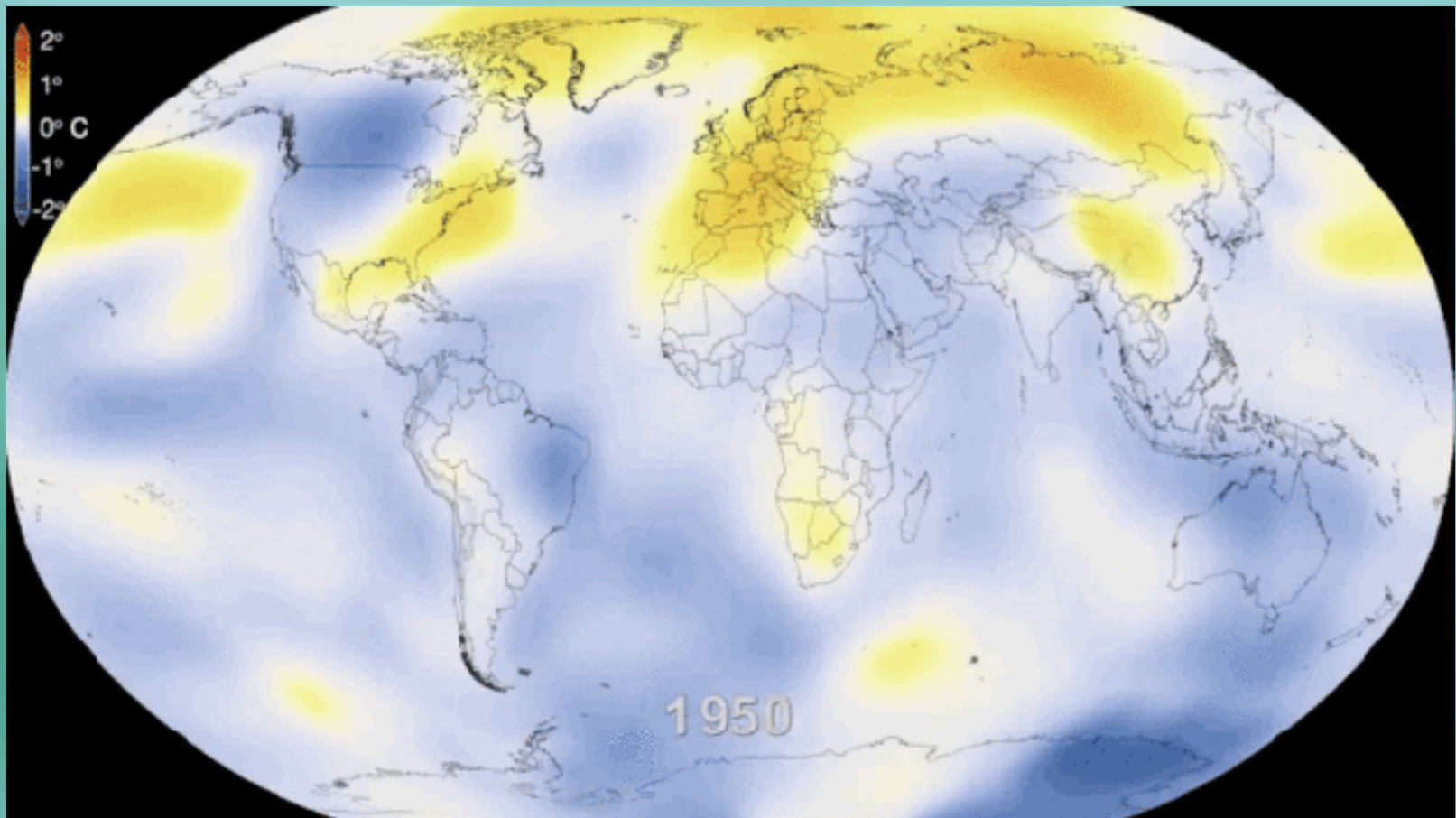
Las tendencias marcan una condición de cambio lento sobre la cual fluctuaciones decadales, y por extensión, variaciones de mayor frecuencia son superpuestas.

Actuando juntos, estas influencias pueden dar una mejor descripción del rango de variaciones futuras del clima, y su potencial impacto sobre las estadísticas de interés para el manejo de los recursos hídricos, que cada uno de ellas individualmente.

Que sabemos sobre cada uno de estos componentes?

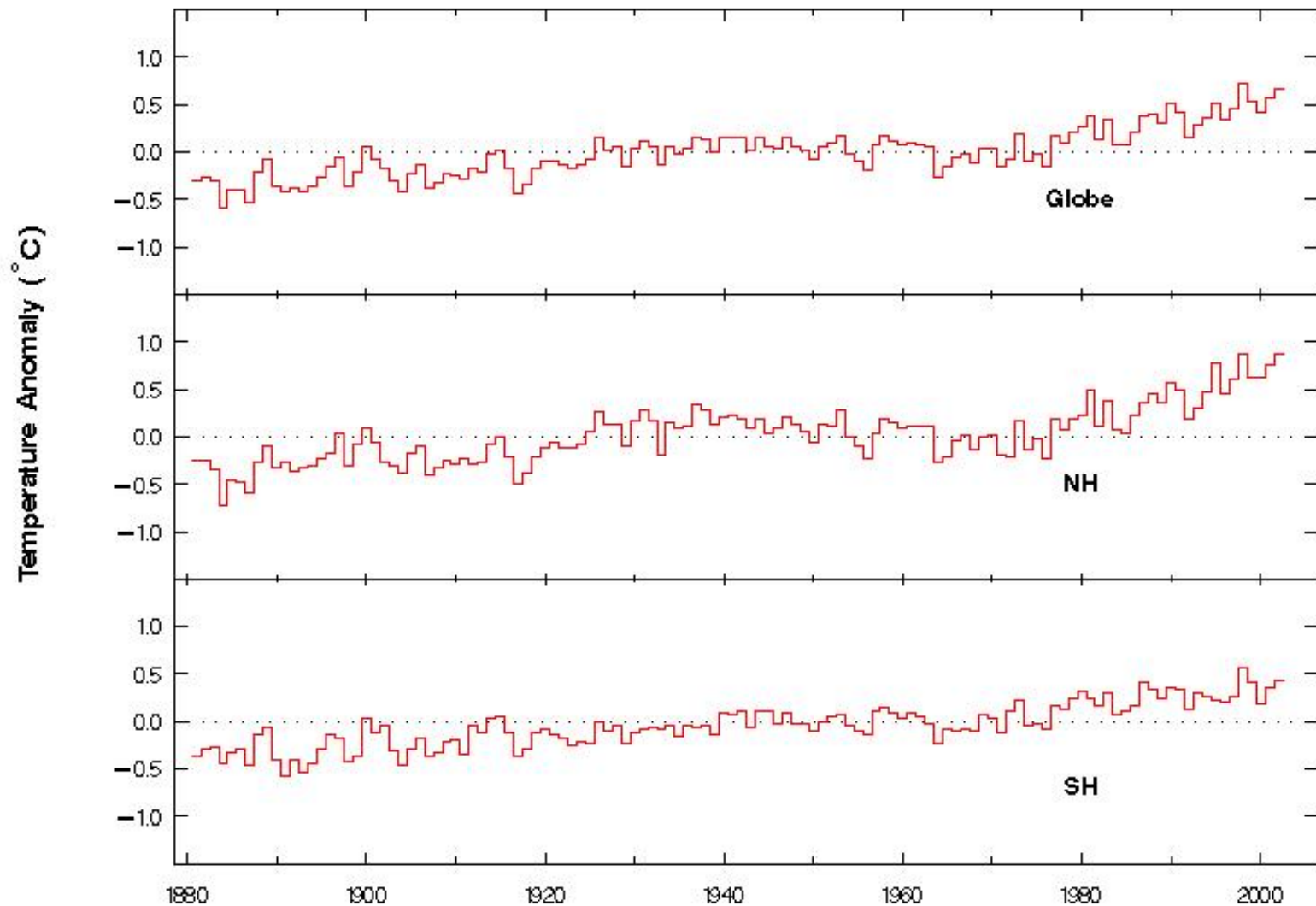
Marco Teorico – Cambio Climático

Cuál es la tendencia de la temperatura?



Marco Teorico – Cambio Climático

Global and Hemispheric Annual Temperature Anomalies
1881–2002



Source: K.M. Lugina (St. Petersburg State University), P.Ya. Groisman,

Annual precipitation trends (1900-1999)

The map displays precipitation trends across the globe. A legend at the bottom indicates the percentage change per century:

Trends in percentage per century
-50%
-40%
-30%
-20%
-10%
0
+10%
+20%
+30%
+40%
+50%

IPCC, 2007

Marco Teorico – Variaciones subanuales

Cuál es el origen de esta variabilidad ?

El ciclo estacional ➡ Inclínación de la Tierra y la órbita alrededor del Sol

Fluctuaciones diarios del tiempo ➡ Inestabilidades Atmosférica de diferente tipo

‘Chaos theory’



“weather generators”

= secuencias realísticas de datos sintéticas



Marco Teorico – Variaciones decadales

Variabilidad Decadal $\neq$ Cambio Climático

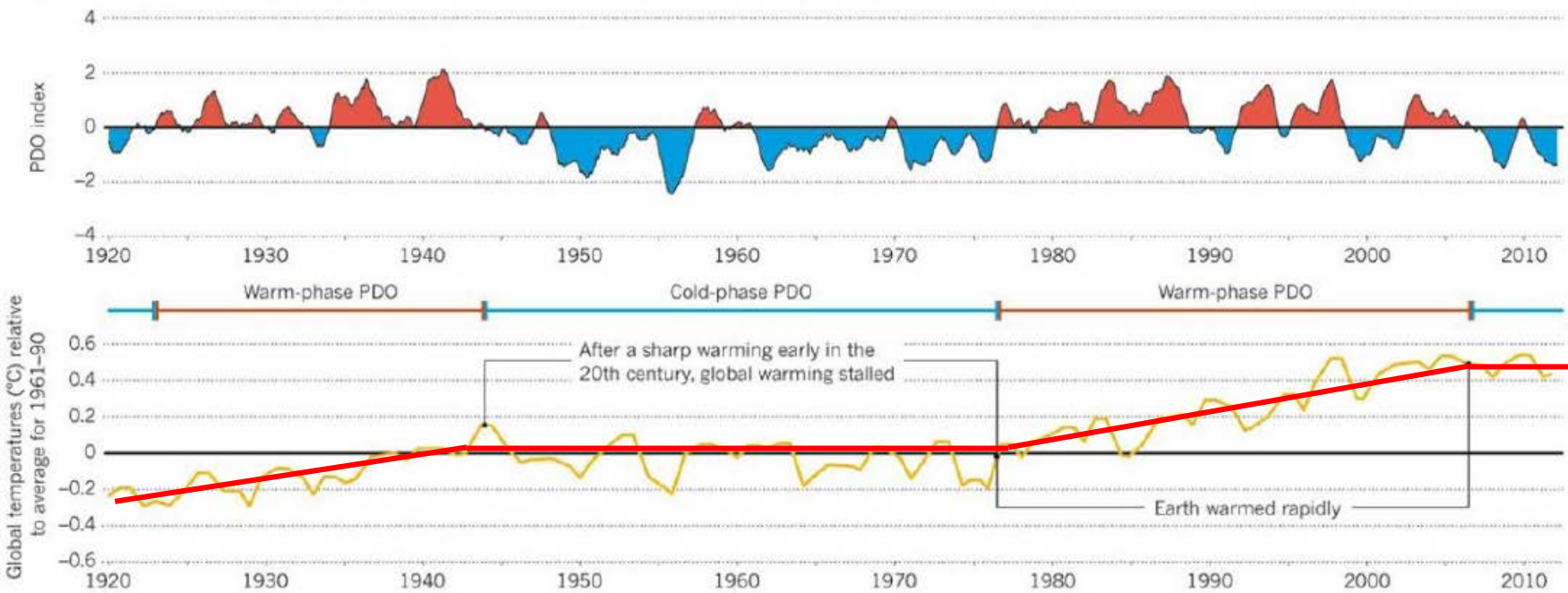
Cambio Climático: respuesta del sistema tierra-océano-atmósfera a un forzante externo (cambios antropogenicos de las propiedades radiativos de la atmósfera)

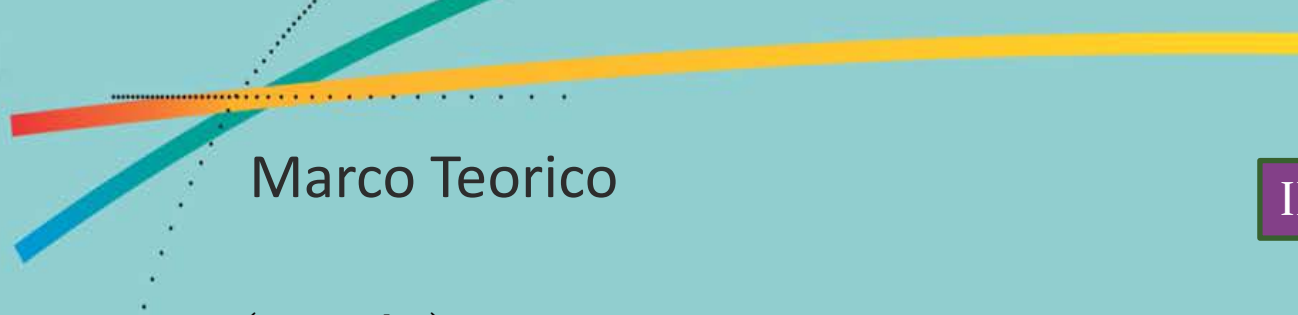
Variabilidad Decadal: Intrínstico o interno del sistema climático

THE PACIFIC'S GLOBAL REACH

As researchers have investigated why global temperatures have not risen much since 1998, many have focused on an ocean cycle known as the Pacific Decadal Oscillation (PDO). During periods when the PDO index is positive and the eastern Pacific is warm, global temperatures have risen quickly. During spells when the PDO index is negative, the warming has stagnated.

