

# Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México

**Dr. Polioptro F. Martínez Austria**  
**Dr. Carlos Patiño Gómez**

**Agosto de 2009**



# Cambio climático



La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), define el cambio climático como: “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

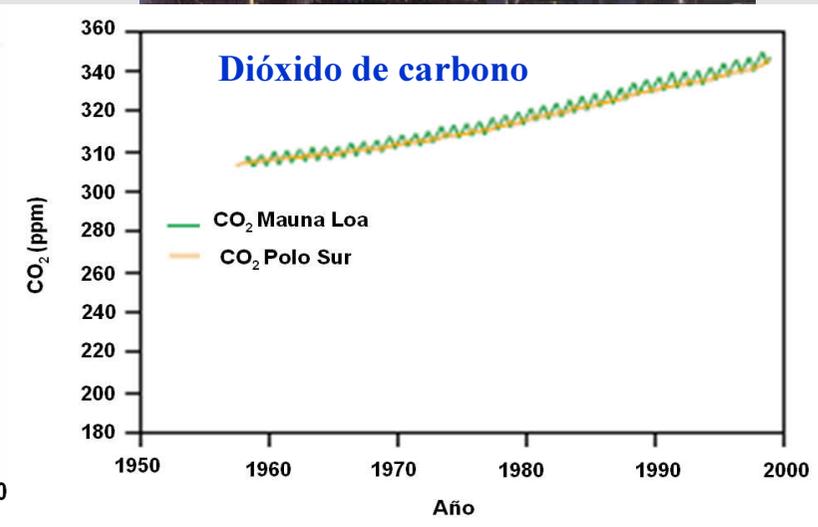
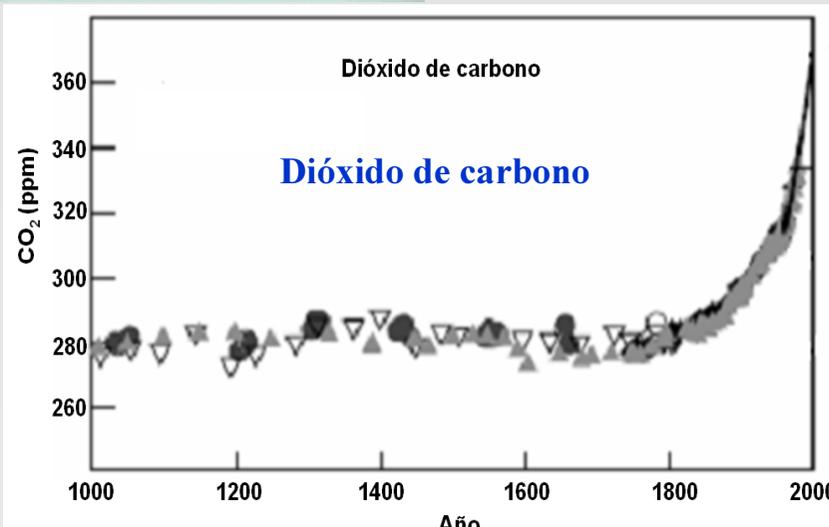
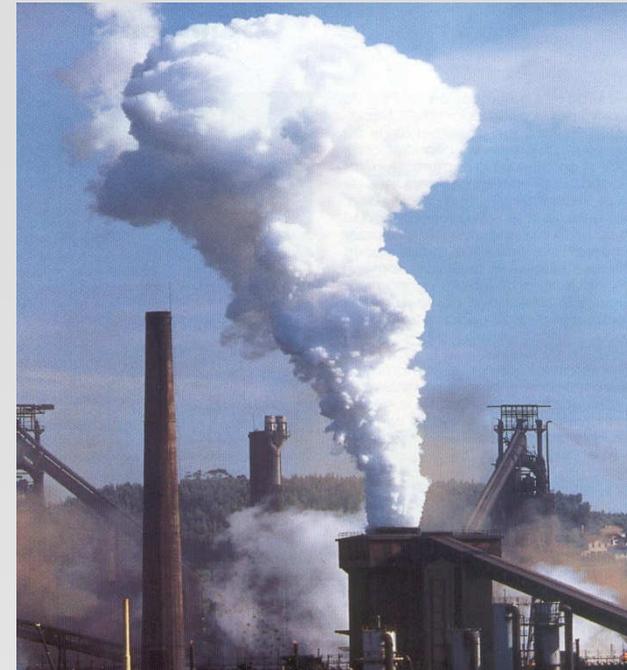
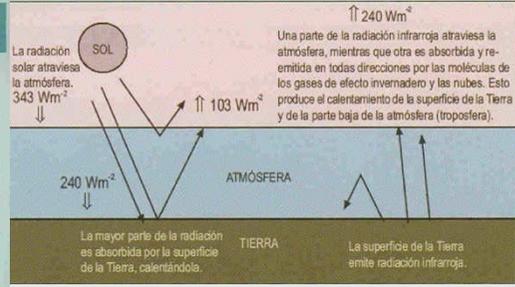


**Incremento de los gases efecto invernadero. era industrial (últimos 200 años).**

- **El efecto invernadero.**
- Absorción de la radiación solar que es reflejada por la superficie de la tierra.**

Tabla 1. Principales gases de invernadero, concentraciones y tasas de crecimiento (IPCC, 2001a).

|                              | CO <sub>2</sub><br>Dióxido de carbono | CH <sub>4</sub><br>Metano | N <sub>2</sub> O<br>Óxido nítrico | CFC-11<br>Clorofluorocarbón 11 | HCF-23<br>Hidrofluoro-carbón-23 | C <sub>F</sub> <sub>4</sub><br>Perfluorocarbón |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Concentración preindustrial  | 280 ppm                               | 700 ppb                   | 270 ppb                           | cero                           | cero                            | 40 ppt   |
| Concentración en 1998        | 365 ppm                               | 745 ppb                   | 314 ppb                           | 268 ppt                        | 14 ppt                          | 80 ppt   |
| Tasa de crecimiento anual    | 1.5 ppm                               | 7.0 ppb                   | 0.8 ppb                           | -1.4 ppt                       | 0.55 ppt                        | 1 ppt  |
| Años de vida en la atmósfera | 5 - 200                               | 12                        | 114                               | 45                             | 260                             | > 50,000                                       |



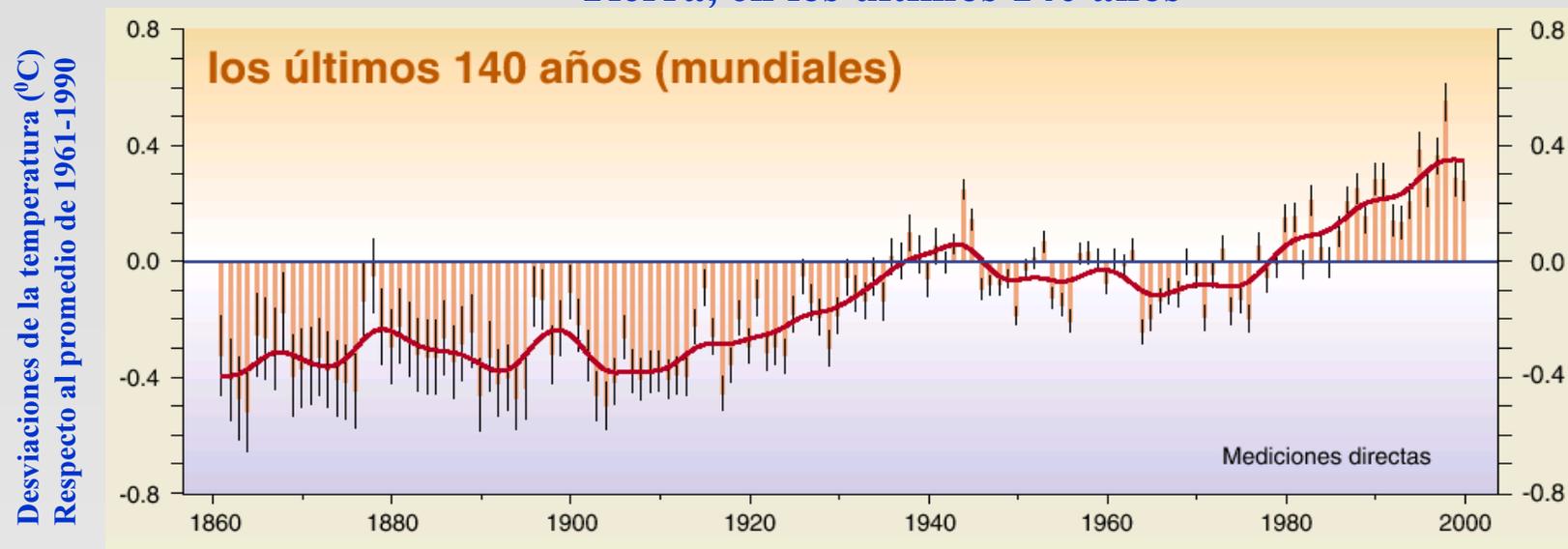
**Fuente: Tercer informe de evaluación del IPCC. 2001.**



## Se manifiesta en un aumento de temperatura

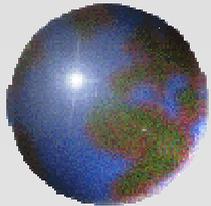


### Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra, en los últimos 140 años



La temperatura de la superficie ha aumentado aproximadamente 0.6 °C. Tercer Informe IPCC. 2001

Fuente: Tercer informe de Evaluación del IPCC. 2001.



# Síntomas de Cambio Climático

- Temperatura
- Glaciares
- Precipitación



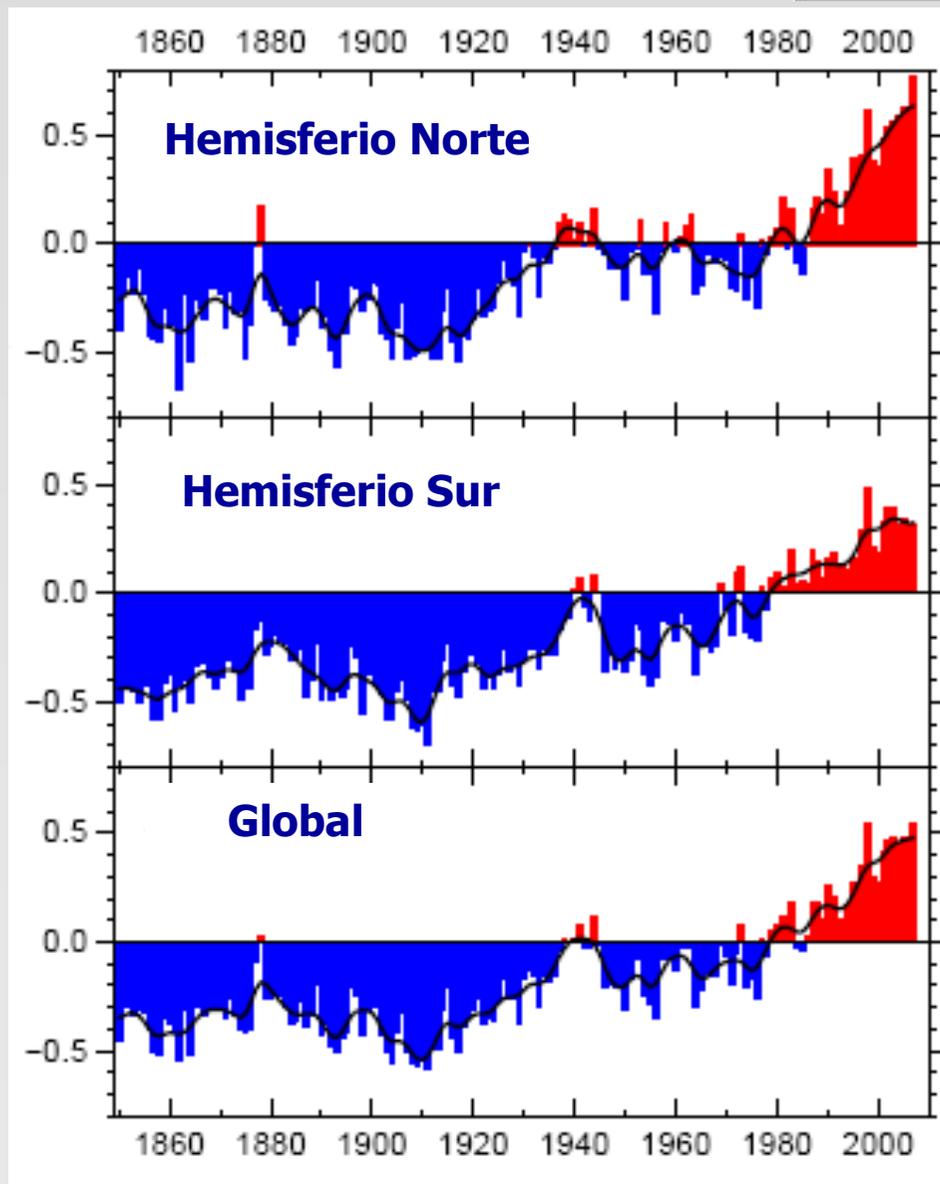
## Incrementos en temperatura. Ambos hemisferios.

