



UNIVERSIDAD  
MARIANO GÁLVEZ

# Índices de cambio climático Modelación Climática Escenarios de Cambio Climático

Dr. Paris Rivera

Guatemala, Febrero de 2021

# Introducción

- La observación meteorológica sirve de insumo para varias acciones que ayudan a evaluar el comportamiento meteorológico y climático.
- También sirven para estimaciones del clima futuro a mediano y largo plazo.
- Para ello se utilizan herramientas estadísticas , físicas y matemáticas que con la ayuda de procesos computacionales permiten pronosticar condiciones meteorológica, climática y la generación de escenarios de cambio climático.

# Objetivos:

1. Presentar los cambios en el clima que se han detectado a través de los Índices de Cambio climático.
2. Proporcionar una aproximación de lo que es la modelación climática.
3. Presentar los escenarios de cambio climático para Guatemala.

# 1.) Índices de Cambio Climático

Para detectar algunas señales (evidencias) de cambio climático en Guatemala, se han analizado series históricas de información de precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima, con datos desde de la década de los setenta), utilizando el programa RCLIMDEX.

# Conceptos y definiciones

- Índice de CC: Señales de cambio climático regional, específicamente en lo referente a los extremos meteorológicos desde el punto de vista climático.

# Resumen de los 27 índices básicos de cambio climático del ETCCDI

Índice	Descripción del índice
CDD	Días secos consecutivos
CSDI	Duración de los períodos fríos
CWD	Días húmedos consecutivos
DTR	Rango diario de temperatura
FD	Días con helada
GSL	Estación de crecimiento
ID	Días con hielo
PRCPTOT	Precipitación total anual
R10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm
R20mm	Días con lluvia mayor a 20 mm
R95p	Días muy húmedos
R99p	Días extremadamente húmedos
Rnnmm	Días con lluvia mayor a nn
RX1day	Precipitación máxima en 1 día

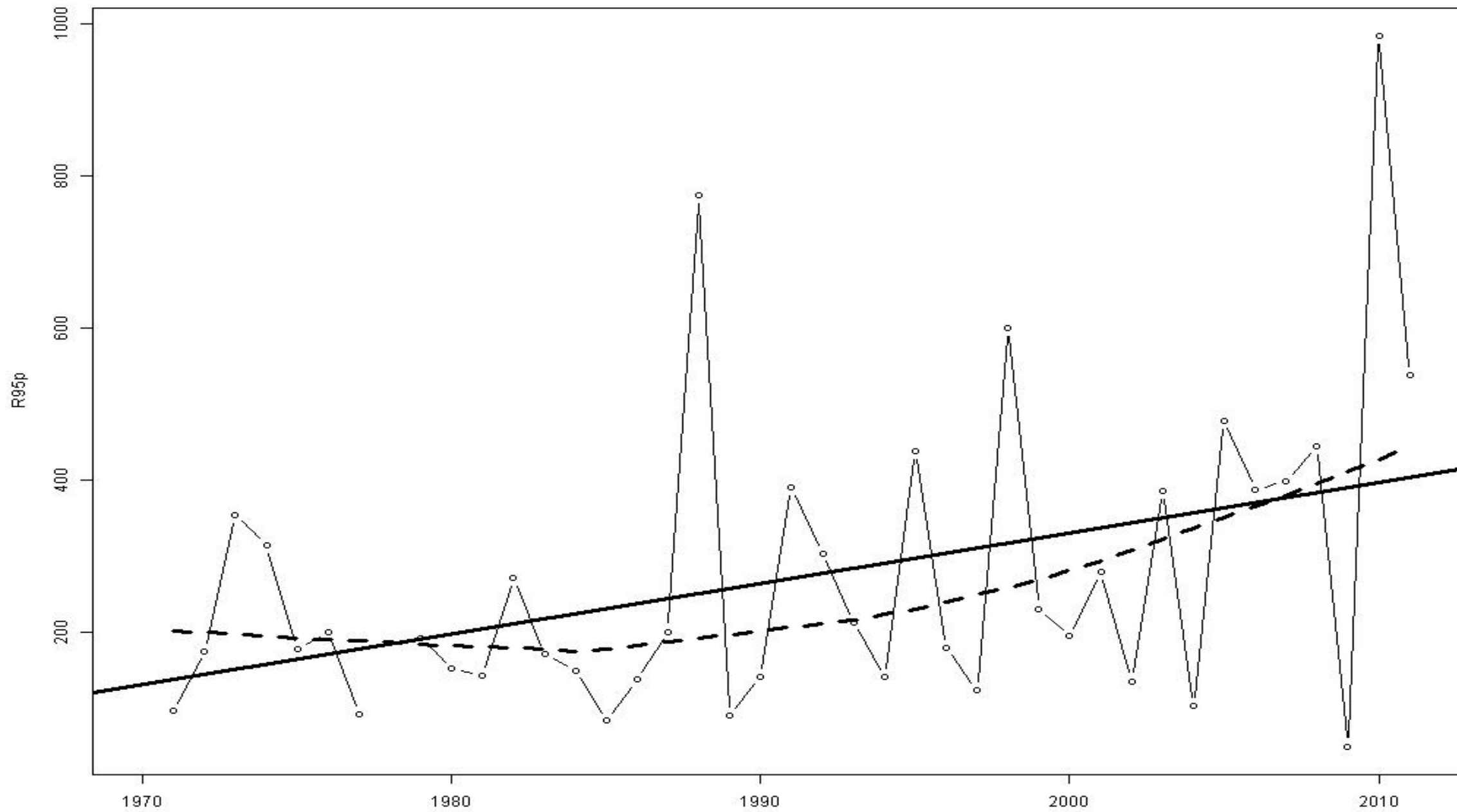
Índice	Descripción del índice
RX5day	Precipitación máxima en 5 días
SDII	Índice simple de intensidad diaria
SU	Días de verano
TN10p	Noches frías
TN90p	Noches cálidas
TNn	Temperatura mínima extrema
TNx	Temperatura mínima más alta
TR	Noches tropicales
TX10p	Días frescos
TX90p	Días calurosos
TXn	Temperatura máxima más baja
TXx	Temperatura máxima extrema
WSDI	Duración de los períodos cálidos

# RClimdex

**Un ejemplo del tipo de gráficas producidas por Rclimdex en formato .jpg, en este caso para el índice de días muy húmedos (R95p). (mm)**

- La línea unida por pequeños círculos corresponde al índice anual de días muy húmedos,
- la línea recta continua es un ajuste de tendencia por mínimos cuadrados y
- la línea punteada un ajuste de regresión lineal localmente ponderada.

# R95p INSIVUMEH



R2= 16.1 p-value= 0.01 Slope estimate= 6.619 Slope error= 2.454

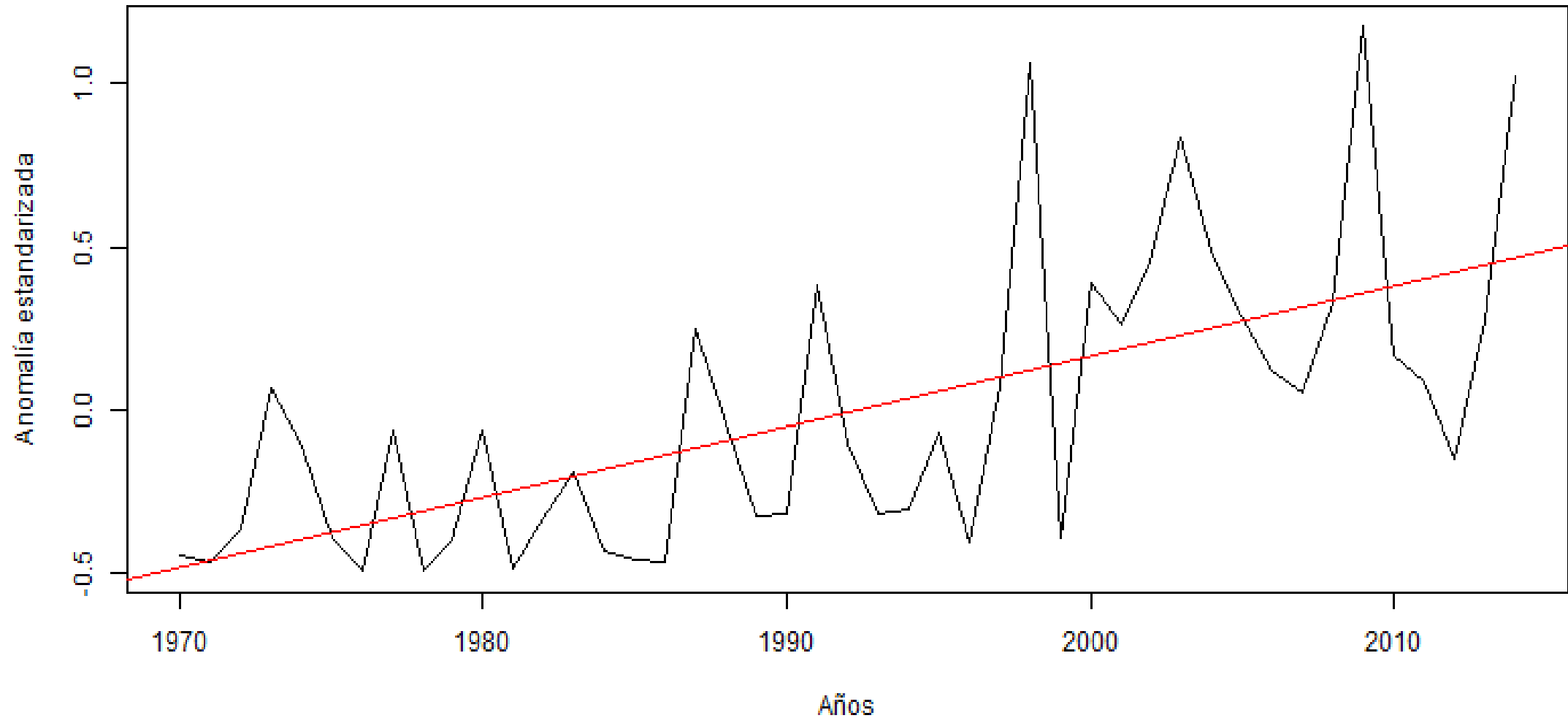


# Temperatura

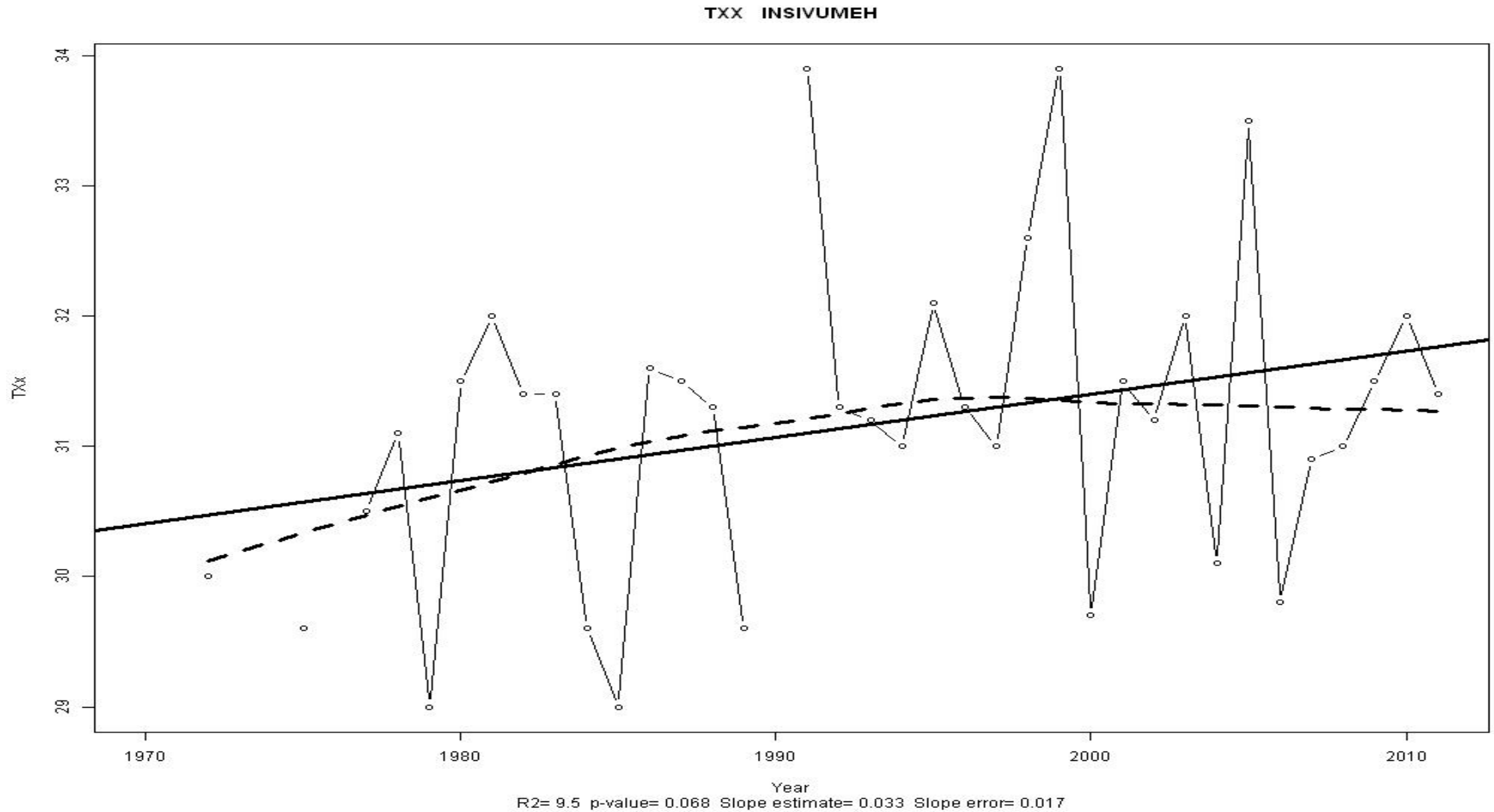
- WSDI (Periodos cálidos) (6 o mas días consecutivos arriba del percentil 90).
- TXX Valor máximo de temperatura en el mes
- CSDI Duración de Periodos Fríos(6días o mas consecutivos cuando la temperatura mínima es menor al 10mo percentil.)
- TX10P Días Fríos: Porcentaje de días cuando la temperatura máxima fue menor al 10mo percentil.

# Periodos Cálidos (días)

**Tendencia nacional de la duración de periodos cálidos**

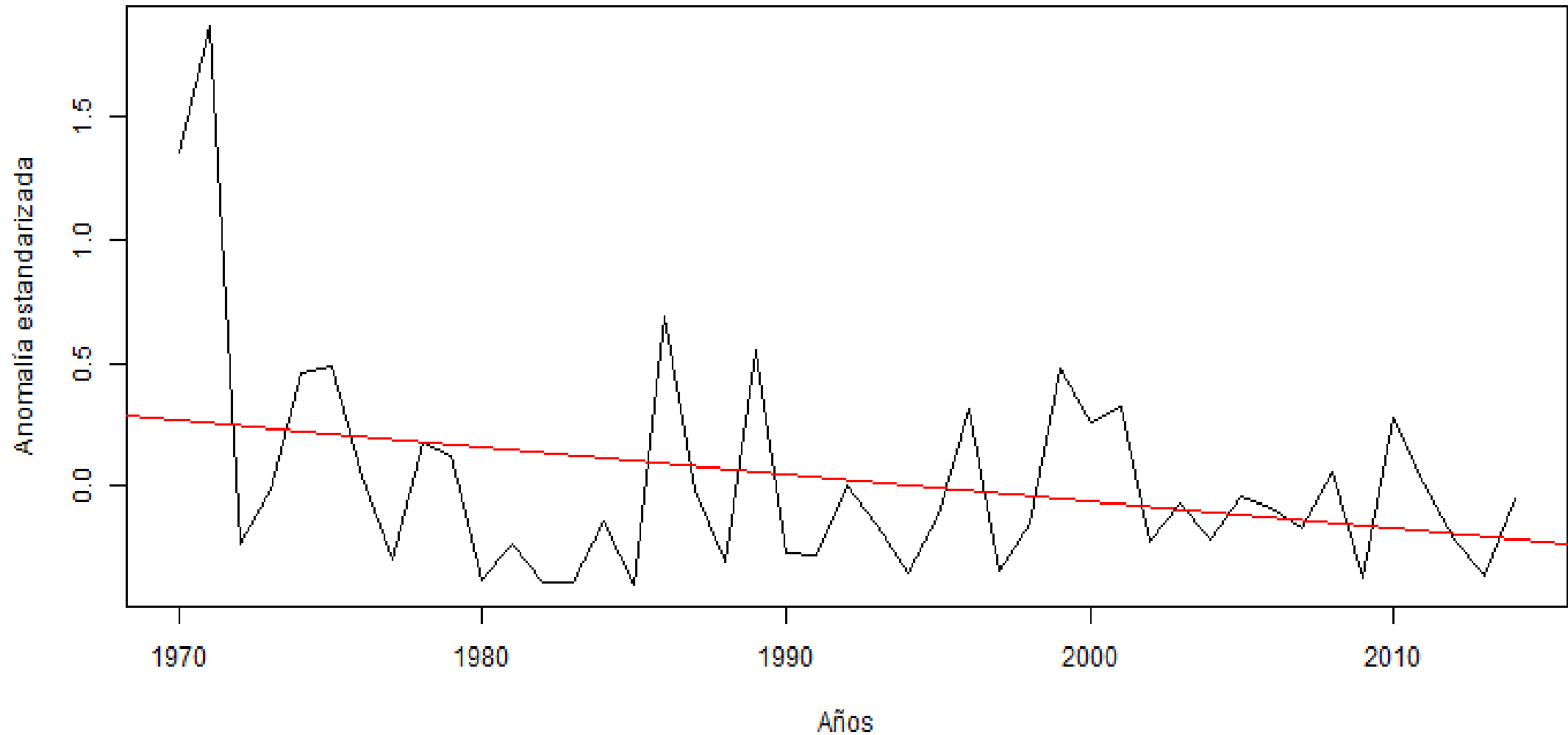


# Temperatura máxima (c°)



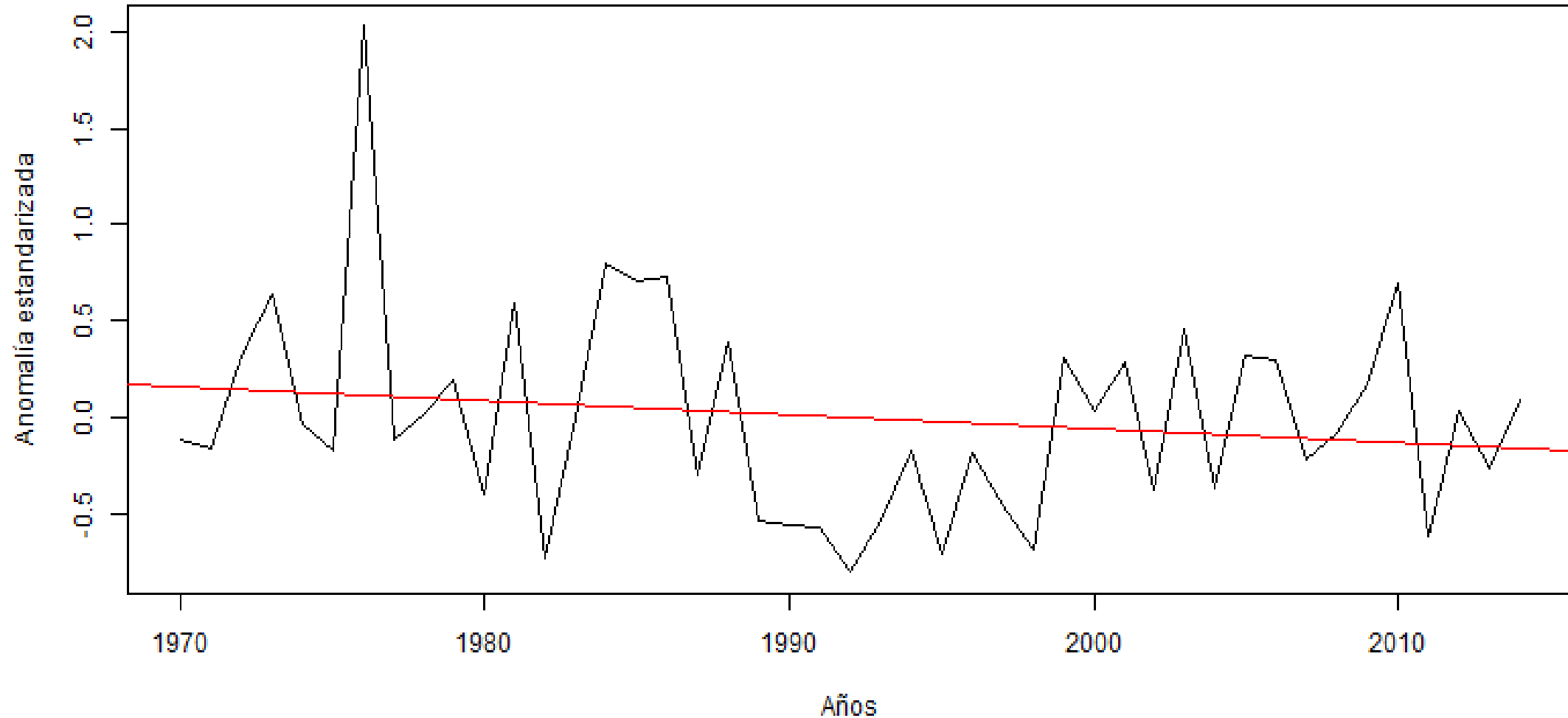
# Periodos Fríos (días)

Tendencia nacional de la duración de periodos fríos



# TX10P Días Fríos %

Tendencia nacional de días frescos

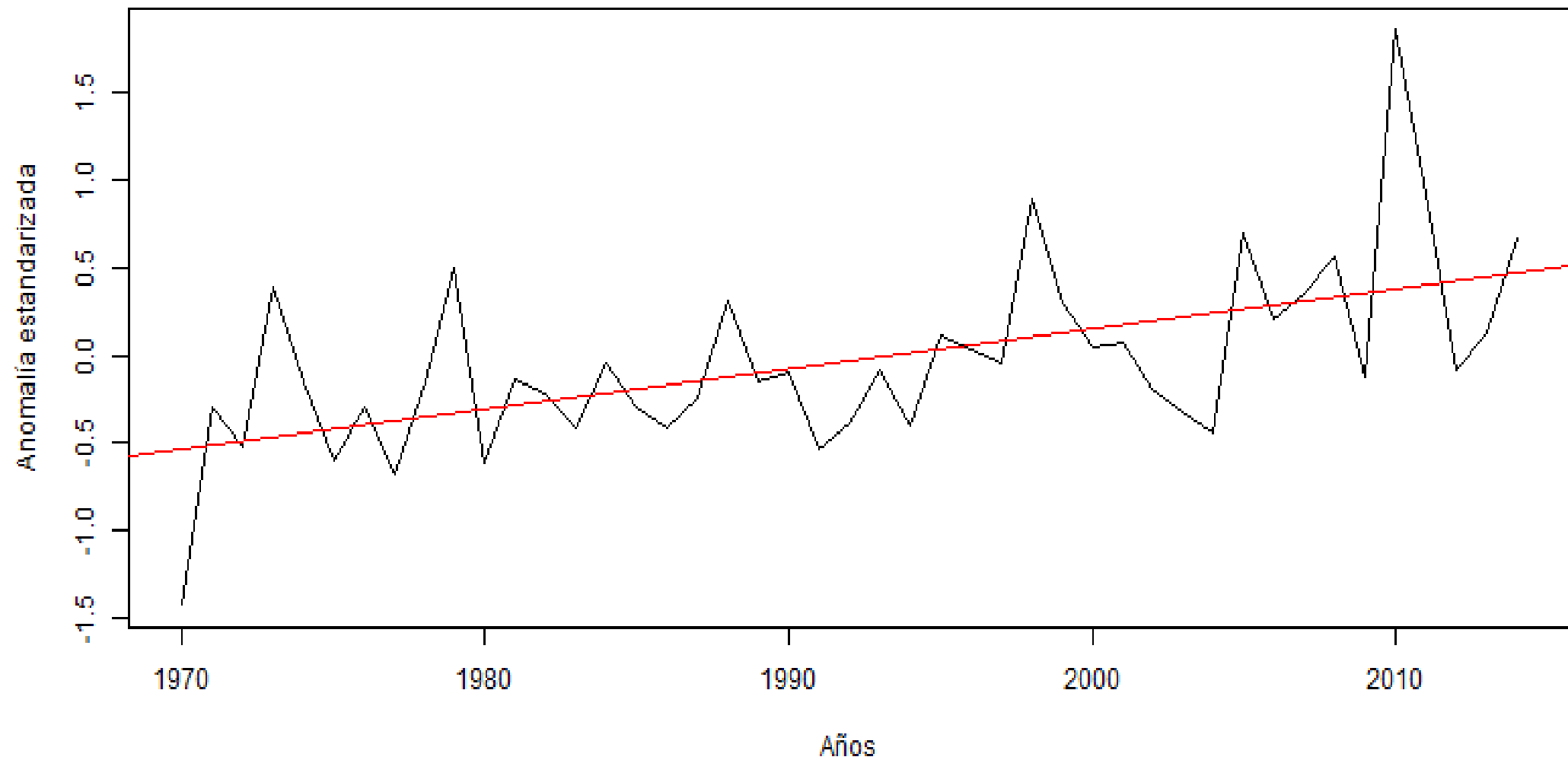


# Precipitación

- SDII Intensidad diaria
- R99P Días extremadamente lluviosos
- RX5day Precipitación máxima en 5 días
- PRCPT Precipitación total anual.