Science, 2014





DECADAL

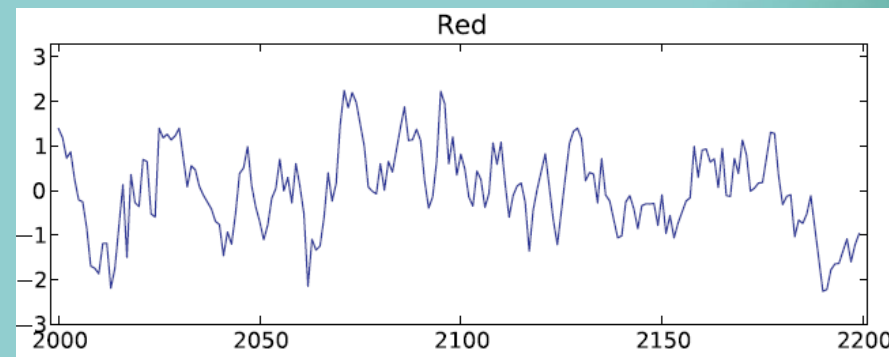
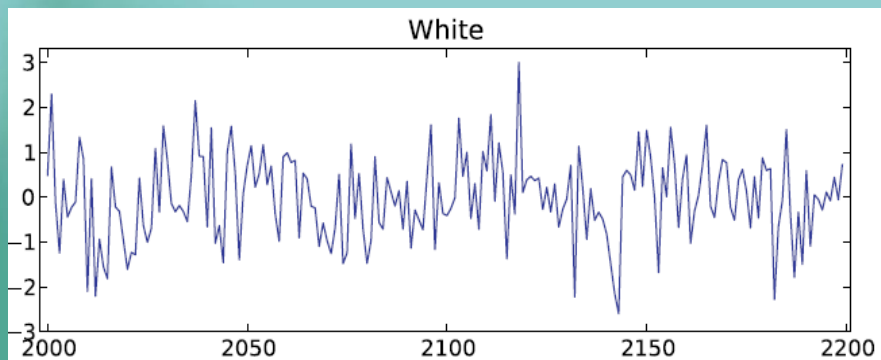
INTERANUAL

Ruido: blanco y rojo (marrón)

Fluctuaciones rápidas del tiempo diario y la variación mas lenta de la variación decadal



expresiones de la *aleatoriedad* del sistema climático.



Ruido Blanco: 'atmosferico'

- Fluctuaciones no son correlacionados:
El valor a un tiempo t no está correlacionado con su valor en otro momento.
- Completamente no predicable del conocimiento de su propia historia
- Definido por su promedio y variancia

Ruido Rojo: 'Oceánico'

- Muestra un grado de autocorrelación serial
- Indica cierta 'memoria'

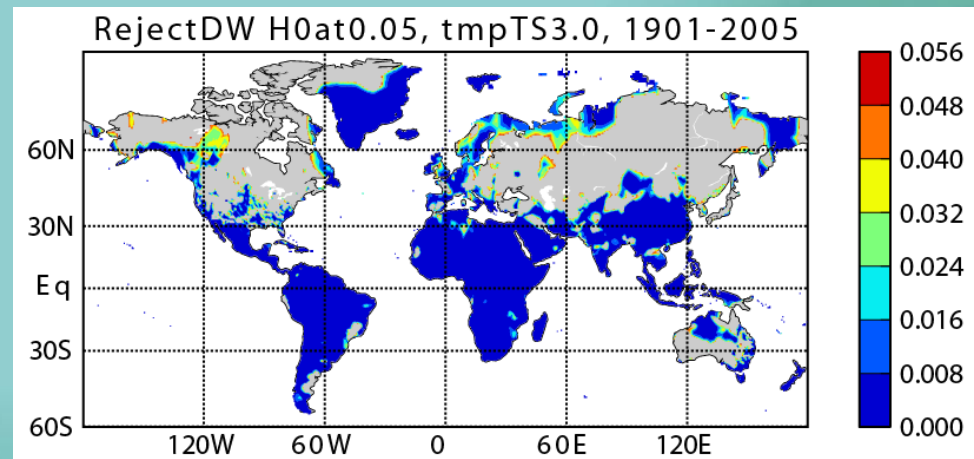
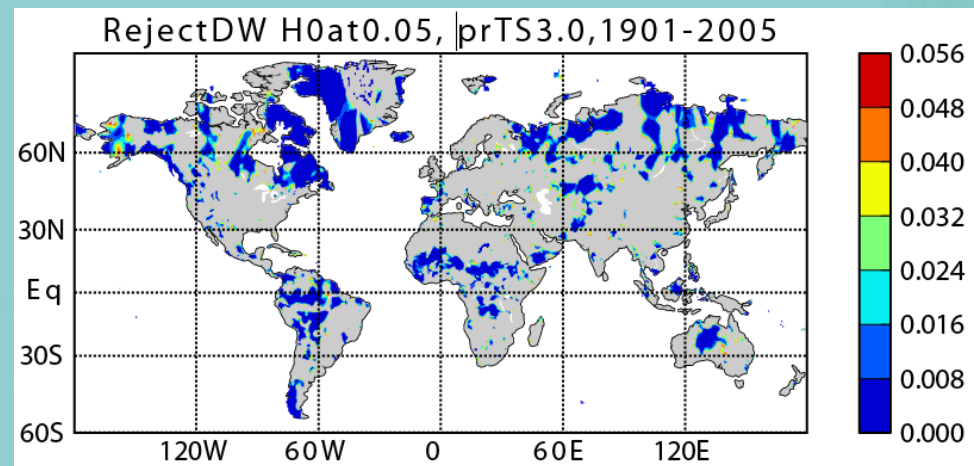
Marco Teorico

DECADAL

INTERANUAL

Ruido: blanco y rojo (marrón)
Donde se observa ruido rojo?

- p-value for rejecting H_0 : Residuals are not lag-1 autocorrelated.
- Regression is on the MMM global mean temperature.
- Annual mean precip (top), temperature (below).
- NOT screened for filled data...



Marco Teorico

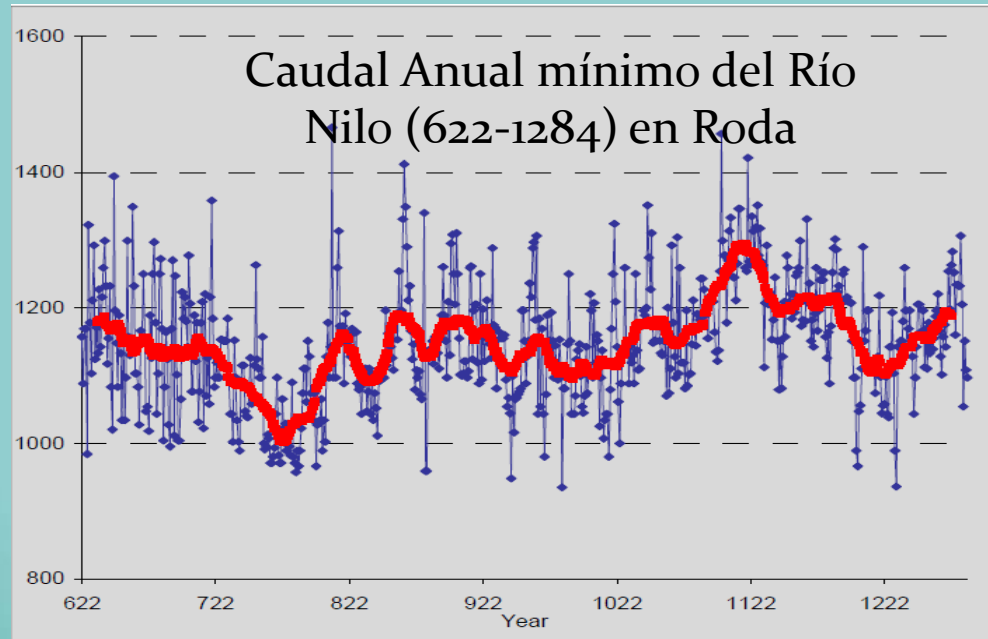
DECADAL
INTERANUAL

Evidencia de Ruido Rojo en registros históricos?

Nilometer en la isla de Rhoda
Monitoreo a largo plazo: 600 años!



Evidencia de Ruido Rojo en registros históricos?



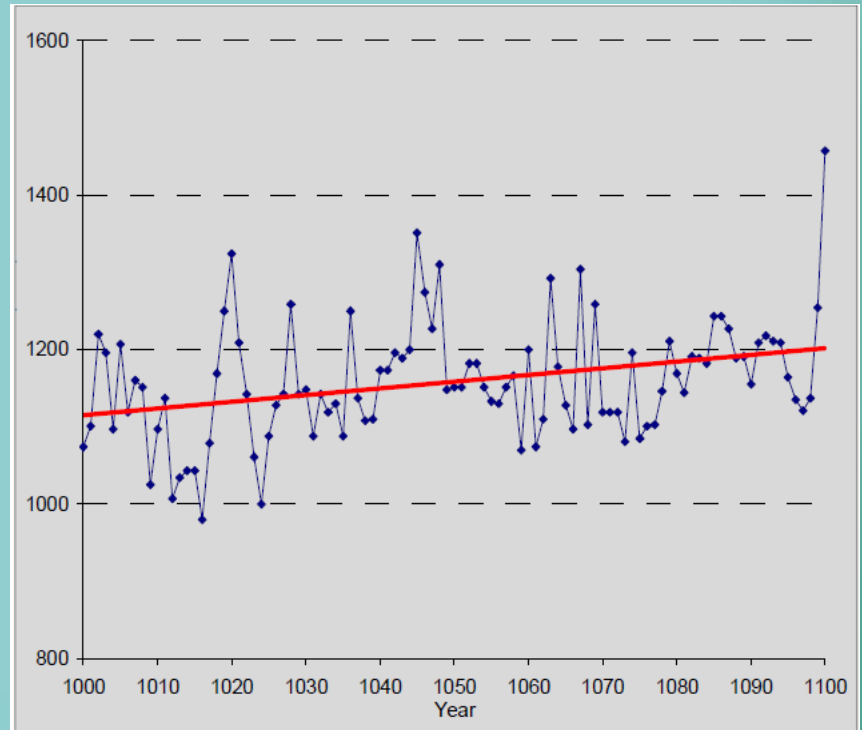
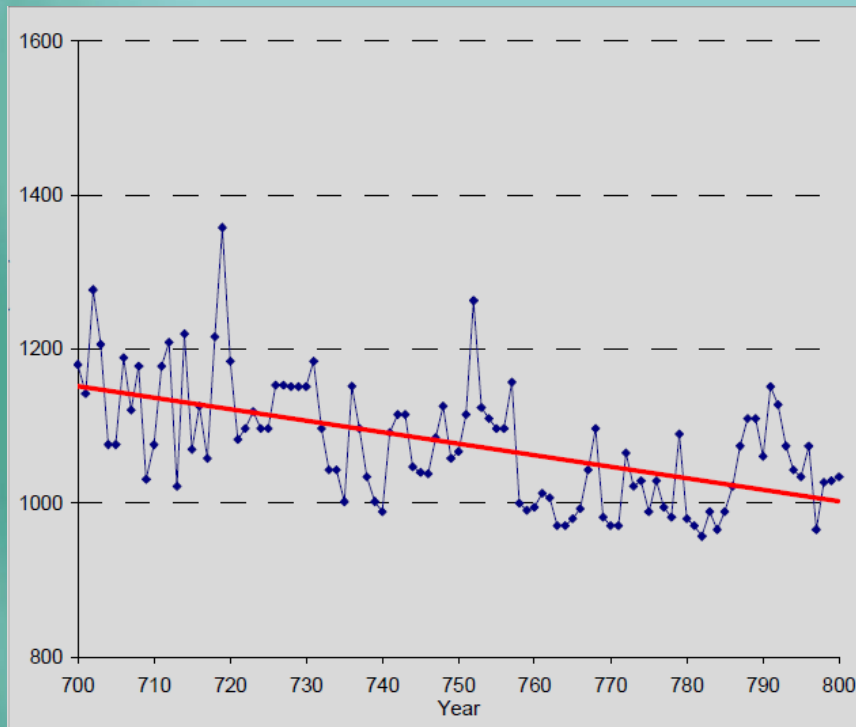
- Enorme **variabilidad climática** a plazos de tiempo largos
- Descubrimiento del **Fenómeno de Hurst**:
Teoreticamente, h debería tener un valor de 0.5 para secuencias de valores independientes aleatorias que son distribuidas normalmente (o log-normal)

Los mínimos del Nilo : $h=0.75 \rightarrow$ memoria o autocorrelación

Marco Teorico

Evidencia de **Tendencia** en registros históricos?