SEMARNAT



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

### ANOMALÍA DE TEMPERATURA (° C)



**Años más calurosos: 1998, 2002, 2003, 2004, 2005.**



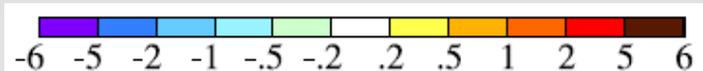
# Cambios Observados en la era industrial

SEMARNAT

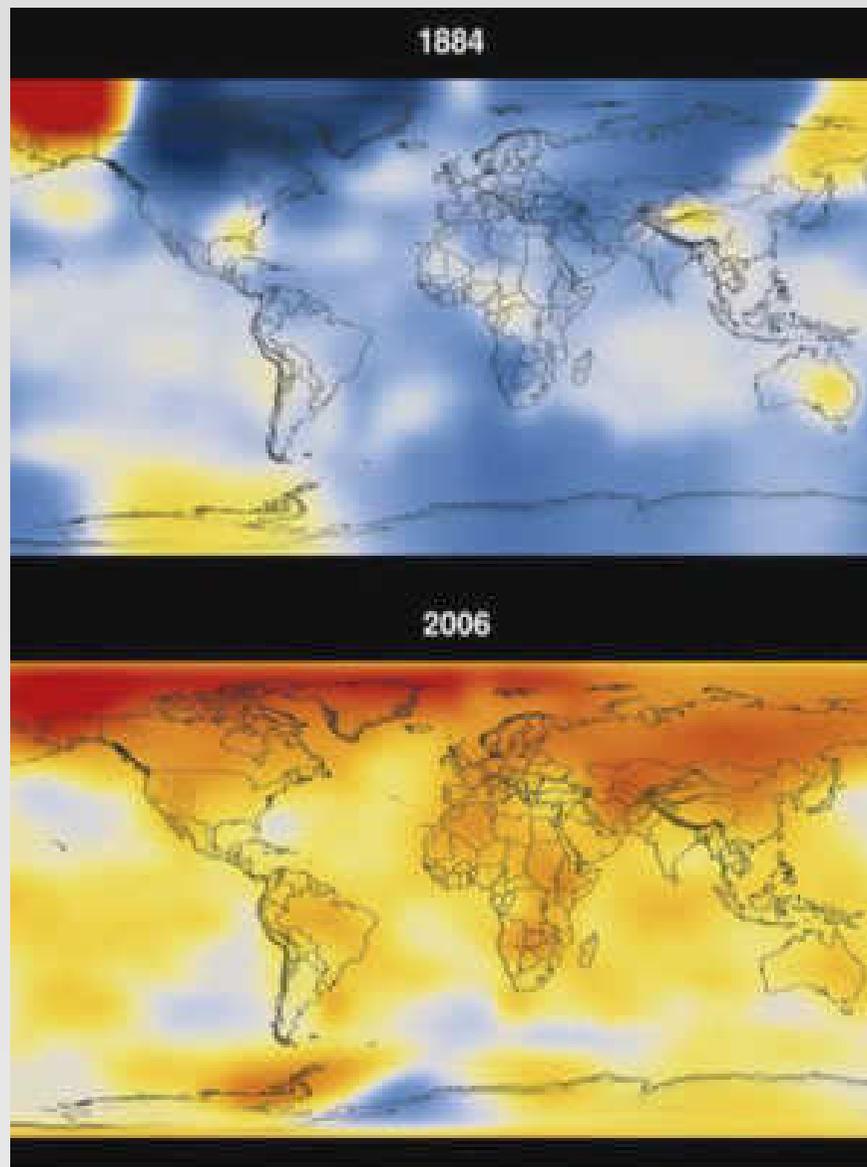


SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

Anomalía de Temperatura ° C



Periodo Base: 1952-1980



- La mayoría de los glaciares está disminuyendo de tamaño.
- En los Alpes, han desaparecido glaciares en apenas 40 años.
- En Argentina, los glaciares de la Patagonia han disminuido 1.5 km en trece años.
- La velocidad de los cambios sólo es explicable por el calentamiento global.
- El 2007 tiene un nuevo record de anomalía de deshielo de Groenlandia.



# Glaciar Qori Kalis, Andes de Perú

SEMARNAT



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



- 1978**
- 1963 – 1978: disminuyó su tamaño en 4 m/año.
  - A partir de 1990: disminuye más de 30 m/año

**2000**





# Parque Nacional Montana, EEUU.

SEMARNAT



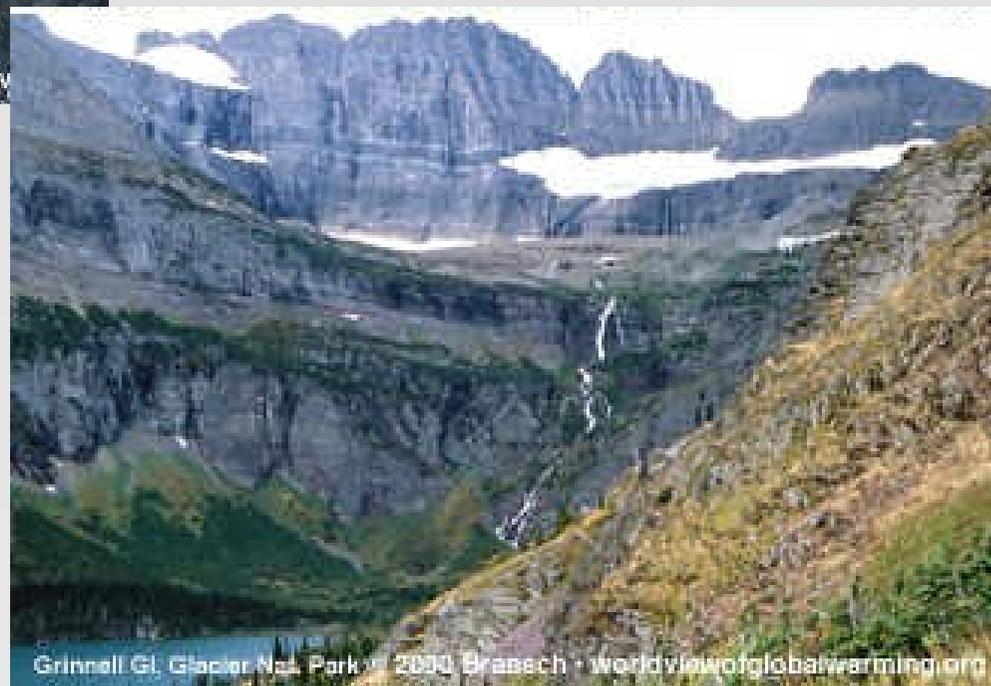
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



1911

Grinnell Gl. Glacier Nat. Park, 1911. Nat. Park Serv

2000



Grinnell Gl. Glacier Nat. Park © 2000 Brasech • worldviewofglobalwarming.org



# Informe IPCC 2007

SEMARNAT



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

“El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se hace ahora evidente a partir de las observaciones de incrementos en la temperatura promedio global, en el aire y en los océanos, el derretimiento generalizado de nieve y hielo, y la elevación del nivel medio del mar”

Panel Intergubernamental de Cambio Climático

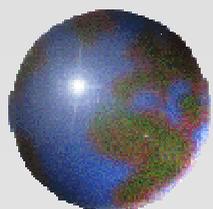
Los sectores más sensibles son los recursos hidráulicos, la agricultura, los recursos forestales y las zonas marinas y costeras.



**SEMARNAT**



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



# Efectos Previstos del Cambio Climático



# Recursos hídricos e hidrológicos



Cambios en la evapotranspiración



Cambios en la humedad del suelo



Cambios en la caída de la nieve y deshielo



Cambios en a frecuencia de inundaciones



Cambios en las características de las nubes



Cambios en la calidad del agua

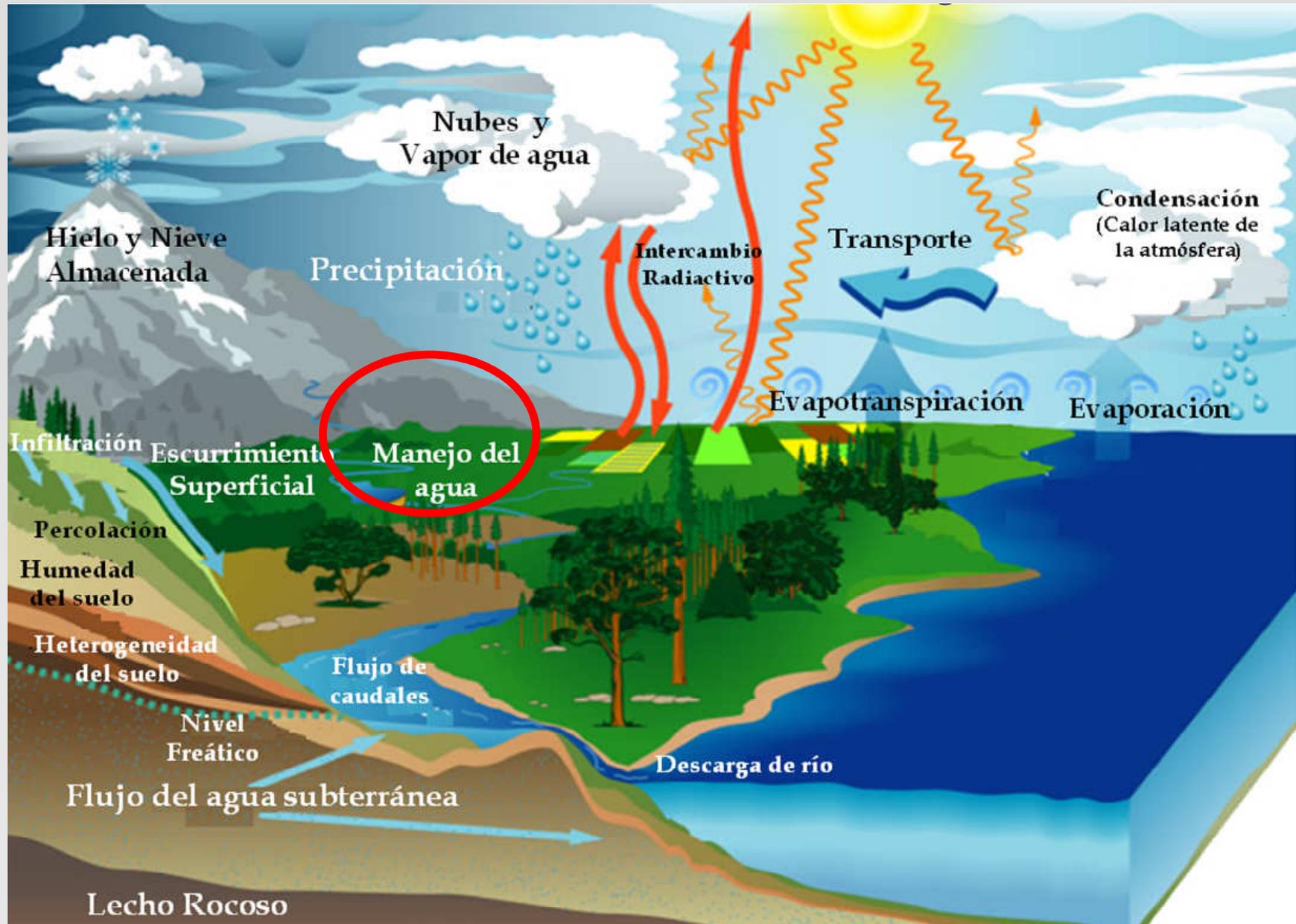


Cambios en los caudales-escurrimientos



Cambios en las recargas subterráneas

*Todos estos factores son importantes en la planeación y manejo del agua*





# Efectos del cambio climático en la planeación y manejo de los sistemas hidráulicos



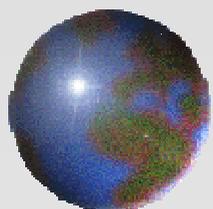
Las decisiones acerca de la planeación de los recursos hídricos, el diseño, la construcción de infraestructura para suministro de agua, el tipo y área de los cultivos, las cuotas de agua y la operación de embalses, dependen de las condiciones climáticas y de un adecuado manejo de los recursos hídricos por parte de los especialistas, técnicos y operadores de los sistemas hidráulicos.