# Intensidad diaria (mm/día)

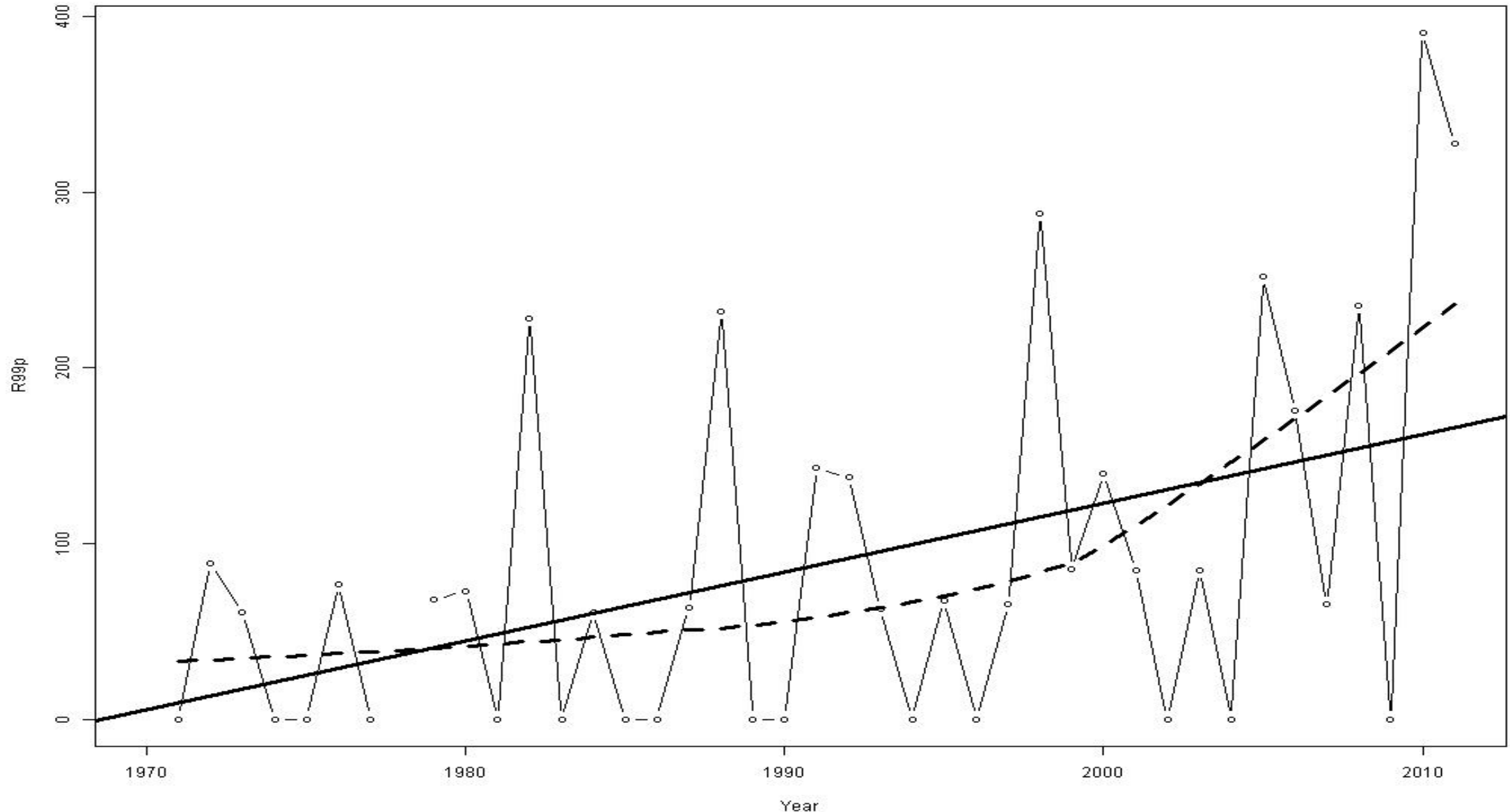
**Tendencia nacional del índice simple de intensidad diaria de lluvia**



# R99P Días extremadamente lluviosos

(mm)

R99p INSIVUMEH

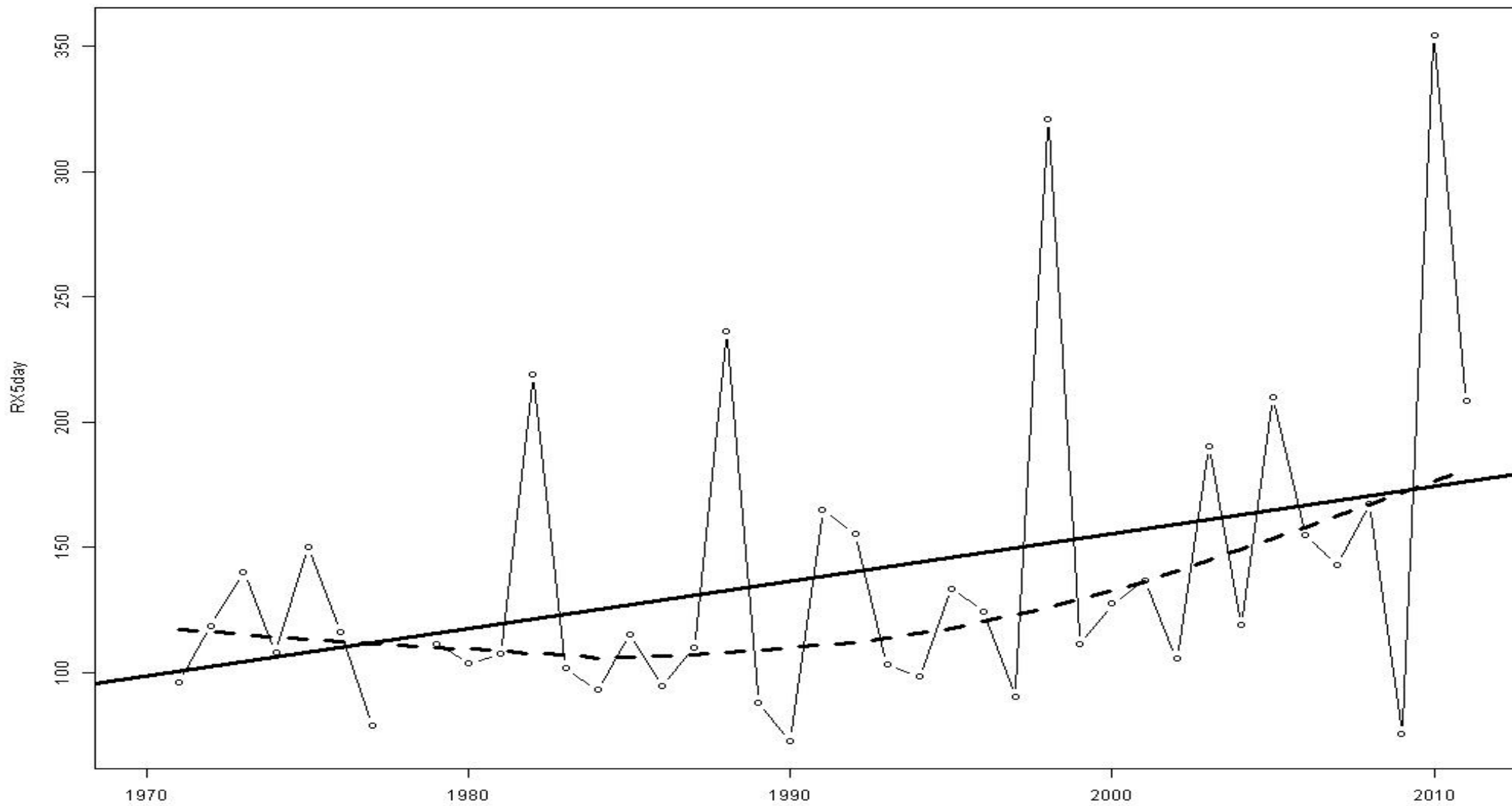


$R^2 = 20.6$   $p\text{-value} = 0.003$  Slope estimate = 3.915 Slope error = 1.249



# RX5dayPrecipitación máxima en 5 días (mm)

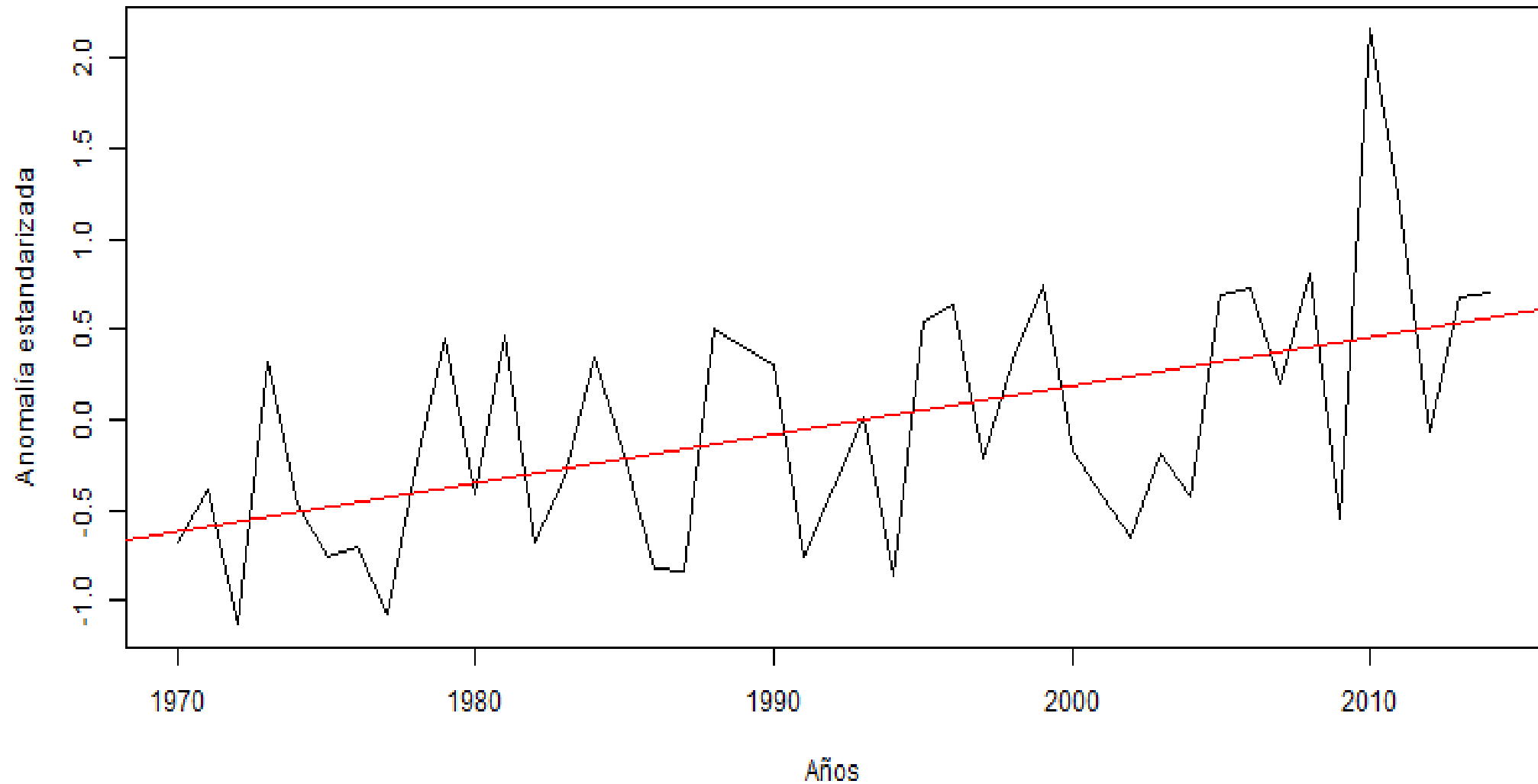
RX5day INSIVUMEH



R2= 13.6 p-value= 0.019 Slope estimate= 1.893 Slope error= 0.774

# PRCPT Precipitación total anual. (mm)

Tendencia nacional de lluvia anual



- En general, se obtiene señal de un incremento en el número periodos cálidos para todas las regiones; sur y central, norte, este y oeste.
- Ligero decremento para el número de días fríos para todas las regiones.
- Frecuencia de días calurosos ha ido en aumento en los últimos años.
- Cantidad máxima de precipitación en 5 días en aumento.
- Se indica un incremento de la precipitación total anual.

## 2.) Modelación Climática

### Modelo Climático (global, numérico)

Representación numérica del sistema climático basado en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y sus procesos de retroalimentación.

# Simular el sistema climático

## SISTEMA CLIMÁTICO

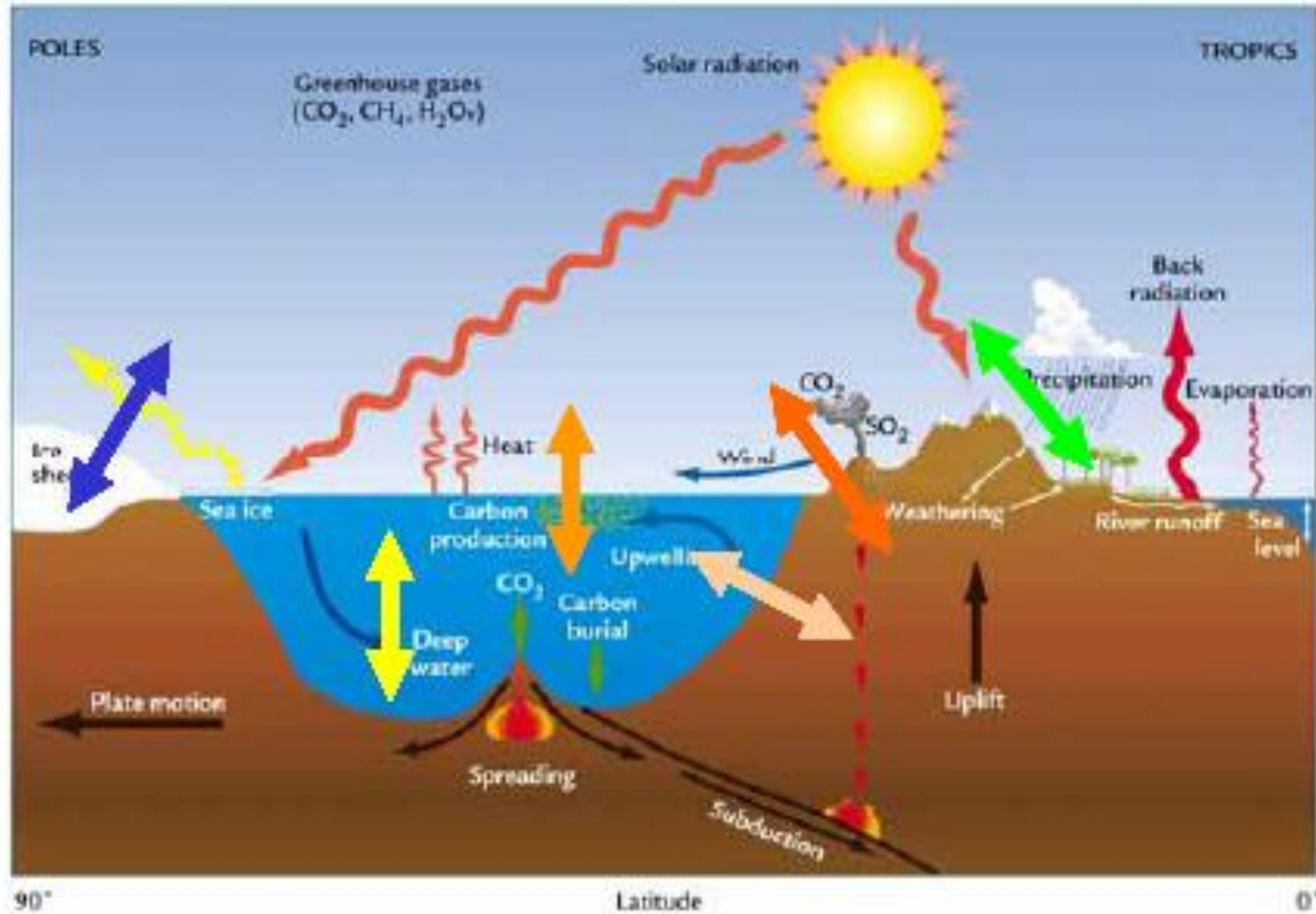
ATMÓSFERA

HIDROSFERA

CRIOSFERA

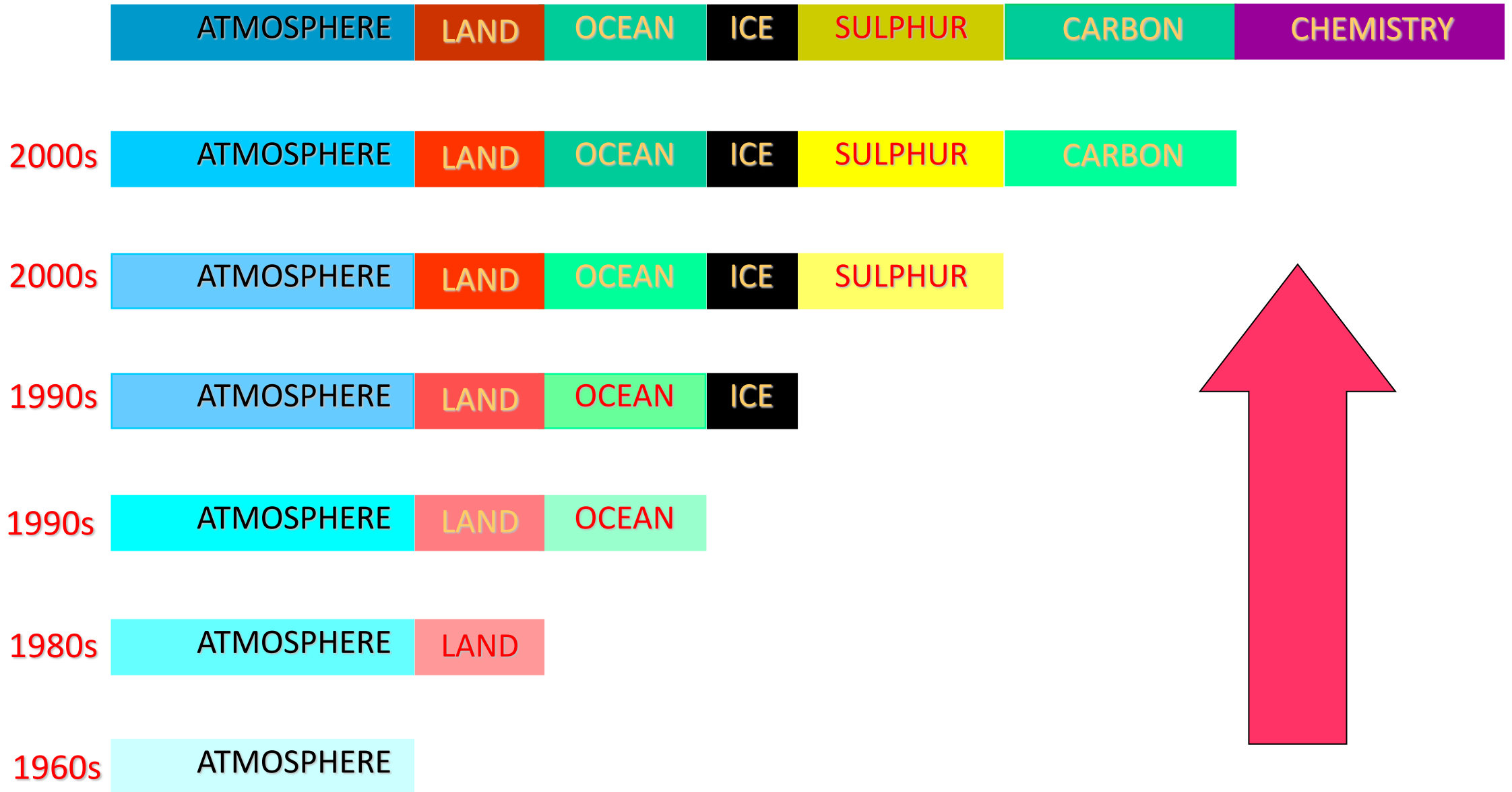
BIOSFERA

LITOSFERA



Resolución de las ecuaciones de las leyes y principios físicos de cada componente del sistema y los intercambios de energía y masa entre sí. **MCGC: Modelos del Clima Global con a Copiamiento**

# Evolución en la complejidad de los modelos climáticos



# Las ecuaciones de un modelo climático (atmósfera).

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \bar{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} - 2\bar{\Omega} \times \bar{V} + \bar{g} + \bar{F}_V$$

**Conservación de momento**

$$C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla T \right) = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + Q + F_T$$

**Conservación de energía**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \bar{V}$$

**Conservación de masa**

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla q = \frac{S_q}{\rho} + F_q$$