Multiple tendencias a largo plazo: tener cuidado interpretar registros de corta duración!



Procesos no-aleatorias están activos – influencias oceanográficas

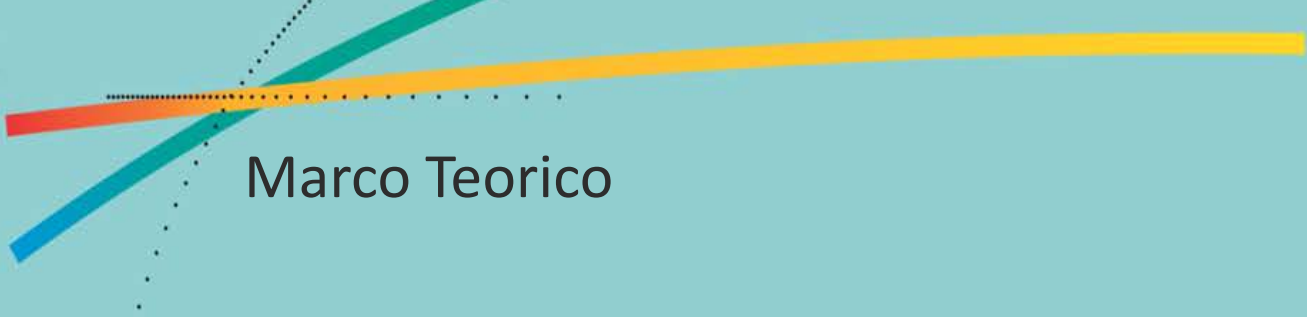


Marco Teorico

How does this understanding impact the Modeling Framework?

Recognize that the oceans are a likely source, through their “teleconnections” with terrestrial climates, of the variations that we wish to emulate in our stochastic sequences.

We should not be surprised, therefore, if we find that this variability has the character of red noise, or if such noise is present as a background against which more “deterministic” processes play out.



Marco Teorico

Rol de datos Observados – GCM's

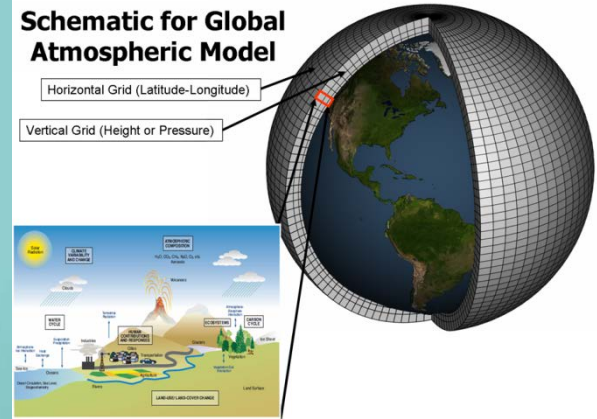
Pueden los GCMs reemplazar los registros observacionales de las estaciones?

➡ Datos observacionales son *requeridos* para la validación de las simulaciones de los GCMs

La variabilidad “interna” de los GCMs es a menudo poco realista:

- Desviaciones en la amplitud del señal, la escala de tiempo y los patrones espaciales
- Representación no adecuada de la variabilidad natural

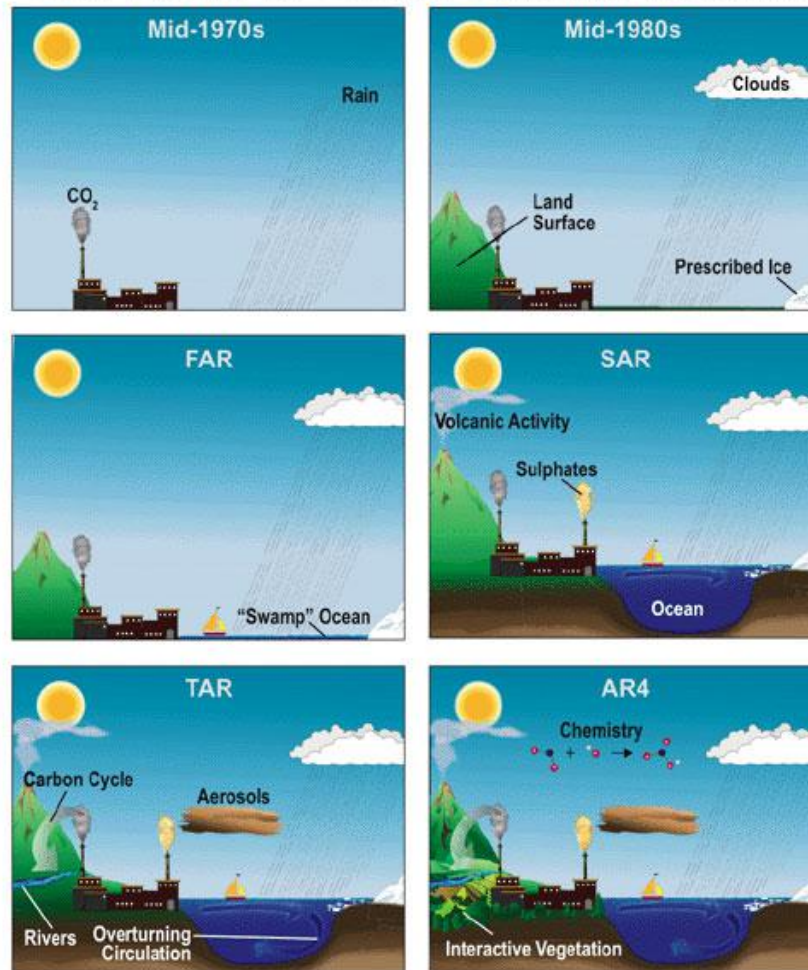
➡ No substituye las observaciones de buena calidad, particularmente en escalas pequeñas relevante para modelar el impacto.



Marco Teorico

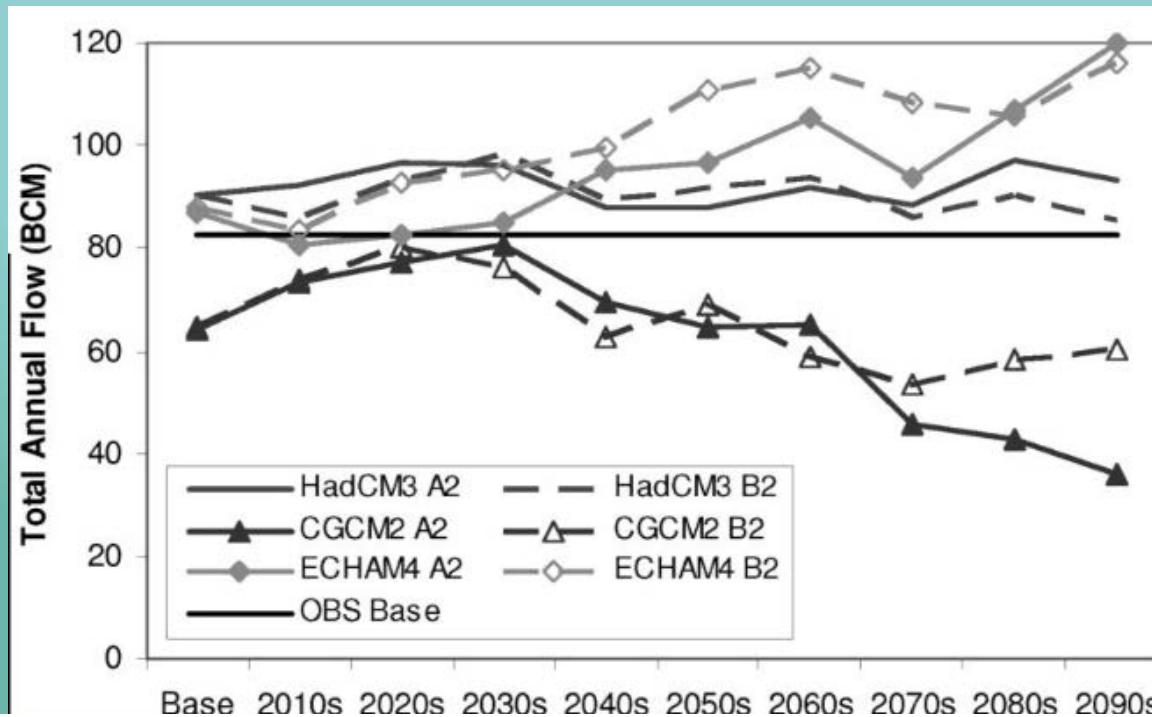
Rol de datos Observados – GCM's

The World in Global Climate Models



Marco Teorico

Por qué no podemos utilizar los GCMs para proyecciones ?



6 GCM projections for Total Annual Flow in the Nile Basin

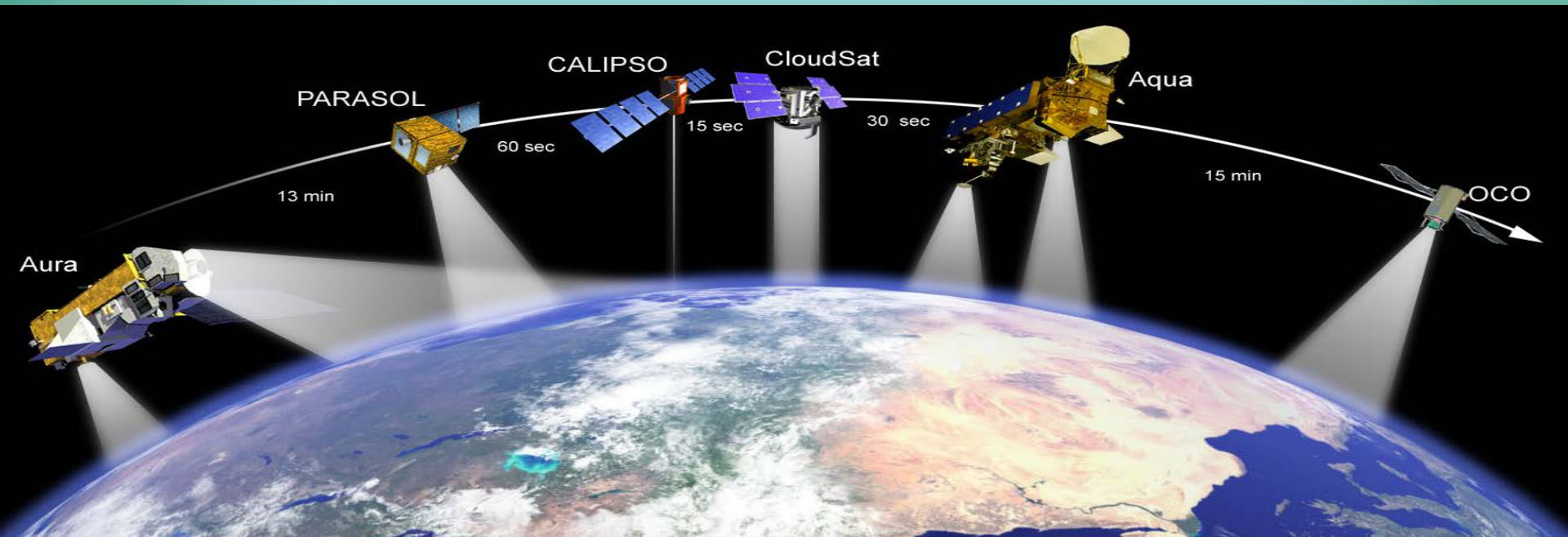
Tomar Decisiones?

