



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



Flanders
State of the Art



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

Koen Verbist
UNESCO-PHI

Arthur Greene
International Research Institute
for Climate and Society



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



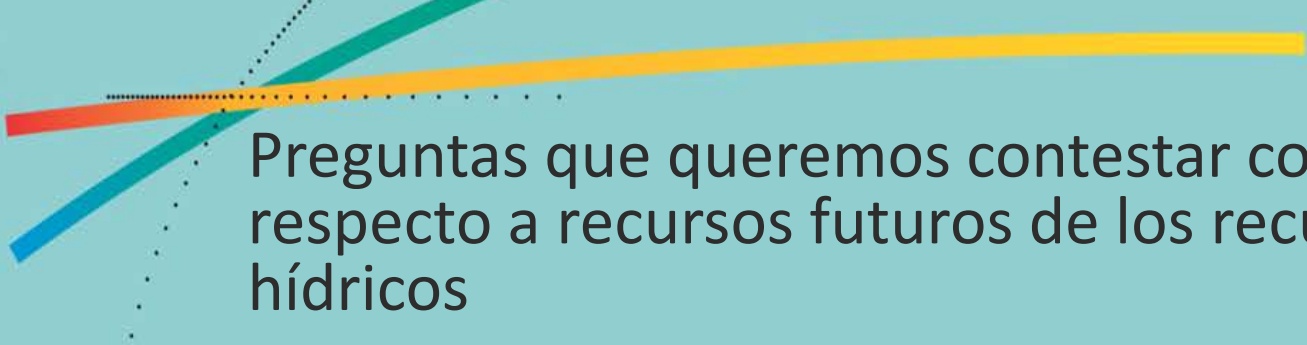
Introducción

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 en cuencas pilotos
3. Series probabilísticas climáticas a corto plazo (2020-2050) disponible a nivel de estaciones de monitoreo en las cuencas pilotos
4. Proyecciones futuras de los recursos hídricos a nivel de estación disponible en mapas interactivos



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



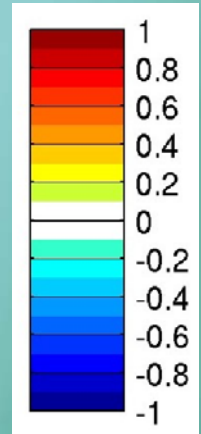
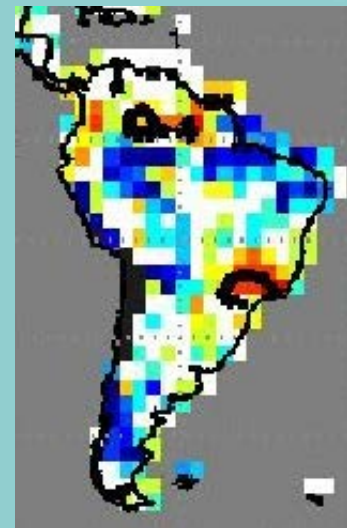
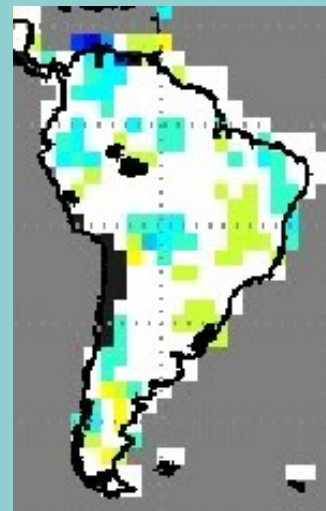
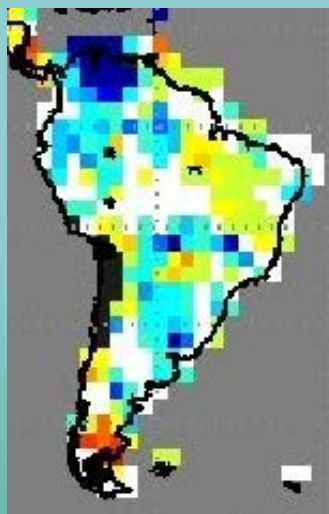
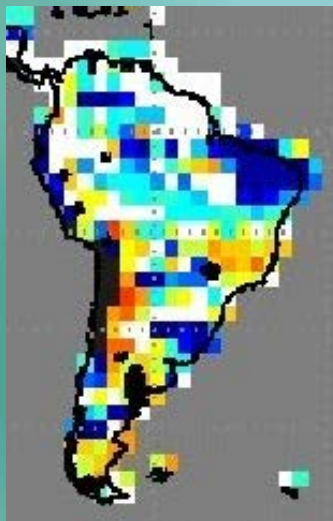
- Habrán suficiente recursos hídricos?
 - Cuál será la frecuencia de sequías?
 - Qué pasará con los eventos extremos?
-
- Pronósticos decadales confiables, sobre todo a nivel regional/local, son todavía un desafío futuro.

Predictibilidad decadal dinámico: Todavía por demostrarse

T



pr



US CLIVAR DPWG

NCAR-CCSM4

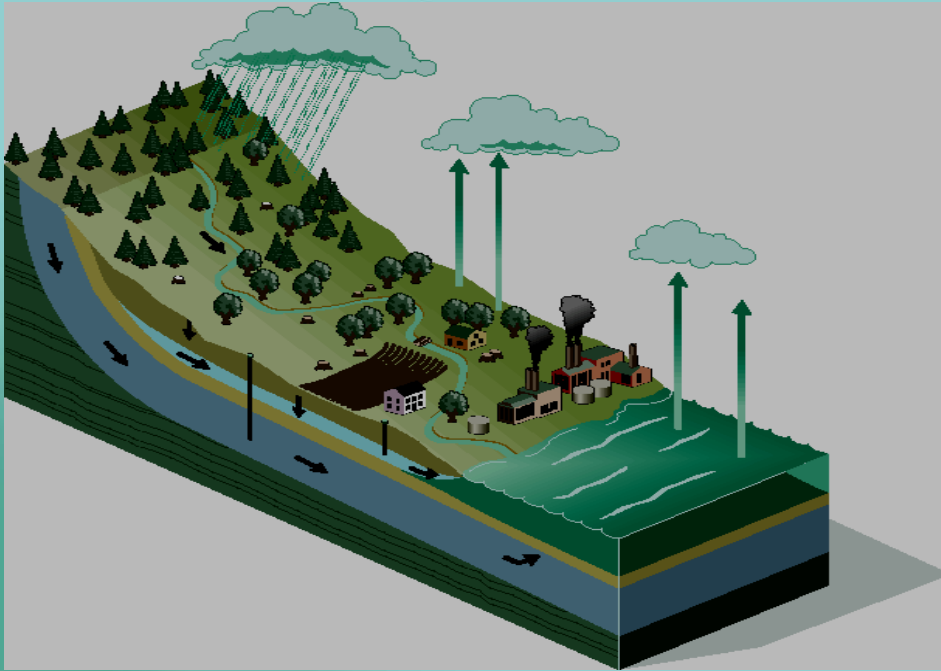
DePreSys

DePreSys yearly

GFDL-CM2p1

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

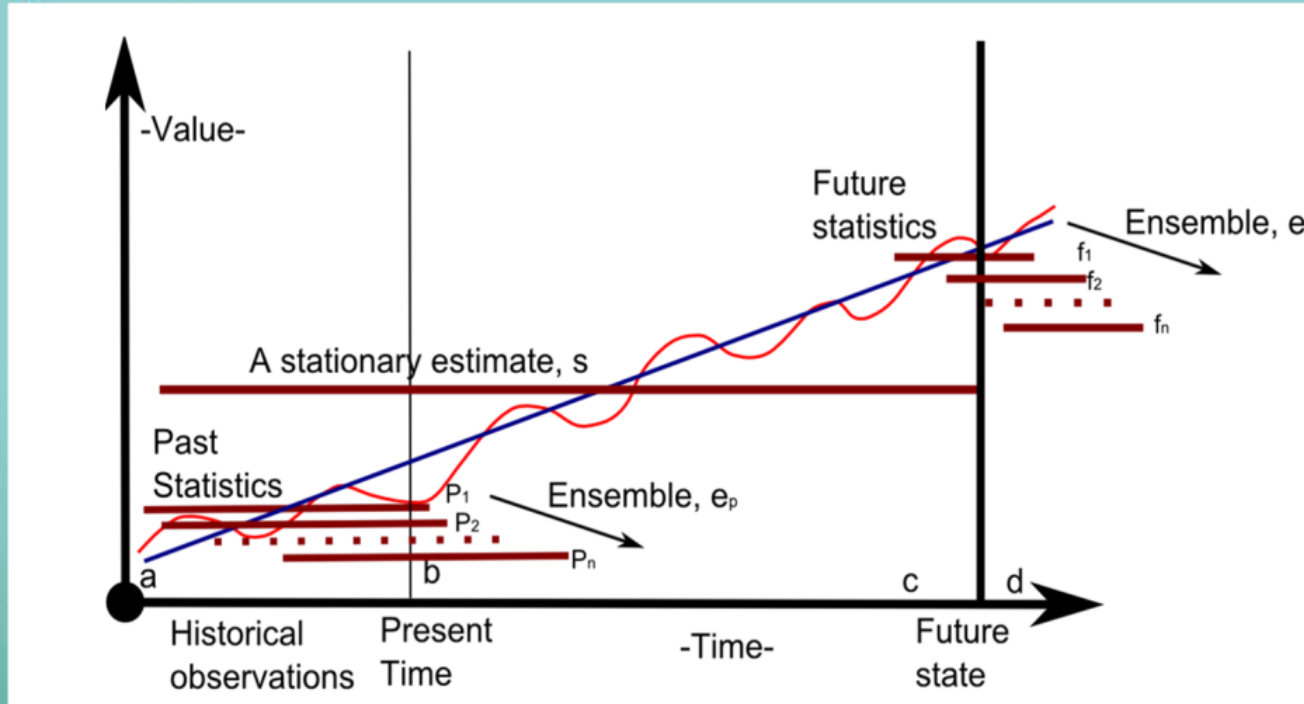
Preguntas que queremos enfrentar con respecto a recursos futuros de los recursos hídricos



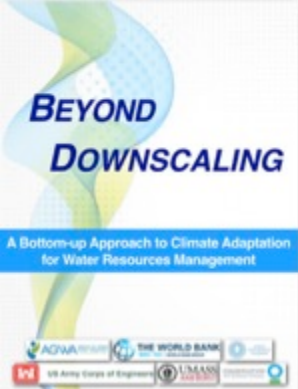
- Suficiente recursos hídricos?
- Cuál será la frecuencia de sequías?
- Qué pasará con los eventos extremos?

- Pronósticos decadales confiables, sobre todo a nivel regional/local, son todavía desafíos del futuro.
- Una alternativa potencialmente útil : Secuencias sintéticas, condicionados por observaciones e incluyendo un componente regional de 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 una ‘predicción del futuro’ pero una caracterización del incertidumbre climático futuro en los próximos décadas

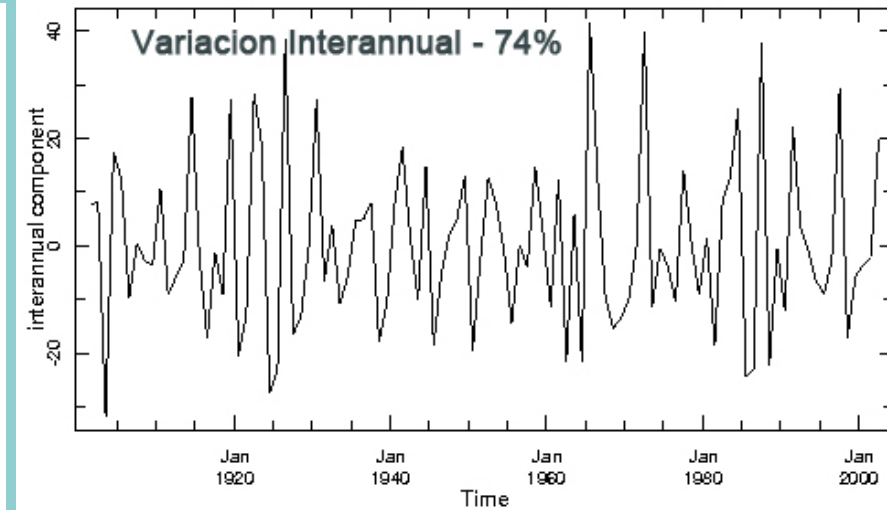
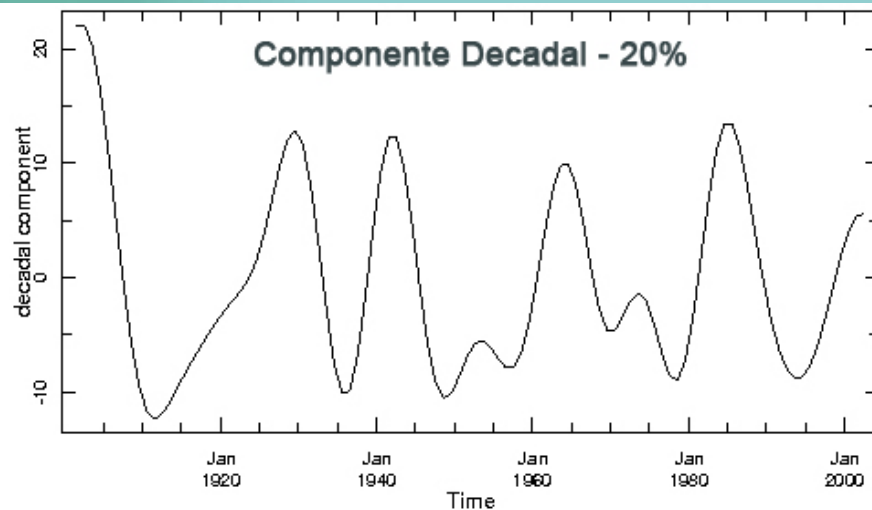
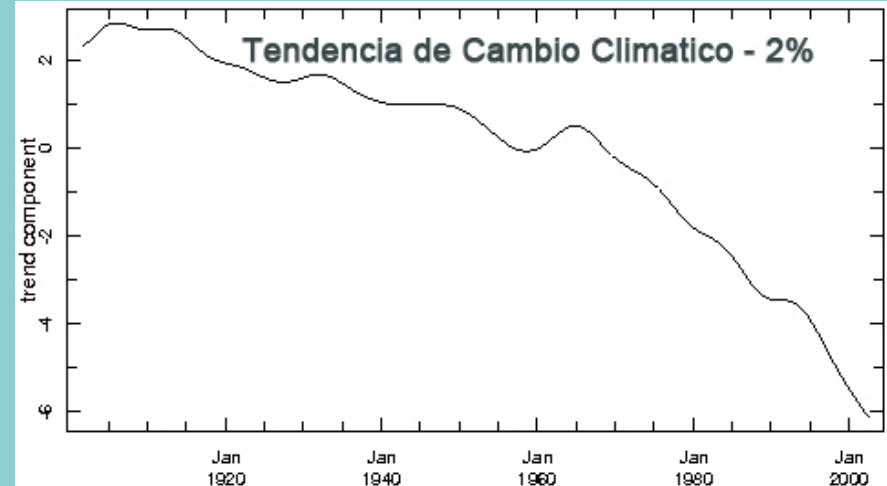
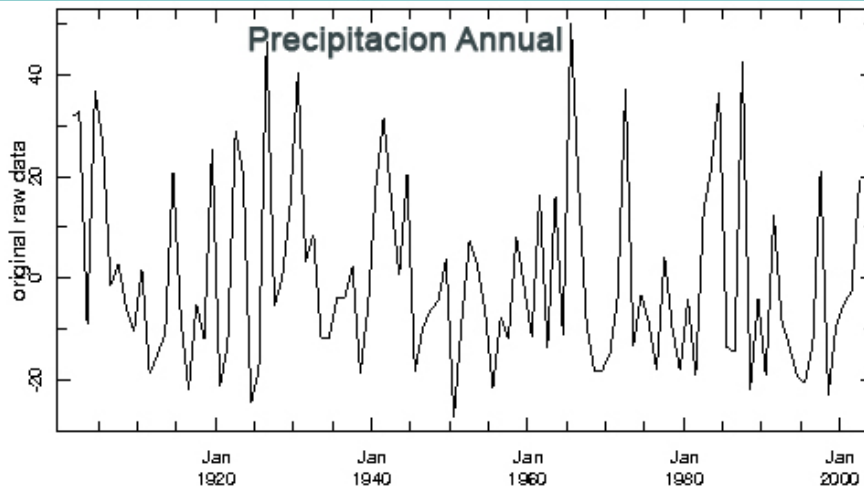


Cambio climático no es la única causa de no-estacionaridad

Salas et al. (2012):

- Primero el efecto de intervenciones humanas sobre el paisaje que puede alterar la relación de precipitación-escorrentía a diferentes escalas de tiempo y espacial espaciales, como en el caso de deforestación y urbanización.
- Segundo la ocurencia de de eventos naturales como explosiones volcanicas o incendios forestales, que pueden cambiar la composition del aire, el suelo y la geomorfología.
- Tercero es el componente oceanico-atmosferico de baja frecuencia, que puede tener efectos significativos sobre procesos hidrológicos como escorrentía annual, caudales máximos y sequías.
- Cuarto es el calentamiento global, que puede provocar cambios en elos procesos atmosfericos y oceanograficos, afectando el ciclo hidrológic en diferentes escalas espaciales y temporales.