**Conservación de agua**

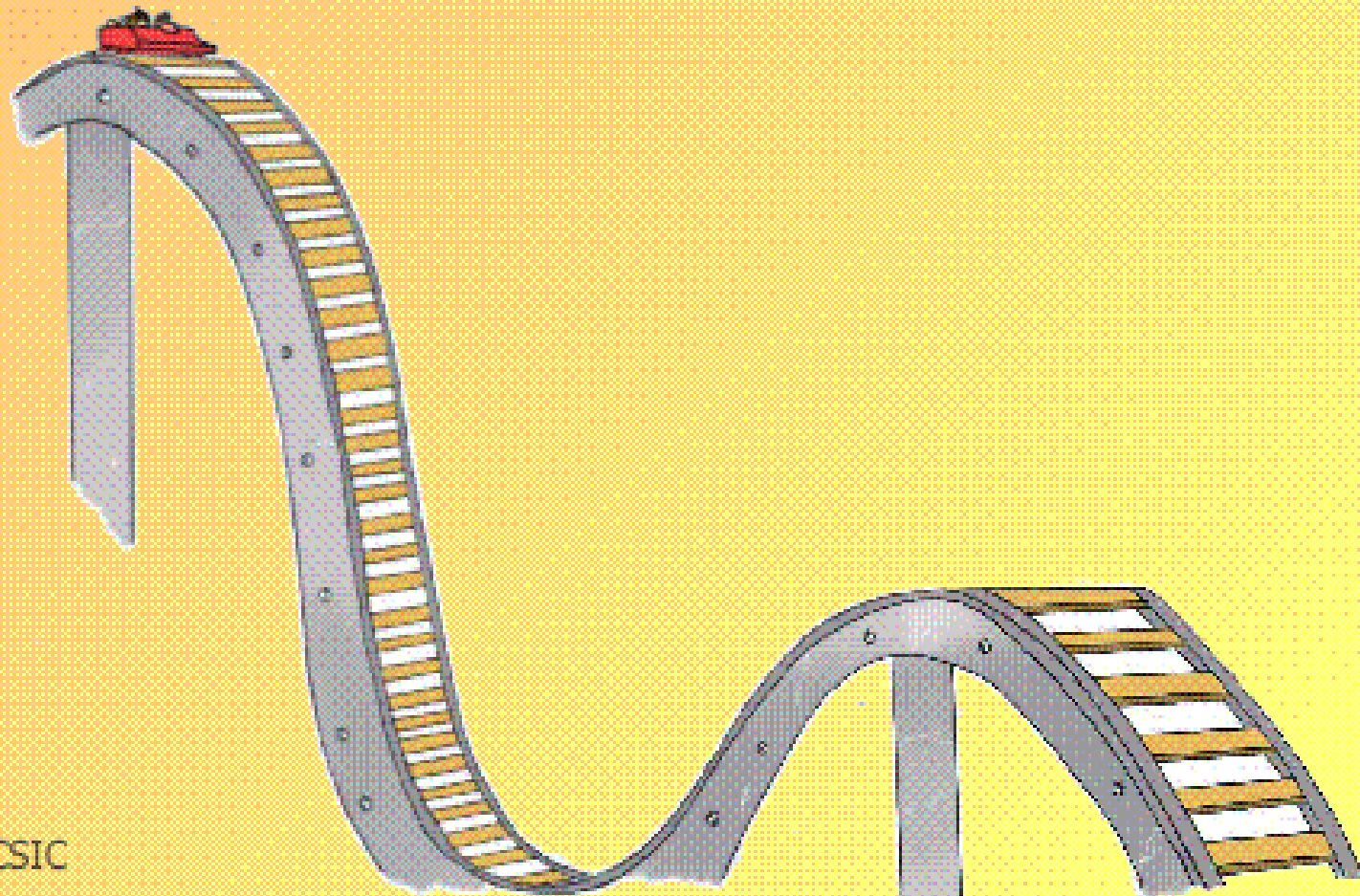
$$p = \rho R T$$

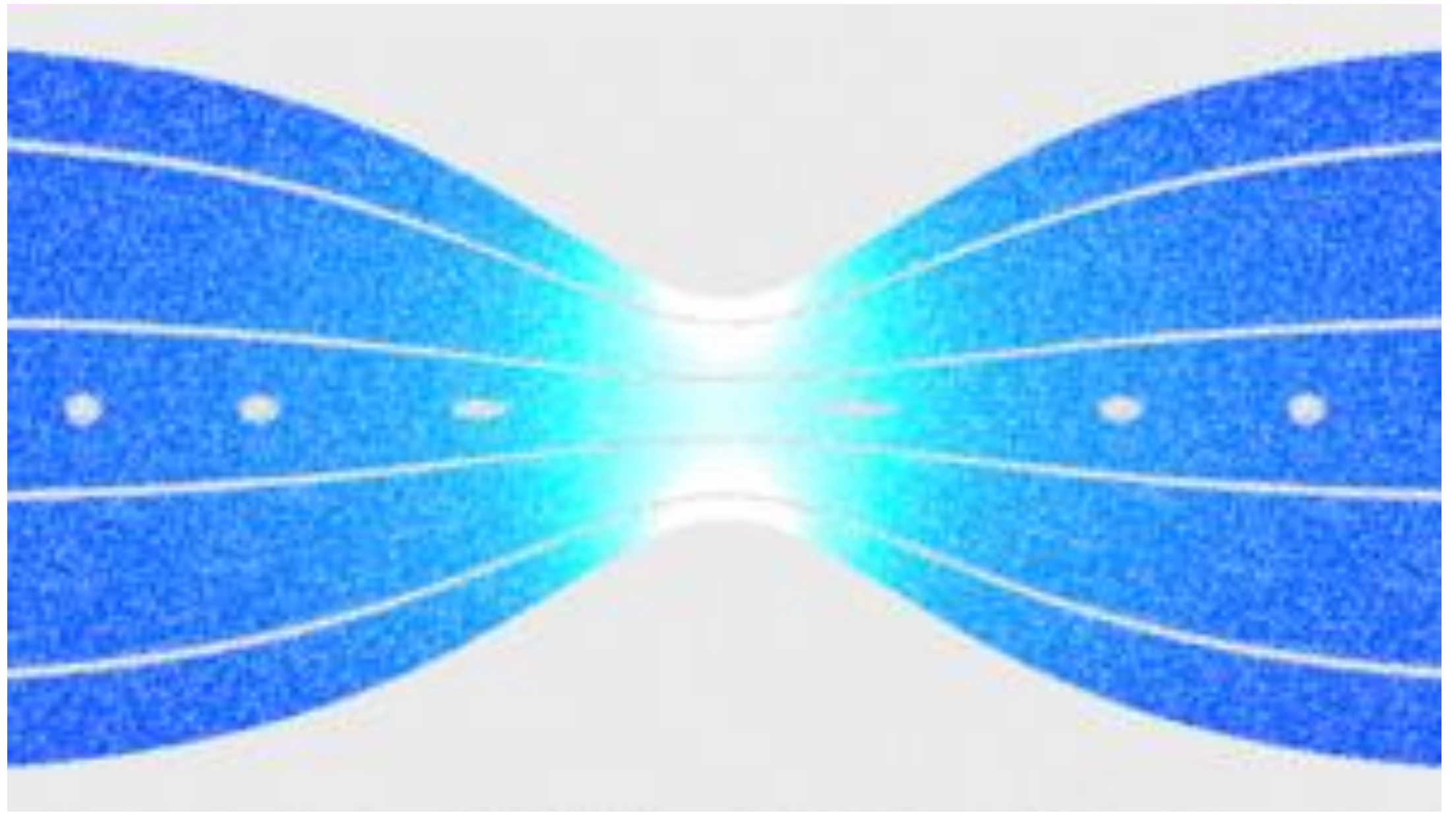
**Ecuación de estado**





a





### Ecuaciones de pronóstico del viento

$$1a. \quad \frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - \omega \frac{\partial u}{\partial p} + fv - g \frac{\partial z}{\partial x} + F_x$$

$$1b. \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - \omega \frac{\partial v}{\partial p} - fu - g \frac{\partial z}{\partial y} + F_y$$

### Ecuación de continuidad

$$2. \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0$$

### Ecuación de pronóstico de la temperatura

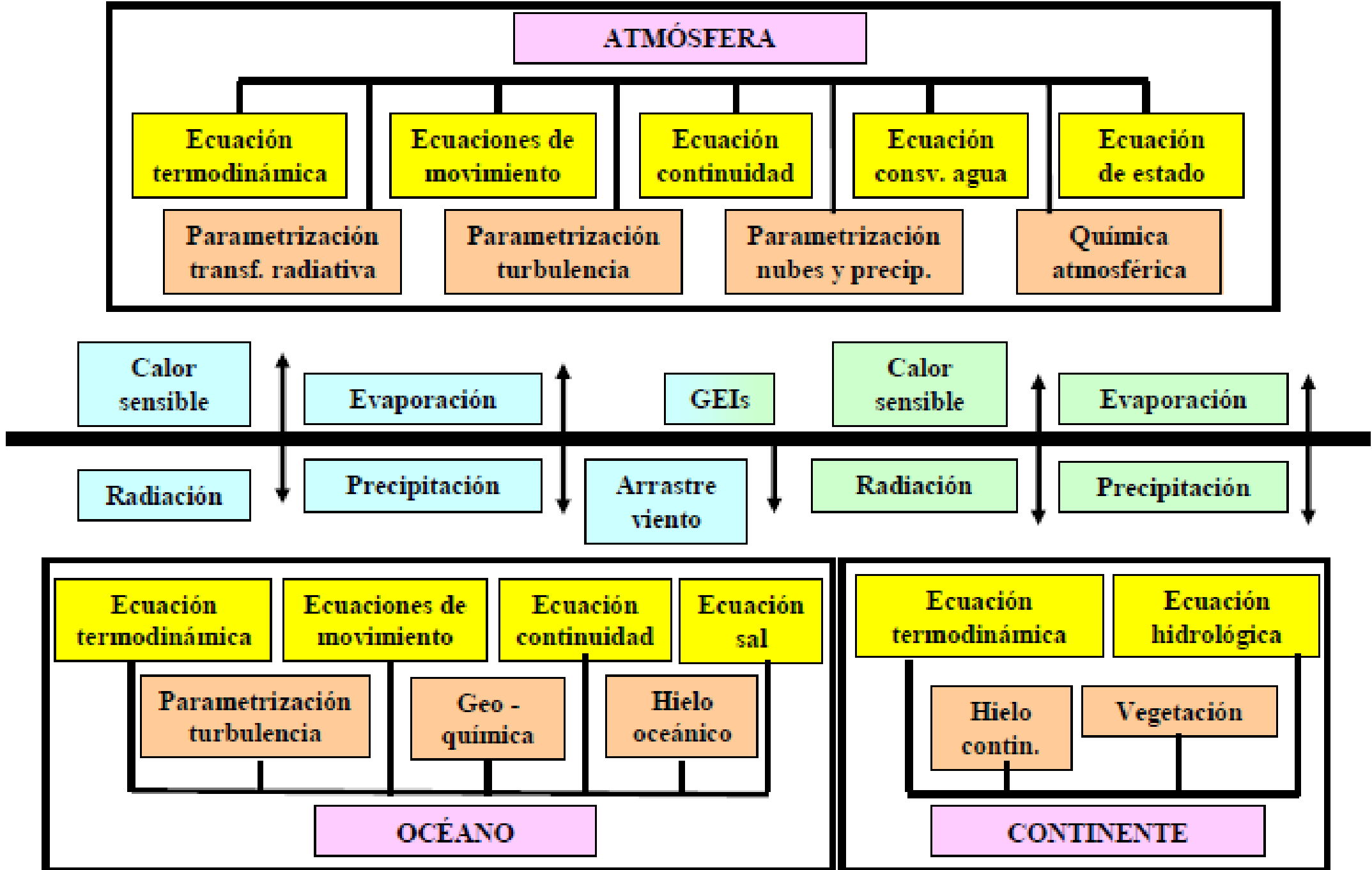
$$3. \quad \frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y} - \omega \left( \frac{\partial T}{\partial p} - \frac{RT}{c_p p} \right) + \frac{H}{c_p}$$

### Ecuación de pronóstico de la humedad

$$4. \quad \frac{\partial q}{\partial t} = -u \frac{\partial q}{\partial x} - v \frac{\partial q}{\partial y} - \omega \frac{\partial q}{\partial p} + E - P$$

### Ecuación hidrostática

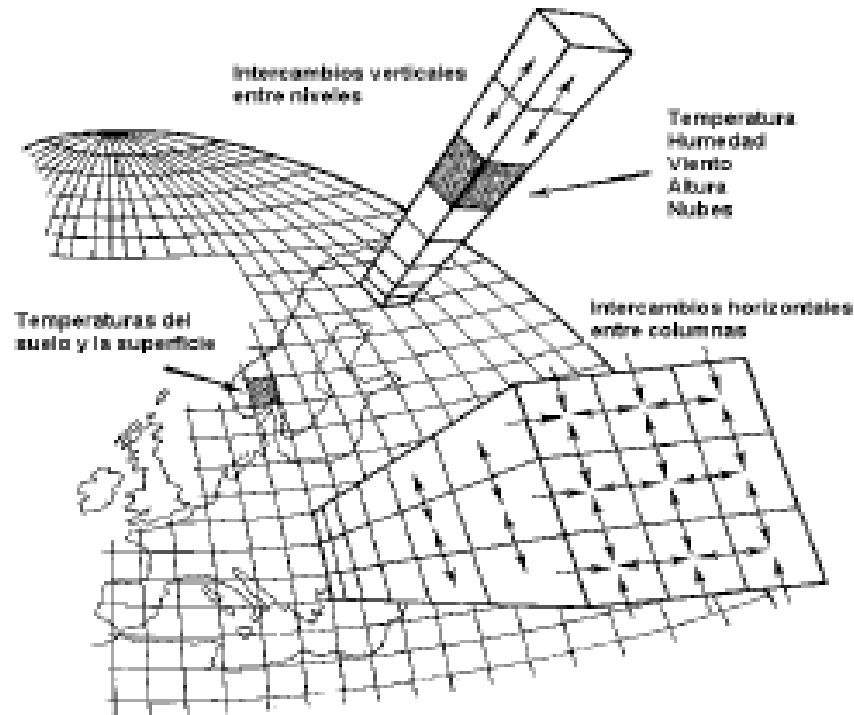
$$5. \quad \frac{\partial z}{\partial p} = - \frac{RT}{pg}$$



*Fuente: Presentación de Manuel de Castro ICAM-UCLM, Toledo, 2017*

# Se resuelven a través de aproximaciones numéricas

**Discretizando la  
variación espacial en  
celdillas 3D( $\Delta x, \Delta y, \Delta p$ )**



**$\sim 300 \times 300$  km atmosf.  
 $\sim 100 \times 100$  km océano**

**Discretizando la evolución  
temporal en intervalos finitos ( $\Delta t$ )**

**Valores de  
variables  
en la celdilla  
(i, j, k)  
Viento (u, v)  
Temperatura (T)  
Presión (p)  
Humedad (q)  
...  
en el inicio de la  
simulación ( $t_0$ )**

**Valores de  
variables  
en la celdilla  
(i, j, k)  
Viento (u, v)  
Temperatura (T)  
Presión (p)  
Humedad (q)  
...  
en un instante  
posterior ( $t_0 + \Delta t$ )**

**... y así se continua avanzando en pasos  
de tiempo  $\Delta t$  hasta completar el periodo  
de tiempo de simulación ( $\approx 250$  años)**

# Ejemplo

- En la siguiente malla se representan los valores de temperatura en la hora 1. Pronostique la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la hora 2. en la celda 2,2.
- Datos
- La observación del viento en esa hora es de 1km/hora.  $\mathbf{U}$
- Resolución espacial 15 km.  $\mathbf{\Delta X}$
- Resolución temporal 1 hora.  $\mathbf{\Delta t}$

	1,1	1,2	1,3	
	23	25	26	
	2,1	2,2	2,3	
	24	29	27	
	3,1	3,2	3,3	
15 km	28	30	28	
15 km				

$(i,j)$  i. fila  
j. columna

## \*Ecuación de pronóstico de la temperatura

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \underbrace{-u \frac{\partial T}{\partial x} - v \frac{\partial T}{\partial y}}_{\text{Advección horizontal de temperatura}} - \underbrace{\omega \left( \frac{\partial T}{\partial p} - \frac{RT}{c_p p} \right)}_{\text{Diferencia entre la advección vertical de la temperatura y los procesos adiabáticos}} + \frac{H}{c_p}$$

Otros procesos (como radiación, mezcla, condensación)

Cambio en el tiempo de la temperatura

Advección horizontal de temperatura

Diferencia entre la advección vertical de la temperatura y los procesos adiabáticos

Cambio de Temperatura respecto al cambio de tiempo es la relación entre el viento por el cambio de Temperatura respecto al cambio de distancia.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \frac{\partial T}{\partial x}$$



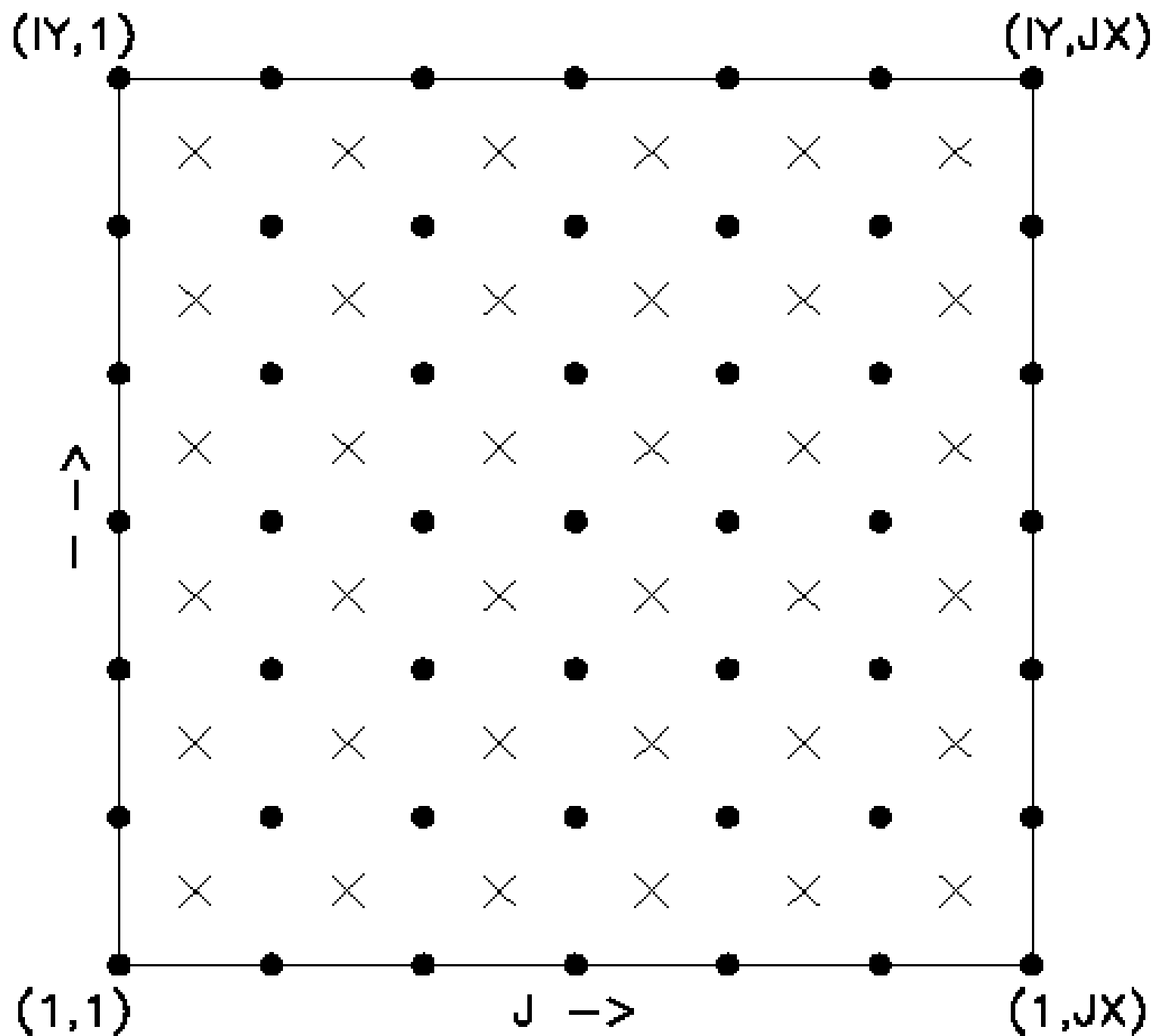
$$\frac{T_{(t+1)} - T_{(to)}}{\Delta t} = -u * \left( \frac{T_{(i+1)} - T_{(i-1)}}{2\Delta x} \right)$$

$$T_{(t+1)} = T_{(to)} - u * \Delta t \left( \frac{T_{(i+1)} - T_{(i-1)}}{2\Delta x} \right)$$

$$T_{(t+1)} = 29^{\circ}\text{C} - \left( \frac{1\text{km}}{\text{hora}} * 1 \text{ hora} \right) \left( \frac{27^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}}{2(15\text{km})} \right)$$

Temperatura  
en una hora  
es 28.9  
grados  
Celsius

		<b>28.9</b>	



# Configuración de la Retícula horizontal y estructura vertical

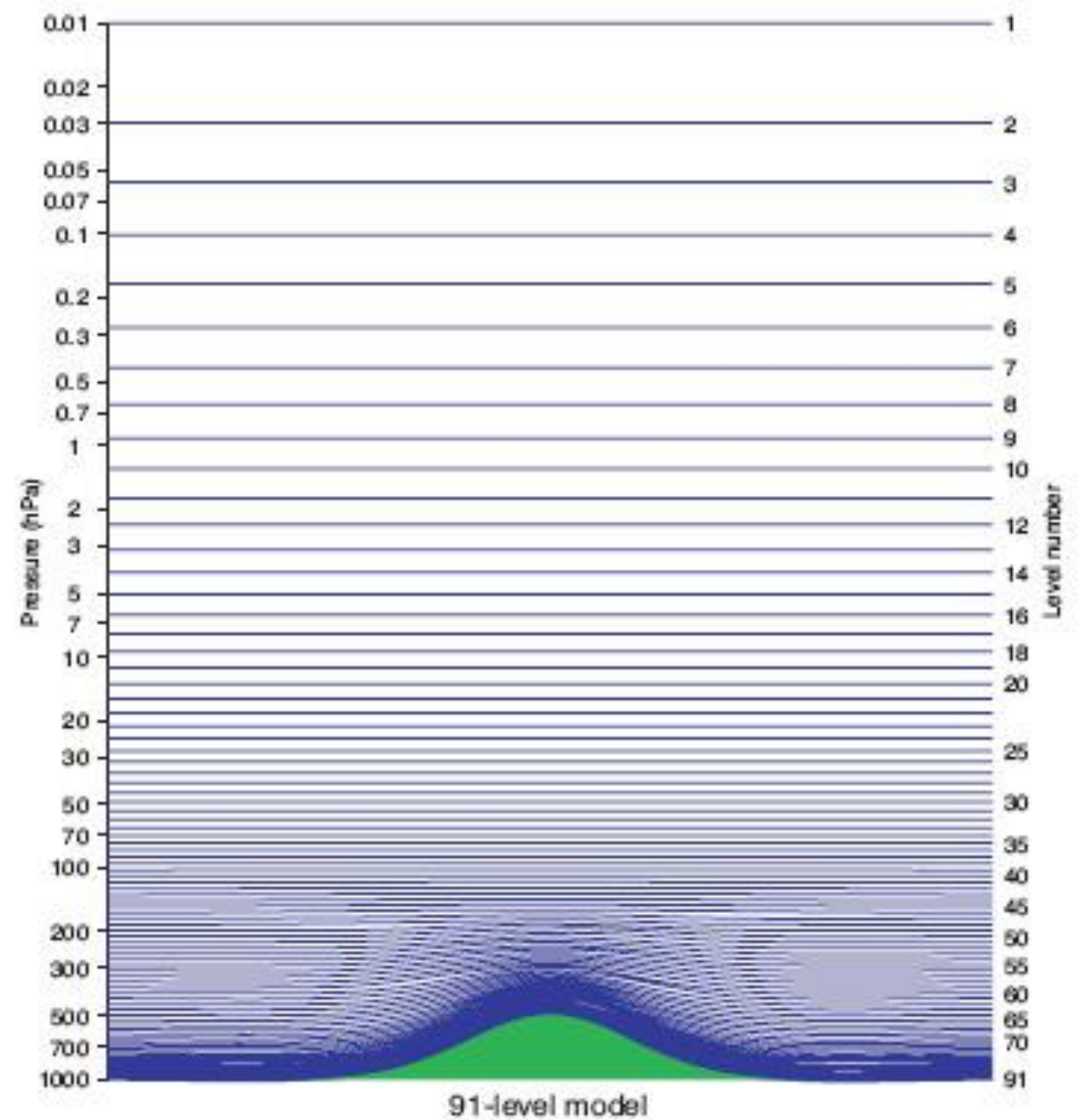
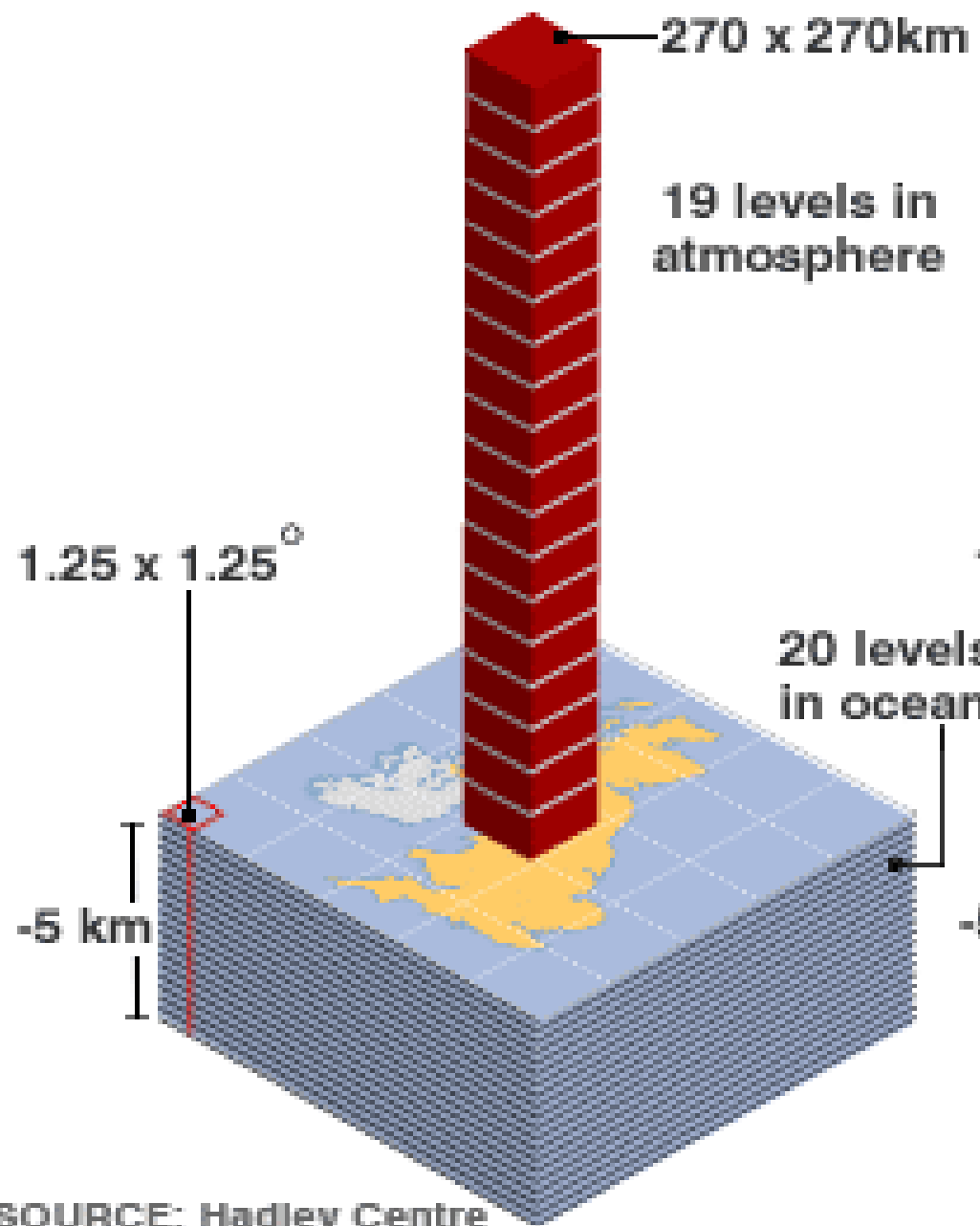