La cadena de modelamiento (modelo climático, downscaling espacial y temporal, modelamiento hidrológica, y evaluación de impacto) está afectado por un gran incertdumbre

Marco Teorico

Rol de datos Observados – Satelites

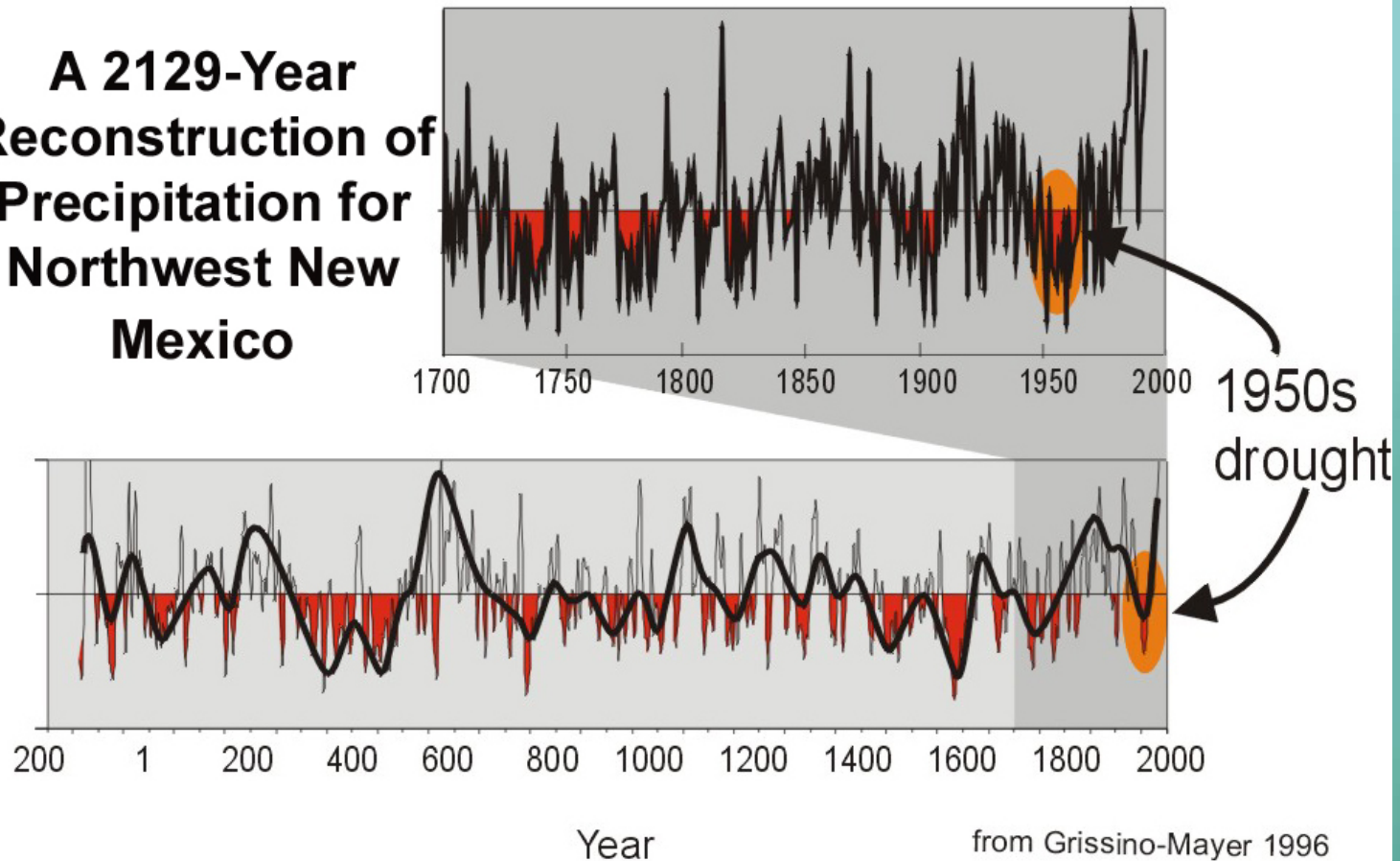
- Ampliamente disponible
- Alternativo limitado comparado con registros observados:
 - Se requiere un “ground truth” para su validación
 - Registros de satellite comienzan alrededor de 1979: demasiado corto para identificar señales decadales



Marco Teorico

Rol de datos Observados – Paleodata

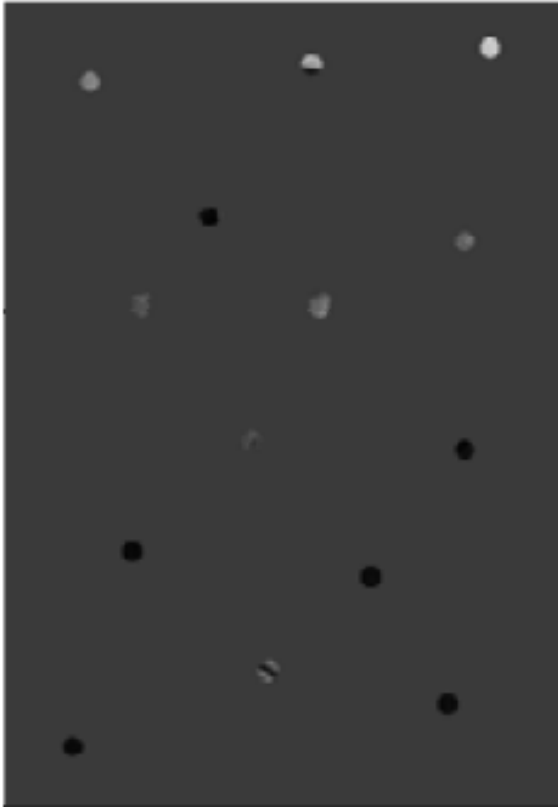
A 2129-Year Reconstruction of Precipitation for Northwest New Mexico



Marco Teorico

Rol de datos Observados - Importancia de cobertura espacial

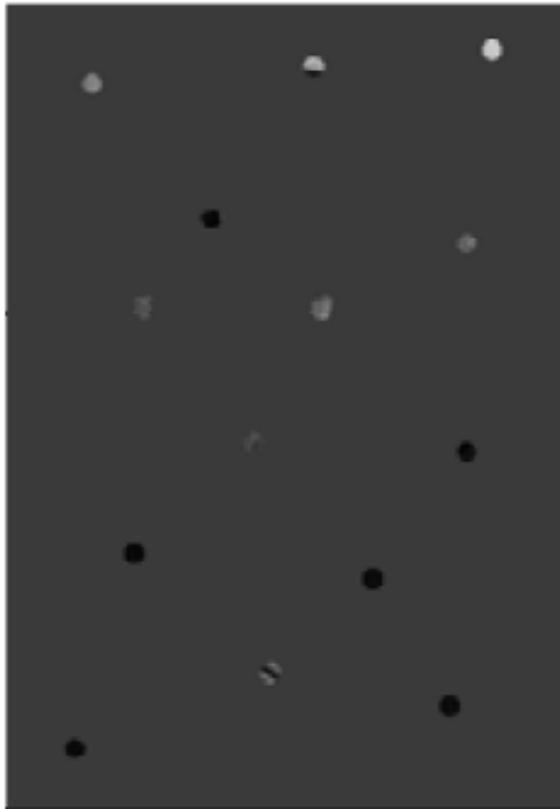
Point observations (rain gauges)



Marco Teorico

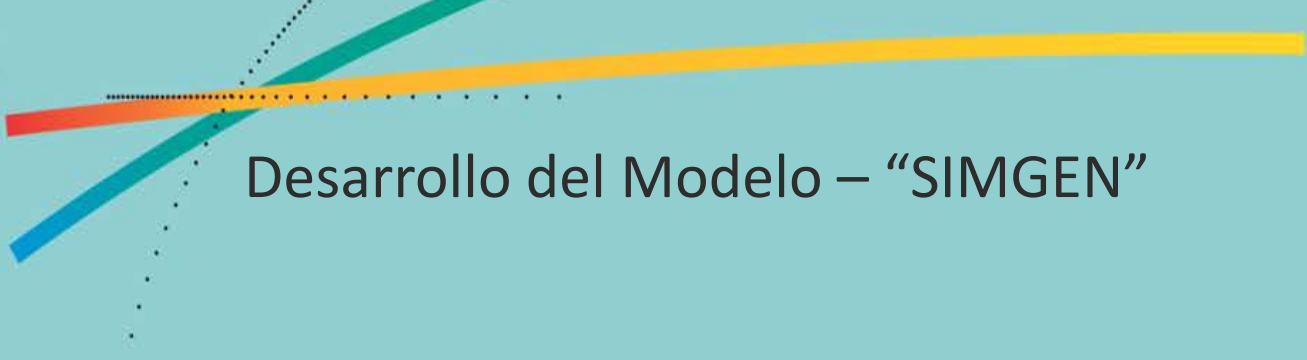
Rol de datos Observados - Importancia de cobertura espacial

Point observations (rain gauges)



Nature ?





Desarrollo del Modelo – “SIMGEN”

TREND

DECADAL

INTER-ANNUAL

SUB-ANNUAL

Deterministico

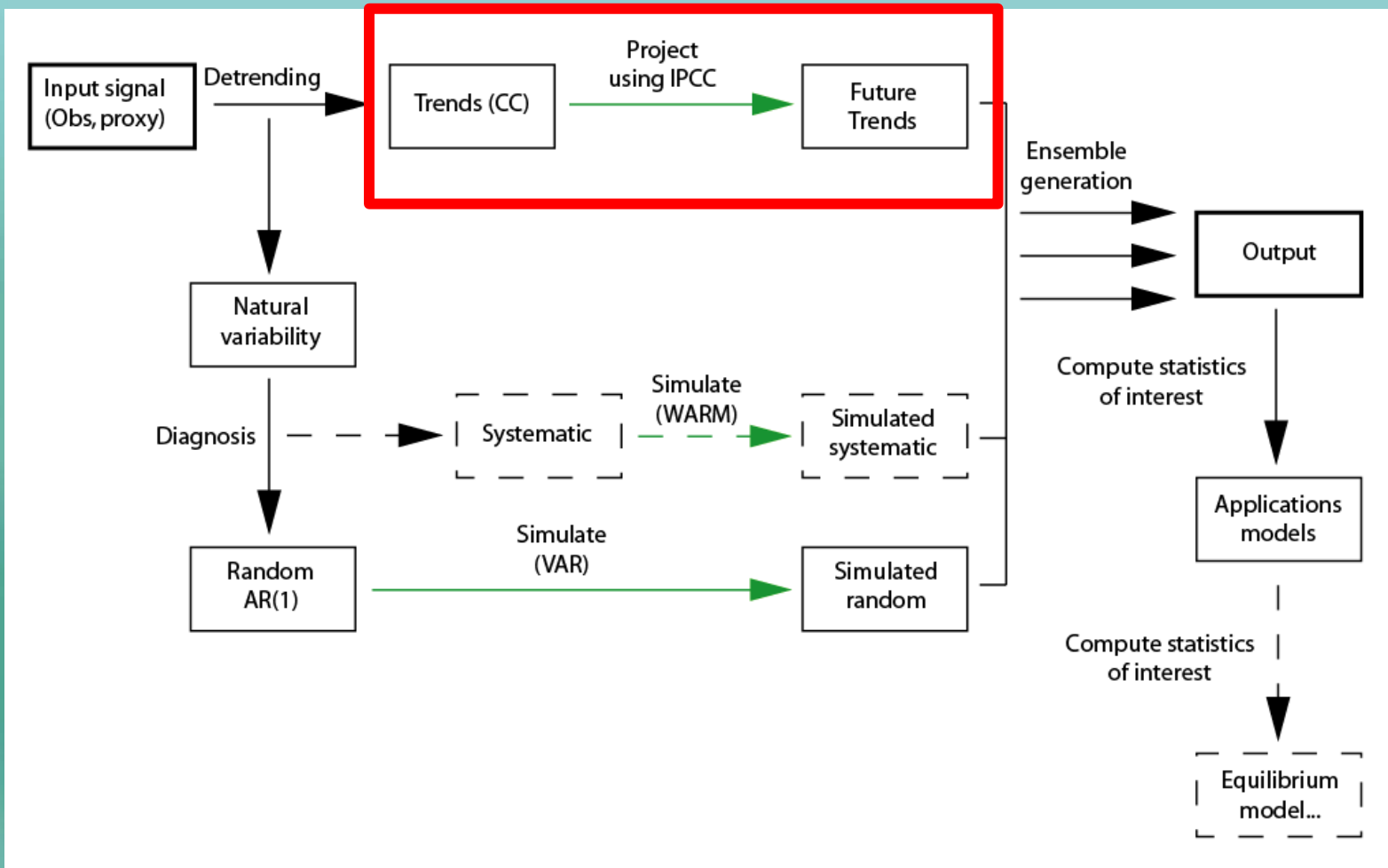
- 1 - Un componente forzado, expresado como tendencia largo-plazo y atribuido a influencia antropogenica
- 2 - Un componente de baja frecuencia, o componente decadal, reflejando variabilidad o forzada “natural”, intrinsico al sistema climático y asociado a las variaciones lentas caracteristicos de procesos oceanograficas
- 3 - Variación interannual (p.e. ENSO)