Cuales son los componentes de la variabilidad?



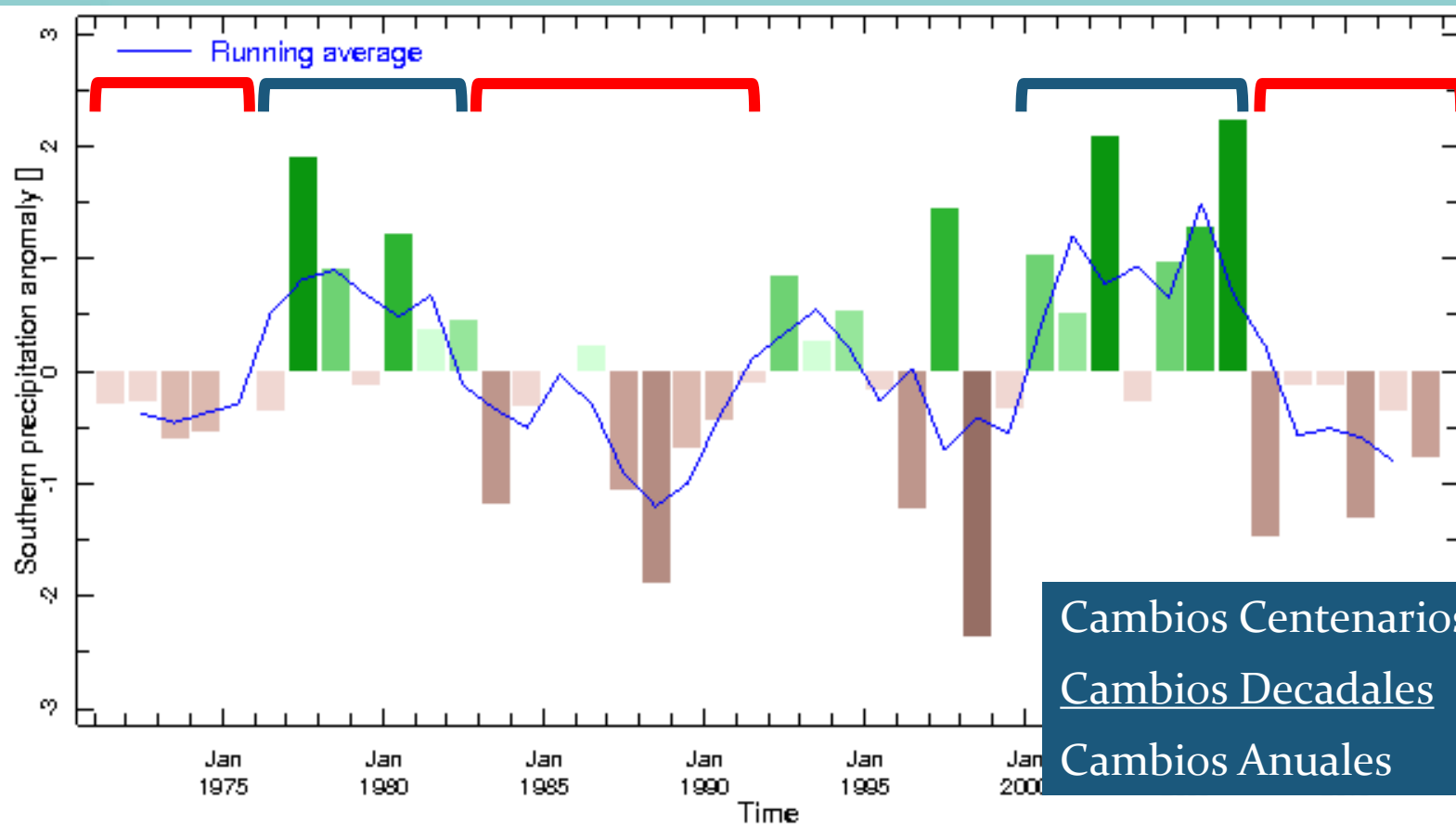
TENDENCIA

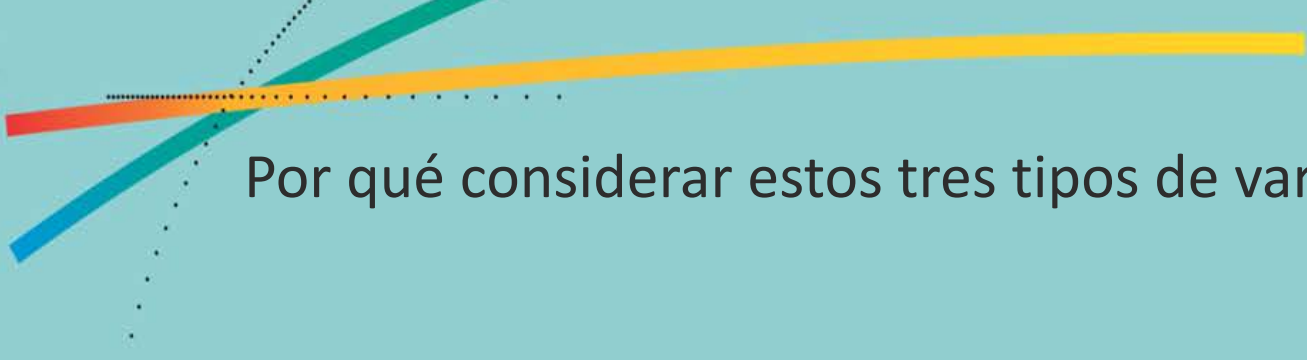
DECADAL

INTERANUAL

SUBANUAL

Cuál es la importancia de la Variabilidad Decadal?





Por qué considerar estos tres tipos de variabilidad?

Definición del Marco de Modelamiento

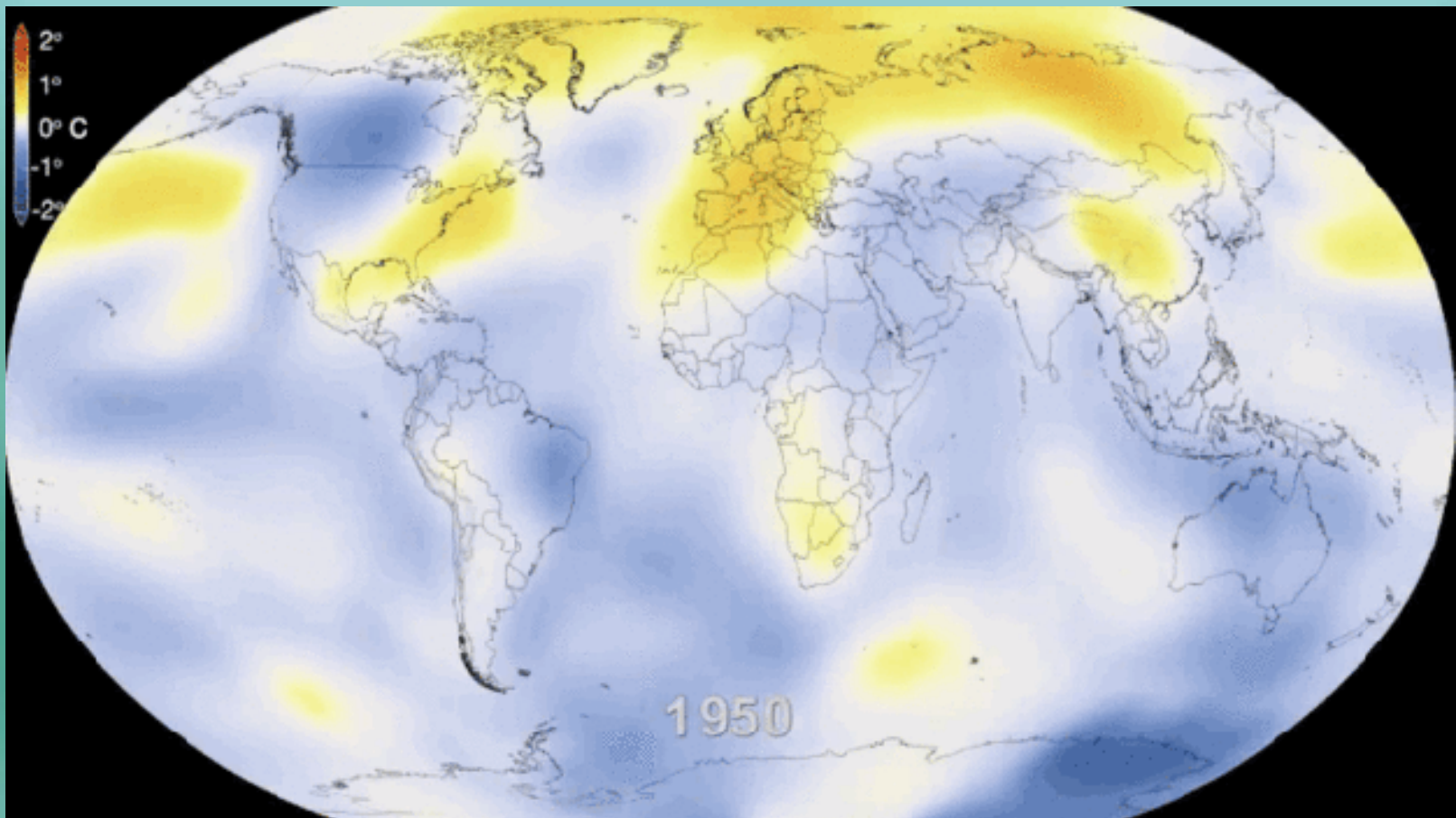
La tendencia marca una condición de cambio lento sobre lo cuál fluctuaciones decadales, y por extensión, variaciones de mayor frecuencia son superpuestas.

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 ellos individualmente.

Que sabemos sobre cada uno de estos componentes?

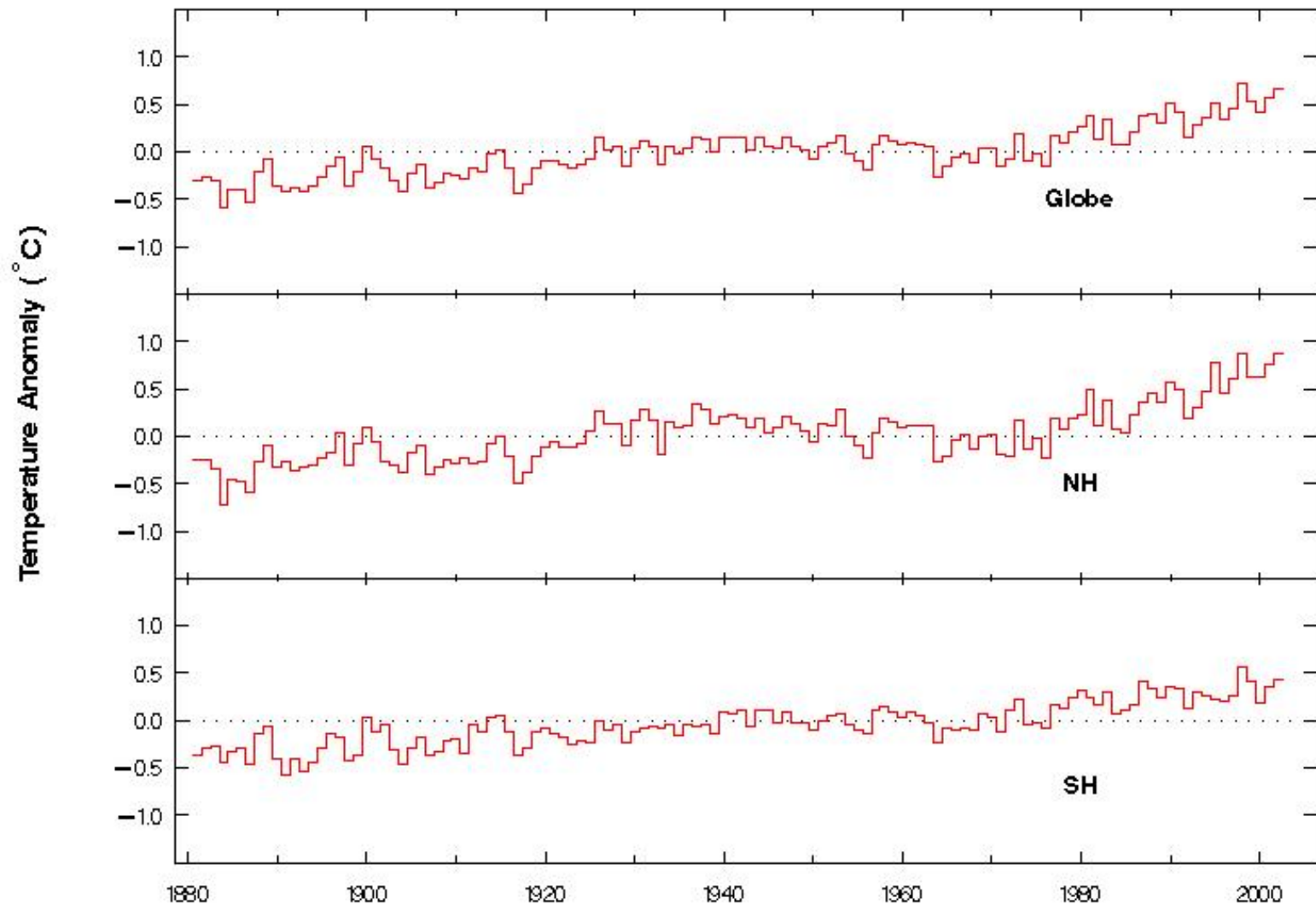
Marco Teorico – Cambio Climático

Cuál es la tendencia de la temperatura?