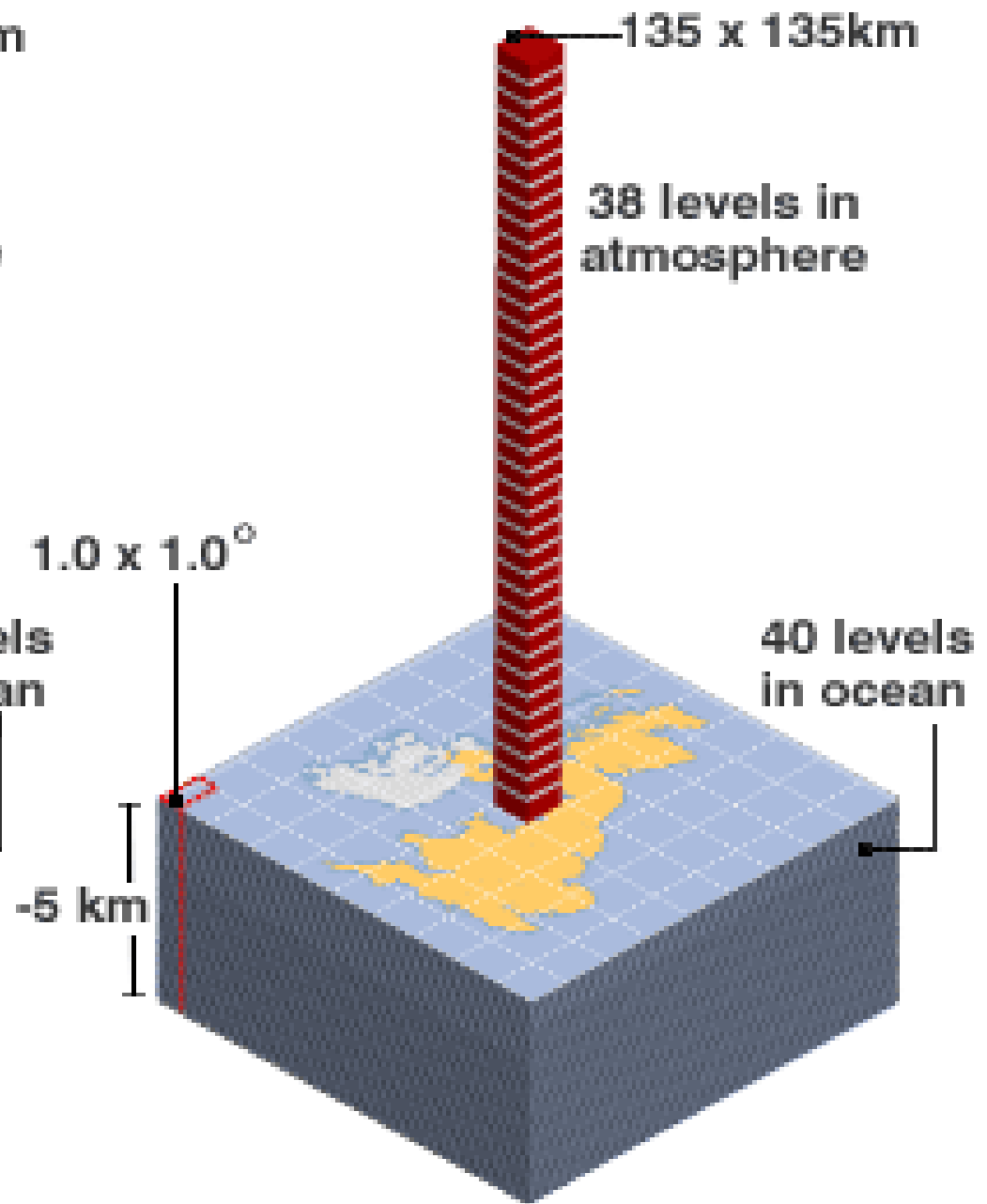
Figure 2 : Distribution of vertical levels in the T799 model.

# PROGRESSION OF CLIMATE MODELS

1990s



Present day



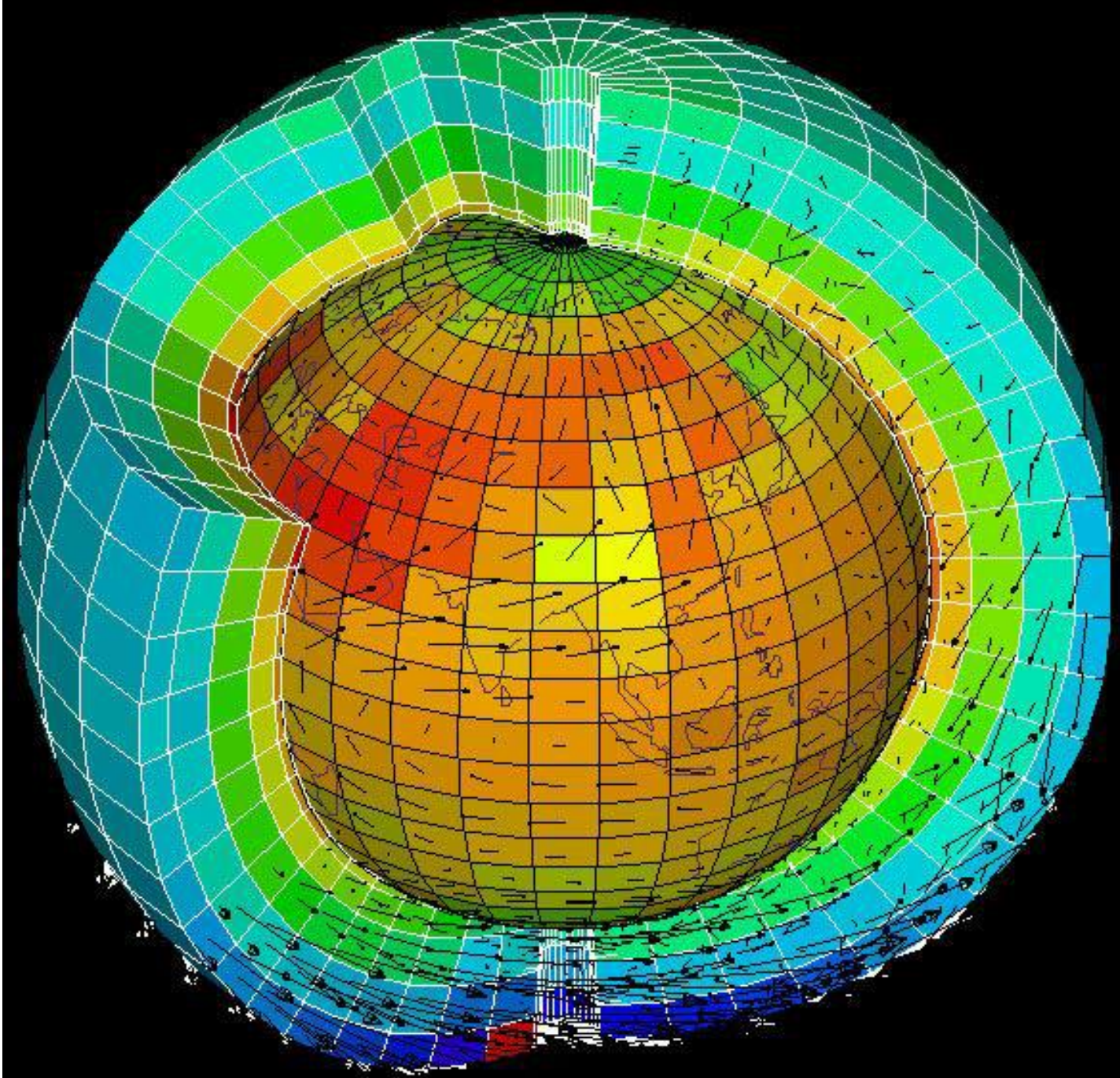
SOURCE: Hadley Centre

Los modelos de  
circulación general  
acoplados atmósfera-  
océano (MCGAO)  
proporcionan la  
representación más  
completa del sistema  
climático actualmente  
disponible.

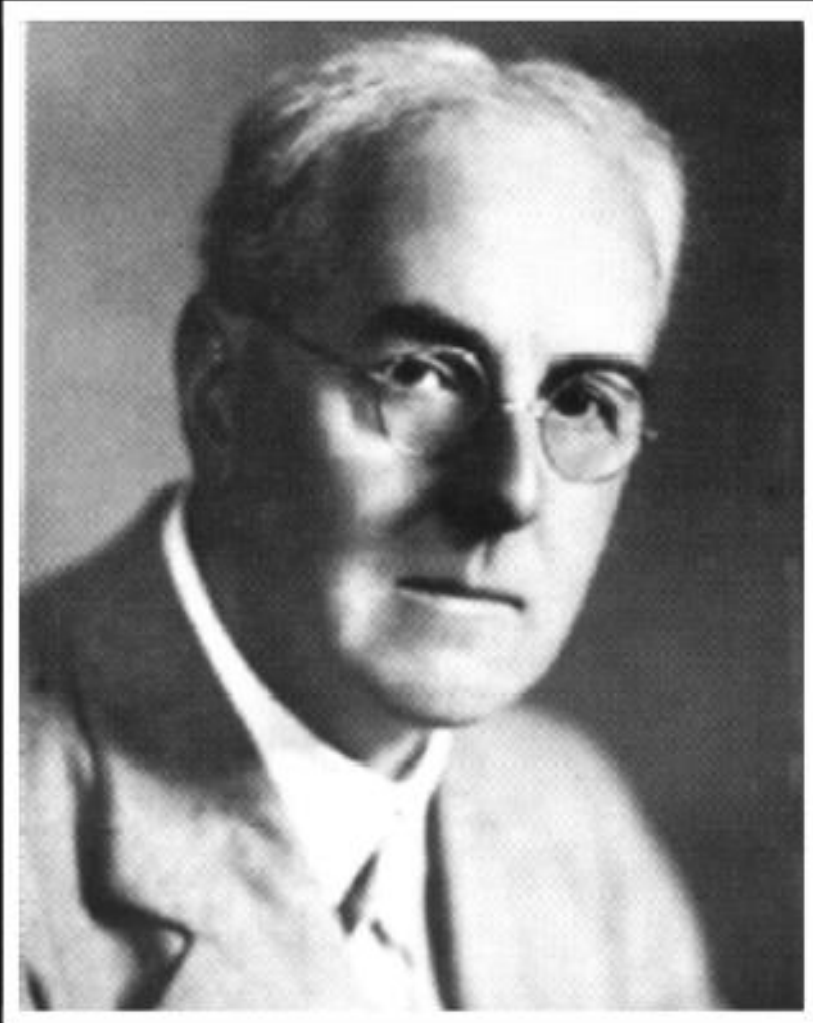
Se está evolucionando  
hacia modelos más  
complejos que incorporan  
química y biología  
interactivas.

Metodos de  
integracion

Diferencias finitas



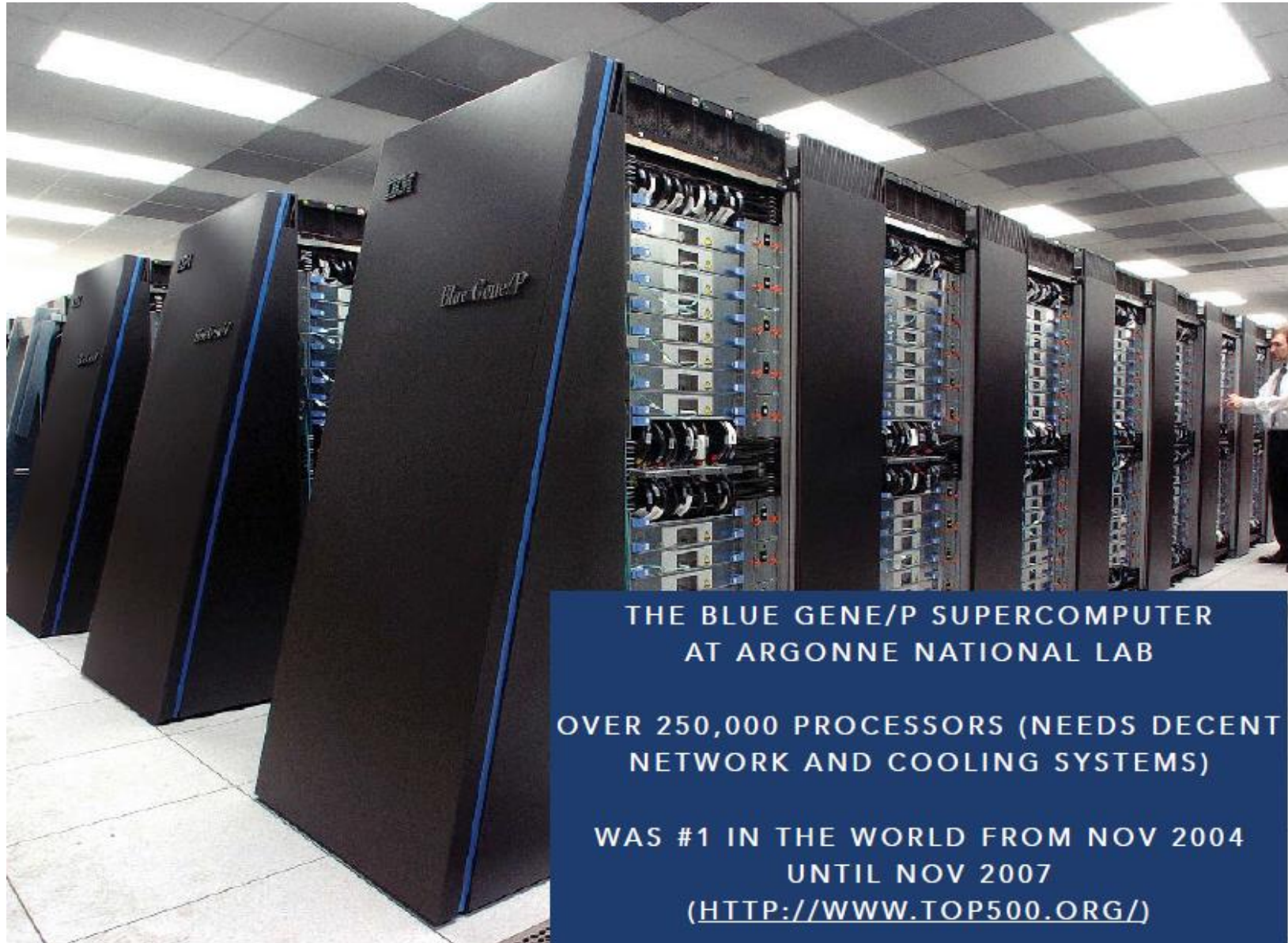
# FIRST NUMERICAL WEATHER PREDICTION (DONE BY HAND)



- LEWIS FRY RICHARDSON (1881-1953): BRITISH MATHEMATICIAN, PHYSICIST, ATMOSPHERIC SCIENTIST
- MADE THE FIRST NUMERICAL WEATHER PREDICTION IN 1922
- DID THE CALCULATIONS COMPLETELY BY HAND! TOOK OVER 1000 HOURS FOR (FAILED) 6-HOUR FORECAST!



# Uso de Super Computadoras



THE BLUE GENE/P SUPERCOMPUTER  
AT ARGONNE NATIONAL LAB

OVER 250,000 PROCESSORS (NEEDS DECENT  
NETWORK AND COOLING SYSTEMS)

WAS #1 IN THE WORLD FROM NOV 2004  
UNTIL NOV 2007  
([HTTP://WWW.TOP500.ORG/](http://www.top500.org/))

Cálculo necesario para realizar una simulación climática global de 250 años con un MCGC actual  
(resolución : ~ 300 x 300 km atmosf., ~ 100 x 100 km océano)

**Discretización espacial : ~  $3 \times 10^5$  celdillas**  
(cien miles)

**Discretización temporal :  $t \approx 1800$  s**

**Número de iteraciones : ~  $5 \times 10^6$  (millones)**

**Número de variables de predicción : ~ 10**

**Número de ecuaciones a resolver : ~  $10^{13}$**   
(miles de millón)

**Cada ecuación tiene varios términos : ~ 10**

**Resolver cada término requiere muchos cálculos ~  $10^2$**

**Las parametrizaciones necesitan ~ 10 veces más de cálculo**

**Número de operaciones matemáticas simples: ~  $10^{18}$**

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \bar{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} - 2\bar{\Omega} \times \bar{V} + \bar{g} + \bar{F}_V$$

Las ecuaciones de un modelo climático

(atmósfera).

$$C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla T \right) = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + Q + F_T$$

**Núcleo  
Dinámico  
(escalas  
resueltas  
por la grilla)**

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \bar{V}$$

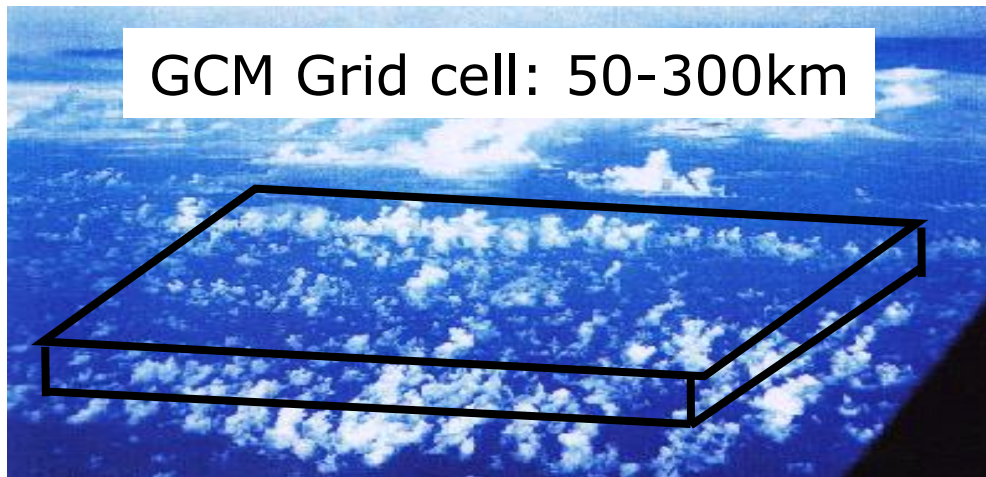
$$\frac{\partial q}{\partial t} + \bar{V} \cdot \nabla q = \frac{S_q}{\rho} + F_q$$

**La "física"  
del modelo.  
El efecto de los  
procesos no  
resueltos sobre  
las escalas más  
grandes debe  
ser  
parameterizado.**

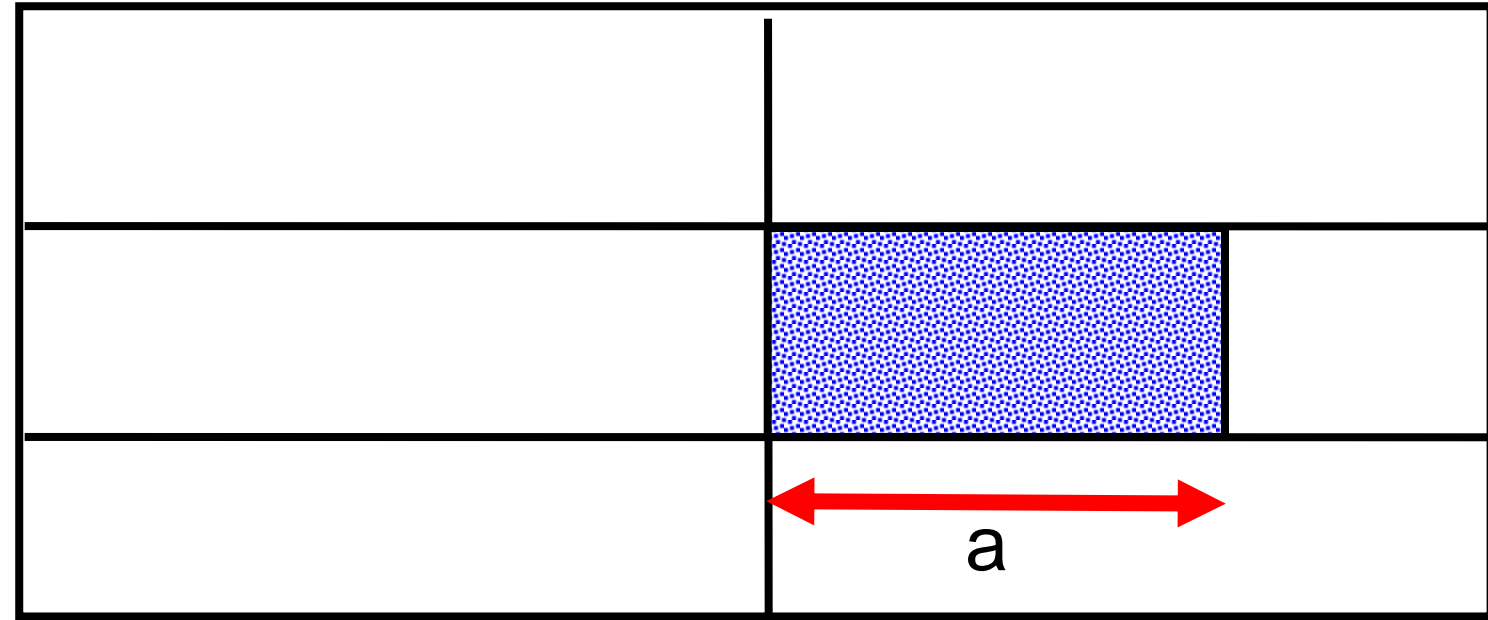
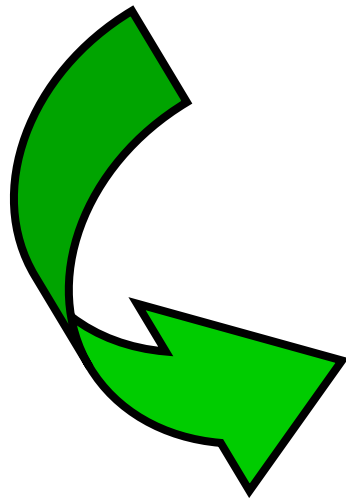
**Transferencia de momento,  
energía y agua**

$$p = \rho R T$$

# Nubes de gran escala – cobertura nubosa

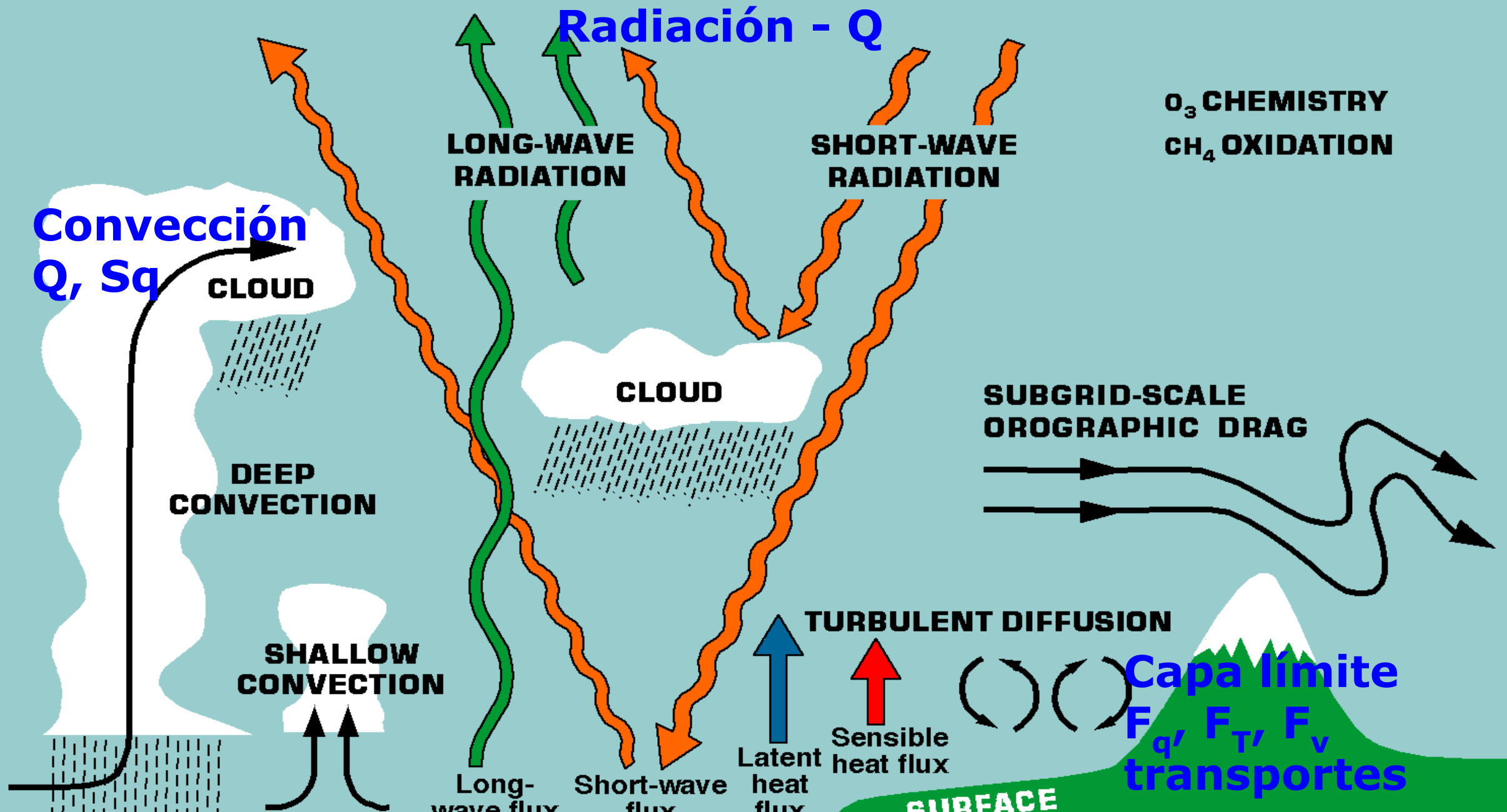


**Los esquemas asumen que las nubes llenan la caja del GCM en la vertical, y modelan en la horizontal.**



GCM Grid

# Procesos físicos parametrizados en un modelo climático



# Usos de Los Modelos Globales

## Atribución

¿Qué responsabilidad tienen las actividades humanas en el cambio climático observado?