Aleatorio

- 4 - Variación de alta frecuencia (tiempo/ciclo estacional).
 - A) Componentes completamente aleatorios
 - B) Componentes con memoria o ‘ruido rojo’
(reddening of atmospheric noise through interaction with the ocean)

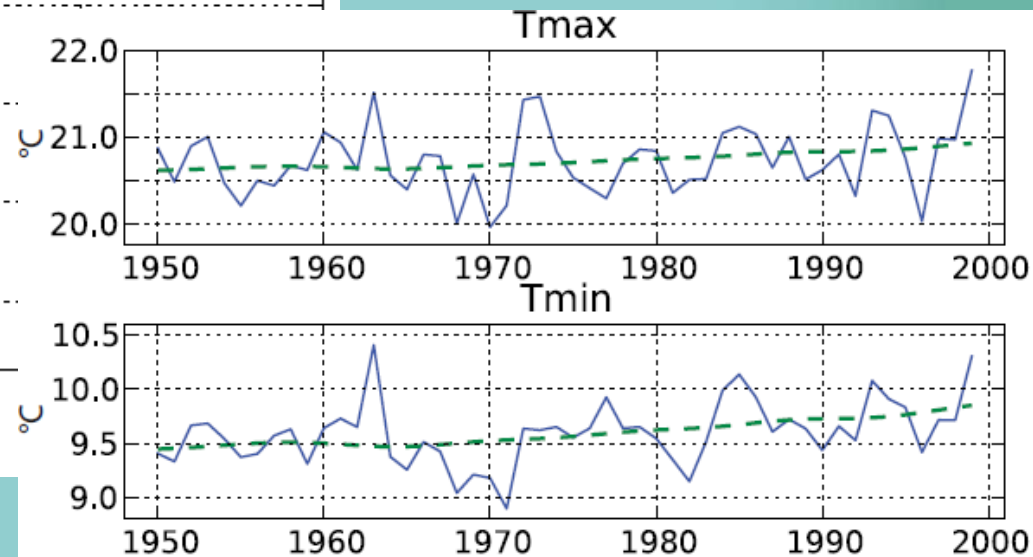
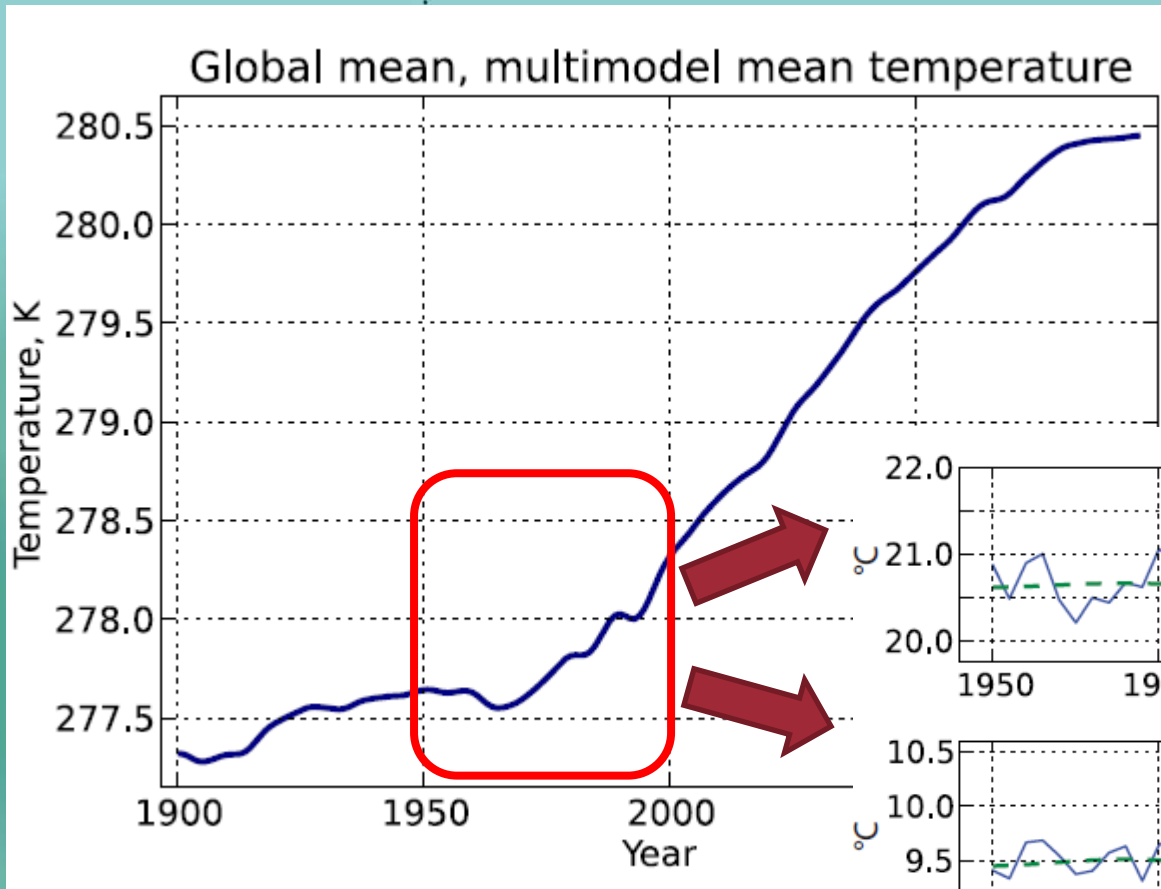
Metodología

Paso 1: Selección del componente de CC



El Marco de Modelamiento SIMGEN

Tendencia del Cambio Climático: Temperatura



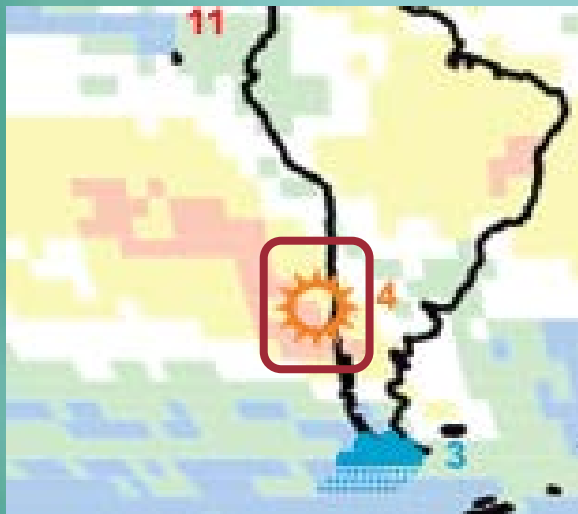
Parameterizar la tendencia en terminos de su *sensitividad climática*.

Tendencia del Cambio Climático : Precipitación

Chile – En cual siglo confiamos?

Respuesta de precipitación al cambio de la temperatura global promedio:

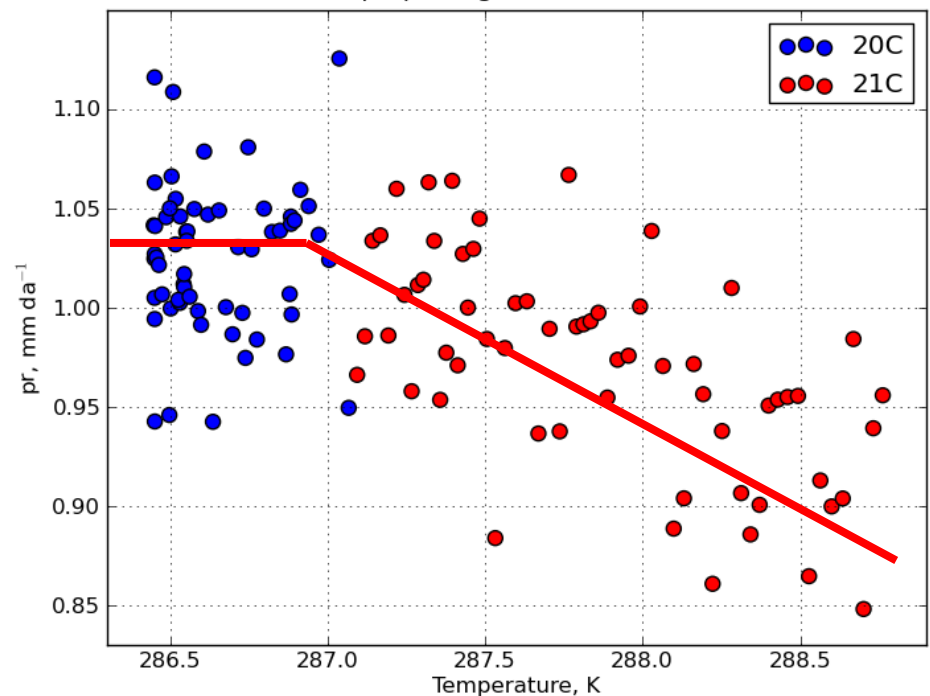
- Débil en el Siglo 20a
- Negativo en el Siglo 21 (GCMs)



Precipitation decrease – very likely

Precipitation decrease – likely

IPCC, 2007



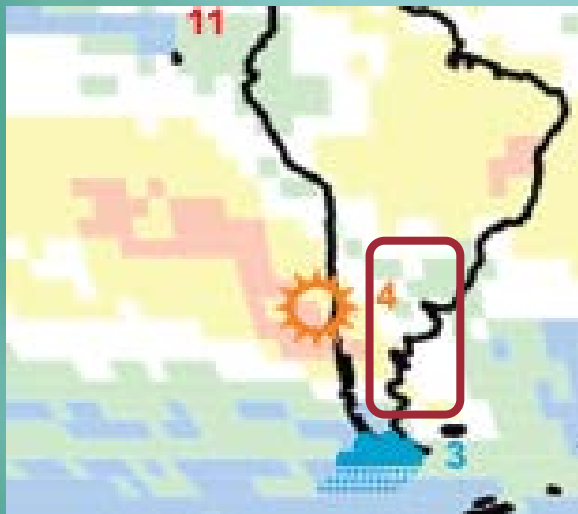
Tendencia en términos de su *sensitividad climática*

Tendencia del Cambio Climático : Precipitación

SESA – Consistente entre los siglos

Respuesta de la precip al cambio de la temperatura global promedio :

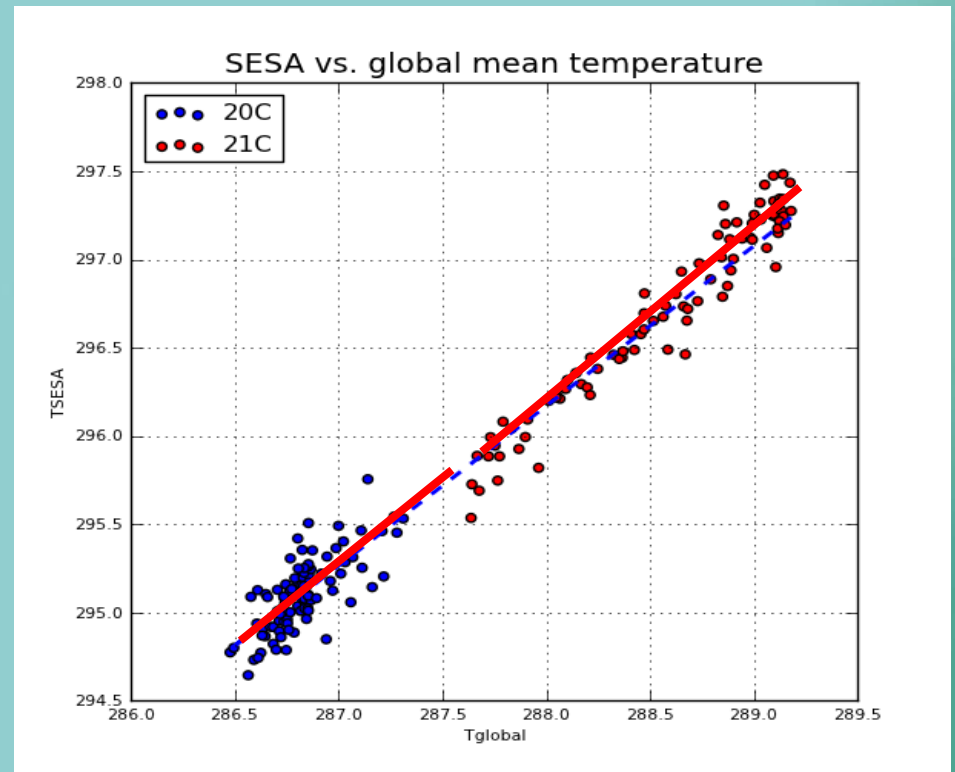
- Positivo en el Siglo 20
- Positivo en el siglo 21 (GCMs)