SEMARNAT



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES



# Pronósticos del Cambio Climático a nivel global



# Definición de escenario



## Escenario:

Es una representación plausible de una variable o conjunto de variables en el futuro (población mundial, actividad industrial, emisión de CO<sub>2</sub>, nivel medio del mar, temperatura, precipitación, etc...), que puede ser construida sobre la base de diferentes supuestos o de evoluciones históricas en el pasado.

**Escenarios de emisiones \*SRES del IPCC**  
**(contexto socioeconómico  
y ambiental para los próximos 100 años)**

\*Special Report on Emission Scenarios



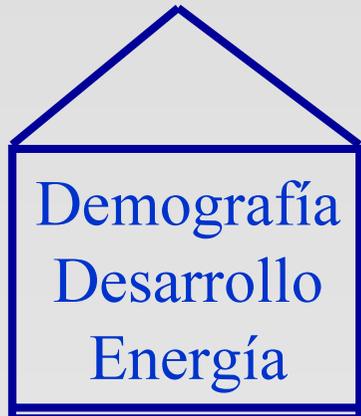
# Secuencia de Escenarios SRES



(Special Report on Emission Scenarios)

Emisiones GEI

Ciclo del carbono



Concentraciones  
GEI

Balance planetario



Sistema climático

Clima futuro

Familia de escenarios  
(SRES)

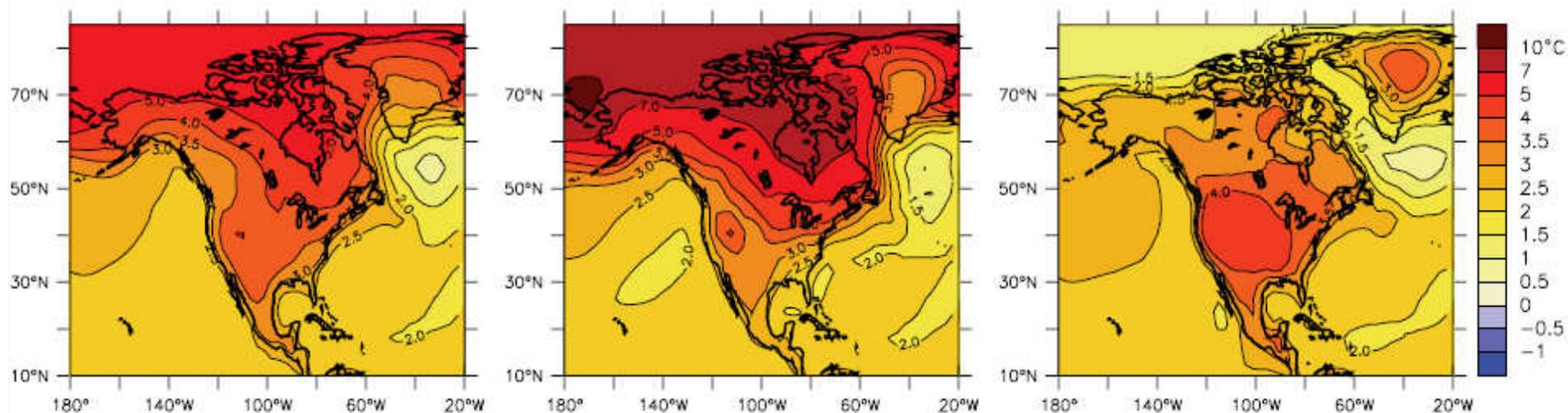
A1

A2

B1

B2

Escenarios Socioeconómicos



Anual

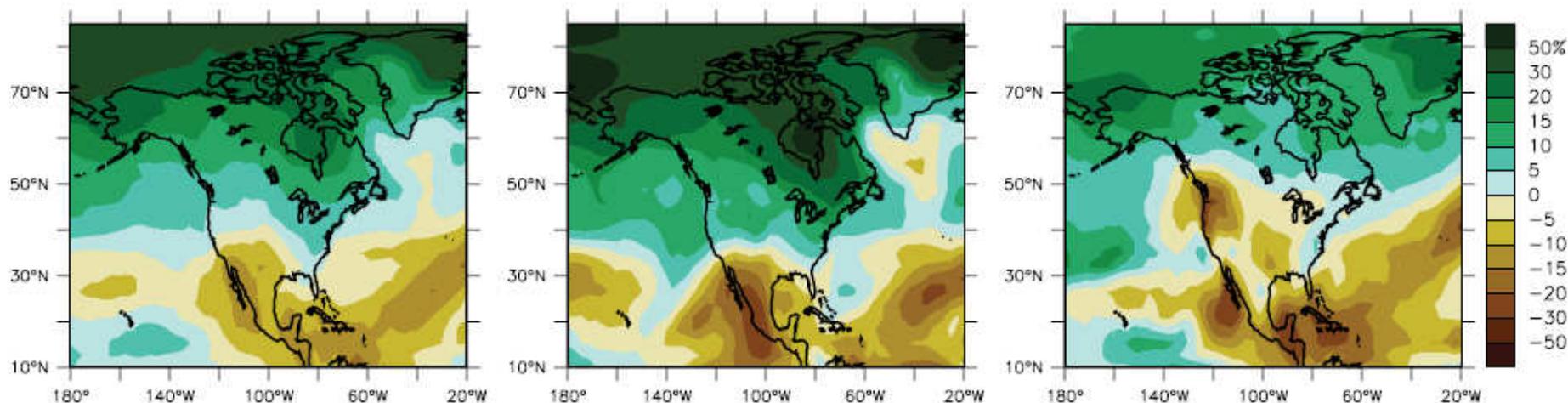
invierno

verano



Cambio en la temperatura  
en la década 2090,  
respecto de la década  
1980-1999.  
Promedio de modelos.

IPCC, 2007



Anual

invierno

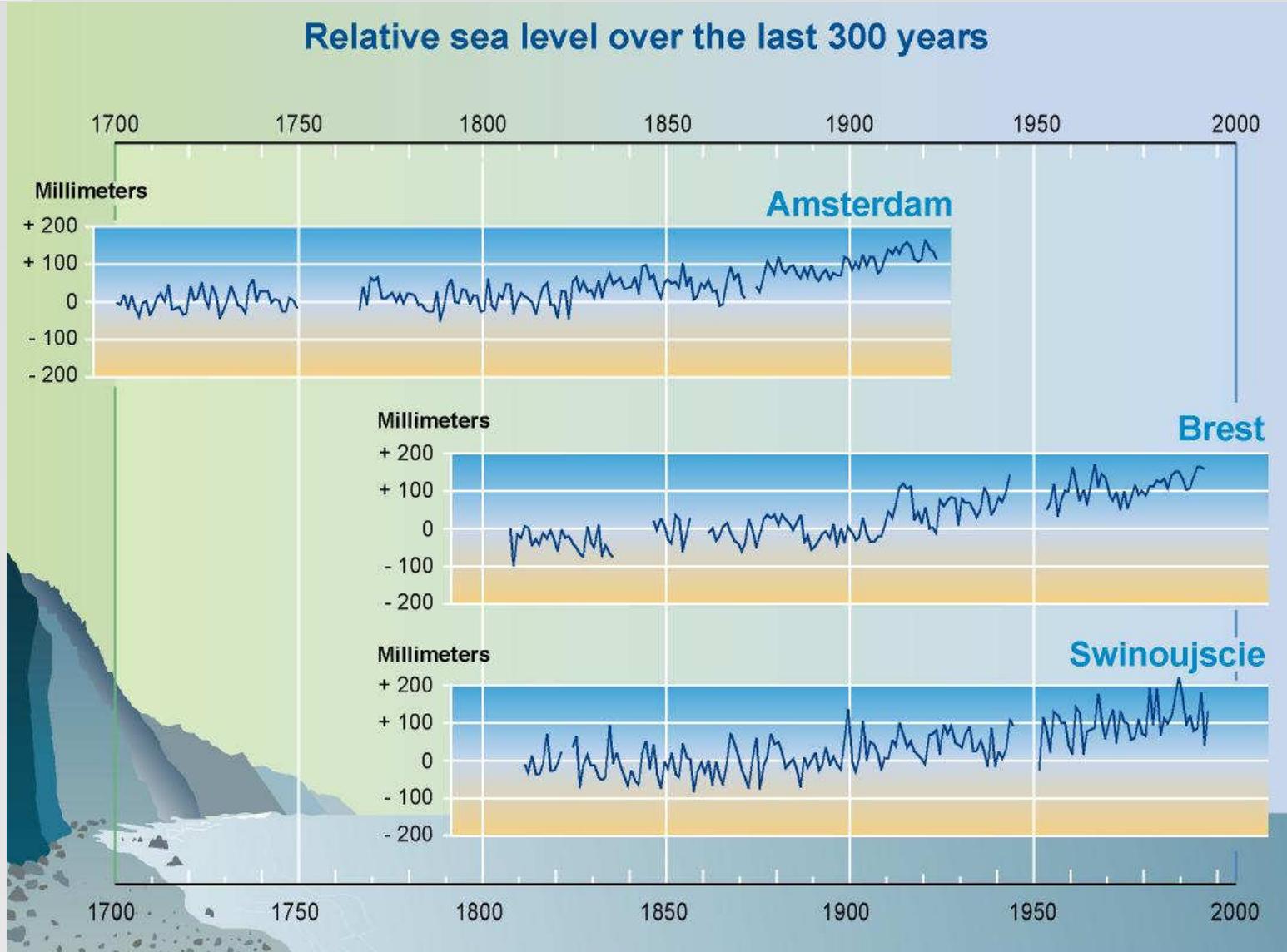
verano

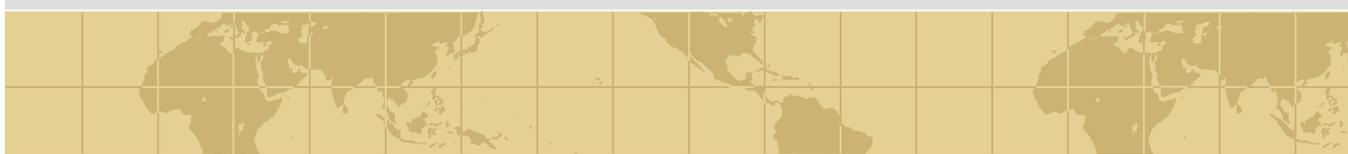


Cambio en la precipitación  
en la década 2090,  
respecto de la década  
1980-1999.

Promedio de modelos.