Marco Teorico – Cambio Climático

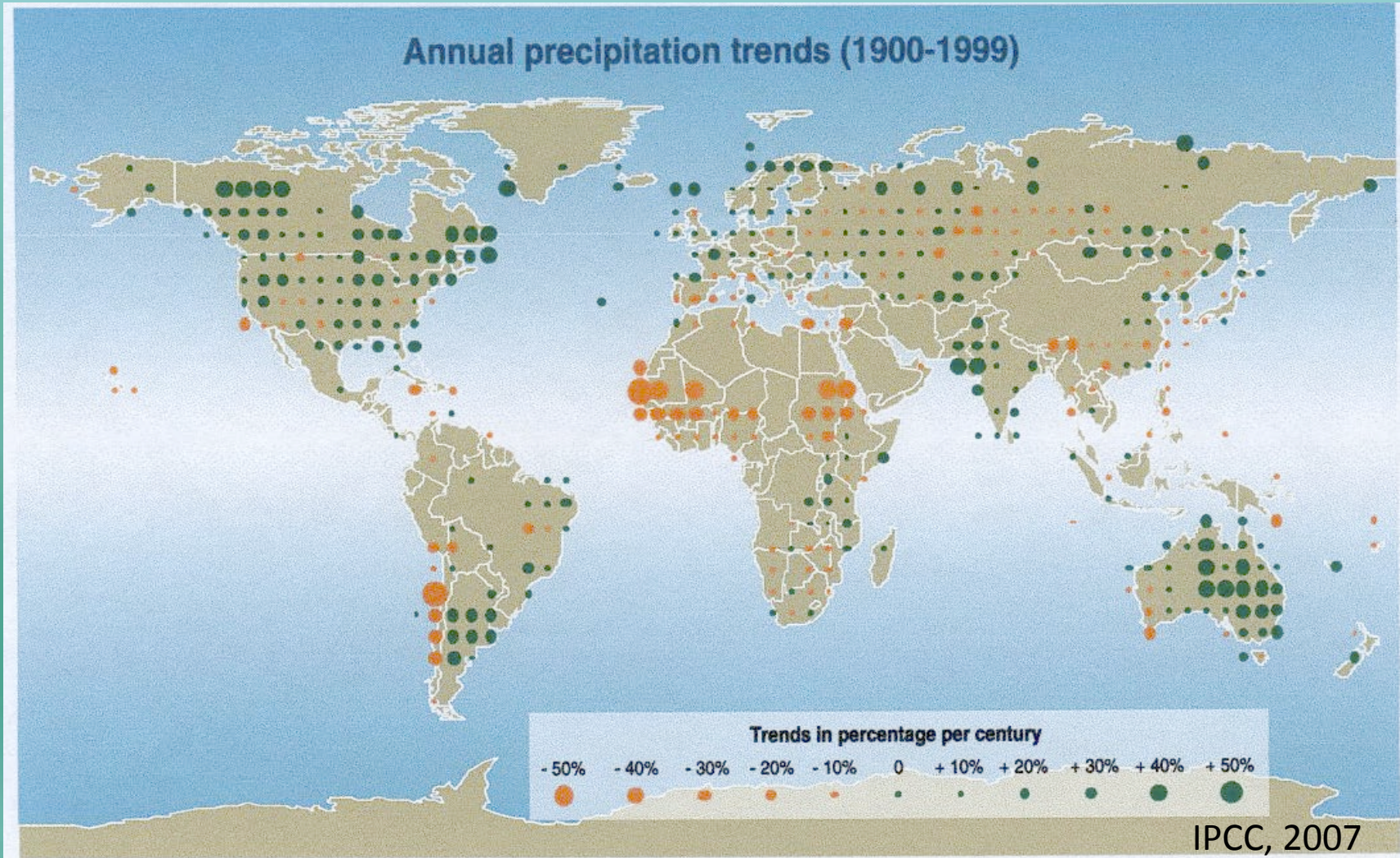
Global and Hemispheric Annual Temperature Anomalies
1881–2002



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

Marco Teorico – Cambio Climático

Cuál es la tendencia en la precipitación?



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

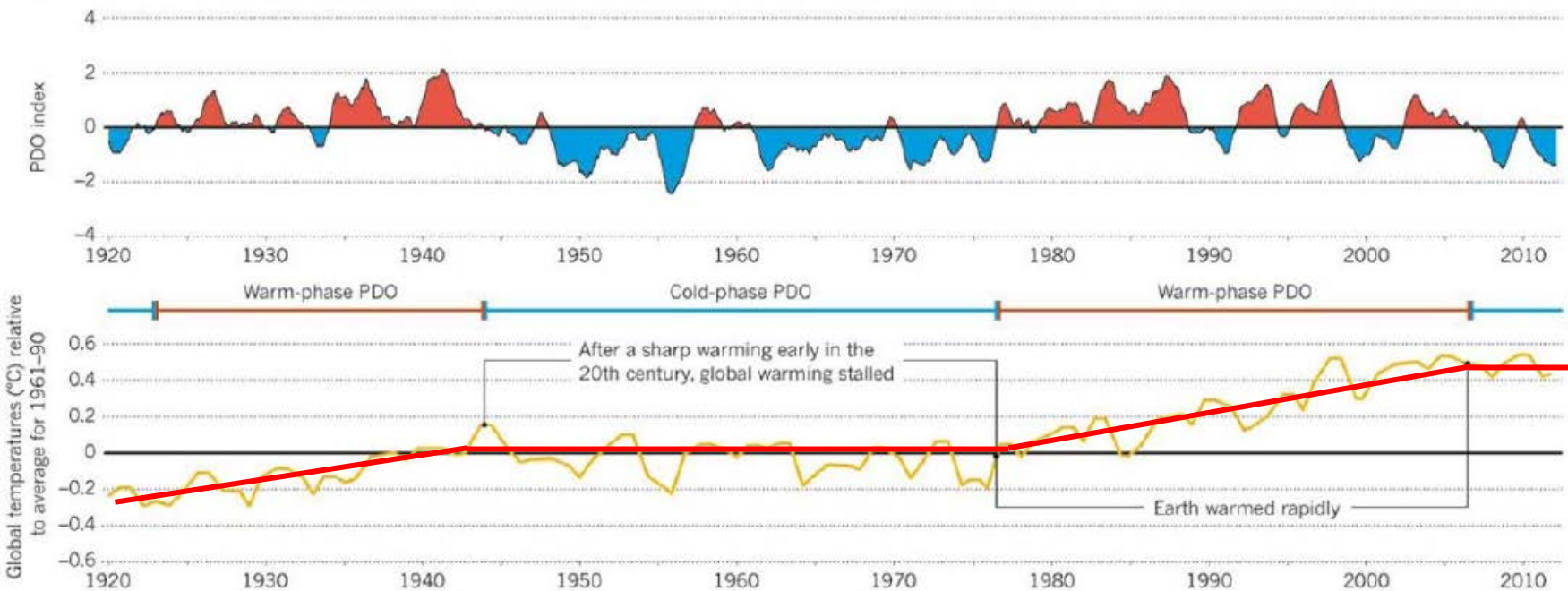
Cambio Climático: respuesta del sistema tierra-océano-atmósfera a un forzante externo (cambios antropogenicos de las propiedades radiativos de la atmósfera)

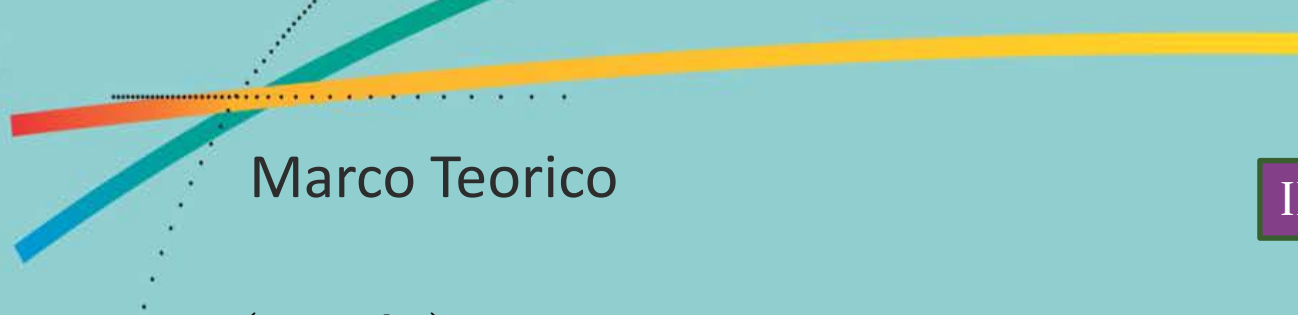
Variabilidad Decadal: Intrínstico o interno del sistema climático

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

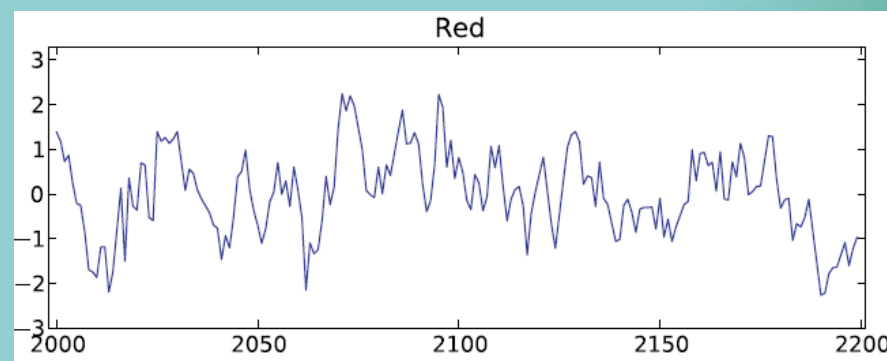
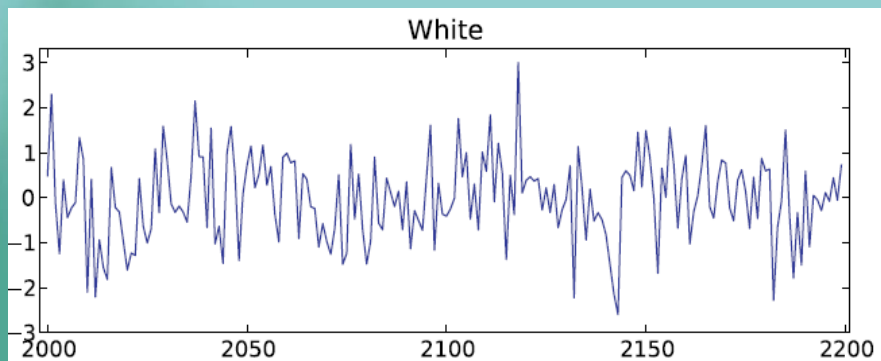
INTERANUAL

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

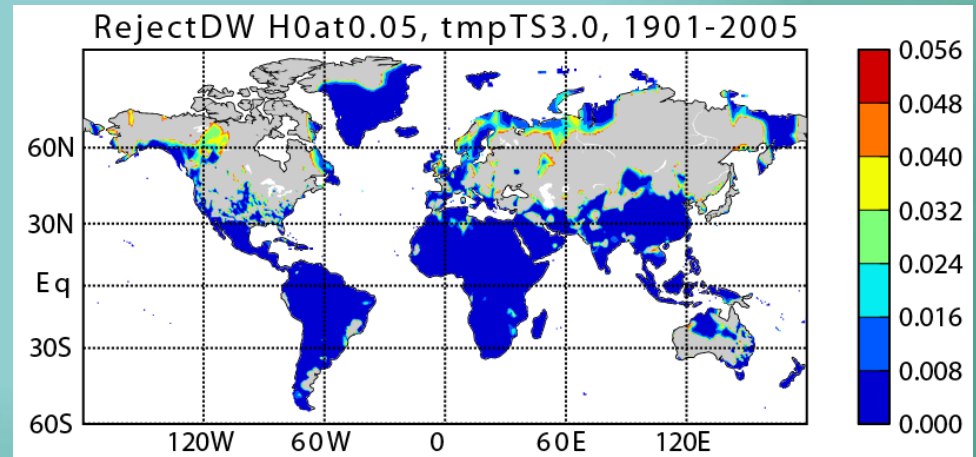
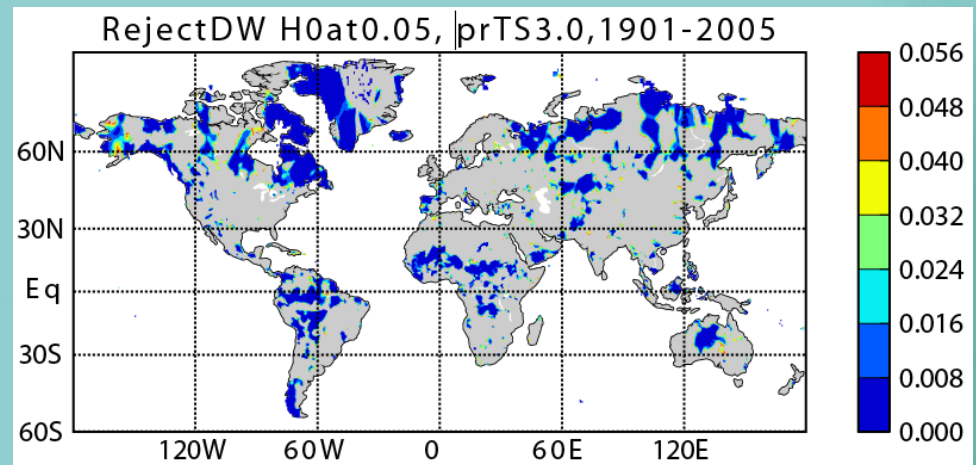
DECADAL

INTERANUAL

Ruido: blanco y rojo (marrón)

Donde se observa ruido rojo?

- p-value para descartar que los residuals no son autocorrelacionados con lag-1 (ruido rojo).
- La precipitación (arriba) muestra poco autocorrelación
- Para la temperatura (abajo) hay zonas con autocorrelación .
- (Datos rellenos! – mejor con datos observados)



Marco Teorico

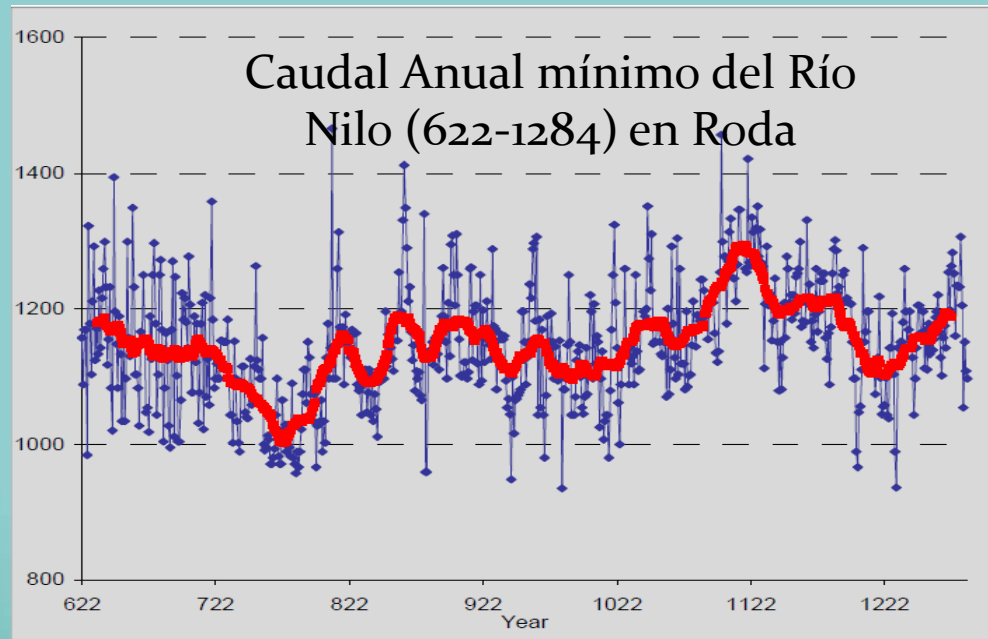
DECADAL
INTERANUAL

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?



