

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**<https://www.youtube.com/watch?v=F-Hcu3jH8G4>**

<https://www.youtube.com/watch?v=OJ6Z04VJDco>

**Paleoclima**

**Variabilidade**

**Mudanças  
climáticas**



USGS Photo by M.P.Doukas, July 22, 1980

# Mudança climática

- O clima pode ser definido como
  - A sucessão sazonal dos eventos meteorológicos num longo período de tempo
- O clima pode mudar em várias escalas de tempo
  - Estudos de geleiras, corais, anéis de árvores, etc...  
Documentam grandes variações nos climas global e regional
- O clima muda em resposta a diversos fatores
  - Natural
  - Antropogênico

# Elementos climáticos

- Fatores externos

## Astronômicos

- Energia solar
- Mudanças orbitais
- Poeira interplanetária
- Colisões com outros corpos interplanetários
  - cometas
  - asteróides

- Fatores internos

- Composição atmosférica
- Características da superfície
- Correntes oceânicas
- Química do oceano
- Atividade vulcânica
- Deriva continental

# Atividade solar

- Manchas solares e fáculas
- Ciclos de 11 anos e múltiplos desses ciclos
- Mínimo de Maunder  
Pequena Idade do Gelo (?)

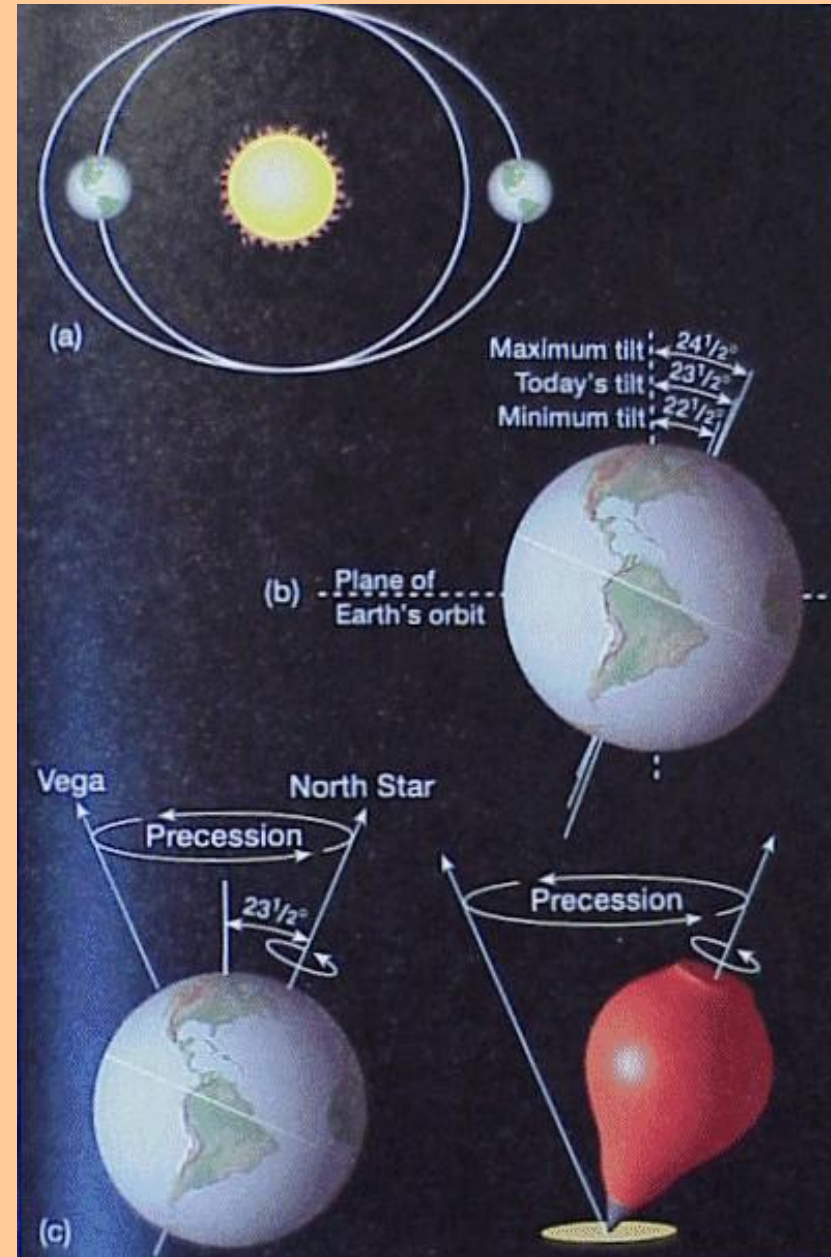
# Teoria de Milankovitch

Variáveis astronômicas responsáveis por flutuações climáticas

Inspirada por estudos de avanços glaciais e glaciações

Periodicidades

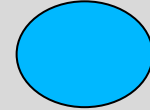
- a) Excentricidade da órbita  
→ 100.000 anos
- b) Obliquidade  
→ 41.000 anos
- c) Precessão  
→ 23.000 anos



# Teoria de Milankovitch

→ Períodos mais frios associados a:

- órbita mais circular menos excêntrica
  - resfriamento médio global
    - » período de 100.000 anos
- menor inclinação do eixo da Terra
  - próximo ao mínimo de  $22,1^\circ$
  - menor amplitude de variação sazonal - resfriamento em geral
    - » período de 41.000 anos
  - *inclinação atual de  $23,5^\circ$*



→ Períodos mais quentes associados a:

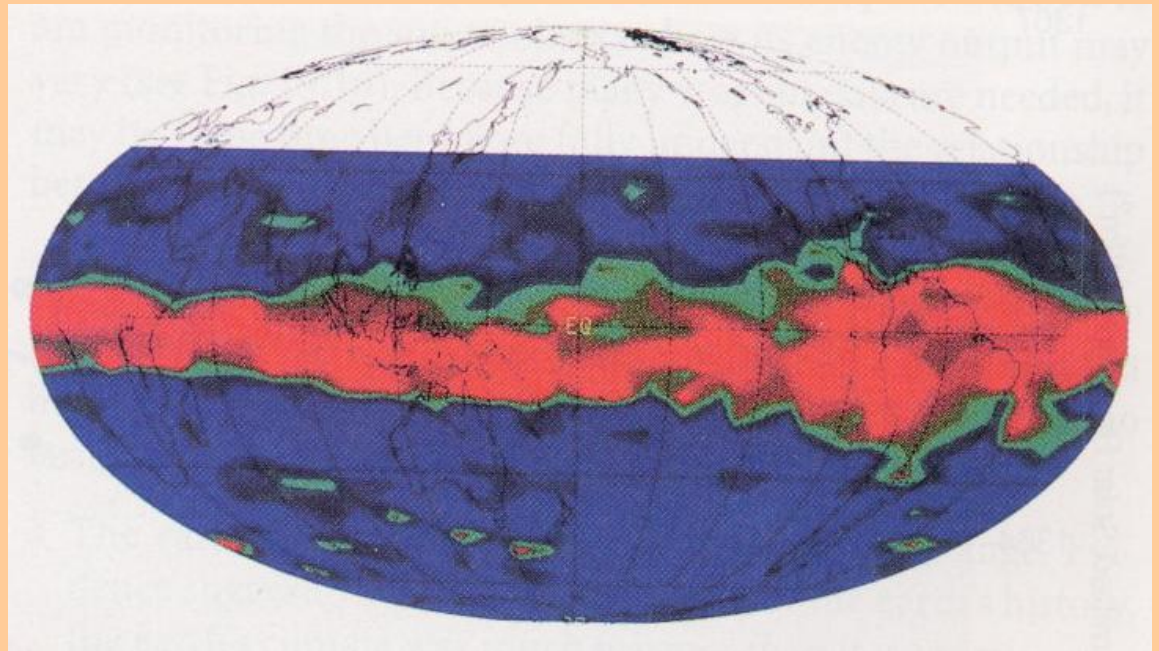
- órbita mais excêntrica
  - aquecimento médio global - período de 100.000 anos
- maior inclinação do eixo
  - próximo ao máximo de  $24,5^\circ$
  - maior amplitude de variação sazonal - aquecimento em geral
    - » período 41.000 anos