IPCC, 2007





# Efectos Previstos en México

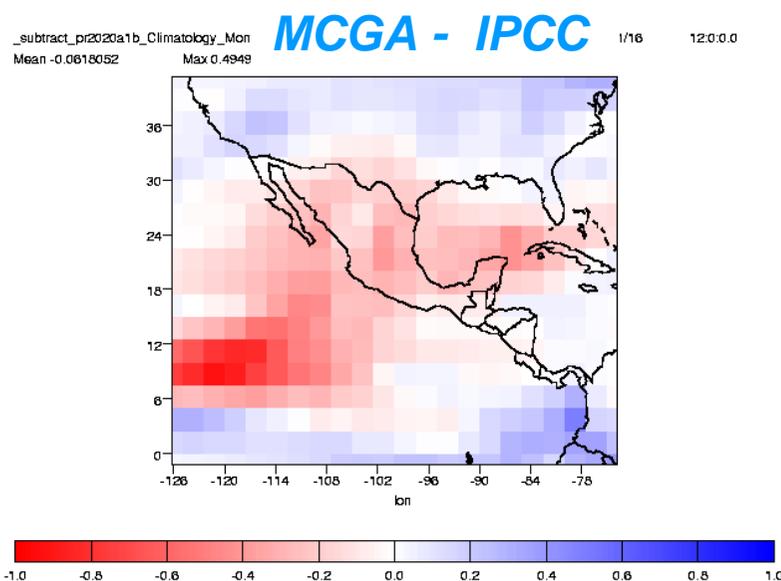


# Escenarios climáticos (IMTA)



Resolución de malla  
típica de los  
MCGA  $\approx 2.5 \times 2.5^\circ$   
(250 km X 250 km)

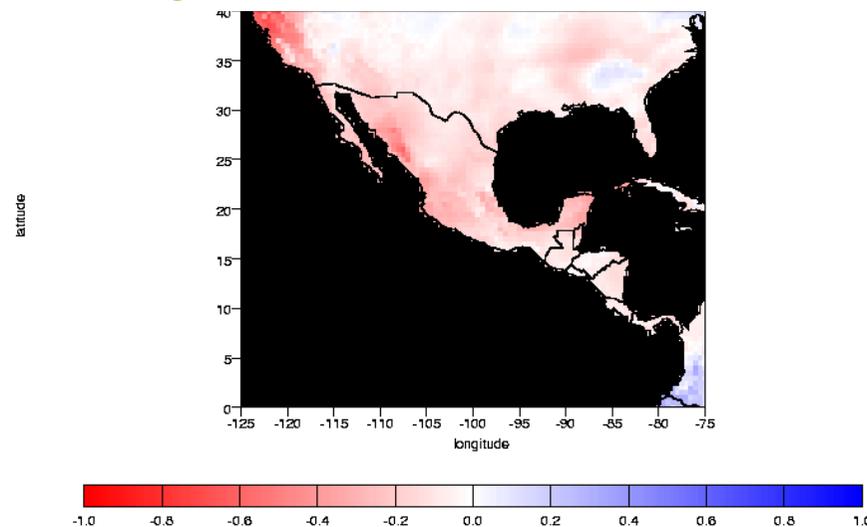
Anomalía promedio de precipitación  
climatológica mensual (mm/día) para  
la década de 2020s



## SRES-A1B

Resolución de malla  
regionalizada  
(REA) =  $0.5 \times 0.5^\circ$   
(50 km x 50 km)

*Regionalización de MCGA* 1/6 12:0:0.0



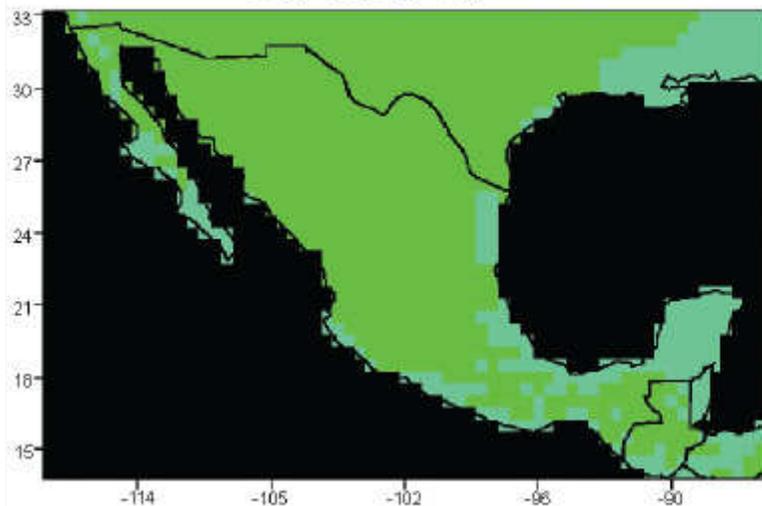


# Anomalía de temperatura

°C Respecto a promedio 1961-1990



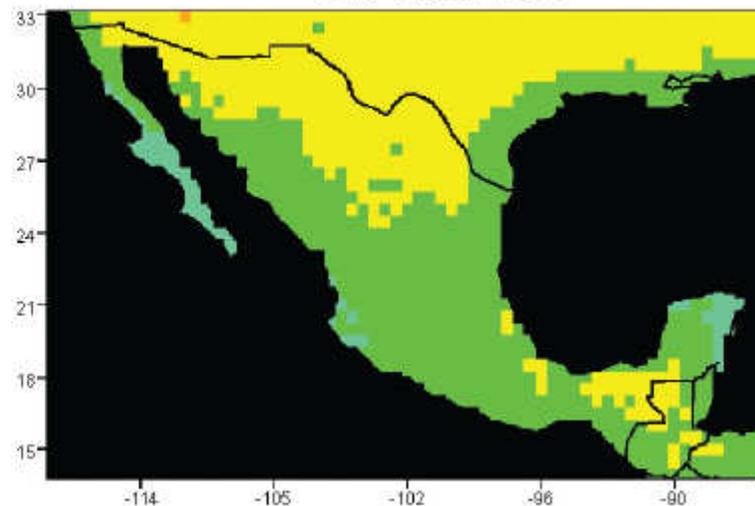
Dic.-Ene.-Feb.



Década

2050

Jul.-Ago.-Sep.