Precipitation decrease – very likely

Precipitation decrease – likely

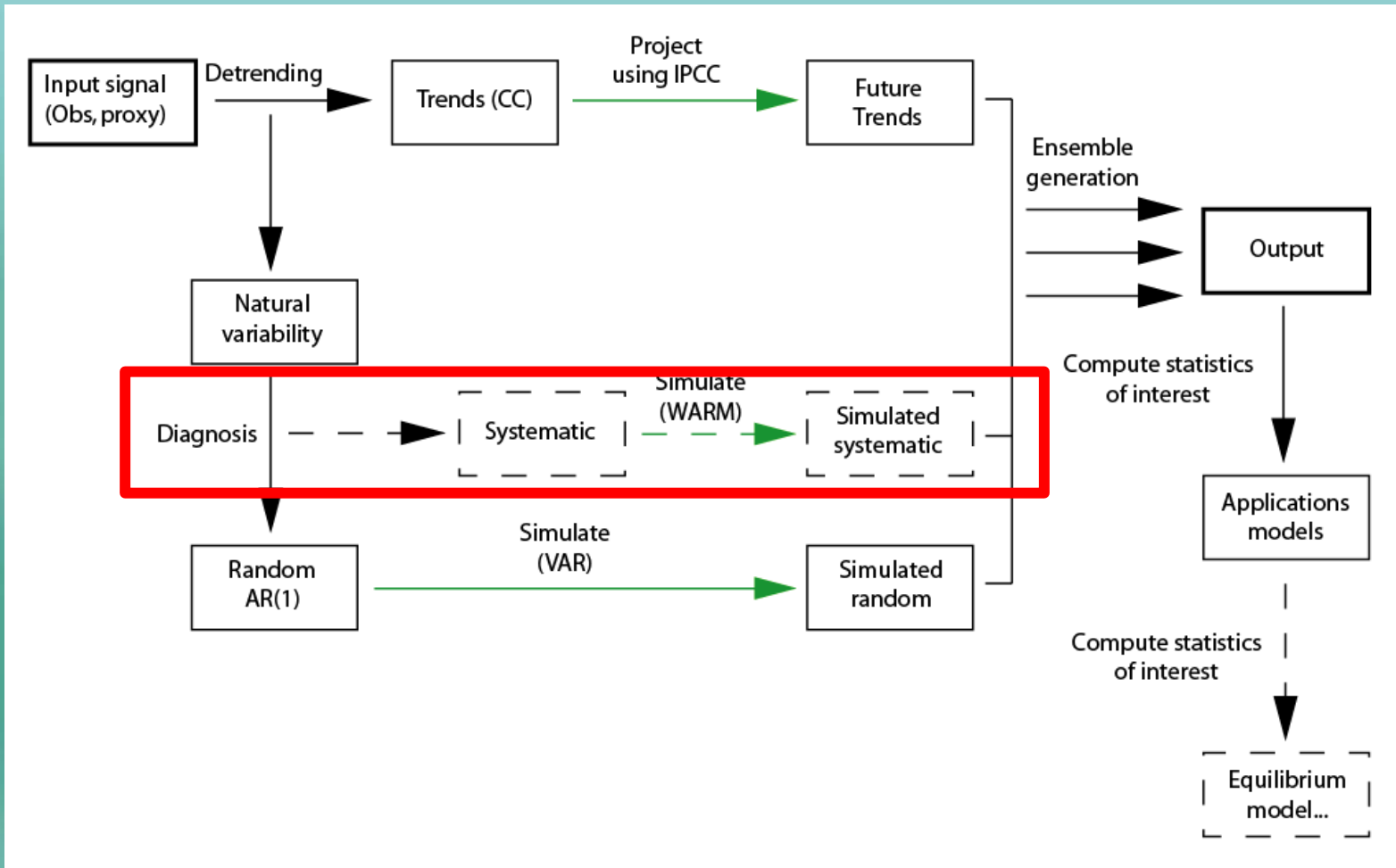
IPCC, 2007



Trend in terms of *temperature sensitivity*

Metodología

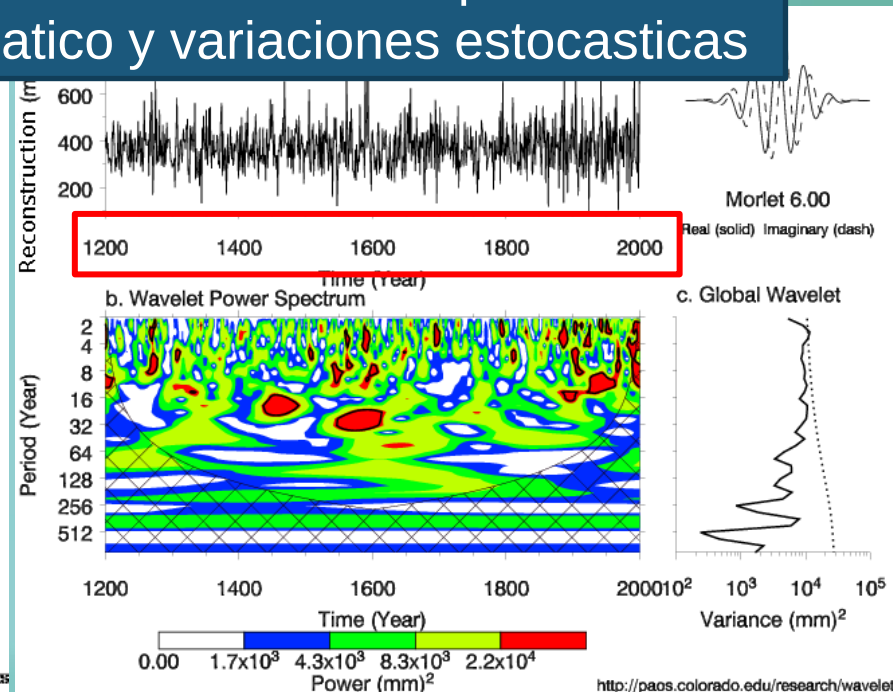
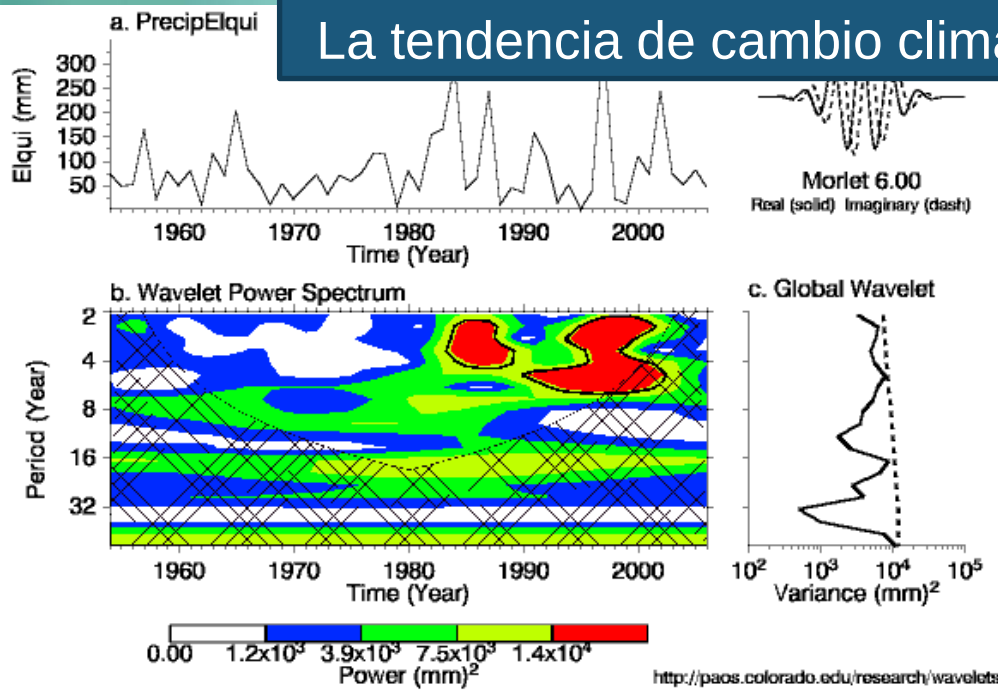
Paso 2: Selección del componente decadal **determinístico**



Cómo encontramos patrones decadales determinísticos ?

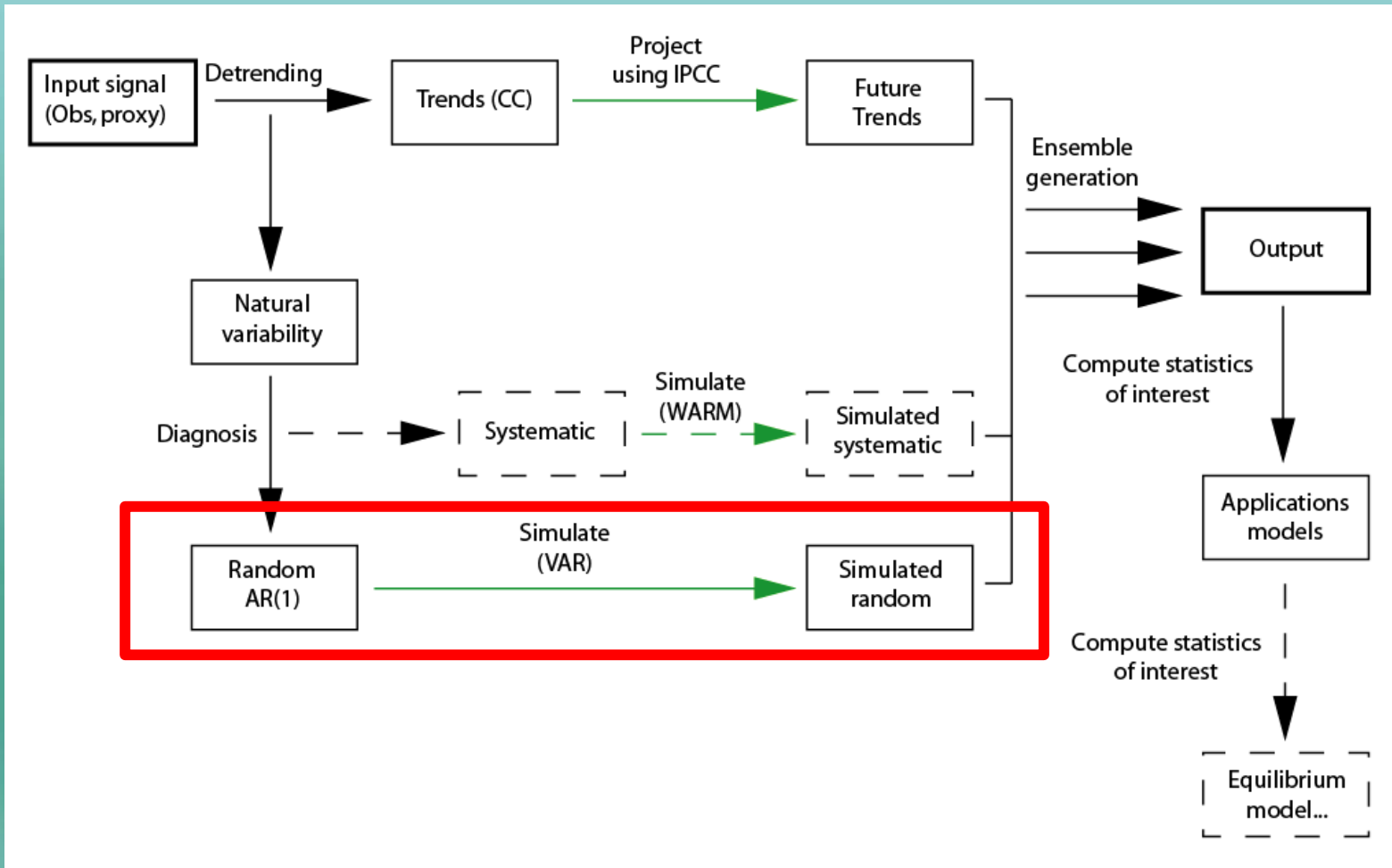
- (Schulz, Boisier and Aceituno, 2011) - Regarding the interannual variability, rainfall seems to be modulated to a large extent by ENSO, while the pronounced low-frequency changes during the past century appears to be linked to the Interdecadal Pacific Oscilation.
- Espectra 'Wavelet' de la precipitación o anillos de arboles permitan identificar componentes determinísticos.