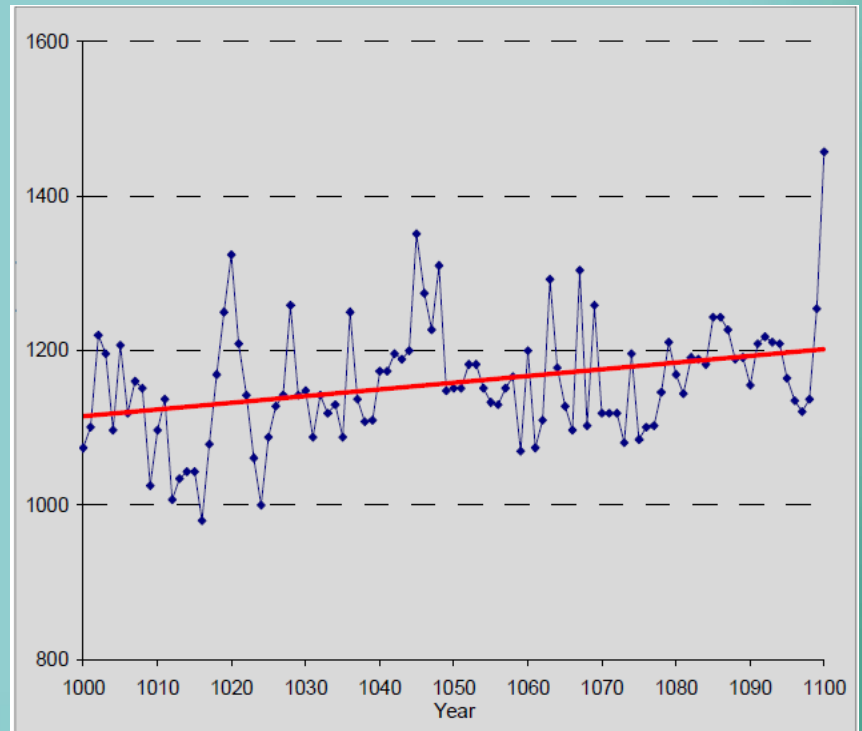
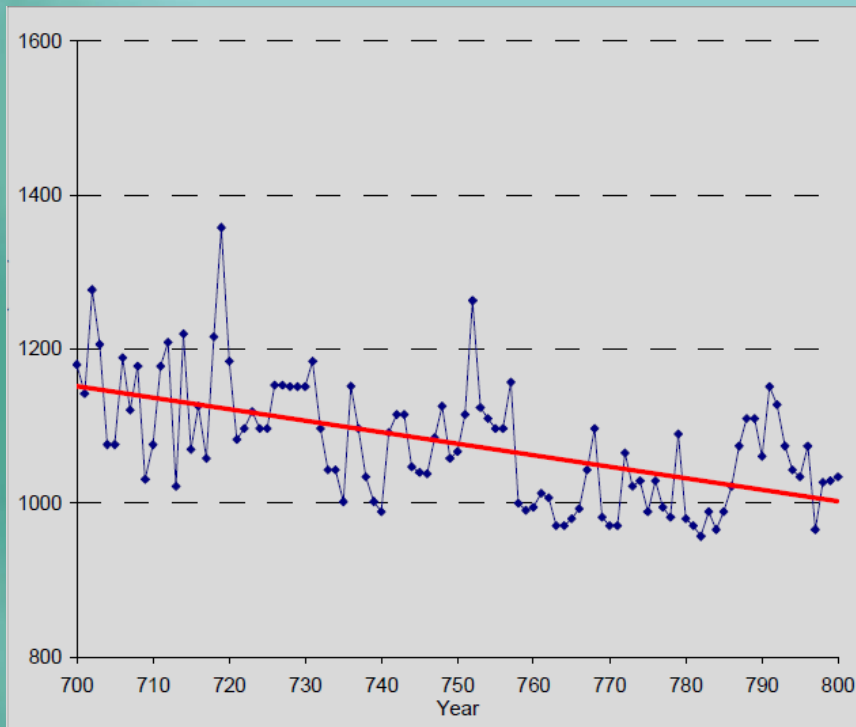
- Enorme **variabilidad climática** a plazos de tiempo largos
- Descubrimiento del **Fenómeno de Hurst**:
Teoreticamente, h debería tener un valor de 0.5 para secuencias de valores independientes aleatorias que son distribuidas normalmente (o log-normal)

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

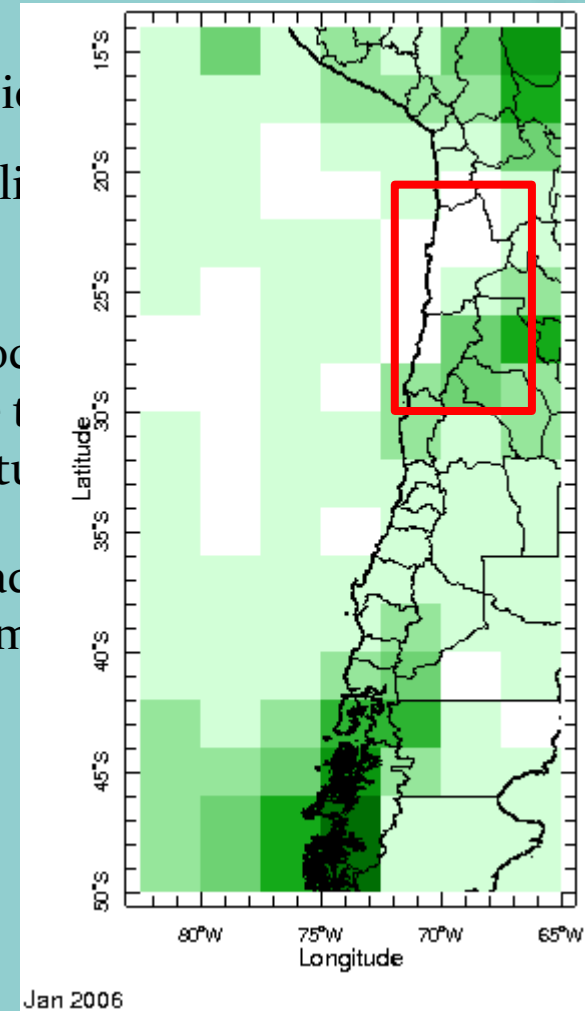
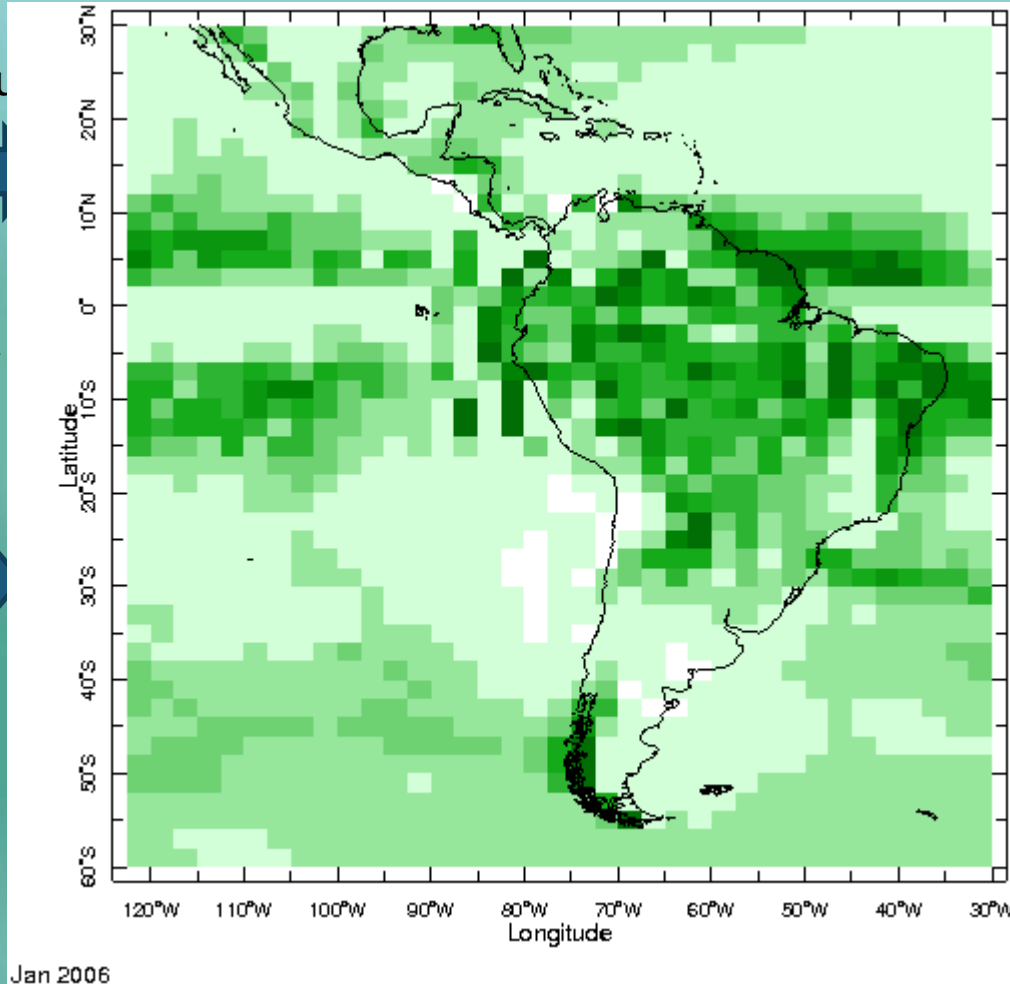
Como influye este proceso en el Marco de Modelación?

Reconocer que los oceanos actúan como una fuente, a través de sus “teleconnecciones” con climas terrestres, de las variaciones que pretendemos simular en las secuencias estocasticas.

Por lo tanto, no deberiamos estar sorprendido de encontrar que esta variabilidad tiene el carácter de ‘ruido rojo’ o si hay la variabilidad deterministica (estacional) está integrado en un proceso de ‘ruido rojo’.

Marco Teorico

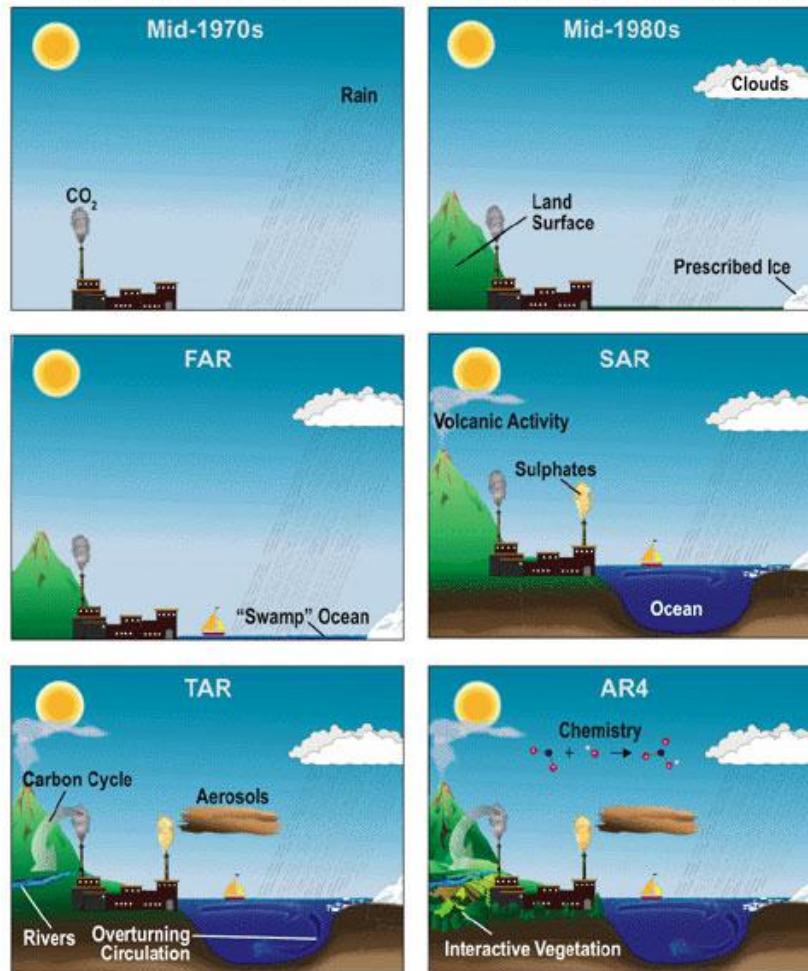
Rol de datos Observados – GCM's



Marco Teorico

Rol de datos Observados – GCM's

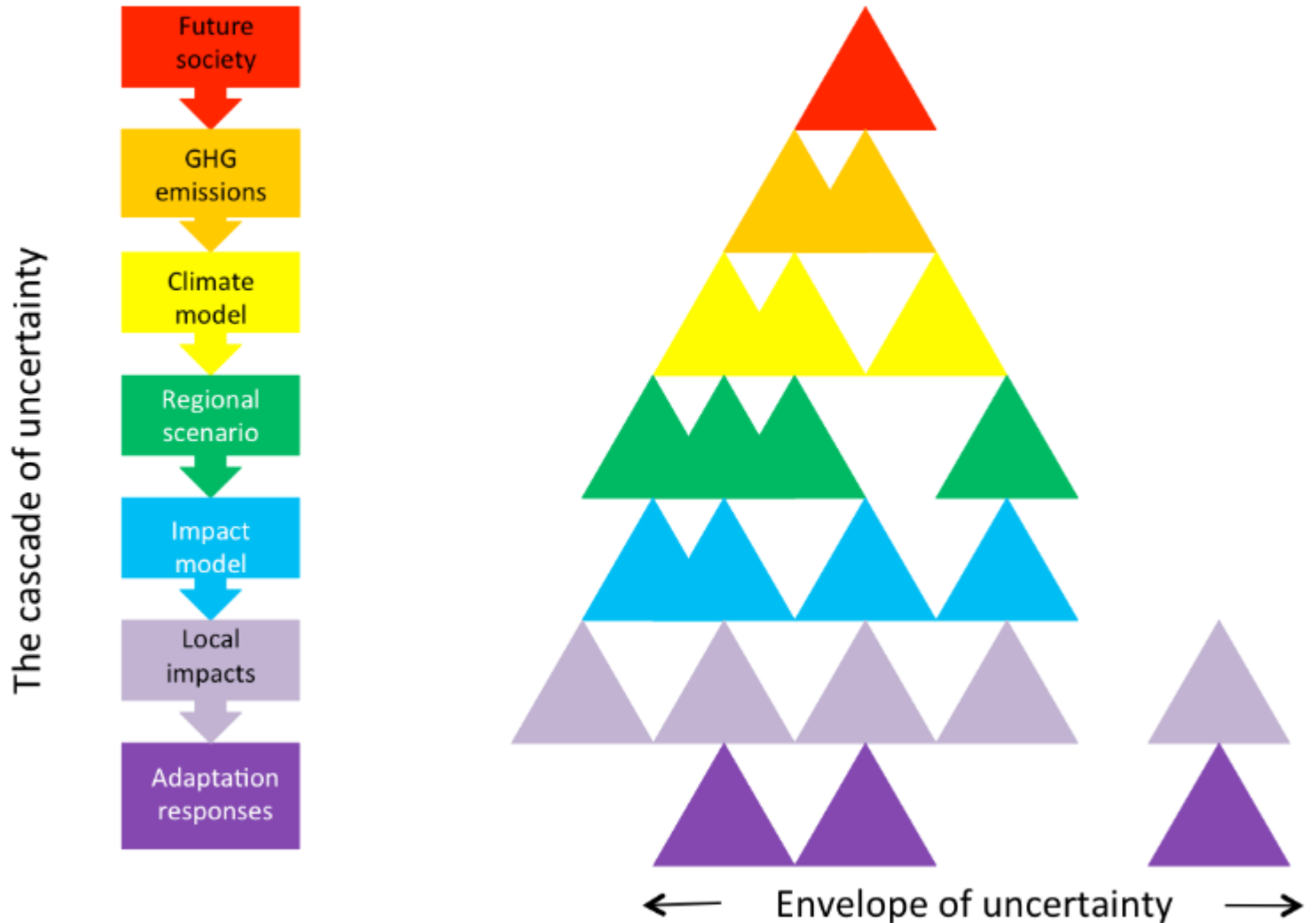
The World in Global Climate Models



Marco Teorico

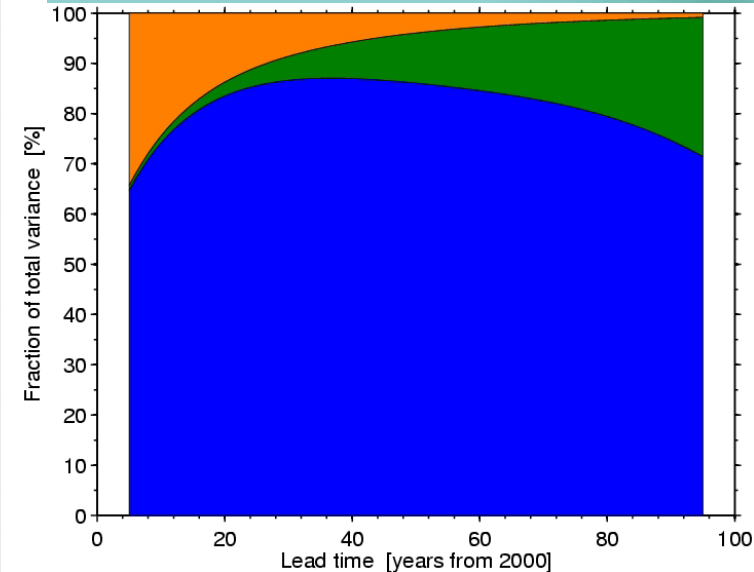
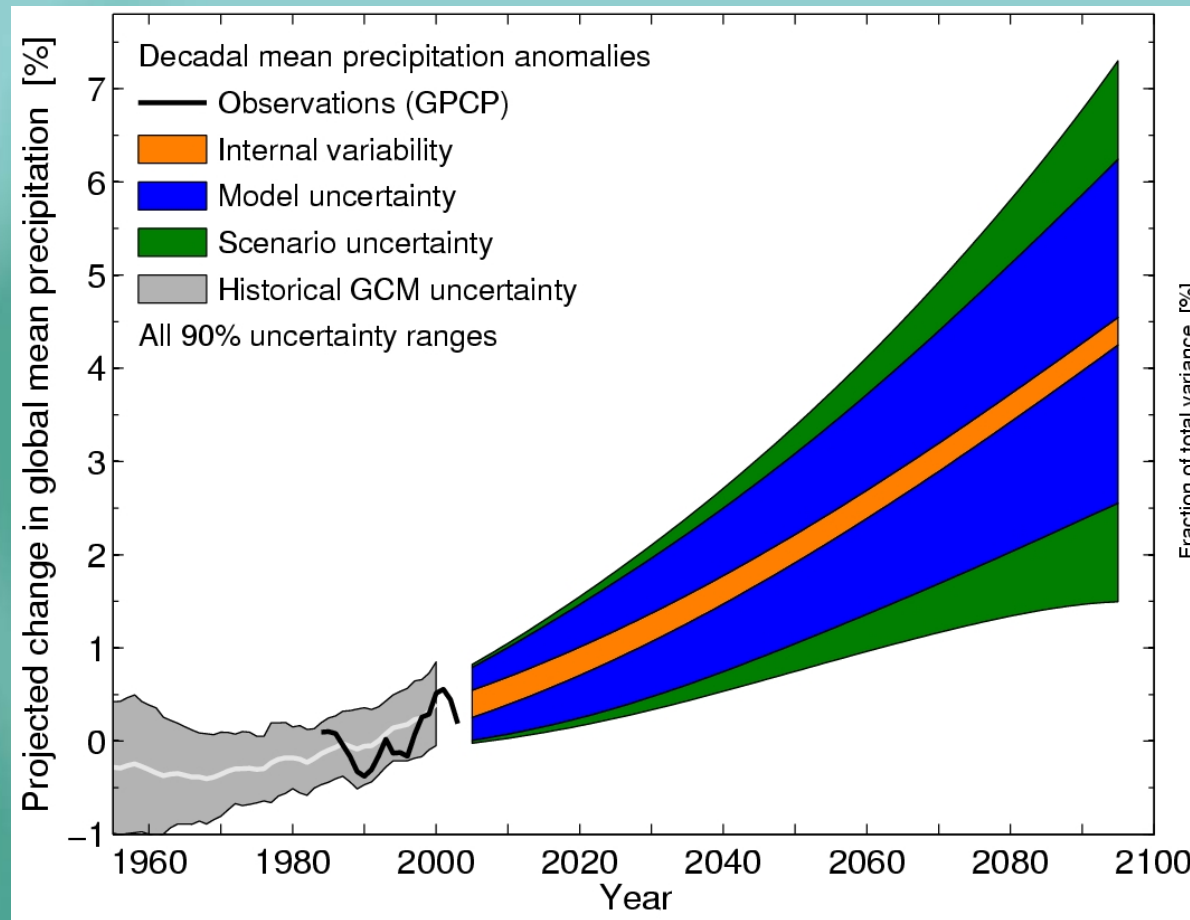
Decisiones?