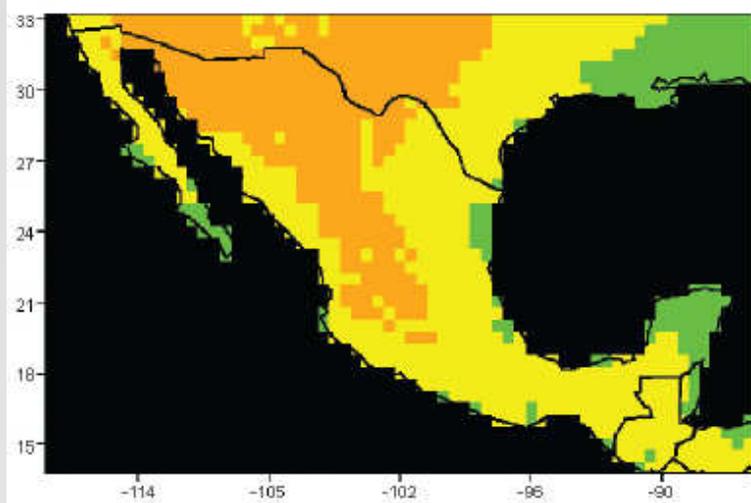


Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008

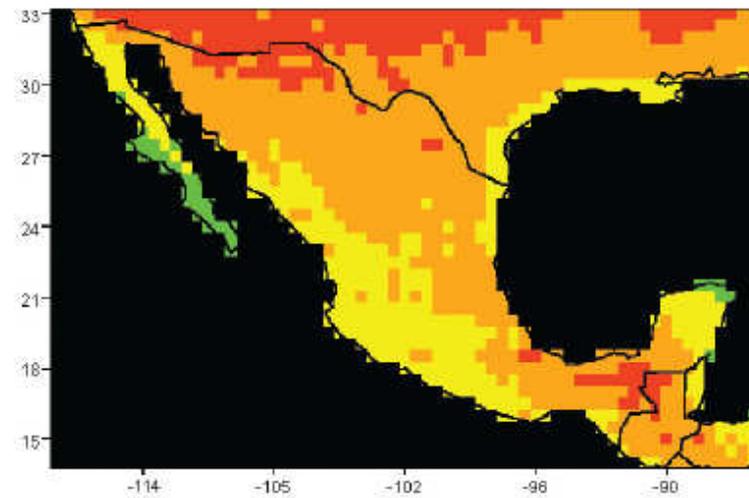


# Anomalía de temperatura

°C Respecto a promedio 1961-1990



2070

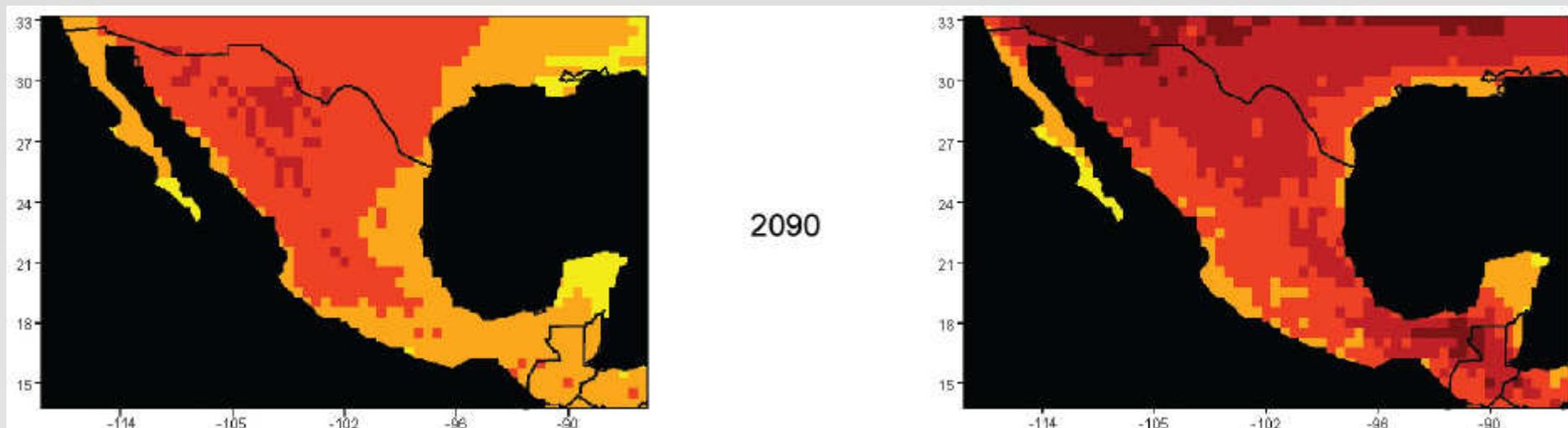


Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008



# Anomalía de temperatura

°C Respecto a promedio 1961-1990

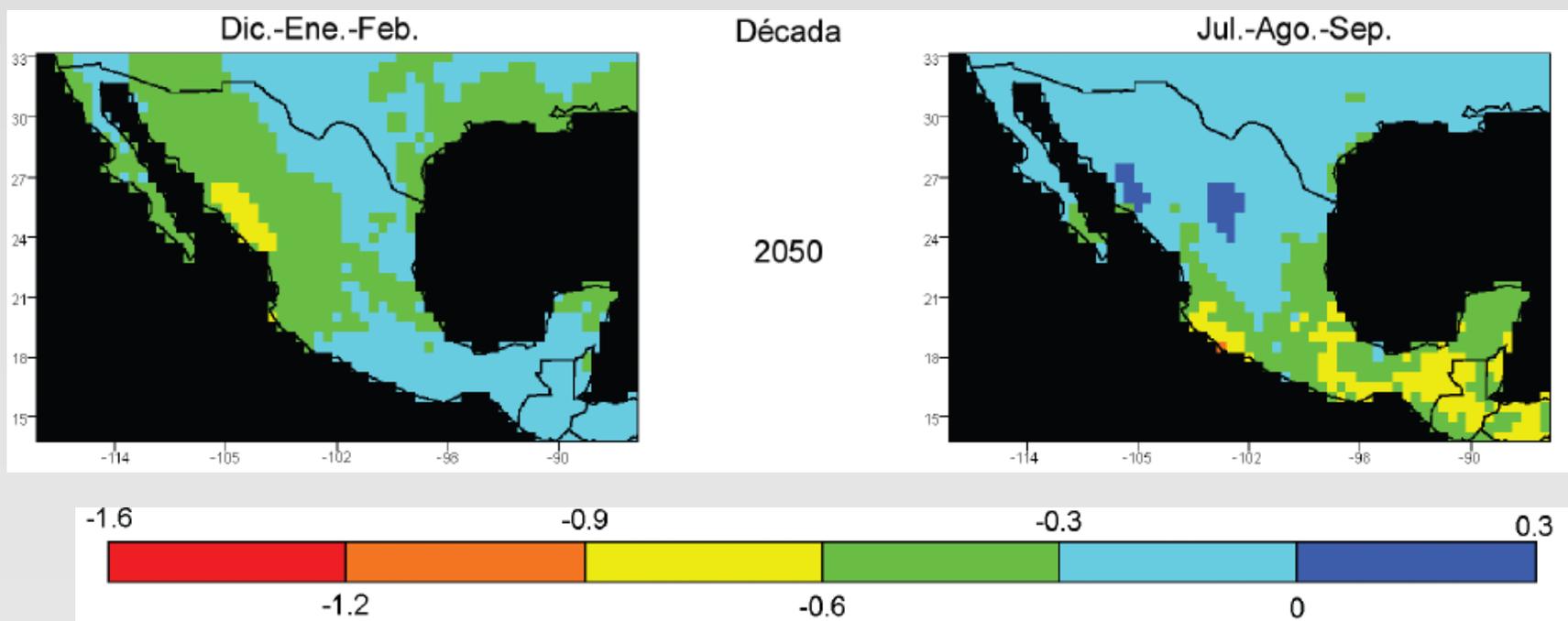


Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008



# Anomalía de precipitación

mm/día Respecto a promedio 1961-1990



Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008



# Anomalía de precipitación

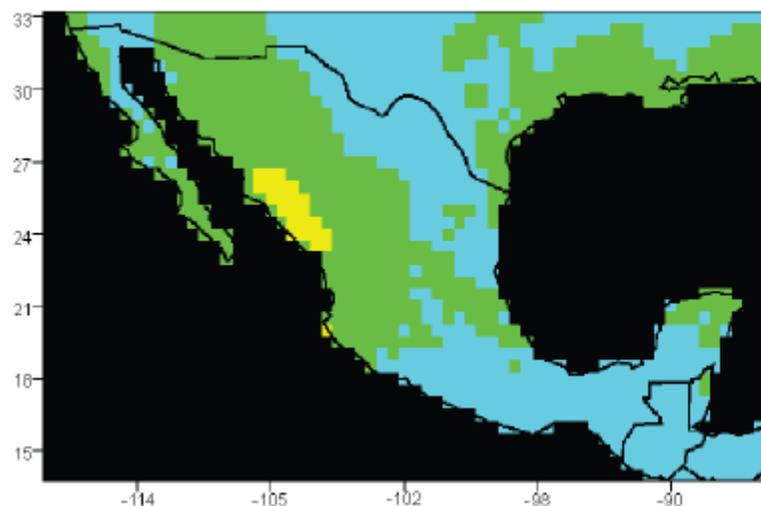
mm/día Respecto a promedio 1961-1990



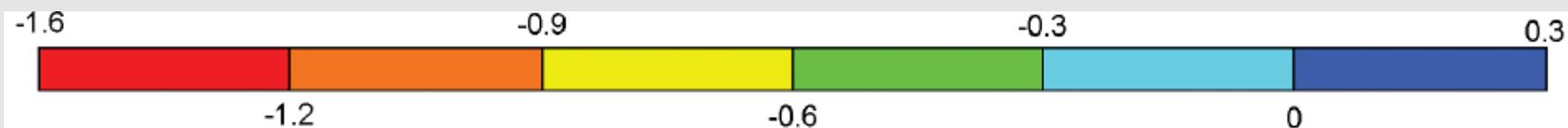
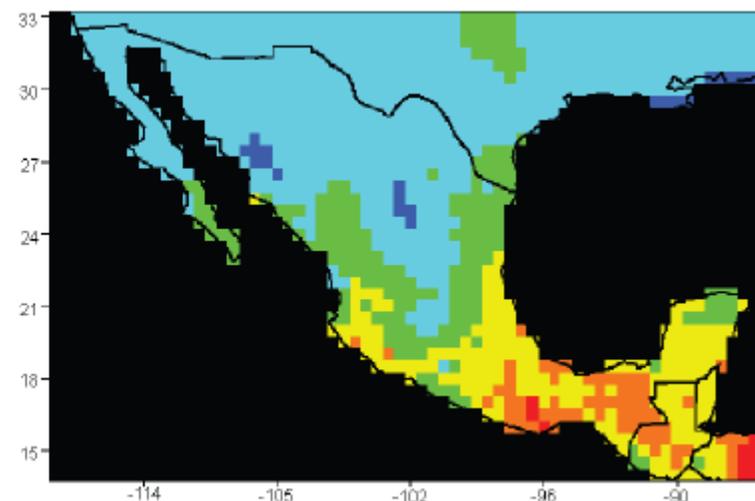
Dic.-Ene.-Feb.

Década

Jul.-Ago.-Sep.



2070

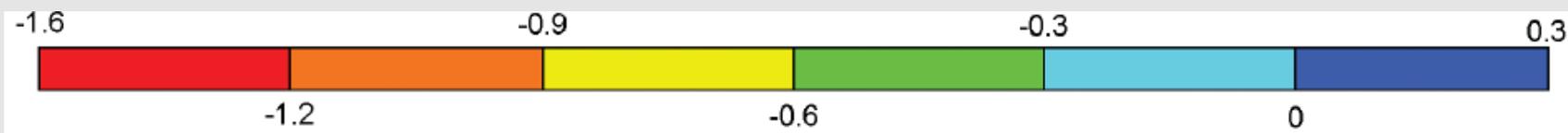
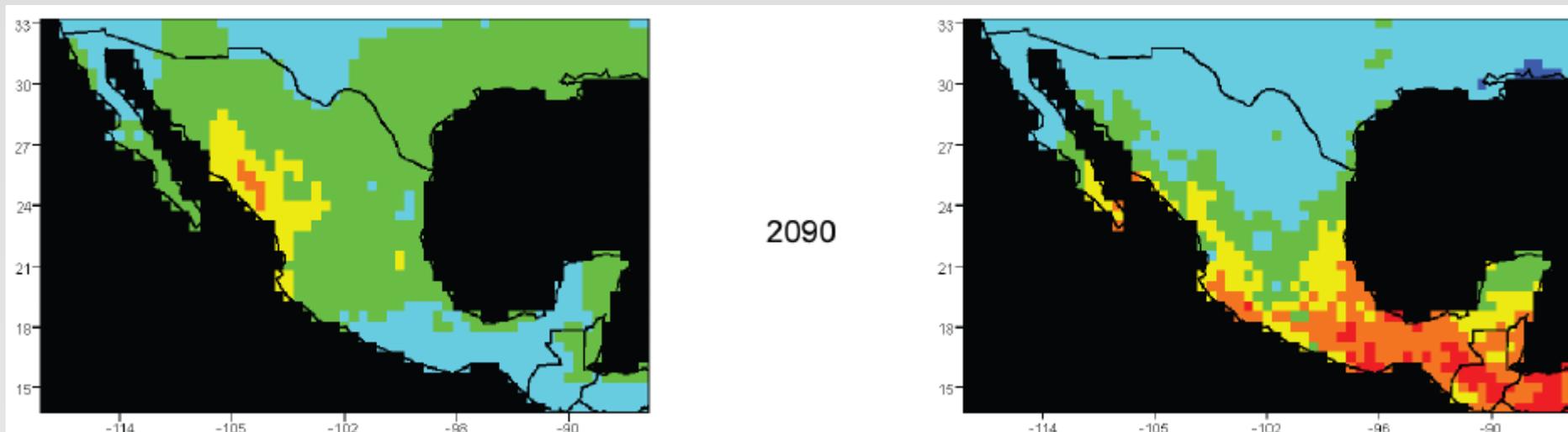


Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008



# Anomalía de precipitación

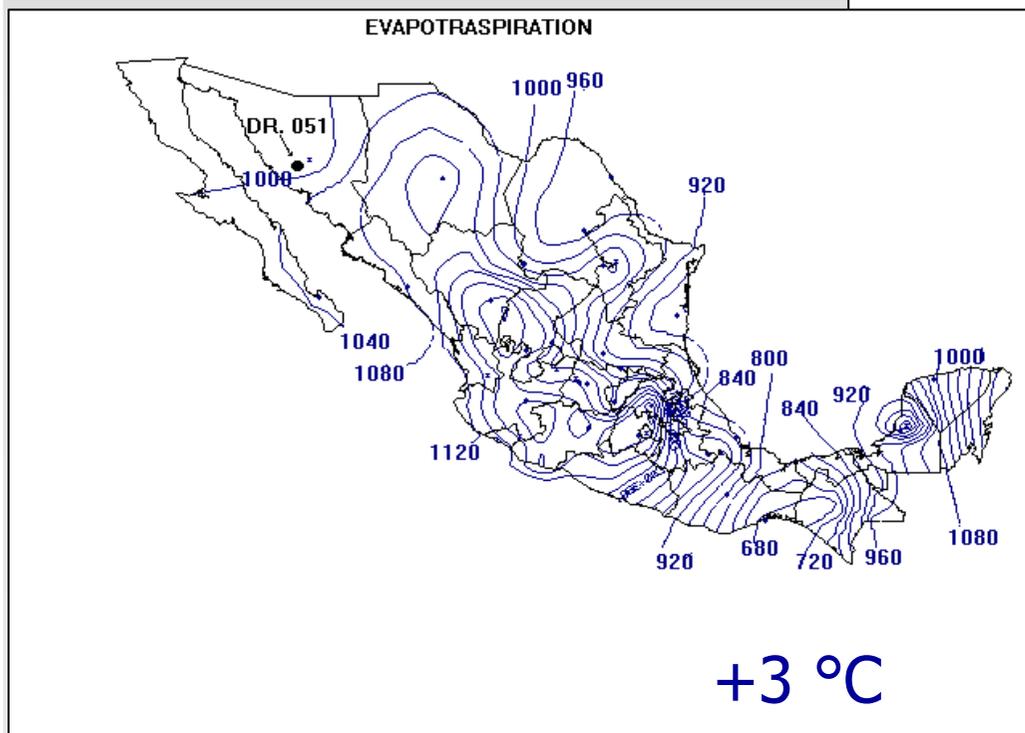
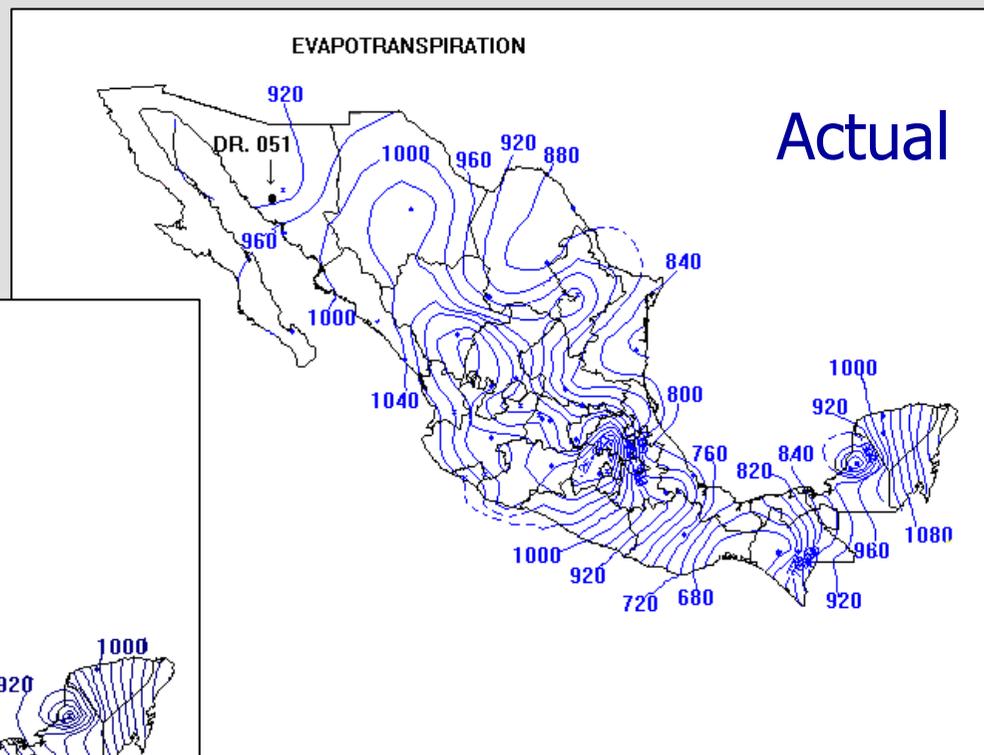
mm/día      Respecto a promedio 1961-1990