Simulaciones contendrán solamente dos componentes:
La tendencia de cambio climático y variaciones estocásticas

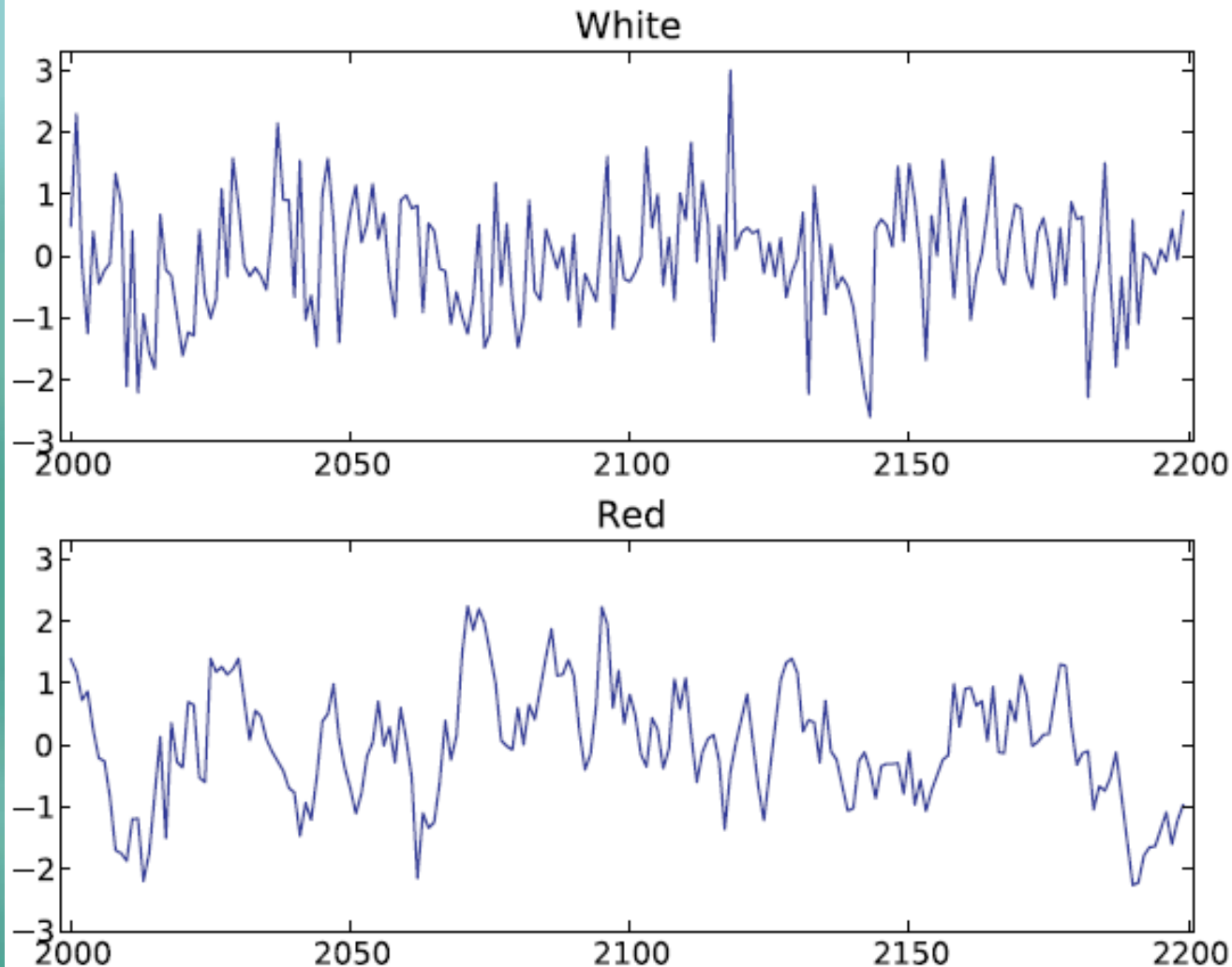


Metodología

Paso 3: Selección del componente decadal *estocástico*



Modelo Vector Autoregresivo (VAR)



Variabilidad Aleatorio

Algun 'memoria'



Vector autoregressive (VAR) model

Formalmente, $\mathbf{y}_t = \mathbf{A}\mathbf{y}_{t-1} + \mathbf{e}_t$, donde

$\mathbf{y}_t$ es un vector de tres componentes (pr, Tmax, Tmin) a tiempo t ,

$\mathbf{A}$ es un (3×3) matrix de coeficientes,

$\mathbf{y}_{t-1}$ es el mismo vector un paso de tiempo (year) anterior,

$\mathbf{e}_t$ es un proceso de ruido blanco con covarianianza matrix Σ

Para nuestros objetivos, dos características son de importancia principal: Correlación intervariable y autocorrelación serial de los variables individuales.

Variables Modelados mantienen su correlación y son consistentes con condiciones históricas

Correlación intervariable

Observations

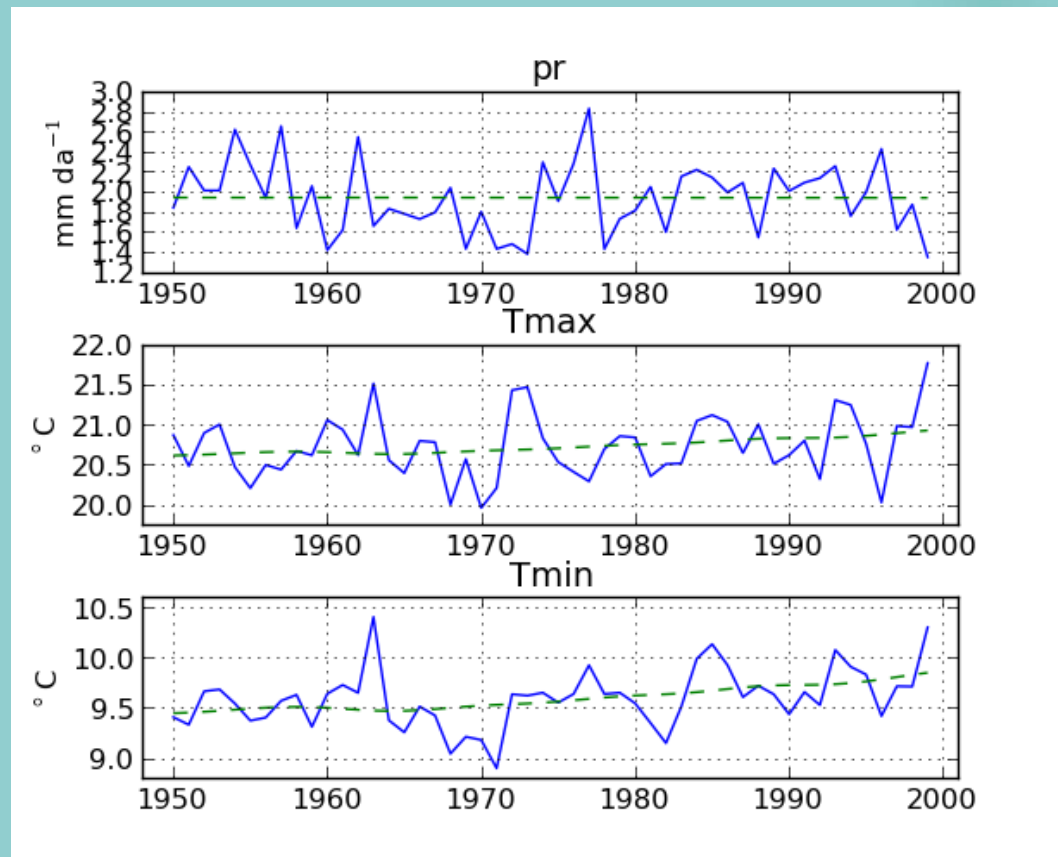
	pr	Tmax	Tmin
pr	1.000		
Tmax	-0.447	1.000	
Tmin	0.068	0.733	1.000