temporal,
n gran



Marco Teorico

A corto plazo, la incertidumbre sobre la variabilidad interanual es la más importante

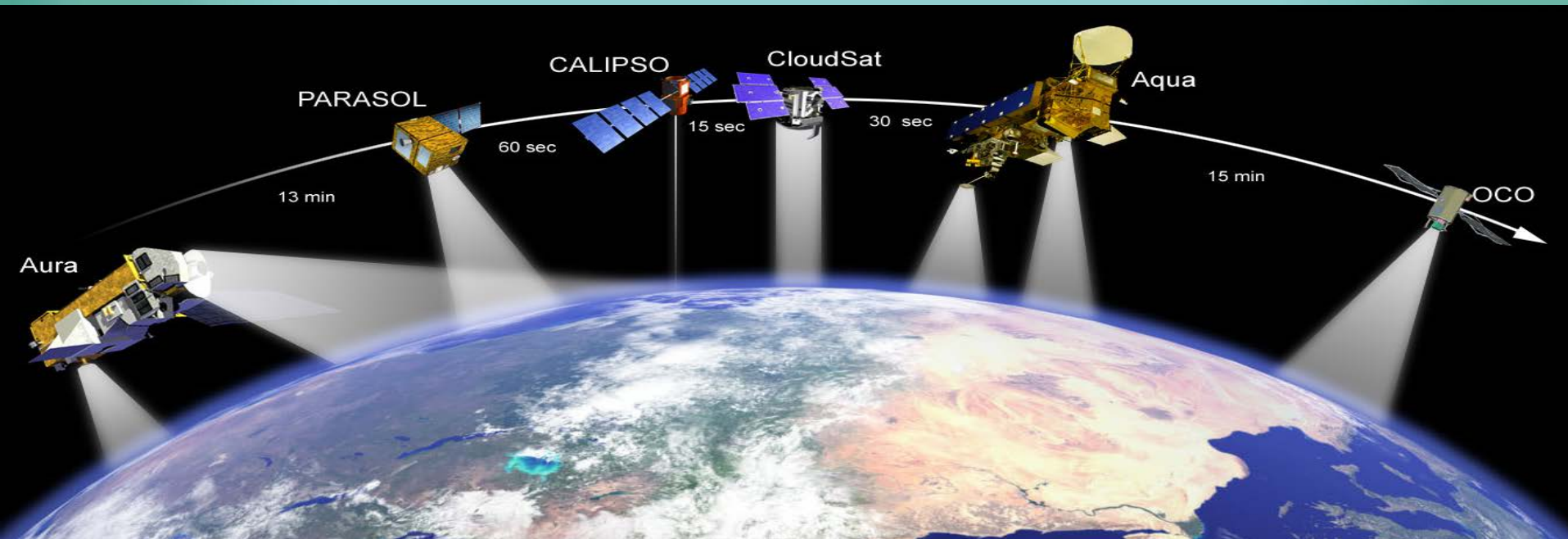


Hawkins & Sutton, 2010, Clim. D

Marco Teorico

Rol de datos Observados – Satelites

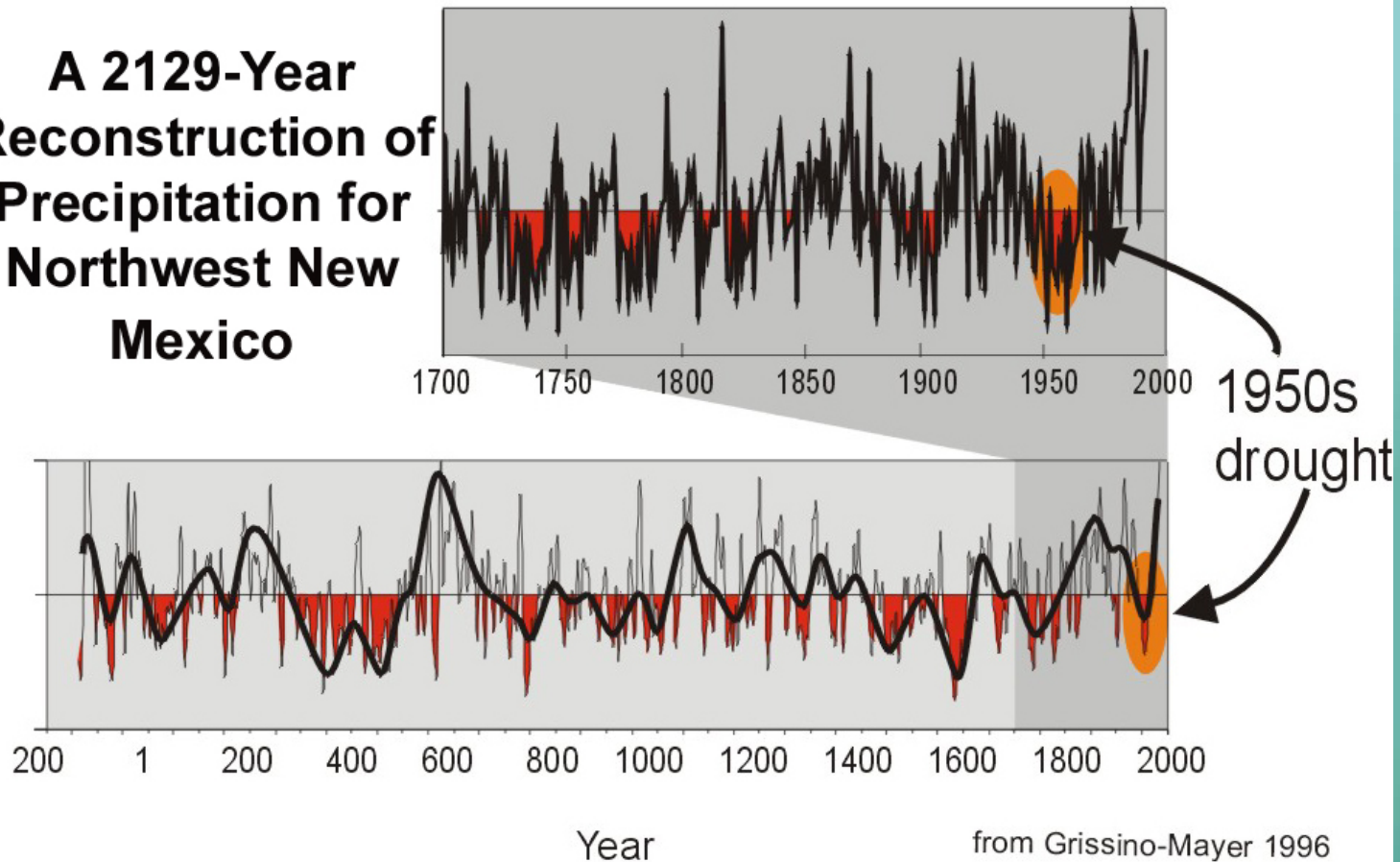
- Ampliamente disponible
- Alternativo limitado comparado con registros observados:
 - Se requiere un “ground truth” para su validación
 - Registros de satelite comienzan alrededor de 1979: demasiado corto para identificar señales decadales



Marco Teorico

Rol de datos Observados – Paleodata

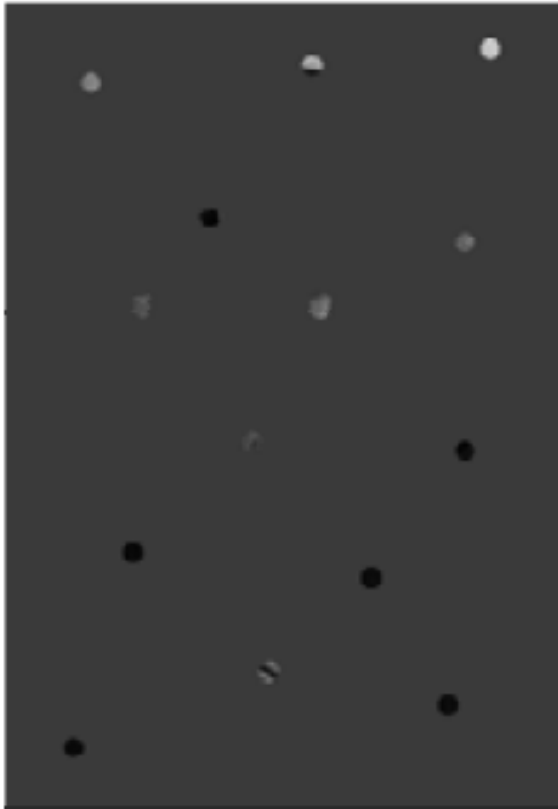
A 2129-Year Reconstruction of Precipitation for Northwest New Mexico



Marco Teorico

Rol de datos Observados - Importancia de cobertura espacial

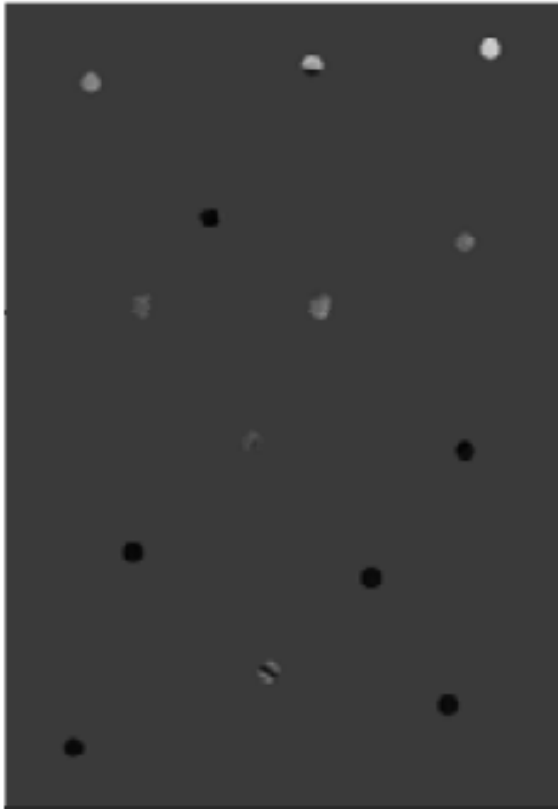
Point observations (rain gauges)



Marco Teorico

Rol de datos Observados - Importancia de cobertura espacial

Point observations (rain gauges)



Nature ?



A. Bardossy

I THOUGHT I WAS
INTERESTED IN UNCERTAINTY
BUT NOW I'M NOT SO SURE



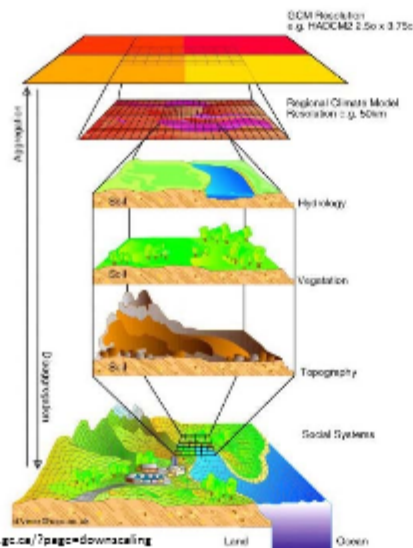
Top Down versus 'Decision Scaling'

Traditional Approach

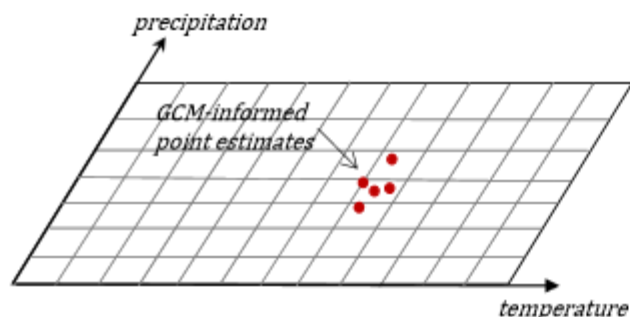
1. Downscale a few climate model projections

2. Generate a few water supply series

3. Determine whether system performance is acceptable for these series.



<http://www.cccan.cc.gc.ca/?page=downscaling>

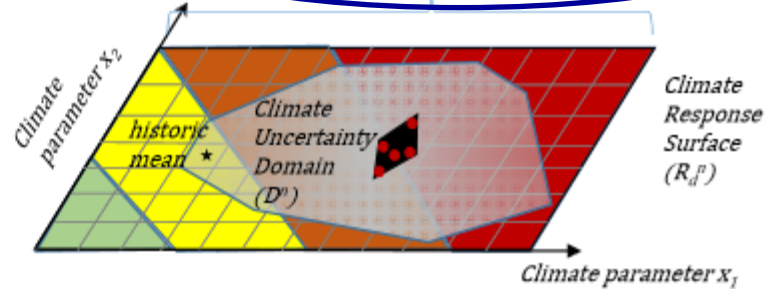
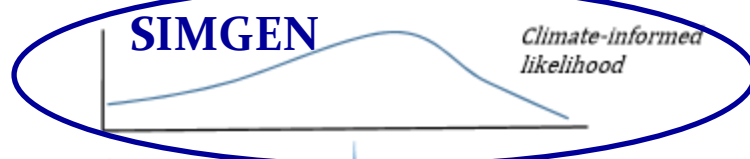


Expected Net Benefits (ENB)