Montero Martínez, M. J. y Pérez López J. L., 2008



# Cambios en la demanda de agua de los cultivos (Evapotranspiración potencial, mm/año)





# Efectos en Agricultura de Riego, México

## Simulación biológica en Valle del Yaqui (Modelación IMTA)



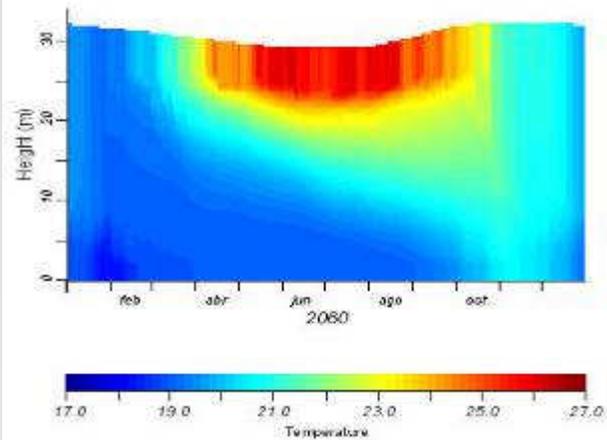
## *Efecto de la temperatura en el rendimiento*

| Cultivo        | Temperatura °C |     | Rendimiento ton/ha |         |        | Cambio en rendimiento |
|----------------|----------------|-----|--------------------|---------|--------|-----------------------|
|                | optima         | max | T <sub>opt</sub>   | T=28 °C | T=32°C | %<br>28→32 °C         |
| Arroz          | 25             | 36  | 7.6                | 6.3     | 2.9    | -54                   |
| Soya           | 28             | 39  | 3.4                | 3.4     | 3.1    | -10                   |
| Fríjol         | 22             | 32  | 2.9                | 1.4     | 0.0    | -100                  |
| Cacahuate      | 25             | 40  | 3.4                | 3.2     | 2.6    | -20                   |
| Sorgo<br>Grano | 26             | 35  | 12.2               | 11.8    | 7.0    | -41                   |

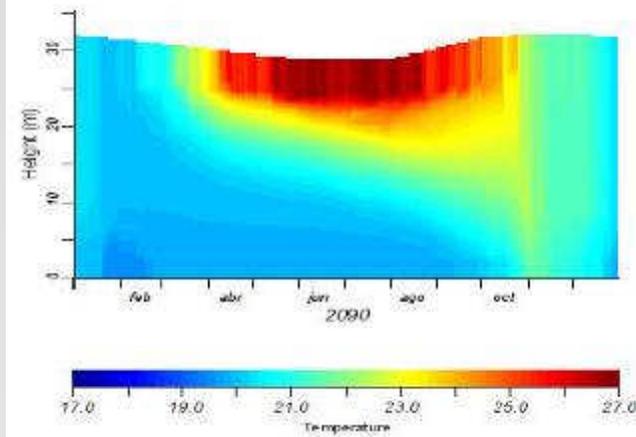
Fuente; Reddy 2005

## Temperatura

2060

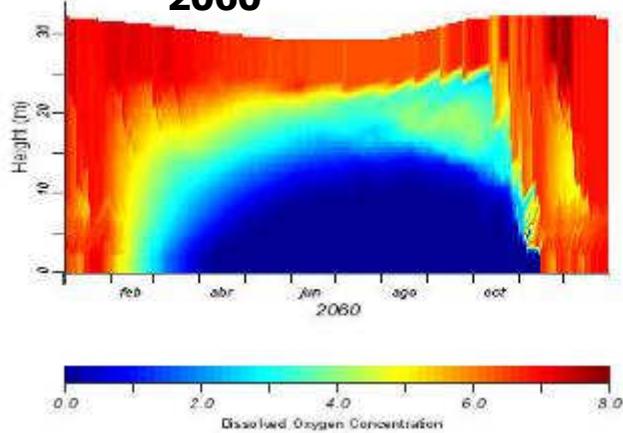


2090

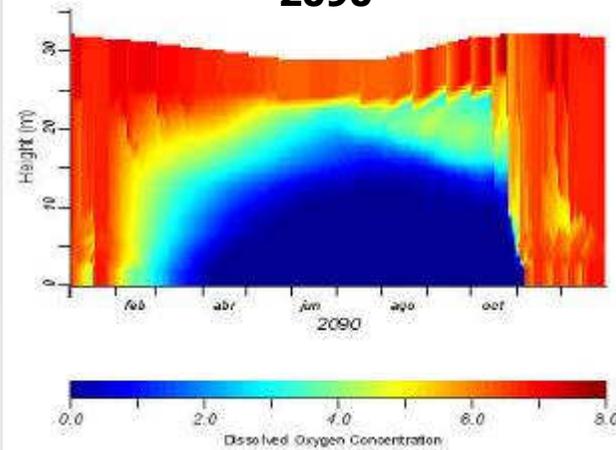


## Oxígeno disuelto

2060



2090



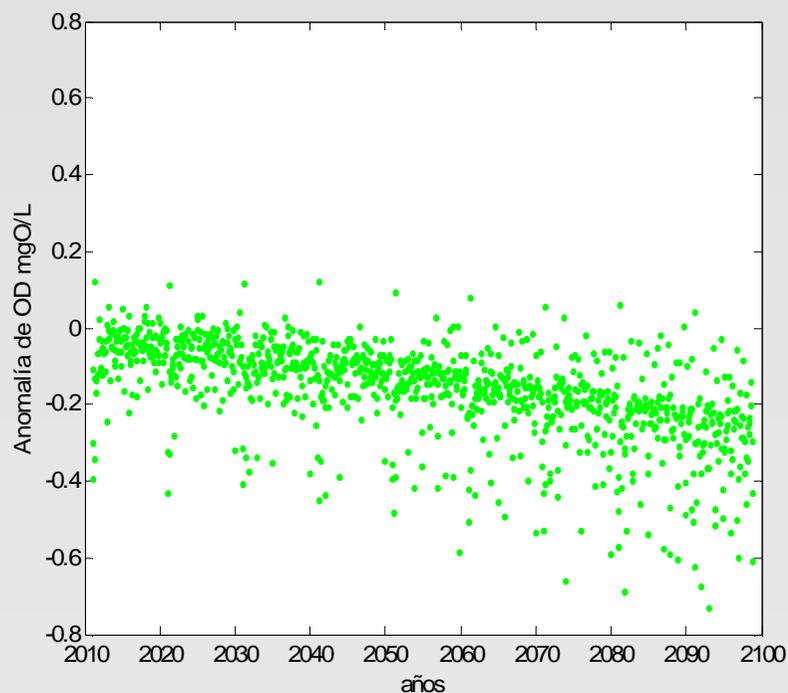


# Impactos del cambio climático en la dinámica física de cuerpos de agua interiores

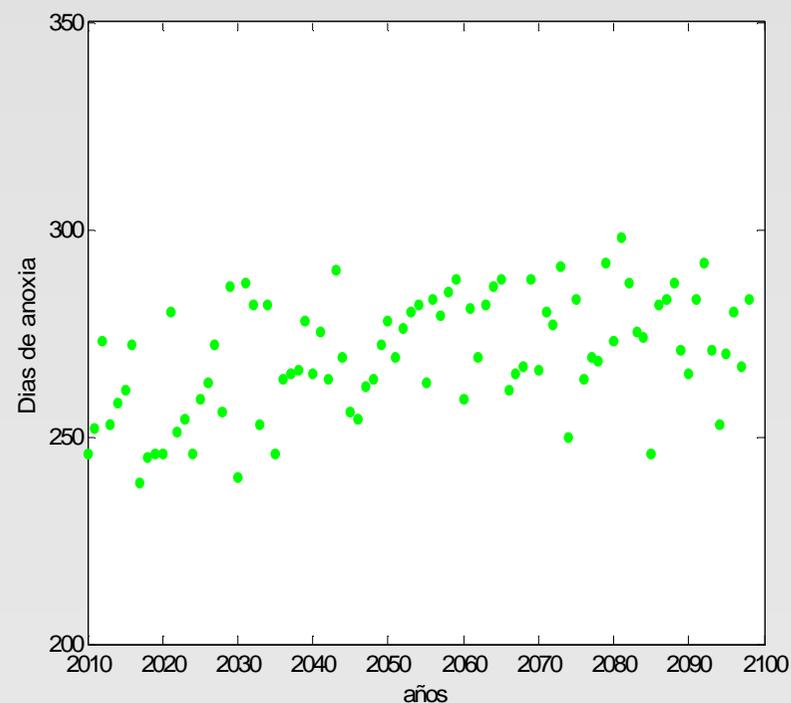


## ***Oxígeno Disuelto***

Anomalías de oxígeno disuelto considerando gasto de **extracción variable**, manteniendo el nivel del embalse estable.  
Escenario A2



Días anuales de anoxia (OD < 2mg/L) a 1m sobre el fondo del embalse considerando el gasto de **extracción variable** para mantener el nivel del agua estable  
Escenario A2.



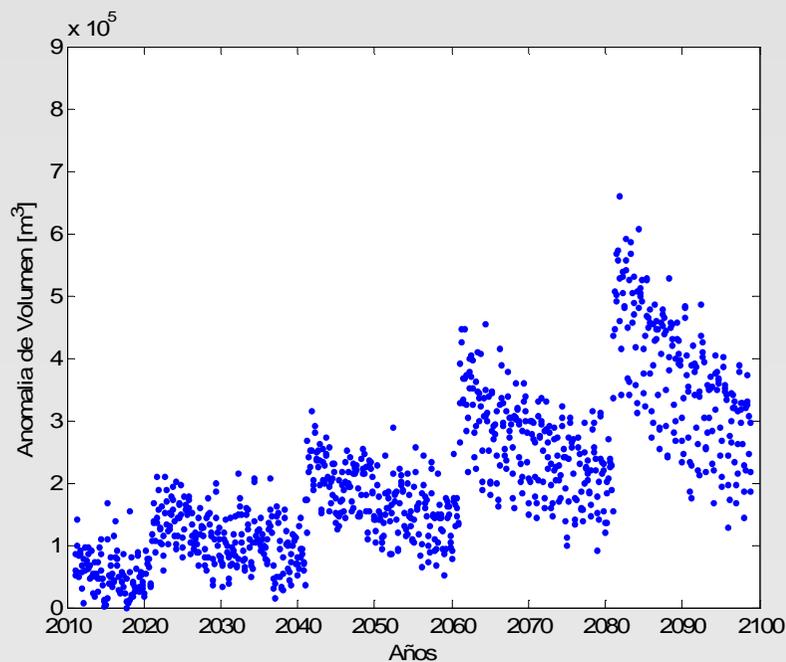


# Impactos del cambio climático en la dinámica física de cuerpos de agua interiores

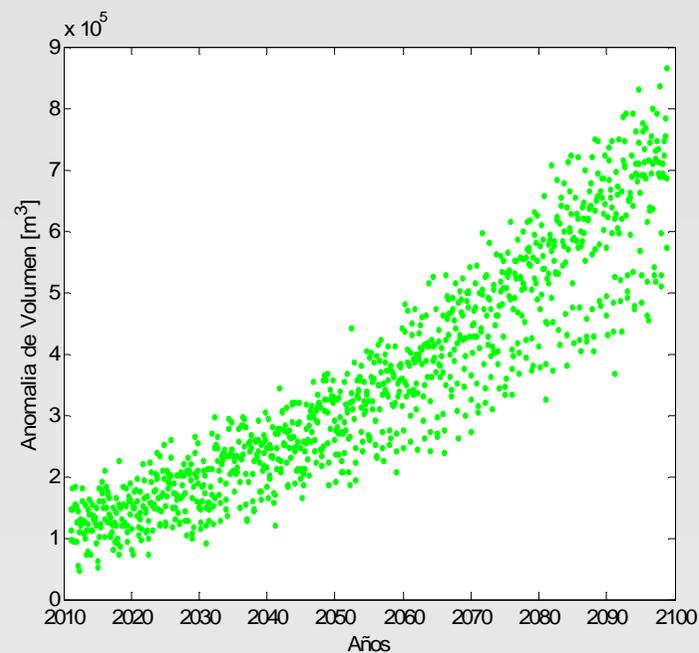


## *Evaporación*

Anomalías de volumen evaporado mensual. Política de gasto de **extracción constante** y recuperación del nivel cada 20 años  
Escenario A2.