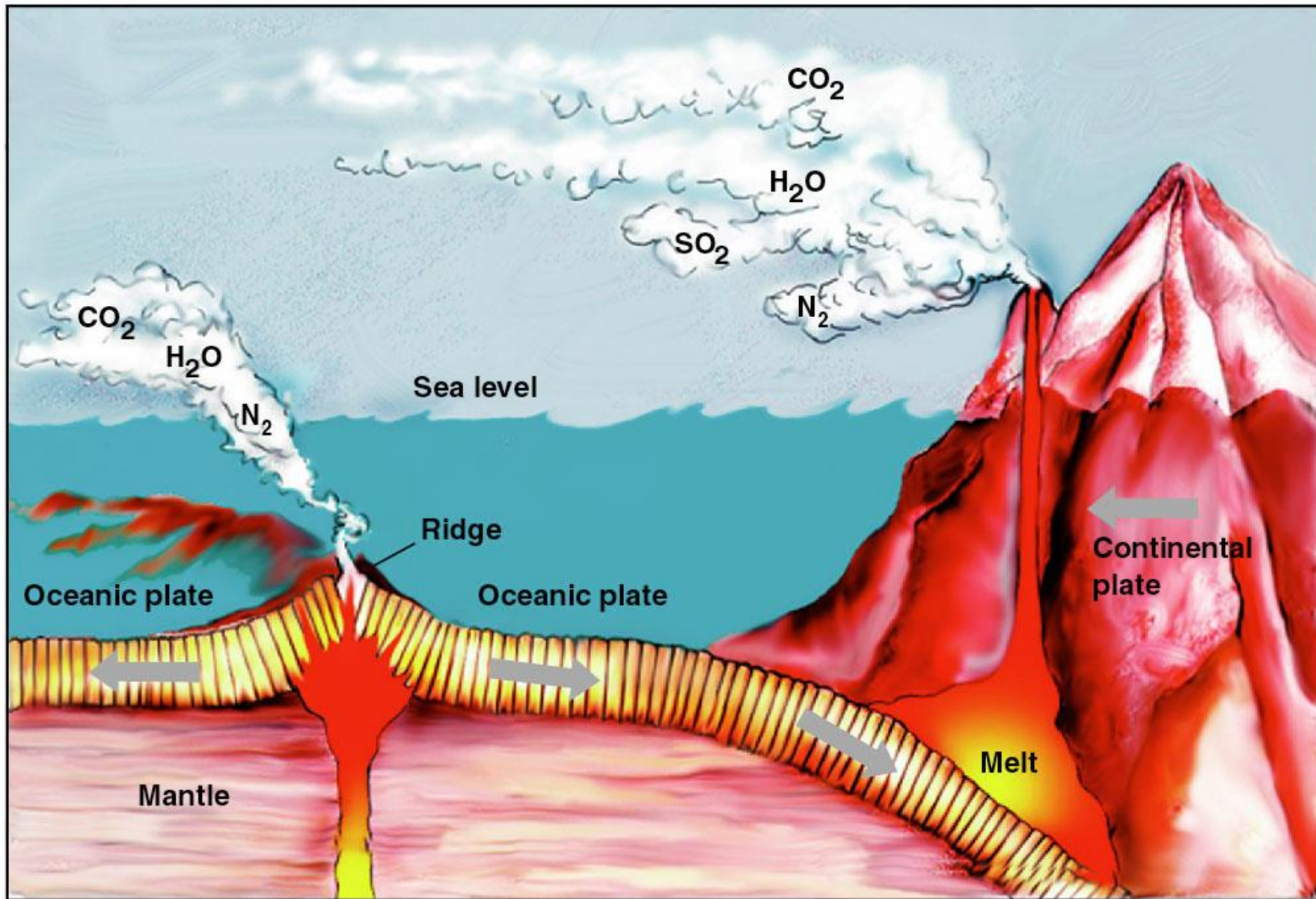
# Atividade vulcânica

- Aerossóis de enxofre: resfriam a troposfera e aquecem a estratosfera
- Também emitem “gases estufa”
- Em escalas de tempo anual, os vulcões resfriam a superfície (1816?)



Mt. Pinatubo Stratospheric Sulfur Plume - 1991





# Mecanismos de realimentação *feedback*

*A realimentação pode amplificar a mudança climática, mas também evita que o clima mude demais.*

*Importantes mecanismos de realimentação:*

Ação do vapor d'água

Ação das nuvens

Ação da neve-gelo

Ciclo do carbono

Ação do oceano (sumidouro de carbono)

# Mecanismos de realimentação *feedback*

## **Feedback positivo**

→ Intensifica o sinal inicial da perturbação

- aumento da área coberta por gelo – pólos
- aumento da concentração de gases de efeito estufa
- aumento da concentração de aerossóis

## **Feedback negativo**

→ Enfraquece o sinal inicial da perturbação

- aumento da quantidade de nuvens profundas

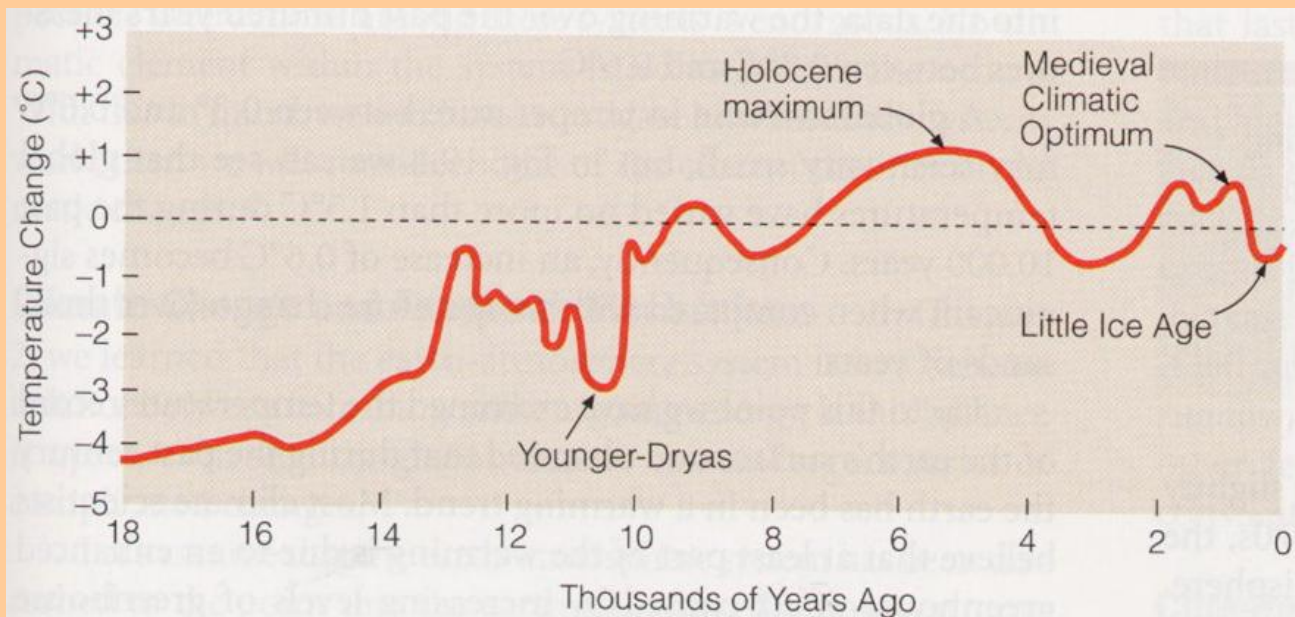
considerando  $\Delta T > 0$

<http://www.theguardian.com/environment/2011/jan/05/climate-change-feedback-loops>

<http://www.theguardian.com/environment/2013/aug/23/climate-change-carbon-emissions-ipcc-extreme-weather>