## Sensibilidad

¿Cómo responde el sistema climático global a diversos forzamientos?

## Escenarios

¿Cómo podría cambiar el clima futuro a causa de actividades humanas?

## Mitigación

¿Qué actuaciones serían "razonables" para mitigar la alteración global del clima?

## Impacto

¿Qué impactos regionales provocaría el proyectado cambio de clima?

### 3.) Escenarios de Cambio Climático

- Representación plausible y simplificada del clima futuro basada en las relaciones climáticas.
- Un 'escenario de cambio climático' es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.
- Se realizan para investigar las consecuencias potenciales del cambio climático **antropógeno**.

# Marco conceptual de la elaboración de escenarios de cambio climático

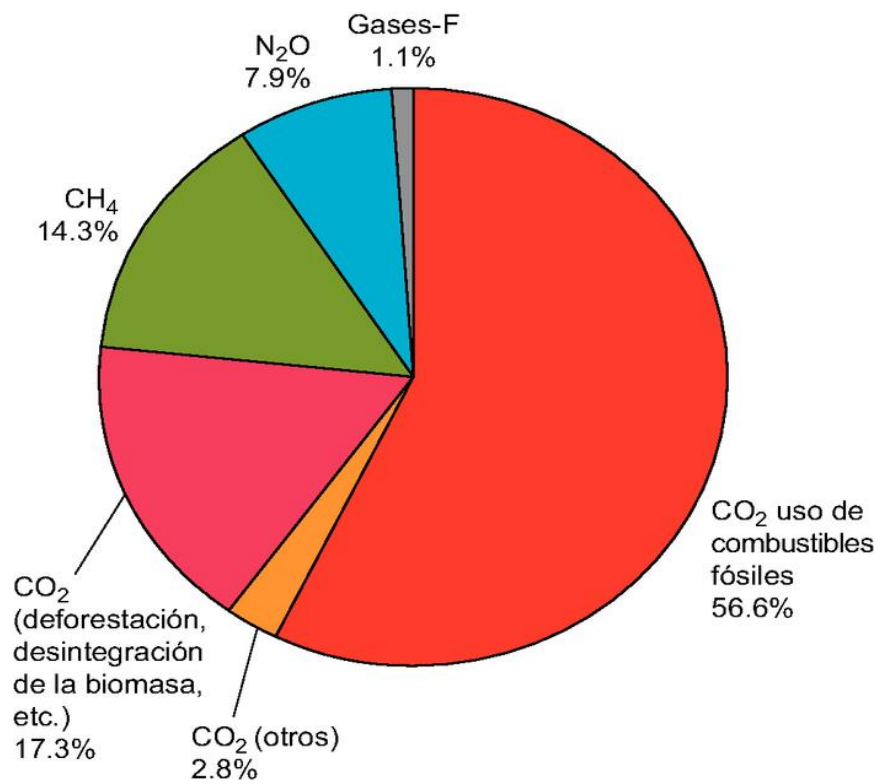




# Gases de efecto invernadero

- Factor dominante en el forzamiento radiativo del clima desde la era industrial por su aumento de la concentración en la atmósfera .
- Los gases de efecto invernadero como el  $\text{CO}_2$ , el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), persisten en la atmósfera durante mucho tiempo y alteran el clima a largo plazo.

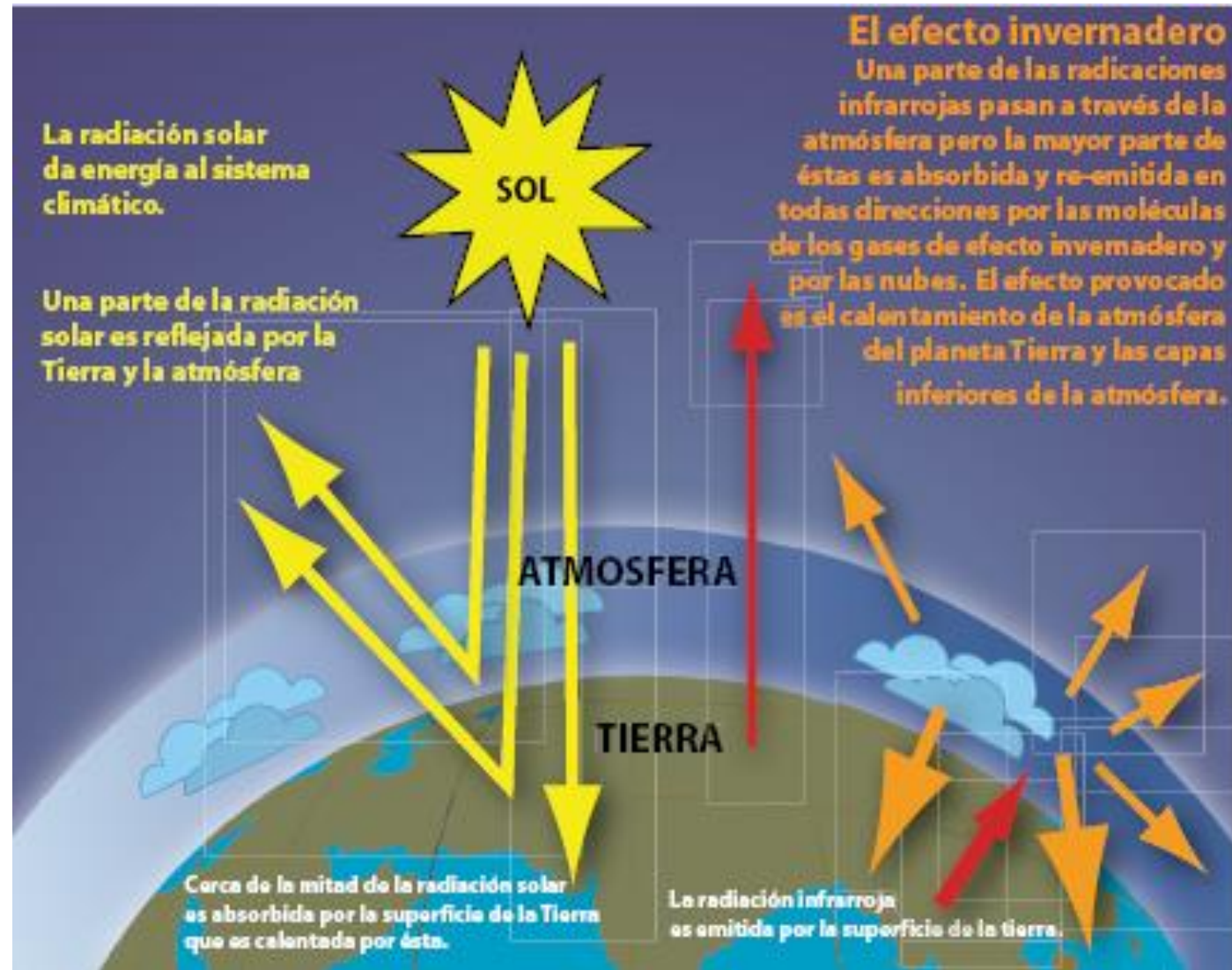
# Gases de efecto invernadero



# FORZAMIENTO RADIATIVO

## Efecto invernadero y Calentamiento Global

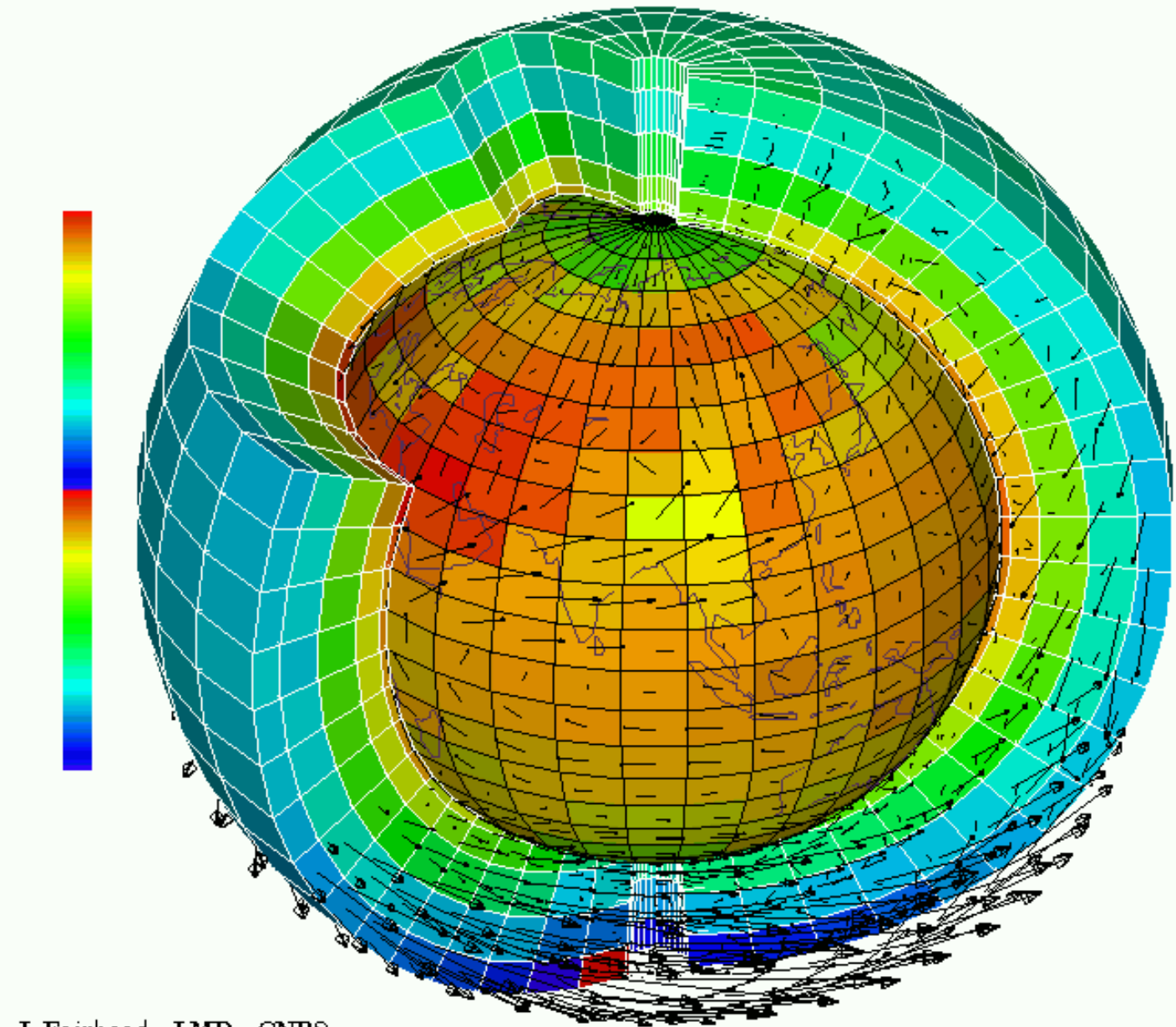
A nivel mundial existe amplio consenso científico acerca de las consecuencias, sobre el clima global futuro, provocando un incremento de la temperatura del planeta que a su vez modificará los patrones de precipitación.



## Modelo Climático (global, numérico)

Los modelos de circulación general acoplados atmósfera-océano (MCGAO) proporcionan la representación más completa del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas.

(Fuente: Anexo, Glosario IPCC, 2007)



L.Fairhead - LMD - CNRS

## Escenarios RCP del IPCC

**El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) establece los escenarios de emisiones de referencia en base a los cuales se realizan las proyecciones.**

Actualmente se utilizan los escenarios de ***Trayectorias de Concentración Representativas*** (RCP, por sus siglas en inglés).

## Forzantes: (AR5, IPCC, 2014)

- Desarrollo socioeconómico
- Población (crecimiento demográfico)
  - Cambio tecnológico
  - Tipo de desarrollo
- Decisiones Políticas

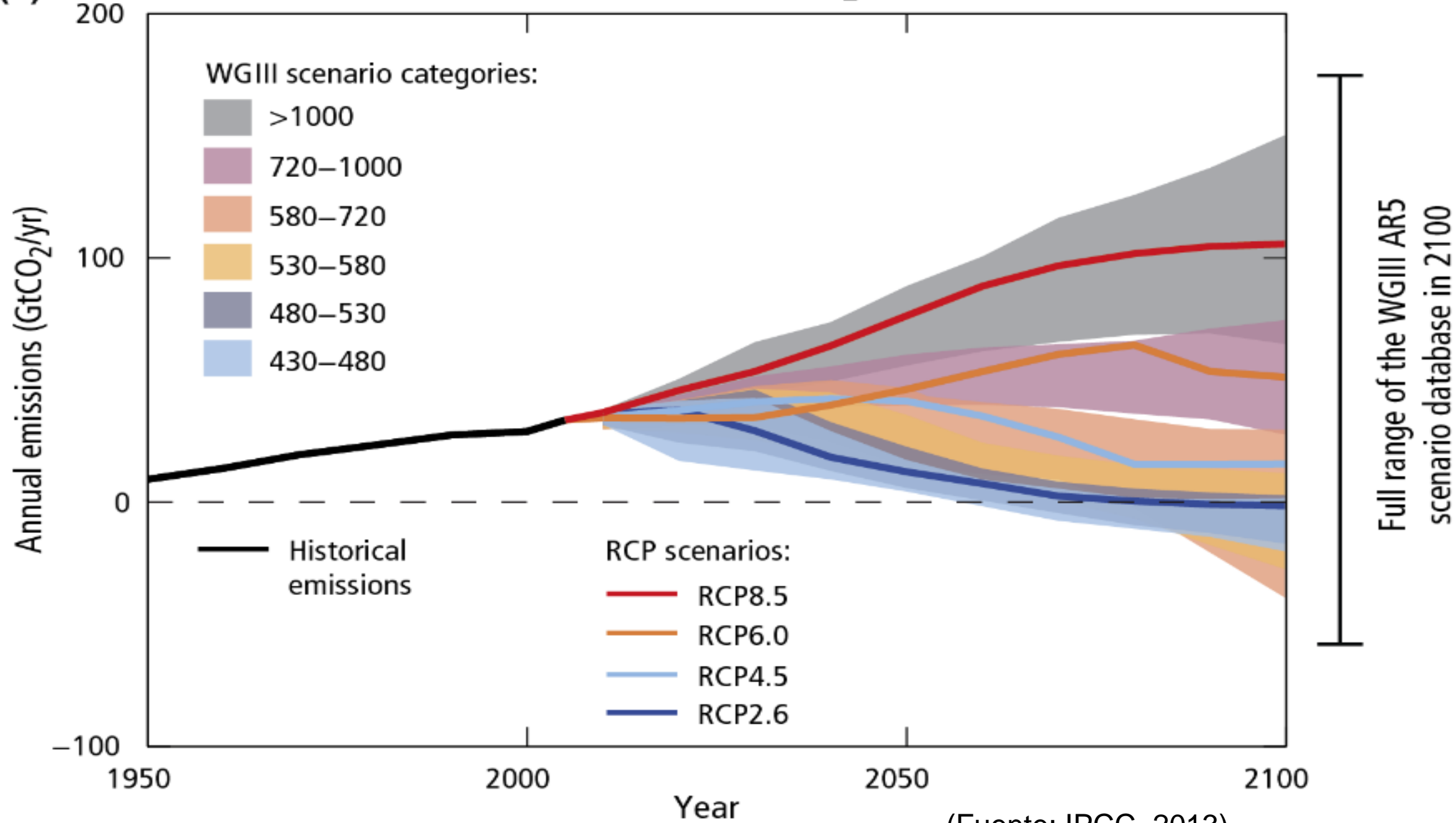
(Fuente: AR5, IPCC, 2014)

# Escenarios de Trayectorias de Concentración Representativas RCP

	Forzamiento Radiativo (FR)	Tendencia del FR	CO <sub>2</sub> en 2100
RCP2.6	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670 ppm
RCP8.5	8.5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936 ppm

Fuente: Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. “Cambio Climático: Bases Físicas”, 2013.

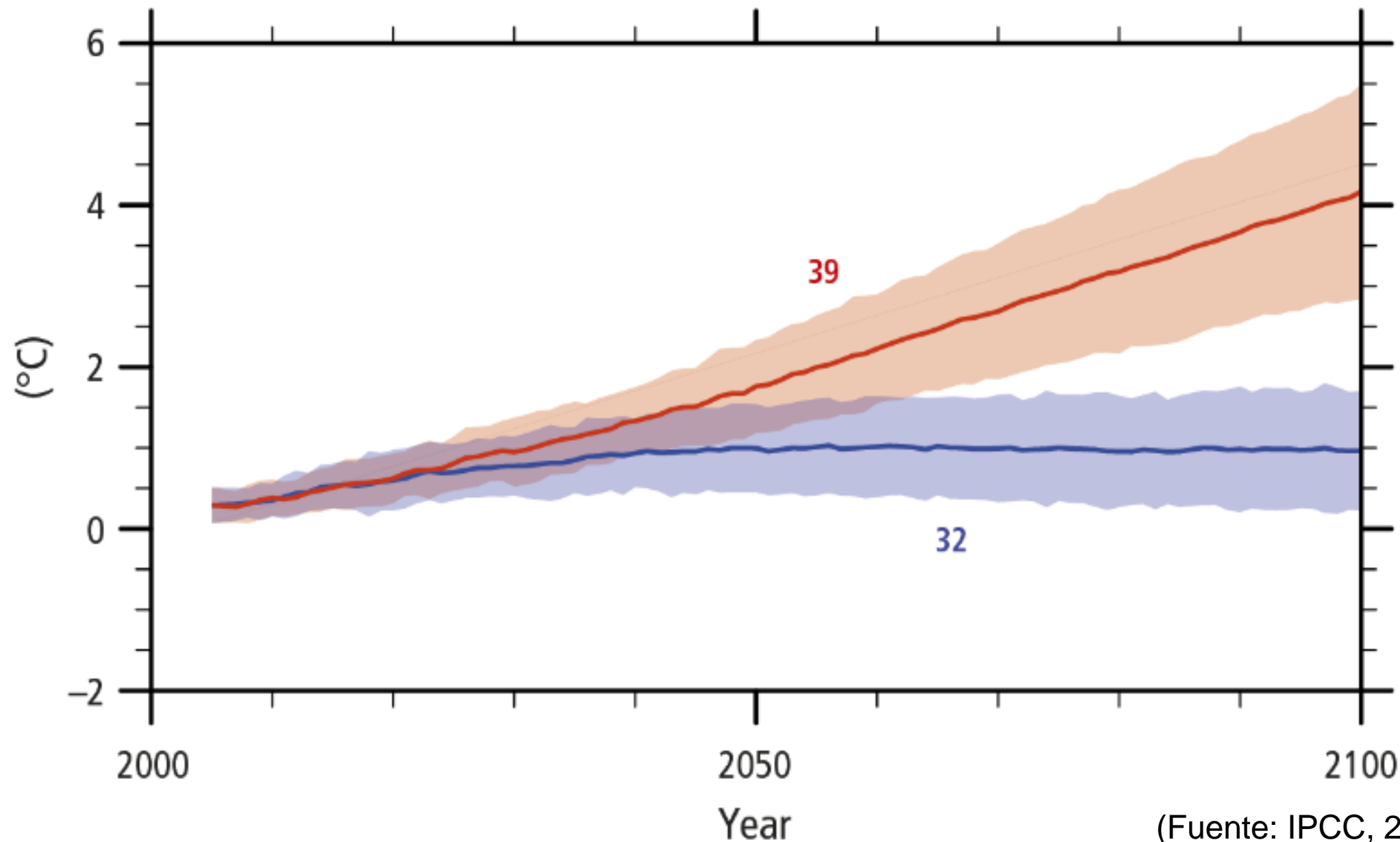
# (a) Annual anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions



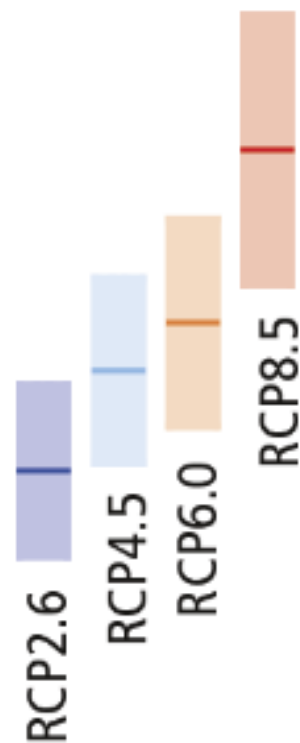


# Global average surface temperature change (relative to 1986–2005)

(a)



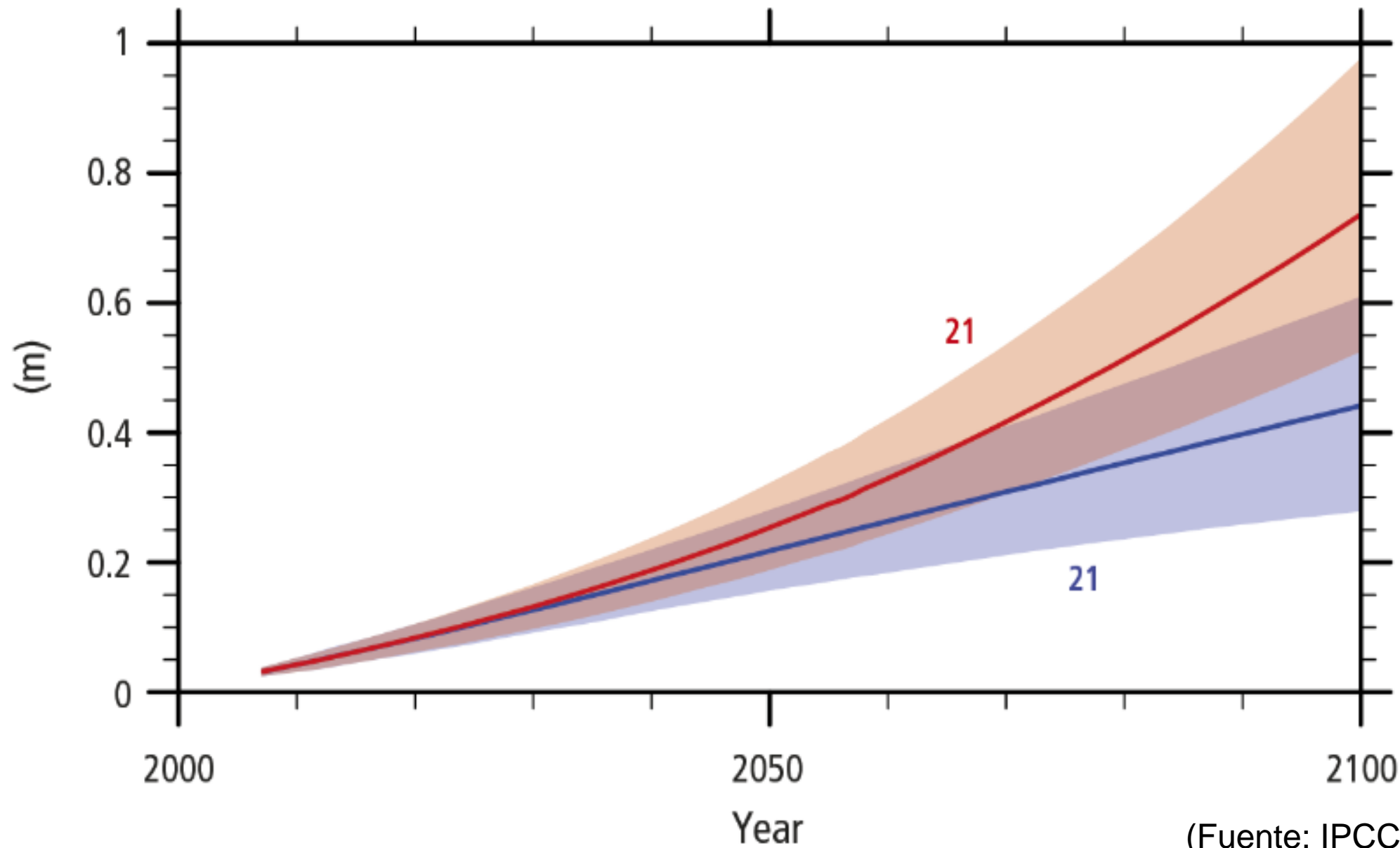
Mean over  
2081–2100



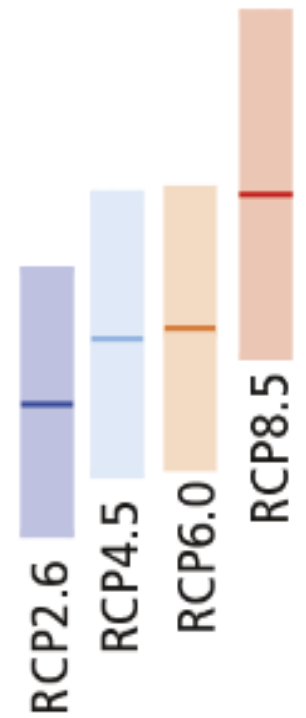
(Fuente: IPCC, 2013)