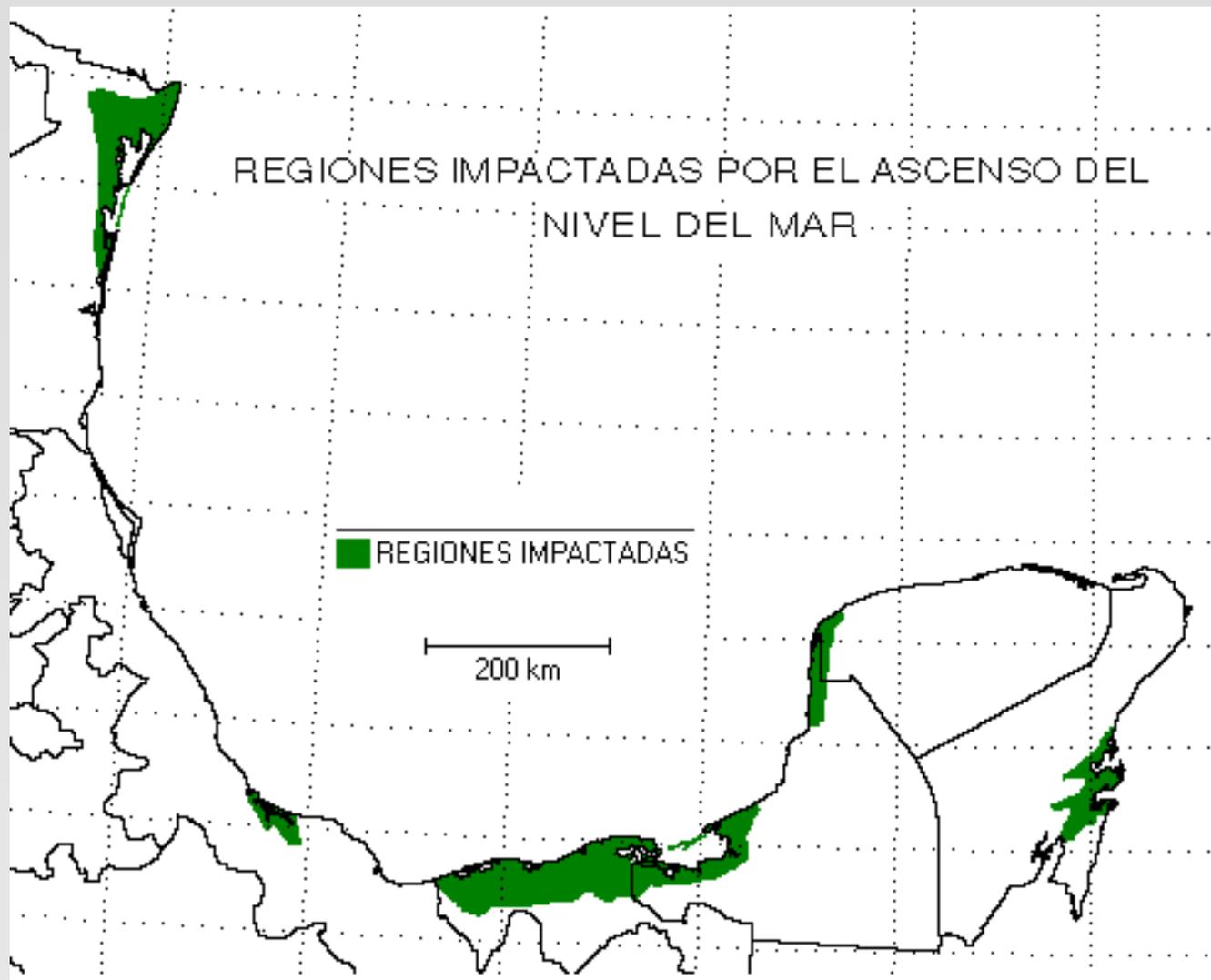


Anomalías de volumen evaporado mensual. Política de gasto de **extracción variable** y nivel del lago estable.  
Escenario A2





# Elevación del nivel del mar



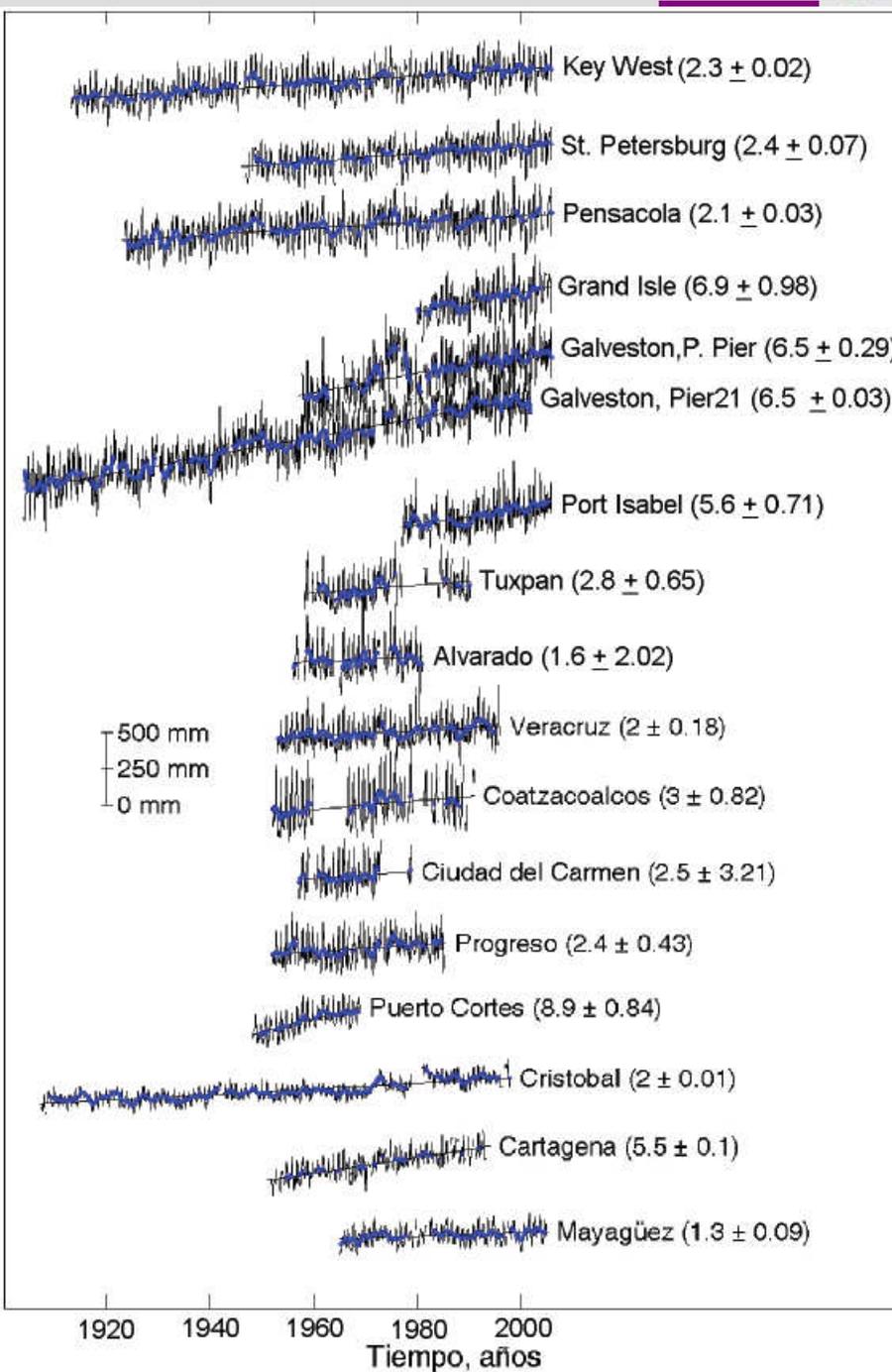
Fuente: Semarnat



## Promedios anuales de nivel del mar en el Golfo de México y mar Caribe.

(mm / año e intervalo de confianza a 95%)

Ortíz Figueros y González Navarro, 2008



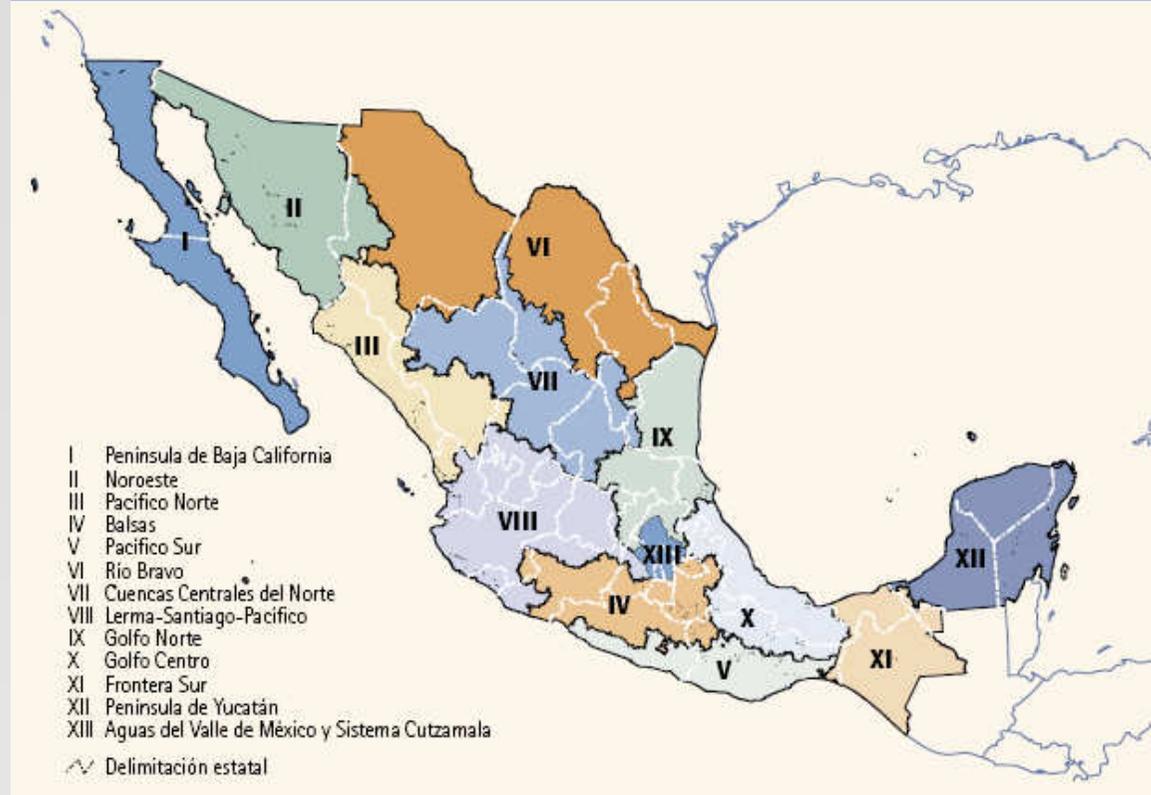
## MAYOR ESCASEZ

Baja California – Región  
fronteriza río Colorado  
Río Bravo  
Cuencas centrales del norte  
Noroeste  
Valle de México

## TORMENTAS SEVERAS

Frontera Sur  
Yucatán  
Pacífico Sur  
Golfo Norte  
Golfo Sur

Regiones hidrológico-administrativas



## NIVEL DEL MAR E INTRUSIÓN SALINA

Yucatán  
Noroeste  
Pacífico Norte  
Frontera Sur (Tabasco)



## LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL IMTA



### IMTA

*Las líneas de investigación que el IMTA ha emprendido o lo hará en un futuro para enfrentar los cambios que se dan y se esperan por el Cambio Climático será en las áreas de:*