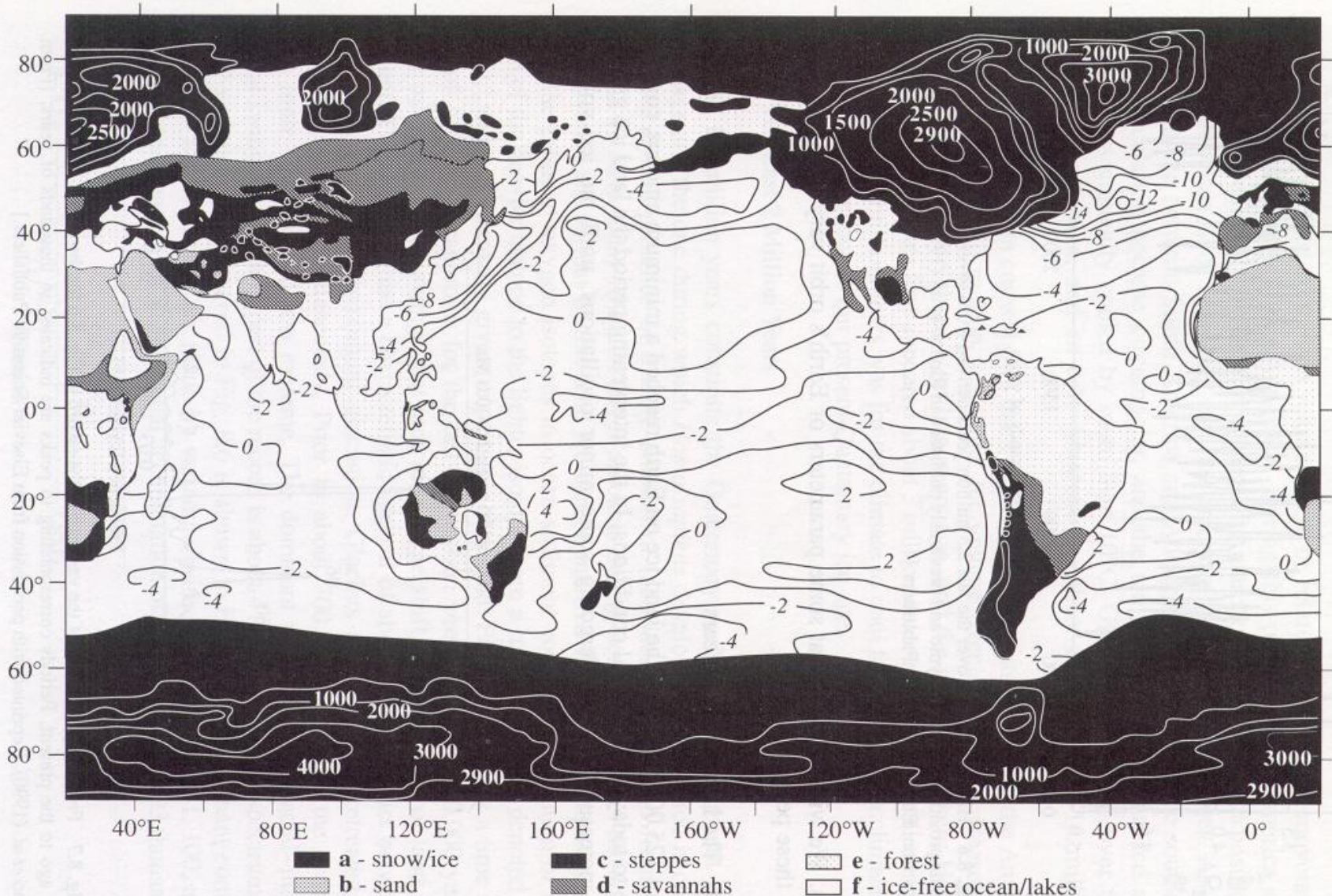
# O clima observado ao longo do tempo

- Durante grande parte da história da Terra a temperatura esteve mais elevada que a atual
  - Períodos quentes de centenas de milhões de anos foram interrompidos por períodos glaciais
- As glaciações mais recentes tiveram início há cerca de 2 milhões de anos
  - As geleiras norte-americanas mais recentes atingiram o máximo há ~ 18000 anos
    - O nível do mar esteve 125 m mais baixo
    - A ponte sobre o estreito de Bering permitiu a migração entre a Ásia e a América
    - Houve um subsequente aquecimento, pontuado por curtos períodos frios, como a Pequena Idade do Gelo (~1550-1850)