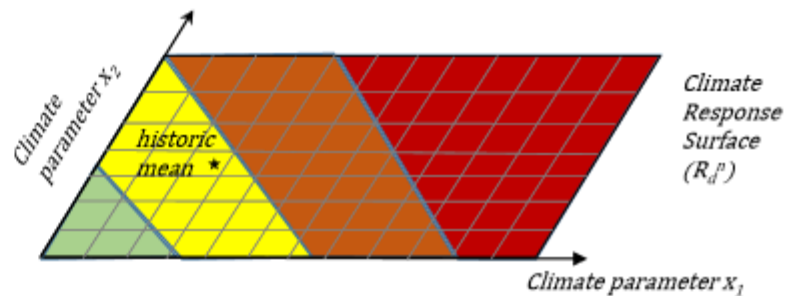
Decision Scaling

$$Risk\ to\ ENB = \sum_{s=1}^{\Omega} Impact \times Probability$$

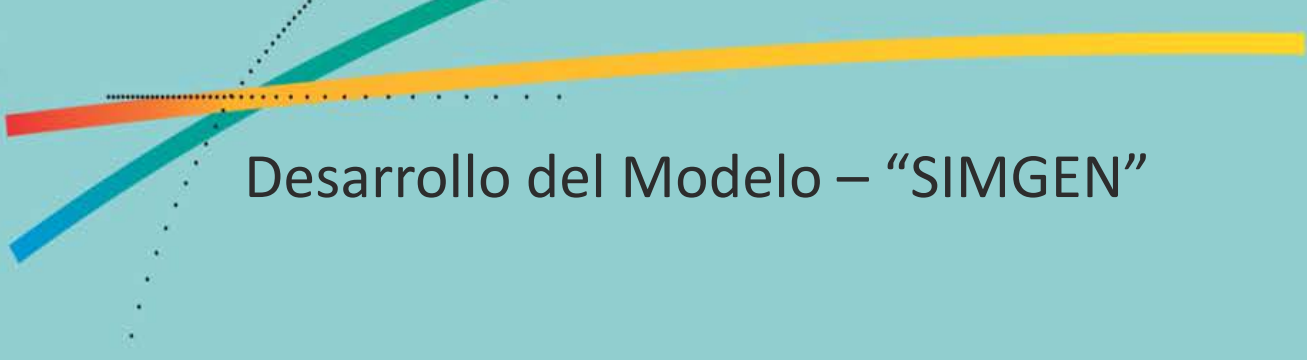
3. Determine climate risks to project performance



2. Map climate domain onto vulnerability domain



1. Determine the vulnerability domain



Desarrollo del Modelo – “SIMGEN”

TREND

DECADAL

INTER-ANNUAL

SUB-ANNUAL

Deterministico

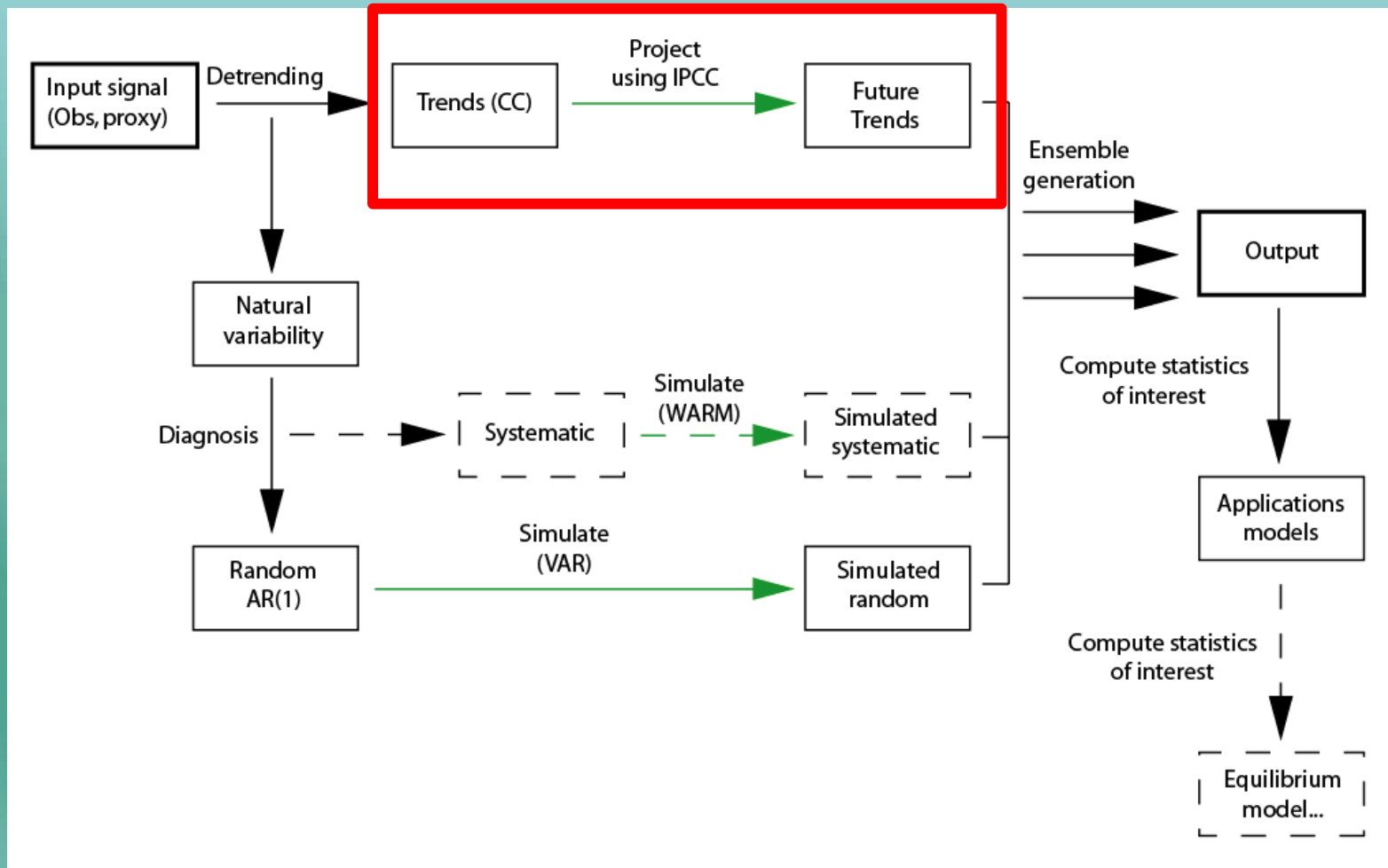
- 1 - Un componente ‘forzante’, expresado como tendencia largo-plazo y atribuido a influencia antropogenica
- 2 - Un componente de baja frecuencia, o componente decadal, reflejando variabilidad o forzada “natural”, intrinsico al sistema climático y asociado a las variaciones lentas caracteristicos de 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’(Ruido atmosférico con un carácter más ‘rojo’ debido a interacción con el oceano)

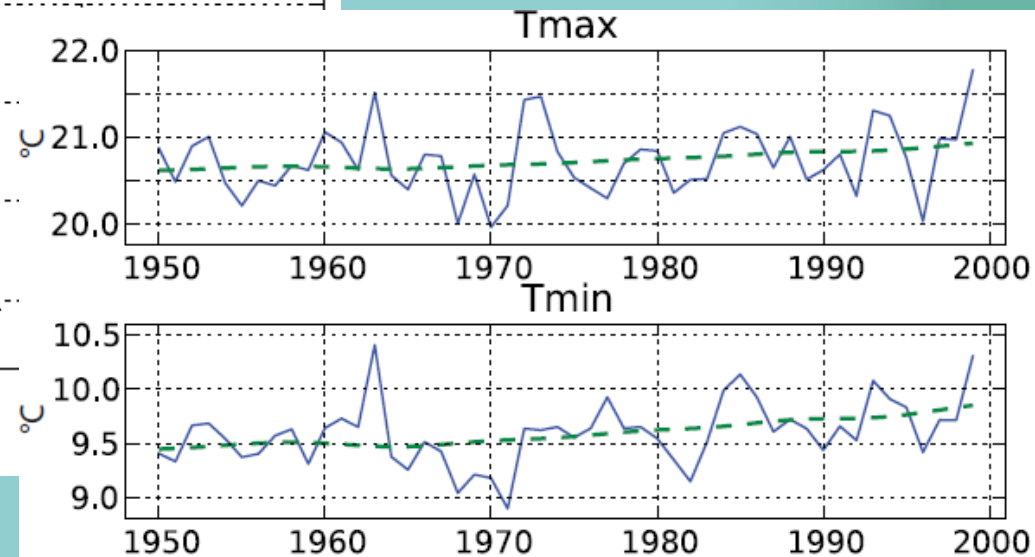
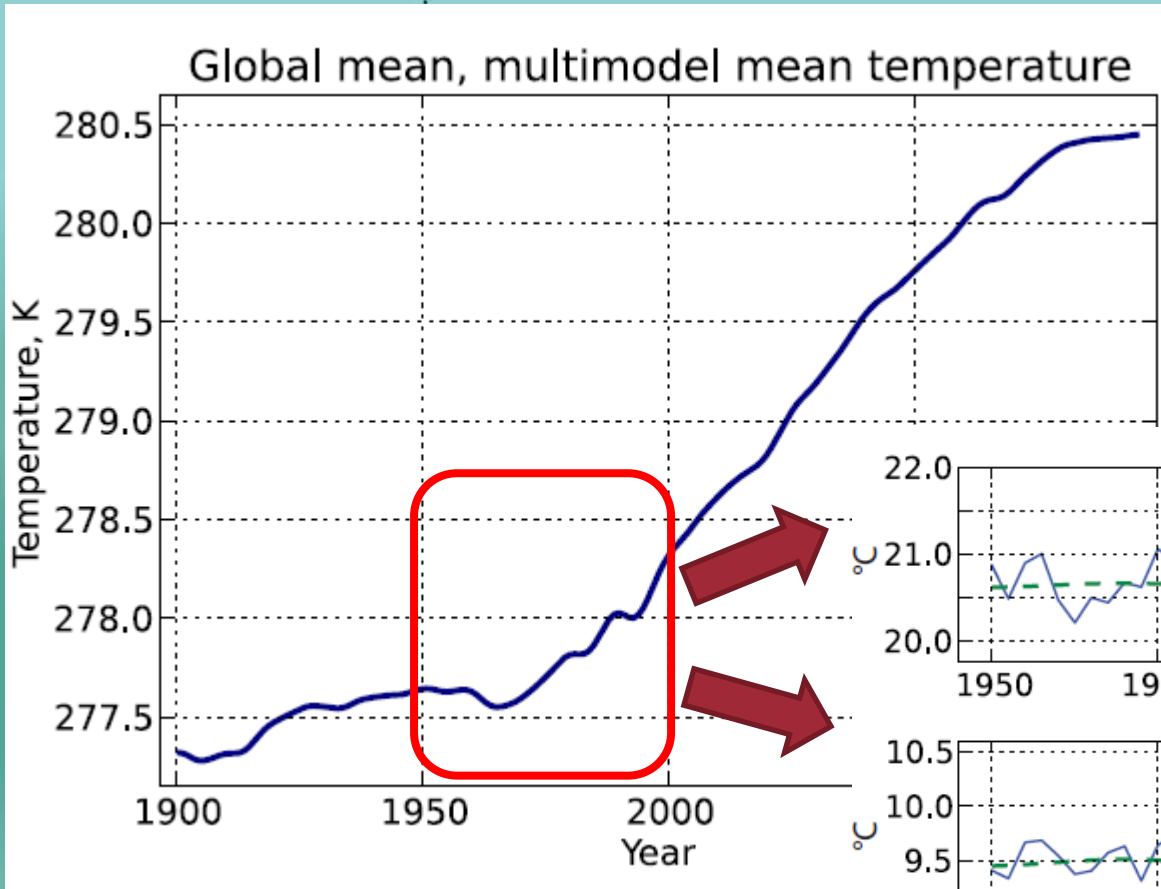
Metodología

Paso 1: Selección del componente de CC



El Marco de Modelamiento SIMGEN

Tendencia del Cambio Climático: Temperatura



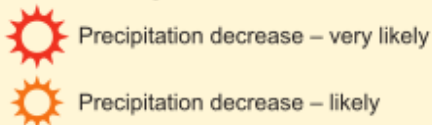
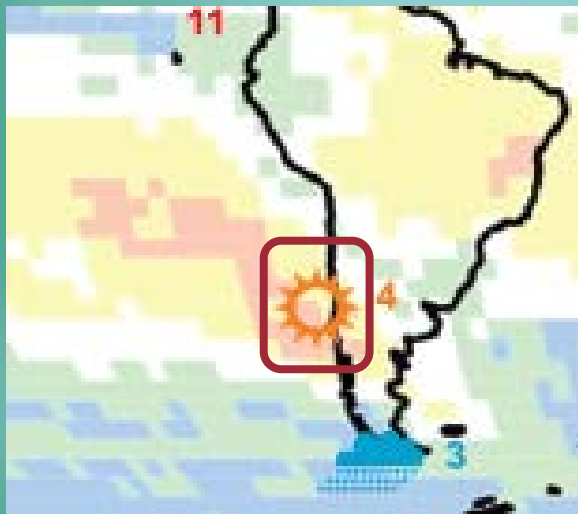
Parameterizar la tendencia en terminos de su *sensitividad climática*.

Tendencia del Cambio Climático : Precipitación

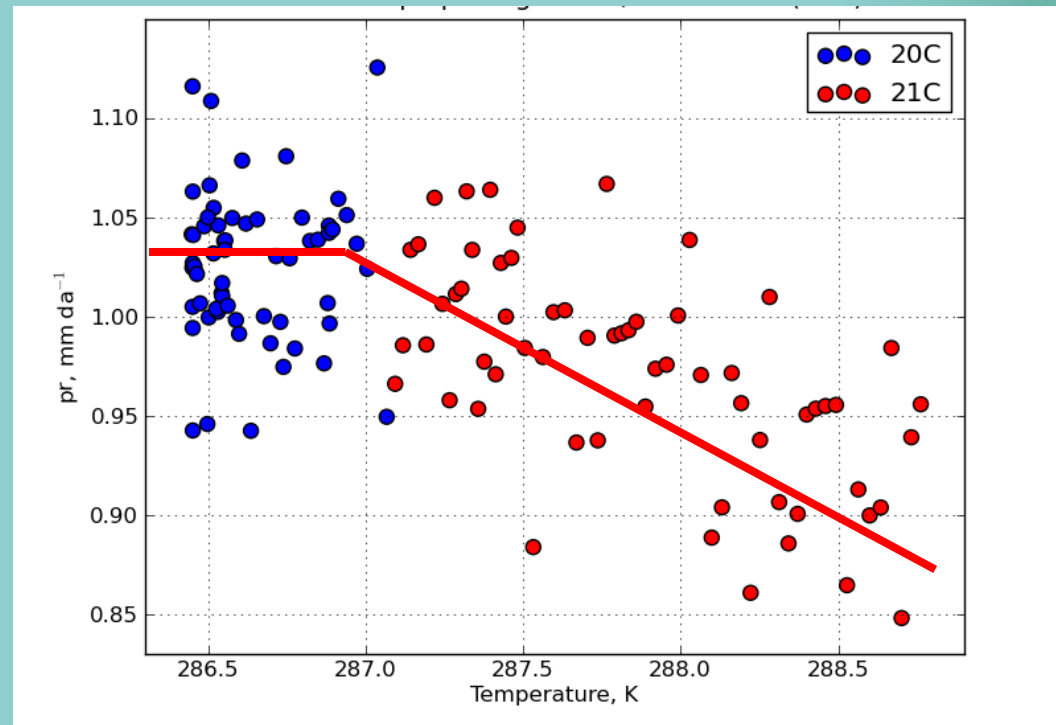
Chile – En cual siglo confiamos?