# Global mean sea level rise (relative to 1986–2005)

(b)



Mean over  
2081–2100



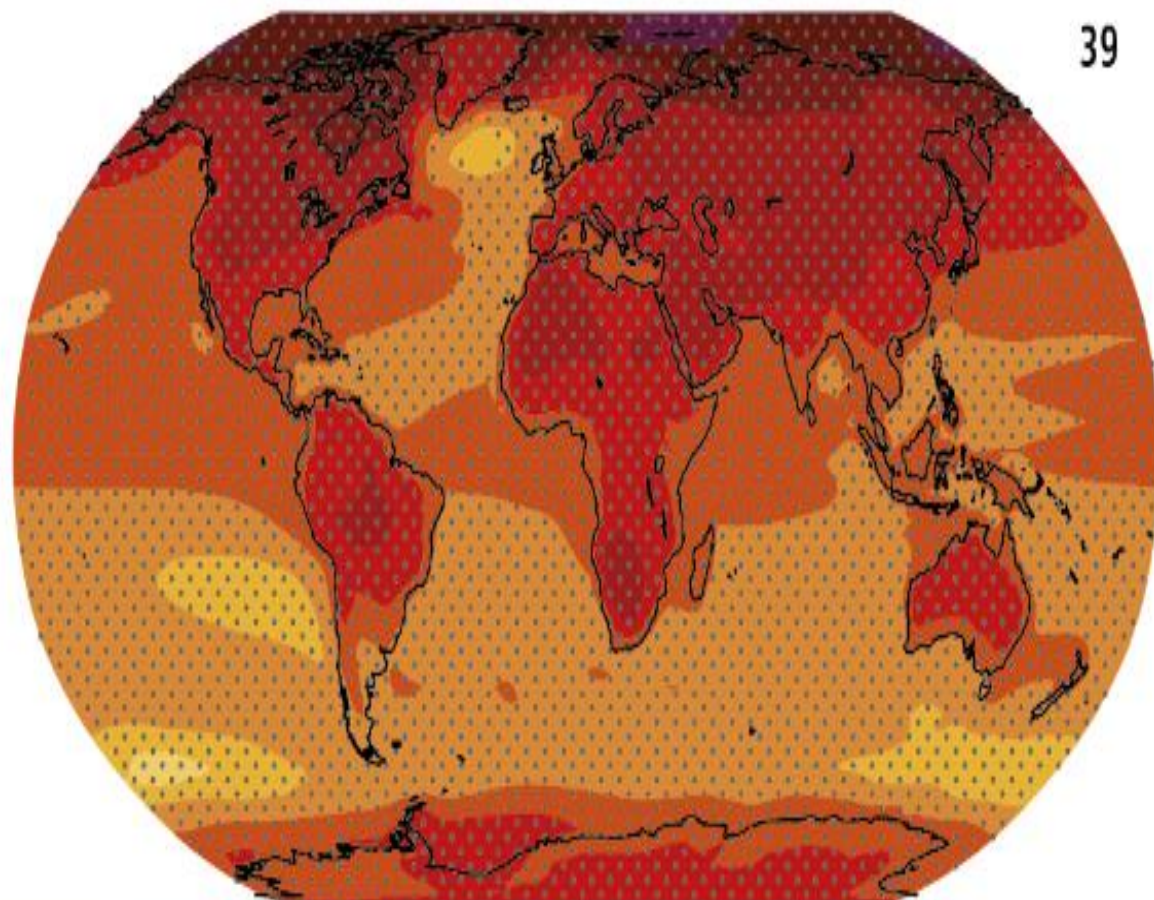
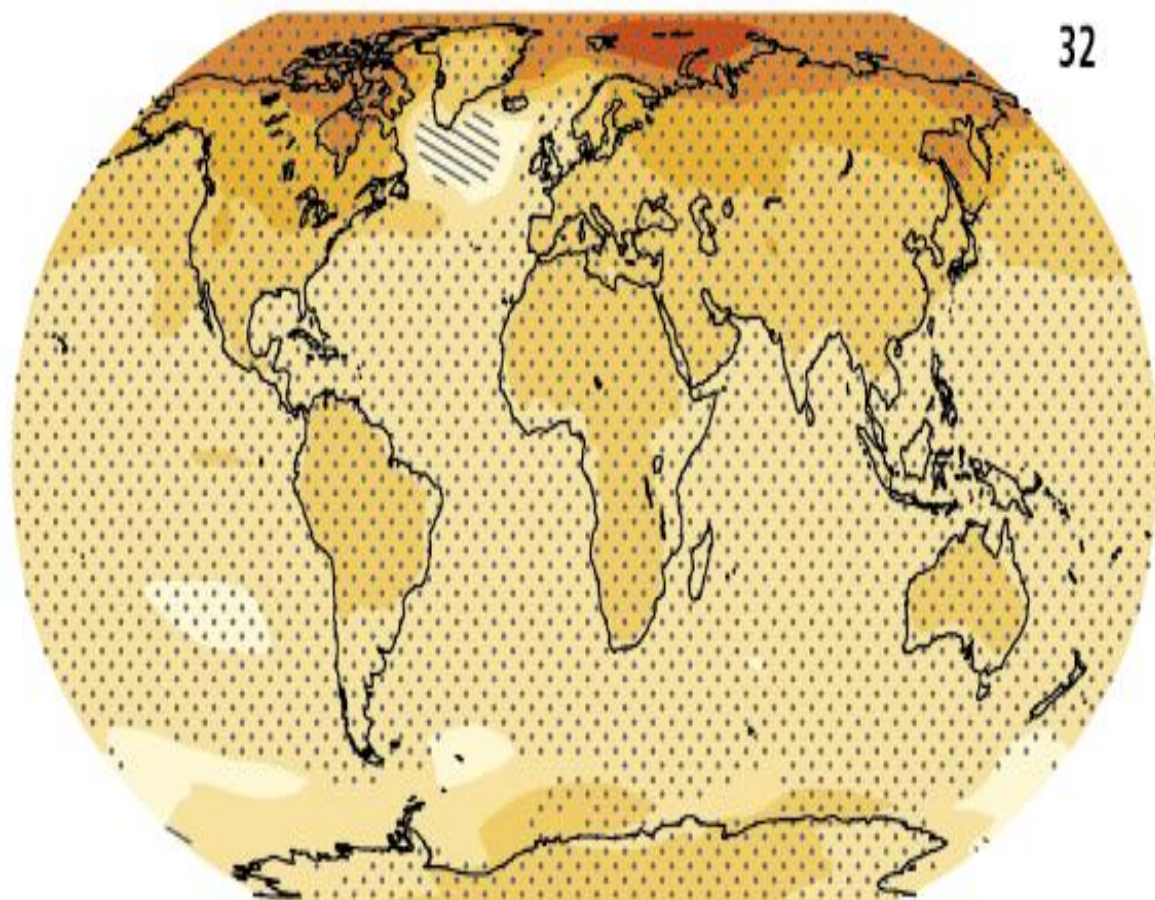
(Fuente: IPCC, 2013)

RCP2.6

RCP8.5

(a)

Change in average surface temperature (1986–2005 to 2081–2100)



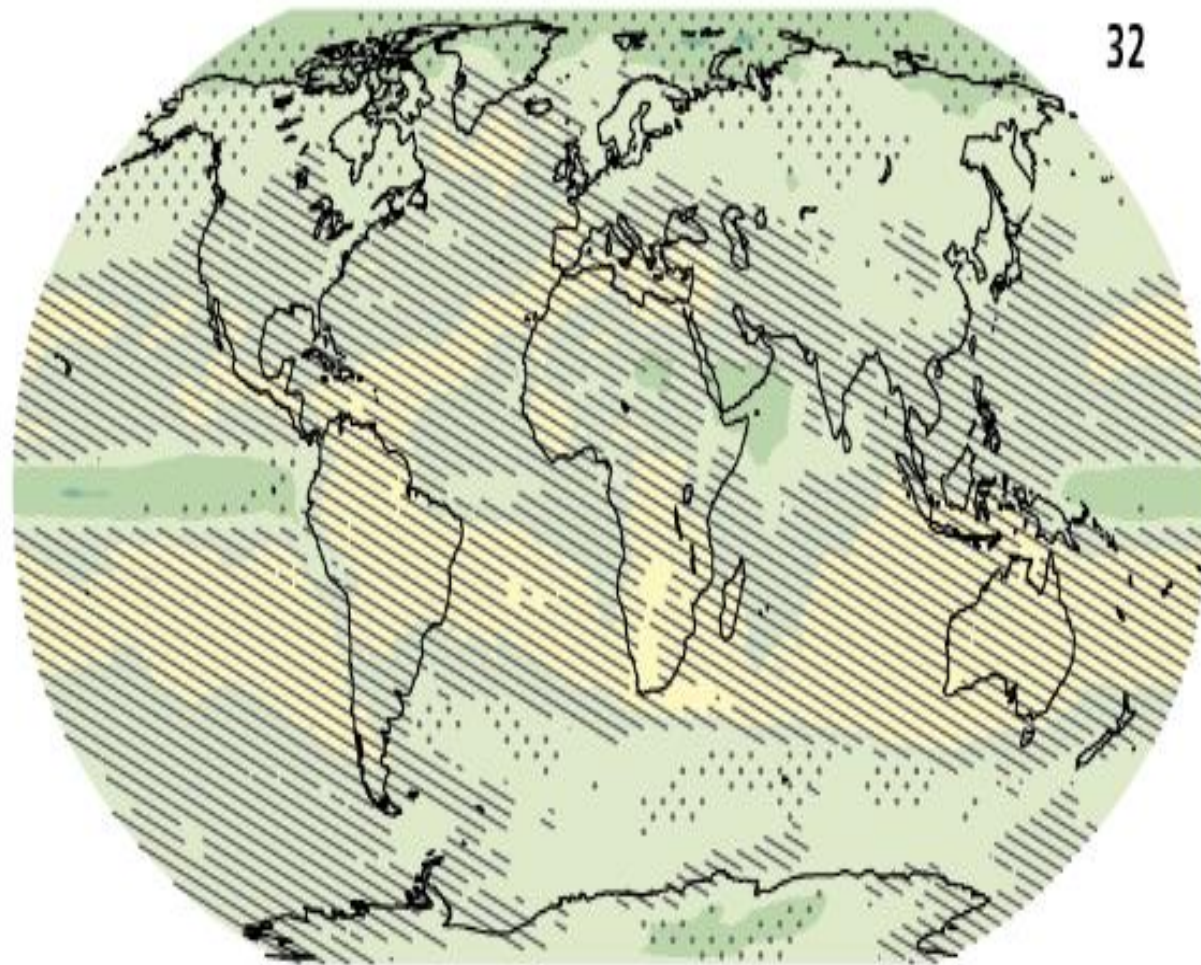
-2 -1.5 -1 -0.5 0 0.5 1 1.5 2 3 4 5 7 9 11 (Fuente: IPCC, 2013)

(b)

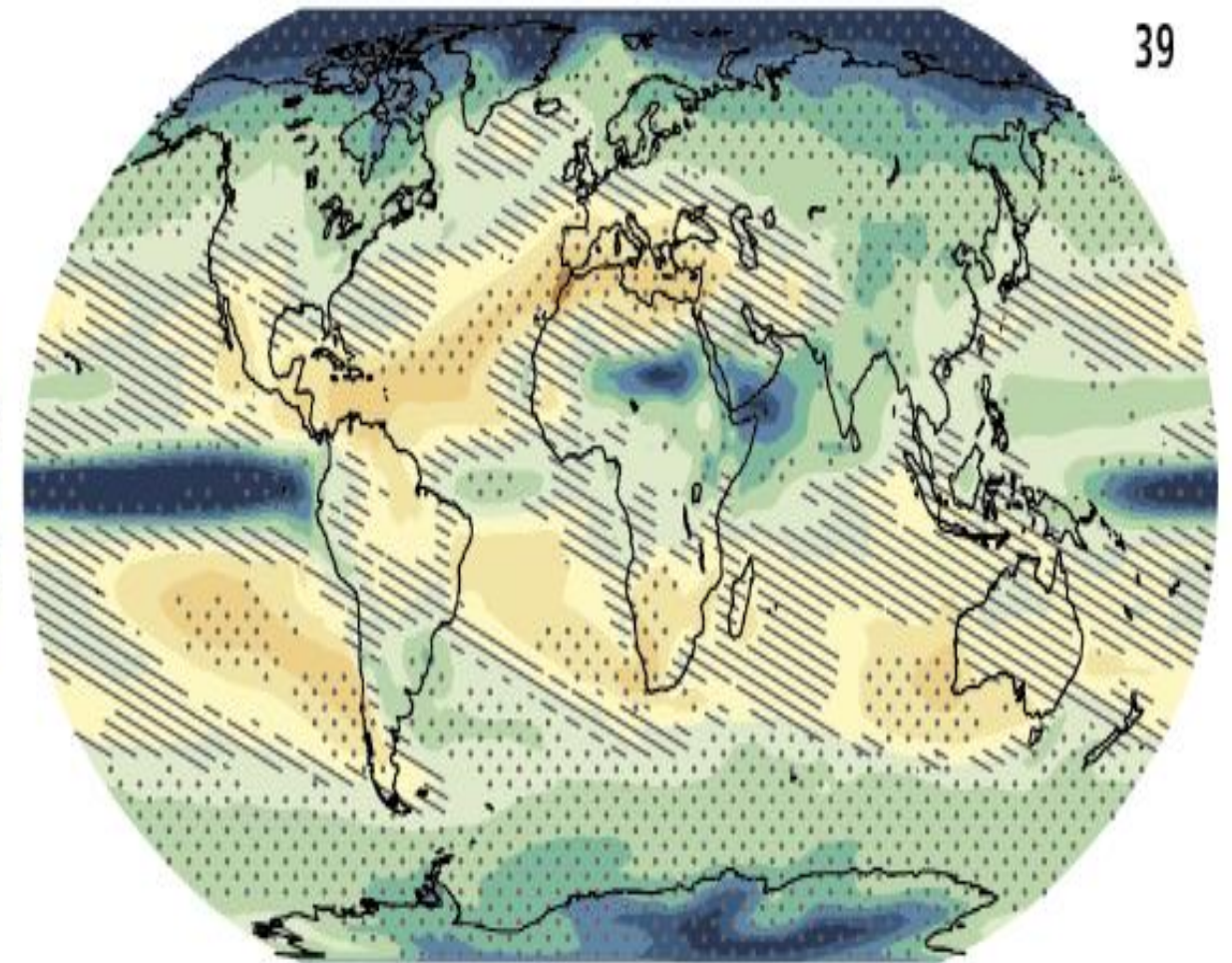
# Change in average precipitation (1986–2005 to 2081–2100)

RCP2.6

RCP8.5



32



39



-50

-40

-30

-20

-10

0

10

20

30

40

50

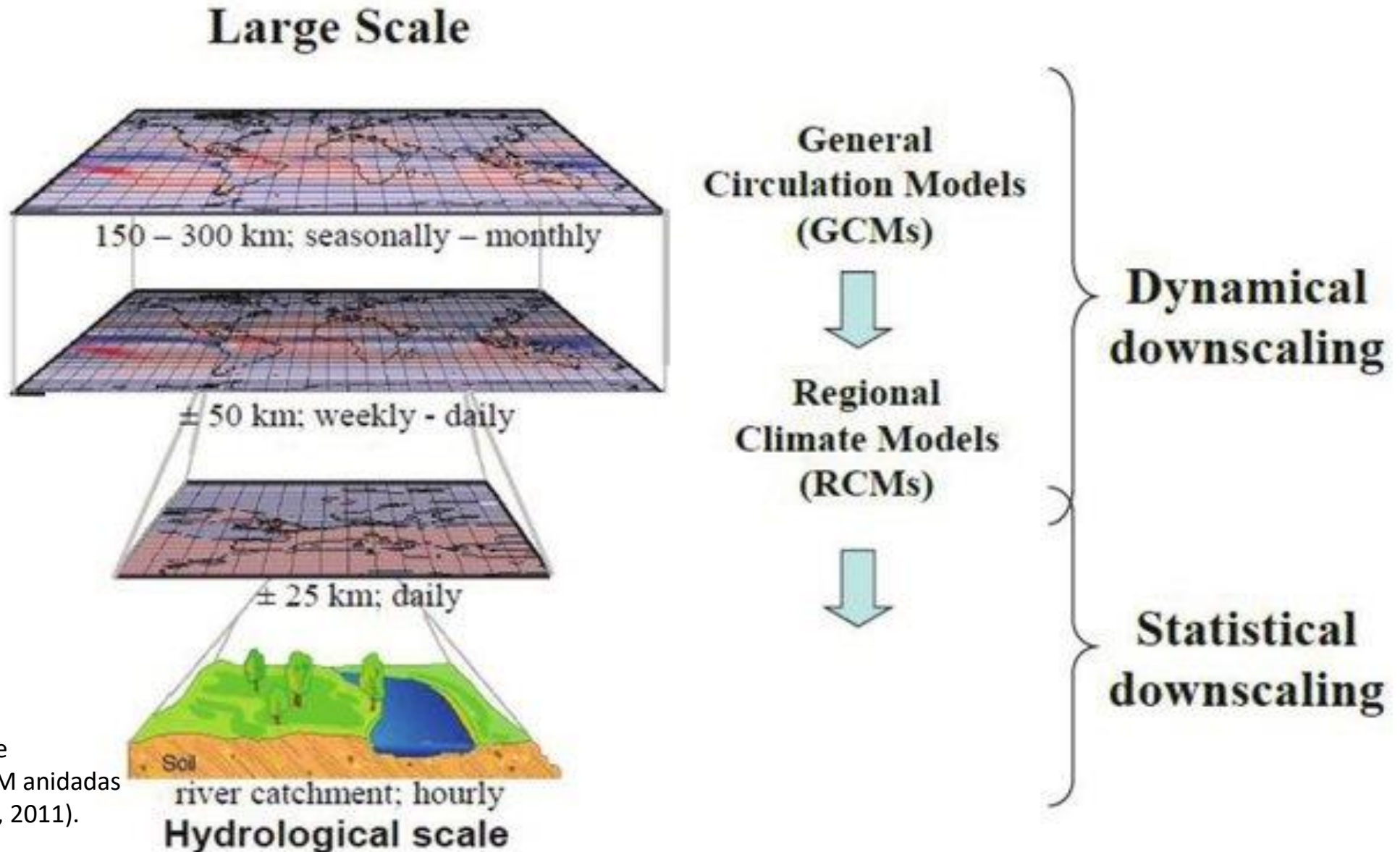
Fuente: IPCC, 2013

# Proyecciones de Escenarios Climáticos para Guatemala

	Documentos de escenarios para Guatemala	Escenario	Año
MARN1_o	Primera comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN	Optimista	2001
MARN1_p	Primera comunicación sobre cambio climático en Guatemala MARN	Pesimista	2001
CATHALAC_B2	Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre la Biodiversidad en Centro América, México y la República Dominicana Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC)	B2	2008
CATHALAC_A2	Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre la Biodiversidad en Centro América, México y la República Dominicana Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC)	A2	2008
IARNA_B2	Cambio Climático y Biodiversidad IARNA-URL	B2	2011
IARNA_A2	Cambio Climático y Biodiversidad IARNA-URL	A2	2011
CEPAL_B2	La economía del cambio climático en Centro America, Informe Técnico, CEPAL	B2	2011
CEPAL_A2	La economía del cambio climático en Centro America, Informe Técnico, CEPAL	A2	2011
CEPA_Otros_A2	Cambio Climático en Centroamérica Impactos potenciales y opciones de política pública CEPAL, COSEFIN, CCAD/SICA, UKAID Y DANIDA	A2	2012
MARN_INSIVUMEH_B1	Segunda Comunicación Sobre Cambio Climático en Guatemala MARN_INSIVUMEH	B1	2015
MARN_INSIVUMEH_A2	Segunda Comunicación Sobre Cambio Climático en Guatemala MARN_INSIVUMEH	A2	2015
BID_MARN_RCP8.5	Impactos climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5	RCP8.5	2015

Fuente: Elaboración propia con los estudios presentados en este documento.

# Metodología



Reducción de escala de simulaciones GCM-RCM anidadas (Adaptado de Willems, 2011).

## ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA GUATEMALA, C.A













A continuación, se presentan las proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Guatemala, bajo los escenarios de Cambio Climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC. Para ello se calculó el promedio de los modelos climáticos globales seleccionados del proyecto CMIP5 y proporcionados por CGIAR, los cuales ya cuentan con una reducción de escala a un 1 km<sup>2</sup> realizado por el método Delta, referido a la línea base climática World-Clim 1.2 del periodo 1960-1990.













Los escenarios utilizados son RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, los cuales tienen resolución temporal mensual en cada uno de los periodos climáticos futuros; 2020-2049, 2040-2069, 2060-2089 y 2070-2099.