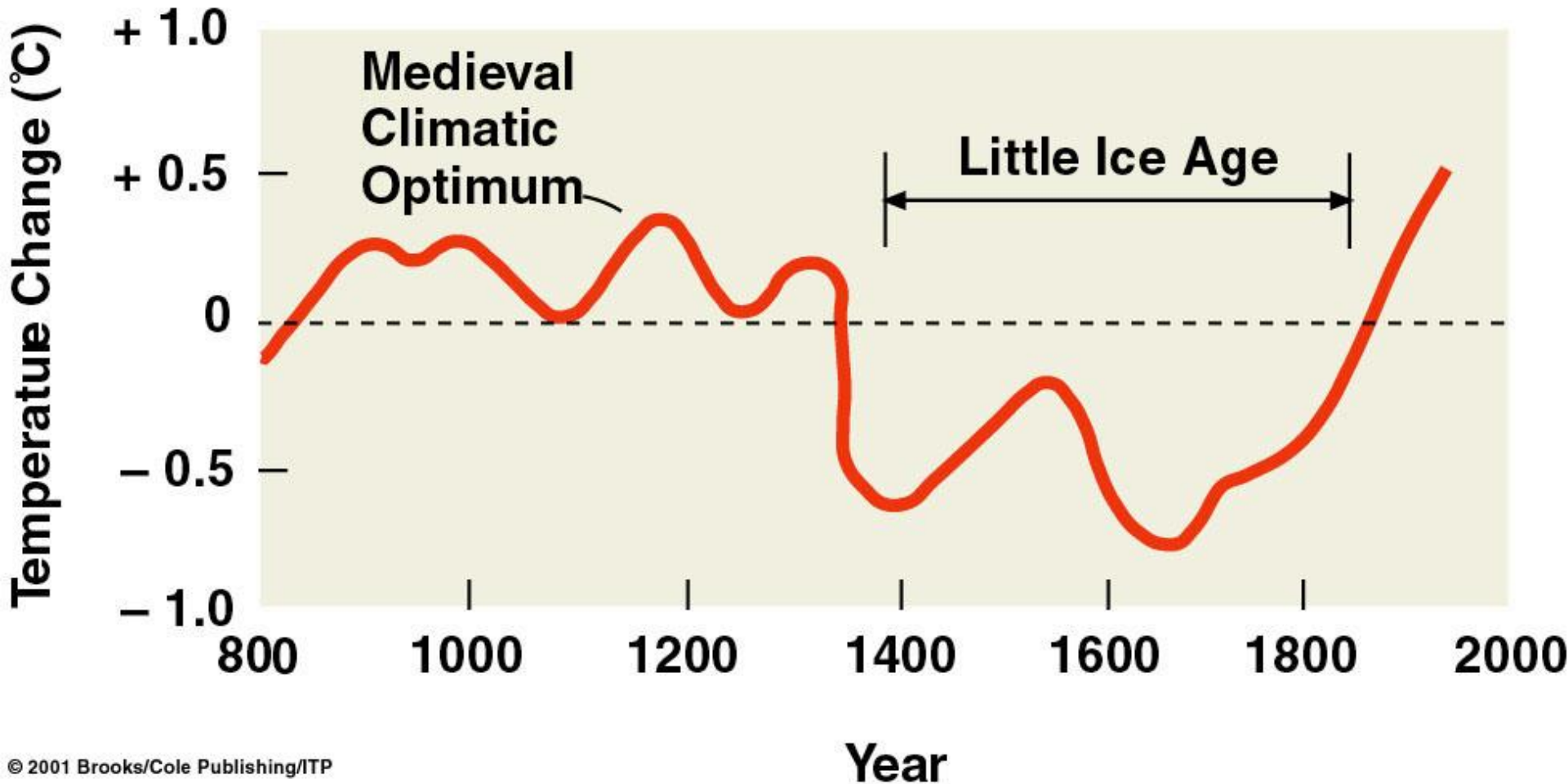




# Há 18 mil anos – cobertura neve temperatura do mar

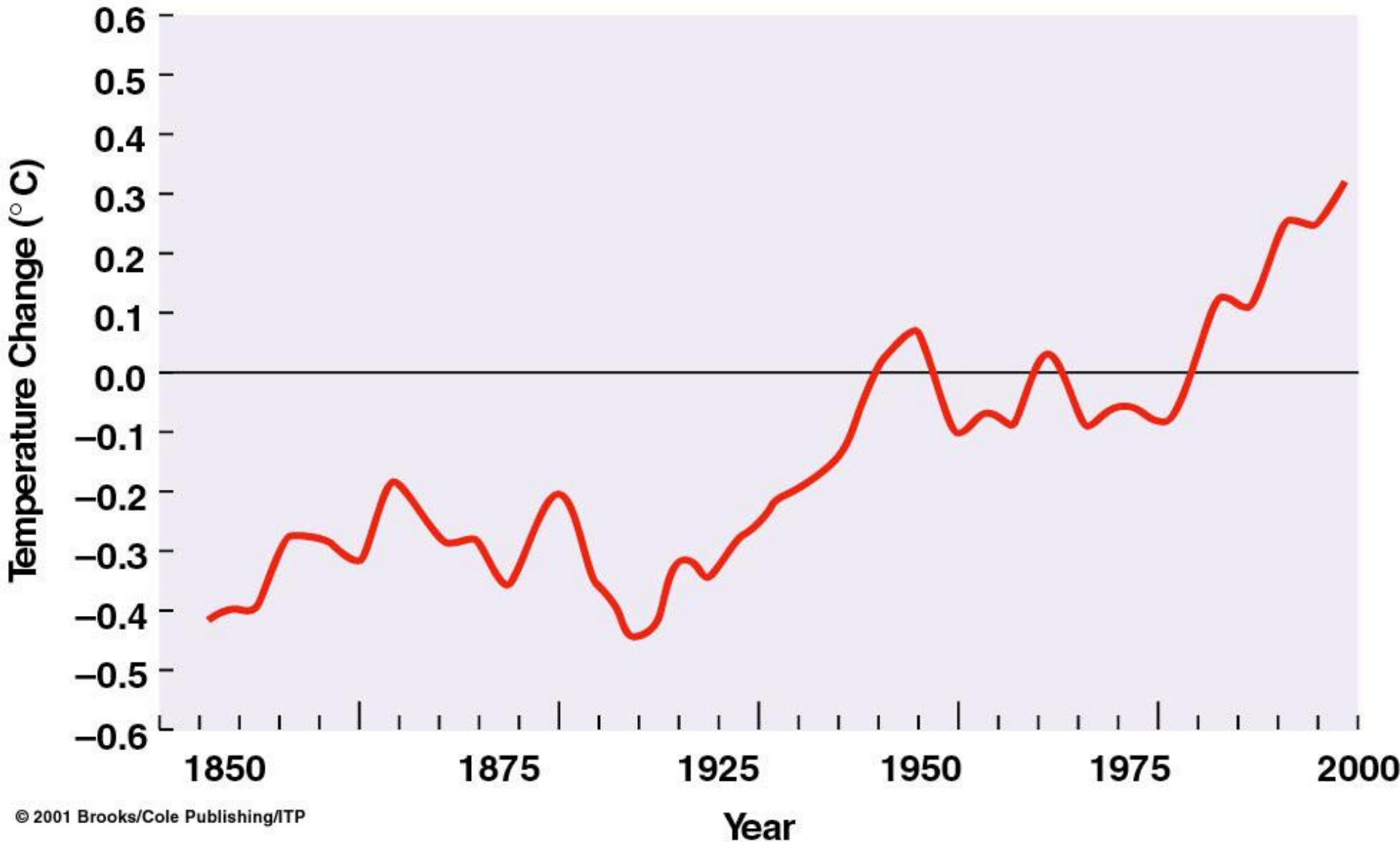


# O último milênio





# Séculos recentes

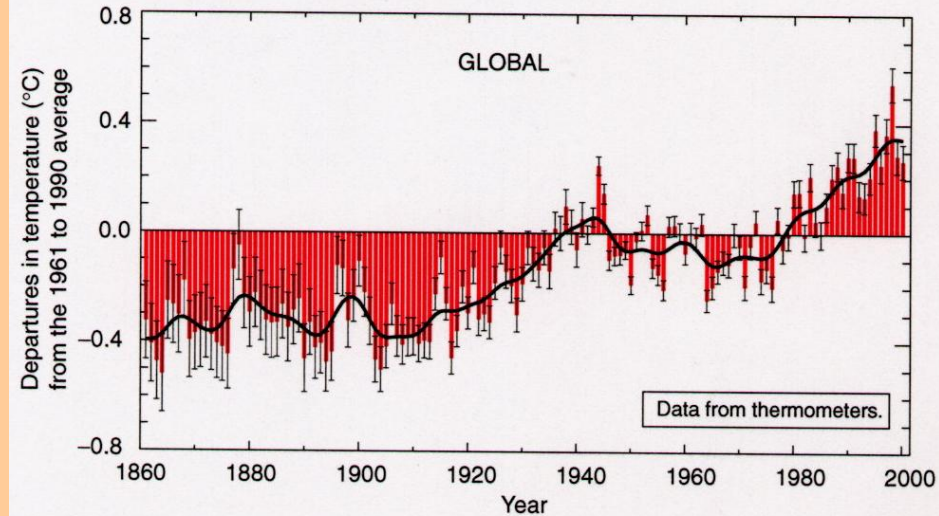


# Aquecimento recente

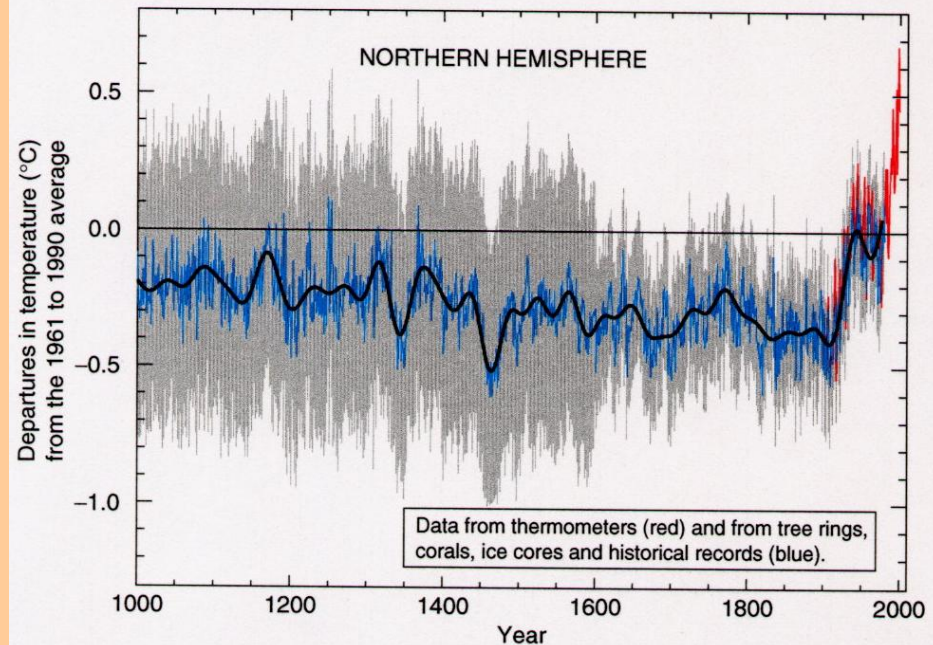
A temperatura média global em superfície aumentou cerca de **0,6°C** do século XIX até 2000