Respuesta de precipitación al cambio de la temperatura global promedio:

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



IPCC, 2007



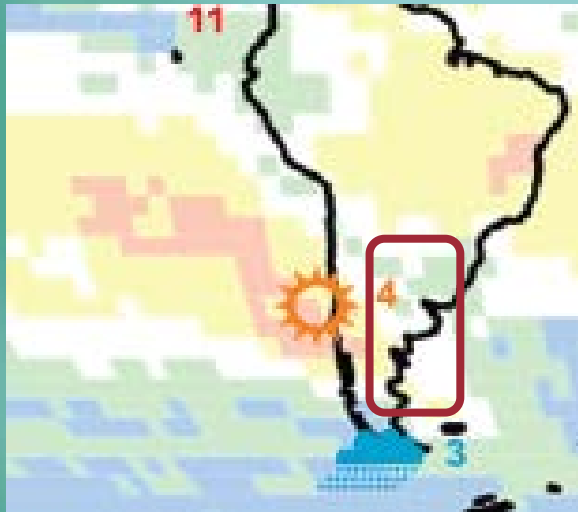
Tendencia en términos de su *sensitividad climática*

Tendencia del Cambio Climático : Precipitación

SESA – Consistente entre los siglos

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

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

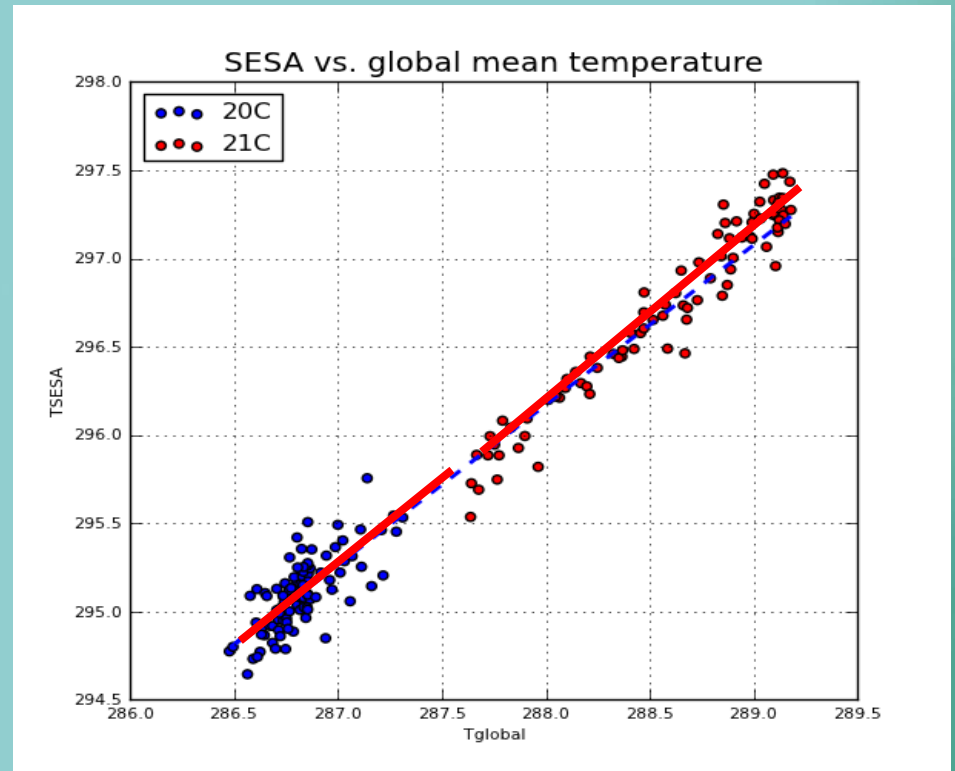


Precipitation decrease – very likely



Precipitation decrease – likely

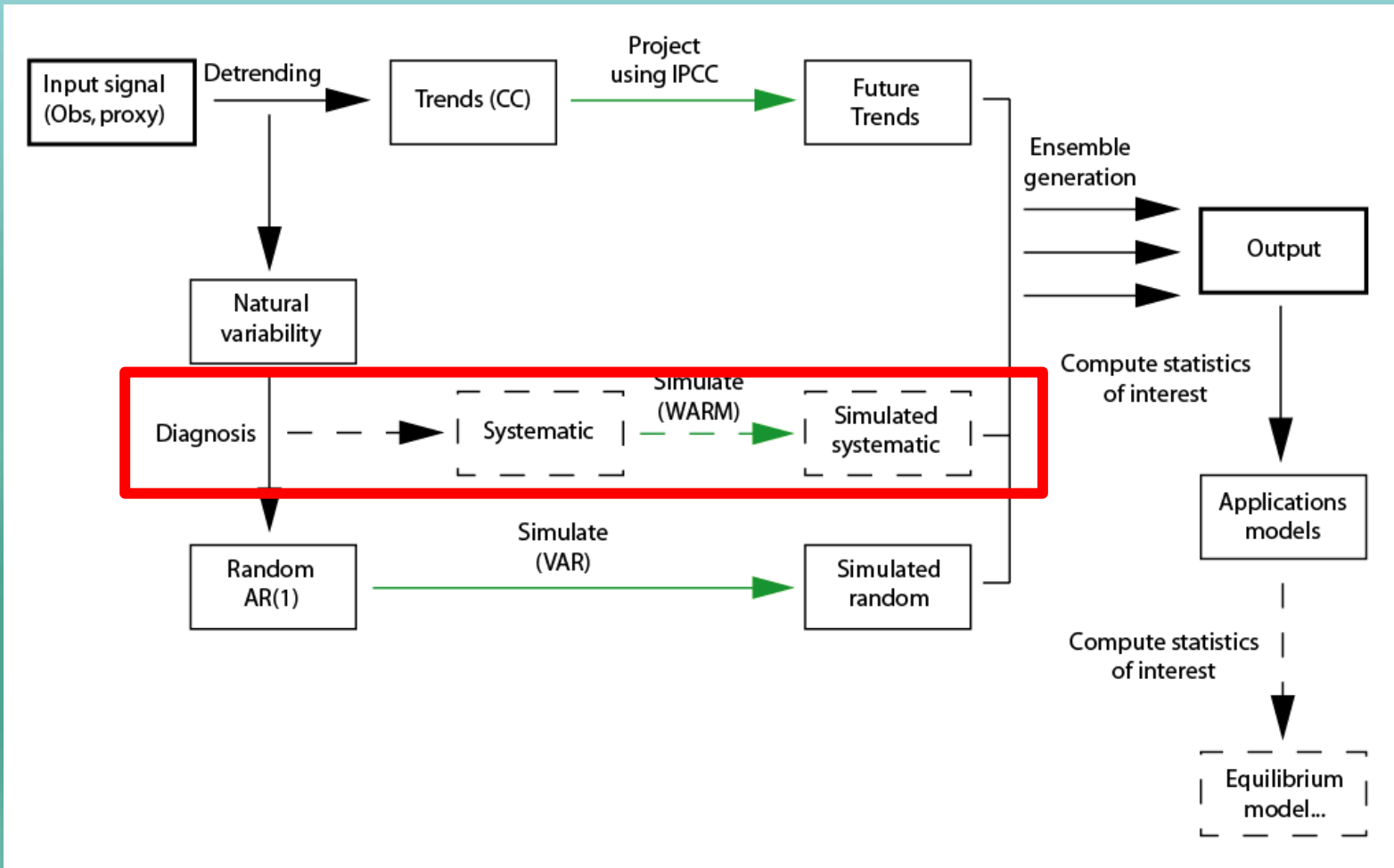
IPCC, 2007



Trend in terms of *temperature sensitivity*

Metodología

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

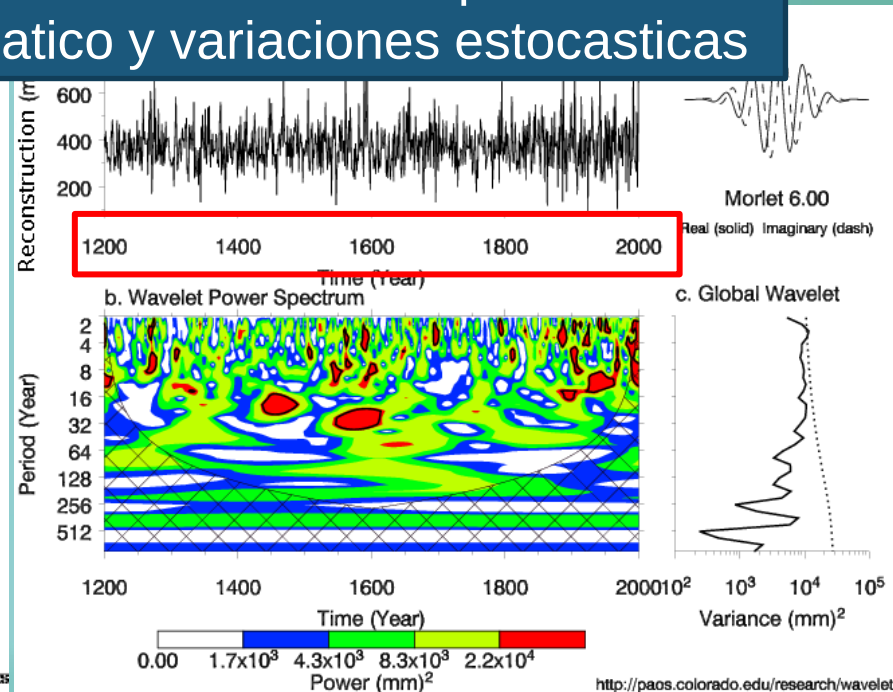
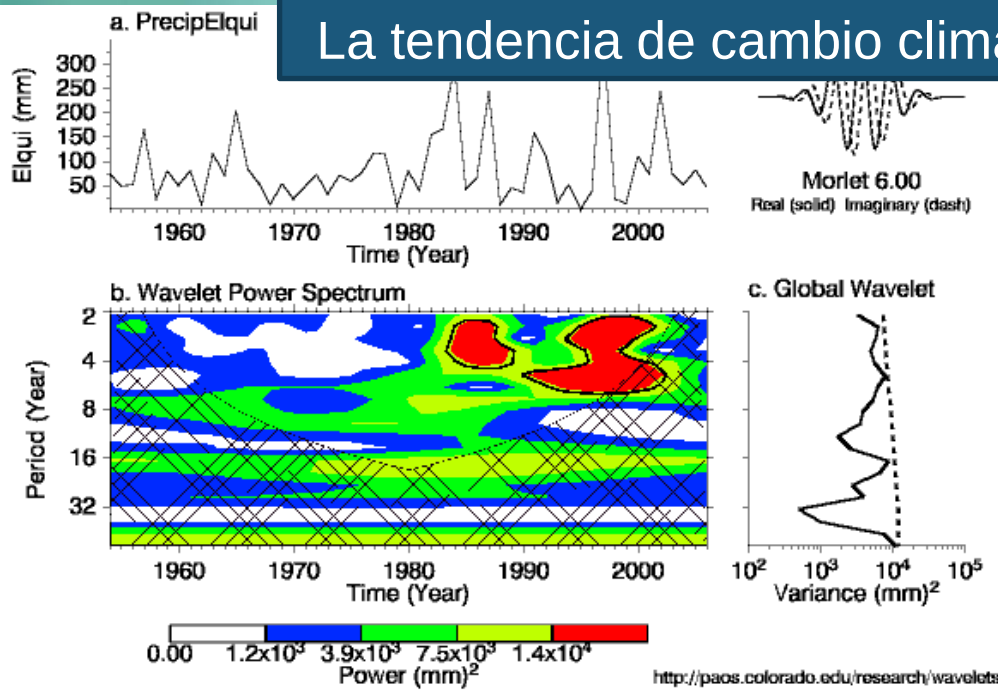


Cómo encontramos patrones decadales determinísticos ?

(Componente 'opcional', actualmente no considerado)

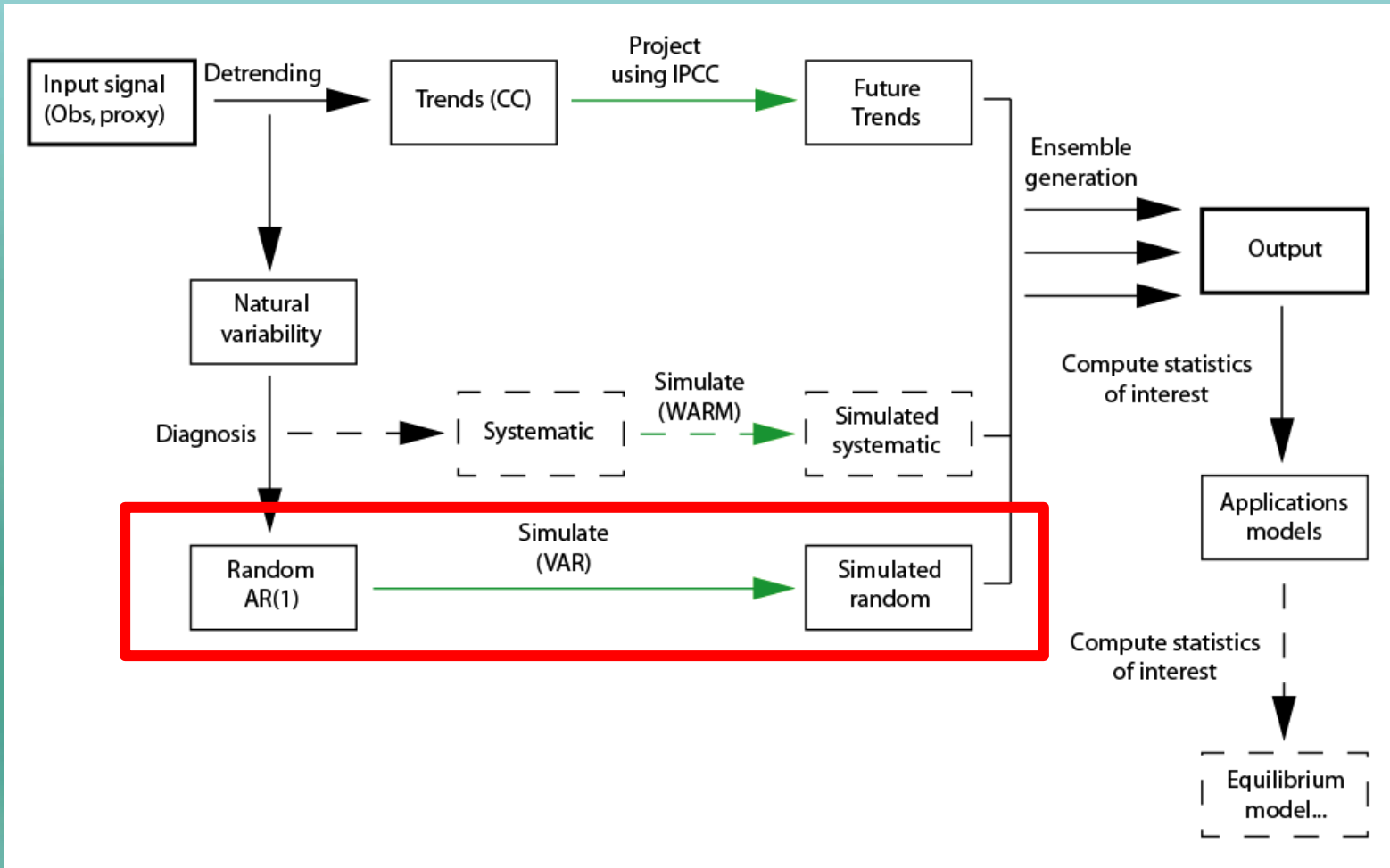
- (Schulz, Boisier and Aceituno, 2011) - Regarding the interannual variability, rainfall seems to be modulated to a large extent by ENSO, while the pronounced low-frequency changes during the past century appears to be linked to the Interdecadal Pacific Oscillation.
- Espectra 'Wavelet' de la precipitación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

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

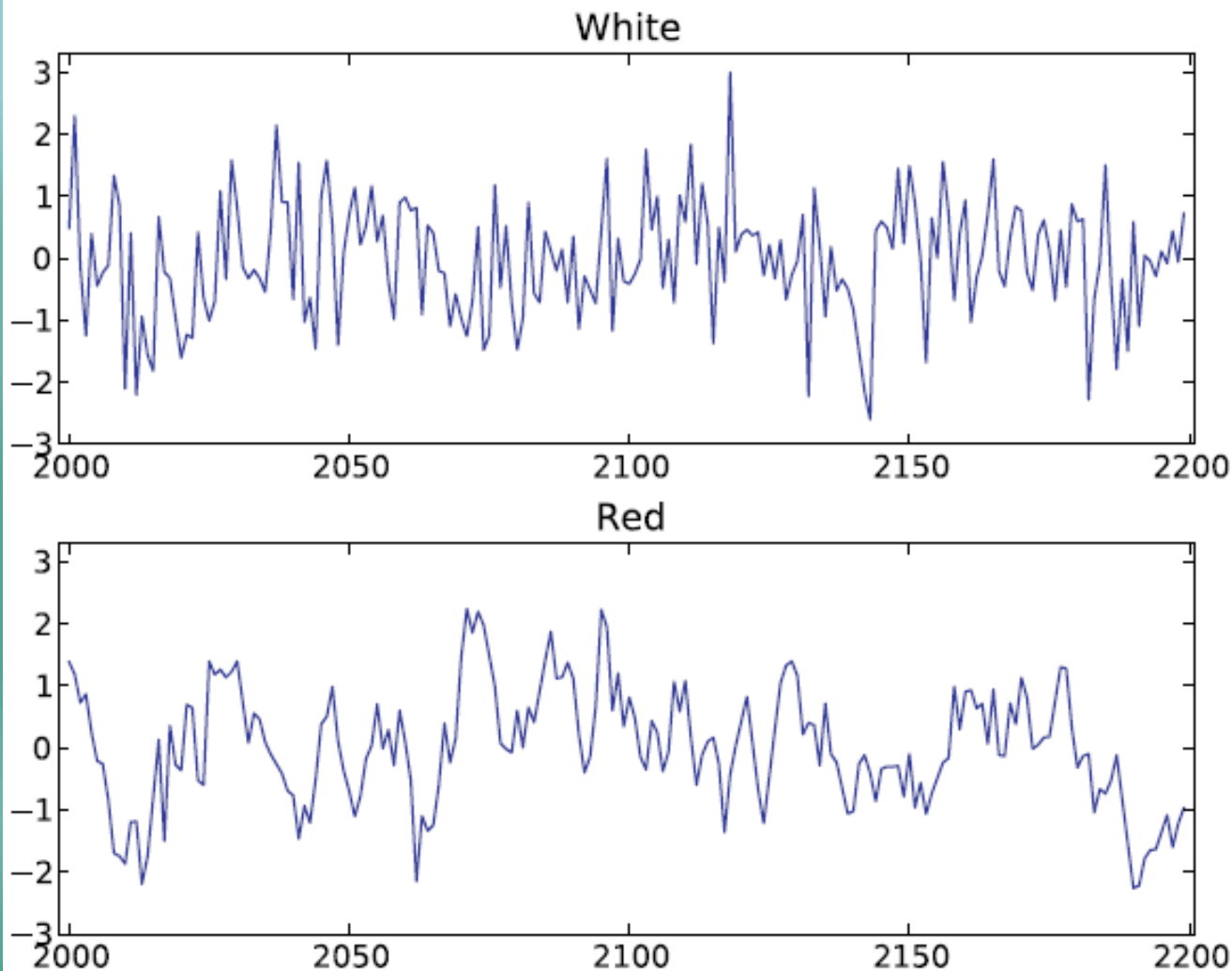


Metodología

Paso 3: Selección del componente decadal *estocástico*



Modelo Vector Autoregresivo (VAR)