- DOI:
- [10.13140/RG.2.2.15166.20807](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15166.20807)

# Escenarios Para Guatemala

## Promedio de 33 modelos de cambio climático

	MODELO	País
1	bcc_csm1_1	China 
2	bcc_csm1_1_m	China 
3	bnu_esm	China 
4	cccma_canesm2	Canada 
5	cesm1_bgc	USA 
6	cesm1_cam5	USA 
7	cnrm_cm5	Francia 
8	csiro_access1_0	Australia 
9	csiro_access1_3	Australia 
10	csiro_mk3_6_0	Australia 
11	ec_earth	Comunidad Europea 
12	fio_esm	China 

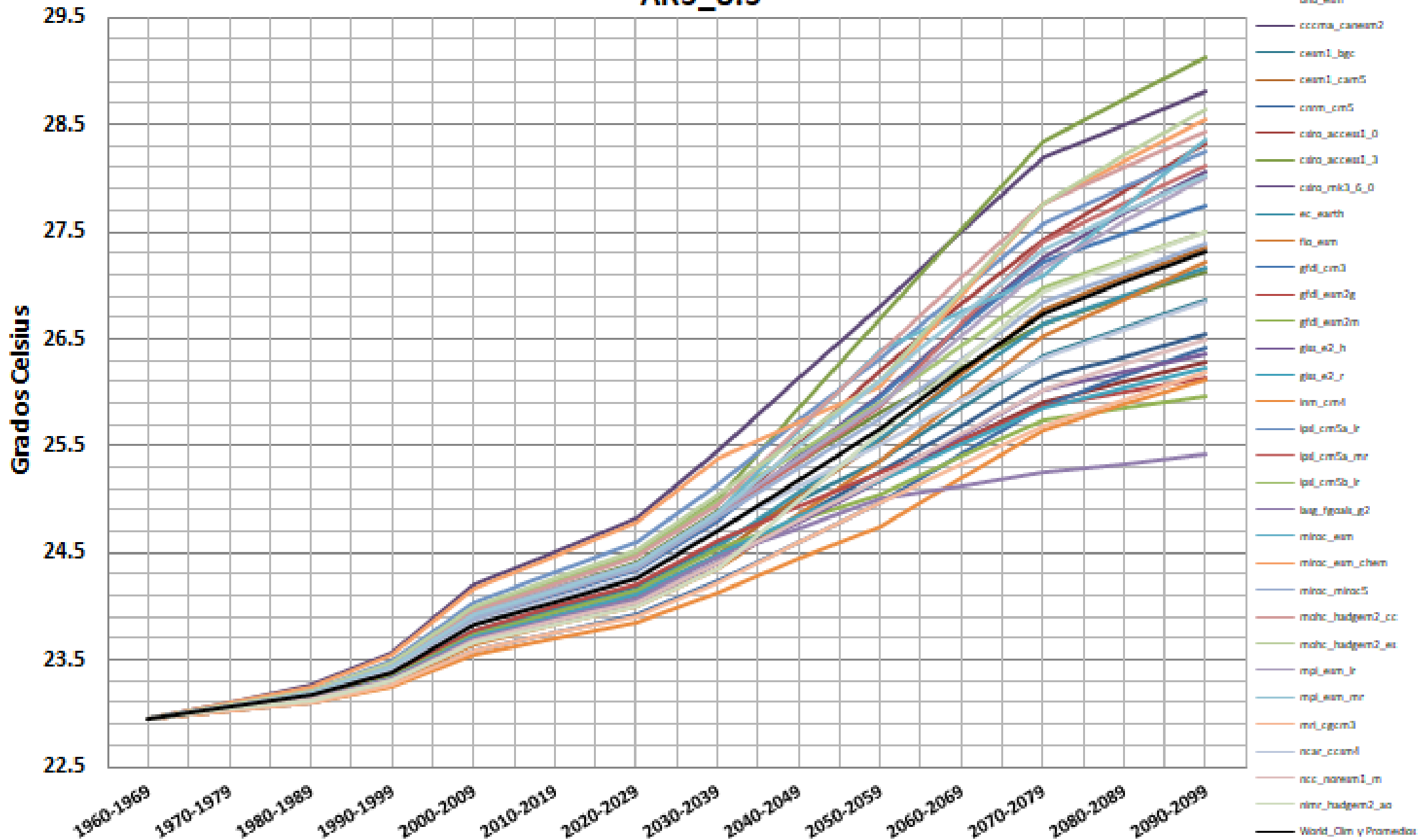
	MODELO	País
13	gfdl_cm3	USA 
14	gfdl_esm2g	USA 
15	gfdl_esm2m	USA 
16	giss_e2_h	USA 
17	giss_e2_r	USA 
18	inm_cm4	RUSSIA 
19	ipsl_cm5a_lr	Francia 
20	ipsl_cm5a_mr	Francia 
21	ipsl_cm5b_lr	Francia 
22	lasg_fgoals_g2	China 
23	miroc_esm	Japón 
24	miroc_esm_chem	Japón 

	MODELO	País
25	miroc_miroc5	Japón 
26	mohc_hadgem2_cc	UK 
27	mohc_hadgem2_es	UK 
28	mpi_esm_lr	Alemania 
29	mpi_esm_mr	Alemania 
30	mri_cgcm3	Japón 
31	ncar_ccsm4	USA 
32	ncc_noresm1_m	Noruega 
33	nimr_hadgem2_ao	Korea 

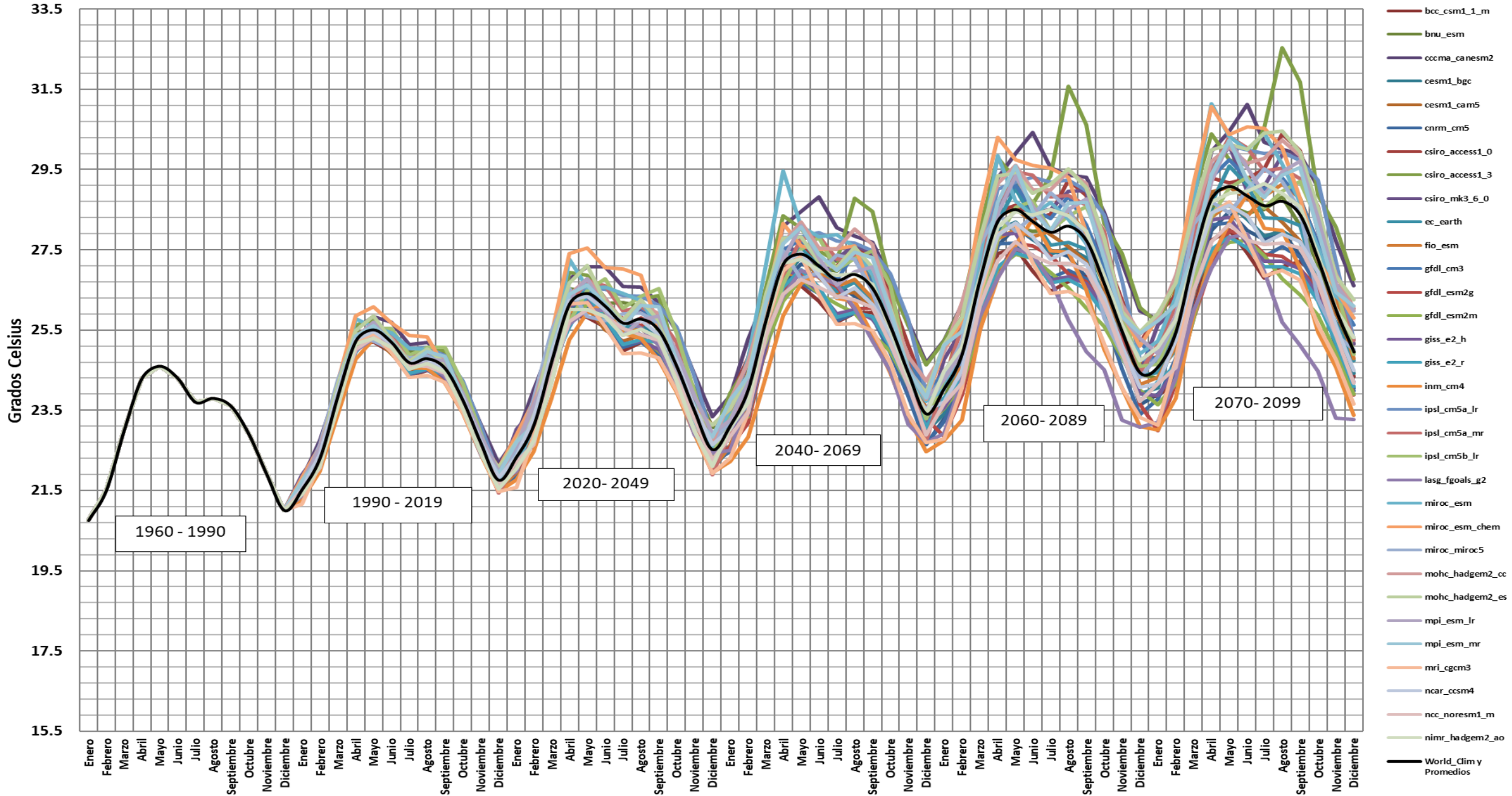


# Resultados

## Proyecciones decadales de temperatura media para Guatemala, 33 modelos, AR5\_8.5

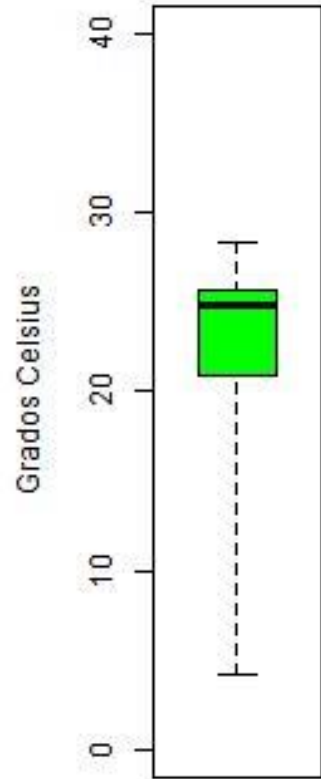


# Proyecciones climáticas de temperatura media para Guatemala, 33 modelos AR5\_8.5



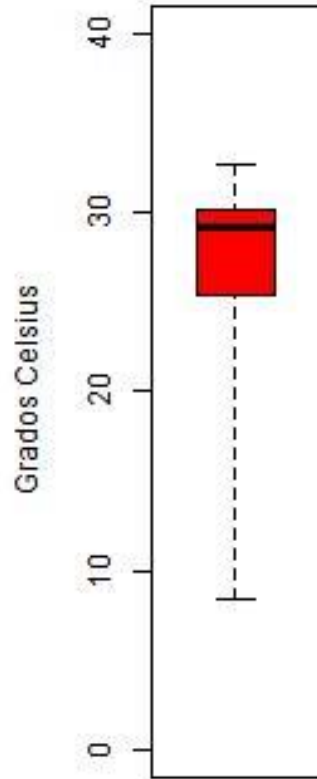
# Proyecciones para Guatemala Escenario 8.5

Boxplot, Temperatura Media



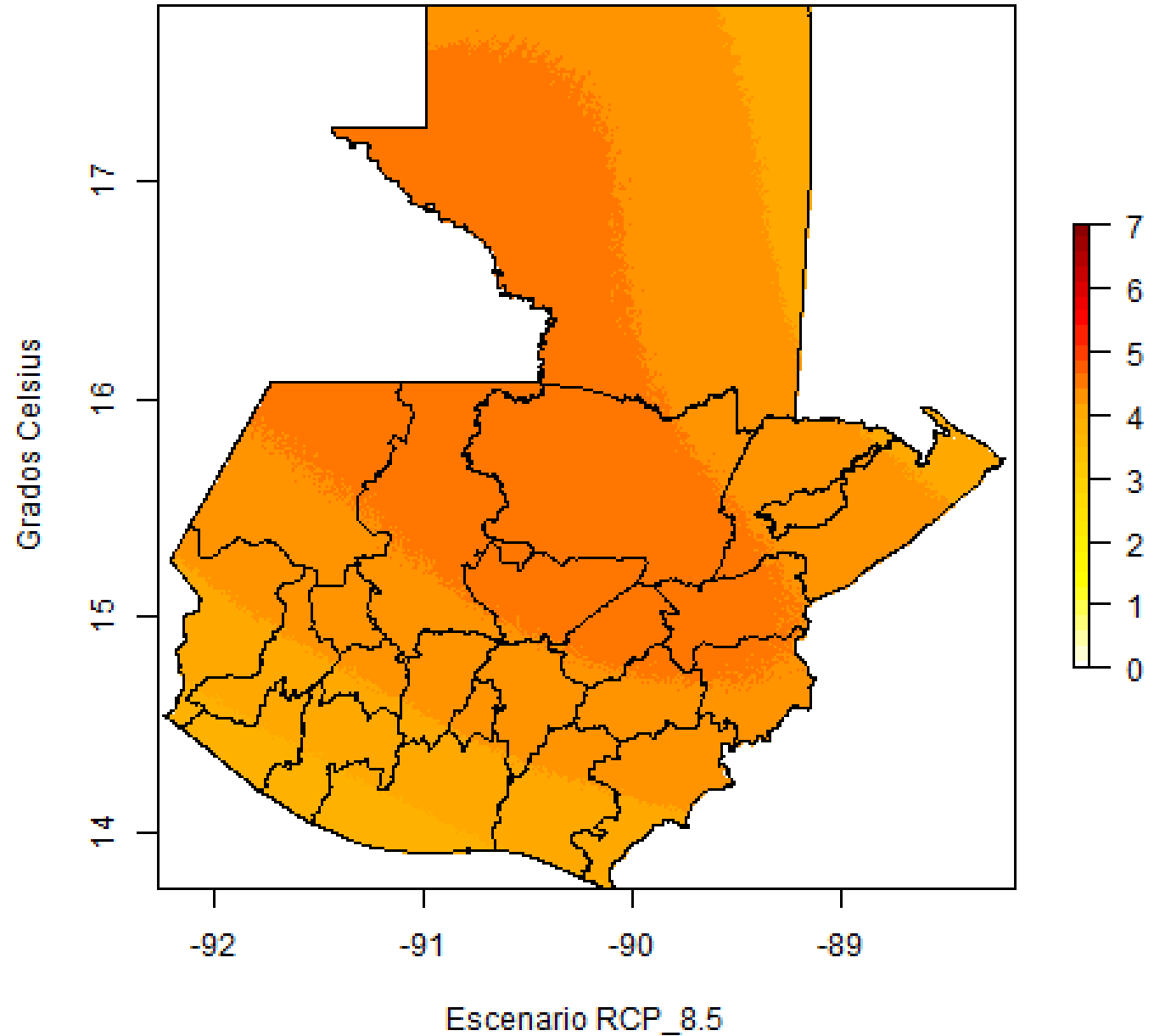
World Clim 1960-1990

Boxplot, Temperatura Media

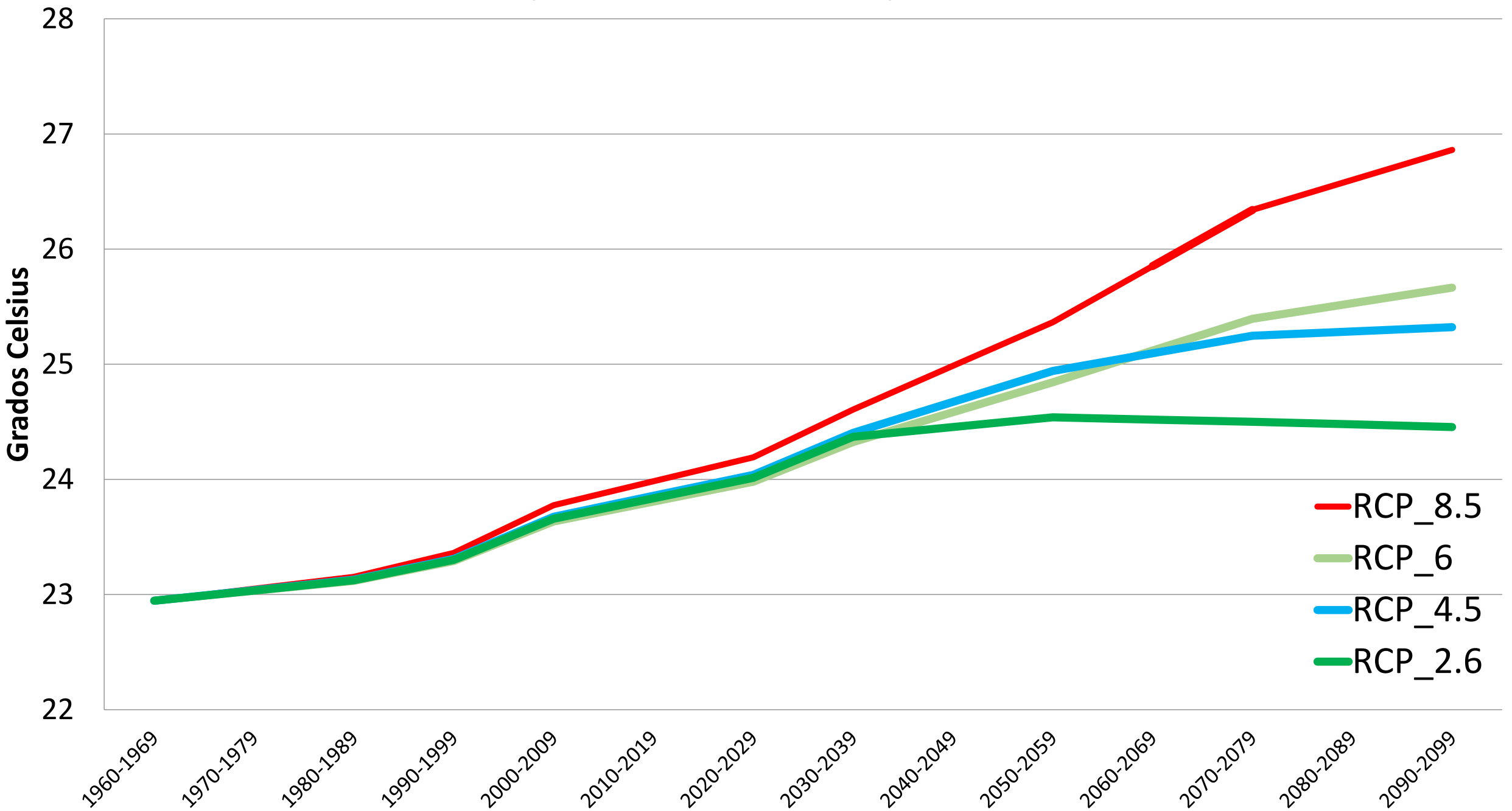


RCP\_8.5\_2070-2099

Anomalia de Temperatura Media (2070-2099)-(1960-1990)



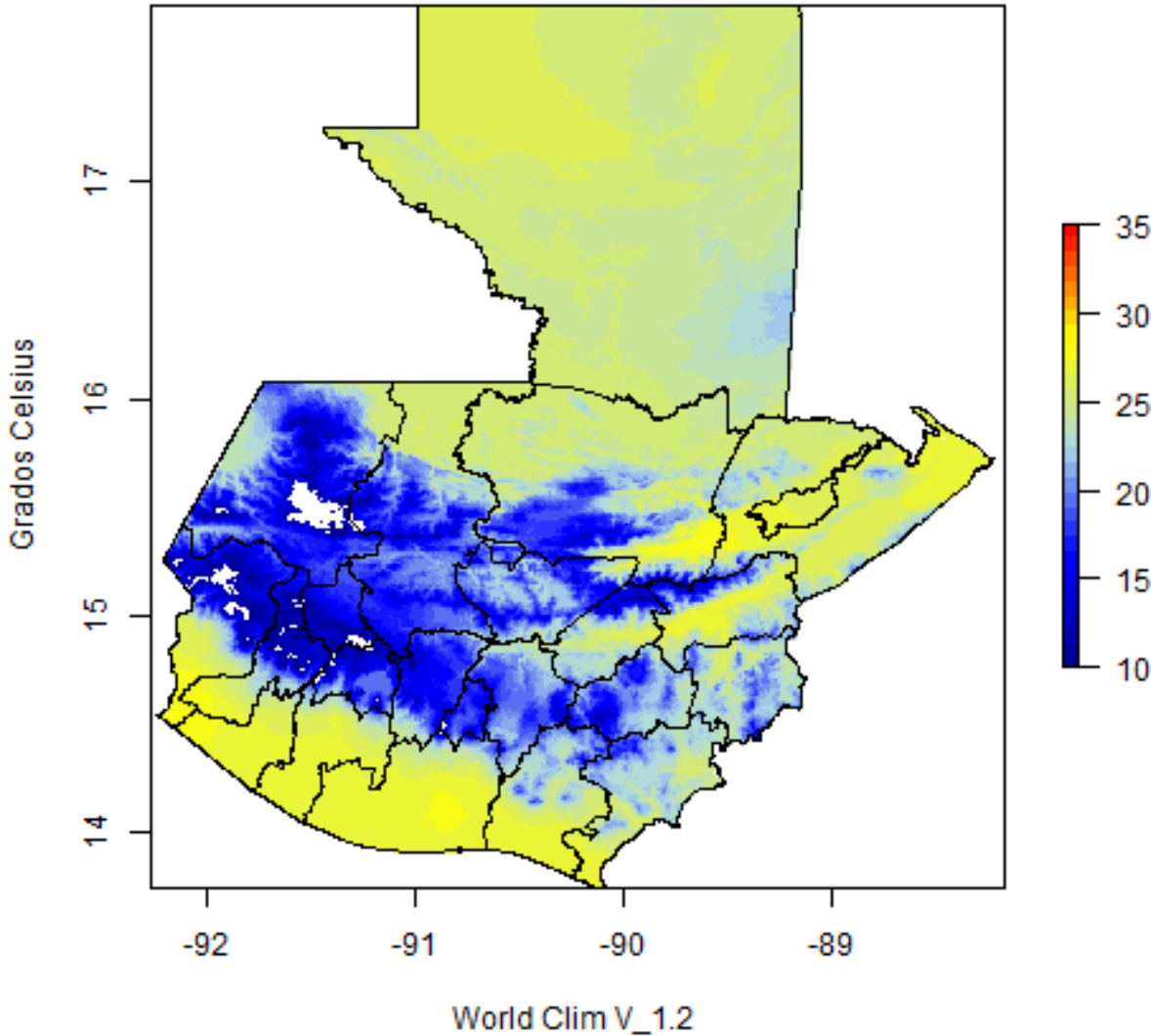
# Temperatura media anual por década



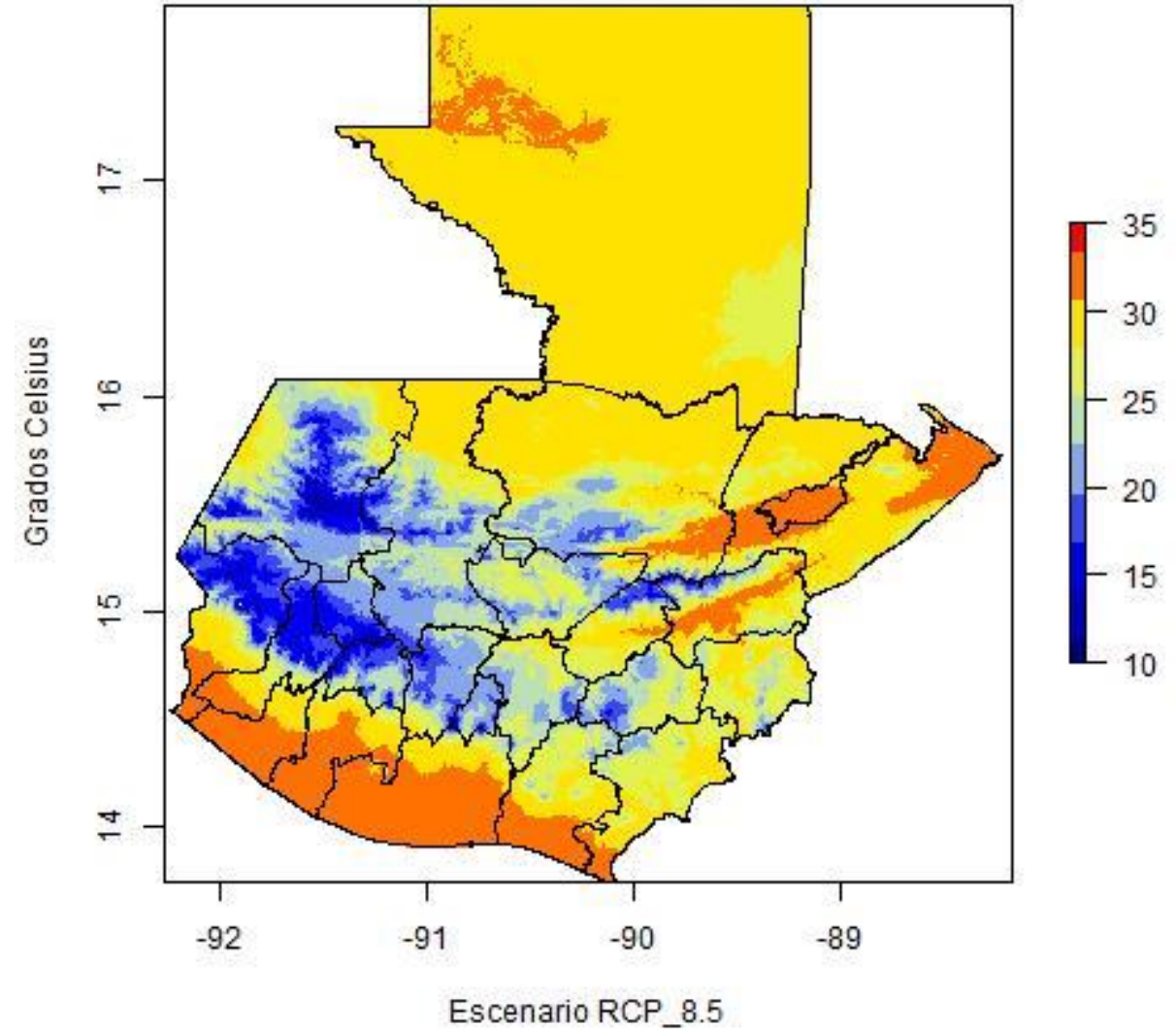
# Distribución espacial de la T.