## Variations of the Earth's surface temperature for:

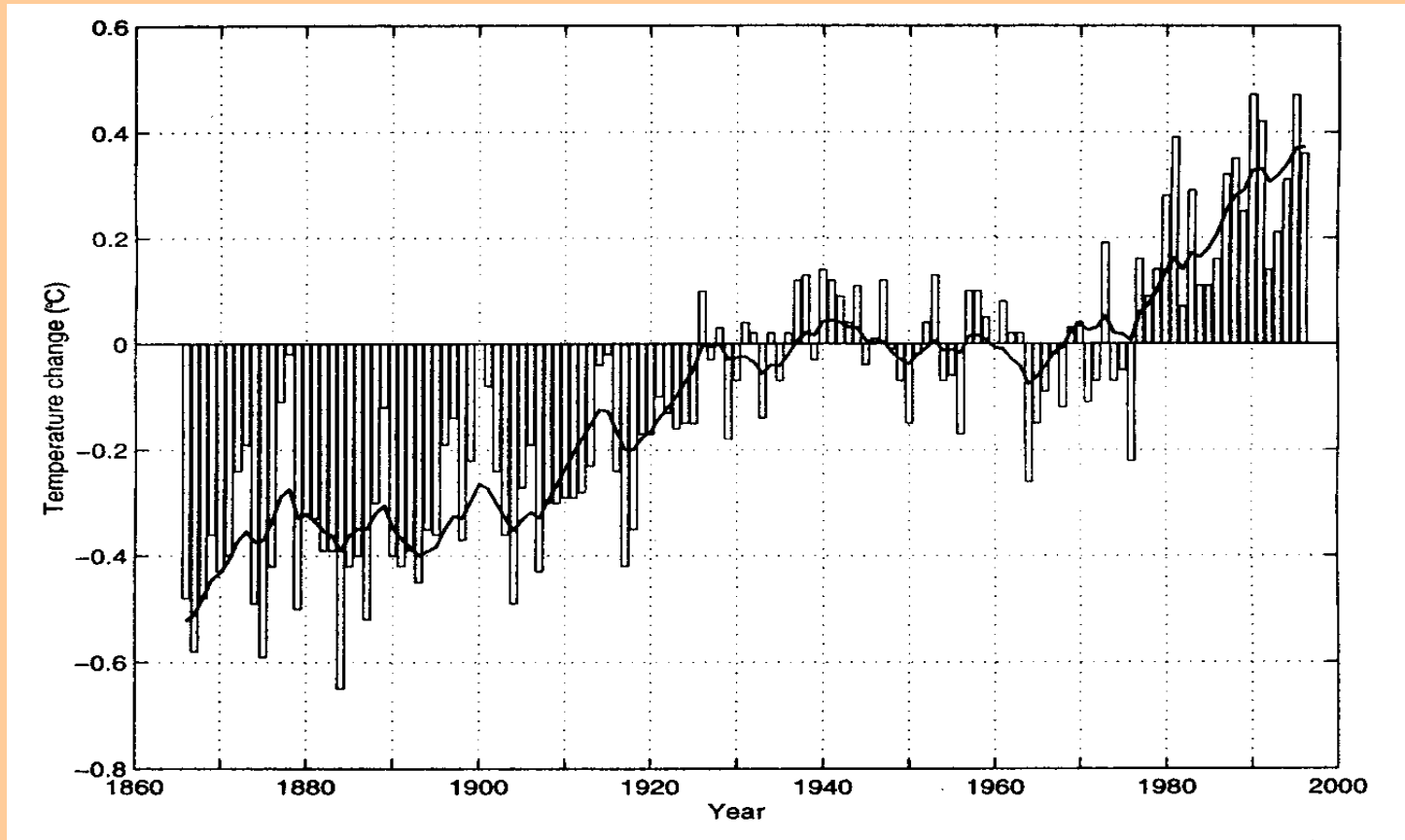
(a) the past 140 years



(b) the past 1,000 years



## Temperaturas médias (continente e oceano) globais, em relação à média do período 1951-1980

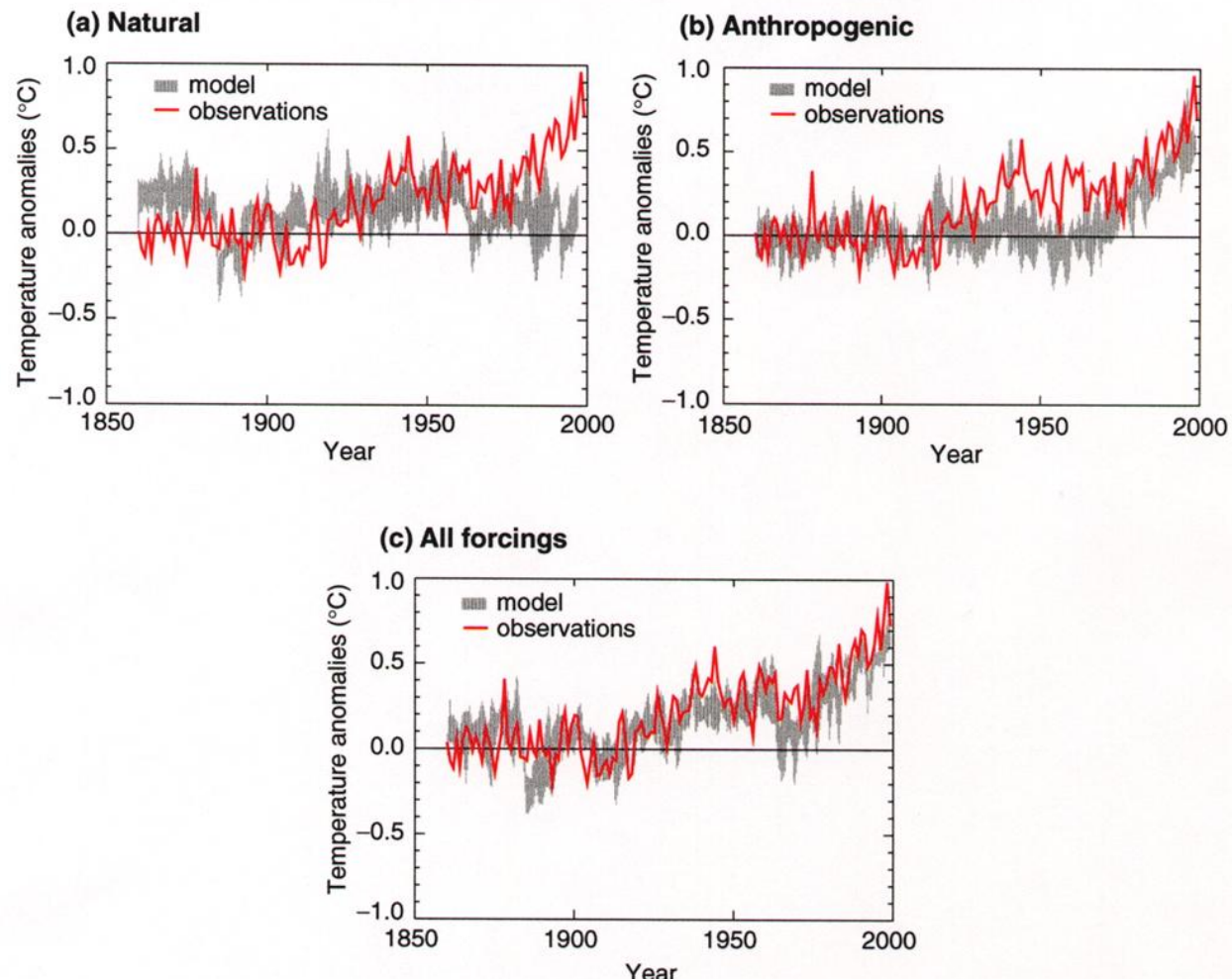


(Philander, 1998)