Variabilidad Aleatorio
(tipo 'precip')

Alguna 'memoria'
(tipo 'temperatura')



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

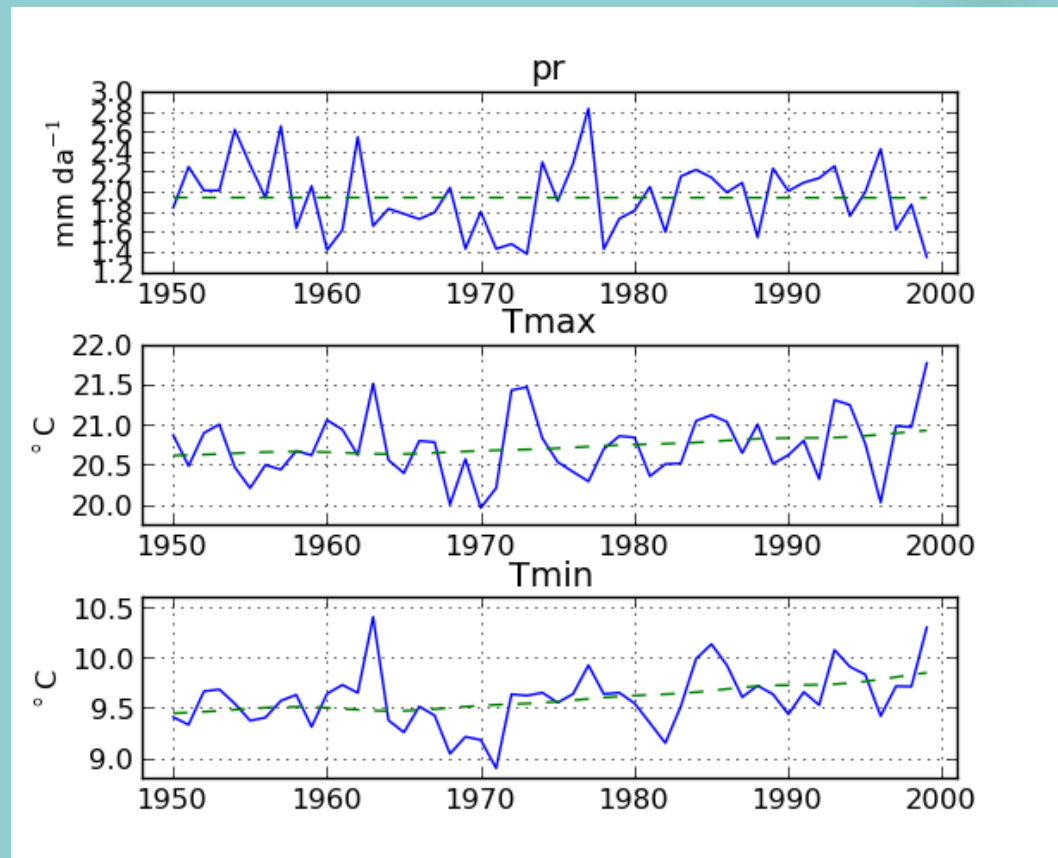
	pr	Tmax	Tmin
pr	1.000		
Tmax	-0.447	1.000	
Tmin	0.068	0.733	1.000

Simulation

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

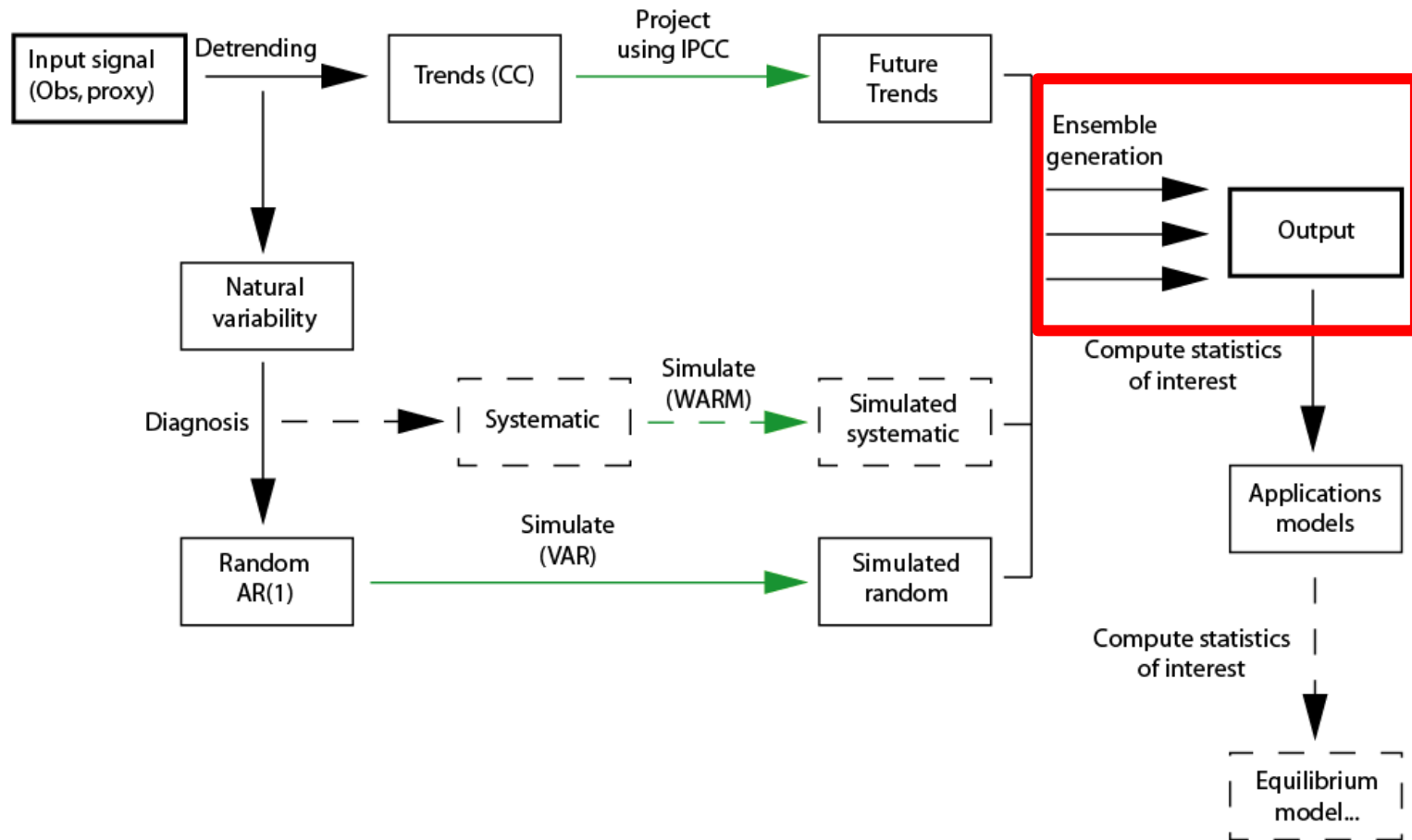
Autocorrelación Serial

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

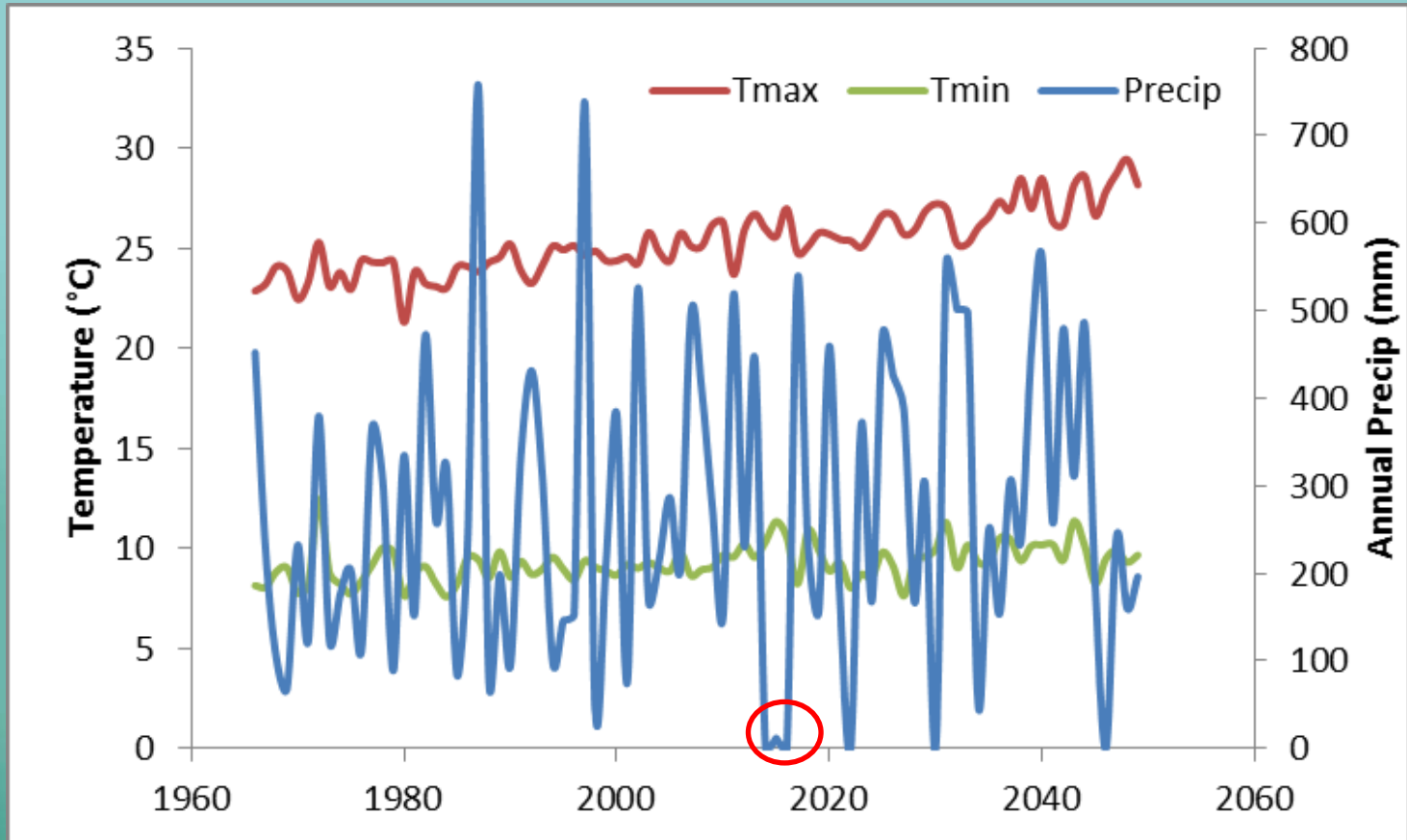


Methodology

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



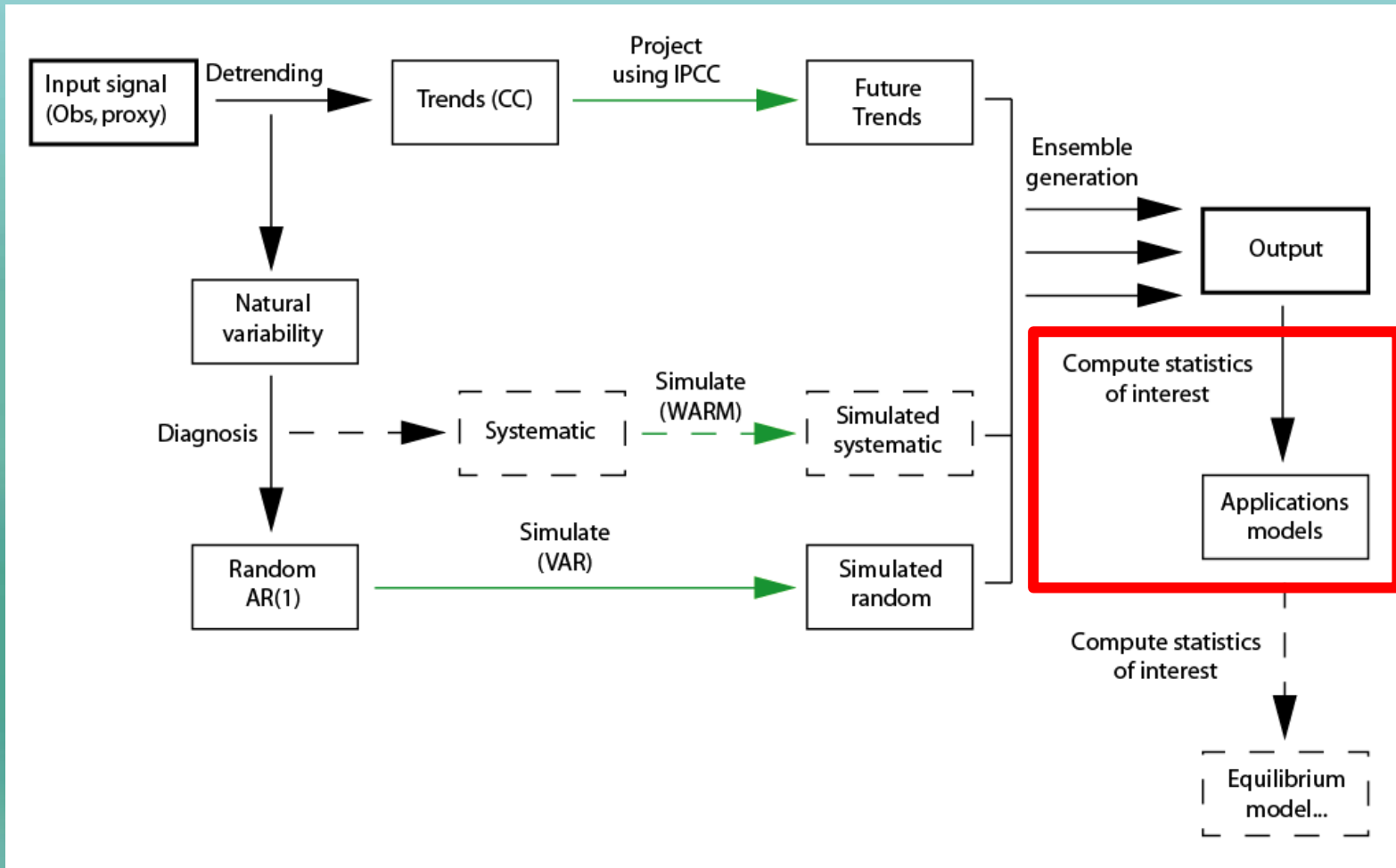
‘Downscaling’ de las simulaciones a nivel local



- 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**





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



Flanders
State of the Art

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

Koen Verbist
UNESCO-PHI



Arthur Greene
International Research Institute
for Climate and Society

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