***Hidrometeorología***  
***Hidrología y Mecánica de Ríos***  
***Hidráulica Urbana***  
***Hidráulica Ambiental***  
***Calidad del Agua***  
***Formación de Recursos Humanos***  
***Comunicación e Información***

*Para contribuir con medidas del incremento en el conocimiento, la prevención, la mitigación y la remediación de los impactos del cambio climático.*



# Hidrometeorología

- *Desarrollo, implementación y adaptación de indicadores de cambio climático.*
- *Generación de escenarios climáticos de alta resolución utilizando técnicas de reducción de escala, a nivel de cuenca, para actualizar y mejorar los escenarios físicos regionales de cambio climático en México.*
- *Estimación de los cambios en la precipitación en México debidos a ciclones tropicales bajo escenarios de cambio climático.*
- *Desarrollo de grupos interdisciplinarios para evaluar los efectos de cambio climático en los recursos hídricos.*
- *Promover la puesta en marcha de las medidas de adaptación*



## LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL IMTA ... (2/4)



# Hidrología y Mecánica de Ríos

- *Implementación de modelos lluvia-escorrentamiento .*
- *Generación de escenarios de manejo del agua con base en la gestión integrada de los recursos hídricos.*
- *Análisis de las tendencias de la variabilidad climática actual y comparación con los resultados obtenidos por modelos a nivel de cuenca hidrológica.*
- *Estimación de los cambios en las avenidas de diseño de las obras de excedencias y de protección de cauces por efectos del cambio climático.*

## Hidráulica Urbana

- *Desarrollo de medidas de adaptación en los sistemas de agua potable y drenaje en las ciudades por los efectos del cambio climático.*



### Hidráulica Ambiental

- *Determinación y evaluación de las zonas vulnerables por la elevación media del mar debido a los efectos del cambio climático.*
- *Determinación de la correlación entre la temperatura oceánica con la precipitación.*

### Calidad del Agua

- *Estimar la vulnerabilidad de la calidad del agua en embalses debido al efecto del cambio climático.*



## LÍNEAS DE TRABAJO DEL PROGRAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL IMTA ... (4/4)



### **Formación de Recursos Humanos**

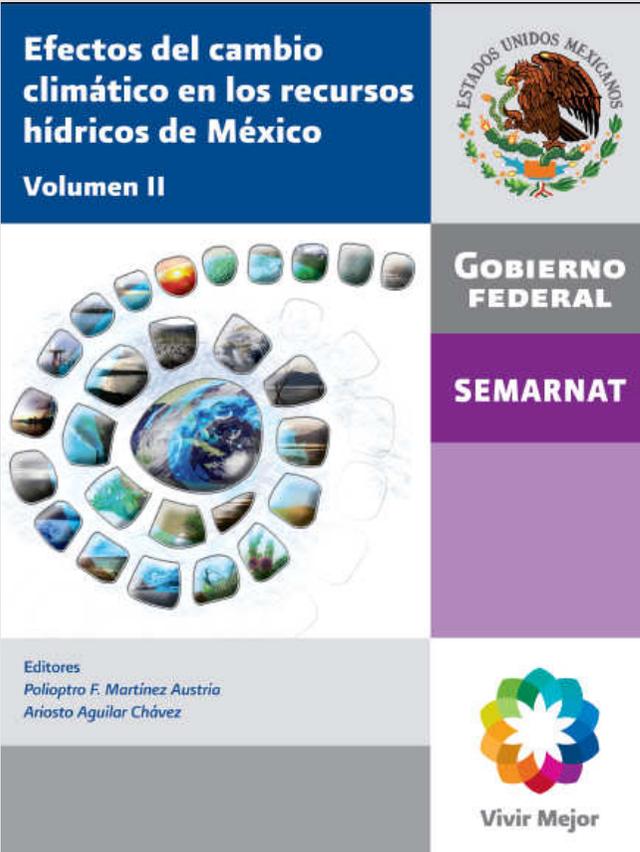
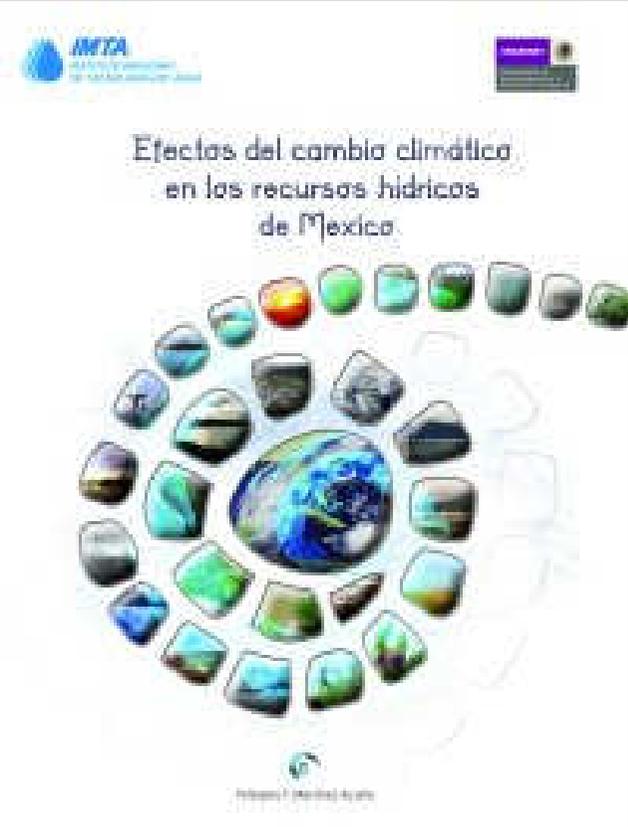
- Formación de recursos humanos especializados en el tema de cambio climático en el Sector Hidráulico.
- Implantación de programas de educación formal sobre cambio climático en todos los niveles educativos.

### **Comunicación y Participación**

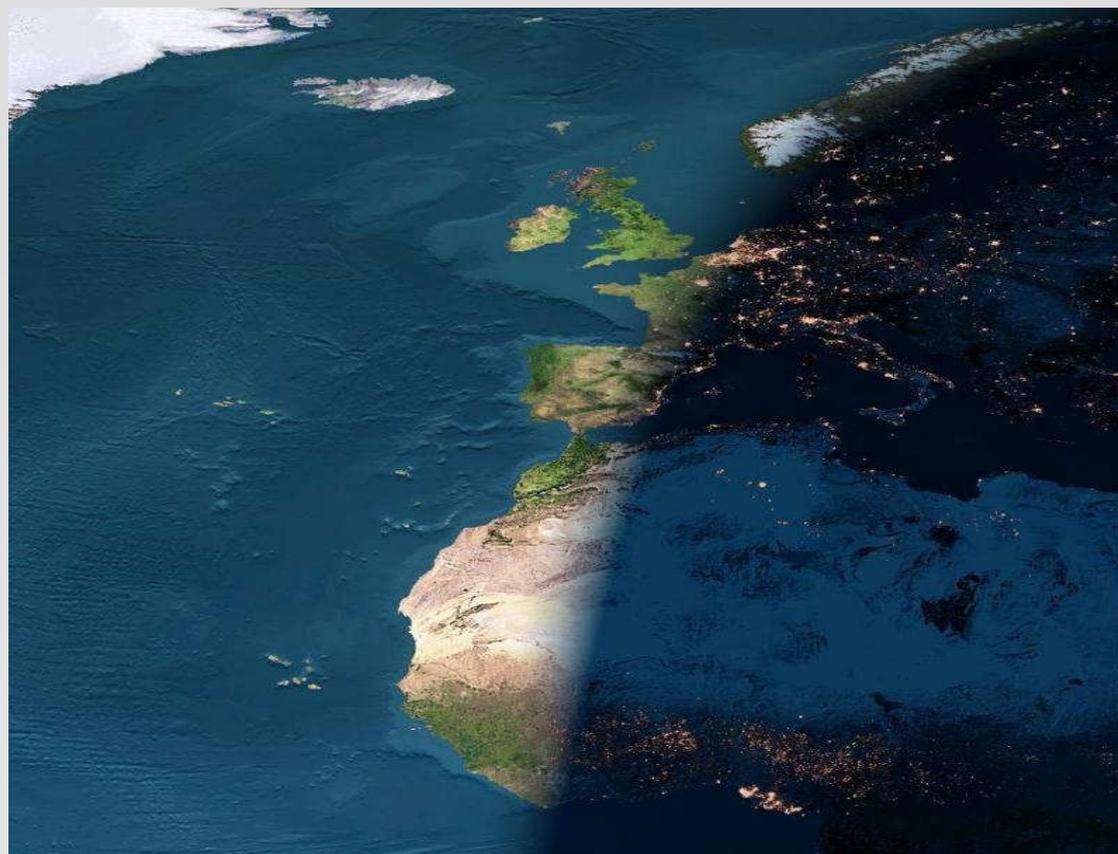
- Impulsar campañas de información y concientización que incidan en el incremento del conocimiento de las causas y efectos del cambio climático.
- Desarrollo y puesta en marcha de medidas de adaptación al cambio climático en el manejo de los recursos hídricos a nivel de cuenca.
- Implantación de sistemas de información sobre cambio climático asequibles tanto a públicos especializados como a la sociedad en general



# Publicación del libro:



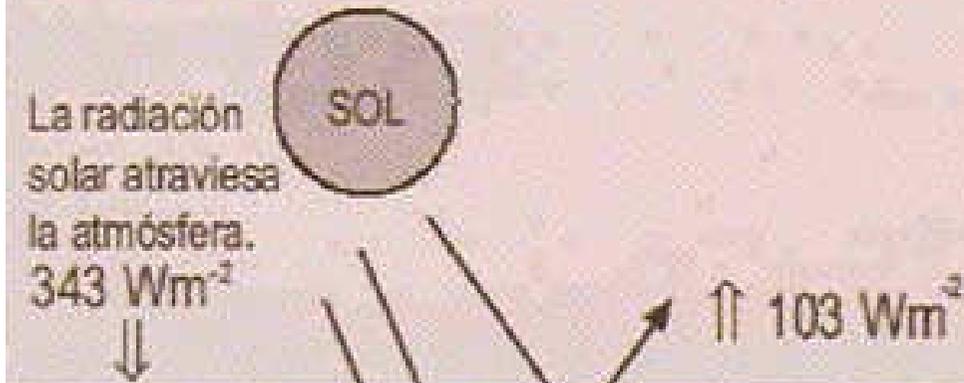
Editor: Dr. Polioptro Martínez  
Dr. Polioptro Martínez – Dr. Ariosto Aguilar



*El impacto final del Calentamiento Global dependerá en gran medida de nuestra capacidad como administradores de recursos hídricos*



$\uparrow 240 \text{ Wm}^{-2}$



Una parte de la radiación infrarroja atraviesa la atmósfera, mientras que otra es absorbida y re-emitida en todas direcciones por las moléculas de los gases de efecto invernadero y las nubes. Esto produce el calentamiento de la superficie de la Tierra y de la parte baja de la atmósfera (troposfera).



La mayor parte de la radiación es absorbida por la superficie de la Tierra, calentándola.

La superficie de la Tierra emite radiación infrarroja.



La familia A1 de escenarios describe un mundo caracterizado por un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su máximo a mediados del presente siglo, empieza a declinar a partir de entonces y adopta tecnologías más eficientes.



La familia A2 de escenarios se refiere a un mundo venidero caracterizado por un incremento continuo de la población, aunque con un crecimiento económico mucho menor que en los escenarios A1. Los escenarios A2 son pesimistas en cuanto a que se mantiene un elevado aumento de las emisiones de gases de invernadero, en particular de  $CO_2$  bióxido de carbono.



La familia B1 de escenarios describe un mañana en que la población, como en los escenarios A1, alcanza su máximo a mediados del siglo XXI, con un crecimiento económico acelerado, pero orientado a los servicios y las tecnologías de la información, con un uso menor de materias primas y con un aprovechamiento sustentable de los recursos, pero aún sin tomar medidas específicas respecto al clima.



Finalmente, la familia B2 de escenarios describe un porvenir en el que asumieron previsiones locales y regionales, para la protección del medio ambiente, con un crecimiento de la población menor que en los escenarios A1 y B1. Este escenario se percibe muy optimista, tal como se han observado las tendencias hasta ahora.