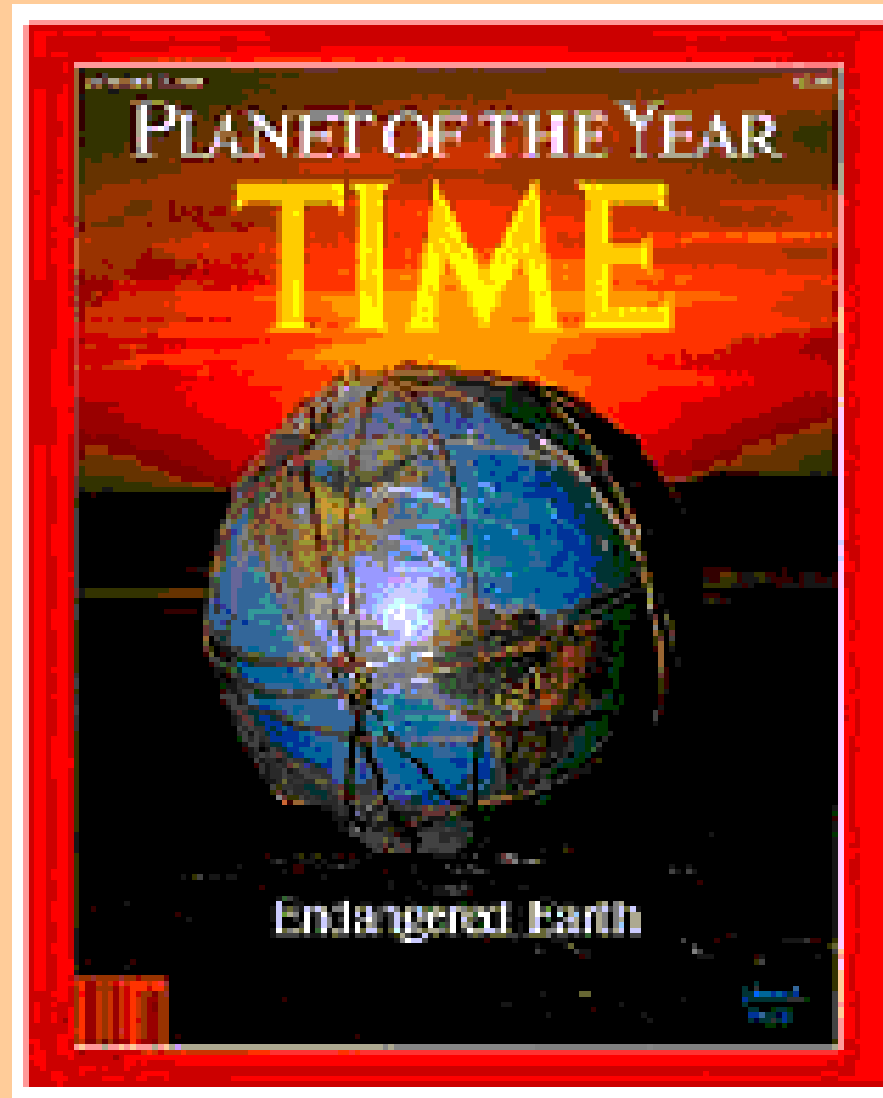
# Fatores naturais podem explicar o aquecimento?

- O IPCC (2000) afirma: “Existem fortes evidências de que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos pode ser atribuído a atividades humanas”.
- Emissões antropogênicas de gases estufa e de aerossóis são significativas.

Simulated annual global mean surface temperatures



# Time, 2/1/1989



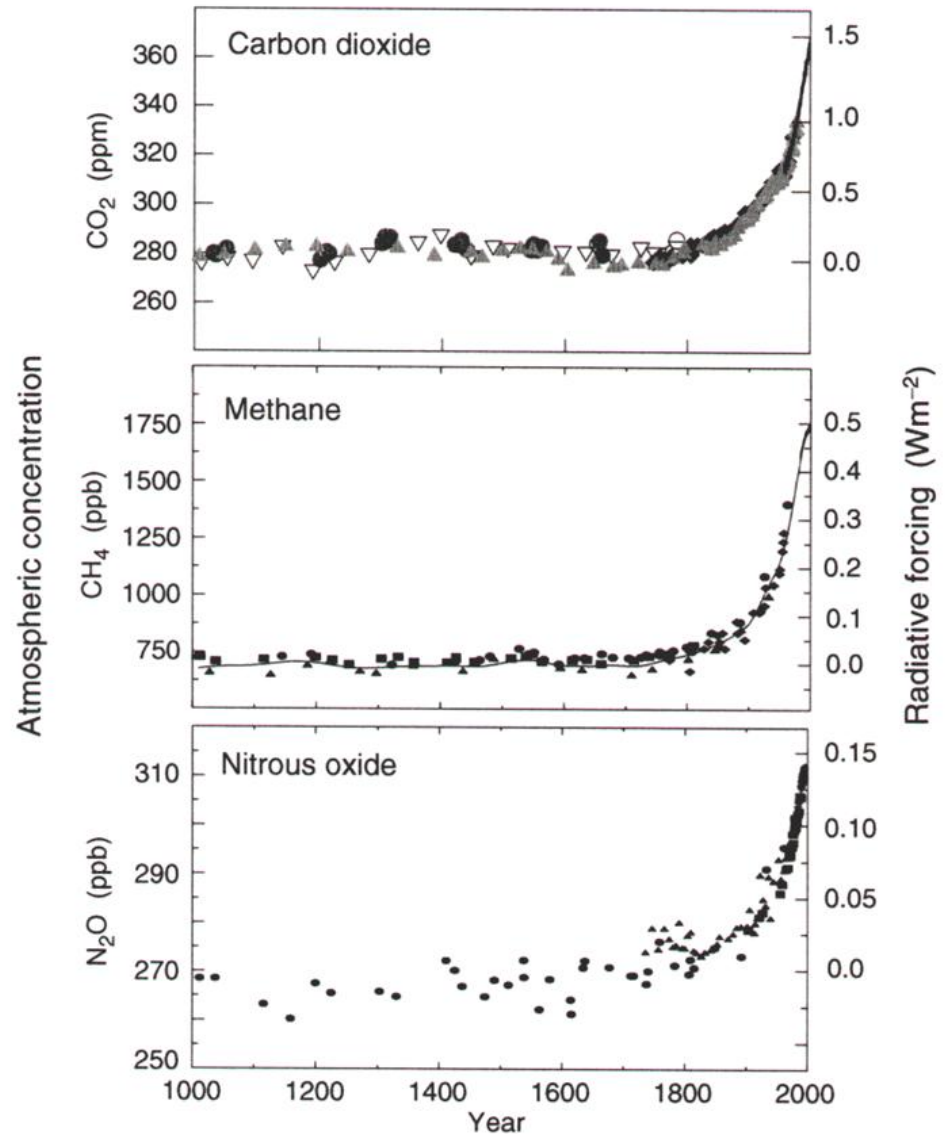


# Concentrações de gases estufa

- As concentrações aumentaram muito desde o início da Revolução Industrial.
- Aumentos desde 1750
  - $\text{CO}_2$  -- 31%
  - $\text{CH}_4$  -- 151%
  - $\text{N}_2\text{O}$  -- 17%