Simulation

	pr	Tmax	Tmin
pr	1.000		
Tmax	-0.445	1.000	
Tmin	0.068	0.733	1.000

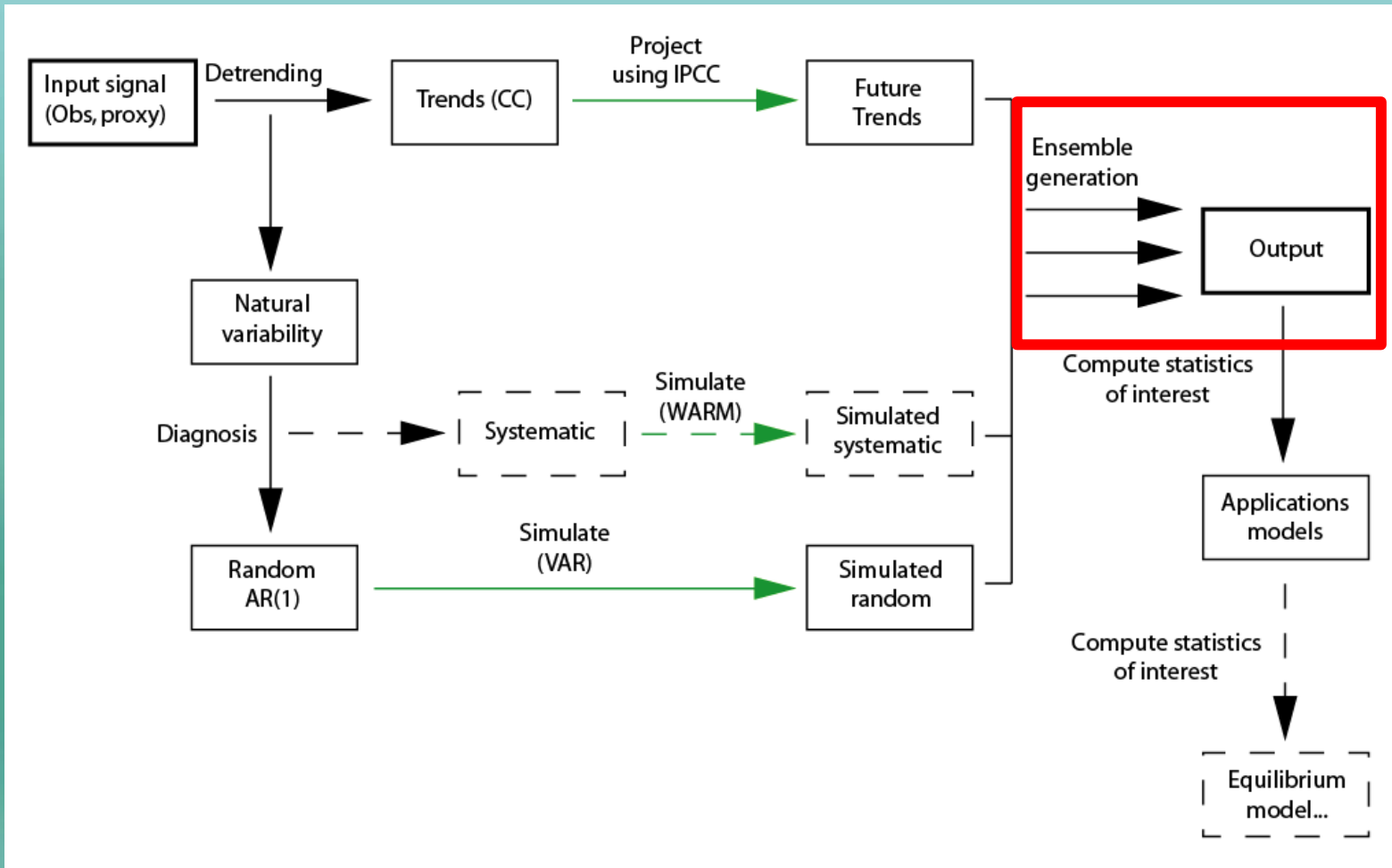
Autocorrelación Serial

	pr	Tmax	Tmin
Obs	0.004	0.168	0.297
Sim	-0.008	0.176	0.303

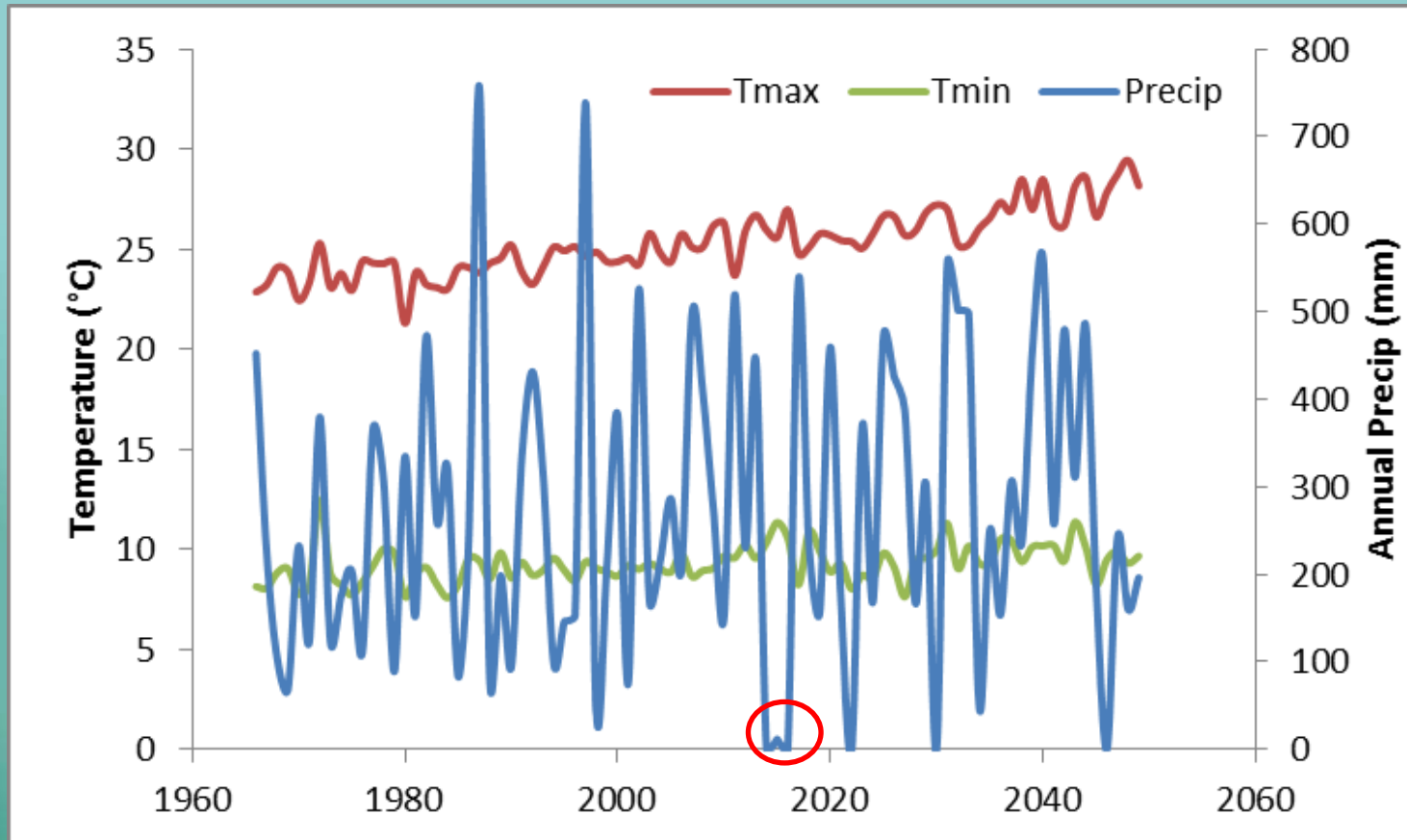


Methodology

Paso 4: Generar simulaciones estocasticas de Precip, Tmin, Tmax proyectados



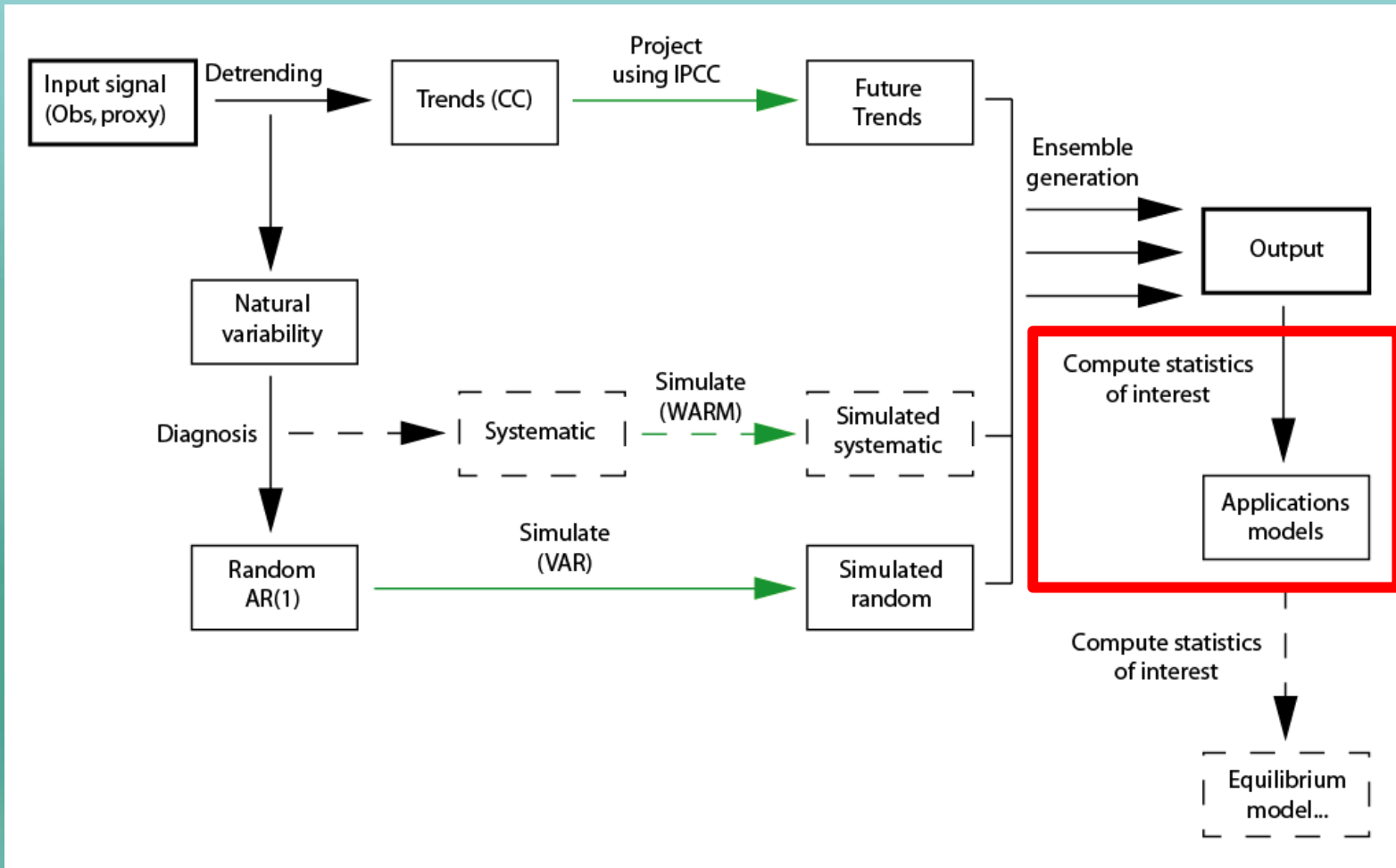
‘Downscaling’ de las simulaciones a nivel local



- Series de tiempo continuos visualizan eventos extremos qu edifieren de eventos históricos
- Permite evaluar la probabilidad de sequías y eventos extremos y evaluar su impacto potencial soobre los recursos hidricos

Metodología

Paso 5: Correr los series proyectados a través de un modelo **integral de manejo del agua**





Que tipo de model?

- Los recursos hídricos en el secano están bajo estrés por un aumento en la demanda, mientras que la disponibilidad muestra mayor variabilidad
- Eso requiere un mejor manejo de recursos hídricos para optimizar la eficiencia de todos los usuarios
- Periodos de sequía prolongado aumentan y empeoran posibles conflictos relacionados con recursos hídricos, especialmente sin las herramientas para manejar los recursos hídricos.
- Los Modelos para el Manejo Integral de los Recursos Hídricos pueden proveer apoyo a los tomadores de decisiones y usuarios de agua para evaluar las vulnerabilidades actuales y los desafíos futuros.

Aplicación ejemplo: modelo MAGIC

MAGIC

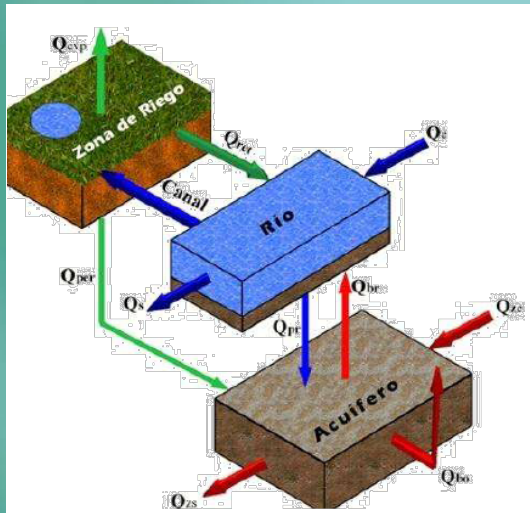
Desarrollado por : **Mauricio Zambrano Bigiarini**

Colaboración de : **Liliana Pagliero C.**
Ana María Gargas P.
Rodrigo Rojas M.
Pablo Isensee M.

Versión : **1.1 - Junio del 2003**

(Modelación Analítica Genérica Integrada de Cuencas)

- Developed in Chile
- Extensive experience in Region IV-V-VI



Actual model:

Language: **Delphi 7.0TM**

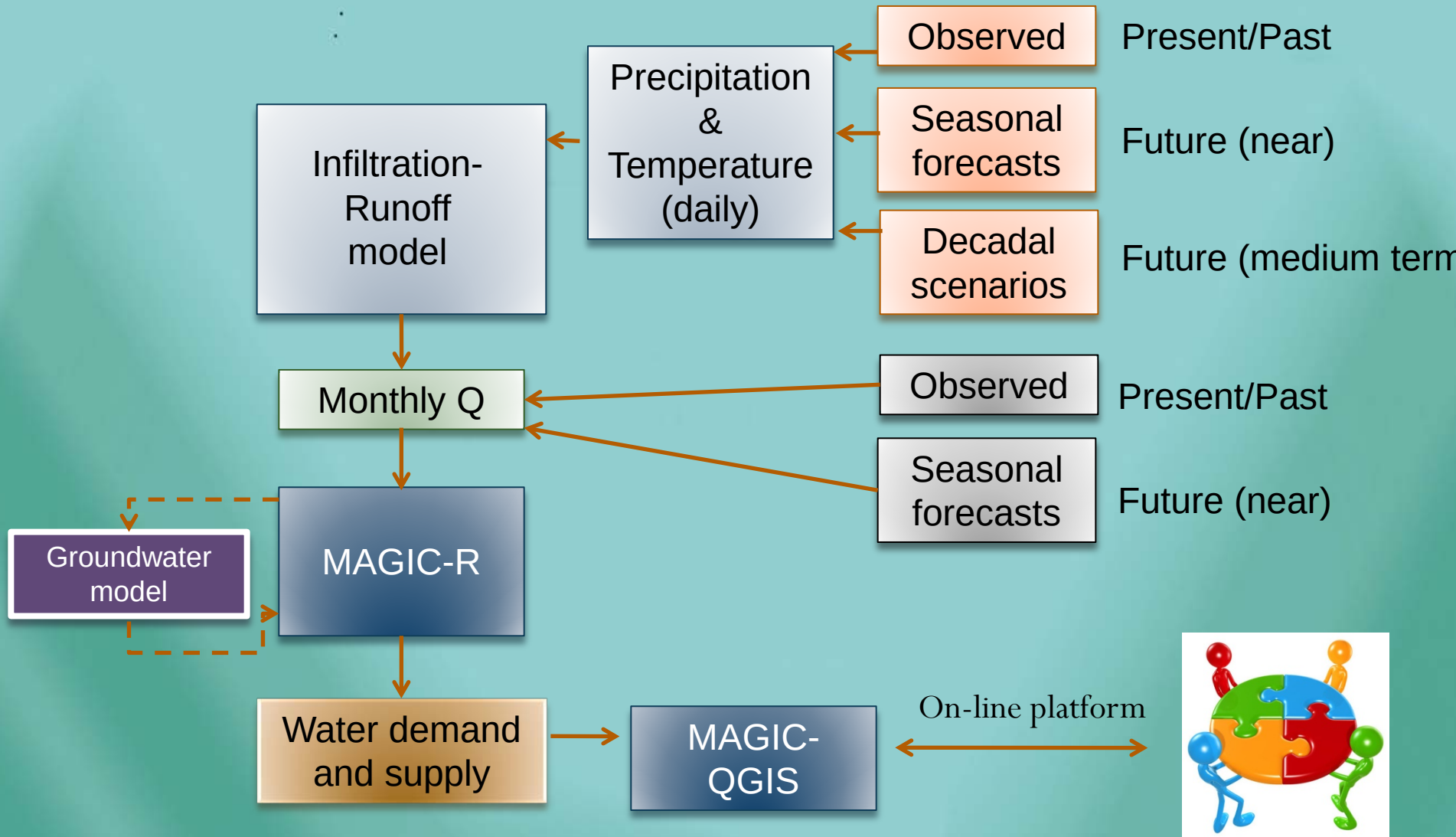
GIS Platform is **ESRITM**



Open source software: **R**

On-line GIS platform : **QGIS**

Un marco para el manejo de los recursos hídricos



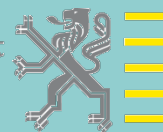


Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Oficina Regional de Ciencia para
América Latina y el Caribe



Programa
Hidrológico
Internacional



Flemish government

Introducción al marco general para la simulación de la variabilidad decadal para el manejo de los recursos hídricos

Koen Verbist, PhD
UNESCO-PHI



Arthur Greene, PhD
International Research Institute
for Climate and Society

International Research Institute
for Climate and Society
EARTH INSTITUTE | COLUMBIA UNIVERSITY