T de 26 grados a 29 grados Celsius

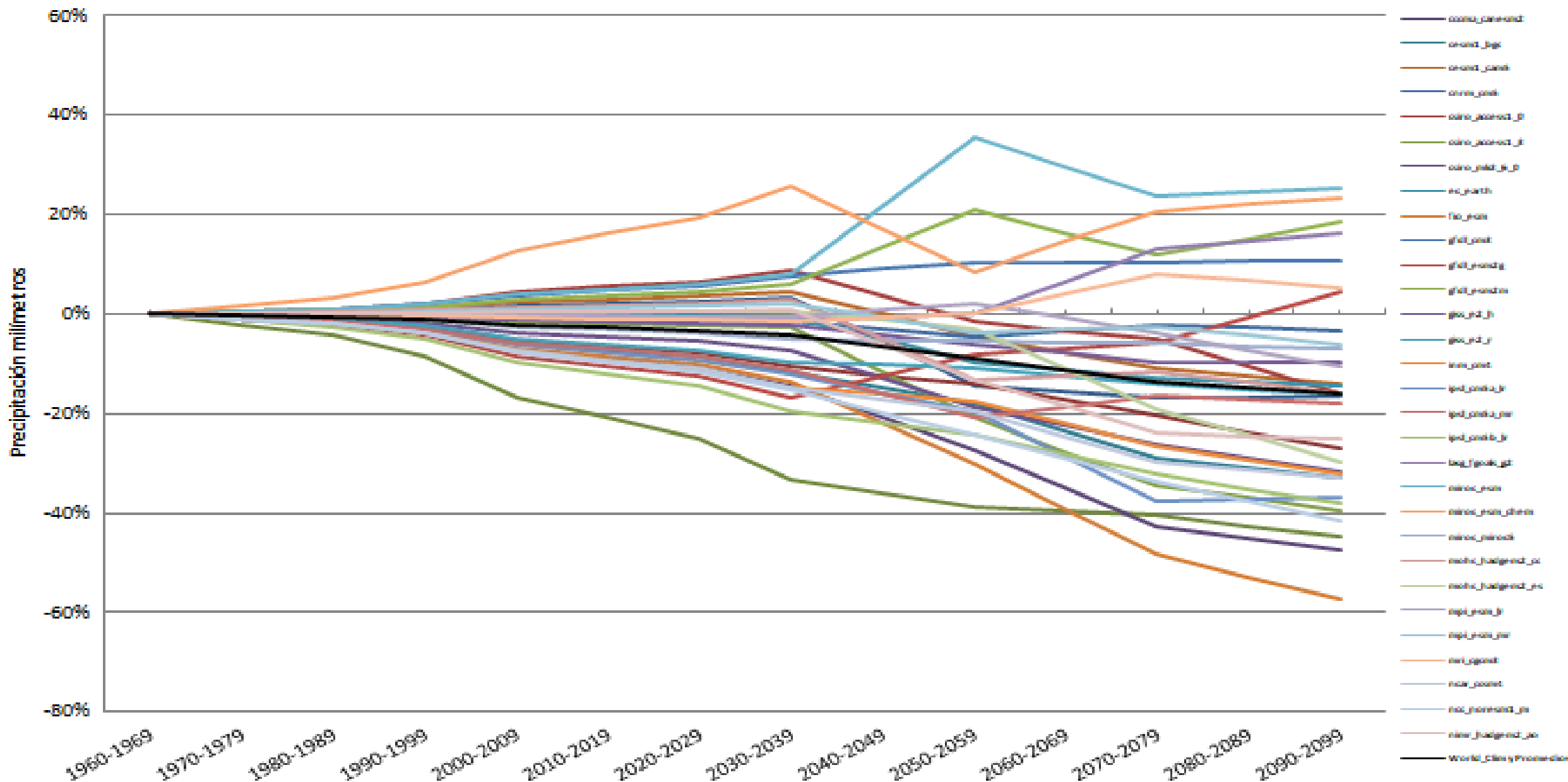
Clima, Temperatura Media (1960-1990)



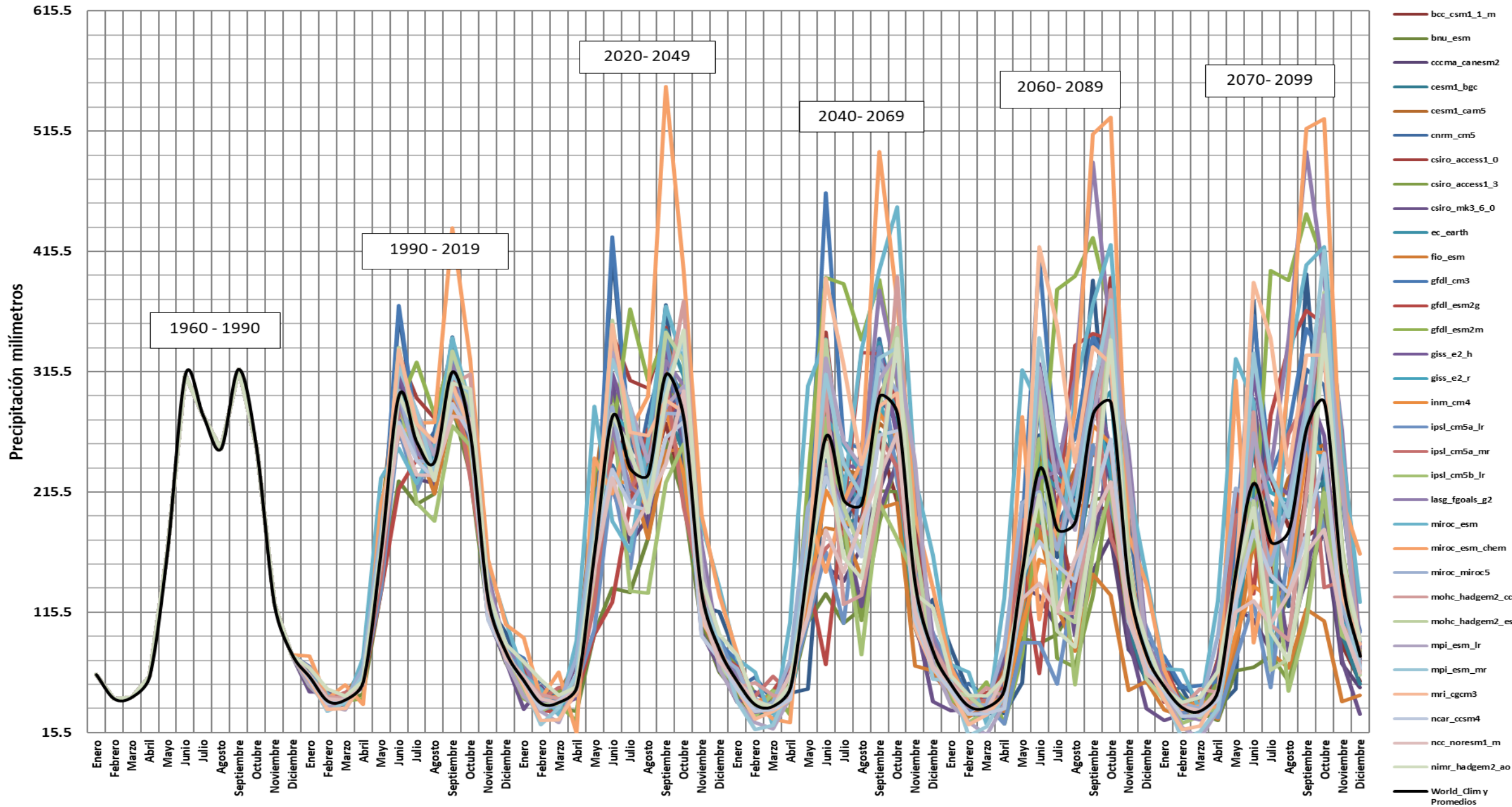
Clima Temperatura Media (2070-2099)



# Proyecciones decadales de precipitación % anual para Guatemala, 33 modelos AR5\_8.5



# Proyecciones climáticas de precipitación para Guatemala, 33 modelos AR5\_8.5

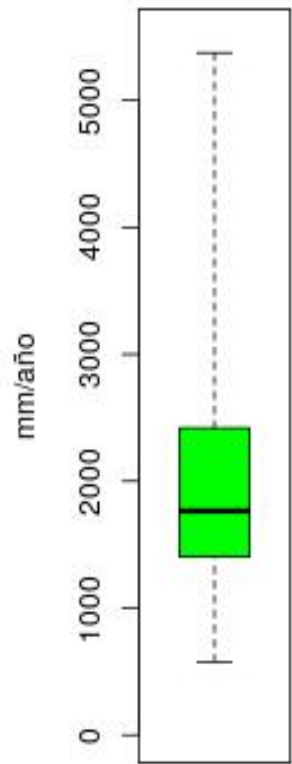


# Precipitación

## Escenario 8.5

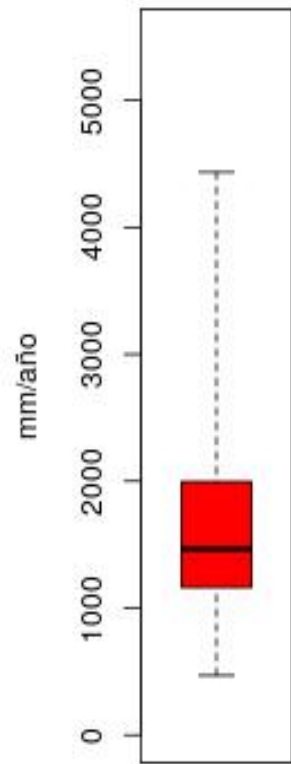
En promedio de 2000 a 1600 mm/año

Boxplot, Precipitación anual



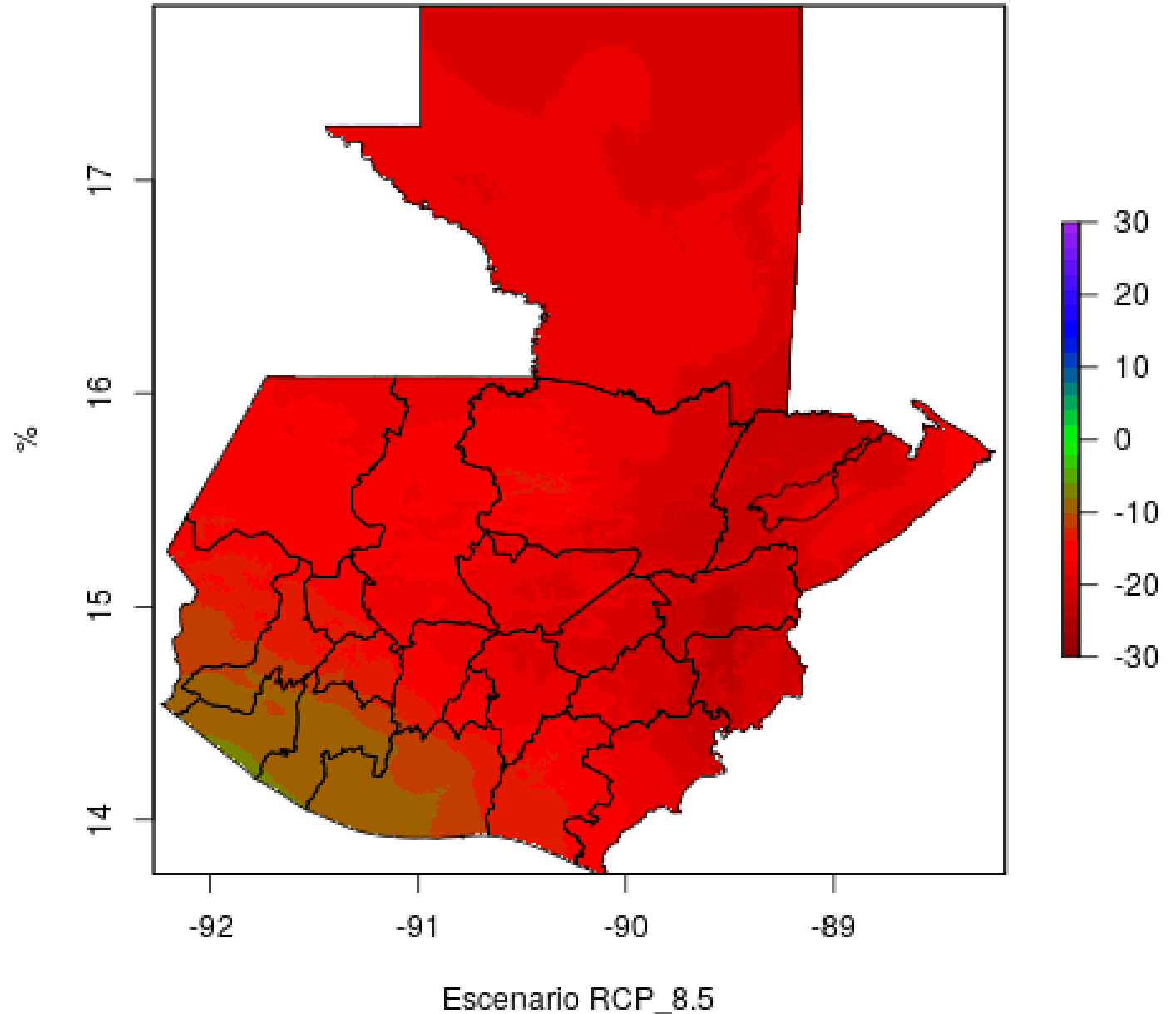
World Clim 1960-1990

Boxplot, Precipitación anual



RCP\_8.5\_2070-2099

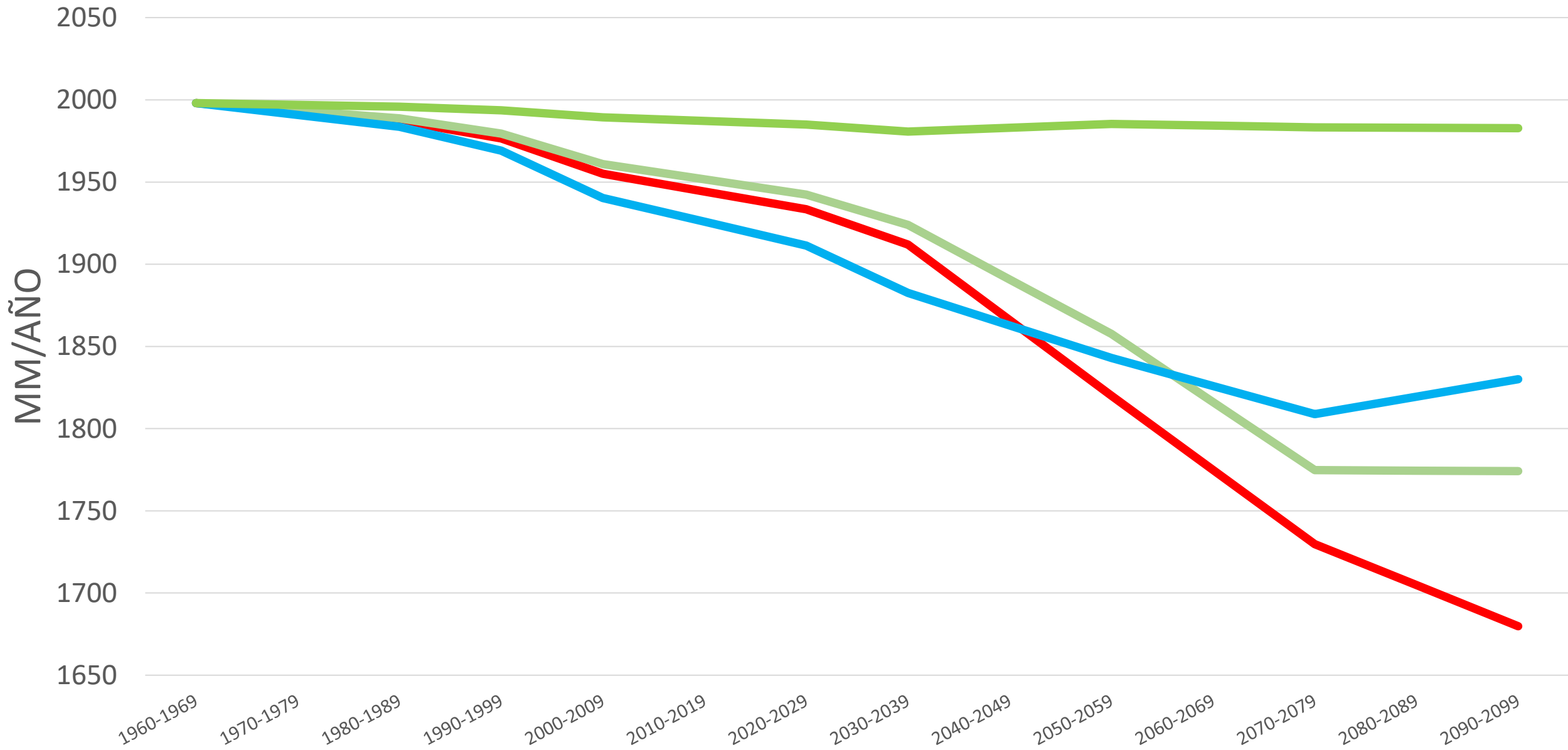
Anomalia de Precipitación % (2070-2099)-(1960-1990)





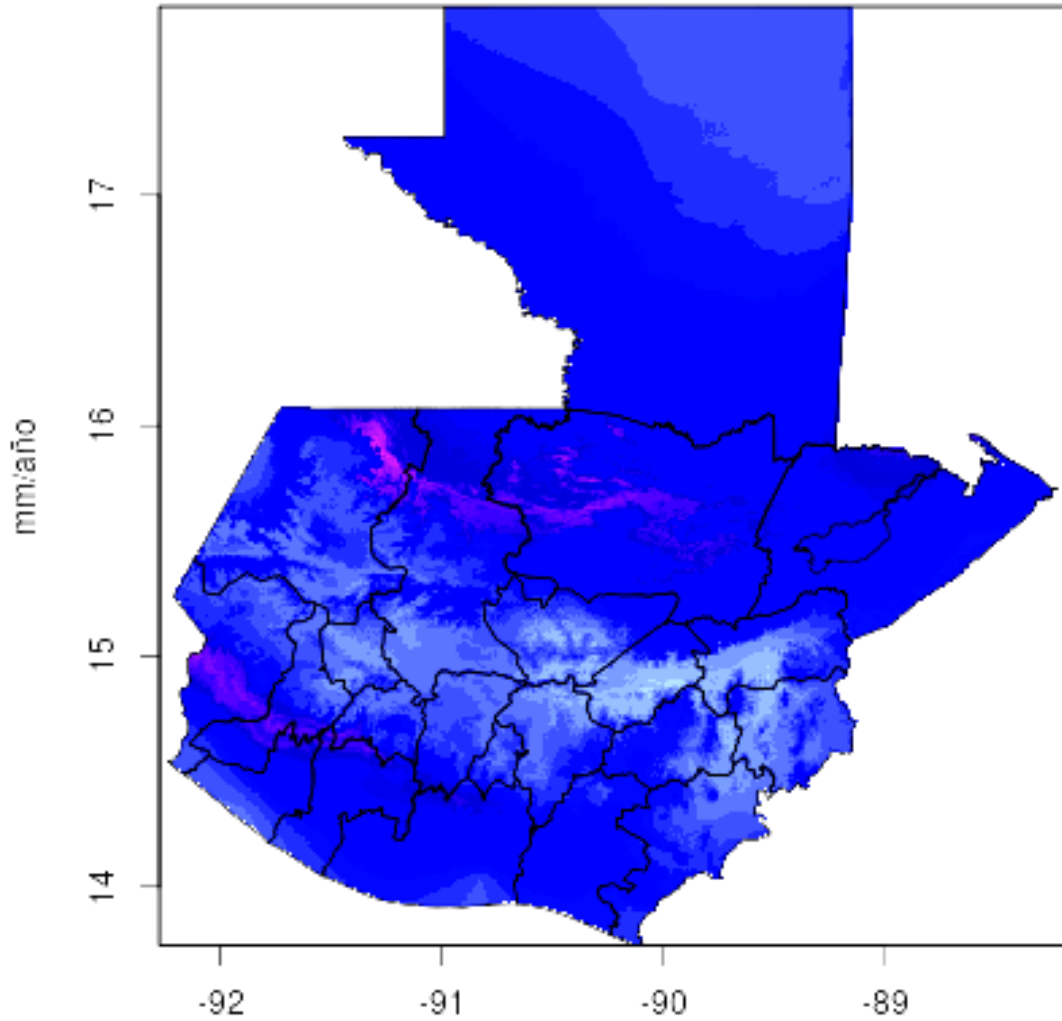
# Precipitación anual por década

RCP\_8.5 RCP\_6 RCP\_4.5 RCP\_2.6



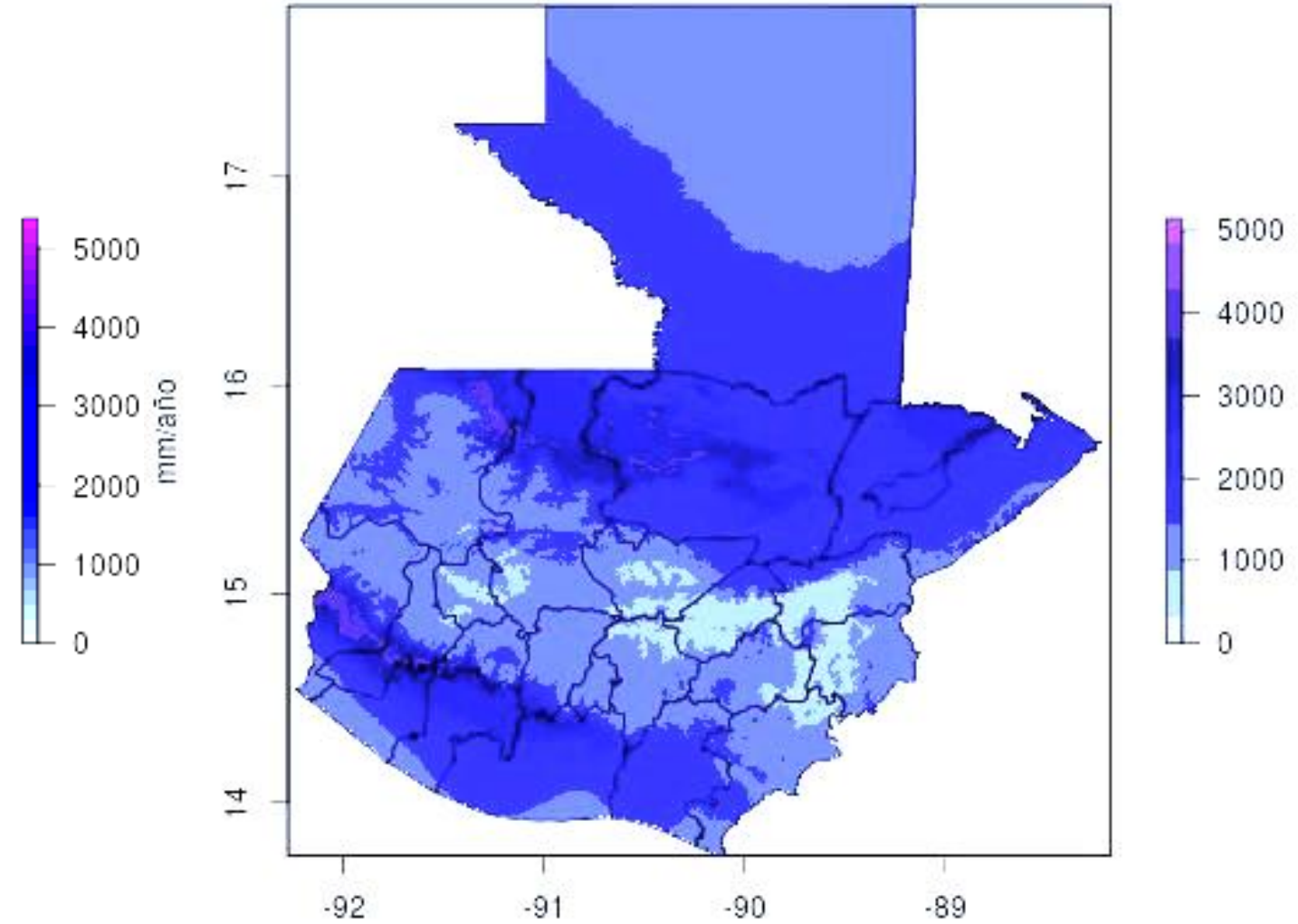
# Cambios de pp en la meseta central y zona semiárida

Clima, Acumulado anual (1960-1990)



World Clim V\_1.2

Clima, Acumulado anual (2070-2099)



Escenario RCP\_8.5

# Conclusiones

- En el escenario RCP\_8.5, el promedio de los modelos proyecta aumentos en la temperatura de hasta 2° para el 2050 y de hasta 3.°C para fines de siglo, comparado con el clima actual. Pero el rango esta entre 1 y 5.
- El promedio de escenarios estiman disminución del 10% de precipitación media anual para la década de 2050 y de 16% para finales de siglo. Pero el rango esta entre -60% a +20%.

# Conclusiones

- Impactos climáticos importantes para los departamentos de Baja Verapaz, Sacatepéquez, Totonicapán, Chimaltenango, Guatemala, El Progreso, Zacapa, Jutiapa, Chiquimula, sur de Quiché, y sur de Huehuetenango.
- Las sequías podrían ser más prolongadas y la temporada de lluvias puede ser alterada, generando tormentas locales severas.

# Recomendaciones

- Realizar estudios que evalúen que modelos son los mas adecuados para la región.
- Desarrollar estudios científicos de los efectos del cambio climáticos sobre los ecosistemas del país y de la región, estimado sus impactos sobre la biodiversidad, la agricultura y las poblaciones que viven en estos ambientes.
- Introducir acciones educativas para promover la adaptación y la resiliencia de las poblaciones afectadas por el cambio climático.



# Gracias por su atención

**Dr. Paris Rivera**

[priverar1@miumg.edu.gt](mailto:priverar1@miumg.edu.gt)