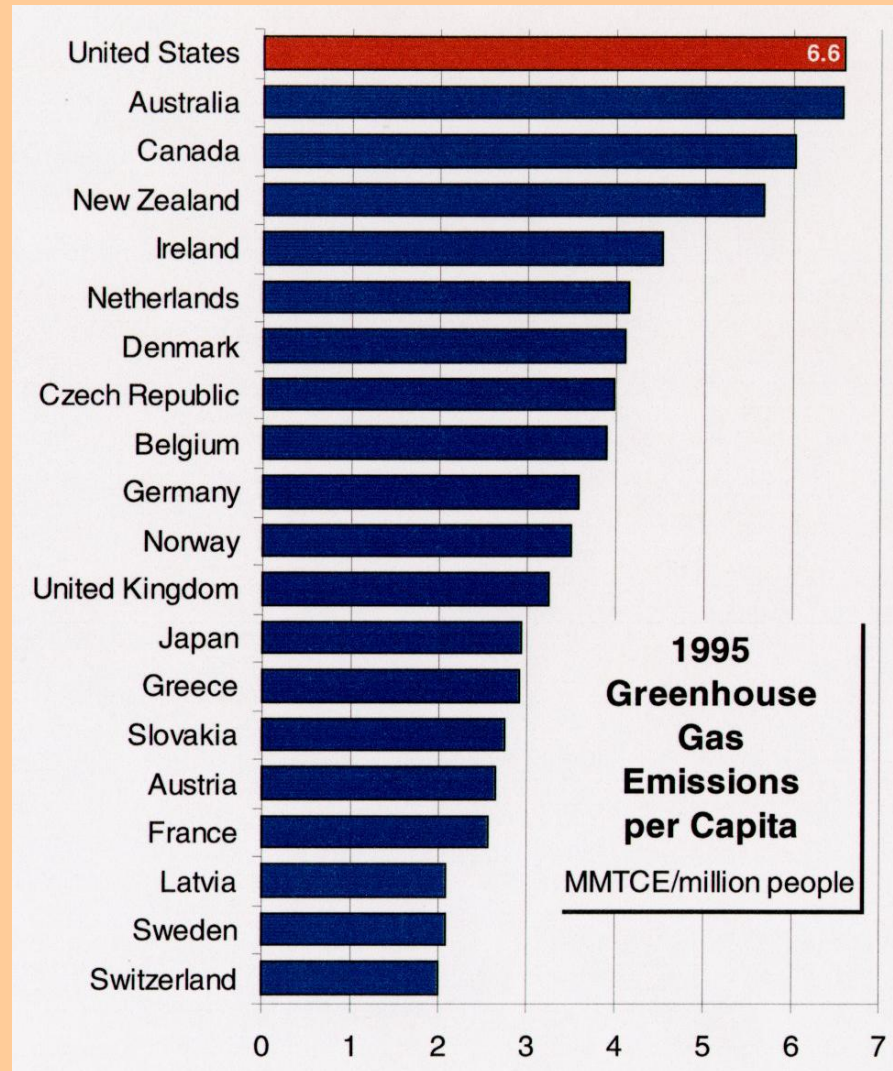
## Indicators of the human influence on the atmosphere during the Industrial Era

(a) Global atmospheric concentrations of three well mixed greenhouse gases



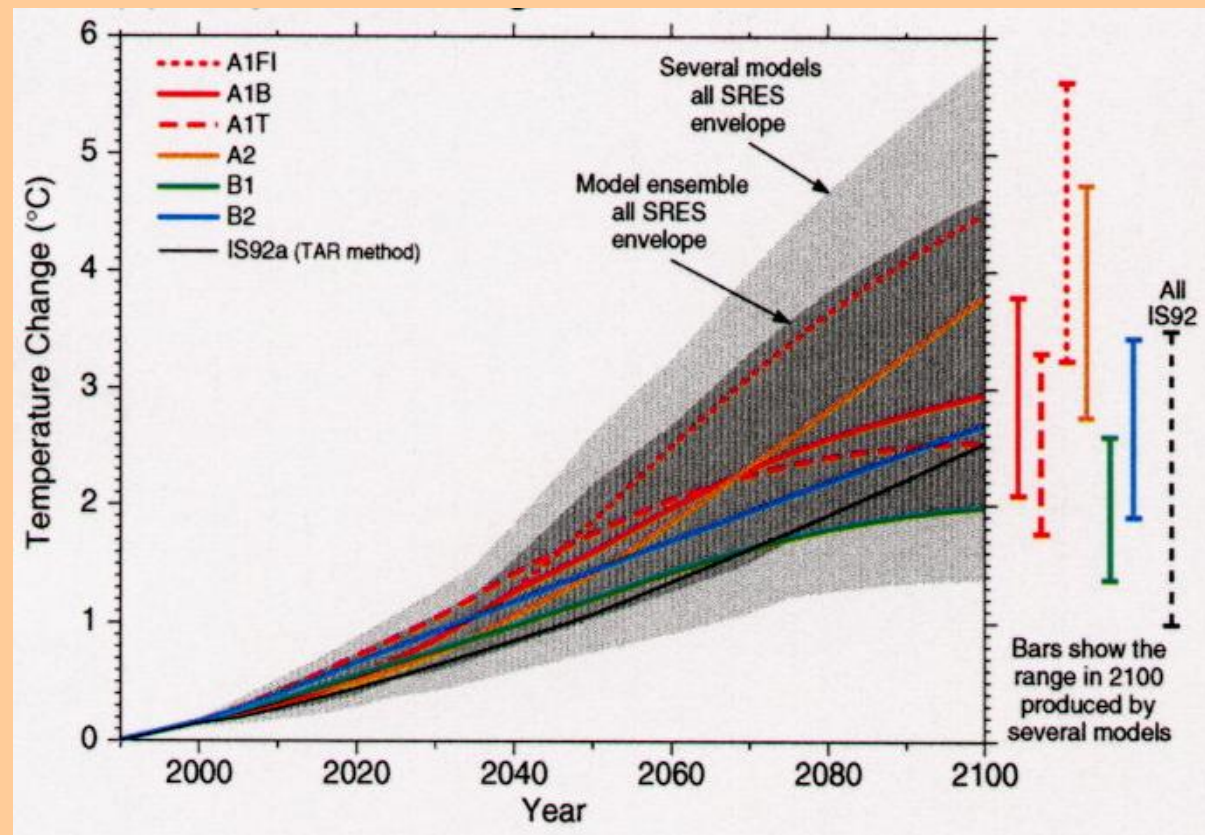


# Emissores de gases estufa



# Mudanças futuras de temperatura

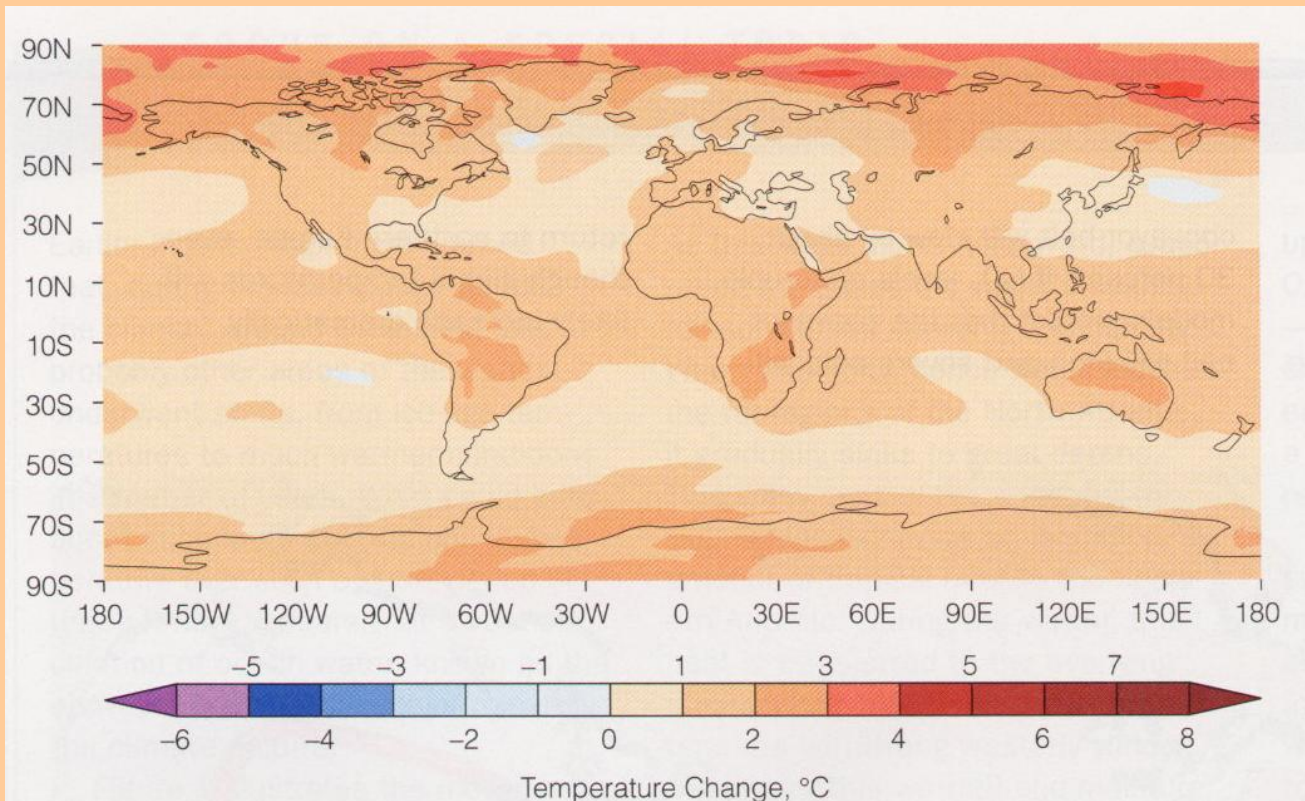
- O IPCC (2000) prevê um aumento na temperatura global de 1,4 a 5,8 °C de 1990 a 2100
  - Valores variam de acordo com o cenário de emissões e a modelagem empregada
  - Alguns cientistas afirmam que o sistema não é previsível dado o conhecimento atual.



*The IPCC is the Intergovernmental Panel on Climate Change*

# Previsão de aumento não uniforme de temperaturas

- Projeção para 1950 de mudança nas temperaturas de superfície devido a uma duplicação da concentração de CO<sub>2</sub> e gases de enxofre por emissões humanas.
- Algumas áreas serão mais aquecidas que a média global (hemisfério norte).

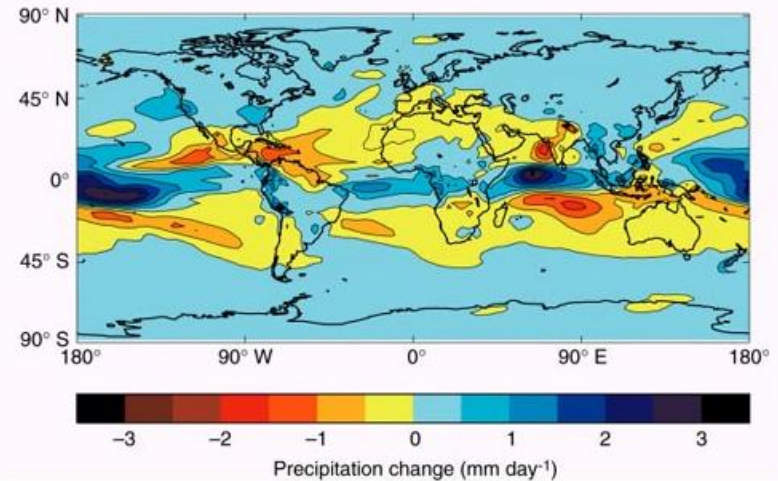




# Precipitação e o nível do mar

- Maior evaporação significa maior precipitação
  - Espera-se aumento da precipitação em médias e altas latitudes do hemisfério norte e na Antártida no inverno.
  - Decréscimos e aumentos regionais em baixas latitudes.
  - Maior variabilidade annual da precipitação.
- Espera-se que a expansão térmica dos oceanos e o derretimento do gelo cause aumento do nível do mar.
  - 0,1-0,9 m de aumento esperado para 2100

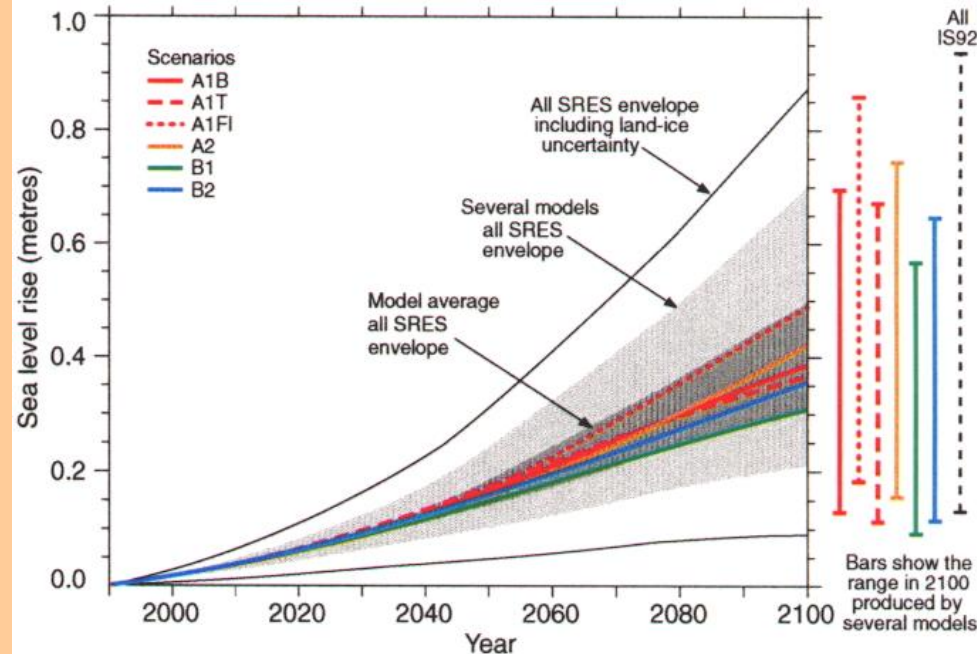
**Figure 12: Projected Changes in Annual Precipitation for the 2050s**



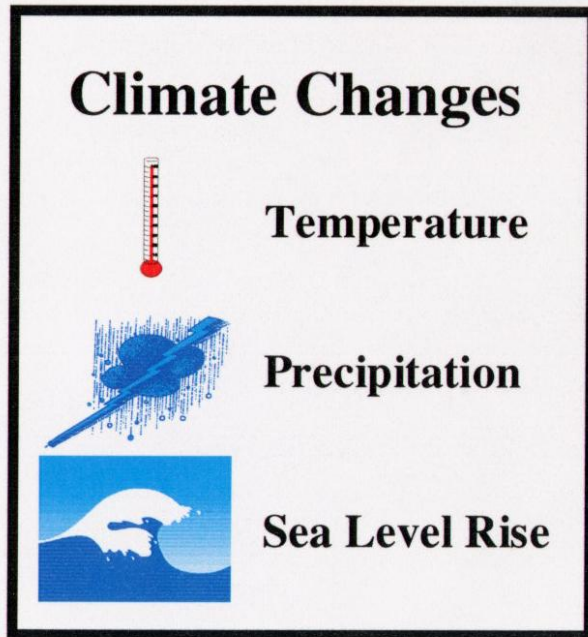
The projected change in annual precipitation for the 2050s compared with the present day, when the climate model is driven with an increase in greenhouse gas concentrations equivalent to about a 1% increase per year in CO<sub>2</sub>.

The Met Office - Hadley Centre for Climate Prediction and Research.

## (e) Sea level rise



# Potential Climate Change Impacts



## Health Impacts

Weather-related Mortality  
Infectious Diseases  
Air Quality-Respiratory Illnesses



## Agriculture Impacts

Crop yields  
Irrigation demands



## Forest Impacts

Change in forest composition  
Shift geographic range of forests  
Forest Health and Productivity



## Water Resource Impacts

Changes in water supply  
Water quality  
Increased Competition for water



## Impacts on Coastal Areas

Erosion of beaches  
Inundate coastal lands  
Costs to defend coastal communities



## Species and Natural Areas

Shift in ecological zones  
Loss of habitat and species